

Statystyczna ocena wpływu parametrów napawania SSA na geometrię napoin

Statistic determination of self-shielded arc surfacing parameters influence on the padding welds geometry

Streszczenie

W artykule omówiono problem określenia parametrów istotnych dla napawania drutem rdzeniowym samoosłonowym. Metoda SSA jest jedną ze spawalniczych metod, która daje duże możliwości w wytwarzaniu napoin o zróżnicowanym składzie chemicznym i dobrej jakości. Istotne jest określenie, które z parametrów napawania mają znaczący wpływ na właściwości napoiny. Zastosowanie planu Placketta-Burmana umożliwiło statystyczną ocenę istotności wpływu wybranych parametrów napawania na geometrię napoiny.

Abstract

In this work problem of determining of parameters for surfacing by using self-shielded arc is concerned. Self shielded arc surfacing (SSA) is one of the welding methods that gives big opportunities for producing cladding with wide range of chemical composition and good quality. The problem is to determine which parameters have the significant influence for producing cladding with defined properties. Using Plackett-Burman's design gives opportunities to statistic evaluation of significant parameters on cladding properties especially its geometry.

Wstęp

Technologie napawania dzieli się na napawanie prewencyjne (technologiczne) i regeneracyjne. Napawanie regeneracyjne jest ekonomicznym sposobem przywracania cech użytkowych, a dzięki zastosowaniu materiałów warstwowych, w wyniku napawania technologicznego uzyskuje się optymalizację właściwości warstw kontaktowych [1÷5]. Metodą najmniej znaną, ale rokującą uzyskanie dobrych napoin, jest napawanie łukowe drutem rdzeniowym samoosłonowym – SSA (*Self Shielded Arc Surfacing*). Łączy ono cechy napawania łukowego ręcznego i napawania elektrodą topliwą w osłonie gazowej. Proces napawania drutami rdzeniowymi samoosłonowymi SSA łączy cechy napawania drutami rdzeniowymi w osłonie gazowej i napawania ręcznego elektrodami otulonymi. Sam proces napawania z technologicznego punktu widzenia przebiega tak samo jak napawanie drutem prozkowym w osłonie gazowej. W przypadku napawania SSA drutem samoosłonowym prostszą konstrukcją mają

uchwyty spawalnicze, ponieważ niepotrzebny wtedy jest system osłony gazowej łuku. Sam proces napawania prowadzony jest głównie z zastosowaniem prądu stałego z biegunowością dodatnią, stosowany jest również prąd pulsujący. Możliwe jest również napawanie prądem stałym z biegunowością ujemną lub prądem przemiennym. Zastosowanie prądu stałego o biegunowości dodatniej podyktowane jest najlepszą stabilnością jarzenia się łuku elektrycznego i małym rozpryskiem. Odbywa się to kosztem większej głębokości wtopienia i mniejszej wydajności napawania, niż przy zastosowaniu biegunowości ujemnej, przy której łuk elektryczny jest dużo mniej stabilny.

Do podstawowych parametrów napawania SSA zaliczane są: rodzaj i natężenie prądu napawania, napięcie łuku, prędkość podawania drutu prozkowego, prędkość napawania, długość wystającego odcinka drutu prozkowego, kąt pochylenia drutu prozkowego względem napawanego przedmiotu, rodzaj i średnica drutu prozkowego.

Określenie stopnia istotności wpływu danego parametru napawania na wynik końcowy przy znacznej liczbie parametrów oddziałujących jednocześnie jest kłopotliwe i czasochłonne. Celowe jest więc opracowanie planu badań ograniczającego do niezbędnego minimum liczbę doświadczeń, która pozwala na otrzymanie

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

wiarygodnych wyników. Takie możliwości daje planowanie doświadczeń na podstawie programów statystycznych, które pozwalają zoptymalizować liczbę doświadczeń i pomagają w statystycznym opracowaniu otrzymanych wyników. Chętnie wykorzystywane do tego celu są programy Placketta-Burmana [6÷8].

Planowanie eksperymentu

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano planowanie doświadczenia wg programów Placketta-Burmana. Programy te budowane są na podstawie macierzy Hadamarda, które są macierzami kwadratowymi rzędu n spełniającymi zależność [9]:

$$H^T H = nE_n \quad (1)$$

gdzie: E_n – macierz jednostkowa rzędu n , H^T – transpozycja macierzy H .

Plany Placketta-Burmana muszą spełniać dwa warunki:

- liczba doświadczeń musi być równa krotności 4: $N = 4k$, gdzie k – liczba całkowita,
- liczba doświadczeń jest ograniczona do 100 i różna od 92.

Dzięki zastosowaniu programów Placketta-Burmana można oceniać istotność wpływu $4k-1$ czynników badanych na czynnik wynikowy. Oznacza to, że dla np. 8 doświadczeń można określić wpływ maksymalnie 7 czynników wejściowych. Należy przy tym uwzględnić zmienne fikcyjne, które wykorzystuje się do obliczania wariancji błędu doświadczenia. Położenie zmiennych fikcyjnych jest wyznaczane losowo na podstawie tablic liczb losowych.

Wnioskowanie statystyczne

Tablica planu Placketta-Burmana zawiera dodatkowo układ centralny, który pozwala na zbadanie liniowości funkcji. Jeśli wielkości z układów spoza centrum różnią się istotnie od średniej układu centrum, może to świadczyć o nieliniowości zależności parametru wyjścia.

Tablica I. Parametry procesu

Table I. Process parameters

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Nr próbki	Szerokość zakosów, mm	Prędkość napawania, mm/min	Odbiór ciepła, W/m * K	Moc, W	Prędkość podawania drutu, m/min	Długość wystającego odcinka drutu, mm	Prędkość oscylacji, m/min
1	1	130	0,15	12 915	-1	40	1
2	1	190	0,15	10 045	1	20	1
3	1	190	4,3	10 045	-1	40	-1
4	-1	190	4,3	12 915	-1	20	1
5	1	130	4,3	12 915	1	20	-1
6	-1	190	0,15	12 915	1	40	-1
7	-1	130	4,3	10 045	1	40	1
8	-1	130	0,15	10 045	-1	20	-1
9	0	160	2,15	11 480	0	30	0

Wnioskowanie o podobieństwie 2 populacji odbywa się na podstawie parametrycznych testów istotności.

Test dla 2 średnich zakłada, że są normalne, tzn. $N_1(\bar{x}_1, \sigma_1)$, $N_2(\bar{x}_2, \sigma_2)$ oraz $\sigma_1 = \sigma_2$. Na podstawie odpowiednio licznych prób n_1 i n_2 weryfikowana jest hipoteza $H_0 = \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ oraz alternatywna hipoteza $H_1 = \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$. W tym celu oblicza się wartości średnie \bar{x}_1 i \bar{x}_2

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

wariancje \bar{S}_1^2 i \bar{S}_2^2

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum (\bar{x} - x_i)^2 \quad (3)$$

a następnie wartości rozkładu t-Studenta

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (4)$$

Przeprowadzenie eksperymentu

Napoiny zostały wykonane na zautomatyzowanym stanowisku do napawania. Zastosowano napawanie jednowarstwowe ściegiem zakosowym z parametrami przedstawionymi w tablicy I. Tablica ta jest stworzona wg programu Placketta-Burmana. W macierzy tej są kolumny zawierające zmienne rzeczywiste oraz kolumny zawierające zmienne fikcyjne. Miejsca zmiennych fikcyjnych i rzeczywistych ustalone zostały przy wykorzystaniu tablic liczb losowych, zmienne rzeczywiste są oznaczone przez X2, X3, X4, X6.

Oprócz podanych w tablicy I zmiennych rzeczywistych zmianom podlegały następujące parametry napawania: szerokość zakosów (25÷45 mm), prędkość podawania drutu (5,3÷6,3 m/min), prędkość oscylacji (1,7÷2,8 m/min). Wielkości te nie były przedmiotem analiz.

Wielkości wyjściowe realizowanego planu badań to:

B_n – szerokość napoiny, mm

H_n – wysokość napoiny, mm

H_w – głębokość wtopienia, mm

U_{mr} – udział materiału rodzimego w napoinie, %.

Wykorzystując zależności pomiędzy wielkościami wejściowymi niezależnymi a wielkościami

wejściowymi zaleźnymi, opracowano model matematyczny procesu napawania. Wielkościami wejściowymi są zmienne niezależne w postaci parametrów technologicznych:

V_{nap} – prędkość napawania mm/min,

λ – współczynnik przewodzenia ciepła

P – moc W,

L_e – długość wystającego odcinka drutu mm.

Jako zmienne zależne przyjęto: szerokość zakosów, prędkość podawania drutu oraz prędkość oscylacji. Przyjęto również następującą postać równania regresji:

$$y = B_0 + B_{1x1} + B_{2x2} + B_{3x3} + B_{4x4} \quad (5)$$

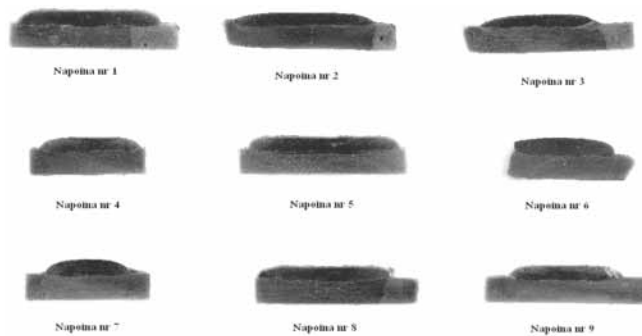
Wielkościom określonym w równaniu (5) zostały przyporządkowane parametry z tabelicy I. Równanie regresji ma wówczas postać:

$$y = B_0 + B_1 V_{nap} + B_2 \lambda + B_3 P + B_4 L_e \quad (6)$$

Wyniki eksperymentu

Na rysunku przedstawiono widok przekroju poprzecznego napoin wykonanych w ramach eksperymentu i poddanych badaniom geometrii.

W celu określenia wpływu parametrów napawania na określoną wielkość wyjściową – w tym przypadku H_n – wysokość napoiny, wykonano analizę statystyczną



Rys. 1. Przekrój poprzeczny badanych napoin

Fig. 1. The cross-sections of tested padding welds

badanej zmiennej. Analiza ta pozwala określić funkcję rozkładu zmiennej. Wyniki pomiarów oraz analizy statystycznej dla badanej wielkości przedstawiono w tabelicy II.

Wykorzystując wzory (2÷6), potwierdzono liniowość rozkładu badanej wielkości oraz przy przyjętych założeniach poziomu istotności $\alpha = 0,1$ i na podstawie dostępnych danych określono równanie regresji w postaci:

$$y = 4,316 - 0,808x_1 \quad (7)$$

Głębokość wtopienia

Kolejną analizowaną wielkością jest H_w – głębokość wtopienia. Analiza przebiegała podobnie jak

Tablica II. Wyniki pomiarów i analizy wysokości napoiny H_n

Table II. The results of tests and analysis of padding weld high H_n

Numer pomiaru	Numer próbki								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4,45	3,14	3,35	3,88	4,52	4,91	5,12	4,6	4,21
2	4,86	3,59	3,62	4,12	4,33	5,07	5,05	4,75	4,17
3	4,56	3,2	3,34	4,04	4,46	4,86	5,18	4,93	4,23
Średnia	4,62	3,31	3,44	4,01	4,44	4,95	5,12	4,76	4,20
Odchylenie standardowe	0,212	0,244	0,159	0,122	0,097	0,110	0,065	0,165	0,031
Wariancja	0,045	0,060	0,025	0,015	0,009	0,012	0,004	0,027	0,001
Liczebność	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Wartość min	4,45	3,14	3,34	3,88	4,33	4,86	5,05	4,6	4,17
Wartość max	4,86	3,59	3,62	4,12	4,52	5,07	5,18	4,93	4,23
Rozstęp	0,41	0,45	0,28	0,24	0,19	0,21	0,13	0,33	0,06

Tablica III. Wyniki pomiarów i analizy głębokości wtopienia napoiny H_w

Table III. The results of tests and analysis of fusion depth padding weld H_w

Nr pomiaru	Nr próbki								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2,1	1,8	0,9	1,8	2,1	1,9	1,1	1,4	1,1
2	1,76	1,45	1,1	1,35	2,15	1,46	1,26	1,72	1,32
3	1,83	2,06	1,24	1,76	2,02	1,37	0,83	1,56	1,18
Średnia	1,90	1,77	1,08	1,64	2,09	1,58	1,06	1,56	1,20
Odchylenie standardowe	0,180	0,306	0,171	0,249	0,066	0,284	0,217	0,160	0,111
Wariancja	0,032	0,094	0,029	0,062	0,004	0,080	0,047	0,026	0,012
Liczebność	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Wartość min	1,76	1,45	0,9	1,35	2,02	1,37	0,83	1,4	1,1
Wartość max	2,1	2,06	1,24	1,8	2,15	1,9	1,26	1,72	1,32
Rozstęp	0,34	0,61	0,34	0,45	0,13	0,53	0,43	0,32	0,22

w przypadku wysokości napoiny. Wyniki pomiarów i obliczeń zostały zamieszczone w tablicy III.

Przy przyjętych założeniach poziomu istotności $\alpha = 0,1$ i na podstawie dostępnych danych określono równanie regresji w postaci:

$$y = 1,543 - 0,238x_2 + 0,428x_3 - 0,364x_4 \quad (8)$$

Udział materiału rodzimego w napoinie

Kolejną wielkością poddaną badaniom statystycznym był U_{mr} – udział materiału rodzimego w napoinie (tabl. IV). Analizę wykonano zgodnie ze schematem, jaki został zastosowany przy analizie poprzednich wielkości.

Przy przyjętych założeniach poziomu istotności $\alpha = 0,1$ i na podstawie dostępnych danych określono równanie regresji w postaci:

$$y = 25,630 + 6,207x_1 - 3,473x_4 \quad (9)$$

W tablicy V zebrano równania regresji dla 3 badanych wielkości charakteryzujących napoinę.

Tabela V. Równania regresji
Table V. Regression equations

Określana wielkość	Postać równania regresji
Wysokość napoiny	$y = 4,316 - 0,808x_1$
Głębokość wtopienia	$y = 1,543 - 0,238x_2 + 0,428x_3 - 0,364x_4$
Udział materiału rodzimego w napoinie	$y = 25,630 + 6,207x_1 - 3,473x_4$
gdzie: x_1 – prędkość napawania, x_2 – odbiór ciepła, x_3 – moc łuku, x_4 – długość wystającego odcinka drutu	

Tablica IV. Wyniki pomiarów i analizy udziału materiału rodzimego w napoinie U_{mr}

Table IV. The results of tests and analysis of base material in the padding weld ratio U_{mr}

Nr pomiaru	Nr próbek								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	23,94	33,47	24,95	32,1	21,43	25,64	22,66	20,54	27,98
2	22,1	32,62	23,27	30,43	24,36	25,15	22,17	21,84	26,86
3	23,5	33,93	24,32	31,78	22,14	24,49	21,88	21,11	27,34
Średnia	23,18	33,34	24,18	31,44	22,64	25,09	22,24	21,16	27,39
Odchylenie standardowe	0,961	0,665	0,849	0,886	1,528	0,577	0,394	0,652	0,562
Wariancja	0,923	0,442	0,720	0,786	2,336	0,333	0,155	0,425	0,316
Liczebność	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Wartość min	22,1	32,62	23,27	30,43	21,43	24,49	21,88	20,54	26,86
Wartość max	23,94	33,93	24,95	32,1	24,36	25,64	22,66	21,84	27,98
Rozstęp	1,84	1,31	1,68	1,67	2,93	1,15	0,78	1,3	1,12

Podsumowanie

Prowadzone badania przy wykorzystaniu planowania doświadczeń pozwoliły na określenie istotności wpływu 4 czynników na właściwości napoiny przy napawaniu metodą SSA. Do tych czynników należą: prędkość napawania, odbiór ciepła, moc łuku, długość wolnego wylotu elektrody. Z badań i analizy statystycznej wynika, że na wysokość napoiny istotny wpływ ma prędkość napawania, a wraz z jej wzrostem wysokość napoiny będzie malała. Głębokość wtopienia zależy głównie od odbioru ciepła oraz długości wystającego odcinka drutu, które będą ją obniżały. Głębokości wtopienia będą się powiększały przy zwiększaniu mocy łuku elektrycznego. Istotnym parametrem charakteryzującym właściwości warstwy napawanej jest udział materiału rodzimego w napoinie. Wielkość ta zależy przede wszystkim od prędkości napawania, która będzie ją podwyższać, podczas gdy wzrost długości wystającego odcinka drutu będzie ją obniżał.

Literatura

- [1] Klimpel A.: Napawanie i natryskiwanie cieplne – technologie, WNT, Warszawa 2000.
- [2] Dziubiński J., Adamiec P.: Napawanie i natryskiwanie wczoraj i dziś, Przegląd Spawalnictwa, Nr 5/1998, s. 6-8.
- [3] Nowak A.: Napawanie blach – Materiały XII międzynarodowej konferencji Spawanie w energetyce – Turów 2000”, Bogatynia 2000.
- [4] Dumowic M.: Repair and Maintenance Procedures for Heavy Machinery Components, Welding Innovation, Vol. XX No.1, 2003.
- [5] Hartung F.: Technologiczne i metalurgiczne kierunki rozwoju napawania żuźlowego, Przegląd Spawalnictwa, Nr 1-2/1996, s. 7-10.
- [6] Pierlot C., Pawlowski L., Bigan M., Chagnon P.: Design of experiments in thermal spraying: A review, Surface & Coatings Technology 202, 2008, s. 4483–4490.
- [7] Arcondéguy A., Gasgnier G., Montavon G., Pateyron B., Denoirjean A., Grimaud A., Huguet C.: Effects of spraying parameters onto flame-sprayed glaze coating structures, Surface & Coatings Technology 202, 2008, s. 4444–4448.
- [8] Frydrych D., Rogalski G.: Wpływ warunków spawania podwodnego metodą lokalnej komory suchej na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie, Przegląd Spawalnictwa, Nr 11/2009, s. 29-34.
- [9] Kukielfka L.: Podstawy badań inżynierskich, PWN, Warszawa 2002.