

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### Spawanie MIG cienkościennych konstrukcji środków transportu ze stali DOCOL 1200M

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, środki transportu, stal AHSS

#### STRESZCZENIE:

Ważnym materiałem stosowanym w budowie środków transportu są stale z grupy AHSS (AHSS – *Advanced High-Strength Steel*) z uwagi na ich wysoką granicę plastyczności na poziomie 900 MPa. Złącza z tych stali są trudnospawalne i nie gwarantują porównywalnych własności mechanicznych. Celem prac przedstawionych w artykule jest dobór parametrów do spawania cienkościennych konstrukcji ze stali AHSS na przykładzie stali DOCOL 1200M. Postanowiono sprawdzić wpływ parametrów spawania na poprawność wykonanego złącza.

### MIG welding of thin-walled structures of means of transport made of DOCOL 1200M steel

**Keywords:** civil engineering, transport, means of transport, AHSS steel

#### ABSTRACT:

Recently, more and more often used material in the construction of means of transport are steels from the AHSS group (AHSS – *Advanced High-Strength Steel*) due to their high yield strength of 900 MPa. The joints of these steels are difficult to weld and can't guarantee good plastic properties. The purpose of the article is to choose the parameters for welding thin structures made of AHSS steel on the example of DOCOL 1200M steel. It was decided to check the welding parameters on the correctness of the joint made.

## 1. WSTĘP

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie wyników badań prowadzących do dobrania parametrów spawania MIG cienkościennej konstrukcji ze stali DOCOL 1200M z grupy AHSS.

Stale DOCOL 1200 znajdują coraz szersze zastosowanie w inżynierii lądowej i w budowie środków transportu z uwagi na ich dużą wysoką granicę plastyczności na poziomie 1200 MPa. Wadą tej stali jest niskie wydłużenie względne na poziomie 8% [2-4]. Zalecane jest zatem ograniczenie energii liniowej w trakcie spawania do poziomu 4 kJ/cm [5] i stosowanie podgrzewania wstępnego.

## 2. MATERIAŁY STOSOWANE DO BADAŃ

Stale DOCOL 1200M uznawane są za trudno-spawalne, ponieważ zarówno spoina, jak i strefa wpływu ciepła podatna jest na pęknięcia. Zasadniczym problemem spawalniczym tej grupy stali jest jednak dużo niższa wytrzymałość powstałego złącza od materiału rodzimego i jeszcze gorsze własności plastyczne [6]. Tabela 1 prezentuje własności mechaniczne stali DOCOL 1200M w stanie dostarczenia.

Tabela 1 Stal DOCOL 1200M i jej własności mechaniczne

Granica plastyczności $R_e$	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$	Wydłużenie $A_5$
MPa	MPa	%
720	1155	8,1

Stal DOCOL 1200M charakteryzuje się dużo większą zawartością tytanu i glinu niż stale niestopowe wykorzystywane w budowie środków transportu i w inżynierii lądowej. Na uwagę zasługuje bardzo mała zawartość siarki (Tab. 2). Ten skład chemiczny pozwala na podwyższenie wytrzymałości z zachowaniem akceptowalnych własności plastycznych.

Tabela 2 Stal DOCOL 1200M – skład chemiczny [7]

Gatunek stali	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	Nb%	Ti%
DOCOL 1200M	0,15	0,20	1,30	0,008	0,001	0,045	0,009	0,021

Do oceny spawalności stali DOCOL 1200M zastosowano blachę o grubości 3 mm.

Postanowiono wykonać złącza z wykorzystaniem procesu MIG (*Metal Inert Gas*), stosując jako gaz

osłonowy argon lub hel. Dobrano drut elektrodowy UNION X96 (EN ISO 16834-A G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo). W badaniach skupiono się przede wszystkim na wpływie gazu osłonowego i podgrzewania wstępnego na poprawność wykonanego złącza MIG.

Skład chemiczny drutu elektrodowego podano w Tabeli 3.

Tabela 3 Drut elektrodowy UNION X96 – skład chemiczny [8]

C%	Si%	Mn%	P%	Cr%	Mo%	Ni%	Ti%
0,1	0,8	1,8	0,010	0,45	0,65	2,45	0,007

Skład chemiczny drutu nie jest całkiem zbliżony do składu stali. W drucie elektrodowym wprowadzono chrom dla podwyższenia wytrzymałości oraz nikiel i molibden dla poprawy własności plastycznych.

Parametry spawania były następujące: średnica drutu elektrodowego wynosiła 1,0 mm, napięcie łuku 18 V, natężenie prądu spawania 115 A. Spoina miała charakter jednościgowy. Prędkość spawania wynosiła 400 mm/min. Wykonano złącza bez podgrzewania wstępnego oraz przy podgrzewaniu wstępnym do temperatury 80°C.

## 3. REZULTATY I DYSKUSJA

Po spawaniu MIG w osłonie argonu (a następnie helu) przeprowadzono badania nieniszczące (NDT):

- Badanie wizualne (VT) wykonanych złączy spawanych wykonano okiem uzbrojonym w lupę przy powiększeniu 3× – badania wykonano wg wymagań normy PN-EN ISO 17638, kryteria oceny wg EN ISO 5817,
- Badanie magnetyczno-proszkowe (MT) – badania wykonano wg normy PN-EN ISO 17638, ocenę badań dokonano wg EN ISO 5817, urządzeniem do badań był defektoskop magnetyczny typu REM 230.

Rezultaty powstałych połączeń podestu ruchomego przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4 Ocena badań nieniszczących złącza podestu ruchomego

Gaz osłonowy	Bez podgrzewania wstępnego	Z podgrzewaniem wstępnym, 80°C
Ar	Pęknięcia w spoinach i w SWC	Brak pęknięć
He	Pęknięcia w spoinach i w SWC	Brak pęknięć

Z danych tablicowych wynika, że do prawidłowego spawania stali DOCOL 1200M potrzebne jest podgrzewanie wstępne. Zastosowano dwa różne gazy osłonowe. W obu przypadkach uzyskano porównywalne efekty świadczące o tym, że oba osłonowe gazy są prawidłowe. Uznano, że temperatura podgrzewania wstępnego na poziomie 80°C jest wystarczająca. Do dalszych badań (niszczących) brano pod uwagę tylko złącza wykonane z podgrzewaniem wstępnym. Wytrzymałość wykonanych połączeń przetestowana została przy użyciu maszyny wytrzymałościowej INSTRON 3369. Wyniki badań wytrzymałościowych (średnia z 3 prób) przedstawiono w Tabeli 5.

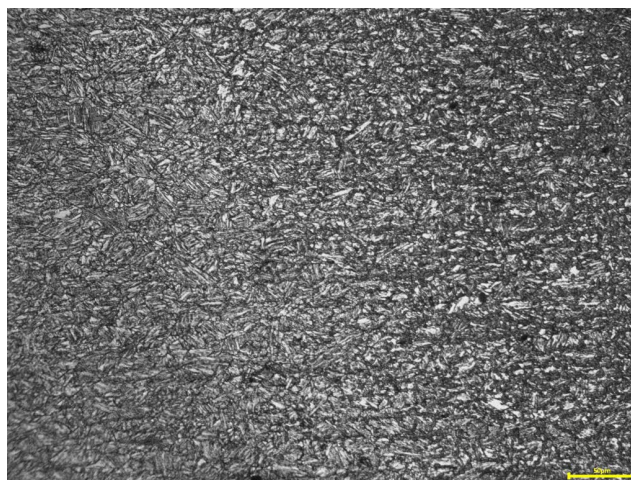
**Tabela 5** Rezultaty testów wytrzymałościowych stali DOCOL 1200M po spawaniu z wykorzystaniem podgrzewania wstępnego do temp. 80°C

Gaz osłonowy	$R_e$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_5$ [%]
He	434	704	7,2
Ar	426	701	7,3

Z danych tablicowych wynika, że uzyskano wysoką wytrzymałość i akceptowalne, porównywalne własności plastyczne we wszystkich testowanych przypadkach. Nieco wyższą wytrzymałość mają złącza spawane MIG w osłonie helu, nieco wyższe wydłużenie względne ma złącze wykonane w osłonie argonu.

Następnie przeprowadzono próbę zginania dla wszystkich złączy wykonanych po podgrzewaniu wstępnym do temperatury 80°C. Wykonano 5 pomiarów 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, nie wykryto pęknięć oraz innych niezgodności we wszystkich badanych złączach ze stali DOCOL 1200M. Następnie wykonano analizę mikrostruktury. Zarówno po spawaniu MIG w osłonie helu, jak i argonu obserwowano dominującą strukturę

martenzytyczną, która została przedstawiona na Rysunku 1.



**Rysunek 1** Mikrostruktura spoiny stali DOCOL 1200M spawanej MIG w osłonie Ar, temperatura podgrzewania wstępnego 80°C, prędkość spawania 400 mm/min

#### 4. PODSUMOWANIE

Trudnospawalnym materiałem stosowanym w inżynierii lądowej i w transporcie są stale wysoko-wytrzymałe. Ich wysoka wytrzymałość jest znacznie większa od wytrzymałości złącza spawanego. Wydłużenie względne dotychczas stosowanych procesów jest na raczej niskim poziomie, czego miarą jest wydłużenie względne na poziomie 7%. Z badań wynika, że do uzyskania prawidłowego złącza ze stali DOCOL 1200M potrzebne jest podgrzewanie wstępne do poziomu 80°C. Badano także wpływ różnych gazów osłonowych. Zastosowanie helu pozwala na uzyskanie nieco wyższej granicy plastyczności i wytrzymałości złącza. Zastosowanie argonu pozwala na uzyskanie lepszych własności plastycznych, czego miarą jest wydłużenie względne. Ze względów ekonomicznych do spawania stali DOCOL 1200M powinno się zalecić stosowanie argonu jako gazu osłonowego w procesie MIG.

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

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Jaewon L., Kamran A., Jwo P., Modeling of failure mode of laser welds in lap-shear specimens of HSLA steel sheets, *Engineering Fracture Mechanics* 2011, 1, pp. 347-396.
- [2] Darabi J., Ekula K., Development of a chip-integrated micro cooling device, *Microelectronics Journal* 2003, 34 (11), pp. 1067-1074, <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2003.09.010>.

- [3] Hadryś D., Impact load of welds after micro-jet cooling, Archives of Metallurgy and Materials 2015, 60(4), pp. 2525-2528, <https://doi.org/10.1515/amm-2015-0409>.
- [4] Muszynski T., Mikielwicz D., Structural optimization of microjet array cooling system, Applied Thermal Engineering 2017, 123, pp. 103-110, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.082>.
- [5] Celin R., Burja J., Effect of cooling rates on the weld heat affected zone coarse grain microstructure, Metallurgical and Materials Engineering 2018, 24(1), pp. 37-44.
- [6] Walsh S. M., Smith J. P., Browne E. A., Hennighausen T. W., Malouin B. A., Practical Concerns for Adoption of Microjet Cooling, ASME Proceedings 2018 Power Electronics, Energy Conversion, and Storage, <https://doi.org/10.1115/IPACK2018-8468>.
- [7] <https://www.yumpu.com/xx/document/view/11500058/docol-m-zimnowalcowana-stal-martenzytyczna-ssab>.
- [8] [https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content\\_1/publikationen/grobblech\\_migration/perform/verarbeitung\\_1/schweissen\\_1/klassifikation\\_der\\_schweisszusaeetze.pdf](https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/publikationen/grobblech_migration/perform/verarbeitung_1/schweissen_1/klassifikation_der_schweisszusaeetze.pdf).