

# Modele liniowe wpływu częstotliwości prądu spawania na szerokość spoiny

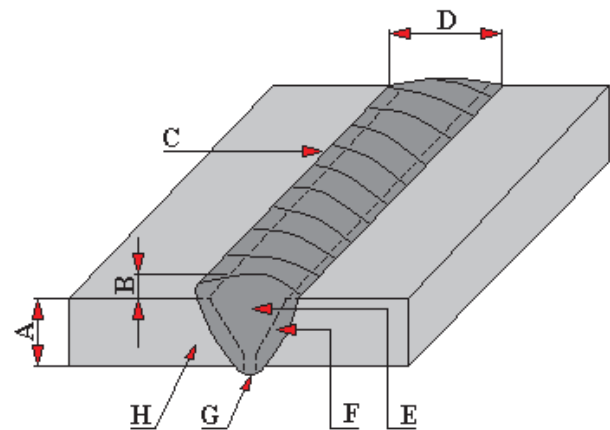
SŁAWOMIR SYREK, JAROSŁAW ROBERT MIKOŁAJCZYK\*

W pracy określono wpływ częstotliwości prądu spawania na szerokość spoin. Za pomocą programu R zbudowano modele liniowe zależności szerokości spoin od częstotliwości prądu spawania.

## Wprowadzenie

Określanie relacji pomiędzy zbiorem zmiennych objaśniających, a zmienną ilościową, nazywaną zmienną objaśnianą, zajmuje się modelowanie. Zależność tę modeluje się zazwyczaj w celu oszacowania punktowo lub przedziałowo zmiennej objaśnianej na podstawie zmiennych objaśniających lub w celu zrozumienia zależności występujących pomiędzy obserwowanymi zmiennymi. Model matematyczny może zatem służyć do oceny, które zmienne objaśniające i w jaki sposób są zależne od zmiennej objaśnianej. Metod modelowania matematycznego jest wiele. Jedną z nich jest modelowanie liniowe. Za początek modeli liniowych można uznać metody najmniejszych kwadratów (*ordinary least squares*, OLS) stosowane pierwotnie w XVIII i XIX wieku w nawigacji morskiej oraz w astronomii. Innym przykładem modelowania liniowego jest np. metoda największej wiarygodności (*maximum likelihood*, ML) [1, 2, 3]. W niniejszej pracy określono wpływ częstotliwości prądu spawania na szerokość spoiny tylko za pomocą modeli liniowych z efektami stałymi. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe połączenie spawane.

Od czasów starożytności, czy to w cywilizacji egipskiej, greckiej czy też rzymskiej, znane było łączenie metali za pomocą ciepła. Najczęściej było to lutowanie cyny, brązu lub ołowiu. Późniejsze odkrycie elektryczności zrewolucjonizowało proces łączenia metali. Jednak nadal istniała grupa metali lub stopów trudno spawalnych lub nawet niespawalnych. W grupie tej było aluminium, które z powodu istnienia na swojej powierzchni tlenków o wysokiej temperaturze topnienia skutecznie utrudniało proces spawania. Nawet dziś spawanie aluminium jest procesem wymagającym, zarówno odpowiedniego sprzętu, gazów ochronnych jak i umiejętności. W niniejszej pracy poddano analizie matema-



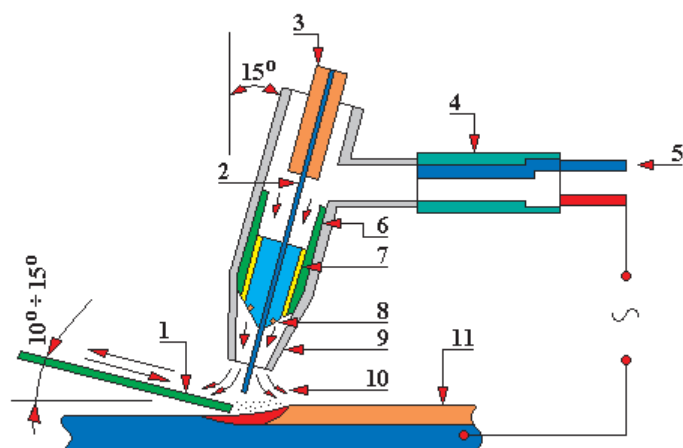
Rys. 1. Połączenie spawane: A – grubość materiału; B – wysokość nadlewu; C – lico spoiny; D – szerokość spoiny; E – spoina (metal przetopiony); F – strefa wtopienia; G – grąń spoiny; H – strefa wpływu ciepła [6]

tycznej szerokość złącza spawanego wybranego gatunku stopu aluminium.

Aluminium (Al) w przyrodzie występuje w formie związków chemicznych, najczęściej z krzemem i tlenem. Z boksytów (rud aluminium) zawierających 50÷70% tlenku glinu ( $Al_2O_3$ ) produkuje się na drodze elektrolizy aluminium. Pierwiastek ten jest metalem barwy srebrnobiałej o gęstości  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ . Jego temperatura topnienia wynosi  $660^\circ\text{C}$ . Natomiast wytrzymałość na rozciąganie osiąga wartość  $90\div 120 \text{ MPa}$ . Aluminium ma dobrą przewodność cieplną i elektryczną.

W celu polepszenia właściwości wytrzymałościowych do aluminium wprowadza się jako dodatki stopowe inne metale, m.in.: miedź (Cu), krzem (Si), mangan (Mn), magnez (Mg), cynk (Zn). Magnez zwiększa wytrzymałość i ułatwia obróbkę skrawaniem. Dodatek miedzi utwardza i zwiększa wytrzymałość aluminium. Natomiast krzem zwiększa odporność na korozję oraz wytrzymałość, z wyjątkiem podwyższonych temperatur (wówczas jego wytrzymałość maleje). Aluminium jako stop jest szeroko stosowane w przemyśle chemicznym, maszynowym, elektrotechnicznym oraz w budownictwie [9].

\* Inż. Sławomir Syrek, dr inż. Jarosław Robert Mikołajczyk Akademia Nauk Stosowanych im. Stanisława Staszica w Pile, Katedra Inżynierii Mechanicznej; e-mail: jmikolajczyk@ans.pila.pl



Rys. 2. Schemat spawania metodą TIG: 1 – spoiwo; 2 – elektroda wolframowa; 3 – mocowanie i regulacja położenia elektrody wolframowej; 4 – uchwyt elektrody; 5 – gaz ochronny; 6 – przewód prądowy; 7 – końcówka prądowa; 8 – kanały gazowe; 9 – dysza gazowa; 10 – gaz ochronny; 11 – spoina [5]

W niniejszej pracy analizie wymiarowej poddano złącze spawane wykonane metodą TIG (rys. 2). Podczas spawania tą metodą spoiwo podawane pod kątem  $10^{\circ} \div 15^{\circ}$  topi się wraz z materiałami łączonymi w jeziorce spawalniczym, które jest wytwarzane przez łuk elektryczny. Łuk ten powstaje w wyniku wyładowania prądu elektrycznego o napięciu od 10 V do 50 V i natężeniu od 0,1 A do 2000 A. Zjawisko jonizacji gazów powoduje skupienie i utrzymanie łuku elektrycznego, który usuwa jednocześnie z powierzchni łączonych elementów warstwę tlenków (tzw. czyszczenie katodowe). Jarzący się w atmosferze gazu obojętnego (argonu) łuk elektryczny jest łukiem otwartym.

Zastosowana elektroda wolframowa jest elektrodą nietopliwą i pozwala emitować elektrony do określonego miejsca złącza spawanego. Emisja elektronów zależy od rodzaju elektrody i sposobu jej zakończenia (ukosowanie) [5, 9].

### Warunki badań

Badane złącza zostały wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 9606-2. Próbkę wykonano metodą TIG (ang. *Tungsten Inert Gas*). Łączone elementy wykonano ze stopu o symbolu Al 6082, którego oznaczeniem chemicznym jest symbol: EN-AW AlSi1MgMn. Materiał ten ma średnią twardość, jest odporny na korozję, daje się obrabiać za pomocą skrawania, podatny jest na polerowanie, jednak nie nadaje się do anodowania dekoracyjnego. Posiada ponadto bardzo dobrą przewodność cieplną, daje się tłoczyć, jest spawalny. Najczęściej stosowany jest na elementy zbiorników, elementy nośne, do budowy urządzeń hydraulicznych oraz w przemyśle stoczniowym. Jego skład chemiczny przedstawiono w Tabeli 1, natomiast właściwości fizyczne w Tabeli 2.

Złącza spawane wykonane były w pozycji nabocznej PB. Krawędzie łączonych elementów nie były ukosowane (dla blach o grubości 3 mm nie wykonuje się tej operacji). Przed wykonaniem połączenia łączone elementy zostały starannie oczyszczone z wszelkich zanieczyszczeń oraz odtłuszczone.

Podstawowe parametry spawania łączonych elementów przedstawiono w Tabeli 3. Jako spoiwa zastosowano stop AlMg5 ogólnego zastosowania charakteryzujący się dużą wytrzymałością na ścinanie, odpornością na pękanie oraz odpornością na działanie wody morskiej.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu AW-6082 [7]

Pierwiastek	Zawartość [%]
Si	0,7÷1,3
Mg	0,6÷1,2
Mn	0,4÷1,0
Fe	max. 0,5
Cr	max. 0,25
Zn	max. 0,20
Cu	max. 0,10
inne	max. 0,05
Al	pozostałość

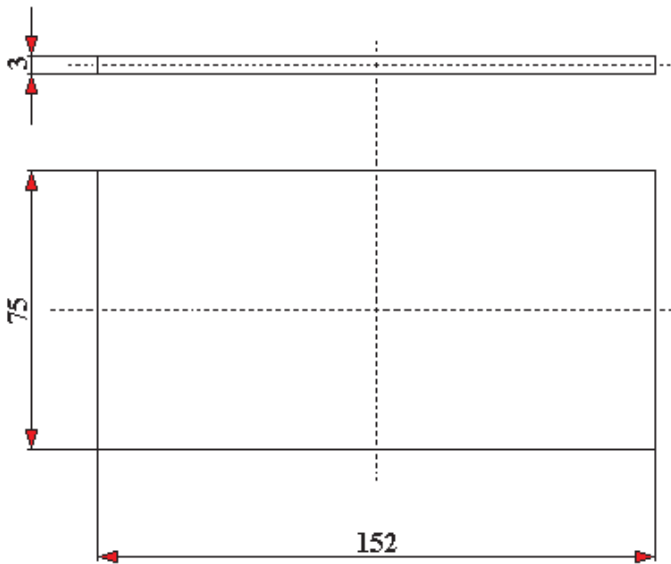
Tabela 2. Właściwości fizyczne stopu AW-6082 [7]

Wielkość określająca	Jednostka [w układzie SI]	Wartość
Gęstość	g/cm <sup>3</sup>	2,71
Moduł sprężystości	MPa	70 000
Moduł sprężystości poprzecznej G	MPa	26 400
Liczba Poissona	-----	0,33
Temperatura krzepnięcia	°C	575
Temperatura płynięcia	°C	650
Ciepło właściwe	J/kg · K	894
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	μm/m · K	23,1
Opór właściwy	nΩ · m	37
Przewodność cieplna	W/m · K	185
Przewodność elektryczna	S/m <sup>2</sup> /mol	47

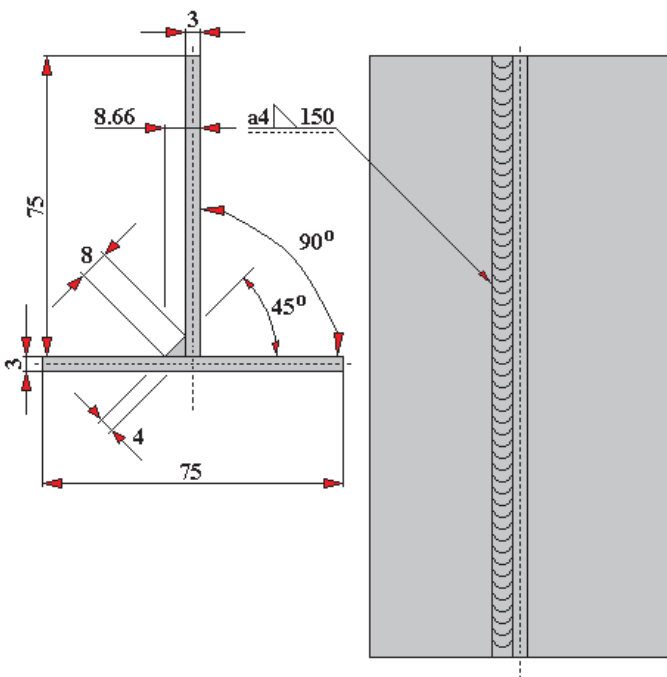
Tabela 3. Podstawowe parametry spawania łączonych elementów

Wymiar spoiwa (średnica), mm	2,4
Natężenia prądu, A	140
Napięcie łuku, V	25
Rodzaj prądu spawania	przebiegienny
Częstotliwość prądu spawania, Hz	50; 100; 150; 200; 250
Prędkość spawania, m/min	0,2
Wydatek argonu, dm <sup>3</sup> /min	10

Do pomiarów grubości spoiny użyto spoinomierza firmy INOX. Natomiast do pomiaru szerokości spoiny użyto suwmiarki cyfrowej firmy INSIZE typ 1108-150. Na rys. 3 przedstawiono wymiary łączonych blach, na rys. 4 – połączenie spawane tych blach, natomiast sposób pomiaru szerokości badanej spoiny przedstawiono na rys. 5.



Rys. 3. Wymiary łączonych blach (obie o tych samych wymiarach)

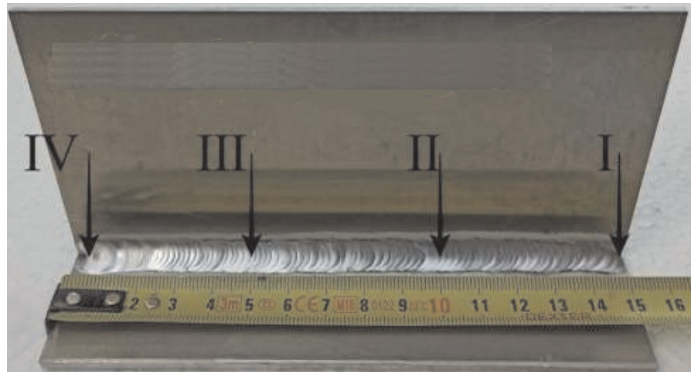


Rys. 4. Widok połączonych elementów aluminiowych



Rys. 5. Sposób pomiaru szerokości spoiny

Na rys. 6 przedstawiono miejsca pomiaru szerokości spoiny. Spoina była mierzona w czterech miejscach oddalonych od siebie o 50 mm. Do wykonywania próbek spawanych zastosowano spawarkę firmy Froniu MAGICWAVE 4000.



Rys. 6. Miejsca odczytu wymiarów spoiny (grubości i szerokości) badanych próbek: I – nr pomiaru 1 (początek spoiny); II – nr pomiaru 2; III – nr pomiaru 3; IV – numer pomiaru 4 (koniec spoiny)

### Wyniki badań

Analizę rezultatów badań dotyczących szerokości spoiny przeprowadzono na podstawie 10 elementowego zbioru wyników pomiarów wykonanych próbek. Otrzymane wartości szerokości spoin zaimplementowano do programu R [3, 4, 8] celem ich dalszej analizy – Tabela 4.

W Tabeli 4 przyjęto następujące oznaczenia:

I, II, III, IV – miejsca pomiaru – rys. 6,

$f_{50, 100, 150, 200, 250}$  (w indeksie) – pomiar przy danej częstotliwości.

Tabela 4. Wyniki pomiarów szerokości spoiny [mm] dla danej częstotliwości prądu spawania

Miejsce pomiaru	Próbka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	I <sub>f50</sub>	6.56	8.43	8.77	8.83	7.70	8.48	7.30	7.56	8.04	7.34
	I <sub>f100</sub>	8.30	8.15	7.66	8.72	8.61	8.75	8.25	8.24	8.04	7.93
	I <sub>f150</sub>	7.94	8.50	8.22	8.64	7.91	8.18	8.60	8.20	7.88	8.23
	I <sub>f200</sub>	7.14	8.05	9.00	8.00	8.00	8.18	7.50	8.38	7.38	8.50
	I <sub>f250</sub>	7.30	8.60	8.22	8.00	8.29	8.43	8.40	8.08	8.49	8.25
	II <sub>f50</sub>	6.92	8.24	7.85	8.88	8.25	8.07	8.21	7.93	8.80	7.85
	II <sub>f100</sub>	7.95	8.24	7.84	8.90	8.49	8.72	8.42	8.11	8.80	7.98
	II <sub>f150</sub>	7.93	8.96	8.62	8.26	7.98	8.01	8.40	8.26	8.09	8.27
	II <sub>f200</sub>	6.90	8.67	7.87	8.22	8.22	8.00	7.91	8.37	7.52	8.50
	II <sub>f250</sub>	7.54	8.65	8.38	8.37	8.16	8.40	8.49	8.48	8.18	8.30
	III <sub>f50</sub>	7.22	8.34	8.51	8.43	8.12	8.11	8.50	8.41	8.62	8.04
III <sub>f100</sub>	7.93	8.72	8.45	8.31	8.79	8.08	8.11	8.59	9.03	8.75	
III <sub>f150</sub>	8.00	9.00	8.87	8.28	8.34	7.53	8.11	8.45	7.98	8.46	
III <sub>f200</sub>	7.06	8.81	8.45	8.02	8.18	7.40	8.00	7.71	8.25	8.67	
III <sub>f250</sub>	7.26	8.80	8.68	9.15	8.16	8.60	8.00	8.31	8.82	8.15	
IV <sub>f50</sub>	8.54	8.46	8.37	9.21	8.90	9.05	8.63	8.88	9.12	9.24	
IV <sub>f100</sub>	9.13	8.64	8.92	8.75	9.38	9.06	9.12	9.00	9.11	9.24	
IV <sub>f150</sub>	8.72	9.42	9.34	9.00	9.55	8.78	9.19	8.76	8.07	8.87	
IV <sub>f200</sub>	7.51	9.25	8.24	8.08	8.95	8.42	8.58	9.94	9.19	9.56	
IV <sub>f250</sub>	8.64	9.90	9.16	9.54	8.71	9.03	8.44	9.41	9.75	8.84	

Następnie, dla otrzymanych wyników pomiarów szerokości spoin określono wybrane parametry statystyczne (Tabela 5), na podstawie których (dla parametru Mean) zbudowano odpowiednie modele matematyczne.

Dane do programu R dla poszczególnych częstotliwości w kolejnych miejscach pomiaru oznaczonych jak na rys. 6 zestawiono w Tabeli 6. Wartości w niej zawarte są średnimi arytmetycznymi wyników 10 powtórzeń dokonanych pomiarów

Następnie, wykorzystując dane z Tabeli 6 dla każdej częstotliwości zbudowano w programie R model pierwszego rzędu (liniowy). Zestawienie opracowanych modeli zawiera Tabela 7. W modelach tych  $x$  – przyjmuje wartości: 1, 2, 3 lub 4 (miejsca pomiaru szerokości spoin).

W kolejnej tabeli (Tabela 8) zestawiono zmierzone i obliczone za pomocą opracowanych modeli wartości spoiny w poszczególnych punktach pomiarowych.

Rezultaty badań przedstawiono także w formie graficznej.

Na rysunkach 7÷11 przedstawiono porównanie zmian wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoiny w poszczególnych miejscach pomiarów dla poszczególnych częstotliwości prądu.

Na kolejnych rysunkach – rys. 12÷16, przedstawiono wykresy diagnostyczne „Residuals vs Fitted” dla zbudowanych modeli. Na osi odciętych są przedstawione dopasowane przez model wartości  $y$ , natomiast na osi rzędnych – wartości reszt, które dla modelu adekwatnego powinny mieć wartość warunkową średnią zero lub bliską zero.

Tabela 5. Wybrane parametry statystyczne pomiarów szerokości spoin [mm] dla danej częstotliwości prądu spawania

Miejsce pomiaru		Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max	d1	R	IQR	s
		I <sub>f50</sub>	6.56	7.395	7.870	7.901	8.467	8.83	0.609	2.27	1.0725
I <sub>f100</sub>	7.66	8.068	8.245	8.265	8.533	8.75	0.264	1.09	0.465	0.3504679	
I <sub>f150</sub>	7.88	8.000	8.210	8.230	8.432	8.64	0.210	0.76	0.433	0.2769677	
I <sub>f200</sub>	7.14	7.625	8.025	8.013	8.330	9.00	0.409	1.86	0.705	0.5579337	
I <sub>f250</sub>	7.30	8.115	8.270	8.206	8.422	8.60	0.248	1.30	0.308	0.3669756	
II <sub>f50</sub>	6.92	7.870	8.140	8.100	8.248	8.88	0.376	1.96	0.378	0.5477023	
II <sub>f100</sub>	7.84	8.012	8.330	8.345	8.662	8.90	0.321	1.06	0.650	0.3790119	
II <sub>f150</sub>	7.93	8.030	8.260	8.278	8.367	8.96	0.229	1.03	0.338	0.3188103	
II <sub>f200</sub>	6.90	7.880	8.110	8.018	8.332	8.67	0.378	1.77	0.453	0.5158337	
II <sub>f250</sub>	7.54	8.210	8.375	8.295	8.460	8.65	0.201	1.11	0.250	0.3025172	
III <sub>f50</sub>	7.22	8.113	8.375	8.230	8.482	8.62	0.286	1.40	0.370	0.4042277	
III <sub>f100</sub>	7.93	8.160	8.520	8.476	8.742	9.03	0.300	1.10	0.583	0.3605921	
III <sub>f150</sub>	7.53	8.027	8.310	8.302	8.457	9.00	0.322	1.47	0.430	0.4328664	
III <sub>f200</sub>	7.06	7.782	8.100	8.055	8.400	8.81	0.417	1.75	0.618	0.5477479	
III <sub>f250</sub>	7.26	8.152	8.455	8.393	8.770	9.15	0.417	1.89	0.618	0.5379601	
IV <sub>f50</sub>	8.37	8.562	8.890	8.840	9.102	9.24	0.272	0.87	0.540	0.3204164	
IV <sub>f100</sub>	8.64	8.940	9.085	9.035	9.127	9.38	0.166	0.74	0.188	0.2199116	
IV <sub>f150</sub>	8.07	8.765	8.935	8.970	9.303	9.55	0.330	1.48	0.538	0.4330512	
IV <sub>f200</sub>	7.51	8.285	8.765	8.772	9.235	9.94	0.606	2.43	0.950	0.7405223	
IV <sub>f250</sub>	8.44	8.742	9.095	9.142	9.508	9.90	0.410	1.46	0.765	0.4955311	

Min – wartość minimalna; 1stQu. – dolny, pierwszy kwartył (Q<sub>1</sub>); Median – mediana (Q<sub>2</sub>); 3rdQu. – górny, trzeci kwartył (Q<sub>3</sub>); Max – wartość maksymalna; IQR – rozstęp między kwartyłowy; R – rozstęp próbek; s – odchylenie standardowe; d<sub>1</sub> – odchylenie od wartości średniej; Mean – średnia arytmetyczna

Tabela 6. Szerokości spoiny zmierzone w poszczególnych punktach

Miejsce pomiaru	Szerokość spoiny [mm] dla częstotliwości [Hz]				
	50 Hz	100 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz
I	7,901	8.265	8,230	8,265	8,206
II	8,100	8.345	8,278	8,345	8,295
III	8,230	8.476	8,302	8,476	8,393
IV	8,840	9.035	8,970	9,035	9,142

Tabela 7. Modele szerokości spoiny dla poszczególnych częstotliwości prądu

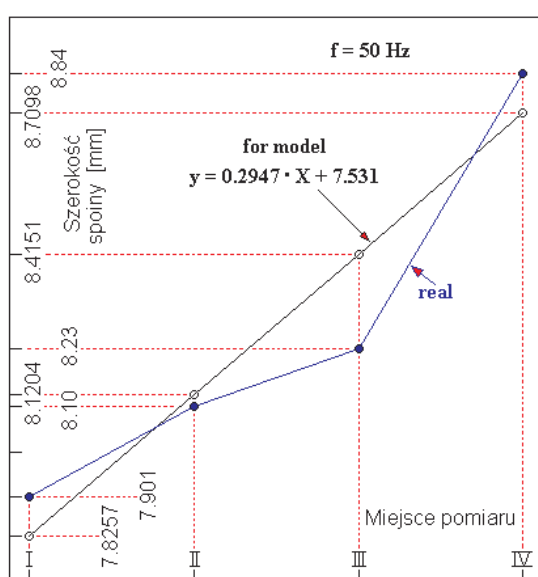
Częstotliwość, f Hz	Model
50	$y = 0,2947 x + 7,531$
100	$y = 0,2441 x + 7,920$
150	$y = 0,2244 x + 7,884$
200	$y = 0,2314 x + 7,626$
250	$y = 0,2906 x + 7,783$

Na podstawie analizy wartości zawartych w tabelach jak również form graficznych (wykresów) uzyskanych wyników można stwierdzić, że opracowane modele pozwalają dostatecznie dobrze oddać rzeczywisty obraz w zakresie szerokości spoin otrzymanych w rezultacie spawania metodą MIG próbek ze stopu aluminium.

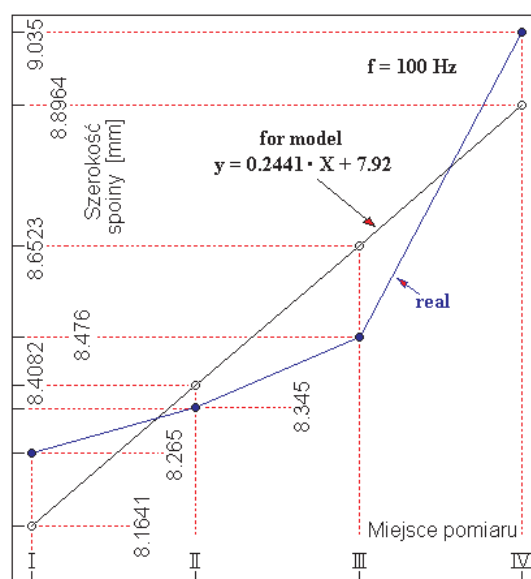


Tabela 8. Zestawienie zmierzonych i obliczonych wartości szerokości spoin

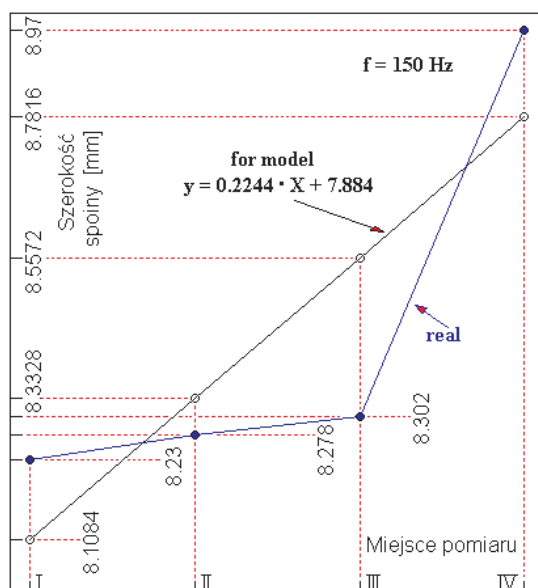
Miejsce pomiaru	Wartość	Szerokość spoiny [mm] dla częstotliwości [Hz]				
		50	100	150	200	250
I	zmierzona	7,901	8,265	8,230	8,265	8,206
	wg modelu	7,826	8,164	8,108	7,867	8,073
II	zmierzona	8,100	8,345	8,278	8,345	8,295
	wg modelu	8,120	8,408	8,333	8,099	8,364
III	zmierzona	8,230	8,476	8,302	8,476	8,393
	wg modelu	8,415	8,652	8,557	8,330	8,654
IV	zmierzona	8,840	9,035	8,970	9,035	9,142
	wg modelu	8,710	8,896	8,782	8,562	8,945



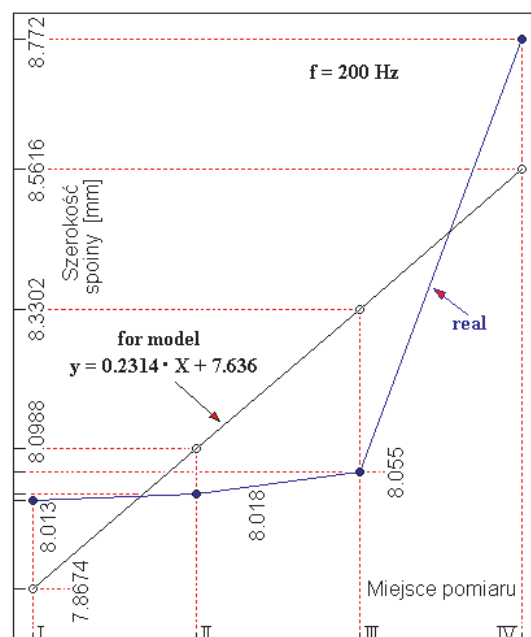
Rys. 7. Porównanie graficzne wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoin dla częstotliwości  $f = 50$  Hz



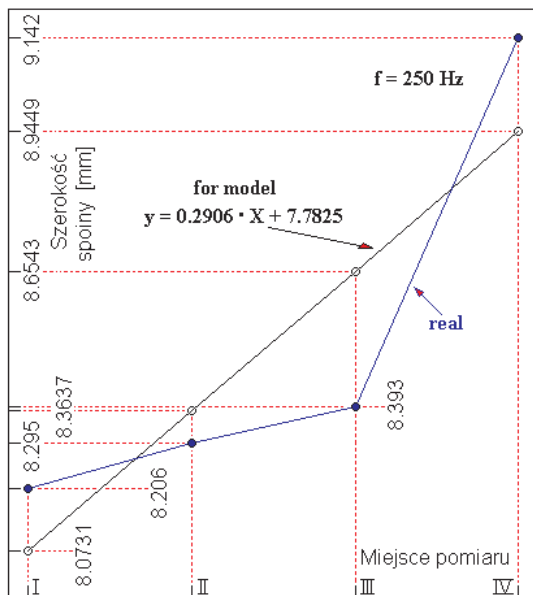
Rys. 8. Porównanie graficzne wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoin dla częstotliwości prądu  $f = 100$  Hz;



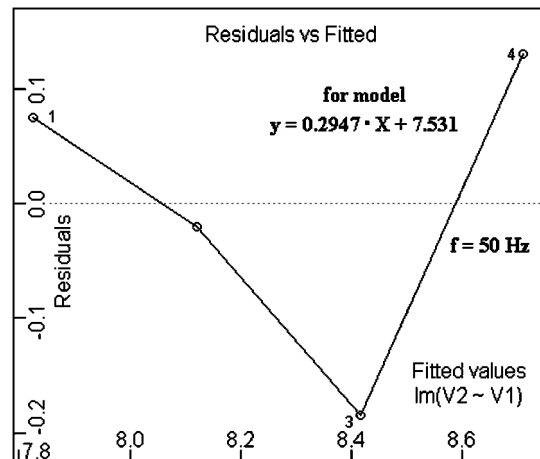
Rys. 9. Porównanie graficzne wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoin dla częstotliwości prądu  $f = 150$  Hz;



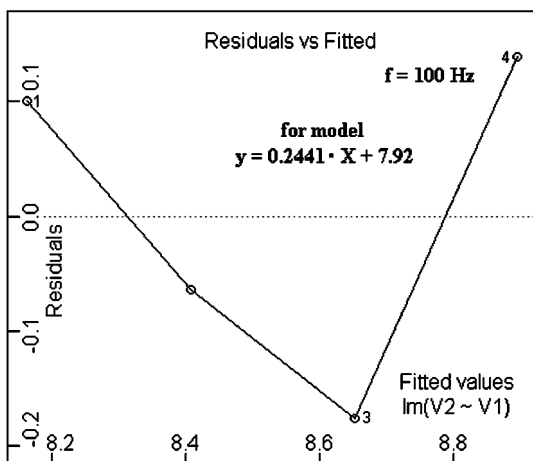
Rys. 10. Porównanie graficzne wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoin dla częstotliwości prądu  $f = 200$  Hz;



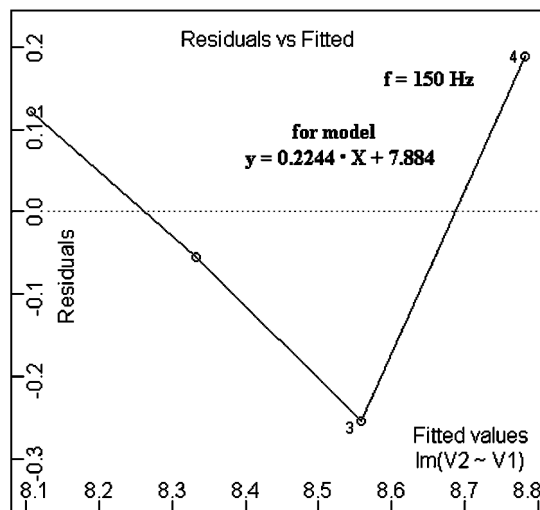
Rys. 11. Porównanie graficzne wartości rzeczywistych i modelowych szerokości spoin dla częstotliwości prądu  $f = 250$  Hz;



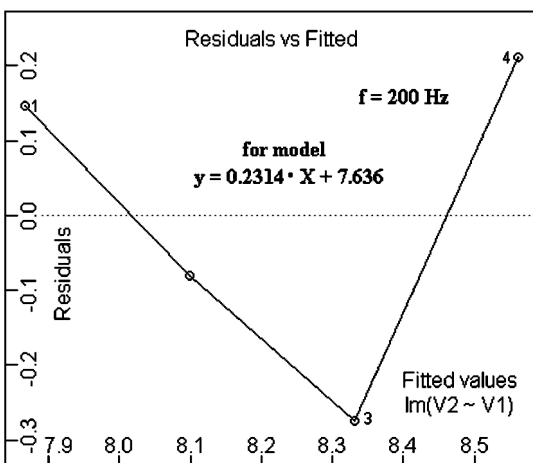
Rys. 12. Wykres diagnostyczny "Residuals vs Fitted" dla częstotliwości prądu  $f = 50$  Hz



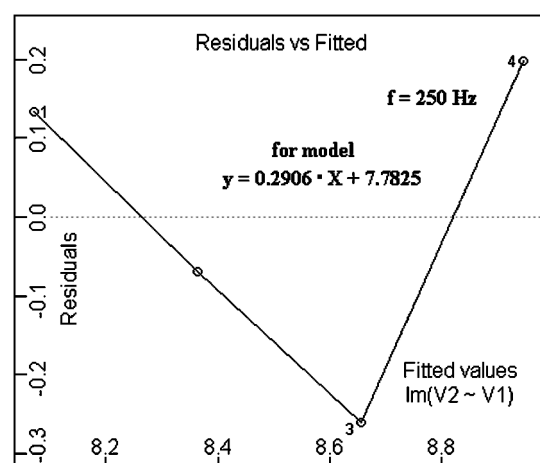
Rys. 13. Wykres diagnostyczny "Residuals vs Fitted" dla częstotliwości prądu  $f = 100$  Hz



Rys. 14. Wykres diagnostyczny "Residuals vs Fitted" dla częstotliwości prądu  $f = 150$  Hz



Rys. 15. Wykres diagnostyczny "Residuals vs Fitted" dla częstotliwości prądu  $f = 200$  Hz



Rys. 16. Wykres diagnostyczny "Residuals vs Fitted" dla częstotliwości prądu  $f = 250$  Hz

## Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań dokonano poniższych spostrzeżeń:

– szerokość spoin dla miejsc pomiarów 1, 2 oraz 3 są bardzo zbliżone. Gdyby nie zakończenie spoiny, można by przyjąć szerokość spoin jako stałą wartość dla danej częstotliwości prądu spawania;

– szerokość spoiny w miejscu jej zakończenia (miejsce nr 4) powoduje, że zbudowany model liniowy pokazuje tendencje wzrostową szerokości spoin. W przeciwnym przypadku model ten byłby praktycznie linią poziomą, czyli stałą szerokość spoin;

– powodu zwiększenia szerokości spoiny w miejscu jej zakończenia należy upatrywać w specyficznych warunkach spawania w chwili wygaszenia łuku spawalniczego;

– różnice szerokości spoin dla poszczególnych częstotliwości prądu spawania praktycznie są niewielkie, czasami nawet są to tylko dziesiąte części milimetra.

W pracy o tym nie wspomniano, ale podczas wykonywania spoin dla częstotliwości prądu  $f = 200$  Hz oraz  $f = 250$  Hz można było usłyszeć specyficzne, nieprzyjemne dla ucha i uciążliwe piski utrudniające pracę.

Opisane wyżej spawanie wykonywane były manualnie. Konieczne wydaje się porównanie wyników tych badań z wynikami spoin wykonywanych, przy tych samych parametrach technicznych, przez automat spawalniczy lub robot spawalniczy (w celu wyeliminowania ewentualnych błędów związanych z czynnikiem ludzkim) dla ich potwierdzenia lub ich zaprzeczenia.

Koniecznym też wydaje się poddanie w/w próbek badaniom nieniszczącym odnośnie ich jakości.

## Literatura

1. Arnold S.F.: The theory of linear models and multivariate analysis. Wiley, New York, 1981.
2. Bailey N.T.J.: Statistical Methods in Biology. The English Universities Press Ltd, London, 1959.
3. Biecek P.: Przewodnik po pakiecie R. Oficyna Wydawnicza GiS, Wrocław 2017.
4. Biecek P.: Analiza danych z programem R. Modele liniowe z efektami stałymi, losowymi i mieszanymi. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
5. Dębski E., Szymański A.: Poradnik inżyniera: spawalnictwo. tom 1. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2012.
6. Hillar J., Jarmoszuk S.: Wiadomości wspólne z zakresu spawania gazowego i elektrycznego. Wydawnictwo „ZETDEZET” Sp. z o.o., Warszawa 1991.
7. [https://metal.eu/aluminium/aluminium-EN-AW-6082-ISO\\_-AlMgSiMn-EN\\_-AW-ALSiMgMn-PN\\_-PA-4-DIN\\_-AlMgSi1-wnr\\_-3.2315/](https://metal.eu/aluminium/aluminium-EN-AW-6082-ISO_-AlMgSiMn-EN_-AW-ALSiMgMn-PN_-PA-4-DIN_-AlMgSi1-wnr_-3.2315/)
8. Koronacki J., Mielniczuk J.: Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
9. Mizerski J.: Spawanie. Wiadomości podstawowe. Podręcznik dla spawaczy i personelu nadzoru spawalniczego. Wydawnictwo REA s.j., Warszawa 2005. ■