

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### Mieszanki gazowe stosowane do spawania podpór podestów ruchomych

*BOŻENA SZCZUCKA-LASOTA<sup>1</sup>, TOMASZ WĘGRZYN<sup>2</sup>, JAN PIWNIK<sup>3</sup>, ADAM JUREK<sup>4</sup>, KRZYSZTOF I. WILCZYŃSKI<sup>5</sup>*

<sup>1,2</sup>POLITECHNIKA ŚLĄSKA, <sup>3</sup>CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ COBRABID WARSZAWA, <sup>4</sup>NOVAR SP. Z O.O. GLIWICE, <sup>5</sup>POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Słowa kluczowe:** inżynieria lądowa, transport, podpory, podesty ruchome

#### STRESZCZENIE:

Wzrasta zapotrzebowanie na spajanie trudnospawalnych stali wysokowytrzymałych stosowanych w inżynierii lądowej i w transporcie. Przykładem tego typu konstrukcji mogą być podpory podestu ruchomego. Ważnym materiałem w produkcji podpór podestów ruchomych są stale drobnoziarniste z uwagi na ich dużą wytrzymałość na rozciąganie na poziomie 1000 MPa. Celem prac opisanych w niniejszym artykule było dobranie gazów osłonowych do spawania cienkościennych konstrukcji podpór podestu ruchomego z trudnospawalnej stali S960 MC.

### Gas mixtures used for welding supports of mobile platforms

**Keywords:** civil engineering, transport, supports, mobile platforms

#### ABSTRACT:

The demand for welding of hard-welded high-strength steels used in civil engineering and transport is increasing. An example of this type of construction can be movable platform supports. An important material in the production of movable platform supports are fine-grained steels due to their high tensile strength of 1000 MPa. The purpose of this article was to select proper shielding gases for welding thin-walled structures of mobile platform supports made of S960 MC hard-welded steel.

## 1. WSTĘP

W inżynierii lądowej i w transporcie ciągle modernizuje się sprzęt budowlany i środki transportu [1-4]. W celu podwyższenia własności użytkowych tych konstrukcji dąży się do zwiększenia ich doraźnej wytrzymałości. Ważnym przykładem nowoczesnego środka transportu wykorzystywanego w pracach budowlanych są podesty ruchome. Na ramiona operacyjne podestów stosuje się wysokowytrzymałe stale z grupy AHSS (DOCOL 1200M i DOCOL 1400M), a na podpory podestów ruchomych stale S700 MC i S960 MC [6].

W artykule skupiono się na spawaniu cienkościennej konstrukcji podpór podestu ruchomego. Celem opisanych w artykule prac jest dobór parametrów technologicznych procesu i sprawdzenie właściwości cienkościennego złącza wykonanego z drobnoziarnistej stali S960 MC.

## 2. MATERIAŁY I METODY

Wysokowytrzymała stal S960 MC (stosowana na elementy dźwigów) znajduje coraz szersze zastosowanie w inżynierii lądowej i w transporcie z uwagi na dużą wytrzymałość na rozciąganie, co pozwala na obniżanie masy własnej cienkościennych konstrukcji podpory podestu [5-6]. Podczas spawania stali zaobserwować można obniżenie własności mechanicznych w SWC. Zalecane jest zatem ograniczenie energii liniowej w trakcie spawania stali S960 MC do poziomu 5 kJ/cm [7-12]. Tabela 1 prezentuje własności mechaniczne stali S960 MC zastosowanej na podpory podestów ruchomych.

Tabela 1 Własności mechaniczne stali S960 MC [6]

Granica plastyczności YS	Wytrzymałość na rozciąganie UTS	Wydłużenie A <sub>5</sub>
MPa	MPa	%
950	1250	8

Na uwagę zasługuje wysoka granica plastyczności na poziomie 900 MPa. Jest to związane z większą zawartością węgla i tytanu w stosunku do stali z grupy węglowo-manganowych. Tabela 2 przedstawia skład chemiczny stali S960 MC. W stalach C-Mn zawartość Ti jest wprowadzana maksymalnie na poziomie 0,003%, a w stalach wysokowytrzymałych zawartość tytanu jest na poziomie 0,7% (Tab. 2).

Tabela 2 Skład chemiczny stali S960 MC [6]

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	Nb%	V%	Ti%
0,12	0,25	1,3	0,02	0,01	0,015	0,05	0,05	0,07

Do budowy podpór elementów podnośników ruchomych zastosowano blachy o grubości 2 mm. Postanowiono wykonać złącza z wykorzystaniem procesu MAG (*Metal Active Gas*), stosując jako gaz osłonowy trzy różne mieszanki: Ar + 5% CO<sub>2</sub>, Ar + 10% CO<sub>2</sub> oraz Ar + 20% CO<sub>2</sub>. Dobrano drut elektrodowy UNION X90 (EN ISO 16834-A G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo) o następującym składzie chemicznym (Tab. 3).

Tabela 3 Drut elektrodowy UNION X90 – skład chemiczny [10]

UNION	C%	Si%	Mn%	P%	Cr%	Mo%	Ni%	Ti%
X90	0,10	0,8	1,8	0,010	0,35	0,6	2,3	0,005

Skład chemiczny drutu różni się od składu chemicznego spawanej stali. Na uwagę zasługuje dodatek chromu w drucie elektrodowym (który nie jest pierwiastkiem stopowym stali S960 MC). Parametry spawania stali S960 MC z zastosowaniem obu drutów elektrodowych były podobne. Średnica drutu wynosiła 1,0 mm, napięcie łuku 18 V, natężenie prądu spawania 120 A. Prędkość spawania wynosiła 350 mm/min. Testowano 3 różne mieszanki osłonowe. Źródło prądu stałego podłączono z (+) na elektrodzie, cienkościenna spoina (2 mm) miała charakter jednościgowy.

## 3. METODY, ZAKRES BADAŃ

Zakres badań obejmował badania nieniszczące (NDT):

- Badanie wizualne (VT),
- Badanie magnetyczno-proszkowe (MT).

Wśród badań niszczących przeprowadzono:

- próbę zginania,
- badanie wytrzymałości na rozciąganie,
- pomiar twardości.

## 4. REZULTATY I DYSKUSJA

Wykonano czołowe (BW) złącze spawane ze stali S960 MC o grubości 2 mm. Zastosowano metodę spawania MAG w pozycji podolnej (PA), wykorzystując 3 różne osłonowe mieszanki gazowe. Po spawaniu przeprowadzono badania nieniszczące (NDT). Rezultaty powstałych połączeń podestu ruchomego przedstawiono w Tabeli 4.

**Tabela 4** Ocena badań nieniszczących złącza podpory podestu ruchomego

Mieszanka osłonowa	Mieszanka osłonowa	Mieszanka osłonowa
Ar + 5% CO <sub>2</sub>	Ar + 10% CO <sub>2</sub>	Ar + 20% CO <sub>2</sub>
Brak pęknięć	Brak pęknięć	Pęknięcia w SWC

Z danych tablicowych wynika, że rodzaj mieszanki gazowej ma wpływ na poprawność wykonanego złącza ze stali S960 MC. Pęknięcia odnotowano tylko wtedy, gdy zawartość CO<sub>2</sub> w mieszance była na poziomie 20%; mieszanka ta miała charakter zbyt utleniający.

#### 4.1 Wyniki badań niszczących

Do dalszych badań wzięto pod uwagę tylko poprawne złącza wykonane w osłonie Ar + 5% CO<sub>2</sub> oraz Ar + 10% CO<sub>2</sub>. Wykonano statyczną próbę rozciągania złącza doczołowego o grubości 2 mm w temperaturze 20°C, na maszynie wytrzymałościowej ZD 100. Wyniki badań dla próbki o przekroju 2 mm × 12 mm (długość 25 mm) przedstawiono w Tabeli 5. Za każdym razem wykonano 3 próby rozciągania.

**Tabela 5** Własności mechaniczne złączy

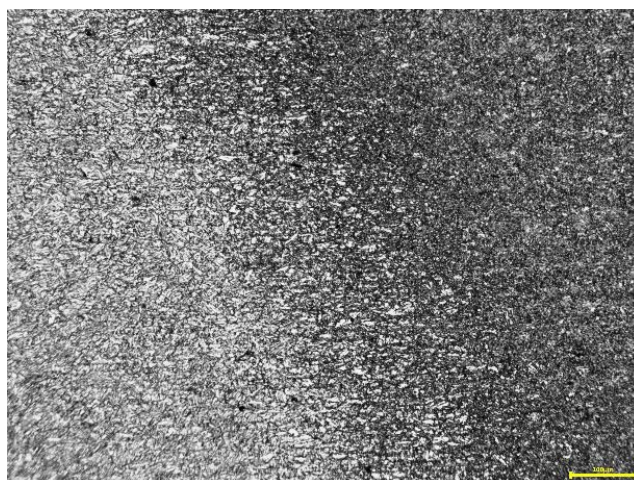
Gaz osłonowy	R <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	A <sub>5</sub>
Ar + 10% CO <sub>2</sub>	976	665	7,2
Ar + 5% CO <sub>2</sub>	981	672	7,1

Analizując dane z Tabeli 5, można zauważyć, że złącza zostały wykonane prawidłowo. Zerwanie nastąpiło głównie w materiale rodzimym w okolicach strefy wpływu ciepła. Przekrój zerwanych próbek był przeważnie plastyczno-kruchy. Wytrzymałość na rozciąganie i granica plastyczności są na wymaganym wysokim poziomie (R<sub>e</sub> powyżej wymaganej wartości 600 MPa, R<sub>m</sub> powyżej wymaganej wartości 900 MPa). Nieco wyższą wytrzymałość złącza uzyskano przy zastosowaniu mieszanki bardziej utleniającej (Ar + 10% CO<sub>2</sub>). Na podstawie badań wytrzymałościowych można uznać, że zawartość CO<sub>2</sub> w osłonowej mieszance gazowej powinna się mieścić w przedziale od 5% do 10%.

Następnie przeprowadzono próbę zginania. Dla próbek o grubości 2 mm parametry były następujące: szerokość próbki b = 20 mm, trzpień d = 14 mm, rozstaw podpór d + 3a = 31 mm oraz wymagany kąt gięcia 180°. Wykonano 5 pomia-

rów w próbie zginania dla każdej badanej grubości złącza od strony grani oraz od strony lica. Nie odnotowano pęknięć w spoinie i w SWC zarówno od strony grani, jak i lica. Próba zginania została przeprowadzona prawidłowo, a ocena badań jest pozytywna, ponieważ nie wykryto pęknięć oraz innych niezgodności w badanych złączach ze stali S960 MC.

Następnie wykonano zglądy metalograficzne i sprawdzono strukturę spoin wykonanych przy użyciu wszystkich trzech badanych mieszanek. Struktura we wszystkich przypadkach była bardzo podobna, dominował w niej martenzyt. Obserwacje trawionych w odczynniku Adlera zglądów przeprowadzono na mikroskopie świetlnym. Typową strukturę złącza przedstawiono na Rysunku 1.



**Rysunek 1** Struktura spoiny wykonanej drutem elektrodowym Union X90 przy zastosowaniu osłonowej mieszanki gazowej Ar + 10% CO<sub>2</sub>

Wyniki badań strukturalnych wskazują, że w zbędnych złączach dominuje struktura martenzytyczna i bainityczna. Wyniki wszystkich badań prezentowanych w artykule były pozytywne, co potwierdza, że dobrane osłonowe mieszanki gazowe są prawidłowe.

Następnie przeprowadzono pomiar twardości w elementach złącza wykonanego przy zastosowaniu dwóch mieszanek gazowych (Ar + 5% CO<sub>2</sub> oraz Ar + 10% CO<sub>2</sub>). Badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 15614-1. Wyniki pomiaru twardości przedstawiono w Tabeli 6.

Analizując dane tablicowe, można zauważyć, że twardość spoiny, SWC i materiału rodzimego jest na porównywalnym poziomie w obu przypadkach, co jest bardzo korzystne. W tym przypadku można wywnioskować, że rodzaj mieszanki gazowej nie ma większego wpływu na twardość bada-

Tabela 6 Wyniki badań twardości

Mieszanka osłonowa	Materiał rodzimy (Parent material)			SWC (HAZ)			Spoina (weld)		
Ar + 5% CO <sub>2</sub>	331	336	335	352	356	352	342	337	343
Ar + 10% CO <sub>2</sub>	332	334	337	354	359	353	351	352	353

nych spoin. Na podstawie badań twardości można uznać, że zawartość CO<sub>2</sub> w mieszance gazowej powinna być w przedziale od 5% do 10%.

## 5. WNIOSKI

W celu wykonania prawidłowego złącza podpory podestu ruchomego ważny jest dobór parametrów spawania. W pracy postanowiono zbadać wpływ osłonowych mieszanek gazowych na spa-

walność stali S960 MC stosowanej na podpory podestu ruchomego. Możliwość wykonania poprawnego złącza potwierdziły badania nieniszczące i badania niszczące. Uznano, że zawartość CO<sub>2</sub> w mieszance gazowej powinna być w przedziale od 5% do 10%. Wzrost CO<sub>2</sub> do zawartości 20% w mieszance powoduje pęknięcia.

**Podziękowania:** Artykuł jest związany z realizacją projektu COST, CA 18223.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Golański D., Chmielewski T., Skowrońska B., Rochalski D., Advanced Applications of Microplasma Welding, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach 2018, Vol. 62(5), pp. 53-63, DOI: 10.17729/ebis.2018.5/5.
- [2] Giles T. L., Oh-Ishi K., Zhilyaev A. P., Swami S., Mahoney M. W., McNelley T. R., The Effect of Friction Stir Processing on the Microstructure and Mechanical Properties of an Aluminum Lithium Alloy, Metallurgical and Materials Transactions 2009, Vol. 40(1), pp. 104-115, DOI: 10.1007/s11661-008-9698-8.
- [3] Hamilton C., Dymek S., Węglowska A., Pietras A., Numerical simulations for bobbin tool friction stir welding of aluminum 6082-T, Archives of Metallurgy Materials 2018, Vol. 63(3), pp. 1115-1123, DOI: 10.24425/123784.
- [4] Benato R., Dughiero F., Forzan M., Paolucci A., Proximity effect and magnetic field calculation in GIL and in isolated phase bus ducts, IEEE Transactions on Magnetics 2002, Vol. 38(2), pp. 781-784, DOI: 10.1109/20.996202.
- [5] Skowrońska B., Szulc J., Chmielewski T., Golański D., Wybrane właściwości złączy spawanych stali S700 MC wykonanych metodą hybrydową plazma + MAG, Welding Technology Review 2017, Vol. 89(10), pp. 104-111, DOI: 10.26628/ps.v89i10.825.
- [6] Silva A., Szczucka-Lasota B., Węgrzyn T., Jurek A., MAG welding of S700MC steel used in transport means with the operation of low arc welding method, Welding Technology Review 2019, Vol. 91, Nr 3, PL ISSN 0033-2364, pp. 23-30.
- [7] Szymański G., Patecki A., Eddy-current and temperature of the sheath in three-phase pipe sheathing system, IEEE Transaction of magnetics (2004-2006), Vol. 20(5), DOI: 10.1109/TMAG.1984.1063218.
- [8] IEEE Standard for Metal-Enclosed Bus. In IEEE Std C37.23-2015 (Revision of IEEE Std C37.23-2003), IEEE, DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7470712.
- [9] Jaeschke B., Węglowski M., Chmielewski T., Current State and Development Opportunities of Dynamic Power Source for GMA Welding Processes, Journal of Manufacturing Technologies 2017, Vol. 42(1), pp. 23-30.
- [10] Agrawal K. C., Industrial Power Engineering and Applications Handbook, 1st ed.; Elsevier Inc: 2001.
- [11] Ferenc K., Cegielski P., Chmielewski T., Technika spawalnicza w praktyce: Poradnik inżyniera konstruktora i technologa, 1st ed.; Verlag Dashofer, Warszawa, Poland 2015.
- [12] Izairi N., Ajredini F., Vevecka-Pfiftaj A., Makreski P., Ristova M. M., Microhardness evolution in relation to the cFigtalline microstructure of aluminum alloy AA3004, Archives of Metallurgy Materials 2018, Vol. 63(3), pp. 1101-1108, DOI: 10.24425/123782.