

Zastosowanie metody spawania wąskoszczelinowego w energetyce

Application of narrow-gap welding method in power engineering

Streszczenie

Metoda spawania wąskoszczelinowego ma te zalety w stosunku do standardowego spawania łukiem krytym, że z uwagi na mały przekrój rowka pod spoinę mniejsza jest objętość spoiny, co wiąże się ze zmniejszeniem zużycia materiału dodatkowego, energii oraz krótszym czasem wykonania złącza.

Dodatkowo w wariantach spawania wąskoszczelinowego, wdrożonym i stosowanym w Wydziale Produkcji Warsztatowej Elektrowni Bełchatów, dzięki opanowaniu ciągłego, jednoetapowego wykonywania spoiny, wyeliminowano występującą w tradycyjnej technologii fazę wstępną, a tym samym uniknięto ryzyka jej wpływu na jakość złącza spawanego.

Słowa kluczowe: energetyka, spawanie łukowe

Abstract

Advantages of narrow-gap welding method, compared with normal hidden arc welding:

- due to more narrow weld groove, weld volume is lesser,
- lesser welding material consumption,
- lesser energy consumption and welding time.

Additionally, in narrow-gap welding method, implemented and used in Bełchatow Power Station by know-how of continuous, one stage weld making, preliminary stage in traditional technology was eliminated, and by this, risk of preliminary welding stage influence for welded joint quality was excluded.

Keywords: power engineering, arc welding

Wstęp

We wszelkich pracach inwestycyjnych, modernizacyjnych i remontowych w energetyce podstawowym procesem technologicznym jest spawanie.

Możliwość wykorzystania określonej metody spawania ograniczona jest m.in. miejscem wykonywania prac. Zrozumiałe jest, że nie każdy sprzęt z uwagi na jego wielkość i stopień skomplikowania można zastosować na obiektach energetycznych. Stąd dążenie, aby możliwie znaczną część prac wykonywać w warunkach warsztatowych.

Taka polityka działalności remontowo-produkcyjnej prowadzona jest w podpieniu Głównego Inżyniera ds. Utrzymania Ruchu w Oddziale Elektrowni Bełchatów, gdzie wdrożono i stosuje się system jakości w spawalnictwie, zgodny z PN-EN ISO 3834-2:2007 oraz zdobyto uprawnienia UDT w zakresie remontu urządzeń ciśnieniowych (UC-20-1-N/1-93).

Wydział Produkcji Warsztatowej przygotowany jest do produkowania wielu tysięcy części zamiennych i podzespołów, a także do wykonywania remontów szerokiej gamy urządzeń ciepłno-mechanicznych oraz wytwarzania konstrukcji. Prowadzone w warsztatach prace wymagają stosowania różnorodnych metod połączeń elementów konstrukcyjnych. Wśród nich są zarówno połączenia rozłączne – np. klinowe, wpustowe, sworzniowe, gwintowane, jak i połączenia nierozłączne – spajane (i tu wyróżniamy połączenia: spawane, zgrzewane, lutowane, klejone), nitowane oraz zaginane. Bardzo istotną rolę odgrywają połączenia spawane i stąd wynika konieczność stosowania wielu metod spawania.

Przy doborze konkretnej metody spawania brana jest pod uwagę tzw. spawalność technologiczna. Jest to zespół czynników technologicznych i konstrukcyjnych, które oddziałują na złącze spawane podczas jego wykonywania.

Mgr inż. Maria Cecotka, mgr inż. Mariusz Wnuk – EWE

Autor korespondencyjny/Corresponding author: maria.cecotka@gkpgge.pl

Czynnikami technologicznymi wpływającymi na warunki spawania są:

- metoda spawania,
- średnica materiału dodatkowego,
- temperatura materiału spawanego,
- temperatura otoczenia,
- prędkość spawania.

Czynnikami konstrukcyjnymi mającymi wpływ na warunki spawania są:

- grubość, kształt oraz stopień utwardzenia elementów spawanych,
- rodzaj złącza (spoina czołowa, pachwinowa),
- granica plastyczności R_e materiału spawanego i stopiwa.

Wybór metody i parametrów spawania ma wpływ na przemiany zachodzące w SWC,

- objętość stapianego materiału złącza (co wiąże się z poziomem naprężeń skurczowych towarzyszących spawaniu).

Wybór metody spawania oraz rodzaju spoiwa wpływa na ilość wodoru wprowadzonego do spoiny, z której może dyfundować do SWC, powodując pęknięcia zimne.

Grubość układanych ściegów, technika spawania, temperatura wstępnego podgrzania wpływają na warunki stygnięcia złącza i wielkość oraz rozkład naprężeń po spawaniu.

Obróbka cieplna po spawaniu zmienia poziom naprężeń w złączu spawanym oraz jego właściwości mechaniczne i użytkowe.

Po podjęciu decyzji o samodzielnym wykonywaniu modernizacji podgrzewaczy wysokoprężnych należy pamiętać, że jedną ze szczególnie odpowiedzialnych operacji jest wykonanie spawanego złącza doczołowego dna sitowego i komory wodnej, o grubości 137,5 mm, dodatkowo złącze to jest złączem jednostronnym.

Przeanalizowano zatem dostępne w warsztatach metody spawania w aspekcie spawania elementów o dużych grubościach, co ujęto w tablicy I.

Wykonanie spoiny dla elementów o grubości 137,5 mm metodami dotychczas dostępnymi w warsztacie miało liczne wady:

- zużycie dużej ilości stopiwa,
- duże zużycie energii,
- długi czas wykonania złącza,
- było procesem o dużej uciążliwości – wysoka temperatura podczas spawania,
- powodowało wydzielanie się dużej ilości szkodliwych pyłów i dymów.

Analizowane metody spawania w pełni nie zaspokajały wymagań zarówno co do jakości spoiny, ekonomicznych, jak i BHP.

Metodą spełniającą oczekiwania, choć wymagającą poniesienia wysokich nakładów, było wąskoszczelinowe spawanie łukiem krytym.

Należy przy tym nadmienić, że wdrożony wariant spawania wąskoszczelinowego, opracowany na Wydziale Produkcji Warsztatowej Elektrowni Bełchatów, jest zdecydowanie odmienny od typowego pod względem przygotowania elementów do spawania i wykonywania fazy wstępnej przed spawaniem zasadniczym.

Spawanie łukiem krytym

Metodę spawania łukiem krytym często stosuje się do wysoce odpowiedzialnych złączy doczołowych, szczególnie przy łączeniu elementów o dużej grubości.

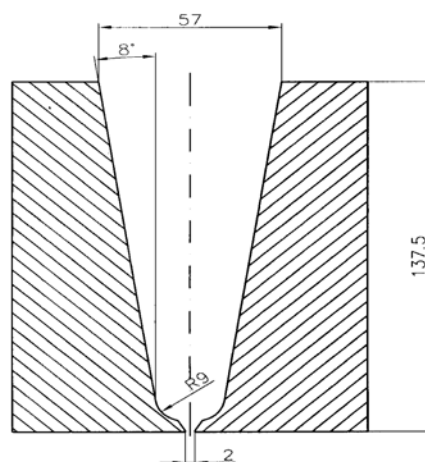
Charakteryzuje się ona jednak:

- dużym zużyciem materiału dodatkowego, ze względu na objętość rowka spawalniczego (rozszerzający się przekrój poprzeczny – rozwartość brzegów rowka rzędu $5\div 10^\circ$ na stronę),
- dużą energochłonnością wynikającą z konieczności przetopienia znacznej ilości materiału dodatkowego w celu wypełnienia rowka spawalniczego, a także podgrzewania wstępnego i grzania podczas spawania dużych mas elementów łączonych,
- znacznym ryzykiem wadliwości w pierwszej fazie spawania (zwłaszcza wielkogabarytowych elementów),
- wysoką pracochłonnością przygotowania brzegów.

Sposób przygotowania do spawania głównego niesie za sobą znaczne ryzyko wadliwości:

- warstwę przetopową o grubości ok. 4 mm spawacz wykonuje ręcznie metodą TIG, a w dodatku, jeżeli jest to spoina obwodowa na elementach cylindrycznych – na całym obwodzie. Jak trudne jest to zadanie ze względu na małą przestrzeń w głębokim rowku pod spoinę w elementach nagranych do temperatury ok. 350°C , widać poglądowo na rysunku 1,
- pierwszą po przetopie warstwę spoiny o grubości ok. 8 mm spawacz wykonuje również ręcznie elektrodą otuloną, w podobnych jak przy przetopie, trudnych i wysokotemperaturowych warunkach,
- wykonaną warstwę spoiny należy oczyścić i wyszlifować przed przystąpieniem do spawania zasadniczego łukiem krytym, co w wąskiej szczelinie jest zadaniem niezwykle trudnym.

Wysoka temperatura nagranych wstępnie elementów i konieczności operowania palnikiem przez spawacza w bezpośrednim kontakcie z tymi elementami, w stosunkowo małej przestrzeni rowka pod spoinę, są przyczyną szczególnej uciążliwości procesu.



Rys. 1. Ukosowanie brzegów do spawania łukiem krytym
Fig. 1. Chamfering of edges for welding with covered bow

Tablica I. Porównanie metod spawania elementów o znacznych grubościach
Table I. Comparison of methods for welding parts with large thicknesses

Cecha metody	Metoda spawania				
	Elektrodą otuloną	MAG	Drutem proszkowym	Łukiem krytym	TIG
Zastosowanie metody	Uniwersalna ze względu na spawany gatunek stali, rodzaj konstrukcji, pozycję i miejsce spawania [4]	Uniwersalna ze względu na spawany gatunek stali, rodzaj konstrukcji, pozycję i miejsce spawania [5]	Ograniczone zastosowanie ze względu na wysoki koszt drutu; poza tym uniwersalna ze względu na spawany gatunek stali, rodzaj konstrukcji, pozycję i miejsce spawania	Nadaje się szczególnie do spawania grubych blach i długich złączy prostoliniowych, płaskich lub obwodowych	Preferowana do cienkich elementów ze stali stopowych i spoin o wysokiej jakości
Wydajność spawania	Niska (ok. 1÷3 kg stopiwa/godz.), przewyższa tylko metodę TIG	Wyższa niż przy spawaniu elektrodą otuloną (2÷8 kg stopiwa/godz.)	Przy tym samym natężeniu prądu wyższa niż przy spawaniu metodą MAG o ok. 10÷20%	Najwyższa spośród analizowanych (5÷15 kg stopiwa/godz.), ale tylko przy bardzo dużym natężeniu prądu spawania (powyżej 600 A)	Najniższa spośród wymienionych
Jakość spoin	Wysoka, ale zależna od umiejętności spawacza. Spoiny mają wysoką plastyczność, zwłaszcza wielowarstwowe	Nieznacznie niższa od jakości spoin wykonanych elektrodami otulonymi	Wysoka – porównywalna do jakości spoin wykonanych elektrodami otulonymi	Spoiny czyste, gładkie, lecz jednowarstwowe, mają niską plastyczność i udamność	Spoiny wysokiej jakości, czyste metalurgicznie, gładkie lico
Spawanie elementów grubych	Można spawać elementy bardzo grube, ale wydajność jest niska	Można spawać wydajnie elementy bardzo grube, szczególnie odmianami wysokowydajnymi lub wąskoszczelinowo	Można spawać wydajnie elementy bardzo grube, szczególnie odmianami wysokowydajnymi lub wąskoszczelinowo, uzyskując większą wydajność niż w metodzie MAG	Nadaje się szczególnie do spawania elementów grubych i bardzo grubych	Nie zaleca się do spawania elementów grubych
Podatność na powstawanie niezgodności spawalniczych	Umiarkowana – powstają głównie zażużlenia, pory, wady kształtu lica spoiny	Umiarkowana – powstają głównie przyklejenia, pory, wady kształtu lica spoiny	Umiarkowana – powstają głównie pory, wady kształtu lica spoiny	Mała – spoiny są czyste o dobrym wtopieniu, wilgotny topnik powoduje porowatość	Mała – spoiny są czyste; niewłaściwa technika może powodować przyklejenia
Skłonność do nasycenia złącza wodorem	Bardzo duża (HD > 20÷30 ml/100 g), gdy elektrody nie są suche	Bardzo niska (HD < 5 ml/100 g)	Niska (HD ≈ 5 ml/100 g)	Bardzo duża (HD > 15 ml/100 g), gdy topnik nie jest suchy	Bardzo niska (HD < 3 ml/100 g)
Stopień przemieszania materiału stopiwa z materiałem rodzimym	Niewielki – nie przekracza ok. 20%	Dość znaczny – powyżej 20%, zależy od natężenia prądu i rodzaju gazu	Dość znaczny – powyżej 20%	Bardzo duży przy wysokim natężeniu prądu, możliwe spawanie bez ukosowania brzegów do kilkunastu mm grubości	Zwykle niewielki z powodu ograniczenia prądu spawania
Czas pomocniczy, przygotowawczo-zakończeniowy przy spawaniu	Nadłuższy spośród porównywanych metod (częsta zmiana elektrod, usuwanie zużła)	Najkrótszy spośród porównywanych metod (rzadka wymiana bębnow z drutem, prawie nie czyści się spoin)	Podobny jak w metodzie MAG; należy jednak usuwać powstały żużel	Dość długi czas przygotowawczy – wynika głównie z ustawiania i obsługi ciężkiego sprzętu	Nieznacznie dłuższy niż przy spawaniu MAG
Wpływ procesu na spawacza i otoczenie	Wydziela się bardzo dużo szkodliwych pyłów i gazów ze spalania otuliny	Wydzielane szkodliwe gazy, pyły i dymy oraz silne promieniowanie łuku	Wydzielane szkodliwe gazy, pyły i dymy oraz silne promieniowanie łuku	Najmniej szkodliwy proces, łuk jest osłonięty topnikiem, a operator oddalony od łuku	Głównym zagrożeniem jest promieniowanie łuku i wydzielanie ozonu

Wąskoszczelinowe spawanie łukiem krytym

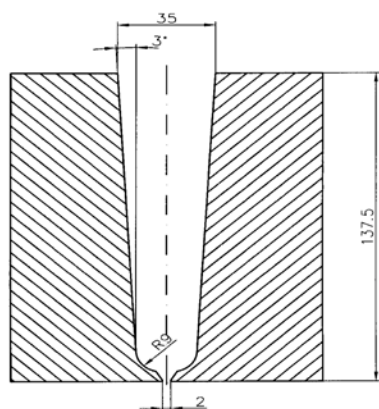
Spawanie wąskoszczelinowe jest to proces wykonywania doczołowych połączeń elementów o znacznych grubościach, ukosowanych na V, charakteryzujące się lekko rozwartym, pod kątem $0,5 \div 3^\circ$, rowkiem spoiny.

Przekrój poprzeczny rowka spoiny jest znacznie mniejszy niż w przypadku zwykłego spawania łukiem krytym.

Dzięki temu uzyskujemy następujące korzyści:

- zmniejszenie ilości wprowadzonego stopiwa do złącza,
- zmniejszenie jednostkowego zużycia energii,
- skrócenie czasu wykonania złącza.

Natomiast uciążliwość fazy wstępnej, polegającej na przygotowaniu złącza do spawania głównego, przez zmniejszenie pola manewru w przestrzeni rowka dla spawacza ulega zwiększeniu.



Rys. 2. Ukosowanie brzegów do spawania wąskoszczelinowego łukiem krytym

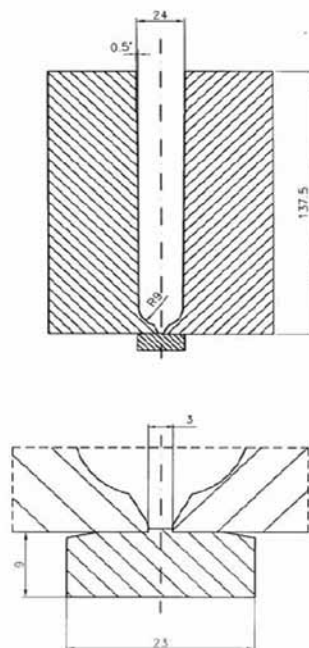
Fig. 2. Chamfering of edges to the narrow-gap welding

Wąskoszczelinowe spawanie łukiem krytym zastosowane na Wydziale Produkcji Warsztatowej Elektrowni Bełchatów

Celem wdrożenia metody spawania wąskoszczelinowego na Wydziale Produkcji Warsztatowej, było nie tylko umożliwienie wykonania niezwykle ważnej spoiny w podgrzewaczu wysokoprężnym, ale także:

- zmniejszenie uciążliwości procesu,
- zmniejszenie pracochłonności,
- ograniczenie ryzyka wadliwości złącza spawanego,
- obniżenie kosztów.

Efekty te uzyskano dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu przygotowania elementów do spawania oraz opracowaniu takiej technologii spawania, w której praktycznie wyeliminowano występującą w tradycyjnej technologii fazę wstępną, a tym samym wyeliminowano ryzyko jej wpływu na jakość złącza spawanego.



Rys. 3. Zastosowany sposób ukosowania brzegów do spawania wąskoszczelinowego

Fig. 3. Method used bevel edges for narrow-gap welding

Przygotowanie elementów do spawania zapewnia jednocześnie odpowiednio dokładne centrowanie łączonych elementów oraz ustalenie wymaganej szczeliny.

Technologia spawania oparta jest zasadniczo na zastosowaniu podkładki o grubości ok. 9 mm, która nie tylko ułatwia rozpoczęcie procesu spawania, ale także jest elementem centrującym.

Proces realizowany jest w następujący sposób:

- mechaniczny montaż elementów,
- podgrzanie do wymaganej temperatury,
- szepianie punktowe (spoiny ulegają całkowitemu przetopieniu podczas układania pierwszej warstwy),
- jednoetapowe, ciągłe, automatyczne wykonanie spoiny łukiem krytym.

Taka forma wykonywania złącza ma istotny wpływ na efektywność procesu spawania poprzez:

- zmniejszenie ilości wprowadzonego stopiwa do złącza,
- zmniejszenie jednostkowego zużycia energii,
- skrócenie czasu wykonania złącza (duża prędkość procesu),
- mechanizację procesu,
- wyeliminowanie ręcznych, uciążliwych, obciążonych ryzykiem operacji spawalniczych.

Możliwe są następujące techniki spawania wąskoszczelinowego:

- jednościgowa,
- dwuścigowa,
- trzyścigowa.

Przedmiotowa odmiana ta ma też kilka wad, które w zasadzie są takie same dla wszystkich odmian spawania łukiem krytym:

- brak możliwości obserwacji przebiegu procesu,
- ograniczenie stosowania metody do pozycji podłonej i nabocznej spawania,
- wysoki koszt urządzeń spawalniczych.

Ten sposób spawania wąskoszczelinowego łukiem krytym wymaga:

- stosowania odpowiednich topników,
- zapewnienia przewodnika dostosowanego do rowka spawalniczego i prowadzenia go w rowku bez zwarć,
- precyzyjnego prowadzenia końca drutu elektrodowego w rowku spawalniczym.

Stąd też stanowisko do prowadzenia procesu musi być wyposażone w specjalistyczny, wysokiej jakości sprzęt.

W skład stanowiska do spawania łukiem krytym na

Wydziale Produkcji Warsztatowej Elektrowni Bełchatów wchodzi:

- słupowysięgnik MAK 3x4,
- głowica spawalnicza HNG-S z układem zasypywania topnika i układem sterowania – komplet firmy ESAB,
- źródło prądu spawania LAF 1000DC firmy ESAB,
- obrotnik własnej konstrukcji i produkcji,
- stacjonarny podajnik drutu ze szpul 300 kg własnej konstrukcji i produkcji.



Rys. 4. Wykonywanie złącza spawanego ($t=137,5$)

Fig. 4. Performance of the weldet joint ($t=137,5$)



Rys. 5. Stanowisko z głowicą wąskoszczelinową HNG-S
Fig. 5. Welding station with Narrow-gap head HNG-S

Podsumowanie

W energetyce odmianę wąskoszczelinowego spawania łukiem krytym można zastosować do spawania różnorodnych elementów konstrukcyjnych, a szczególnie grubościennych zbiorników ciśnieniowych.

Prezentowane stanowisko do wąskoszczelinowego spawania łukiem krytym umożliwia wykonywanie:

- spawania elementów grubościennych – w zakresie grubości do 300 mm,
- spoin wzdłużnych – do długości 3,0 mb,
- spoin obwodowych – na elementach do średnicy ok. $\varnothing 2500$ mm.

Oczywiście istnieje także możliwość wykonania dodatkowego oprzyrządowania warsztatowego, a co się z tym wiąże – rozszerzenia zakresu wykonywania spoin metodą wąskoszczelinową łukiem krytym.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa: Poradnik Inżyniera Spawalnictwo, WNT, 2005.
- [2] Praca zbiorowa: Technologia spawania i napawania stali, staliwa i żeliwa, skrypt Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, Gliwice, 1996.

- [3] L.M. Gourd: Podstawy technologii spawalniczych, WNT, Warszawa 1997.
- [4] Chmielewski T., Węglowski M., Kudła K.: Nowe funkcje zasilaczy inwertorowych zbudowanych techniką MICOR do metody MMA, Przegląd Spawalnictwa 10/2013, s. 59-64.
- [5] Pocica A., Popanda W., Nowak D.: Badania spoin wykonanych metodą MAG w różnych osłonach gazowych. Przegląd Spawalnictwa 5/2014, s. 59-63.

Miesięczne i roczne spisy treści oraz streszczenia artykułów opublikowanych w Przeglądzie Spawalnictwa są dostępne na stronie internetowej:

www.pspaw.pl