

Porównanie warunków spawania różnych grubości złącza $\varnothing 1016$ stali L485ME metodą 135/136

Comparison of welding condition of different thickness joints of $\varnothing 1016$ L485ME steel welded with 135/136 methods

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie technologii wykonywania złączy spawanych metodą 135 w odmianie STT oraz 136 z manipulatorem Scorpion dla rur $\varnothing 1016,0$ o grubości 14,2; 16,0; 22,2 z uwzględnieniem wpływu zmiany grubości złącza na warunki spawania. Opisano właściwości mechaniczne złączy na podstawie uzyskanych wyników badań nieniszczących i niszczących na potrzeby uznania technologii zgodnie z PN-EN ISO 15614-1, PN-EN 12732 oraz wytycznymi Gaz-System (PI-ID-IO3) dla złączy rurowych ze stali L485ME.

Słowa kluczowe: stal termomechaniczna; spawalność; spawanie rurociągów

Abstract

The purpose of the work was to develop a welding procedure for making welded joints using method 135 in STT and 136 variant with a Scorpion manipulator for pipes $\varnothing 1016.0$ with a thickness of 14.2; 16.0; 22.2 including the effect of changing joint thickness on welding conditions. The mechanical properties of the joints are described based on the results of non-destructive and destructive testing for the needs of qualification technology in accordance with PN-EN ISO 15614-1, PN-EN 12732 and Gaz-System guidelines/requirements (PI-ID-IO3) for L485ME steel pipe welded joints.

Keywords: thermomechanical rolled steel; weldability; pipe welding

Wstęp

Pod koniec 2013 roku GAZ SYSTEM S.A., czyli jeden z największych inwestorów na rynku polskim, przedstawił „Plan rozwoju – w zakresie zaspokojenia obecnego zapotrzebowania na paliwa gazowe na lata 2014-2023”. GAZ SYSTEM jest odpowiedzialny za transport paliw gazowych siecią przesyłową na terenie całego kraju, w celu ich dostarczenia do sieci dystrybucyjnych oraz do odbiorców końcowych podłączonych do systemu przesyłowego. W roku 2018 planowane są inwestycje budowy gazociągów, których sumaryczna długość przekracza 1000 km. Wykonanie tych inwestycji w tak krótkim czasie jest wyzwaniem dla polskich firm zajmujących się budownictwem gazociągów, których z roku na rok jest coraz mniej na rynku. Jednym z najważniejszych wymogów przy przystąpieniu do przetargów na inwestycje jest mechanizacja procesu spawalniczego. Dzięki niej można osiągnąć niską wadliwość złączy na poziomie 5%, jak i wysoką wydajność, która nie była dotychczas osiągalna przy tradycyjnych metodach wykonywania złączy spawanych. Realizacja owych inwestycji stwarza ogromne wyzwanie dla firm zajmujących się budownictwem gazociągów. Największa odpowiedzialność spełnienia wysokich wymagań spoczywa na barkach nadzoru spawalniczego. Wymagania opisano w dokumencie „Wykonanie złączy

spawanych – wymagania Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ – System S.A.”.

Wymagania spawalnicze DN1000 dla GAZ SYSTEM S.A. Wszystkie prace spawalnicze wykonawcy muszą prowadzić zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12732 oraz zgodnie z załącznikiem 5 do dokumentu PI-ID-IO3. Jest to dokument opracowany z myślą o inwestycjach GAZ SYSTEM S.A. w latach 2014-2023. Wytyczne zostały opracowane przez własne służby nadzoru spawalniczego GAZ SYSTEM S.A. oraz grono specjalistów z całej Polski. Dokument składa się z 16 rozdziałów, gdzie w każdym opisane są szczegółowe wymagania narzucone na wykonawcę inwestycji odnośnie: systemów zarządzania jakością, materiałów dodatkowych, jak i podstawowych, technologii spawania oraz jej uznawania, personelu spawalniczego, urządzeń spawalniczych, prowadzenia robót spawalniczych oraz kontroli jakości złączy spawanych.

Przedmiotowe złącza znalazły zastosowanie podczas realizacji kontraktu spawania rurociągu $\varnothing 1016,0$ dla inwestora Gaz-System S.A. Do wykonywania złączy spawanych używano dwóch metod: 135 STT do ściegu granowego oraz FCAW 136 Scorpion do ściegów wypełniających i lico-nych. STT to niskoenergetyczna odmiana spawania MIG/MAG

Mgr inż. Konrad Wojnarowski – JT Zakład Budowy Gazociągów S.A.; **mgr inż. Beata Skowrońska**; **dr hab. inż. Tomasz Chmielewski, prof. PW**; **dr hab. inż. Dariusz Golański, prof. PW** – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: b.skowronska@wip.pw.edu.pl

Tablica I. Skład chemiczny stali L485ME
Table I. Chemical composition of L485ME steel

Oznaczenie stali	Maksymalna zawartość [%]									Max. C _{EV}
	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	inne	
L485MB	0,16	0,45	1,7	0,025	0,020	0,10	0,06	0,06	V+Nb+Ti <0,15%	0,43

Tablica II. Właściwości mechaniczne stali L485ME
Table II. Mechanical properties of L485ME steel

Symbol stali	Granica plastyczności R _{0,5} [N/mm ²]	Wytrzymałość R _m [N/mm ²]	Wydłużenie A _{min} [%]
L485MB	485÷605	570	18

łukiem zvarciowym drutami litymi wprowadzona na rynek przez firmę Lincoln Electric. Scorpion to głowica spawalnicza wykonująca warstwy metodą FCAW, wprowadzona na rynek przez firmę Gridweld Welding Systems Ltd. Do wykonywania złączy spawanych posłużyły materiały spawalnicze firmy Lincoln Electric do ściegu graniowego Pipeliner 80Ni1, zaś do wypełnienia i lica Pipeliner G80M-H. Pracę poświęcono zagadnieniu spawania w ostonie gazu aktywnego drutem proszkowym z rdzeniem topnikowym oraz drutem z rdzeniem litym, a dokładnie porównaniu wpływu zmiany grubości złącza na właściwości mechaniczne na przykładzie rury $\varnothing 1016,0$. Porównanie trzech technologii polegało na analizie parametrów spawania z procesu uznania technologii oraz wyników badań niszczących. W ramach niniejszej pracy postanowiono porównać trzy grubości złączy rurowych 14,2 mm, 16,0 mm oraz 22,2 mm.

Materiał podstawowy

Materiał podstawowy to rury dostarczane przez inwestora i wykonane zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3183 spawane łukiem krytym ze szwem spiralnym i wzdłużnym. Wszystkie materiały użyte do wykonania gazociągu muszą mieć potwierdzoną udarność Charpy – V, w temperaturze -29 °C. Na potrzeby niniejszej pracy, wszystkie złącza wykonywane są na rurze ze stali L485MB. L485MB (o składzie chemicznym i właściwościach mechanicznych przedstawionych w tabl. I i II) (wg EN 10208-2) bądź X70 (wg API 5L), jest to stal na rury przewodowe po obróbce termomechanicznej, która polega na dwuetapowym walcowaniu stali. Pierwszy etap to walcowanie normalizujące, które odbywa się w temperaturze niższej o ok. 100÷150 °C od temperatury walcowania konwencjonalnego. Po przeprowadzeniu obróbki termomechanicznej stal wykazuje zmniejszoną podatność do utwardzania w SWC, w konfrontacji ze stalami w stanie normalizowanym o zbliżonych właściwościach wytrzymałościowych. Mała tendencja do utwardzania SWC

Tablica III. Skład chemiczny spoiwa, ścieg graniowy
Table III. Chemical composition of filled material, root pass

Zawartość %											
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Ti	Al
0,07	0,61	1,23	0,005	0,006	0,04	0,92	0,02	0,14	0,01	0,03	0,01

Tablica IV. Właściwości mechaniczne spoiwa, ścieg graniowy
Table IV. Mechanical properties of filled material, root pass

Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Wydłużenie [%]	Badanie udarności				
			Temperatura	Wynik z badań		Średnia wartości	
513	608	28	-30 °C	132 J	121 J	144 J	132 J

powoduje zmniejszenie ryzyka wystąpienia zimnych pęknięć w złączu spawanym. Stal po obróbce termomechanicznej jest bardziej odporna na oddziaływanie środowiska kwaśno-korozyjnego oraz łatwiej spawalna w porównaniu ze stalami walcowanymi tradycyjnie [1÷4].

Dzięki niskiej wartości równoważnika węgla i korzystnej mikrostrukturze uzyskanej przez proces walcowania stal L485ME ma wysoką odporność na występowanie kruchych pęknięć w złączu spawanym. Relatywnie wysoka udarność złącza spawanego oraz niska twardość SWC powodują, że złącza spawane nie wymagają wyżarzania odprężającego. Najważniejszym problemem technologicznym jest maksymalne ograniczenie rekrytalizacji i zmiękczenia materiału w SWC.

Materiał dodatkowy

Wybór materiału dodatkowego w znacznym stopniu zależał od zaleceń inwestora. Załącznik nr 5 do PI-ID-103 odnosi się do zapisów z PN-EN 12732 oraz wprowadza kilka rozszerzeń. Pierwszym jest wprowadzenie wymogu na atest 3.2 wg wymagań EN 10204. Kolejnym rozszerzeniem jest narzucenie temperatury -29 °C przy badaniu udarności spoiwa metodą Charpy – V oraz obostrzenie odnośnie wyników badania, w którym średnia wartość z trzech próbek badanych musi być ≥ 40 J, przy czym co najmniej jedna może posiadać wartość ≥ 30 J. Ostatnim rozszerzeniem jest wymóg stosowania materiałów niskowodorowych o zawartości wodoru 2÷5 ml H₂/100g. Do wykonywania ściegu graniowego zastosowano drut elektrodowy firmy Lincoln Electric Pipeliner 80Ni1 $\varnothing 1,0$ mm (właściwości przedstawiono w tabl. III i IV), przeznaczony do wykonywania ściegu graniowego w połączeniach stali X100 oraz wypełnienia, a także lico dla stali X80 (L555N, L555M). Główne zastosowanie tego spoiwa to spawanie rurociągów i off-shore we wszystkich pozycjach.

Drutem elektrodowym zastosowanym do ściegów wypełniających oraz licowych został Pipeliner G80M-H $\varnothing 1,2$ mm firmy Lincoln Electric (właściwości przedstawiono w tabl. V i VI). Przeznaczony jest do stali X80 (L555N, L555M). Główne zastosowanie tego drutu to spawanie rurociągów i off-shore.

Parametry spawania

Parametry spawania potwierdzone w warunkach WPQR przedstawiono w poniższych tablicach VII, VIII i IX.

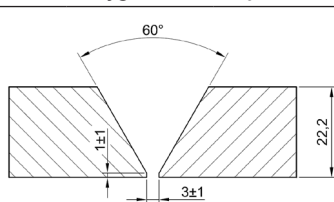
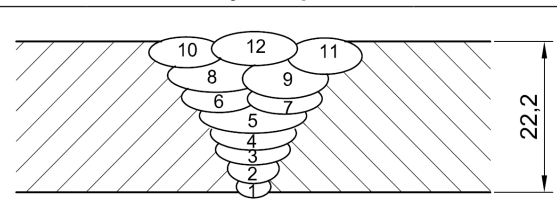
Tablica V. Skład chemiczny spoiwa, ściegi wypełniające i licowe
Table V. Chemical composition of filled material, field and face pass

Zawartość %														
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	V	Ti	Al	B	N
0,066	0,27	1,3	0,014	0,005	0,04	0,88	0,3	0,01	0,02	0,01	0,04	0,007	0,0020	0,007

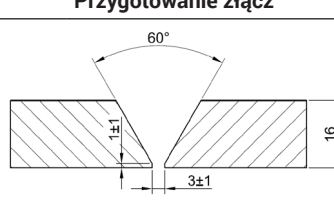
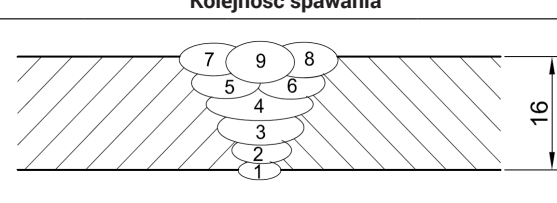
Tablica VI. Właściwości mechaniczne spoiwa, ściegi wypełniające i licowe
Table VI. Mechanical properties of filled material, field and face pass

Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Wydłużenie [%]	Badanie udarności	
			Temperatura	Średnia wartości
637	688	22	-40 °C	58 J

Tablica VII. Warunki spawania $\phi 1016,0 \times 22,2$
Table VII. Conditions of welding process for $\phi 1016,0 \times 22,2$

Przygotowanie złącz				Kolejność spawania				
								
Ścieg	Metoda spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie [A]	Napięcie [V]	Rodzaj prądu	Posuw drutu [mm/min]	Prędkość przesuwu [mm/sec]	Energia liniowa spawania [kJ/mm]
1	135	1,0	93÷126	14,7÷16,4	DC/+/	4,3÷4,4	1,88÷1,90	0,58÷0,87
2	136	1,2	175÷188	24,7÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	3,13÷3,34	1,10÷1,13
3	136	1,2	175÷236	24,8÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,80÷3,50	1,24÷1,35
4	136	1,2	213÷244	24,7÷25,0	DC/+/	6,5÷6,7	2,30÷2,59	1,36÷1,83
5	136	1,2	224÷260	24,8÷25,0	DC/+/	6,5÷6,7	2,33÷2,45	1,51÷1,91
6	136	1,2	209÷235	24,7÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,76÷2,95	1,50÷1,60
7	136	1,2	215÷240	24,8÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,82÷2,91	1,51÷1,65
8	136	1,2	205÷244	24,7÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,84÷3,10	1,43÷1,57
9	136	1,2	212÷239	24,7÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,54÷3,35	1,43÷1,65
10	136	1,2	170÷191	24,7÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,78÷3,70	1,03÷1,21
11	136	1,2	160÷182	24,8÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,65÷3,39	1,07÷1,02
12	136	1,2	165÷182	24,8÷25,0	DC/+/	6,0÷6,5	2,57÷3,01	1,21÷1,27

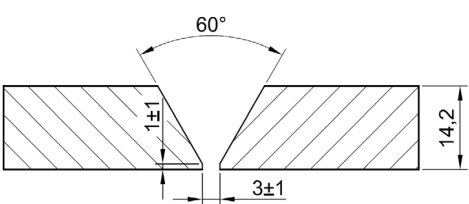
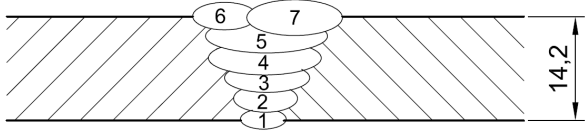
Tablica VIII. Warunki spawania $\phi 1016,0 \times 16,0$
Table VIII. Conditions of welding process for $\phi 1016,0 \times 16,0$

Przygotowanie złącz				Kolejność spawania				
								
Ścieg	Metoda spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie [A]	Napięcie [V]	Rodzaj prądu	Posuw drutu [mm/min]	Prędkość przesuwu [mm/sec]	Energia liniowa spawania [kJ/mm]
1	135	1,0	94	16,2	DC/+/	-	1,94	0,63
2	136	1,2	180	24,0	DC/+/	-	3,41	1,01
3	136	1,2	215	24,0	DC/+/	-	3,18	1,30
4	136	1,2	226	24,0	DC/+/	-	2,6	1,67
5	136	1,2	221	24,0	DC/+/	-	3,18	1,33

CD. Tablica VIII. Warunki spawania $\varnothing 1016,0 \times 16,0$
 Cont. Table VIII. Conditions of welding process for $\varnothing 1016,0 \times 16,0$

Ścieg	Metoda spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie [A]	Napięcie [V]	Rodzaj prądu	Posuw drutu [mm/min]	Prędkość przesuwu [mm/sec]	Energia liniowa spawania [kJ/mm]
6	136	1,2	225	24,0	DC/+/	–	3,43	1,26
7	136	1,2	169	24,0	DC/+/	–	3,49	0,93
8	136	1,2	169	24,0	DC/+/	–	3,47	0,94
9	136	1,2	174	24,0	DC/+/	–	3,47	0,96

Tablica IX. Warunki spawania $\varnothing 1016,0 \times 14,2$
 Table IX. Conditions of welding process for $\varnothing 1016,0 \times 14,2$

Przygotowanie złączy					Kolejność spawania				
									
Ścieg	Metoda spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie [A]	Napięcie [V]	Rodzaj prądu	Posuw drutu [mm/min]	Prędkość przesuwu [mm/sec]	Energia liniowa spawania [kJ/mm]	
1	135	1,0	95,5	16,0	DC/+/	–	1,85	0,66	
2	136	1,2	181	24,0	DC/+/	–	3,41	1,02	
3	136	1,2	225	24,0	DC/+/	–	3,18	1,36	
4	136	1,2	226	24,0	DC/+/	–	3,18	1,36	
5	136	1,2	230	24,0	DC/+/	–	2,6	1,7	
6	136	1,2	176	24,0	DC/+/	–	3,43	0,99	
7	136	1,2	176	24,0	DC/+/	–	3,49	0,97	

Podsumowanie

Rok 2018 będzie rokiem przełomowym dla polskiej branży gazowniczej pod względem rozpoczynających się inwestycji. Realizacja kontraktu „Plan rozwoju – w zakresie zaspokojenia obecnego zapotrzebowania na paliwa gazowe na lata 2014÷2023”. Owe inwestycje cechują wysokie wymagania odnośnie jakości i technologii wykonywania złączy spawanych. By sprostać oczekiwaniom GAZ SYSTEM S.A., jedynym słusznym rozwiązaniem jest wprowadzenie mechanizacji procesu spawania w osłonie gazów aktywnych drutem proszkowym z rdzeniem topnikowym w połączeniu z metodą STT. Firma JT S.A. należy do grupy polskich firm, które podjęły ryzyko realizacji zadania dla głównego inwestora na polskim rynku gazowniczym. Firma JT S.A. na początku roku 2017 rozpoczęła największą inwestycję DN1000 w swojej czterdziestodwuletniej historii. By móc rozpocząć inwestycję należało opracować kilkanaście technologii spawania w warunkach możliwie wysokiego stopnia automatyzacji i mechanizacji procesu w zgodzie z normą PN-EN ISO 15614-1, PN-EN 12732 oraz wytycznymi Gaz-System (załącznik 5 do PI-ID-IO3). Przedstawione w artykule warunki technologiczne są efektem opisanych działań. Złącza spawane realizowano za pomocą inwertorowych źródeł energii spawania umożliwiających precyzyjną kontrolę ilości stosowanej energii, co pozwala jednocześnie ograniczać ilość energii nie przekraczając minimum niezbędnego do uzyskania właściwej jakości złączy [5÷11]. Porównanie opracowanych warunków technologicznych, pozwala wnioskować, że mimo zróżnicowania grubości ścianki złącza spawanego, osiągnięto odpowiednie właściwości mechaniczne złączy. Kluczowym dla procesu uznania technologii spawania było znalezienie właściwego przedziału energii liniowej spawania poszczególnych ściegów, by na skutek kumulacji ciepła spawania nie osiągnąć niebezpiecznie wysokiego stopnia rekrytalizacji w SWC. Nie stosowanie granicznych wartości energii liniowej w przypadku spawania stali obrabianych termomechanicznie o wysokiej granicy plastyczności może spowodować gwałtowne obniżenie właściwości złączy, zwłaszcza udarności materiału w SWC. Zbyt duża ilość ciepła dostarczona do obszaru złącza spawanego powoduje rekrytalizację oraz rozrost ziarna w obszarze SWC, co skutkuje utratą właściwości nabytych w wyniku obróbki termomechanicznej, a w spoinie może dochodzić do niekontrolowanych procesów wydzieleniowych pogarszających właściwości złączy spawanych. Należy podkreślić, że uznane technologie posłużyły do wykonywania złączy spawanych na połączeniach rurowych gazociągu wysokiego ciśnienia, gdzie jakości złączy mają ogromny wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji i bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Literatura

- [1] Górka J.: Właściwości i struktura złączy spawanych stali obrabianej termomechanicznie o wysokiej granicy plastyczności, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
 - [2] Górka J.: Właściwości spoin stali obrabianych termomechanicznie o wysokiej granicy plastyczności, Przegląd Spawalnictwa Vol. 83, Nr 12, s. 31-35, 2011.
 - [3] Górka J.: Stal obrabiana termomechanicznie S700 MC i jej spawalność, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 6/2012.
 - [4] Chmielewski T.: Projektowanie procesów technologicznych - Spawalnictwo Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.
 - [5] Szulc J., Chmielewski T., Pilat Z.: Zrobotyzowane spawanie hybrydowe Plazma+MAG stali S700 MC, Przegląd spawalnictwa vol. 88 (1), s. 41-45, 2016.
 - [6] Chmielewski T., Szulc J., Pilat Z.: Badania metalograficzne spoin wykonanych hybrydową metodą PTA-MAG, Przegląd Spawalnictwa vol. 86 (7), s. 46-50, 2014.
 - [7] Skowrońska B., Szulc J., Chmielewski T., Golański D.: Wybrane właściwości złączy spawanych stali S700 MC wykonanych metodą hybrydową plazma+MAG, Przegląd Spawalnictwa vol. 89 (10), s. 104-111, 2017.
 - [8] Węglowski M., Chmielewski T., Kudła K.: Ocena wydajności spawania niskoenergetycznego procesu SpeedRoot w pozycji PG, Przegląd Spawalnictwa 83 (12/2011), s. 26-30, 2011.
 - [9] Ferenc K., Cegielski P., Chmielewski T.: Technika spawalnicza w praktyce Poradnik inżyniera konstruktora i technologa, Verlag Dashofer, Warszawa, 2015.
 - [10] Węglowski M., Chmielewski T., Kudła K.: Ocena wydajności spawania w wysoko wydajnym procesie SpeedUp oraz MAG Standard w pozycji przymusowej, Biuletyn Instytutu spawalnictwa w Gliwicach 54, s. 199-201, 2010.
 - [11] Jaeschke B., Węglowski M., Chmielewski T.: Current State and Development Opportunities of Dynamic Power Source for GMA Welding Processes, Journal of Manufacturing Technologies 42 (1), pp. 23-30, 2017.
-