

Anna RUDAWSKA<sup>1</sup>  
Łukasz SOSNOWSKI<sup>2</sup>

## WYBRANE ZAGADNIENIA WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ SPAWANYCH I KLEJOWYCH STALI KONSTRUKCYJNEJ S235JR

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia wytrzymałości połączeń spawanych i klejowych stali konstrukcyjnej S235JR. Przedmiotem badań były zarówno połączenia spawane, jak i połączenia klejowe próbek wykonanych z blachy stalowej konstrukcyjnej St3S o grubości 2,5 oraz 3 mm. Do wykonania połączeń spawanych wykorzystano dwie metody spawania TIG oraz MIG/MAG, stosując śrutowanie jako sposób przygotowania powierzchni. Podczas spawania metodami TIG i MIG/MAG zmiennymi parametrami były: natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu. W obydwu przypadkach gazem ochronnym był CO<sub>2</sub> podawany ze stałą prędkością. Do wykonania połączeń klejowych zastosowano klej epoksydowy dwuskładnikowy, a jako sposób przygotowania powierzchni – obróbkę mechaniczną za pomocą papieru ściernego KL381-320 oraz odtłuszczenie za pomocą acetonu. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z normą EN DIN 1465. Uzyskane wyniki badań wskazały na różnice w otrzymanych wartościach wytrzymałości w zależności od zastosowanej metody łączenia, a także grubości łączonych materiałów.

**Słowa kluczowe:** połączenia spawane, połączenia klejowe, wytrzymałość

### 1. Wprowadzenie

Spajanie metali zaczęło rozwijać się już w XIX wieku [1, 2]. Opracowanie nowych metod spajania, do których zalicza się spawanie, zgrzewanie, lutowanie oraz klejenie, wynika m.in. z konieczności poszukiwania metod łączenia coraz to nowszych materiałów konstrukcyjnych, często o specyficznych właściwościach. W procesach montażu wykorzystuje się zarówno połączenia spawane, jak i klejowe, zwłaszcza w konstrukcjach, w których jest wymagane zastosowanie połączeń nierozłącznych, uwzględniając możliwości, korzyści oraz wymagania stawiane projektowanym połączeniom [3, 4].

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Rudawska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: (81) 5384323, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

<sup>2</sup> Łukasz Sosnowski, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: (81) 5384323.

Praca ma na celu określenie wpływu zmiennych parametrów spawania (natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu) na wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych. Przedstawiono także wyniki badań połączeń klejowych, przy czym w obu rodzajach połączeń zastosowano dwie grubości łączonych materiałów. Wyniki badań połączeń klejowych zawierają informacje, które można wykorzystać podczas wyboru rodzaju połączenia, uwzględniając jako jedno z kryterium wyboru wymaganą wytrzymałość.

## 2. Metodyka badań

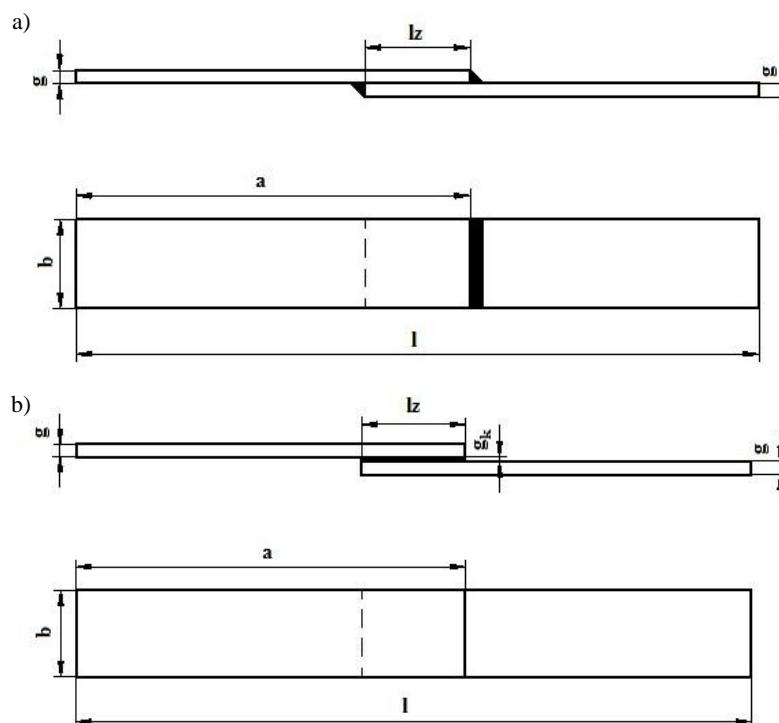
Materiałem wykorzystanym w badaniach była stal konstrukcyjna niestopowa S235JR (według PN-EN 10025-2:2007 [5]), której skład chemiczny zamieszczono w tab. 1. Dzięki swoim właściwościom ( $R_e = 235$  MPa,  $R_m = 375$  MPa,  $A = 26\%$  [6]) stal ta znajduje zastosowanie m.in. w wytwarzaniu elementów narażonych na obciążenia dynamiczne i statyczne. Ze stali S235JR bardzo często wykonuje się konstrukcje spawane. Ponadto materiał ten charakteryzuje się dobrą skrawalnością. Przedmiotem badań były połączenia spawane i klejowe jednozakładkowe, których kształt i oznaczenia wymiarów łączonych próbek przedstawiono na rys. 1., a wymiary zestawiono w tab. 2. i 3. Połączenia spawane wykonano dwoma metodami spawania TIG oraz MIG/MAG, stosując wybrane zmienne parametry technologiczne, takie jak: natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu wolframowego o średnicy 0,8 mm. W obydwu przypadkach gazem ochronnym był  $\text{CO}_2$  podawany ze stałą prędkością. Wykonano po 7 połączeń dla każdego wariantu spawania, w zależności od grubości łączonych blach. Parametry technologiczne przyjęte podczas wykonywania połączeń spawanych metodą TIG zestawiono w tab. 4., a metodą MIG/MAG – w tab. 5. W przypadku powierzchni elementów, które zostały poddane procesowi spawania, jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano śrutowanie śrutem stalowym o średnicy  $d = 0,5$  mm w śrutownicy kabinowej DP14.

Tabela 1. Skład chemiczny stali S235JR

Table 1. S235JR chemical composition

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]	Cu [%]
0,17	1,40	0,04	0,04	0,012	0,55

Do wykonania połączeń klejowych użyto kleju dwuskładnikowego epoksydowego Loctite 9484 [7], charakteryzującego się średnią lepkością oraz średnim czasem przydatności do klejenia (40 min w temperaturze  $22^\circ\text{C}$ ). Czas utwardzania kleju w temperaturze  $22^\circ\text{C}$  wynosi 180 min. W przypadku połączeń klejowych jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano obróbkę mechaniczną za pomocą papieru ściernego KL381-320, po której nastąpiło odtłuszcza-



Rys. 1. Kształt i oznaczenie wymiarów połączeń: a) spawanych, b) klejowych

Fig. 1. The shape and designation of joints dimensions: a) welded, b) adhesive

Tabela 2. Wymiary połączeń spawanych

Table 2. The welded joints dimensions

Oznaczenie wymiaru	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$g$ [mm]	$l$ [mm]	$l_z$ [mm]
Wymiar	90	20	2,5	156	24
			3		

Tabela 3. Wymiary połączeń klejowych

Table 3. The adhesive joints dimensions

Oznaczenie wymiaru	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$g_k$ [mm]	$g$ [mm]	$l$ [mm]	$l_z$ [mm]
Wymiar	90	20	0,1	2,5	154	26
				3	150	30

Tabela 4. Warunki techniczno-technologiczne wykonywania połączeń spawanych metodą TIG

Table 4. Technical and technological conditions of welded joints made of TIG method

Metoda/gaz	TIG / CO <sub>2</sub> 9 l/min					
Natężenie prądu [A]	60	65	70	75	80	85
Wariant spawania	1	2	3	4	5	6
Materiał o grubości 2,5 mm	-	+	+	+	+	-
Materiał o grubości 3,0 mm	+	+	+	+	+	+

Tabela 5. Warunki techniczno-technologiczne wykonywania połączeń spawanych metodą MIG/MAG

Table 5. Technical and technological conditions of welded joints made of MIG/MAG method

Metoda/gaz	MIG/MAG – CO <sub>2</sub> 12 l/min					
Materiał	<i>g</i> = 2,5 mm			<i>g</i> = 3,0 mm		
Wariant spawania	prędkość podawania drutu [m/min]	natężenie prądu [A]	napięcie prądu [V]	prędkość podawania drutu [m/min]	natężenie prądu [A]	napięcie prądu [V]
1.	5,0	104	15	5,5	101	17,0
2.	5,5	123	16	6,0	110	17,5
3.	6,0	125	17	7,5	130	19,5
4.	6,5	132	18	8,0	140	22,0

nie acetonem w celu usunięcia drobin materiału i innych zanieczyszczeń. Przygotowanie powierzchni oraz klejenie przeprowadzono w temperaturze  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ , przy wilgotności powietrza  $36 \pm 2\%$ . Proces utwardzania kleju był realizowany pod naciskiem 0,01 MPa w czasie 168 h. Wykonano po 7 połączeń w każdej partii próbek. Badania wytrzymałościowe dla każdej partii próbek połączeń zarówno klejowych, jak i spawanych były przeprowadzane zgodnie z normą DIN EN 1465 na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell 150.

### 3. Wyniki badań

Wyniki badań zależności wytrzymałości połączonych elementów (o grubości 2,5 mm oraz 3,0 mm) od natężenia prądu, spawanych metodami TIG (tab. 6.) oraz MIG/MAG (tab. 7.), nie wykazują wpływu zmiany natężenia prądu w badanym obszarze zmienności parametrów technologicznych na wytrzymałość na ścinanie połączeń spawanych. Obserwacje te dotyczą także wyników badań przedstawiających wpływ prędkości podawania drutu oraz napięcia prądu pod-

czas spawania metodą MIG/MAG. Analizując rezultaty badań zaprezentowane w tab. 7., zauważono, że w przypadku zastosowania metody MIG/MAG większą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia materiałów o większych grubościach. Obserwowany brak wpływu parametrów technologicznych na wytrzymałość na ścinanie połączeń spawanych (tab. 6. i 7.) dotyczy przyjętego obszaru zmienności tych parametrów.

Na podstawie przedstawionych wyników badań można zauważyć, że większą wytrzymałość na ścinanie uzyskały połączenia spawane metodą TIG, niższą zaś połączenia spawane metodą MIG/MAG. Dotyczy to połączeń blach zarówno o grubości 2,5 mm, jak i 3,0 mm. Należy jednak zauważyć, że niezależnie od zastosowanej metody spawania większą wytrzymałością (o około 13%) charakteryzowały się połączenia blach o większej grubości (tab. 6. i 7.). Analizując wpływ parametrów technologicznych wykonania połączeń spawanych, zauważono, że zmiana wartości natężenia prądu w badanym obszarze zmienności

Tabela 6. Wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych metodą TIG

Table 6. The welded joints strength of steel sheets made by TIG method

Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]			
Metoda TIG			
Lp.	natężenie prądu [A]	grubość łączonych blach [mm]	
		$g = 2,5$	$g = 3,0$
1	60	-	39,3
2	65	34,3	39,5
3	70	34,3	39,4
4	75	34,2	39,5
5	80	33,8	39,3
6	85	-	39,2

Tabela 7. Wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych metodą MIG/MAG

Table 7. The welded joints strength of steel sheets made by MIG/MAG method

Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]			
Metoda MIG/MAG			
Lp.	natężenie prądu [A]	grubość łączonych blach [mm]	
		$g = 2,5$	$g = 3,0$
1	101	-	33,5
2	104	29,6	-
3	110	-	33,4
4	123	28,8	-
5	125	29,1	-
6	130	-	33,6
7	132	29,4	-
8	140	-	33,5

parametrów technologicznych nie wpływa na wartość wytrzymałości na ścinanie (tab. 6. i 7.), przy czym spostrzeżenie to dotyczy przyjętego obszaru zmienności badanych parametrów. Zaobserwowano jedynie nieznaczne zmiany wartości uzyskanej wytrzymałości w zależności od przyjętego podczas spawania natężenia prądu, stosując zarówno metodę TIG, jak i MIG/MAG. Podobnych spostrzeżeń dokonano podczas analizy wpływu zmian prędkości podawania drutu oraz zmian napięcia prądu na wytrzymałość połączeń spawanych, wykonanych metodą MIG/MAG.

Wyniki wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych próbek o grubości blach 2,5 mm i 3,0 mm (tab. 8.) wskazują, że większą wytrzymałość połączeń klejowych uzyskano w przypadku połączeń elementów o większej grubości, dla których otrzymano także większą powtarzalność wyników wytrzymałości. Rozpatrując wytrzymałość połączeń klejowych zauważono, że większą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia blach o większej grubości (3,0 mm), w przypadku których otrzymano także mniejsze odchylenie standardowe. Wytrzymałość połączeń klejowych blach o grubości 2,5 mm stanowiła 92% wytrzymałość połączeń elementów o grubości 3 mm. Porównując wytrzymałość połączeń spawanych i klejowych, stwierdzono większą wytrzymałość połączeń spawanych w porównaniu z połączeniami klejowymi. W przypadku połączeń blach o grubości 2,5 mm wytrzymałość połączeń klejowych stanowiła 21,8% wytrzymałości połączeń spawanych metodą TIG, a 25,5% wytrzymałości połączeń spawanych metodą MIG/MAG. Dla grubości blach 3 mm wytrzymałość połączeń klejowych stanowił 19,2% wytrzymałości połączeń spawanych metodą TIG, a 22,6% wytrzymałości połączeń spawanych metodą MIG/MAG.

Tabela 8. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych

Table 8. The adhesive joints strength of steel sheets

Lp.	Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]		Wymiary			
			$l_z$ [mm]	$b$ [mm]	$l_z$ [mm]	$b$ [mm]
Grubość [mm]	$g = 2,5$	$g = 3,0$	$g = 2,5$		$g = 3,0$	
1	5,99	8,43	26,94	20,20	31,41	19,99
2	7,36	7,34	27,76	18,60	29,22	20,05
3	7,80	7,91	26,14	20,13	29,70	18,97
4	7,22	8,44	26,24	20,36	30,37	18,63
5	8,89	8,28	25,28	20,09	29,54	19,05
Średnia	7,45	8,08	26,47	19,88	30,05	19,34
Odchylenie standardowe	1,05	0,46	0,93	0,72	0,78	0,57

## 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Korzystne jest zastosowanie metody TIG do wykonania połączeń spawanych blach ze stali S235JR ze względu na większą wytrzymałość niż metody MIG/MAG.
2. Wytrzymałość połączeń spawanych blach o znaczniejszej grubości jest większa od wytrzymałości blach o mniejszej grubości o około 13%, niezależnie od zastosowanej metody.
3. Nie zauważono wpływu zmian rozpatrywanych parametrów technologicznych spawania w badanym obszarze zmienności (natężenia prądu, prędkości podawania drutu oraz napięcia prądu) na wytrzymałość połączeń spawanych w przyjętych zakresach zmian.
4. Wytrzymałość połączeń klejowych stanowi od 19 do 25% wytrzymałości połączeń spawanych w zależności od przyjętego wariantu spawania i grubości łączonych elementów.

Przedstawione wnioski dotyczą badań zrealizowanych przy określonych parametrach technologicznych wykonywanych połączeń spawanych i klejowych. Podsumowując, można zauważyć, że celowe jest prowadzenie dalszych badań analizowanych połączeń, uwzględniając zarówno czynniki konstrukcyjne, jak i technologiczne, wpływające na wytrzymałość połączeń spawanych i klejowych.

## Literatura

1. Wojciechowski W.: Techniki wytwarzania. Tom III. Wybrane zagadnienia ze spawalnictwa. Politechnika Krakowska, Kraków 1990.
2. Ferenc K., Ferenc J.: Konstrukcje spawane. Połączenia. WNT, Warszawa 2000.
3. Mistur L., Czuchryj J.: Metody spawania oraz sposoby oceny jakości złączy spawanych. KaBe, Krosno 2005.
4. Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
5. PN-EN 10025:2007: Systemy oznaczania stali – Część 1: Znaki stali.
6. PN-90/B-03200: Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
7. Rudawska A., Trebik P.: Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych i lutowanych blach stalowych. Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 4/2012, s. 45-49.

## THE SELECTED ISSUES OF WELDED AND BONDED JOINTS STRENGTH OF S235JR CONSTRUCTIONAL STEEL

### **A b s t r a c t**

The article presents selected issues of welded joints and adhesive joints strength of constructional steel S235JR. Test subject were both welded joints and adhesive joints samples made of St3S sheet steel with a thickness of 2,5 mm and 3 mm. To implement welded joints two methods of welding TIG and MIG/MAG were applied. A shot peening was a method to prepare the surface. When welding by using TIG and MIG/MAG methods variables parameters were: current intensity, voltage, wire feed speed. In both cases, the protective gas CO<sub>2</sub> was injected at a constant speed. In the case of adhesive joints, two-component epoxy adhesive is used to make them, and as a way of preparing the surface machining has been applied by using the abrasive paper – 320 KL381 and degreasing with acetone. Strength tests were carried out according to EN DIN 1465. Obtained test results pointed out the differences in the strength values obtained depending on the method of joining, as well as the thickness of the joining materials.

**Keywords:** welded joints, adhesive joints, strength

DOI: 10.7862/rm.2013.5

*Otrzymano/received: 25.02.2013*

*Zaakceptowano/accepted: 17.04.2013*