

Tomasz Chmielewski
Dariusz Golański
Marek Węglowski
Krzysztof Kudła
Konrad Wojnarowski

Zastosowanie metody MAG-SpeedRoot do spawania ściegu graniowego spoin czołowych w połączeniach rurowych

The application of MAG-SpeedRoot method for welding of root pass in butt welded pipe joints

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych spawania ściegu graniowego w pozycji PJ przy użyciu nowoczesnej odmiany metody MAG-SpeedRoot. Porównano warunki i wyniki spawania ściegu graniowego MAG-SpeedRoot z metodami stosowanymi tradycyjnie. Metoda MAG-SpeedRoot została opracowana przez firmę Lorch (Niemcy) do spawania ściegu graniowego blach w pozycji PG. Celem prezentowanej pracy było wdrożenie w firmie JT Zakład Budowy Gazociągów w Warszawie technologii spawania ściegów graniowych spoin czołowych rurociągów stalowych metodą MAG w odmianie SpeedRoot. W efekcie, pierwszy raz w historii prezentowana technologia została uznana przez jednostkę notyfikowaną UDT.

Abstract

The paper presents the research work devoted to welding of root pass in PJ position using the new MAG-SpeedRoot welding method. The conditions of welding and results of obtained root passes by MAG-SpeedRoot method were compared to conventional welding methods.

The MAG-SpeedRoot method has been developed by Lorch (Germany) company specifically for welding of root passes in PG position. The purpose of this work was to implement the MAG-SpeedRoot technology of root pass welding in butt welded steel pipelines at JT Zakład Budowy Gazociągów plant in Warsaw, Poland. As the result, this technology has been certified by the UDT certification body first time in history.

Wstęp

Wytwórcy konstrukcji spawanych powinni stosować uznane technologie. Głównym dokumentem opisującym procedury uznania technologii spawania stali oraz zakres kwalifikowania jest PN-EN ISO 15614-1. Jednym z pierwszych i kluczowych etapów procesu uznania technologii jest opracowanie wstępnej instrukcji spawania (pWPS) zgodnie z PN-EN ISO 15606-1.

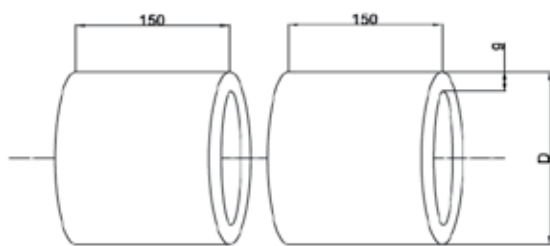
Dr hab. inż. Tomasz Chmielewski, dr hab. inż. Dariusz Golański, prof. PW – Politechnika Warszawska; **dr inż. Marek Węglowski** – Rywał-RHC; **dr inż. Krzysztof Kudła** – Politechnika Częstochowska; **inż. Konrad Wojnarowski** – JT Zakład Budowy Gazociągów.

W pWPS-ie zawarte są wszelkie informacje dotyczące warunków technologicznych wykonania złącza spawanego na znormalizowanym złączu próbnym (rys. 1).

Złącze próbne wykonywane jest w obecności inspektora jednostki notyfikowanej (np. UDT). Podczas wykonywania złącza spawanego należy monitorować parametry spawania w celu sporządzenia protokołu uznania technologii spawania (WPAR). W protokole zawarte są dokładne informacje dotyczące próby wykonania złącza spawanego. Znajdują się tam parametry spawania, dane spawacza oraz numer atestu materiału rodzimego i dodatkowego. Następnie złącze próbne zostaje poddane badaniom nieniszczącym i niszczącym. Pierwszym etapem są badania nieniszczące, które należy wykonać zgodnie z wytycznymi

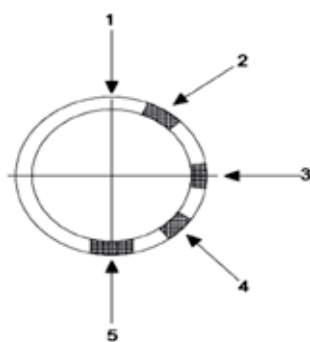
zawartymi w normach. Badaniu poddane jest całe złącze spawane. Ujawnione niezgodności spawalnicze muszą mieścić się w określonych wartościach granicznych dla poziomu jakości (w tym przypadku B) wg PN-EN ISO 5817. Ostatnim etapem jest przeprowadzenie badań niszczących na złączu próbnym w akredytowanym laboratorium (wymagania PN-EN ISO/IEC 17025). Celem badań niszczących jest m.in. ujawnienie mikrostruktury złącza oraz jego właściwości mechanicznych, w tym doraźnej wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenia materiału stopiwa oraz lokalizacji utraty spójności. Złącze bada się zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach. Próbkę pobiera się ze złącza zgodnie z rysunkiem 2.

Na rysunku 2 przedstawiono miejsca pobierania próbek do badań laboratoryjnych, gdzie: 1 – góra zamocowanej rury; 2 – obszar dla: 1 próbki do badania na rozciąganie, próbek do badania na zginanie; 3 – obszar dla: próbek do badania udarności i badań dodatkowych, jeśli są wymagane; 4 – obszar dla: 1 próbki do badania na rozciąganie, próbek do badania na zginanie; 5 – obszar dla: 1 próbki do badania makroskopowego, 1 próbki do badania twardości.



Rys. 1. Wymiary znormalizowanego złącza próbnego wg PN-EN ISO 15614-1

Fig. 1. The dimensions of standardized test joint acc. to PN-EN ISO 15614-1



Rys. 2. Miejsca pobierania próbek do badania złączy doczołowych rur
Fig. 2. The location of coupons taken for testing of butt joints in welded pipelines

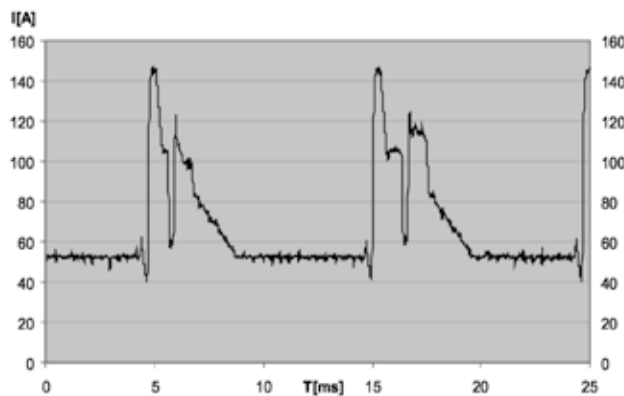
Warunki spawania

MAG-SpeedRoot jest innowacyjną niskoenergetyczną odmianą metody spawania MAG (lub MIG zależnie od rodzaju zastosowanego gazu osłonowego) przeznaczoną do wykonywania ściegu graniowego spoin

czołowych blach wykonywanych w pozycji PG oraz rur w pozycji PJ, wprowadzoną przez firmę Lorch na rynek polski na początku 2011 r. Główną zaletą, jaka wyróżnia MAG-SpeedRoot, jest precyzyjny system kontroli i sterowania przebiegiem procesu spawania. Przed rozpoczęciem spawania należy wprowadzić do synergicznego układu doboru parametrów dane dotyczące średnicy drutu, gazu osłonowego oraz rodzaju materiału rodzimego. System sterowania automatycznie dostosowuje inne zmienne do odpowiedniego poziomu. W warunkach klasycznego spawania łukiem zwarciowym, podczas zwarcia drutu elektrodowego z materiałem rodzimym następuje gwałtowny samoczynny wzrost natężenia prądu, co prowadzi do powstawania ekspulsji gwałtownie nagrzewanej kropli cieczy przechodzącej z drutu elektrodowego do jeziora i jej rozprysku [1].

W procesie MAG-SpeedRoot (rys. 3) po zwarcu drutu elektrodowego z materiałem kąpielii metalicznej, prąd spawania gwałtownie rośnie do momentu utworzenia minimalnego przewężenia ciekłego metalu (łączy koniec elektrody z jeziorkiem spawalniczym), po czym układ regulacji zmniejsza znacząco natężenie prądu mimo zwarcia. Zerwanie mostka i transport kropli następuje wskutek napięcia powierzchniowego ciekłego stopiwa, którego wartość nawet przy niskim natężeniu prądu jest na tyle wysoka, że wciąga kroplę zwisającą na końcu drutu do jeziora spawalniczego. Powoduje to bezrozpryskowe przejście topionego metalu elektrody do jeziora spawalniczego. Kolejny pik w cyklu prądu powoduje rozgrzanie końca drutu elektrodowego do tego stopnia, żeby przy następnym cyklu jak największa masa materiału dodatkowego przeszła do spoiny.

Precyzyjny i powtarzalny przebieg opisanego mechanizmu zależy od zastosowania w układzie sterowania szybkich procesorów charakteryzujących się wysoką częstotliwością taktowania, które pozwalają prawidłowo i szybko reagować układowi sterowania i regulacji. Układ sterowania kontroluje w czasie rzeczywistym warunki procesu spawania i odpowiednio reaguje na zakłócenia, np. wydłużający się



Rys. 3. Charakterystyka dynamiczna spawania metodą MAG-SpeedRoot

Fig. 3. The dynamic characteristics of MAG-SpeedRoot welding

czas zwarcia lub zmianę długości łuku spawalniczego. Dodatkową zaletą niskoenergetycznej odmiany MAG-SpeedRoot jest możliwość jednoczesnej pracy kilku źródeł prądu podczas spawania np. tej samej rury bez wzajemnego zakłócania się, jak to się zdarza np. podczas spawania innymi niskoenergetycznymi odmianami MAG z dodatkowym pomiarem napięcia [3].

Opracowanie technologii wykonywania ściegu graniowego metodą MAG-SpeedRoot wiązało się z wieloma problemami. Przede wszystkim jest to nowa metoda, która dopiero została wprowadzona na rynek polski i dotychczas nie była brana pod uwagę jako metoda wykonywania przetopów w połączeniach rurowych; nie zakładał tego nawet producent urządzenia. Celem projektu było zbadanie możliwości wykonania połączenia i następnie uznanie technologii wykonywania połączeń rurowych ze stali L485MB o średnicy zewnętrznej 508 mm przy grubości ścianki 12,5 mm. Przetop został wykonany metodą MAG-SpeedRoot, a wypełnienie oraz lico drutem proszkowym w osłonie gazów aktywnych (metoda 136 wg PN-EN ISO 4063). Ścieg graniowy jest pierwszą i zarazem najważniejszą warstwą w połączeniach spawanych, która najdłużej jest poddawana wpływom wysokiej temperatury podczas wykonywania kolejnych warstw połączenia spawanego. Wykonywanie ściegu graniowego uznaje się za najtrudniejszy etap w spawaniu połączeń rurowych. z powodu wysokiego ryzyka występowania niezgodności spawalniczych, takich jak: brak przetopu, przyklejenia, niepełne przetopienia, podtopienia, wycieki, nawisy grani oraz wklęsnięcia.

Charakterystyczną cechą spawania metodą MAG-SpeedRoot jest niewielkie ryzyko wystąpienia podtopienia. Podczas wykonywania kilkudziesięciu złączy próbnych nie ujawniono żadnego podtopienia. Kolejną ważną zaletą opisywanej metody jest duża tolerancja ustawienia brzegów spawanych rur. Wykonanie przetopu było możliwe przy przestawieniu rur dochodzącym nawet do 40% grubości ścianki.

Po serii prób ustalono, że w celu uzyskania właściwego przetopu należy zastosować większy niż standardowy odstęp pomiędzy krawędziami rur. Dla rur o średnicy $60,3 \div 168,3$ mm szerokość szczeliny ustalono w zakresie $2,5 \div 3$ mm, a dla rur o średnicy $168,3 \div 508$ mm stosowano szczelinę $3 \div 3,5$ mm.

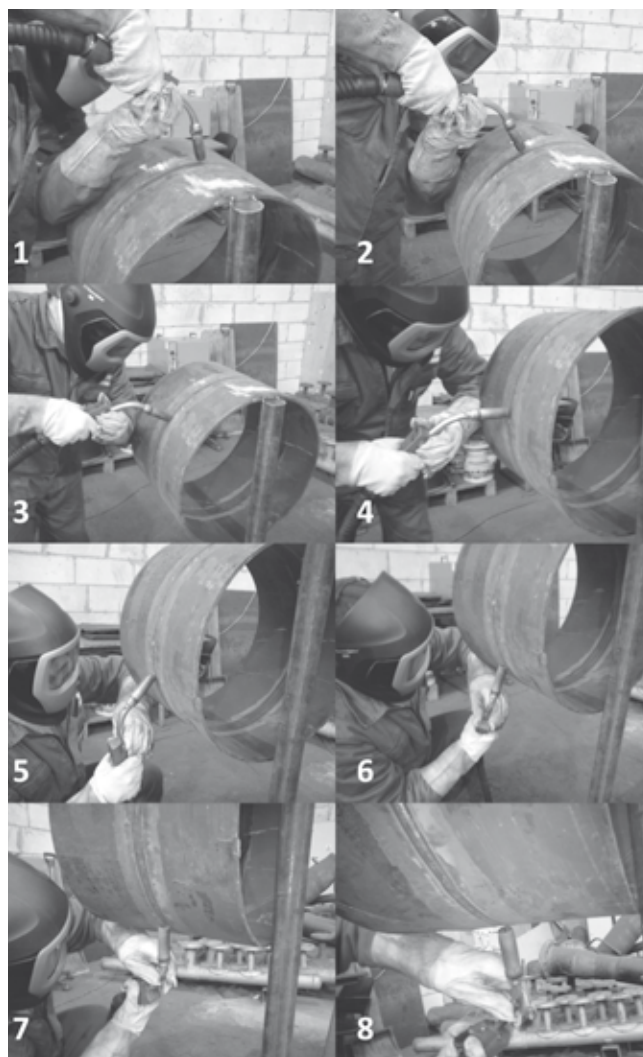
Za największe utrudnienie podczas spawania uznano występowanie bardzo intensywnego rozprysku w pozycjach odpowiadających godz. 3.30÷6:00. Wymusiło to zastosowanie niestandardowej techniki spawania w zakresie orientacji uchwytu elektrodowego. Od pozycji na godz. 4 należy zmniejszać kąt pomiędzy osią uchwytu a styczną rury. Na całym obwodzie rury należy prowadzić uchwyt dość szerokim ruchem zakosowym. Ten zabieg spowodował wyeliminowanie rozprysku i uzyskanie na całym obwodzie dobrej jakości spoiny. Na rysunku 4 pokazano przebieg spawania opracowaną techniką.

Porównanie MAG-SpeedRoot z konwencjonalnymi metodami

W pierwszym etapie prac oceniono przydatność technologiczną odmiany MAG-SpeedRoot przez porównanie wyników spawania z wynikami uzyskiwanymi metodami stosowanymi standardowo dla badanego złącza (zwłaszcza dla ściegu graniowego). W tym celu wykonano próby technologiczne spawania.

W tabelicy I zestawiono parametry spawania oraz czas wykonania ściegu graniowego. Wszystkie próby zostały wykonane na rurze ze stali L485MB ze szwem spiralnym o średnicy zewnętrznej 508 mm i grubości ścianki 12,5 mm z ukosowaniem na V. Wszystkie złącza przeszły pozytywnie badania radiologiczne.

Wstępna ocena wskazuje, że pod względem czasu spawania najlepszy wynik uzyskano, spawając metodą MAG-SpeedRoot. Zaledwie 765 s potrzeba do wykonania ściegu graniowego. Jednak w tym zestawieniu brany był pod uwagę tylko czas spawania. Trzeba także pamiętać o czynnościach przygotowawczych przed spawaniem oraz po spawaniu, a tego uwarunkowania w pracy



Rys. 4. Technika spawania MAG-SpeedRoot
Fig. 4. MAG-SpeedRoot The welding technique

nie analizowano. Dzięki zaprezentowanemu zestawieniu można też porównać ilość energii wprowadzonej do złącza spawanego. Pod tym względem metoda MAG-SpeedRoot znacznie się wyróżnia. Podczas spawania porównywalnymi metodami ściegu graniowego wprowadzane było ok. dwa razy więcej energii do złącza. Drugi wynik (pod względem czasu spawania) w zestawieniu uzyskano podczas spawania elektrodą celulozową. Porównanie to nie uwzględnia czasu poświęcanego na operacje dodatkowe. Podczas spawania elektrodą celulozową należy usuwać żużel; jest to czynność uciążliwa i pracochłonna. Dość częstą wadą spawalniczą występującą podczas spawania elektrodą otuloną jest wtrącenie żużla (301 wg EN ISO 6520-1:1998) [2]. Przy wykonywaniu ściegu graniowego elektrodą celulozową, która jest metodą wysoce wodorową, trzeba uwzględnić dodatkowo, że badania radiologiczne powinno się wykonać dopiero po 24 h od ukończenia całego złącza spawanego. Spowodowane jest to możliwością wystą-

pienia pęknięć wodorowych. Dodatkowo ze względu na wysokie nasycenie połączenia wodorem wymagane jest wydłużenie czasu stygnięcia. Trzeci wynik w zestawieniu (1428 s) uzyskano podczas spawania ściegu graniowego metodą TIG. Jedną z najważniejszych zalet, która wyróżnia tę metodę wykonywania przetopów, jest niekwestionowana najwyższa jakość. W przypadku zarówno metody TIG, jak i MAG-SpeedRoot nie jest wymagane szlifowanie powierzchni ściegu graniowego. Cztery wynik (1624 s) w zestawieniu uzyskano podczas spawania elektrodą zasadową, ale tu podobnie jak przy spawaniu elektrodą celulozową trzeba zwrócić uwagę na konieczność usuwania żużla i dodatkowo suszenia elektrod. Wykonywanie ściegu graniowego elektrodą zasadową jest bardzo rzadko stosowane, ponieważ jest to jedna z najmniej wydajnych metod wykonywania przetopu, natomiast spawanie elektrodą zasadową doskonale sprawdza się w warunkach wykonywania wypełnienia i lica w połączeniach rurowych.

Tablica. Zestawienie parametrów spawania ściegu graniowego różnymi metodami spoiny czołowej rury o średnicy 508 mm i grubości ścianki 12,5 mm
Table. The comparison of parameters used for root pass welding of butt welded pipe with 508 mm diameter and 12.5 mm wall thickness applied by different methods

Metoda spawania (wg PN-EN ISO 4063)	135 (MAG-SpeedRoot)	111	111	141
Pozycja spawania (wg PN-EN ISO 6947)	PJ	PJ	PH	PH
Spoiwo	średnica, mm	1,2	3,2	2,5
	symbol	OK. Autrod 12,64	6P+	50W
				Tigrod 12,64
Rodzaj prądu (biegunowość)	DC(+)	DC(-)	DC(-)	DC(-)
Gaz osłonowy	M21	-	-	I1
Temperatura podgrzewania, °C	145	155	150	150
Natężenie prądu spawania, A	90-110	90-120	60-90	105-120
Napięcie łuku, V	16-19	22-24	22-24	14-18
Prędkość spawania, mm/s	2,18	1,54	0,97	1,1
Energia liniowa, kJ/mm	0,69-1,00	1,00-1,84	1,34-2,20	1,32-1,93
Czas wykonania ściegu, s	765	1021	1624	1428

Podsumowanie

W artykule przedstawiono oryginalne warunki spawania ściegu graniowego spoin czołowych rur metodą MAG w odmianie MAG-SpeedRoot, porównano warunki i efekty spawania z wynikami spawania uzyskanymi podczas spawania elektrodą otuloną celulozową i zasadową oraz TIG. Wszystkie próby zostały wykonane na rurze ze stali L485MB ze szwem spiralnym o średnicy zewnętrznej 508 mm i grubości ścianki 12,5 mm. Pod względem czasu potrzebnego na wykonanie ściegu graniowego, podczas stosowania metody

MAG-SpeedRoot uzyskano blisko dwukrotnie lepszy wynik od kolejnej użytej metody. Dodatkową zaletą spawania było uzyskanie ściegu graniowego o jednakowej wysokości na całym obwodzie złącza spawanego. Pozwala to na zastosowanie podczas wykonywania ściegów wypełniających i licowych automatycznych urządzeń spawalniczych, np. Pipeliner firmy Magnatech. Umożliwia to dodatkowe oszczędności wynikające ze skrócenia czasu spawania złącza oraz zwiększenia powtarzalności w stosunku do spawania ręcznego.

Literatura

- [1] Chmielewski T.: Projektowanie procesów technologicznych – Spawalnictwo, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
 [2] Czuchry J.: Niezgodności w złączach spajanych, Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2005.

- [3] Węglowski M., Chmielewski T., Kudła K.: Ocena wydajności spawania niskoenergetycznego procesu SpeedRoot w pozycji PG, Przegląd Spawalnictwa, nr 12/2011 s. 26-29.