

## WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ SUPERSTOPU HAYNES H 230® PRZY UŻYCIU MIKROSPAWANIA OPORNOŚCIOWO IMPULSOWEGO

### Streszczenie

Celem pracy było przeanalizowanie mikrostruktury i własności mechanicznych połączenia mikrospawanego blach cienkich z superstopu HAYNES H230®. Połączenia zostały wykonane przy użyciu urządzenia do mikrospawania WS 7000S.

W części badawczej przeanalizowano skład chemiczny oraz strukturę wybranego materiału podstawowego, z którego przygotowano próbki do dalszych badań. Dla scharakteryzowania właściwości uzyskanej spoiny zostały przeprowadzone badania własności mechanicznych - pomiar mikrotwardości, wytrzymałość na rozciąganie oraz obserwacja mikrostruktury na zglądach metalograficznych za pomocą mikroskopu metalograficznego. Obserwację wykonano na zglądach trawionych.

Cel praktyczny badań stanowiło dobranie optymalnych parametrów spawania zapewniających najwyższe własności mechaniczne otrzymanych złączy. Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników ustalono optymalne parametry procesu i wyciągnięto stosowne wnioski.

### WSTĘP

Na całym świecie prowadzone są intensywne badania, skoncentrowane na rozwoju technik opartych na tworzeniu i obróbce materiałów za pomocą wyładowań elektrycznych.

Podstawowym czynnikiem determinującym rozwój technologii jest dostępność urządzeń elektroenergetycznych, pozwalających na generowanie impulsów elektrycznych z zakładanym czasie i o odpowiednich parametrach prądowo-napięciowych [1,2,3,4,5]. Wykorzystanie impulsów elektrycznych zajmuje ważne miejsce także w technice łączenia elementów - jak mikrospawanie. Janos Dobranszky określa mikrospawanie jako "łączenie elementów, które posiadają grubość lub średnicę mniejszą niż 0,5 mm, lub przekrój, nie większy niż 0,5 x 0,5 mm" [7]. Mikrospawanie służy do naprawy i regeneracji form odlewniczych, do łączenia elementów w elektronice i wytwarzaniu biżuterii, a nawet w przemyśle lotniczym. Pozwala również na osadzanie warstw o grubości większej o rząd wielkości, w porównaniu z warstwami nanoszonymi techniką ESD [8,9]. Mikrospawanie impulsowo-rezystancyjne pozwala na istotne zwiększenie zakresu napraw uszkodzeń, w porównaniu do tradycyjnych metod regeneracji [10,11,12]. W dzisiejszych czasach parametry prądu napięciowe, osiągane przez nowoczesny sprzęt do mikrospawania, wskazują na możliwość wytwarzania połączeń elementów wykonanych z materiałów opartych na stopach Ni zwanych nadstopami. Jednym z wymienionych nadstopów stosowanych w technice jest Haynes H 230®. W dostępnej literaturze autorzy często podejmują tematykę badań połączeń cienkich blach z nadstopów, wykonanych różnymi metodami mikrospawania [13,14,15].

Rozwój nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych i technologii spawalniczych, skorelowany jest silnie z rosnącymi wymogami przemysłu lotniczego oraz motoryzacyjnego. Potrzeby tych branż, stanowią nieustanne wyzwanie, na którym obecnie koncentrują się wysiłki inżynierii materiałowej. Wytwórcy nieustannie zgłaszają zapotrzebowanie na metody, umożliwiające uzyskanie wysokiej jakości połączeń z blach stopowych o małej grubości. Obecnie stosowanymi do tych celów metodami są [7]:

- spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (MAG)
- niskoenergetyczne warianty spawania elektrodą topliwą CTM i ColdArc,
- TIG

- spawanie wiązką laserową,
- mikrospawanie opornościowo-impulsowe
- zgrzewanie rezystancyjne;
- FSW (FrictionStirWelding).

W przeprowadzonym eksperymencie spoiny zostały wykonane za pomocą urządzenia do mikrospawania WS 7000S.

### 1. MATERIAŁ PODSTAWOWY

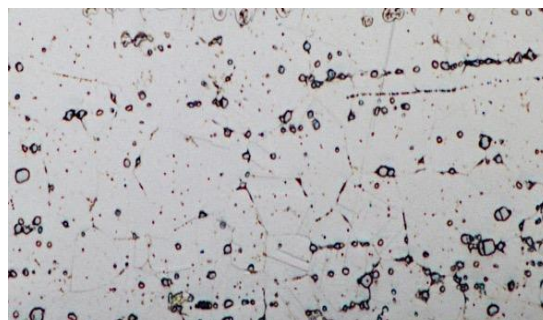
Superstopy zawierają najczęściej nawet kilkanaście pierwiastków stopowych. W związku wieloskładnikowym składem posiadają złożoną strukturę oraz doskonałe właściwości, tj. odporność na korozję, wysoką wytrzymałość mechaniczną w podwyższonych temperaturach, wysoką trwałość powierzchni oraz odporność na utlenianie.

Superstopy to stopy na bazie niklu, kobaltu, żelaza i tytanu. Ze względu na stabilną strukturę oraz szeroki zakres temperatur, najwyżej cenione są stopy na bazie niklu.

Materiałem użytym w badaniach był superstop HAYNES H230® [14]. Materiał ten występował w postaci arkuszy o grubości 0,09mm.

HAYNES 230® jest stopem niklowo-chromowo-molibdenowo-wolframowym z dodatkiem innych pierwiastków. Mikrostruktura materiału podstawowego została przedstawiona na rys. 1.

W materiale rodzimym (rys. 1) widoczne są kuliste wydzielenia węglików  $M_6C$  oraz  $M_{23}C_6$  zawierających pierwiastki takie jak wolfram, chrom, molibden.



Rys. 1. Mikrostruktura materiału podstawowego: superstop HAYNES H230® po trawieniu elektrolitycznym, pow. 500x [14]

## 2. WYKONANIE EKSPERYMENTU

W celu uzyskania dobrego połączenia zadbano o gruntowne przygotowanie powierzchni. Części zostały pozbawione zanieczyszczeń i tlenków. Eksperyment został wykonany poprzez połączenie, „na zakładkę”, metodą mikrosparowania opornościowo-impulsowego. Proces tworzenia złącza przeprowadzono zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia i zaleceniami producenta. Proces został wykonany przy użyciu następujących parametrów:

- Czas impulsu 6-10ms
- Intensywność impulsu 40-60% mocy.
- Średnia częstotliwość pakietu impulsów 5000 Hz
- Maksymalna wartość prądu impulsu 11900 A

Proces prowadzony był manualnie, użyto elektrody srebrno-wolframowej.

## 3. METODYKA BADAŃ

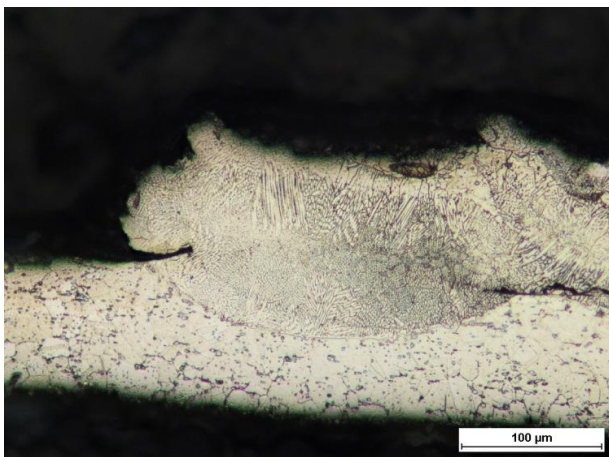
Z arkuszy o grubości 0,09 mm wycięto elementy płaskie o określonym kształcie, które następnie połączone „na zakładkę” metodą mikrosparowania opornościowo-impulsowego. Próbkę używaną w próbie rozciągania, miały następujące wymiary: długość całkowita - 115 mm, szerokość całkowita - 21,5 mm, długość części przewężonej - 50 mm, szerokość części przewężonej - 14 mm, promień zaokrąglenia R23.

Po wykonaniu złącza wycięto jego fragment oraz zainkludowano w żywicy. Powierzchnie próbek szlifowano mechanicznie, a następnie próbki polerowano na szlifierko-polerce, używając zawieszin diamentowych o stopniowo zmniejszającej się wielkości ziarn. Proces zakończono stosując zawieszinę deaglomerowaną  $Al_2O_3$ , której wielkości cząstek wynosiły 0,05  $\mu m$ .

Próbki do obserwacji mikroskopowych trawiono elektrolitycznie z zastosowaniem mieszaniny  $H_3PO_4$  i  $H_2O$ , w proporcji 1:4. Trawienie prowadzono używając następujących parametrów: napięcie 10-20 V, czas 15s.

### 3.1. Badanie mikrostruktury spoiny

Po przygotowaniu zglądu metalograficznego oraz wstępnej ocenie wizualnej, próbkę poddano obserwacji mikrostruktury. Na rys.2 pokazane zostało otrzymane złącze z wyraźnie zaznaczonymi strefami: spoiną, linią wtopienia, niewielką strefą wpływu ciepła oraz materiałem rodzimym.

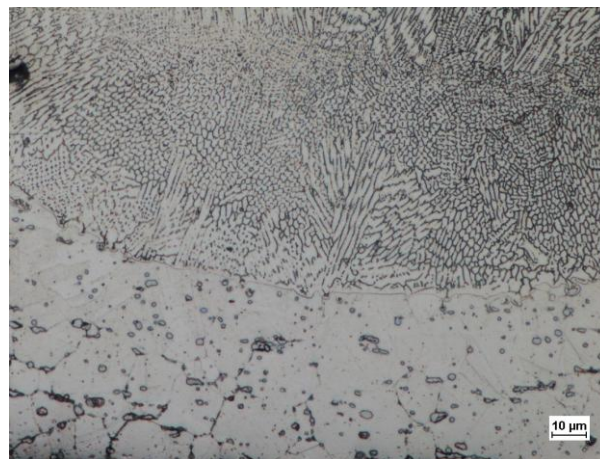


Rys. 2. Mikrofotografia połączenia spawanego HAYNES H230 trawiona elektrolitycznie

„Górny” materiał został przetopiony na całej grubości, „dolny” natomiast w około 40%. Podwójna linia wtopienia wskazuje na fakt,

że wystąpiły tu dwa wyladowania, a tym samym dwukrotne przetopienie badanego materiału.

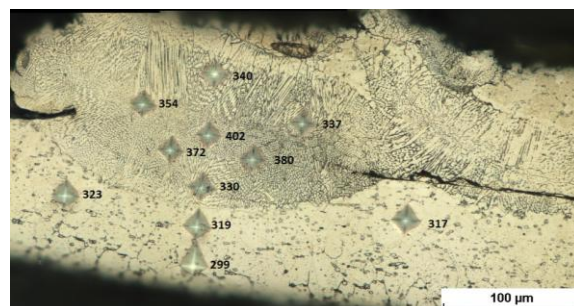
Kierunek wzrostu dendrytów i ich rozkład, określają miejsce uderzenia impulsu oraz kierunek rozchodzenia się ciepła. Duże kryształy to miejsca wolniejszego krzepnięcia przetopionego materiału. Niewielkie kryształy widoczne w środkowej części spoiny wskazują na fakt, że w obszarze tym proces krzepnięcia przebiegał znacznie szybciej.



Rys. 3. Mikrostruktura spoiny trawiona elektrolitycznie, pow. 500x

### 3.2. Badanie mikrotwardości

Badanie mikrotwardości wykonano metodą Vickersa (określone normą PN-74/H-43360). W doświadczeniu zastosowano obciążenie 100 G (0,98N). Wykonano łącznie 11 pomiarów w spoinie, SWC oraz materiale rodzimym. Otrzymane wyniki ( $\mu HV$ ) przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wyniki pomiarów mikrotwardości metodą Vickersa, skala  $\mu HV$

Badania twardości na przekroju poprzecznym próbki wykazały, iż spoina charakteryzuje się najwyższą wartością tego parametru osiągając wartość 402  $\mu HV$ . Dla porównania materiał rodzimy wykazał się twardością na poziomie 299-323  $\mu HV$ . W pobliżu linii wtopienia zauważalny jest niewielki wzrost twardości względem materiału rodzimego. Strefa wpływu ciepła, która teoretycznie powinna wykazywać charakterystyczny spadek (strefa przegrzania), charakteryzuje się poziomem twardości porównywalnym, a nawet przekraczającym materiał podstawowy.

Zmiana mikrotwardości jest jednym z podstawowych wskaźników zmiany składu chemicznego i strukturalnego. Pomiar mikrotwardości warstwy wierzchniej i materiału rodzimego zostały wykonane przy użyciu mikrotwardościomierza Matsuzawa Vickers MX 100 przy obciążeniu 100 G (0,98 N). Pomiaru zostały wykonane w równych odstępach w kierunku poprzecznym do strefy zagłębienia zostały rozmieszczone w regularnych odstępach w na przekroju poprzecznym.

### 3.3. Wytrzymałość na rozciąganie

Eksperyment przeprowadzono zgodnie normą PN-EN ISO 6892-1.

Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z100 z zadaniem obciążeniem 10 kN.

Doświadczenie wykonano przy użyciu próbek dziesięciokrotnych, wykonanych zgodnie z polską normą PN-EN ISO 6892-1:2009 (4 próbki wykonane przy różnych parametrach spawania oraz dla próbki wzorcowa – bez złącza spawanego).



**Rys. 5.** Próbki przed statyczną próbą rozciągania: 1 – próbka wzorcowa, 2-5 – próbki o różnych parametrach spawania X/Y, gdzie X – intensywność spawania (% maksymalnej mocy); Y – czas impulsu (ms); wybór pulsacji: P – proszki, R – druty i taśmy

Otrzymane wyniki przedstawiono w tab. 1.

**Tab. 1.** Wyniki przeprowadzonej próby rozciągania

Nr	Rm [MPa]	Fmax [kN]	Agt [%]
1	880,95	1,11	13,9
2	801,59	1,01	9,0
3	587,30	0,74	4,0
4	507,94	0,64	3,4
5	753,97	0,95	5,7

Wszystkie badane próbki pękły poza spoiną. W przypadku próbek numer 3 i 4 pęknięcie nastąpiło najwcześniej w obszarze materiału rodzimego. Próbki 2 i 5 wykazały zbliżoną wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z próbką wzorcową. Pęknięcie w obu przypadkach, podobnie jak poprzednio, miało miejsce w obszarze materiału rodzimego.

### PODSUMOWANIE

W badanych próbkach spoina okazała się najtwardszym miejscem połączeń jednocześnie będąc najbardziej wytrzymałą. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów mikrotwardości stwierdzono przyrost twardości w spoinie oraz w strefie wpływu ciepła. Próby rozciągania dały natomiast informację o wytrzymałości na rozciąganie i pękaniu próbek spawanych.

Główne wnioski z tego badania można podsumować w następujący sposób:

- w obszarze spoiny oraz strefie wpływu ciepła stwierdzono przyrost twardości ;
- pęknięcia we wszystkich badanych próbkach nastąpiły z dala od strefy spawania.

Na podstawie otrzymanych wyników możemy więc stwierdzić, że mikrosparowanie opornościowe-impulsowe jest skutecznym sposobem łączenia elementów o niewielkiej grubości z superstopu HAYNES H230®.

### BIBLIOGRAFIA

- Davydov A.D., Kozak J.: Physico-Chemical Principles of Electrochemical Discharge Machining. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 3, 1991, USA.
- Moro T. et al.: Study on the Surface Modification System with Electrical Discharge Machine in Practical Usage. Proc. XIV ISEM. Edinburgh. 2004.
- Dobrąnszky J.: The microwelding technologies and their applications, Budapest 2004.
- Ruszaj A.: Nonconventional methods of machining machine elements and tools. IOS Krakow 1999.
- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: New possibilities of machining and electrodischarge alloying of free-form surfaces. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 109, No. 3, pp. 371-376, 2001.
- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: The superficial layer of parts machined by brush electro-discharge mechanical machining (BEDMM). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, Vol. 218, No. 1, pp. 9-15, 2004.
- Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: Investigation of electro-discharge mechanical dressing (EDMD) of diamond abrasive wheels with conductive bonds using brush electrodes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, Vol. 220, No. 3, pp. 421-428, 2006.
- Spadło S., Dudek D., Łakomic K., Młynarczyk P.: Geometrical properties of surface layer after hybrid electrodischarge-mechanical machining using brush electrode. Innovative Manufacturing Technology. Kraków 2012.
- Depczyński W., Młynarczyk P., Łakomic K.: The selected properties and microstructure of steel connections-copper made by resistive-pulse microwelding. Nationwide Scientific and Technical Conference "Problems of functioning and development of the metal industry in Poland." p. 36-49.
- Nabeel A., Chung H.: Alternating current-gas metal arc welding for application to thin sheets. Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 1828–1837.
- Gholami Shiri S., Sarani A., Elmi Hosseini S.R., Roudini. G.: Diffusion in FSW Joints by Inserting the Metallic Foils. J. Mater. Sci. Technol., 2013, 29(11), 1091e1095.
- Shakil M., Tariq N.H., Ahmad M., Choudhary M.A., Akhter J.I., Babu S.S., Effect of ultrasonic welding parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints, Materials and Design 55 (2014) 263–273.
- Prasada K. S., Rao C. S., Rao D. N.: Effect of welding current mode on weld quality characteristics of Pulsed Current Micro Plasma Arc Welded AISI 304L sheets. Applied Mechanics and Materials Vols 465-466 (2014), pp 1209-1213.
- HAYNES® 230® alloy Information ; <http://www.haynesintl.com>
- Operating Instructions for microwelding WSS 7000S.
- EN ISO 6892-1:2010 Tensile testing- Part1: The room temperature test part No. 1.
- Benasciutti D., Lanzutti A., Rupil G., Fraenkel Haerberle E.: Microstructural and mechanical characterization of laser-welded lap joints with linear and circular beads in thin low carbon steel sheets. Materials and Design 62 (2014) 205–216.

## THE SELECTED PROPERTIES OF THE CONNECTION SUPERALLOY H 230 USING MICROWELDING

### *Abstract*

*The article presents preliminary results of microwelding thin sheet occurred of superalloy H 230. There were shown the possibilities of combining thin metal sheet using resistive pulse microwelding. The joints were made using a device to microwelding SST WS 7000s.*

*For characterizing of the obtained weld tests properties there were examined mechanical properties like: measuring the microhardness, stretching test and microstructure observation. Microhardness measurements of the joints and base material where taken using Matsuzawa Vickers MX 100 type with applied load 100G (0,98 N). Stretching test where made on Zwick/Roell Z100 machine with applied load 10kN. To observe mentioned joints, metallographic microscope Nikon Eclipse MA2000 was used.*

*The studies determined the basic parameters of microwelding thin sheet of joint made and the quality of the weld. The results showed that there is a possibility of obtaining the satisfying quality joint using micro welding between the thin sheet from superalloy H 230.*

Autorzy:

dr inż. **Wojciech Depczyński** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, wdep@tu.kielce.pl

mgr inż. **Piotr Młynarczyk** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, p.mlynarczyk@tu.kielce.pl

dr hab. inż. **Sławomir Spadło** prof. PŚK – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, sspadlo@tu.kielce.pl

mgr inż. **Edyta Śliwa** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Techniki Komputerowych i Uzbrojenia Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, sliwaed@gmail.com