

Tomasz ŚLIWIŃSKI

## **NAPRAWY KONSTRUKCJI NOŚNEJ KOPARKO-ŁADOWAREK Z ZASTOSOWANIEM CHŁODZENIA METODĄ MIKROJETOWĄ**

**Streszczenie.** W artykule przeanalizowano zastosowanie chłodzenia metodą mikrojetową podczas łączenia metodami spawalniczymi elementów nośnych koparko-ładowarek. Chłodzenie umożliwia sterowanie strukturą spoiny, dzięki czemu parametry gotowego złącza są dobrane precyzyjnie do potrzeb. Przeanalizowana została problematyka budowy i napraw koparko-ładowarek oraz zaprezentowano stanowisko spawalnicze, pozwalające na badanie metody mikrojetowej.

## **REPAIRING DIGGER/LOADERS' BODY CONSTRUCTION WITH THE USE OF MICROJET COOLING**

**Summary.** This article analyzes usage of microjet cooling during weld joining of digger/loaders' body elements. Cooling enables controlling structure of a juncture, what results in a weld adjusted perfectly to the needs. The analysis contains the issue of constructing and repairing digger/loaders and the description of a workplace where the microjet method may be examined.

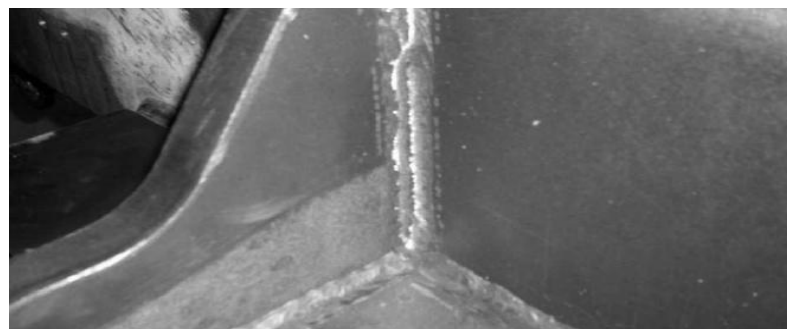
### **1. WPROWADZENIE**

Koparko-ładowarki są bardzo popularnym narzędziem, używanym podczas prac ziemnych. Najczęściej występują w wersjach kołowych (rys. 1), ale zdarzają się także wersje gąsienicowe. Swoją popularność zawdzięczają połączeniu dwóch, bardzo ważnych dla sprawnej pracy, narzędzi, czyli przedniej łyżki ładującej oraz tylnego ramienia, najczęściej z zamontowaną łyżką podsiębierną. Głównymi zadaniami łyżki przedniej są ładowanie i transport urobku na bliskie odległości, ale może ona także służyć do wyrównywania gruntu oraz, przy zastosowaniu dodatkowych prowadnic, do transportu materiałów budowlanych, znajdujących się na europaletach. Wysięgnik tylny może być uzbrojony w wiele akcesoriów, dających szerokie spektrum zastosowań znacznie rozszerzających możliwości maszyny. Najpopularniejszym jest łyżka podsiębierna, ale często stosowane są także młoty wyburzeniowe, frezarki, chwytaki oraz rozdrabniacze [1].



Rys. 1. Koparko-ładowarka HSW, model 9.50 M, produkcji Huty Stalowa Wola S.A. [2]  
Fig. 1. Digger/loader HSW 9.50 M, production the Stalowa Wola works [2]

Ze względu na szeroki zakres zastosowań, w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika elementy nośne koparko-ładowarek muszą być odporne na uszkodzenia. Połączenia spawane, które łączą poszczególne elementy ramy nośnej pojazdu, muszą sprostać naprężeniom zmęczeniowym oraz dynamicznym (udarowościowym). Dodając do tego fakt, że maszyny te często pracują w temperaturach ujemnych, kiedy własności plastyczne połączeń spawanych są znacznie mniejsze, prawidłowe połączenie elementów ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa użytkowników. Stale konstrukcyjne, używane do produkcji ram koparko-ładowarek, nie sprawiają większych trudności podczas spawania. Łączy się je za pomocą większości dostępnych metod: TIG, MIG, MAG, elektrod otulonych, spawania łukiem krytym [1]. Dla zapewnienia bezpieczeństwa podczas użytkownika konstrukcji bardzo ważne są prawidłowe doboru stali i odpowiedniej metody spawania. Stale dobierane są pod względem wytrzymałości oraz pod względem właściwości plastycznych. Konstrukcja nośna koparko-ładowarek ulega odkształceniom ze względu na duże naprężenia, występujące w tych konstrukcjach i złącza spawane, które nie mają wystarczająco dobrych właściwości mechanicznych. Normy europejskie CEN wymagają, by udarność spoin w ważnych miejscach wynosiła 47 J przy temperaturze 0°C, a w miejscach krytycznych nawet 60 J przy -60°C [6]. Dodatkowym kryterium, oprócz wytrzymałości, jest tzw. wygląd handlowy spoiny (rys. 2), czyli wymóg, by wszystkie spoiny były dodatkowo obrobione [2].



Rys. 2. Spoina o wyglądzie handlowym [2]  
Fig. 2. Market-look weld [2]

Producenci maszyn często utrzymują, że ich produkty nie ulegają awariom, przez co nie mają opracowanych technologii napraw, a ewentualne naprawy wykonywane są w sposób przypadkowy. Kolejnymi aspektami są cena i czas napraw wykonanych według technologii producenta, które często odstrasza użytkowników, przez co decydują się oni na naprawy wykonywane na szybko, najprostszą do wykorzystania w danej chwili metodą, często bez odpowiedniej wiedzy zarówno z zakresu spawalnictwa, jak i wytrzymałości materiałów [2]. Naprawy tak wykonane zwykle polegają na złączeniu pęknięcia świeżą spoiną, a następnie montażu dodatkowych wzmocnień. Może to doprowadzić do przesztynienia konstrukcji, a w rezultacie do dalszych uszkodzeń. Należy także pamiętać, że koparko-ładowarki mogą poruszać się po drogach publicznych jedynie po wykupieniu ubezpieczenia OC, bez potrzeby rejestracji. Oznacza to, że maszyny nie przechodzą okresowych przeglądów technicznych, a za ich stan odpowiedzialni są jedynie użytkownicy. Sytuacja taka jest niekorzystna dla bezpieczeństwa biernego podczas użytkowania koparko-ładowarek, a także może spowodować zagrożenia w ruchu drogowym, więc powinno się dołożyć wszelkich starań, aby ją zmienić.

## 2. ZASTOSOWANIE CHŁODZENIA METODĄ MIKROJETOWĄ

Chłodzenie metodą mikrojetową jest niezbadaną nowością na skalę światową. Polega ono na szybkim i precyzyjnym zmniejszeniu temperatury lica spoiny, dzięki czemu istnieje możliwość regulacji parametrów struktury spoiny. Chłodzenie tą metodą jest rozwinięciem dotychczas stosowanych przy produkcji i naprawach metod spawalniczych MIG, MAG, TIG i pozwala na polepszenie właściwości mechanicznych spoiny bez dodatkowych inwestycji w infrastrukturę. Mikrojetowa dysza chłodząca, przedstawiona na rysunku 3, jest bowiem przystawką do końcówki spawalniczej.



Rys. 3. Mikrojetowa dysza chłodząca; na pierwszym planie widać końcówkę spawalniczą  
Fig. 3. Microjet cooling injector with the welding end in the foreground

Charakterystyczną cechą chłodzenia mikrojetowego jest precyzja. Laminarny przepływ strugi medium chłodzącego o średnicy 30  $\mu\text{m}$  pozwala na bardzo dokładne regulowanie procesów zmniejszania temperatury [7]. Jako mediów chłodzących można użyć zarówno płynów, jak i gazów. Chłodzenie ma na celu przemianę austenitu w drobnoziarnisty ferryt AF (*acicular ferrite*), kosztem mniej pożądanym odmian morfologicznych ferrytu: gruboziarnistego GBF (*grain boundary ferrite*) oraz płytkowego PF (*primary ferrite*). Zdecydowanie najkorzystniejszą fazą, pod względem udarności, jest ferryt drobnoziarnisty AF. Pozytywny wpływ dużych udziałów drobnoziarnistego ferrytu AF na udarność stopiwa elektrodowego przedstawiony jest w literaturze w sposób jednoznaczny [4, 5].

### 3. BADANIA WŁASNE

Spawanie metodą mikrojetową przeprowadzono na specjalnie skonstruowanym stanowisku, które przedstawione jest na rysunku 4. Stanowisko składa się z dwóch zasadniczych elementów: stołu oraz półautomatu spawalniczego.



Rys. 4. Stanowisko badawcze składające się ze stołu oraz półautomatu spawalniczego  
Fig. 4. Workplace constructed of a table and a semi-automatic welder

Pierwszy element został zaprojektowany i wykonany specjalnie w celu badania przystawki mikrojetowej. Stół wykonany został z profili stalowych, zapewniających optymalną sztywność konstrukcji. Za utrzymanie spawanego materiału odpowiedzialnych jest dwadzieścia zacisków, a maksymalna jego grubość wynosi 20 mm. Uchwyt spawalniczy wraz z dyszą mikrojetową przymocowane są do ruchomego elementu, którego prowadzenie realizowane jest za pomocą prowadnicy liniowej oraz wózka łożyskowego. Część wózka, do której mocowane są akcesoria, wykonana została z blachy perforowanej, dzięki czemu w

prosty sposób można przymocować dodatkowe elementy oraz zmieniać odległości pomiędzy nimi. Wózek napędzany jest przez śrubę kulową, która podłączona jest za pośrednictwem sprzęgła z silnikiem krokowym. Rozwiązanie takie pozwala na uzyskanie bardzo dużej kontroli nad liniową prędkością posuwu wózka. Jako medium chłodzące został wybrany argon, dostarczany z butli znajdującej się przy półautomacie spawalniczym (tablica 1).

Tablica 1

## Parametry spawania

Prędkość posuwu wózka	400 mm/min
Wydatek gazu ochronnego	27 dm <sup>3</sup> /min
Średnica drutu	1,2 mm
Prąd spawania	140 A
Ciśnienie medium chłodzącego	8 bar

Do badań wykorzystano stal konstrukcyjną EN S355J2G3, stosowaną powszechnie do produkcji ram koparko-ładowarek. Użyty drut był zgodny z normą DIN EN 440-G3Si1. Próby były wykonane w tych samych warunkach, których opis znajduje się w tablicy 1. Wysokość dyszy mikrojetowej nad powierzchnią blachy wynosiła 15 mm, natomiast odległość od głowicy spawalniczej - 45 mm.

Podczas prób użyto czujników temperatury w postaci termopar, umożliwiających rejestrację zmian temperatury z częstotliwością 50 Hz. Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że próby zakończyły się pełnym sukcesem, potwierdzając celowość stosowania przystawki mikrojetowej. Z wykresów zmian temperatury podczas chłodzenia z i bez użycia przystawki mikrojetowej można odczytać, że czas potrzebny do samoistnego schłodzenia spoiny z temperatury ok. 760°C do temperatury 500°C wyniósł 7,56 s. W przypadku stosowania chłodzenia mikrojetowego spadek z temperatury ok. 895°C do temperatury 500 °C trwał jedynie 2,84 s. Różnica temperatury początkowej wynika z niewystarczającego ostudzenia materiału po pierwszej próbie i nie ma wpływu na wyniki. Otrzymane wartości pokazują, że dysza mikrojetowa daje duże możliwości punkowego chłodzenia spoiny przed przemianą austenitu.

Powstałe próbki zostały poddane analizie metalograficznej, która potwierdziła wcześniejsze przypuszczenia. W strukturach próbek chłodzonych przy użyciu metody mikrojetowej występowała zwiększona zawartość drobnoziarnistego ferrytu AF. Do określenia liczby poszczególnych odmian morfologicznych ferrytu zastosowano tzw. technikę siatkową, zgodnie z wytycznymi Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa, podanymi w dokumencie MIS-IX-1323-84 oraz przy wykorzystaniu programu *Met-ilo*. Wyniki przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

## Struktury uzyskanych stopiw

Chłodzenie mikrojetowe	AF, %	GBF, %	SPF, %	Pozostałe fazy, %
Nie	55	26	8	11
Tak	70	17	4	9

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy przeprowadzono pionierskie badania dotyczące spawania z wykorzystaniem chłodzenia mikrojetowego, które pozwala na sterowanie strukturą spoiny. Dzięki zaprojektowaniu i wykonaniu nowatorskiej przystawki do chłodzenia metodą mikrojetową możliwe stało się precyzyjne sterowanie temperaturą chłodzenia, a co za tym idzie - uzyskano pozytywny wpływ na zmianę struktury spoiny. Skonstruowane stanowisko pomiarowe umożliwiło wykonanie prób z użyciem elementów odwzorowujących elementy rzeczywiste. Zastosowanym medium chłodzącym był argon, wybrany ze względu fakt, że jest on gazem obojętnym dla procesu spawania. Analiza metalograficzna potwierdza, że metoda chłodzenia mikrojetowego pozwała na uzyskanie zwiększonej zawartości drobnoziarnistego ferrytu AF, który w sposób pozytywny wpływa na właściwości plastyczne spoiny.

Chłodzenie metodą mikrojetową bardzo dobrze nadaje się do łączenia elementów nośnych koparko-ładowarek głównie ze względu na zdecydowane poprawienie właściwości plastycznych spoiny. Ponieważ metoda mikrojetowa jest dodatkiem do współcześnie stosowanych metod spawalniczych, jej wprowadzenie nie wiąże się ze zmianą istniejącej już infrastruktury. Chłodzenie przy wykorzystywaniu omawianej metody jest nowością na skalę światową, aby móc w pełni wykorzystać jej potencjał, niezbędne są dalsze badania.

#### Bibliografia:

1. Brach J. (red.): Maszyny budowlane. Charakterystyki i zastosowanie. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
2. Nowak A.: Naprawa ram koparko-ładowarek metodami spawalniczymi. Praca Magisterska Politechnika Śląska Wydział Transportu, Katowice 2011.
3. Miros M., Hadryś D., Trombiński M., Węgrzyn T.: Trwałość struktury nośnej kołowych koparko-ładowarek naprawianych metodami spawalniczymi. Konferencja Podstawy konstrukcji maszyn – kierunki badań i rozwoju, Gdańsk 2011.
4. Miros M., Hadryś D.: Naprawa powypadkowych części samochodów osobowych i ciężarowych z wykorzystaniem metod spawalniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport z. 61 / 2007.

5. Węgrzyn T., Hadryś D., Miros M.: Połączenia spawane wykonywane podczas napraw powypadkowych pojazdów samochodowych. „Przegląd Spawalnictwa” nr 2, 2008.
6. Miros M.: Wpływ napraw spawalniczych na właściwości eksploatacyjne elementów nośnych pojazdów ciężarowych, Rozprawa doktorska Politechnika Śląska, Katowice 2010.
7. Węgrzyn T., Piwnik J., Silva A., Baranowski P., Plata M., Hadryś D.: Welding with micro-jet cooling for low-oxygen process. konferencja ICEUBI2011, Covilha, Portugal.

*Praca wykonana w ramach badań BK-353/RT1/11 Wydział Transportu*