

# Spawanie stali Hardox w wybranych osłonach gazowych

## Welding of Hardox steel in selected gas shield

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nieniszczących oraz badań własności mechanicznych, udarności, twardości i mikrostruktury złączy spawanych ze stali Hardox wykonanych metodą MAG w różnych osłonach gazowych.

**Słowa kluczowe:** spawanie; osłona gazowa; własności złączy spawanych

### Abstract

The paper presents the results of non-destructive tests and mechanical properties, toughness, hardness and macrostructure tests of welding joints of Hardox steel, welded in various gas shields.

**Keywords:** welding; gas shield; properties of welding joint

### Wstęp

Stale Hardox są to wysokojakościowe stale o dużej odporności na ścieranie, dobrych własnościach mechanicznych oraz odporności na obciążenie udarowe [1]. Stale te charakteryzują się również dobrą spawalnością [2], przy czym bardzo ważny jest dobór energii liniowej spawania, materiałów dodatkowych, temperatury podgrzania wstępnego i międzysciegowej oraz prawidłowy dobór gazu osłonowego [3].

Gazy osłonowe, oprócz ochrony łączonych elementów przed wpływem tlenu, azotu i wodoru z powietrza, powinny także pozwolić na utrzymanie stabilnego łuku przy stosunkowo niskim napięciu, zapewnić uzyskanie dobrego wtopienia i gładkiego lica.

Stale Hardox spawa się na ogół metodą MAG w osłonie mieszanek gazowych – Ar+CO<sub>2</sub> lub Ar+CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>. Mieszanki gazowe poprawiają stabilność jarzenia się łuku, zmniejszają rozprysk, zwiększają wydajność spawania, poprawiają jakość spoiny i na ogół własności mechaniczne złączy spawanych [4]. Gazy osłonowe wpływają na kształt słupa łuku oraz charakter transportu kropli ciekłego metalu. Dodatek dwutlenku węgla polepsza formowanie i kształt spoiny oraz zwiększa wtopienie. Dodatek tlenu, z kolei, powoduje zmniejszenie wartości prądu krytycznego, co sprzyja transportowi drobnokropłowemu i pozwala, w stosunku do osłony z czystego argonu, na stosowanie większej średnicy drutu elektrodowego lub, przy tej samej średnicy, na spawanie cieńszych blach. Tlen w mieszance polepsza formowanie ściegów, zmniejsza porowatość i rozprysk, a także powoduje wzrost wydajności spawania. Dodatek tlenu do mieszanki Ar+CO<sub>2</sub> poprawia wydajność spawania i stabilność jarzenia się łuku, sprzyja lepszemu formowaniu spoiny, a także pozwala ograniczyć zawartość wodoru i azotu w stopiwie [5].

Efektywność osłony gazowej zależy od własności fizycznych i chemicznych gazów, a także od wielu czynników technologicznych, m.in.: wydatku gazu, natężenia prądu spawania, pozycji spawania, rodzaju złącza, kąta nachylenia dyszy gazowej uchwytu [2].

### Badania własne

Badaniom poddano cztery płyty próbne o wymiarach 150 x 280 mm i grubości 10 mm ze stali HARDOX 400 o składzie chemicznym i własnościach mechanicznych podanych w tablicy I.

**Tablica I.** Skład chemiczny i własności mechaniczne stali Hardox 400  
**Table I.** Chemical composition and mechanical properties of Hardox 400 steel

Skład chemiczny stali [%]								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0,32	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	1,50	0,60	0,004
Właściwości mechaniczne								
R <sub>m</sub> , MPa		R <sub>e</sub> , MPa		Udarność, J		Twardość, HB		
1200		1000		45		370-430		

Spawanie prowadzono metodą MAG (135) w pozycji podłonej, prądem stałym biegunowości dodatniej. Zastosowano drut GMnNi3CrMo o średnicy 1,2 mm oraz cztery osłony gazowe o następującym składzie chemicznym:

1. C1 (100% CO<sub>2</sub>);
2. M21 (82% Ar+18% CO<sub>2</sub>);
3. M12 (97,5% Ar+2,5% CO<sub>2</sub>);
4. R1 (98% Ar+2% H<sub>2</sub>).

We wszystkich przypadkach przepływ gazu osłonowego wynosił 12÷18 l/min, prąd spawania 160÷240 A, napięcie 20÷27 V, a prędkość spawania 15÷40 cm/min.

Po przeprowadzeniu procesu spawania, złącza poddano badaniom nieniszczącym: wizualnym, penetracyjnym i radiograficznym oraz badaniom niszczącym, obejmującym próby rozciągania, udarności, zginania, badania twardości i mikrostruktury.

**Dr inż. Anna Pocica** – Politechnika Opolska, **inż. Tomasz Buszyński** – Spawex Anna Buszyńska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: [a.pocica@op.opole.pl](mailto:a.pocica@op.opole.pl)

**Tablica II.** Własności mechaniczne złączy spawanych  
**Table II.** Mechanical properties of welded joints

Oznaczenie próbki	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ , MPa	Udarność, J		Próba zginania	
		lico	grań	lico	grań
C1 (100%CO <sub>2</sub> )	885	33	18	pozytywny	negatywny
M21 (82%Ar+18% CO <sub>2</sub> )	878	34	19	pozytywny	negatywny
M12 (97,5%Ar+2,5% CO <sub>2</sub> )	856	51	38	pozytywny	negatywny
R1 (98%Ar+2%H <sub>2</sub> )	785	23	16	pozytywny	negatywny

Badania wizualne prowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 5817, przy użyciu standardowego wyposażenia. Badania penetracyjne wykonano w temperaturze 20 °C stosując penetrant barwny. Blachy przed próbą czyszczono mechanicznie. Po nałożeniu penetrant wnikał w złącze przez 20 min, po czym powierzchnie zmywano i nakładano wywoływacz.

Badania radiograficzne przeprowadzono zgodnie z wytycznymi norm PN-EN ISO5817, PN-EN ISO 10675-1, PN-EN ISO 5579 i PN-EN ISO 17636-1. Źródłem promieniowania było urządzenie ERESCO 52MF4-CL. Natężenie prądu wynosiło 4,0 mA, a odległość źródło – błona 700 mm. Zastosowano okładki wzmacniające przód Pb 0,05 i tył Pb 0,15. Wszystkie badania nieniszczące wykazały, że złącza mają klasę jakości B.

Badania wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono na zrywance ZD 40 zgodnie z PN-EN ISO 4136. Temperatura badania wynosiła 23 °C, a dokładność wskazania zrywarki 2 kN.

Badania udarności prowadzono metodą Charpy'ego w temperaturze -20 °C, na znormalizowanych próbkach z karem typu V.

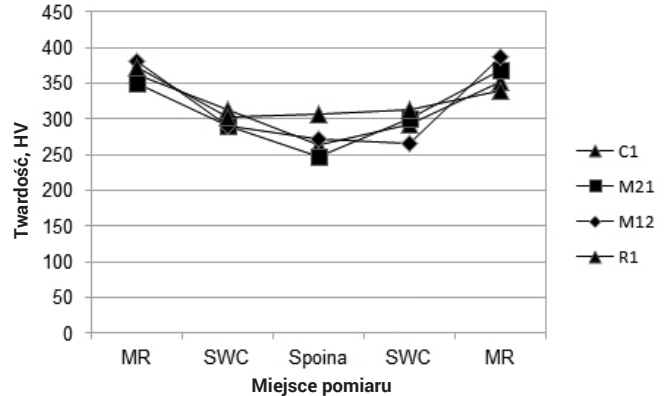
Próbę zginania prowadzono od strony grani i od strony lica. Próbkę podparto na wałkach i obciążono siłą F. Kąt zginania wynosił 180° i jeżeli po zginaniu nie stwierdzono wad zewnętrznych wynik uważano za pozytywny.

Wyniki badań własności mechanicznych złączy przedstawiono w tablicy II.

Badania twardości wykonano metodą Vickersa przy obciążeniu 100 N. Pomiaru wykonano w dwóch liniach i obejmowały one materiał rodzimy, strefę wpływu ciepła i spoinę. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 1.

## Analiza wyników badań i wnioski

Spawanie stali Hardox metodą MAG w różnych osłonach gazowych pozwala na uzyskanie prawidłowych złączy o poziomie jakości B. Wyjątek stanowi spoina wykonana w osłonie mieszanki R1 – 98% Ar + 2% H<sub>2</sub>, w której występują pod-



**Rys. 1.** Rozkład twardości w przekroju poprzecznym badanych złączy  
**Fig. 1.** Hardness distribution in cross-section of tested joints

topienia w licu i grani. Tego typu niezgodności nie obserwuje się w innych złączach.

Spoina wykonana w osłonie R1 ma najniższą wytrzymałość i jednocześnie najmniejszą udarność. Twardość spoiny oraz SWC jest natomiast największa.

Najlepsze własności plastyczne można uzyskać dla spawania w osłonie Ar + CO<sub>2</sub>, przy czym udarność od strony lica jest większa niż od strony grani. Gorsze własności od strony grani potwierdza próba zginania, w której dla wszystkich złączy uzyskano wynik negatywny. Jest to spowodowane niedostateczną osłoną gazową tego obszaru, a także utwardzeniem spoiny w wyniku szybkiego odprowadzenia ciepła.

Spawanie w czystym CO<sub>2</sub> pozwala uzyskać największą wytrzymałość złącza, lecz w metodzie tej występuje duża ilość rozprysków i znaczne umocnienie w strefie wpływu ciepła. Trzeba sobie zdawać sprawę z tego, że trudno jednoznacznie uzależnić własności złącza od jednej zmiennej. Każdorazowo więc należy analizować wszystkie zmienne (prąd, napięcie, szybkość spawania, osłona gazowa) i dopiero na podstawie takiej analizy możliwe jest określenie zalecanych parametrów spawania czy osłony gazowej.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski

1. Wszystkie złącza, bez względu na zastosowaną osłonę gazową mają klasę jakości B.
2. Własności od strony lica są wyższe niż od strony grani, co jest związane z warunkami krzepnięcia spoiny i niedostateczną osłoną tego obszaru.
3. Spawanie w osłonie 98% Ar + 2% H<sub>2</sub> powoduje wystąpienie podtopień w licu i grani spoiny, a spoina ma najniższe własności mechaniczne.

## Literatura

- [1] Dudziński W., Konat Ł., Pękalska L., Pękalski G.: Struktury i właściwości stali Hardox 400 i Hardox 500, Inżynieria Materiałowa, nr 3, s. 139-142, 2006.
- [2] Konat Ł.: Struktury i własności stali Hardox a ich możliwości aplikacyjne w warunkach zużywania ściernego i obciążeń dynamicznych, Praca doktorska, Wrocław, 2007.
- [3] Spawanie trudnościeralnych stali Hardox, <https://www.ssab.pl/produkty/marki/hardox/pl-spawanie-artykul>
- [4] Piereżek B., Lassociński J.: Spawanie łukowe stali w osłonach gazowych, WNT, Warszawa, 1997.
- [5] Pocica A., Popanda W., Nowak D.: Badania spoin wykonanych metodą MAG w różnych osłonach gazowych, Przegląd Spawalnictwa nr 5, s. 59-63, 2014.
- [6] Ferenc K., Ferenc J.: Spawalnicze gazy osłonowe i palne, WNT, Warszawa, 2005.