Dariusz Fydrych
Jerzy Łabanowski

Zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego do spawania mokrego

Application of temper bead welding in wet welding conditions

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego do poprawy właściwości złączy ze stali konstrukcyjnych wykonywanych w warunkach mokrego spawania pod wodą. Scharakteryzowano istotę spawania mokrego elektrodami otulonymi oraz ideę zmiany struktury i własności złączy spawanych poprzez nakładanie ściegów odpuszczających. Przedstawiono metodykę oraz wyniki badań metalograficznych i twardości próbek ze stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości z napoinami próbnymi wykonanymi pod wodą. Ustalono, że zastosowana technika może stanowić sposób zmniejszenia twardości napoin w warunkach praktycznych. Wyznaczono również optymalny zakres odległości między napoinami (podziałki).

Abstract

The article presents the concept of the use of temper bead welding technology to improve the weldability of structural steels carried out in a wet underwater conditions. The essence of wet welding with coated electrodes, and the idea of changing the structure and properties of welded joints by applying temper beads were characterized. The methodology and results of metallographic and hardness tests carried out on the HSLA steel samples with padding welds made under water were presented. It was found that the temper bead technology may be a way for reducing the hardness of the welded deposits. Also the optimal distance range between padding welds (pitch) was determined.

Wstęp

Spawanie pod wodą najczęściej jest wykonywane elektrodami otulonymi przy bezpośrednim odziaływaniu wody na obszar spawania [1÷4]. W przypadku spawania na małej głębokości, gdy wpływ ciśnienia na jakość złączy może być pominięty, istotnym problemem pozostaje chłodzące oddziaływanie środowiska oraz duża ilość wodoru potencjalnego, które wpływają negatywnie na spawalność stali i właściwości złączy [2, 3, 5, 6]. Podstawowym problemem spawania stali pod wodą jest skłonność do tworzenia pęknięć zimnych [1, 3÷5]. W takich warunkach możliwości zredukowanie skłonności do pękania są mniejsze niż w przypadku spawania w warunkach typowych. Jedną z metod ograniczenia skłonności do powstawania pęknięć zimnych jest zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego [7÷10]. Technika ta polega na nakładaniu kolejnych ściegów na warstwę licową spoiny, co wymusza lokalną obróbkę cieplną w podłożu i korzystne przemiany strukturalne prowadzące do zmniejszenia twardości w SWC złącza. Różne techniki ściegu odpuszczającego stosowane są najczęściej dla złączy elementów o dużej grubości, gdy nie ma możliwości przeprowadzenia obróbki cieplnej po spawaniu [7, 8, 10]. Przepisy ASME wymagają nakładania sześciu warstw, przy czym dla pierwszych trzech warstw często stosuje się rosnące ilości wprowadzonego ciepła [7]. W przypadku wykorzystania omawianej techniki do zapobiegania formowaniu się pęknięć zimnych istotne jest określenie czasu pomiędzy położeniem ściegu odpuszczanego i odpuszczającego. W zależności od typu zastosowanej elektrody czas tworzenia się pęknięć przy spawaniu mokrym może wynosić od 3 min do 2 h [8]. Ważne są też: ilość wprowadzanej energii cieplnej

Dr inż. Dariusz Fydrych, dr hab. inż. Jerzy Łabanowski, prof. PG – Politechnika Gdańska.

w każdym ściegu oraz odległość między osiami ściegów (podziałka) [7].

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że wzrost liczby ściegów wpływa pozytywnie na udarność złączy, co tłumaczy się odpuszczającym działaniem kolejnych ściegów [9]. Ponadto badania wykazały, że zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego z podziałką 40% obniżyło twardość maksymalną SWC napoiny wykonanej na stali o podwyższonej wytrzymałości poniżej 350 HV [5].

Celem podjętej pracy badawczej była ocena przydatności techniki ściegu odpuszczającego jako metody poprawy spawalności stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości spawanej w środowisku wodnym. Podjęto również próbę wyznaczenia najkorzystniejszej podziałki nakładanych ściegów.

Badania własne

Materiały do badań

Do badań użyto blachy o grubości 12 mm ze stali S355J2G3. Skład chemiczny stali oraz jej właściwości mechaniczne podano w tablicach I i II.

Napoiny próbne wykonano elektrodami OMNIA (E 42 0 RC 11) firmy Lincoln Electric o średnicy 4 mm. Są to elektrody rutylowe ogólnego przeznaczenia do spawania we wszystkich pozycjach o składzie chemicznym: C – 0,07%, Mn – 0,5%, Si – 0,5% i właściwościach mechanicznych stopiwa: R_e – 484 MPa, R_m – 565 MPa, A_5 – 24,6%.

Tablica I. Skład chemiczny badanej stali S355J2G3
Table I. Chemical composition of S355J2G3 steel

Zawartość składników, % wag.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	C_e
0,17	0,35	1,44	0,014	0,014	0,04	0,077	0,30	0,02	0,44

Tablica II. Właściwości mechaniczne blachy ze stali S355J2G3
Table II. Mechanical properties of S355J2G3 steel plate

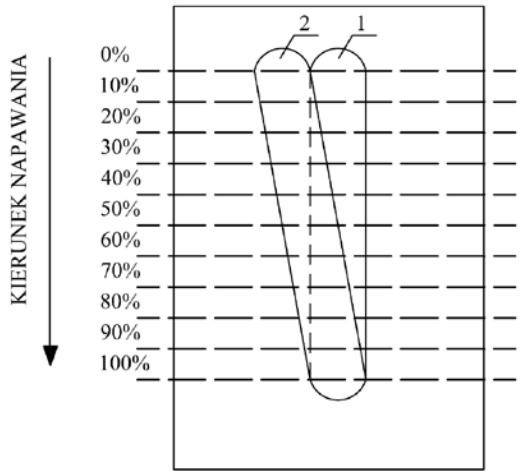
Właściwości mechaniczne		
R_e, MPa	R_m, MPa	A_5, %
464	577	22,1

Wykonanie badań

Badania zostały wykonane w Laboratorium Technik Podwodnych Zakładu Inżynierii Spajania Politechniki Gdańskiej na stanowisku do spawania na małych głębokościach [1, 2]. Stanowisko wyposażone jest w źródło prądu spawania ESAB Aristo 400. Z badanej stali wycięto próbkę o wymiarach 100 × 200 mm. Następnie napawano ją elektrodami OMNIA w pozycji podolnej z biegunowością DC – zgodnie z metodyką zaproponowaną w [10], polegającą na wykonaniu dwóch napoin nierównoległych. Eksperyment zrealizowano na głębokości 150 mm, a czas między wykonaniem obu napoin wynosił 120 s. Parametry napawania zestawiono w tablicy III. W celu zachowania warunków zbliżonych do rzeczywistych oraz wyeksponowania oddziaływania badanego zjawiska drugi ścieg wykonano z większą ilością wprowadzonego ciepła. Sposób wykonania napoin oraz pobrania próbek do badań pokazano na rysunku 1.

Tablica III. Parametry wykonania napoin próbnych na stali S355J2G3
Table III. Process parameters of pad welding on S355J2G3 steel

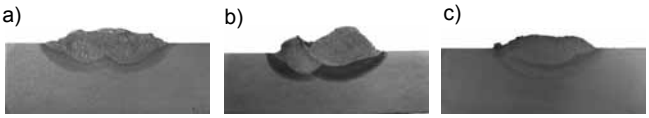
Napoina	Natężenie prądu, A	Napięcie łuku, V	Prędkość napawania, mm/min	Ilość wprowadzonego ciepła, kJ/mm
1	206	34,5	255	1,7
2	226	41,0	213	2,6



Rys. 1. Sposób wykonania napoin próbnych i pobrania próbek do badań
Fig. 1. The method of test pad welding and cutting samples for tests

Badania metalograficzne makroskopowe

Głównym celem badań makroskopowych wykonanych zgodnie z wymaganiami normy [11] była ocena stopnia nałożenia drugiej napoiny na pierwszą (podziałki). Próbki do badań wycięto na pile ramowej prostopadle do osi pierwszej napoiny, dzięki czemu uzyskano 9 próbek, które oznaczono numerami od 1.1 do 1.9. Następnie poddano je szlifowaniu na mokro przy zastosowaniu papierów ściernych o malejącej ziarnistości i wytrawiono nitalem. Przykładowe przekroje napoin pokazano na rysunku 2.



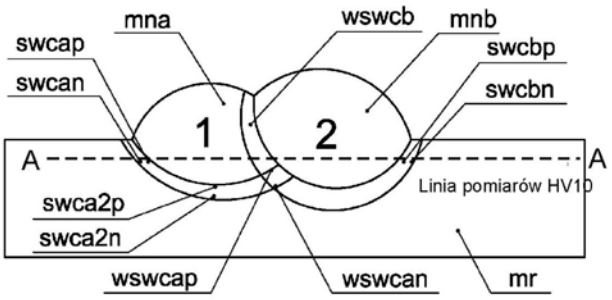
Rys. 2. Przekroje napoin próbnych: a) podziałka 38%, b) podziałka 50%, c) podziałka 90%
Fig. 2. Cross-section of test padding welds: a) pitch 38%, b) pitch 50%, c) pitch 90%

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Badania metalograficzne mikroskopowe

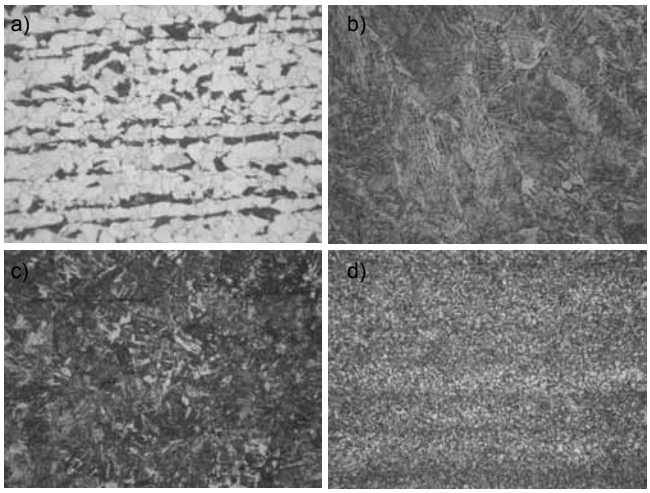
Badania metalograficzne wykonano na zgładach trawionych nitalem przy użyciu optycznego mikroskopu LEICA MEF4M. Na rysunku 3 oznaczono napoiny, w których zostały wykonane badania metalograficzne oraz pomiary twardości.

Na rysunku 4 przedstawiono struktury materiału rodzimego, napoiny i SWC. Stal S355J2G3 wykazuje strukturę ferrytyczno-perlityczną z wyraźną pasmowością. Mikrostruktura obu napoin (bazowej i odpuszczającej) jest podobna i składa się z ferrytu w układzie kolumnowym z zarysem struktury Widmannstättena. W obszarze przegrzania SWC stali S355J2G3 widoczne są iglaste struktury hartownicze. W kilku przypadkach stwierdzono występowanie pęknięć zimnych w SWC napoin.



Rys. 3. Umiejscowienie i oznaczenia badanych stref napoin: mr – materiał rodzimy, mna – napoina pierwsza, mnb – napoina druga, swca – SWC napoiny pierwszej, swcb – SWC napoiny drugiej, wswca – strefa zachodzących na siebie swca i swcb, wswcb – strefa swcb zachodząca w strefę mna, n – strefa normalizacji, p – strefa przegrzania

Fig. 3. Location and designation of investigated zones at test plate: mr – base material, mna – first padding weld, mnb – second padding weld, swca – HAZ of first padding weld, swcb – HAZ of second padding weld, wswca – swca and swcb overlap area, wswcb – swcb overlap in mna, n- standardization area, p – overheat area

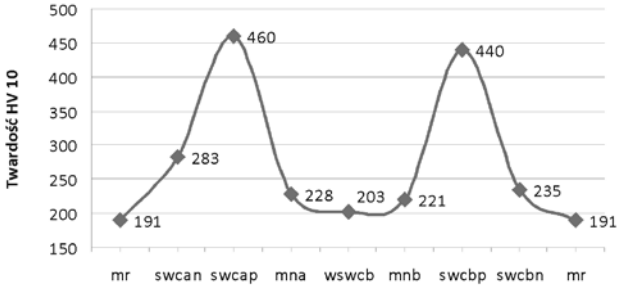


Rys. 4. Charakterystyczne mikrostruktury próbki napawanej: a) materiał rodzimy – stal S355J2G3, b) napoina, c) SWC – obszar przegrzania, d) SWC – obszar normalizacji. Pow. 200×

Fig. 4. Microstructure of sample: a) base material, b) pad weld, c) overheat area in HAZ, d) standardization area in HAZ. Magn. 200×

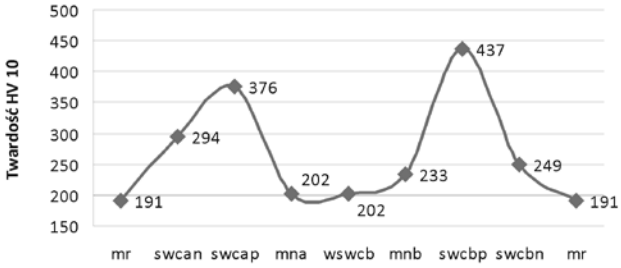
Pomiary twardości

Pomiary twardości napoin zostały wykonane metodą Vickersa twardościomierzem typu HPO-250 zgodnie z normą [12] przy obciążeniu 98 N (HV 10).



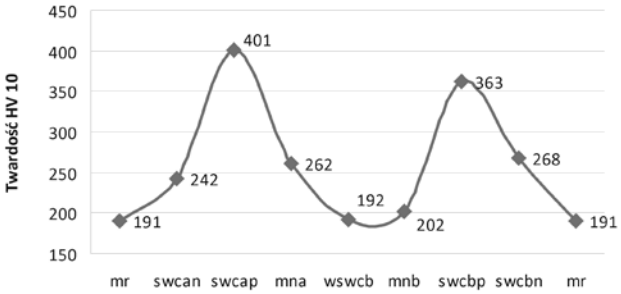
Rys. 5. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.1, podziałka 25%

Fig. 5. Hardness distribution across sample 1.1, pitch 25%



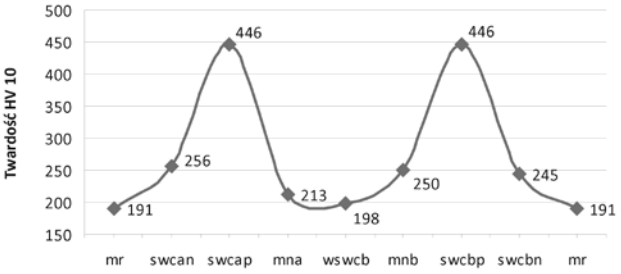
Rys. 6. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.2, podziałka 33%

Fig. 6. Hardness distribution across sample 1.2, pitch 33%



Rys. 7. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.3, podziałka 36%

Fig. 7. Hardness distribution across sample 1.3, pitch 36%

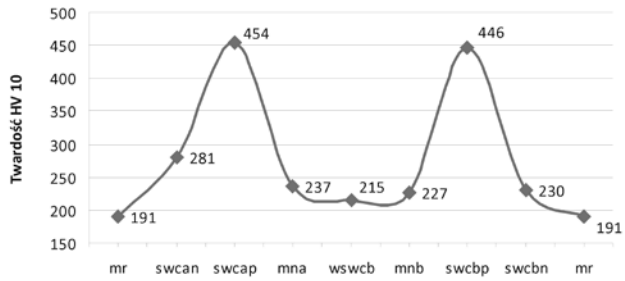


Rys. 8. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.4, podziałka 38%

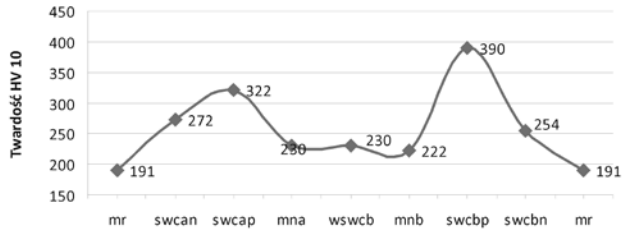
Fig. 8. Hardness distribution across sample 1.4, pitch 38%

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

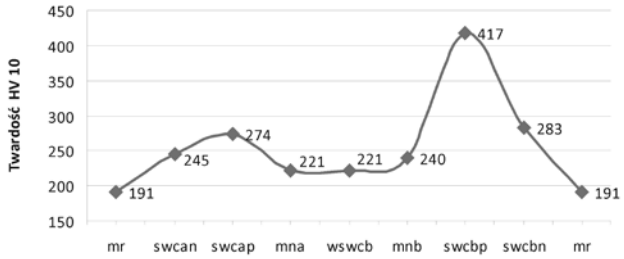
Rozkłady twardości na przekroju napoin przedstawiono na rysunkach 5÷13. We wszystkich przypadkach stwierdzono wartości twardości maksymalnej przekraczające 350 HV, która uznawana jest za wartość krytyczną. Na rysunku 14 pokazano twardość w SWC pierwszej napoiny (odpuszczonej) w zależności od podziałki ściegu odpuszczającego.



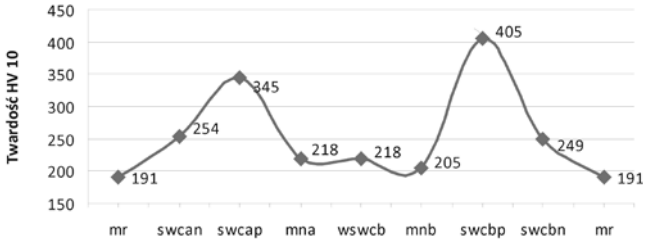
Rys. 9. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.5, podziałka 50%
Fig. 9. Hardness distribution across sample 1.5, pitch 50%



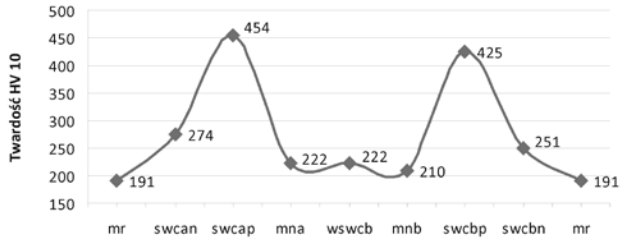
Rys. 10. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.6, podziałka 68%
Fig. 10. Hardness distribution across sample 1.6, pitch 68%



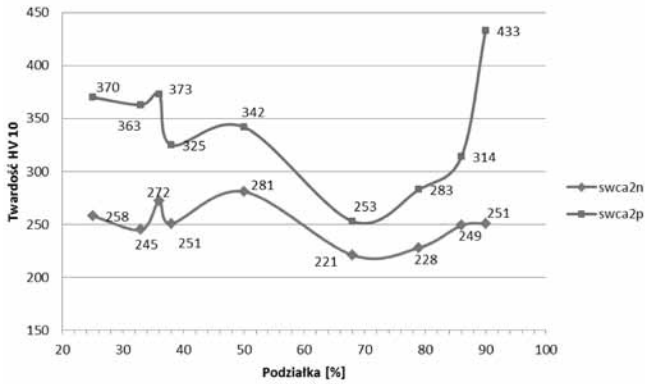
Rys. 11. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.7, podziałka 79%
Fig. 11. Hardness distribution across sample 1.7, pitch 79%



Rys. 12. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.8, podziałka 86%
Fig. 12. Hardness distribution across sample 1.8, pitch 86%



Rys. 13. Rozkład twardości na przekroju napoin, próbka 1.9, podziałka 90%
Fig. 13. Hardness distribution across sample 1.9, pitch 90%



Rys. 14. Rozkład twardości stref swca2n i swca2p w pierwszej napoinie na stali S355J2G3 w zależności od podziałki ściegów
Fig. 14. Hardness distribution across swca2n and swca2p zones of first weld pad

Podsumowanie

Badania wykonane metodą Vickersa HV10 wykazały, że w obszarach SWC napoin próbnych poddanych oddziaływaniu ciepła pochodzącego ze ściegów odpuszczających nastąpiło znaczące obniżenie twardości. Na podstawie badań określono optymalne z punktu widzenia spawalności wartości podziałki dla ściegów odpuszczających w zakresie 40÷85%, przy czym za zakres szczególnie korzystny należy uznać 65÷80% (rys. 14).

Technika ściegu odpuszczającego umożliwi uzyskanie złączy spawanych spełniających kryteria norm przedmiotowych lub towarzystw klasyfikacyjnych przy zastosowaniu dość prostych zabiegów technologicznych. Może zostać zastosowana np. w naprawach rurociągów podmorskich. Należy zaznaczyć, że skutek zastosowania techniki ściegów odpuszczających zależy od wielu czynników, m.in. pozycji spawania, parametrów spawania, długości łuku i kąta ustawienia elektrody. Kolejne badania powinny uwzględniać tego rodzaju zmienne, co umożliwia określenie optymalnych warunków zastosowania techniki ściegu odpuszczającego przy spawaniu pod wodą. Ograniczeniem zastosowania rozpatrywanej techniki może być konieczność zachowania właściwego reżimu technologicznego oraz zapewnienia powtarzalności procesu, co jest szczególnie trudne w przypadku spawania w środowisku wodnym.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wnioski

Zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego może być skuteczną metodą poprawy spawalności stali o podwyższonej wytrzymałości w warunkach spawania mokrego elektrodami otulonymi.

Oddziaływanie ciepła od ściegów odpuszczających spowodowało zmniejszenie twardości maksymalnej SWC napoiny próbnej na stali S355J2G3 poniżej wartości krytycznej 350HV.

Określono najkorzystniejszy z punktu widzenia spawalności stali zakres wartości podziałki w granicach 65÷80%.

Badania można kontynuować w kierunku oceny możliwości zastosowania techniki ściegu odpuszczającego do wykonania złączy ze spoinami czołowymi i pachwinowymi.

Literatura

[1] Łabanowski J., Fydrych D., Rogalski G.: Underwater Welding – a review. Advances in Materials Science 3/2008.

[2] Fydrych D., Rogalski G.: Wpływ warunków spawania mokrego elektrodą otuloną na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie. Przegląd Spawalnictwa 2/2008.

[3] Christensen N.: The metallurgy of underwater welding. Proceedings of the International Conference „Underwater Welding", Trondheim, Norway 1983.

[4] Cotton H. C.: Welding under water and in the splash zone – a review. Proceedings of the International Conference „Underwater Welding", Trondheim, Norway 1983.

[5] Fydrych D., Rogalski G., Łabanowski J.: Spawalność stali o podwyższonej wytrzymałości w warunkach podwodnych. Przegląd Spawalnictwa 11/2011.

[6] Rogalski G., Fydrych D.: Wpływ parametrów spawania pod wodą na twardość złączy. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria: Mechanika z. 230. Warszawa 2010.

[7] Łomozik M.: Morfologia i właściwości plastyczne obszarów strefy wpływu ciepła w stalowych złączach spawanych w aspekcie użycia ściegów odpuszczających. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.

[8] Joint industry underwater welding development program. Phase I – final report. Global Divers & Contractors, Colorado School of Mines, 1995.

[9] Liu S.: Fundamentos de saldatura humeda. Seminario de saldatura humeda. Campeche, Mexico 1999.

[10] Aloraier A., Ibrahim R., Thomson P.: FCAW process to avoid the use of post weld heat treatment. International Journal of Pressure Vessels and Piping 5/2006.

[11] PN-EN 1321:2000 Spawalnictwo. Badania niszczące metalowych złączy spawanych. Badania makroskopowe i mikroskopowe złączy spawanych.

[12] PN-EN 1043-1:2000 Spawalnictwo. Badania niszczące metalowych złączy spawanych. Próba twardości. Próba twardości złączy spawanych łukowo.

POLSKIE TOWARZYSTWO SPAWALNICZE – ODDZIAŁ W OPOLU
ORGANIZUJE W DNIACH 17 – 19 WRZEŚNIA 2013 r.
WYJAZD NA TARGI SPAWALNICZE „SCHWEISSEN & SCHNEIDEN" W ESSEN (NIEMCY)

Uczestnikom wyjazdu zapewniamy:
- Przejazd komfortowym autokarem na trasie Opole – Essen – Opole i dojazdy na targi (wyjazd w dniu 16.09 w godzinach wieczornych, powrót w nocy z 19 na 20.09).
- Pełne wyżywienie, noclegi w hotelu (pokoje 1; 2; 3 –osobowe: łazienka, WC, TV, telefon, dostęp do internetu).
- Ubezpieczenie zagraniczne.

Odpłatność dla uczestnika wyjazdu w zależności od zakwaterowania wynosi:
- 2.250 PLN – pokój jednoosobowy
- 2.160 PLN – pokój dwuosobowy
- 2.060 PLN – pokój trzyosobowy

Prosimy o jak najszybsze wstępne powiadomienie o chęci wyjazdu. Informujemy, że przypadku większej ilości chętnych o rezerwacji miejsca decydować będzie kolejność zgłoszeń.

Więcej informacji można uzyskać u organizatorów:
Pocica Anna, tel.: +48 501 598 761, e-mail: a.pocica@po.opole.pl
Bienias Zygmunt, tel.: +48 502 096 917, e-mail: zygmunt.halina@wp.pl
Derwich Tomasz, tel.: +48 774019258, e-mail: tomasz.derwich@esab.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl