

# Technologia spawania orbitalnego metodą TIG austenitycznej stali nierdzewnej X5CrNi18-10

Orbital TIG welding of X5CrNi18-10 austenitic stainless steel

## Streszczenie

W artykule przedstawiono technologię spawania złączy rur z austenitycznej stali nierdzewnej X5CrNi18-10 o wymiarach:  $\varnothing$  50,8 x 1,5 mm, wykonanych metodą spawania orbitalnego TIG bez użycia materiału dodatkowego. W zakresie przeprowadzonych badań wykonano: badania składu chemicznego, badania zawartości ferrytu delta, badania nieniszczące złączy spawanych, badania wizualne wraz z oceną barw nalotowych od strony grani spoiny oraz od strony lica spoiny (wg duńskiego raportu 94.34 Instytutu Force Technology oraz amerykańskich przepisów ASME BPE - 2012), badania radiograficzne, badania niszczące złączy spawanych. Przeprowadzone badania wykazały, że zaproponowana technologia pozwala na uzyskanie złączy spawanych spełniających wymagania w zakresie kwalifikowania technologii spawania.

**Słowa kluczowe:** stal nierdzewna austenityczna; spawanie orbitale; spawanie TIG; właściwości; ferryt delta

## Abstract

The article presents the welding technology of pipe joints made of austenitic stainless steel X5CrNi18-10 with dimensions:  $\varnothing$  50,8 x 1,5 mm, made by TIG orbital welding method without the use of additional material. The following tests were carried out: chemical composition tests, delta ferrite content tests, non-destructive testing of welded joints, visual tests together with the assessment of tinge from the root side and weld face (according to the Danish Institute of Life Technology 94.34 report and the American ASME BPE standard 2012), radiographic examinations, destructive tests of welded joints. The tests have shown that the proposed technology allows to obtain welded joints that meet the requirements for the qualification of welding technology.

**Keywords:** austenitic stainless steel; orbitals welding; TIG welding; properties; delta ferrite

## Wstęp

Spawanie orbitalne, określane także jako spawanie obwodowe, wzięło swoją nazwę od łacińskiego słowa „orbis” oznaczającego okrąg. Metoda spawania orbitalnego jest dedykowana głównie do łączenia doczołowego elementów cylindrycznych w postaci rur. Stosując odpowiednie oprzyrządowanie możliwe jest także wykonanie połączenia rur z dnem sitowym, co ma zastosowanie w instalacjach wymienników ciepła. Pierwsze zastosowanie metody spawania orbitalnego datuje się na rok 1960, kiedy proces ten został wdrożony do łączenia przewodów hydraulicznych w przemyśle kosmicznym i lotniczym. Użyta wtedy zmechanizowana metoda spawania orbitalnego, podobnie jak obecnie, polegała na łączeniu zamocowanych na sztywno materiałów o cylindrycznym kształcie, po obwodzie których poruszał się palnik TIG z jarzącym się łukiem elektrycznym. Mechanizacja spawania obwodowego rur metodą TIG przyczyniła się do uzyskania lepszej jakości spoiny niż w przypadku spawania ręcznego. Pierwsze w Europie instalacje rurowe wykonane przy użyciu metody spawania orbitalnego TIG

powstały ok. 1962 roku. Dalszy rozwój spawania orbitalnego i jego szersze zastosowanie w przemyśle przypadły na wczesne lata 80. ubiegłego wieku. Obecnie ręczne wykonywanie spoin obwodowych rur jest często zastępowane zautomatyzowanym procesem spawania orbitalnego TIG. Takie rozwiązanie jest zdecydowanie lepsze w przypadku wystąpienia niedogodnego dostępu do spawanego złącza, ograniczenia bądź całkowitego braku możliwości obrotu złącza względem elektrody czy zmianą pozycji spawania, mającą wpływ na zmieniające się warunki podczas procesu. W przypadku wystąpienia takich trudności podczas wytwarzania instalacji, zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie procesu zautomatyzowanego, który jest w stanie zapewnić wysoką jakość połączeń spawanych, powtarzalność oraz precyzję i możliwość sterowania przebiegiem spawania. Aplikacja spawania orbitalnego w procesach spawalniczych pozwala na sterowanie parametrami, dzięki czemu możliwa jest ich ciągła kontrola i korekta, czego nie można osiągnąć w przypadku manualnego

**Dr hab. inż. Jacek Górka, prof. PŚI; mgr inż. Karolina Grzesica** – Politechnika Śląska; **mgr inż. Krzysztof Golda** – KALLA Sp. z o.o.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: [jacek.gorka@polsl.pl](mailto:jacek.gorka@polsl.pl)

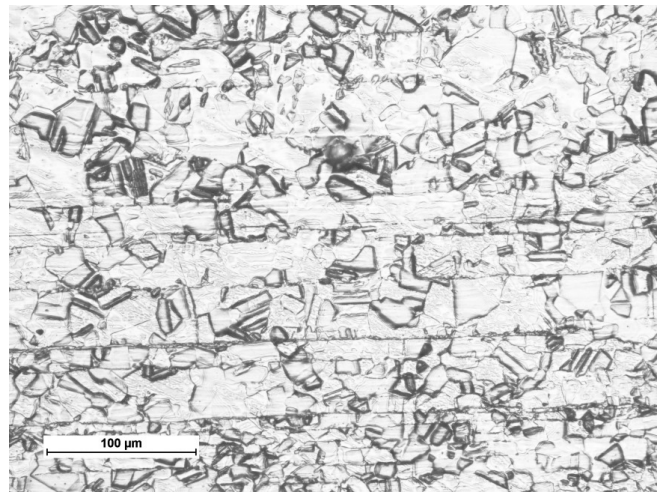
wykonywania złącza. Duża dokładność metody oraz możliwość programowania i sterowania procesu przekłada się na uzyskanie wysokiej estetyki złącza o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych i eksploatacyjnych [1÷12].

## Badania własne

Celem pracy było opracowanie technologii spawania rur z austenitycznej stali nierdzewnej X5CrNi18-10 (1.4301, 304) o wymiarach:  $\varnothing 50,8 \times 1,5$  mm, wykonanych metodą spawania orbitalnego TIG bez użycia materiału dodatkowego (142). Skład chemiczny oraz własności mechaniczne stali przedstawiają tablice I oraz II, a strukturę rysunek 1.

### Proces spawania

Materiał przed spawaniem został odtłuszczony przy użyciu acetonu i przygotowany na „l”. Złącza próbne były wykonywane zgodnie z instrukcją technologiczną spawania przygotowaną na podstawie badań wstępnych (rys. 2).



Rys. 1. Austenityczna struktura stali X5CrNi18-10, trawienie: woda królewska

Fig. 1. Austenitic structure of X5CrNi18-10 steel, etching: aqua regia

Tablica I. Skład chemiczny stali X5CrNi18-10 wg PN-EN 10088-1

Table I. Chemical composition of X5CrNi18-10 steel according to PN-EN 10088-1

Oznaczenie stali		Skład chemiczny, % masy							
Znak	Numer	C	Si	Mn	P <sub>max</sub>	S	N	Cr	Ni
X5CrNi18-10	1.4301	≤0,07	≤1	≤2	0,045	≤0,015	≤0,11	17,5÷19,5	8÷10,5

Tablica II. Własności wytrzymałościowe stali X5CrNi18-10 wg PN-EN 10217-7

Table II. Mechanical properties of X5CrNi18-10 according to PN-EN 10217-7

Oznaczenie stali		Własności wytrzymałościowe w temperaturze pokojowej			
Znak	Numer	Granica plastyczności [MPa]		Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Wydłużenie wzdłużne [%]
X5CrNi18-10	1.4301	R <sub>p0,2</sub> min.	R <sub>p0,1</sub> min.	R <sub>m</sub>	A min.
		195	230	500÷700	40

KALLA		INSTRUKCJA TECHNOLOGICZNA SPAWANIA WELDING PROCEDURE SPECIFICATION				Strona/stron Site/sites 1/2
WPS nr 03/KA rev.0		Metoda przygotowania : Preparation method		Cięcie mechaniczne, odtłuszczenie Mechanical cutting, degreasing		
Nr WPS: WPS no.	03/KA rev.0	Materiał podstawowy: Base material		1.4301 Group 8.1 acc. ISO-15608		
Nr WPOR: WPOR no.	---	Grubość materiału [mm]: Thickness		1.5 [mm]		
Wytwórca: Company name	KALLA Sp z o.o.	Średnica zewnętrzna [mm]: Outsider diameter		50.8 [mm]		
Proces spawania: Welding process	142 Orbital	Pozytcje spawania: Welding position		PK		
Typ złącza i spoiny: Joint type	BW	Konstrukcja złącza Preparation details		Kolejność spawania Weld sequence		
Nr Ściegu Pass No.	1	Proces spawania Welding process	Natężenie prądu spawania [A] Amp. range	Napięcie luku [V] Volt. range	Rodzaj prądu / biegunowość Type/Polarity	Pręđ. przesuwu [mm/min] Welding speed
1	142 Orbital	Załącznik strona 2 Attachment page 2	Załącznik strona 2 Attachment page 2	Załącznik strona 2 Attachment page 2	DC puls. (-)	Załącznik strona 2 Attachment page 2
Źródło prądu Power source		ORBIMAT 165 CA		Głowica Weldhead		ORBIWELD 76S
Materiał dodatkowy Filler material		-		Temp. międzycięgowa Interpass temperature		-
Topnik Flux		-		Obrobka ciepła po spawaniu Postweld heat treatment		-
Warunki suszenia Dry conditions		-		Czas, temperatura, prędkość Time, temperature, Speed		-
Gaz osłonowy / nat. przepływu Shielding gas / flow rate		Ar II acc. PN-EN ISO 14175 / 8 - 12 [l/min]		Długość luku spawalniczego Welding arc length		0,9-1,6 mm
Gaz osłony grani / nat. przepływu Banking gas / flow rate		Ar II acc. PN-EN ISO 14175 / 8 - 18 [l/min]		Dopuszczalny zakres korekty parametrów prądowych		± 15%
Podgrzewanie wstępne Preheat		Osuszające Drying		Dopuszczalny zakres korekty parametrów prądowych		± 15%

Rys. 2. Instrukcja technologiczna przeprowadzonego procesu spawania orbitalnego

Fig. 2. WPS (Welding Procedure Specification) of the orbital welding process

KALLA		INSTRUKCJA TECHNOLOGICZNA SPAWANIA WELDING PROCEDURE SPECIFICATION				Strona/stron Site/sites 2/2	
pWPS nr 03/KA rev.0		Załącznik 1 WYDRUK PROGRAMU SPAWANIA ORBITALNEGO					
2015-11-20 10:15:11 OMNISCIA Ser.Nr.: 2015-1358		Parametry prądu po spawaniu: Średnica OM 76 S 50.5 mm Średnica 50.5 mm		Prąd końcowy 3.0 A Czas tworzenia jezanka 4.0 sec Wygazowanie 5.0 sec Time delay time 0.0 sec Rotation during final slope Nie Regulacja gazu formującego Nie			
Data o parametrach programu spawania: Folder: STANDARD Program: 5016-002 Komentarz: Program utworzony automatycznie Typ głowicy: OM 76 S, Rodzaj materiału: 4301, Rodzaj gazu: Ar 100 %, Średnica rury: 50.5 mm, Grubość ścianki: 1.5 mm		Czas całkowity 155.1 sec Czas węgelnego gazu 21.0 sec Długość kanału gazowego Nie Czas zwłocznego gazu 20.0 sec Flux/flux Nie W-Pump delay 0.0 min Prąd zaprzeczenia 25.0 A		Doprowadzenie drutu Nie Szczepianie Nie Funkcja specjalna brak Prędkość z rampą Tak			
Sektor Kąt początkowy Kąt końcowy Czas sekcera Czas przejścia Prąd wysok. puls. Prąd nisk. puls. Czas wysok. puls. Czas nisk. puls. Prędkość WP Prędkość NP	1 0 ° 45 ° 14.0 sec 0.0 % 55.0 A 25.2 A 0.16 sec 0.16 sec 05.0 mm 05.0 mm	Sektor Kąt początkowy Kąt końcowy Czas sekcera Czas przejścia Prąd wysok. puls. Prąd nisk. puls. Czas wysok. puls. Czas nisk. puls. Prędkość WP Prędkość NP	2 45 ° 135 ° 20.0 sec 20.0 % 53.6 A 24.2 A 0.16 sec 0.16 sec 05.0 mm 05.0 mm	Sektor Kąt początkowy Kąt końcowy Czas sekcera Czas przejścia Prąd wysok. puls. Prąd nisk. puls. Czas wysok. puls. Czas nisk. puls. Prędkość WP Prędkość NP	3 135 ° 240 ° 32.7 sec 20.0 % 57.1 A 25.7 A 0.16 sec 0.16 sec 05.0 mm 05.0 mm	Sektor Kąt początkowy Kąt końcowy Czas sekcera Czas przejścia Prąd wysok. puls. Prąd nisk. puls. Czas wysok. puls. Czas nisk. puls. Prędkość WP Prędkość NP	4 240 ° 370 ° 40.4 sec 20.0 % 54.9 A 24.7 A 0.16 sec 0.16 sec 05.0 mm 05.0 mm
Wzrostki bezwzględne: Ciężkość ścianki 1.6 mm Różnica materiałowa 4301 Gaz osłonowy Ar 100 % Nośność gazu 8.0 m³/h Gaz formujący Ar 100 % Nośność gazu formującego 15.0 m³/h Typ elektrody Lantanowa Średnica elektrody 2.4 mm Kąt ostrzenia elektrody 22 ° Ciężkość elektrody 1.2 mm Rodzaj drutu Średnica drutu Komentarz: Ciężkość gazu formującego: 300 Pa							

Proces spawania orbitalnego TIG (142) przeprowadzono na automacie spawalniczym ORBIMAT 165 CA firmy Orbitalum (źródło prądu z wbudowanym sterownikiem orbitalnym) wyposażonym w głowicę zamkniętą typu ORBIWELD 76S. Do osłony lica i grani spoiny zastosowano argon o czystości 5.0 (I1 wg PN-EN ISO 14175). Natężenie przepływu gazu osłonowego wynosiło 8 dm<sup>3</sup>/min, poziom natężenia gazu formującego był ustalony tak, aby zapewniać ciśnienie względne na poziomie 300 Pa.

### Badania złączy spawanych

#### Badania składu chemicznego

Badania składu chemicznego stali X5CrNi18-10 zostały wykonane przy użyciu spektrometru rentgenowskiego S1 TITAN firmy BRUKER. Szacunkowe zawartości poszczególnych pierwiastków w badanej stali wyniosły: 17,5% chromu, 8,4% niklu, 1,5% manganu oraz 0,3% molibdenu, a także 0,2% kobaltu, 0,5% miedzi i 0,03% tytanu.

#### Badania zawartości ferrytu delta

Badania ilości ferrytu delta w złączy zostały przeprowadzone przy użyciu ferrytomierza typu FMP30 firmy FISCHER. Badania przeprowadzono na obwodzie każdej ze spoin – od strony lica oraz w materiale rodzimym. Wykonano po 7 pomiarów dla każdej lokalizacji. Średnia zawartość ferrytu delta w materiale rodzimym wynosiła 0,73, natomiast w spoinie 7,03. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1011-3 kryterium akceptacji dla stali austenitycznych mieści się w zakresie 3÷15 FN.

#### Badania wizualne

W celu klasyfikacji niezgodności i oceny jakości złączy przeprowadzono badania wizualne zgodnie z normą PN-EN ISO 6520-1, amerykańskimi przepisami ASME BPE-2012, a także duńskim raportem 94.34 Instytutu Force Technology. W celu obserwacji złączy od strony grani złącza przecięto mechanicznie na pół, w poprzek spoiny (rys. 3).

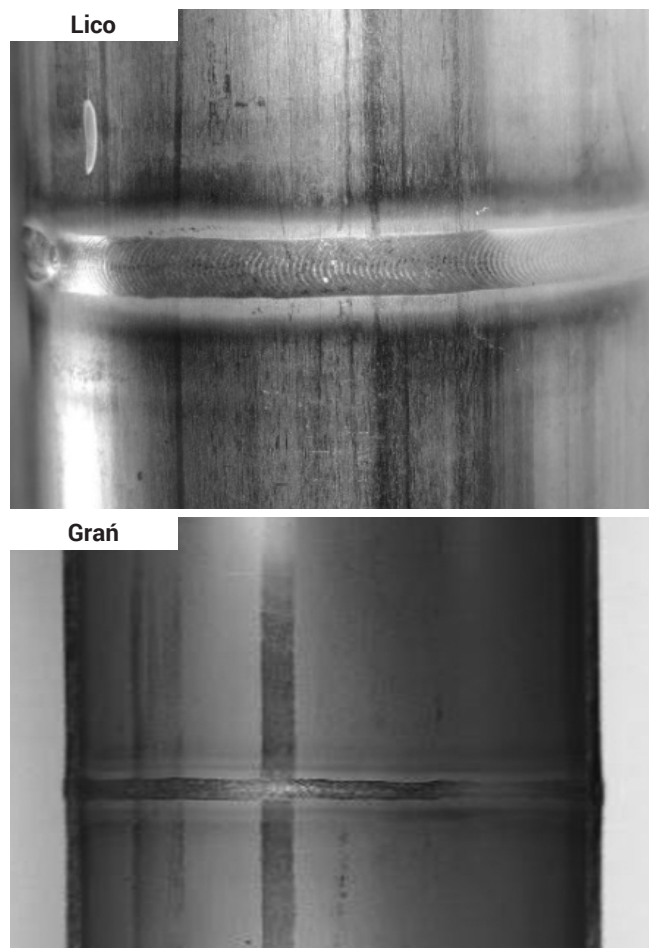
#### Badania radiograficzne

W celu wykrycia potencjalnych niezgodności wewnętrznych mogących występować w wykonanych złączach, przeprowadzono badania radiograficzne przy użyciu lampy rentgenowskiej SITEX CP200D firmy ICM. Próbkę prześwietlono za pomocą techniki eliptycznej, która jest stosowana dla spoin obwodowych i umożliwia prześwietlenie dwóch ścianek złączy. Wykonano dwie ekspozycje, przesunięte względem siebie o 90°. Badania przeprowadzono przy użyciu technik radiograficznych klasy B, cechujących się podwyższoną czułością. Wyniki badań radiograficznych przedstawiono na rysunku 4.

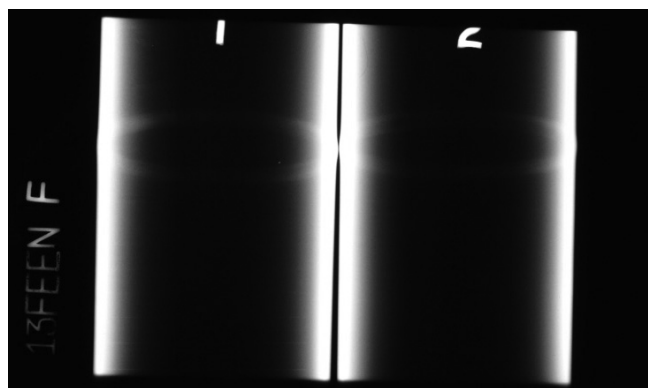
Tablica III. Wyniki badań wytrzymałościowych złączy

Table III. Results of strength tests of joints

Nr próbki	Właściwości wytrzymałościowe							Zginanie	
	Grubość [mm]	Szerokość [mm]	Przekrój [mm <sup>2</sup> ]	Dł. pomiar (L <sub>1</sub> /L <sub>0</sub> )	Siła [kN]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Kąt [°]	Ocena
R1	1,62	5,82	9,43	85,7/65	548	581	31,8	–	–
R2	1,58	6,14	9,70	88,3/65	572	590	35,8	–	–
G <sub>TRBB</sub> 1	1,62	8,34	13,51	–	–	–	–	180	pozyt.
G <sub>TRBB</sub> 2	1,64	8,14	13,34	–	–	–	–	180	pozyt.
G <sub>TFBB</sub> 1	1,62	7,90	12,80	–	–	–	–	180	pozyt.
G <sub>TFBB</sub> 2	1,70	8,60	14,62	–	–	–	–	180	pozyt.



Rys. 3. Widok złącza od strony lica i grani spoiny (stal X5CrNi18-10)  
Fig. 3. View of the joint from the face and root of the weld (steel X5CrNi18-10)



Rys. 4. Radiogram złącza spawanego w dwóch ekspozycjach  
Fig. 4. Radiogram of a welded joint in two expositions



**Badania mechaniczne**

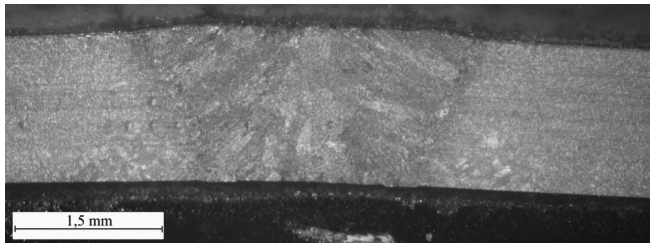
Złącza spawane poddano statycznej próbie rozciągania oraz próbie zginania poprzecznego. Próby przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu R20 o obciążeniu 40 kN. Statyczną próbę rozciągania wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 6892-1:2010 a próbę zginania poprzecznego z rozciąganiem od strony grani (TRBB) i lica (TFBB) spoiny czołowej zgodnie z normą PN-EN ISO 5173:2010. Do próby zginania zastosowano trzpień gnący o średnicy 10 mm. Wyniki badań wytrzymałościowych przedstawia tablica III.

**Badania metalograficzne**

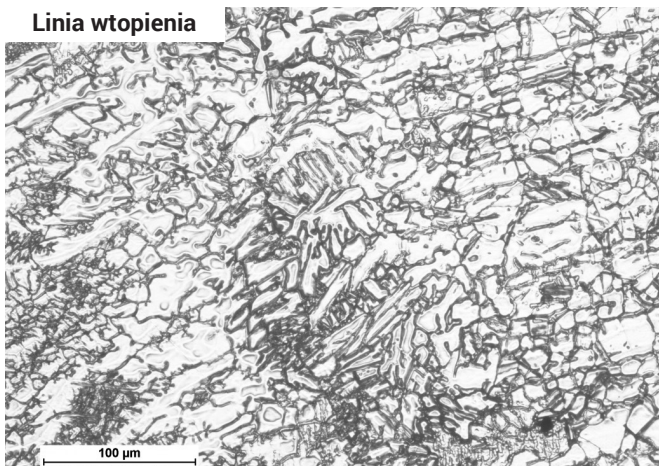
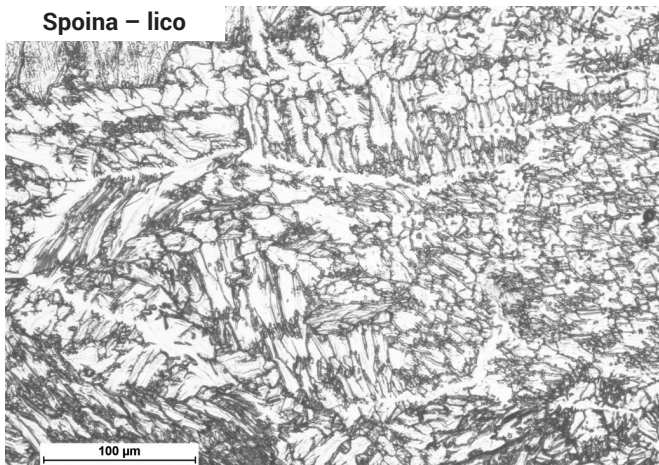
Obserwację makroskopową przeprowadzono na mikroskopie stereoskopowym Olympus SZX9, złącza do badań trawiono przy użyciu odczynnika Adlera (rys. 5), obserwację mikroskopową przeprowadzono na mikroskopie świetlnym Nikon Eclipse, mikrostrukturę ujawniono przy wykorzystaniu wody królewskiej (rys. 6).

**Badania twardości**

Badania twardości złączy zostały przeprowadzone zgodnie z PN-EN ISO 9015-1 wzdłuż jednej linii pomiarowej

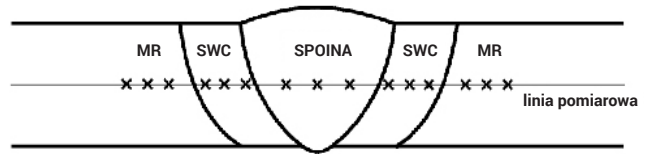


**Rys. 5.** Makrostruktura złącza spawanego, trawienie: odczynnik Adlera  
**Fig. 5.** Macrostructure of the welded joint, etching: Adler's reagent

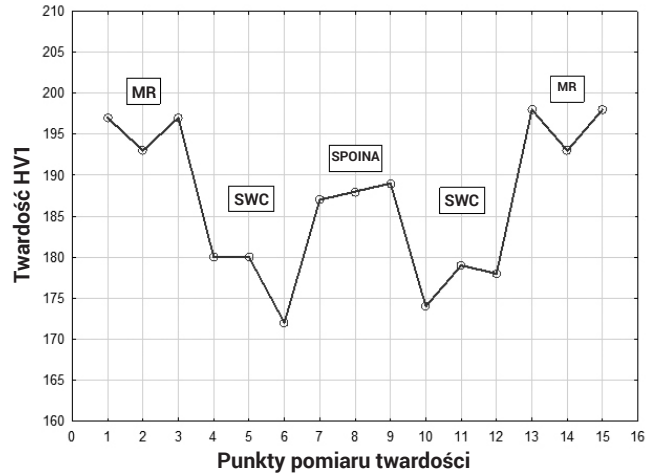


**Rys. 6.** Mikrostruktura złącza spawanego, trawienie: woda królewska  
**Fig. 6.** Microstructure of the welded joint, etching: aqua regia

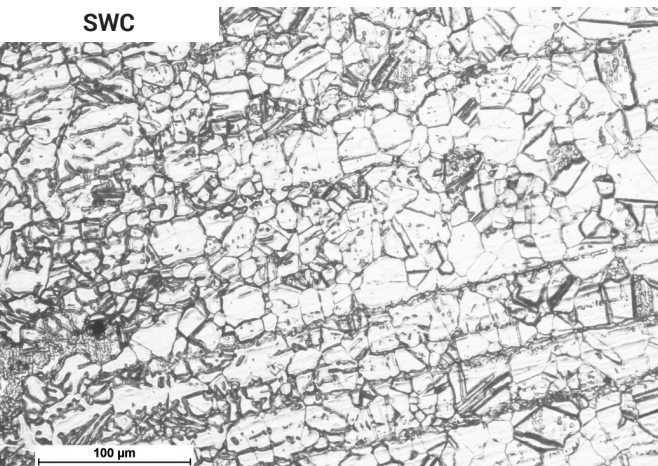
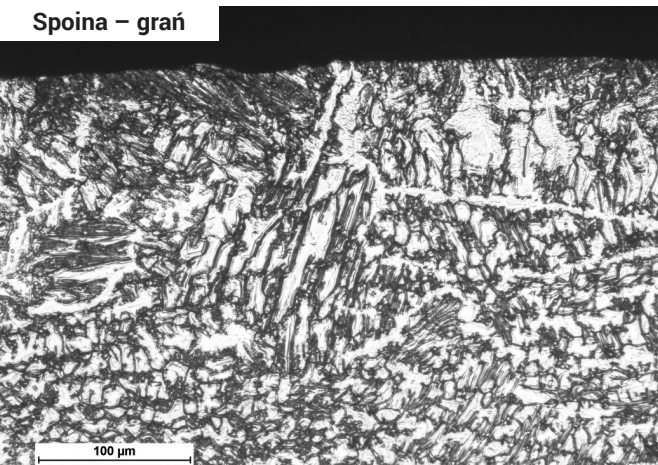
przechodzącej przez przekrój poprzeczny złącza spawanego w odległości 0,5 mm od lica spoiny (rys. 7). Pomiar twardości złączy spawanych zostały wykonane metodą Vickersa HV1 (siła obciążająca 9,807 N) na urządzeniu Wolpert Wilson Micro-Vickers 401MVD. Wyniki pomiaru twardości przedstawia rysunek 8.



**Rys. 7.** Schemat pomiaru twardości  
**Fig. 7.** Hardness measurement scheme



**Rys. 8.** Rozkład twardości na przekroju poprzecznym złącza spawanego  
**Fig. 8.** Hardness distribution on the cross-section of the welded joint



## Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania zawartości ferrytu delta w badanych złączach wykazały, iż materiał rodzimy charakteryzował się liczbą ferrytyczną na poziomie ok. 0,73 FN, natomiast po procesie spawania orbitalnego TIG ilość ferrytu delta w spoinie wyniosła 7,03 FN. Uzyskane wartości pomiarów wskazują, że zawartość ferrytu delta w spoinie mieści się w przedziale 3÷15 FN (zgodnie z PN-EN 1011-3), poniżej którego spoina byłaby narażona na pęknięcie gorące, natomiast zawartość ferrytu delta powyżej 15 FN wpływałby na zmniejszenie twardości, ciągliwości oraz odporności korozyjnej połączeń. Badania wizualne wykazały, że uzyskane w procesie spawania orbitalnego TIG złącza rur charakteryzowały się osiowością, a także spoiną o równomiernym licu i stałej szerokości 5 mm. Na powierzchni strefy wpływu ciepła od strony lica spoiny zaobserwowano występowanie barwnych nalotów – niezgodność 610 wg PN-EN ISO 6520-1 – tworzących się poprzez utlenianie chromu. W zależności od przeznaczenia danej konstrukcji niezgodność 610 może być dopuszczona lub wymagane będzie usunięcie warstwy nalotowej (np. instalacje w przemyśle farmaceutycznym, chemicznym, spożywcym), jednak złącza w których warstewki tlenkowe przekraczają dopuszczalny poziom muszą zostać usunięte i wykonane ponownie. Nie stwierdzono występowania innych niezgodności powierzchniowych występujących od strony lica spoiny. Obserwacja złączy od strony grani spoiny wykazała również występowanie warstw tlenkowych na powierzchni wykonanych złączy, które były widoczne w postaci barwnych nalotów. Z uwagi, iż polskie normy nie określają dopuszczalnego poziomu pozwalającego na pozostawienie warstwy tlenkowej lub jej usunięcie poprzez czyszczenie mechaniczne, chemiczne i pasywację konstrukcji, ocenę barw nalotowych przeprowadzono wg podziału

zawartego w duńskim raporcie 94.34 Instytutu Force Technology, a także amerykańskich przepisów ASME BPE-2012. Uzyskane złącza spawane spełniają wymogi typ B wg raportu 94.34 Instytutu Force Technology oraz wymagania normy ASME BPE - 2012 (od strony lica, jak i grani spoiny delikatne przebarwienia występujące w SWC). Badania radiograficzne nie uwiarydliły żadnych niezgodności wewnętrznych złączy spawanych. Przeprowadzona statyczna próba rozciągania wykazała, że uzyskane wartości wytrzymałości wynoszą 581÷590 MPa, co spełnia wymagania normy PN-EN 10217-7 (próbki ulegały zerwaniu w spoinie), a wydłużenie A5 uzyskano na poziomie 33%. Próby zginania złączy przeprowadzone zarówno od strony lica, jak i grani spoiny przy osiągnięciu kąta gięcia 180° nie wykazały występowania pęknięć, ani innych uszkodzeń złączy. Wskazuje to na wysoką plastyczność oraz brak niezgodności, a także wtrąceń mogących spowodować pęknięcie złącza w warunkach eksploatacji. Badania makroskopowe podobnie jak badania radiograficzne nie ujawniły niezgodności wewnętrznych, typu: przyklejenia, brak przetopu. Badania mikroskopowe złączy ujawniły występowanie bliźniaków ziaren w materiale rodzimym oraz strefie SWC, co jest wynikiem odkształcenia plastycznego jakiemu poddano materiał w procesie wytwórczym. Mikrostruktura spoin złączy badanej stali charakteryzowała się wermikularną (siatkową) budową ferrytu delta. W obszarze grani spoiny zaobserwowano lokalne zagęszczenia występowania ferrytu delta. Badania twardości metodą Vickersa przy obciążaniu HV1 wykazały, iż najwyższą twardością w złączu charakteryzował się materiał rodzimy – ok. 200 HV1. Średnia twardość obszaru SWC złączy wynosiła ok. 186 HV1, a spoin 189 HV1.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania procesu spawania orbitalnego TIG bez materiału dodatkowego dla wykonanych złączy doczołowych rur ze stali X5CrNi18-10 o wymiarach:  $\varnothing 50,8 \times 1,5$  mm wykazały, że przyjęta technologia pozwala na uzyskanie złączy spełniających wymagania kwalifikowania technologii spawania. Zawartość ferrytu delta w badanych złączach mieści się w przedziale 3÷15 FN, co m.in. wpłynęło na brak pęknięć gorących, jak i brak znacznego zmniejszenia się twardości czy ciągliwości badanych elementów. Wykonane złącza spełniają wymagania co do wartości wytrzymałości na rozciąganie wg normy PN-EN 10217-7. Ze względu na wymagania zawarte w duńskim raporcie 94.34 Instytutu Force Technology oraz amerykańskiej normie ASME BPE-2012, dotyczące barw nalotowych, złącza mogą być dopuszczone do użytku po przednim oczyszczeniu i pasywacji.

## Literatura

- [1] Weman K.: A History of Welding, Svetsaren, 1, 2004, pp. 32-35.
- [2] Grundmann J.: Wysokowydajne spawanie cienkich blach – TOPTIG(TM), Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 5, 2008, s. 69-71.
- [3] Kiszka A.: Spawanie orbitalne rur metodą TIG i A-TIG, Stal Metale & Nowe Technologie, 7-8, 2013, s. 63-66.
- [4] Aichele G.: Orbital welding – solutions for demanding tasks (Part 1), Welding and Cutting, 4, 2005, pp. 176-178.
- [5] Nowacki J., Dąbrowski A., Łukojć A.: Technologiczne aspekty automatycznego spawania orbitalnego stali duplex, Przegląd Spawalnictwa, 8-10, 2002, s. 35-40.
- [6] Białucki P., Lange A., Miazga K.: Spawanie orbitalne rur cienkościennych ze stali 316L, Przegląd Spawalnictwa, 10, 2012, s. 33-35.
- [7] Niagaj J., Jędrusiak A.: Wpływ składu gazu osłonowego oraz parametrów spawania orbitalnego metodą TIG na wymiary i jakość spoin obwodowych rurek z austenitycznej stali nierdzewnej, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 1, 2015, s. 25-29.
- [8] Lukkari J., Orbital – TIG – a great way to join pipes, vol. 60, Svetsaren, 1, 2005, pp. 3-6.
- [9] Parzych S., Pawłowski B., Krawczyk J., Bała.: Korozja wżerowa złączy spawanych stali austenitycznej X6CrNiTi18-10, Przegląd Spawalnictwa, 7, 2010, s. 14-17.
- [10] Łabanowski J., Głowacka M.: Przebarwienia powierzchni złączy spawanych stali odpornych na korozję, Przegląd Spawalnictwa, 6, 2008, s. 3-6.
- [11] Fydrich D.: Wpływ stanu powierzchni po spawaniu na odporność korozyjną austenitycznej stali nierdzewnej AISI 304, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 1, 2018.
- [12] Menzel M.: Osłona grani spoiny, Przegląd Spawalnictwa, 6, 2008, s. 23-25.