

WALIDACJA TECHNOLOGII SPAWANIA RUROCIĄGU W ASPEKCIE JAKOŚCI ZŁĄCZY MONTAŻOWYCH

Validation of pipeline welding technology in the aspect of quality assembly connections

Mirosława WIŚNIEWSKA, Maciej MATUSZEWSKI

Streszczenie: W pracy przeanalizowano możliwości zastosowania różnych technologii spawania doczołowych złączy rur w aspekcie uzyskanej jakości połączeń. Wykonano złącza próbne i dokonano szeregu badań nieniszczących i niszczących. Na podstawie tych badań stwierdzono, że każda z analizowanych technologii spawania została zakwalifikowana jako dająca pożądaną jakość złącza doczołowego montowanych rur w aspekcie poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817.

Słowa kluczowe: montaż rurociągu, walidacja, badania nieniszczące, badania niszczące

Abstract: The study investigated the possibility of using the butt welding technology of pipe joints in terms of the obtained quality of connections. Trial couplings were made and a number of non destructive and destructive tests were performed. Based on these studies it was found that each of the analyzed welding technologies was qualified as providing the desired quality of the butt joint of the assembled pipes in terms of the quality level B according to PN-EN ISO 5817.

Key words: assembly of pipeline, validation, non-destructive testing, destructive testing

Wprowadzenie

Spawanie według norm z serii ISO 9000, jako proces wytwórczy, jest zakwalifikowane do tzw. procesów specjalnych. Poprawności wykonanych złączy nie można ocenić wyłącznie po badaniach końcowych. W celu zapewnienia wymaganej jakości złączy spawanych, ich powtarzalności, a więc ograniczenia ilości poprawek, należy prowadzić walidację oraz monitorowanie stosowanej technologii. Zasadniczą częścią tego postępowania jest sprawdzenie technologii spawania w drodze kwalifikacji, w której należy stosować udokumentowane procedury, potwierdzone zazwyczaj przez niezależną jednostkę. Proces kwalifikowania technologii spawania opisuje szereg norm. Podstawą do wykonania spawania w warunkach produkcyjnych jest instrukcja technologiczna spawania (Welding Procedure Specification – WPS), która powinna określać wszystkie parametry charakteryzujące proces spawania. Na podstawie przeprowadzanej walidacji może być ona modyfikowana i poprawiana w zakresie podanych w niej istotnych zmiennych wielkości, które determinują jakość uzyskanego połączenia spawanego [1-5].

W pracy została dokonana ocena (walidacja) trzech możliwych do zastosowania technologii spawania doczołowych złączy rur przewodowych instalacji skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, w aspekcie uzyskanej jakości połączeń montażowych. Ocena wybranych własności mechanicznych, które determinują jakość złączy, została dokonana na podstawie przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących złączy próbnych.

Obiekt i metodyka badań

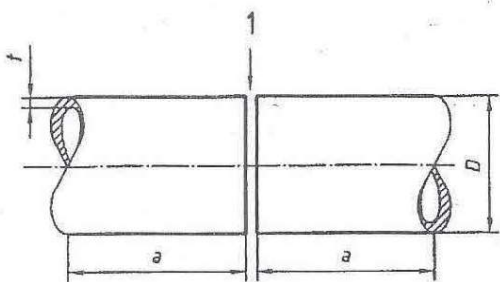
W celu wykonania montażu rurociągu technologicznego skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, należało wykonać doczołowe złącza spawane. Turbozespół upustowo-przeciwprężny jest turbiną parową przeciwprężną, która poza rozprężaniem pary umożliwia również jej upusty technologiczne.

Wybór metody spawania dokonano na podstawie walidacji opracowanych technologii montażowych. Do kwalifikacji (analizy), przyjęto następujące technologie [6]:

- spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną (111), które jest jedną z szeroko stosowanych technologii w warunkach montażowych,
- spawanie półautomatyczne elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (135), które jest dość uniwersalną oraz wydajną metodą i coraz częściej wypiera spawanie elektrodami otulonymi,
- spawanie półautomatyczne elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego (141), które ogólnie charakteryzuje się bardzo dobrą jakością uzyskiwanych spoin.

Do kwalifikacji technologii spawania złączy doczołowych rur przewodowych instalacji skroplin wybrano metodę kwalifikacji przez badania technologii spawania według PN-EN ISO 15614-1 [7]. Metoda ta polega na kwalifikowaniu WPS na podstawie wykonania według niej znormalizowanego próbnego złącza spawanego (rys. 1) i zbadania go w zakresie zgodnym z normą.

Przygotowanie – dopasowanie i wykonanie złącza (1), należało wykonać zgodnie z opracowaną wstępną instrukcją technologiczną spawania (pWPS), uwzględniając

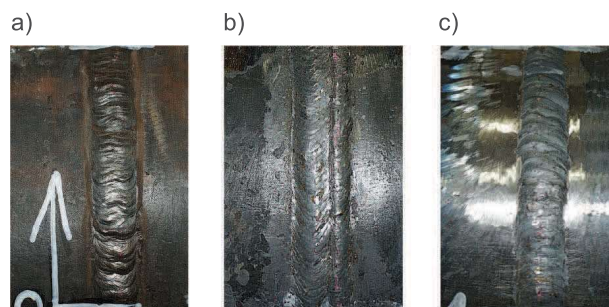


Rys. 1. Złącze próbne dla złącza doczołowego rury z pełnym przetopem (opis w tekście) [7]

Fig. 1. Test connector for butt plug full-pipe (description in the text) [7]

średnicę zewnętrzną rury ($D = 193,7$ mm) oraz grubość łączonego materiału ($t = 11$ mm). Minimalna długość rury użytej do wykonania złącza to 150 mm (a).

Złącza próbne zostały wykonane na przykładzie złączy doczołowych montowanego rurociągu. Wykonane zostały ze stali węglowej S420 o granicy plastyczności $Re = 420$ MPa (materiał rur). Materiał ten należy do grupy 1.3 według CR ISO 15608 [8] – są to drobnoziarniste stale normalizowane o $ReH > 360$ N/mm². Użyty materiał dodatkowy złącza próbnego był również z tej grupy



Rys. 2. Wygląd lica złącza próbnego: a) metoda 111, b) metoda 135, c) metoda 141

Fig. 2. Appearance of the test connector: a) method 111, b) method 135, c) method 141

materiałowej. Do wykonania złącza dla wszystkich badanych technologii przyjęto 5 ściegów, a łączone brzozy przygotowano z ukosowaniem symetrycznym na V. Poszczególne technologie montażowe wykonywano przy parametrach zestawionych w tab. 1-3.

Na rys. 2 przedstawiono wygląd lica złączy poszczególnych analizowanych metod.

Do badań złącza próbnego przyjęto zarówno badania nieniszczące (tzw. badania NDT) oraz niszczące. Zakres ten zależy m.in. od:

Tabela 1. Parametry spawania metodą 111

Table 1. Parameters of welding method 111

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	111	2,4	95 – 100	12,0 – 14,0	DC –
2	111	3,25	115 – 125	12,0 – 14,0	DC -
3	111	3,25	115 – 125	12,0 – 14,0	DC -
4	111	3,25	95 – 100	12,0 – 14,0	DC -
5	111	3,25	95 – 100	12,0 – 14,0	DC -

Tabela 2. Parametry spawania metodą 135

Table 2. Parameters of welding method 135

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	135	1,0	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -
2	135	1,2	125 – 135	13,0 – 15,0	DC -
3	135	1,2	125 – 135	13,0 – 15,0	DC -
4	135	1,2	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -
5	135	1,2	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -

Tabela 3. Parametry spawania metodą 141

Table 3. Parameters of welding method 141

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	141	2,4	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -
2	141	3,2	105 – 115	12,0 ÷ 13,0	DC -
3	141	3,2	105 – 115	12,0 ÷ 13,0	DC -
4	141	3,2	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -
5	141	3,2	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -

- kształtu złącza próbnego (złącze doczołowe blach, złącze doczołowe rur, złącze teowe, złącze odgałęzione),
- grubości i gatunku materiału.

Dla założonego do kwalifikacji technologii złącza próbnego (złącze doczołowe rur o grubości 11 mm z materiału w gatunku S420) w tab. 4 zestawiono typy i szczegółowe zakresy badań.

Tabela 4. Zakres badań złącza próbnego do kwalifikacji technologii spawania [7]

Table 4. Test specimen scope for qualification of welding technology [7]

	Typ badania	Zakres badania
Nieniszczące	Wizualne VT	100%
	Radiograficzne RT (lub ultradźwiękowe UT)	100%
	Penetracyjne PT (lub magnetyczno-proszkowe MT)	100%
Niszczące	Badanie na rozciąganie poprzeczne	2 próbki
	Badanie na zginanie poprzeczne	4 próbki (2 z rozciąganiem lica i 2 z rozciąganiem grani)
	Badanie udarności	2 zestawy (oś spoiny i linia wtopienia)
	Badanie twardości	2 linie (po 3 odciski w spoinie, obu strefach wpływu ciepła i obu materiałach podstawowych)
	Badanie makroskopowe	1 zgląd

Miejsce pobrania próbek do poszczególnych badań niszczących wskazane jest w normie [7] i publikacjach niezależnych jednostek kwalifikujących technologie [9]. Wymagane próbki powinny być pobrane po zakończeniu badań nieniszczących i spełnieniu ich kryteriów.

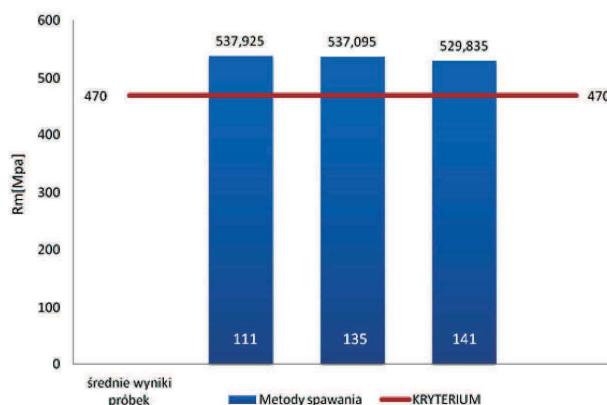
Z uwagi na warunki pracy rurociągu: wymagana szczelność, ciśnienie czynnika roboczego (pary świeżej) do 127,5 barów i temperatura do 535°C przyjęto, że spoiny powinny spełniać poziom jakości B wg PN-EN ISO 5817 [10].

Wyniki badań złączy próbnych i ich analiza

Wynikiem dla badań niszczących jest poziom jakości według normy PN-EN ISO 5817 [10]. Poziom jakości charakteryzuje jakość złącza spawanego w oparciu o rodzaj i wielkość niezgodności spawalniczych (skatalogowanych w normie PN-EN ISO 6520-1 [11]) i jest ustalany w oparciu o wymiar graniczny dla danej niezgodności.

Wyniki badań wizualnych, radiograficznych oraz penetracyjnych złączy dla wszystkich badanych technologii spełniały poziom jakości B wg EN ISO 5817 [10].

Badania na rozciąganie poprzeczne przeprowadzono zgodnie z PN-EN 895 [12] w temperaturze 20°C na urządzeniu ZD-40 o zakresie siły rozciągającej 8-400 kN i działce elementarnej 2,0 kN. Na podstawie próby rozciągania (siły zrywającej) wyznaczono wytrzymałość na rozciąganie i odniesiono do wymaganej minimalnej wytrzymałości zawartej w normie 470 MPa. Uzyskana wytrzymałość złącza każdej metody spawania jest przynajmniej o 12% wyższa od minimalnej wymaganej. Uzyskane wyniki odniesione do wymaganego minimalnego kryterium przedstawiono na rys. 3.



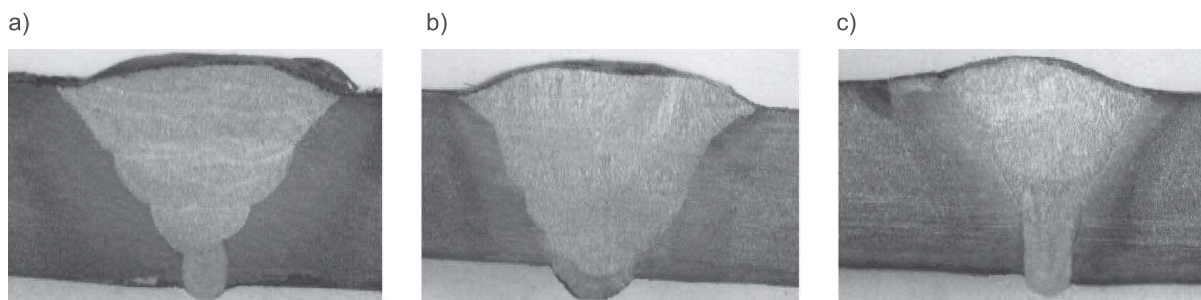
Rys. 3. Wyniki i kryterium badania na rozciąganie poprzeczne
Fig. 3. Results and testing criteria for transverse tensile stress

Badania na zginanie poprzeczne przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 6892-1 [13] w temperaturze 20°C, podobnie jak badanie na rozciąganie na maszynie wytrzymałościowej ZD-40 o zakresie siły rozciągającej 8 kN-400 kN i działce elementarnej 2,0 kN. Zastosowano trzpień o średnicy czterech grubości blachy. Wszystkie badane złącza spełniały wymagane kryteria, tzn. kąt gięcia 180° oraz brak pęknięć i naderwań.

Badania udarności przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 9016 [14] w temperaturze -40°C na młocie Charpy'ego PSW-30 o zakresie energii 0-300 J i działce elementarnej 1,0 J. Uzyskana wytrzymałość złącza w aspekcie energii łamania każdej metody spawania była przynajmniej o 56% wyższa od minimalnej wymaganej przy wykonanym karbie V prostopadle do powierzchni złącza z osi spoiny oraz przynajmniej o 80% przy wykonanym karbie V prostopadle do powierzchni złącza z linii wtopienia.

Badania twardości przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1 [15] na urządzeniu HPO-250 z obciążeniem 98N, oznaczając twardość HV10. Dla wszystkich analizowanych technologii wyznaczano twardość: materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła oraz spoiny, wszystkie wartości były zdecydowanie niższe od limitu wynoszącego dla zastosowanego materiału spawanego 380 HV10. Najwyższa zarejestrowana twardość (metoda 111, strefa wpływu ciepła) była o 41% mniejsza niż twardość dopuszczona w normie.

Badania makroskopowe wykonano na zglądach metalograficznych przekroju poprzecznego złączy. Po



Rys. 4. Wyniki badania makroskopowego: a) metoda 111, b) metoda 135, c) metoda 141
 Fig. 4. Results of macroscopic examination: a) method 111, b) method 135, c) method 141

szlifowaniu zgładów, w celu ujawnienia niezgodności, struktury i budowy spoiny oraz wielkości strefy wpływu ciepła, zostały one wytrawione odczynnikiem Adlera. Wyniki badań makroskopowych (rys. 4) dla badanych metod spawania spełniały poziom jakości B wg EN ISO 5817 (brak pęknięć, przyklejeń i innych nieakceptowanych niezgodności spawalniczych) [10].

Z przedstawionych wyników badań wynika, że spełnione zostały wymagane kryteria wszystkich przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących złącza próbnego zawartych w normach. Każda z analizowanych technologii spawania została zakwalifikowana jako dająca pożądaną jakość złącza doczołowego montowanych rur w aspekcie poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817 [10].

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań próbnych złączy doczołowych rur wykonanych analizowanymi technologiami stwierdzono, że każda z metod spawania zapewnia zadowalające wyniki w porównaniu do stawianych im kryteriów akceptacji. Wyniki badań nieniszczących dla wszystkich technologii potwierdziły pożądaną jakość złącza montażowego. Wyniki badań niszczących każdej z metod spełniały kryteria z pewną rezerwą, pozwalającą na pozytywną ocenę własności mechanicznych złączy.

Na tej podstawie można stwierdzić, że dla analizowanego przypadku doboru technologii spawania doczołowych złączy rur przewodowych instalacji skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, mogą być stosowane wszystkie rozpatrywane technologie. W celu wyboru najkorzystniejszej metody spawania powinno się przyjąć nie tylko kryteria techniczne, ale również ekonomiczne. Określenie tych kryteriów pozwoliłoby przygotować montaż, który zapewniłby wymaganą jakość połączeń spawanych przy kryteriach ekonomicznych.

LITERATURA

- [1] Jędrusik A., Łunarski J. 2014. „Wybrane problemy wytrzymałości złączy spawanych laserowo ze stopu Inconel 718”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 52–55.
- [2] Kuzio T. 2007. „Kwalifikowanie technologii spawalniczych przez Instytut Spawalnictwa”. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* (2): 50–54.

- [3] Mizerski J. 2011. „Spawanie. Wiadomości podstawowe”. Warszawa: Wydawnictwo REA.
- [4] Norma PN-CR ISO 15608:2002. Spawanie – Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy.
- [5] Norma PN-EN ISO 15614-1:2008. Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu.
- [5] Norma PN-EN ISO 5817:2009. Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [7] PN-EN 895:1997 Badania niszczące spawanych złączy metali – Próba rozciągania próbek poprzecznych.
- [8] PN-EN ISO 6507-1:2007. Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.
- [9] PN-EN ISO 6520-1:2009. Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie.
- [10] PN-EN ISO 6892-1:2010. Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- [11] PN-EN ISO 9016:2011. Badania niszczące złączy spawanych metali – Badanie uduchności – Usytuowanie próbek, kierunek karbu i badanie.
- [12] Saperski M. 2010. „Procedura kwalifikowania technologii spawania konstrukcji offshore wg przepisów DNV”. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* (6): 57–62.
- [13] Słania J. 2011. „Istota planu spawania”. *Przegląd Spawalnictwa* (2): 3–9.
- [14] Tupaj S., J. Łunarski. 2015. „Aspekty jakościowe spawania obrotowych, cienkościennych korpusów”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1):17–21.
- [15] Zasady kwalifikowania technologii spawania Wytyczne 74/P, PRS, 2007.

dr hab. inż., prof. nadzw. UTP Maciej Matuszewski – Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technik Wytwarzania, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: matus@utp.edu.pl

mgr inż. Mirosława Wiśniewska, studentka studiów doktoranckich – Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: wisniewska-mirosława@wp.pl