

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Stanowisko do spawania liniowego z dodatkowym chłodzeniem mikrostrumieniowym

*PIOTR PIOTROWICZ, JERZY KALWAS, MACIEJ LESZCZYŃSKI*

**CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ  
COBRABID Sp. z o.o.**

**Słowa kluczowe:** spawanie, chłodzenie mikrojetowe, Hardox, odporność na ścieranie

### **STRESZCZENIE:**

W pracy przedstawiono stanowisko badawcze do spawania liniowego z zastosowaniem dodatkowego chłodzenia za pomocą mikrostrumieni (mikrojetów). Stanowisko spawalnicze posłużyło do badań innowacyjnej technologii spawania z wymuszonym chłodzeniem mikrostrumieniowym w celu poprawy własności mechanicznych i struktury połączeń spawanych stali trudnościeralnej Hardox 450. Otrzymane wyniki badań wskazują na nowe możliwości zastosowania procesu chłodzenia mikrostrumieniowego w przypadku spawania stali o strukturze martenzytycznej, co pozwala na ograniczenie niepożądanych spadków twardości w strefie wpływu ciepła (SWC), a w efekcie końcowym wpływa to na poprawę własności tribologicznych konstrukcji spawanych.

### **Stand for linear welding with additional micro-jet cooling**

**Keywords:** welding, micro-jet cooling, Hardox, abrasion resistance

### **ABSTRACT:**

The paper presents the apparatus for linear welding with micro-jet cooling. Welding apparatus was used to research innovative welding technology with micro-jet cooling to improve the mechanical properties and structure of welded joints abrasion resistant steel Hardox 450. Research results indicate new possibilities of using the micro-jet cooling process in the case of welding steel with a martensitic structure, which allows reducing the undesirable dips hardness in the heat affected zone (HAZ), and as a result improves the tribological properties of welded structures.

## 1. WSTĘP

Minimalizowanie negatywnych zjawisk towarzyszących procesom spawalniczym, takich jak zmiany właściwości mechanicznych, niekorzystne zmiany mikrostruktury czy nadmierne naprężenia i odkształcenia spawalnicze, stało się podstawą do opracowania innowacyjnej technologii spawania z chłodzeniem mikrostrumieniowym. Ten nowy proces został sprawdzony z powodzeniem w warunkach laboratoryjnych, co otwiera nowe możliwości zastosowań w warunkach przemysłowych. Idea procesu oparta jest na wymuszonym, szybkim, selektywnym i precyzyjnym schładzaniu spoiny lub napoiny mikrostrugą gazu lub cieczy (w tym również materiałów kriogenicznych) bezpośrednio po spawaniu czy napawaniu. Chłodzenie mikrostrumieniowe bezpośrednio po spawaniu wpływa korzystnie na podwyższenie własności użytkowych konstrukcji spawanych, ponieważ pozwala na precyzyjne sterowanie strukturą spawanego złącza [1].

Niewątpliwą zaletą opracowanej technologii spawania z zastosowaniem chłodzenia mikrostrumieniowego jest możliwość połączenia klasycznych (nie żużlotwórczych) metod spawalniczych z procesem precyzyjnego chłodzenia mikrostrumieniowego, co pozwala na udoskonalenie i optymalizowanie dotychczasowych procesów spawalniczych w kierunku skrócenia czasu trwania procesu przez przyspieszenie przejść pomiędzy kolejnymi operacjami spawalniczymi jak i w wyniku zredukowania zbędnych operacji prostowania konstrukcji po spawaniu [1, 2, 4].

Stosowanie w szerokim zakresie nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych wymusza poszukiwanie niekonwencjonalnych metod minimalizowania zmian w strukturach materiałów w wyniku oddziaływania ciepła pochodzącego z łuku spawalniczego. Interesującym obszarem zastosowania chłodzenia mikrostrumieniowego w procesie spawania i napawania są materiały o podwyższonej odporności na ścieranie, w których na skutek oddziaływania procesów cieplnych w czasie spawania lub napawania w strefie wpływu ciepła (SWC) dochodzi do niszczenia struktur, jakie mają te materiały w stanie dostarczenia, co pociąga za sobą widoczne zmiany twardości oraz lokalne obniżenie odporności tych obszarów na zużywanie ścierne [3, 5].

Stale Hardox pod względem spawalności można zaliczyć do grupy stali niskostopowych o podwyż-

szonej wytrzymałości. Technologie oraz parametry spawania dla tej grupy stali są opracowywane przez producentów tych materiałów. W przypadku łączenia stali Hardox metodami spawalniczymi schemat przebiegu zmian twardości w strefie wpływu ciepła (SWC) znacząco odbiega od charakterystyk SWC stali o podwyższonej wytrzymałości spawanych w stanie normalizowanym. Struktura martenzytyczna stali Hardox w procesie spawania ulega przekształceniu w zmiękczoną mikrostrukturę, o gorszych własnościach wytrzymałościowych, co skutkuje istotnym spadkiem twardości w SWC względem materiału wyjściowego. Obecność warstwy miękkiej o obniżonej twardości decyduje o wytrzymałości całej konstrukcji, przez co wpływa na bezpieczeństwo jej eksploatacji [6, 7].

W oparciu o koncepcję obróbki cieplnej złącza spawanego w końcowym etapie spawania w celu korekty struktury i poprawy własności mechanicznych połączeń spawanych stali Hardox, uzasadnione jest zastosowanie chłodzenia mikrostrumieniowego jako procesu sprawdzonego i możliwego do wdrożenia w warunkach przemysłowych.

## 2. STANOWISKO BADAWCZE DO SPAWANIA Z CHŁODZENIEM MIKROSTRUMIENIOWYM

Próby spawania i napawania z chłodzeniem mikrojetowym zostały przeprowadzone na stanowisku przedstawionym na Rysunku 1. Stanowisko jest w pełni mobilne, co pozwala na prowadzenie procesu spawania zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w warunkach przemysłowych. Stanowisko spawalnicze umożliwia realizację procesów spawalniczych przy zastosowaniu półautomatu spawalniczego MIG/MAG wyposażonego w złącze EURO. Uchwyt spawalniczy jest integralnym elementem stanowiska, zatem nie ma potrzeby jego demontażu w przypadku zamiany półautomatu spawalniczego na inny typ. Stanowisko wykonane jest z profili stalowych o przekroju prostokątnym, przez co konstrukcja ma optymalną sztywność przy umiarkowanie niskiej masie. Do ramy nośnej z profili stalowych przykręcona jest listwa zębata, po której porusza się łożyskowy wózek. Napęd wózka zapewnia zamontowany na nim silnik krokowy o momencie obrotowym 3,1 Nm. Na osi silnika osadzone jest koło zębate, które współpracując z nieruchomą listwą zębatą, wprawia wózek w ruch. Rozwiązanie to zapewnia dokładną kontrolę prędkości linio-

wej wózka, minimalne opory układu przeniesienia napędu oraz wysoką odporność na zanieczyszczenia towarzyszące procesom spawalniczym. Płyta wózka oraz umieszczone na niej wsporniki mocujące uchwyt spawalniczy i przystawkę mikrostrumieniową zostały wykonane ze stopu aluminium, co powoduje obniżenie masy całkowitej wózka, a w konsekwencji zmniejsza obciążenie silnika krokowego.

Głównymi elementami roboczymi opisywanego stanowiska są: urządzenie spawalnicze MIG/MAG oraz głowica spawalnicza zamocowana na wózku i napędzana automatycznie z możliwością programowania parametrów takich jak prędkość liniowa wózka, długości drogi jazdy wózka czy czas postoju wózka przed powrotem do pozycji startowej. Za głowicą spawalniczą zamontowana jest dysza do chłodzenia mikrostrumieniowego, która jest przedstawiona na Rysunku 2.

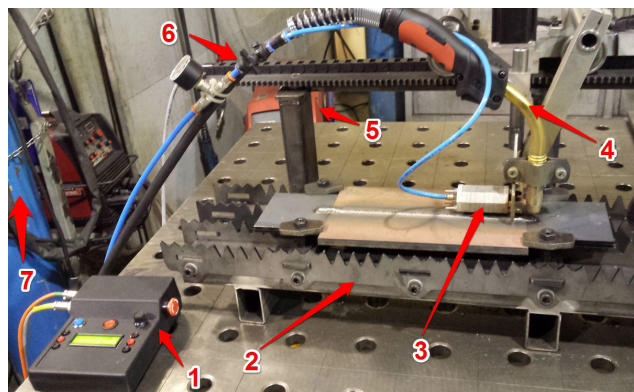
W Tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry stanowiska do spawania liniowego z dodatkowym chłodzeniem mikrostrumieniowym.

**Tabela 1** Parametry stanowiska do spawania liniowego z możliwością chłodzenia mikrostrumieniowego [6]

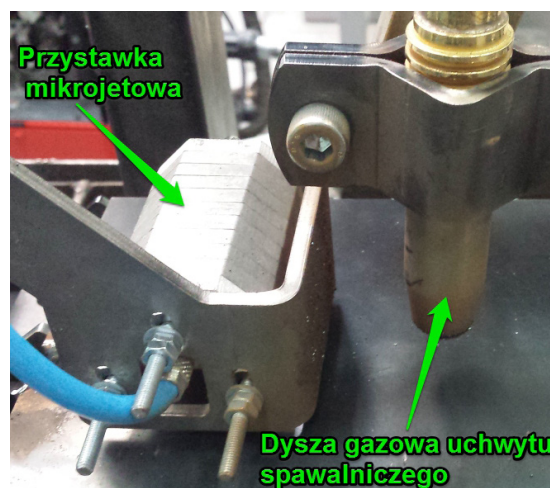
Parametr	Wartość
Wysokość stanowiska	450 mm
Szerokość stanowiska	400 mm
Długość stanowiska	1200 mm
Masa stanowiska	45 kg
Maksymalna długość spawanych elementów	850 mm
Maksymalna grubość spawanych elementów	25 mm
Maksymalna szerokość spawanych elementów	180 mm
Prędkość liniowa wózka roboczego – ruch do przodu	od 115 mm/min do 4000 mm/min
Prędkość liniowa wózka roboczego – ruch powrotny	od 115 mm/min do 4000 mm/min

Sterowanie procesem spawania oraz ustawienie parametrów jazdy wózka umożliwia kaseca ze sterownikiem przedstawiona na Rysunku 3. Sterownik zasilany jest napięciem 12 V DC poprzez zewnętrzny zasilacz impulsowy. Sterowanie procesem może odbywać się w trzech trybach:

- tryb ręczny – sterowanie prędkością i kierunkiem jazdy wózka odbywa się poprzez zamontowany na kasecie potencjometr 7; funkcja przydatna głównie podczas sprawdzenia poprawno-



**Rysunek 1** Stanowisko do spawania/napawania z chłodzeniem mikrostrumieniowym:  
1 – sterownik, 2 – stół z rusztem grzebieniowym, 3 – dysza mikrostrumieniowa, 4 – uchwyt spawalniczy, 5 – urządzenie spawalnicze do spawania metodami MIG/MAG, 6 – zawór odcinający dopływ gazu do chłodzenia mikrostrumieniowego, 7 – butla z gazem do chłodzenia mikrostrumieniowego [6]



**Rysunek 2** Głowica mikrostrumieniowa zamontowana na stanowisku spawalniczym [6]

ści położenia głowicy spawalniczej i przystawki mikrojetowej względem rowka spawalniczego łączonych elementów lub w przypadku wykonywania spoin szczepnych przed spawaniem,

- tryb stabilny, polega na uruchomieniu silnika klawiszem 12 – jazda wózka W PRAWO lub klawiszem 14 – jazda wózka W LEWO; nastawa prędkości jazdy wózka odbywa się za pomocą przycisków 8 – UP i 10 – DOWN, zatrzymanie silnika odbywa się za pomocą przycisku 13 – STOP,
- tryb cykliczny – oferuje różne funkcje, które operator może zaprogramować i zapisać do pamięci nieulotnej. Sterownik umożliwia zapisanie 12 różnych programów, które użytkownik może wywołać z pamięci urządzenia i uruchomić proces z wybranymi parametrami. Operator może za-

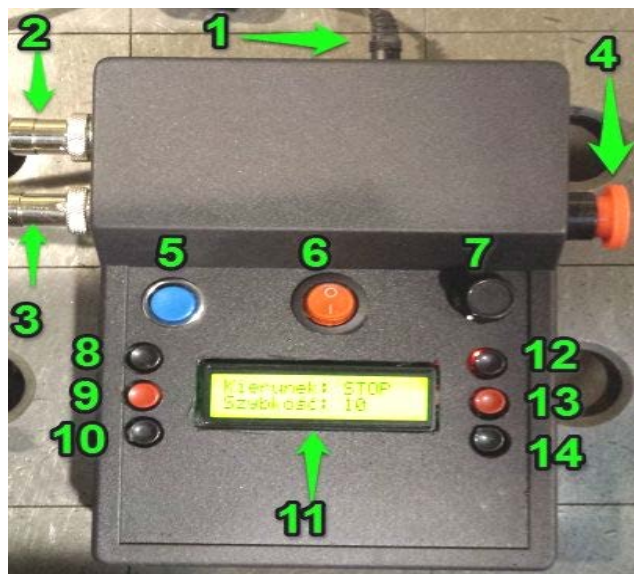
programować prędkość liniową wózka, długości drogi jazdy wózka, czas postoju wózka przed powrotem do pozycji startowej. W trybie cyklicznym dostępna jest również funkcja PAUZA, która pozwala na zatrzymanie programu w dowolnym momencie za pomocą przycisku 10 – DOWN; aby kontynuować pracę zatrzymanego programu należy użyć przycisku 8 – UP. Pauzę można stosować wielokrotnie, nawet w tym samym programie. W trybie pracy cyklicznej dostępna jest również bardzo interesująca funkcja "płynny ruch", która pozwala na ustawienie czasu rozpędzenia silnika od zera do maksymalnej zadanej wcześniej prędkości. Im większa wartość w zakresie od 0 do 10, tym wolniej silnik będzie startował. Ustawienie wartości „00” wyłącza funkcję „płynny ruch” i silnik osiąga maksymalną zadaną prędkość bezpośrednio po uruchomieniu programu. Funkcja "płynny ruch" może być przydatna do prawidłowego rozpoczęcia spawania, kiedy łuk musi się zajarzyć i dopiero po pewnym czasie głowica spawalnicza powinna zacząć przemieszczać się z pełną zadaną w zaprogramowanych parametrach prędkością.

Uruchomienie procesu spawania odbywać się może za pomocą przycisku monostabilnego 5 (jarzenie łuku trwa do momentu zwolnienia tego przycisku) lub za pomocą przełącznika bistabilnego 6 (jarzenie łuku trwa do momentu zmiany stanu przełącznika z pozycji 1 do pozycji 0). Możliwe jest również sterowanie za pomocą funkcji czterotakt dostępnej w większości nowych źródeł spawalniczych stosowanych w procesach MIG/MAG; wtedy start spawania odbywa się poprzez naciśnięcie i zwolnienie przycisku 5, a zatrzymanie jarzenia się łuku odbywa się poprzez ponowne naciśnięcie przycisku przełącznika 5.

W każdym z trybów pracy sterownika istnieje możliwość awaryjnego zatrzymania zarówno napędu liniowego, jak i jarzenia się łuku za pomocą wyłącznika awaryjnego 4.

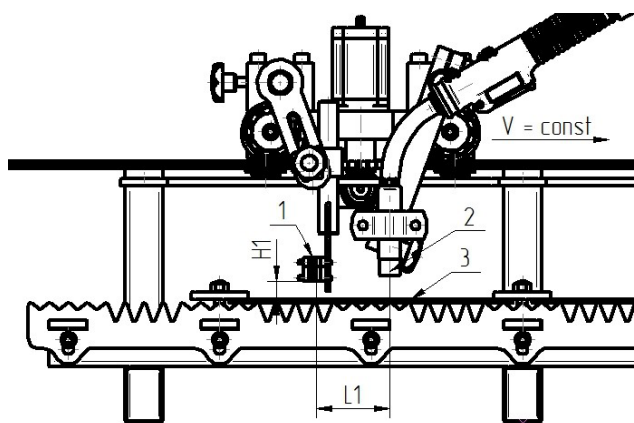
Na Rysunku 4 przedstawiono schemat zamocowania przystawki mikrostrumieniowej. Koncepcja stanowiska do spawania z chłodzeniem mikrojetowym pozwala na dostosowanie do wymaganych warunków chłodzenia spoiny poprzez możliwość regulacji poniższych parametrów:

- odległość przystawki mikrostrumieniowej od powierzchni blachy – H1,
- odległość dyszy mikrostrumieniowej od uchwyty spawalniczego – L1,



**Rysunek 3** Sterownik stanowiska do spawania/napawania z chłodzeniem mikrostrumieniowym:

- 1 – gniazdo zasilania sterownika 12 V DC,
- 2 – gniazdo przewodu sterującego urządzeniem spawalniczym,
- 3 – gniazdo przewodu zasilania silnika krokowego napędu liniowego,
- 4 – wyłącznik awaryjny,
- 5 – przycisk monostabilny – START spawania,
- 6 – włącznik bistabilny – START/STOP spawania,
- 7 – potencjometr do ręcznej regulacji prędkości i kierunku jazdy wózka,
- 8 – przycisk UP – przejście w MENU,
- 9 – przycisk MENU GŁÓWNE,
- 10 – przycisk DOWN – przejście w MENU,
- 11 – wyświetlacz parametrów,
- 12 – przycisk jazdy wózka W PRAWO,
- 13 – przycisk STOP,
- 14 – przycisk jazdy wózka W LEWO [6]



**Rysunek 4** Schemat montażu przystawki mikrostrumieniowej:

- 1 – obudowa dyszy mikrostrumieniowej,
  - 2 – uchwyt spawalniczy,
  - 3 – spawane blachy,
- H1 – odległość przystawki mikrostrumieniowej od powierzchni blachy,  
L1 – odległość dyszy mikrostrumieniowej od uchwyty spawalniczego,  
V – prędkość spawania (m/s) [6]

- odległość uchwytu spawalniczego od powierzchni blachy,
- kąt położenia uchwytu spawalniczego,
- kąt padania mikrostrumieni na powierzchnię spawanych blach,
- liczba dysz chłodzących (możliwość realizacji przez wymianę głowicy mikrostrumieniowej),
- średnica dysz generujących mikrostrugi (możliwość realizacji przez wymianę głowicy mikrostrumieniowej),
- odległość pomiędzy sąsiadującymi dyszami (możliwość realizacji przez wymianę głowicy mikrostrumieniowej),
- rodzaj medium chłodzącego,
- ciśnienie medium chłodzącego.

Dodatkowo istnieje możliwość regulacji kąta pochyleń elementów spawanych względem siebie, poprzez niezależną regulację wysokości każdego z 4 rusztów grzebieniowych, na których za pomocą mechanicznych zacisków mocowane są elementy do spawania. Ruszt grzebieniowy pozwala również na zminimalizowanie wpływu spawania na deformację konstrukcji stanowiska spawalniczego, przez co procesy spawalnicze realizowane na tym stanowisku są powtarzalne, co w przypadku przeprowadzania laboratoryjnych prób porównawczych nie pozostaje bez znaczenia. Zastosowanie stołu z rusztem grzebieniowym wpływa również znacząco na obniżenie masy całego stanowiska, przez co jest ono łatwiejsze w transporcie. Przewody zasilające silnik krokowy umieszczone są w przewodniku przewodów, co zabezpiecza je przed zniszczeniem mechanicznym i termicznym. W przewodniku przewodów można również umieścić przewód pneumatyczny doprowadzający medium do głowicy mikrostrumieniowej. Na przewodzie głowicy spawalniczej zamontowany jest manometr wkręcony w trójnik

zakończony pneumatycznymi złączami wtykowymi, co pozwala na szybkie wpięcie czy wypięcie przewodów doprowadzających medium do głowicy mikrojetowej oraz kontrolę jednego z ważniejszych parametrów chłodzenia mikrojetowego, jakim jest ciśnienie medium chłodzącego. Za manometrem umieszczony jest zawór odcinający, który pozwala na szybkie otwarcie lub zamknięcie dopływu medium chłodzącego, np. w przypadku rozpoczęcia lub zakończenia procesu spawania z chłodzeniem mikrostrumieniowym lub wymianę głowicy mikrostrumieniowej bez konieczności zamykania zaworu przy butli.

### 3. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane w artykule stanowisko do spawania MIG/MAG z dodatkowym chłodzeniem mikrostrumieniowym stanowi interesujący przykład urządzenia umożliwiającego realizację innowacyjnego procesu spawania z dodatkowym wymuszonym i selektywnym chłodzeniem w celu poprawy własności mechanicznych i struktury połączeń spawanych.

Ze względu na dużą uniwersalność i mobilność stanowisko było wykorzystywane również w warunkach przemysłowych do przeprowadzania prób spawania i ustalania wstępnych parametrów spawania podczas kwalifikowania technologii spawania.

Stanowisko jako ciekawy przykład dydaktyczny w dziedzinie spawalnictwa jest wykorzystywane w wielu pracach naukowo-badawczych. Planowana jest modernizacja stanowiska, polegająca na wyposażeniu go w napęd i sterowanie drugiej osi; pozwoli to na prowadzenie procesu spawania ruchem oscylacyjnym, co znacznie poszerzy zakres zastosowania stanowiska.

### LITERATURA

- [1] Węgrzyn T., Piwnik J., Jawor J., Kulak P., Szczucka-Lasota B., Konopka A., Innowacyjność procesowa w spawaniu laserowym z wykorzystaniem technologii chłodzenia mikro-jet. [W:] red. Knosala R., Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Tom 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016, s. 126-134.
- [2] Szczucka-Lasota B., Węgrzyn T., Ryzyko zawodowe przy spawaniu wielkogabarytowych konstrukcji stalowych – chłodzenie mikrojetowe, Promotor BHP, 3/2017, s. 8-14.
- [3] Frydman S., Konat Ł., Pękalski G., Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 8 No. 4, 2008, s. 15-27.

- [4] Szczucka-Lasota B., Konopka A., Węgrzyn T., Piwnik J., Innowacyjność procesowa i produktowa w spawaniu wielkogabarytowych konstrukcji stalowych – ram opadowych. [W:] red. Knosala R., Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Tom 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016, s. 220-228.
- [5] Tasak E., Metalurgia spawania, Wydawnictwo JAK Andrzej Choczewski, Kraków 2008.
- [6] Piotrowicz P., Wpływ chłodzenia mikro-jetowego na własności mechaniczne i strukturę złącza spawanego. Praca dyplomowa magisterska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2017.
- [7] Sitecki D., Napawanie regeneracyjne z chłodzeniem mikrojetowym wałów głowicy urabiającej kombajnów chodnikowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport z. 77, Gliwice 2012.