

Wpływ parametrów spawania opornościowo-impulsowego superstopów niklu na wybrane właściwości połączenia

Influence of the resistive-pulse welding parameters of nickel super-alloys on selected properties of the connection

SŁAWOMIR SPADŁO
WOJCIECH DEPCZYŃSKI
PIOTR MŁYNARCZYK
TADEUSZ GAJEWSKI
JAROSŁAW DĄBROWA *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.180>
English version available on: www.mechanik.media.pl

Zaprezentowano mikrostrukturę oraz badania mechaniczne spawów cienkich blach z superstopów na bazie niklu: Haynes 230 i Hastelloy X. Spoiny wykonano metodą mikrospawania opornościowo-impulsowego z wykorzystaniem urządzenia WS 7000S. Mikrotwardość złączy zmierzono twarłościomierzem Matsuzawa Vickers MX 100 przy obciążeniu 100 G (0,98 N). Obserwacje metalograficzne przygotowanych zglądów przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego Nikon Eclipse MA200 przy różnych powiększeniach. Badania mikrostruktury metalograficznej uzupełniono analizą liniową składu chemicznego. Wykorzystano do tego mikrosondę elektronową typu OXFORD X-MAX.

SŁOWA KLUCZOWE: mikrospawanie, inżynieria powierzchni, mikrostruktura, mikrotwardość

Microstructure and mechanical tests of welds of thin sheets made from nickel-based super-alloys (Haynes 230 and Hastelloy X) were presented. The welds were made using the resistive-pulse micro-welding method using the WS 7000S device. The micro-hardness of the joints was measured with a Matsuzawa Vickers MX 100 hardness tester at 100 G (0.98 N). Metallographic observations of the prepared micro-sections were performed using the Nikon Eclipse MA200 optical microscope at various magnifications. The metallographic microstructure studies were supplemented by linear analysis of the chemical composition, for which the OXFORD X-MAX electron microscope was applied.

KEYWORDS: microwelding, surface engineering, microstructure, microhardness

Spawanie impulsowo-opornościowe [1, 2, 4], zwane mikrospawaniem (co wynika ze skali oddziaływania na materiały łączone), polega na tym, że przez wysokoenergetyczne wyładowanie w krótkim czasie uzyskuje się lokalny wzrost temperatury powyżej linii solidus. Z uwagi na zjawiska fizyczne towarzyszące procesowi spajania połączenie materiału spawanego z podłożem ma charakter pośredni – pomiędzy zgrzewaniem a spawaniem. Mikrospawanie jest stosowane tam, gdzie ze względu na niewielkie rozmiary obszarów spajania (lub mikronapawiania materiału) tradycyjne techniki byłyby nieskuteczne lub

nieefektywne. Spawanie impulsowo-opornościowe nadaje się do znacznie szerszego zakresu napraw w porównaniu z tradycyjnymi metodami regeneracji [5–16]. Technika ta zyskała dużą popularność. Wprawdzie mikrospoina ustępuje pod względem jakości spoinie klasycznej, to jednak z powodu znikomego oddziaływania cieplnego na materiał podłoża, łatwości obróbki, a także możliwości zastosowania do szybkiej i relatywnie łatwej naprawy elementów sprawdza się w wielu różnych przypadkach – np. w naprawie lokalnych uszkodzeń tłocznic, form wtryskowych czy krawędzi tnących. Dostępne na rynku urządzenia do mikrospawania mają parametry impulsu wskazujące na możliwość wytwarzania połączeń cienkich blach z superstopów na bazie Ni. W literaturze coraz częściej spotyka się wyniki badań takich połączeń wykonywanych różnymi metodami [17–28].

Aparatura badawcza i przedmiot badań

Proces mikrospawania impulsowo-opornościowego przeprowadzono za pomocą urządzenia do spawania WS 7000S firmy SST France & Vision Lasertechnik. Zasilacz urządzenia generuje impulsy o średniej częstotliwości 5000 Hz. Analizy wyników badań wstępnych umożliwiły określenie warunków mikrospawania cienkich blach wykonanych z superstopów Hastelloy X oraz Haynes 230. Przyjęto następujące nastawy urządzenia:

- natężenie prądu spawania w zakresie 50÷70% mocy (maksymalnie 7000 A),
- czas spawania 10 ms,
- forma impulsu – ciągły,
- cykl pracy – cykl spawania, wiele impulsów.

Skład chemiczny badanych superstopów przedstawiono w tabl. I i II.



Rys. 1. Mikrospawarka impulsowa WS 7000S

* Dr hab. inż. Sławomir Spadło, prof. PŚk (sspadlo@tu.kielce.pl), dr inż. Wojciech Depczyński (wdep@tu.kielce.pl), mgr inż. Piotr Młynarczyk (piotrm@tu.kielce.pl) – Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, Politechnika Świętokrzyska; mgr inż. Tadeusz Gajewski (t.gajewski@mesko.com.pl) – Centrum Innowacji i Wdrożeń Grupy Amunicyjno-Rakietowej PGZ, Mesko S.A.; mgr inż. Jarosław Dąbrowa (j.dabrowa@mesko.com.pl) – Mesko S.A.

TABLICA I. Skład chemiczny superstopu Hastelloy X

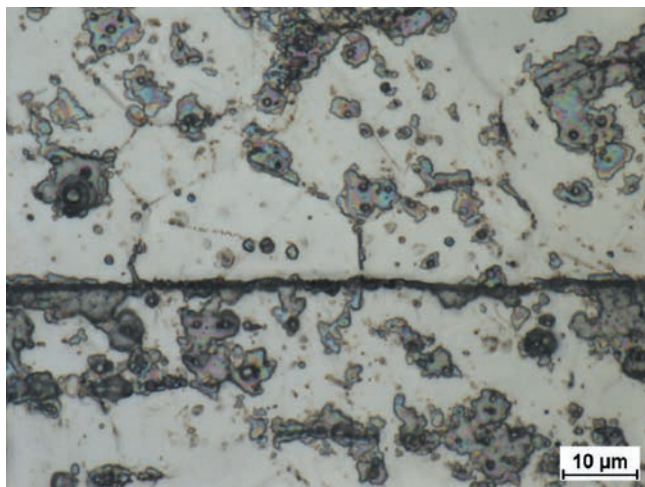
Pierwiastek	Zawartość, %
Ni	47
Cr	22
Fe	18
Mo	9
Co	1,5
W	0,6
C	0,1
Mn	1,0
Si	1,0
B	0,008

TABLICA II. Skład chemiczny superstopu Haynes 230

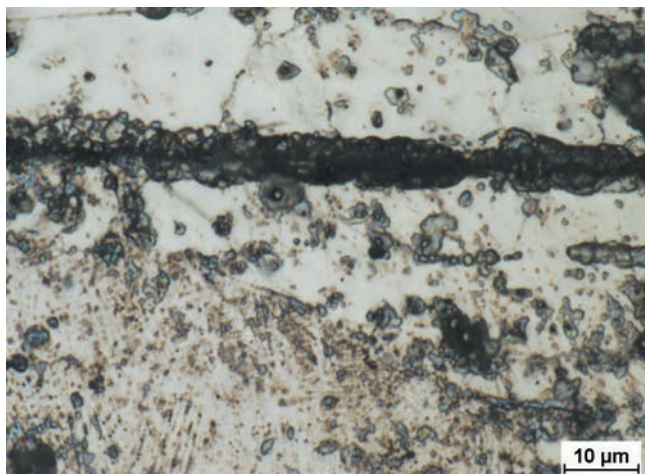
Pierwiastek	Zawartość, %	
	minimalna	maksymalna
Ni	47	65
Cr	20	24
W	13	15
Mo	1,0	3
Co	–	5
Al	0,2	0,5
La	0,005	0,005
Mn	0,3	1
C	0,05	0,15
Si	0,25	0,75

Mikrostruktura metalograficzna złącza

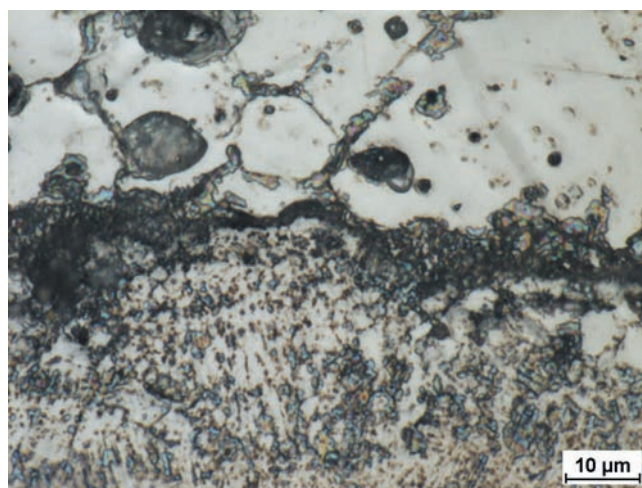
Aby przeprowadzić badania mikrostruktury metalograficznej złącza, wycięto próbki, które zainkludowano w żywicę, a następnie przygotowano zgłady metalograficzne.



Rys. 2. Mikrostruktura spoiny wykonanej przy wartości natężenia prądu 50% (powiększenie 1000×)



Rys. 3. Mikrostruktura spoiny wykonanej przy wartości natężenia prądu 60% (powiększenie 1000×)



Rys. 4. Mikrostruktura spoiny wykonanej przy wartości natężenia prądu 70% (powiększenie 1000×)

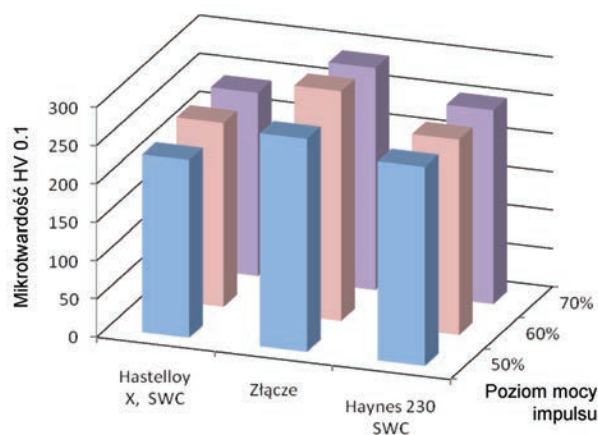
Próbki wytrawiono metodą elektrolityczną. Przykładowe fotografie mikrostruktur metalograficznych (zaobserwowane na mikroskopie optycznym Nikon Eclipse MA200 z systemem analizy obrazu NIS 4.20) przedstawiono na rys. 2–4.

Badanie rozkładu mikrotwardości w strefie złącza

Badania mikrotwardości metodą Vickersa wykonano pod obciążeniem 100 G (0,98 N) przez 15 s. Uśrednione wyniki pomiarów mikrotwardości w materiale złączy i strefie wpływów cieplnych (SWC) przedstawiono w tabl. III, a rozkład mikrotwardości – na rys. 5.

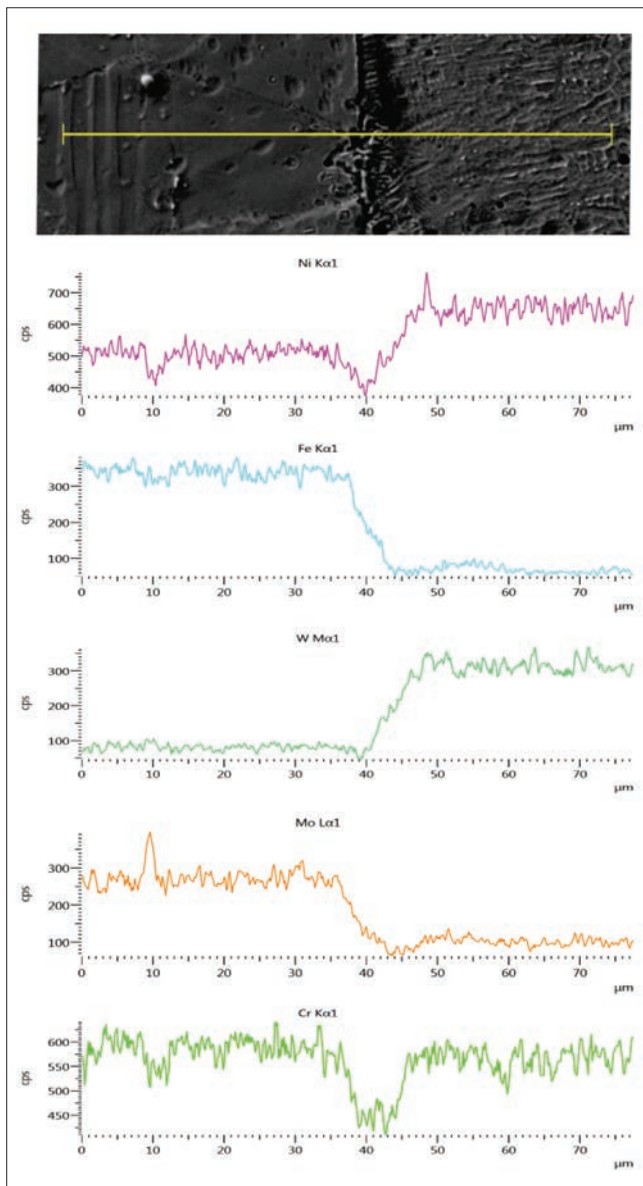
TABLICA III. Wyniki pomiarów mikrotwardości

Poziom mocy impulsu, %	Hastelloy X SWC, HV 0.1	Złącze HV 0.1	Haynes 230 SWC, HV 0.1
50	232	278	260
60	240	300	255
70	239	290	253



Rys. 5. Rozkład mikrotwardości w złączach mikrospawanych superstopów Hastelloy X i Haynes 230 oraz w strefie wpływów cieplnych

Analiza rozkładu mikrotwardości wykonanego mikrozłącza oraz twardości w strefie wpływów cieplnych wskazuje, że parametry procesu zostały dobrane prawidłowo. W odniesieniu do twardości materiału rodzimego nastąpił wzrost twardości w obszarze spoiny oraz w strefie wpływów cieplnych.



Rys. 6. Analiza liniowa SEM składu chemicznego złącza spawanego superstopów Hastelloy X i Haynes 230

Analiza liniowa składu chemicznego SEM

Badania mikrostruktury metalograficznej uzupełniono analizą liniową składu chemicznego. W wyniku otrzymano rozkłady wybranych pierwiastków (rys. 6) w obszarze złącza. Analizę przeprowadzono z użyciem mikroskopy elektronowej typu OXFORD X-MAX.

Na przedstawionej mikrofotografii oraz wykresach lewa strona odpowiada superstopowi Hastelloy X, natomiast prawa – stopowi Haynes 230.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na postawienie następujących wniosków:

- możliwe jest uzyskanie prawidłowego połączenia pod warunkiem zastosowania wysokich parametrów mocy,
- badania mikrotwardości w przypadku wszystkich próbek potwierdziły wzrost twardości w strefie połączenia,
- nie stwierdzono pęknięć w obszarze spoiny i strefie wpływów cieplnych,
- nie wykazano modyfikacji w złączu – nie doszło do dyfuzji pierwiastków.

LITERATURA

1. Dobranszky J. "The microwelding technologies and their applications". Budapest 2004.
2. Ruszaj A. "Nonconventional methods of machining machine elements and tools". Kraków: IOS, 1999.
3. Depczyński W., Młynarczyk P., Spadło S., Ziach E., Hepner P. "The selected properties of porous layers formed by pulse microwelding technique". *Metal 2015: 24rd International Conference on Metallurgy And Materials*, s. 1087–1092.
4. Młynarczyk P., Spadło S., Depczyński W., Śliwa E., Strzębski P. "The selected properties of the connection superalloy Haynes H 230 using microwelding title of paper". *Metal 2015: 24rd International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 792–797.
5. Mucha Z., Widłaszewski J., Kurp P. i in. "Mechanically-assisted laser forming of thin beams". *Laser Technology 2016: Progress and Applications of Lasers*, Book Series: *Proceedings of SPIE*. Vol. 10159, Article No. 101590U.
6. Napadlek W. "The impact of the output stereometry and absorbent coating on the efficiency of ablative laser texturing of iron alloy 100CrMn-Si6-4". *Materials Testing*, 57, 10 (2015): s. 920–924.
7. Spadło S., Kozak J., Młynarczyk P. "Mathematical modelling of the electrical discharge mechanical alloying process". *Proceedings of the Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM)*, 6 (2013): s. 422–426.
8. Młynarczyk P., Spadło S. "The Analysis of the Effects Formation Iron – Tungsten Carbide Layer on Aluminum Alloy by Electrical Discharge Alloying Process". *Metal 2016: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 1109–1114.
9. Spadło S., Młynarczyk P., Depczyński W. "Investigation of the selected properties of superficial layer alloying with the tungsten electrodes". *Metal 2015: 24rd International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 863–867.
10. Oniszczuk D., Świercz R. "An investigation into the impact of electrical pulse character on surface texture in the EDM and WEDM process". *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 36, 3 (2012): s. 43–53.
11. Spadło S., Młynarczyk P. "Analysis of the Mechanical Interactions of the Filament Brush Electrode on the Formation of the Surface Roughness". *Metal 2016: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 1169–1174.
12. Krajewski A., Włosiński W., Chmielewski T., Kołodziejczak P., "Ultrasonic-vibration assisted arc-welding of aluminum alloys". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 60, 4 (2013): s. 841–852.
13. Chmielewski T., Golański D., Włosiński W., "Metallization of ceramic materials based on the kinetic energy of detonation waves". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 63, 2 (2015): s. 449–456.
14. Chmielewski T., Golański D. "New method of in-situ fabrication of protective coatings based on Fe-Al intermetallic compounds". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225, 4 (2011): s. 611–616.
15. Matuszewski M., Kałaczyński T., Łukasiewicz M., Musiał J. "Surface geometric structure after various treatments and wear process". *The International Scientific Journal Problems of Tribology*, 1 (2013): s. 75–80.
16. Nabeel A., Chung H. "Alternating current-gas metal arc welding for application to thin sheets". *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (2014): s. 1828–1837.
17. 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): s. 263–273.
18. 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*, 465–466 (2014): s. 1209–1213.
19. Operating instructions for microwelding WSS 7000S.
20. Hastelloy X alloy information: www.haynesintl.com.
21. Haynes 230 alloy information: www.haynesintl.com.
22. Graneix J., Beguin J.-D., Pardheillan F., Alexis J., Masri T. "Weldability of the superalloys Haynes 188 and Hastelloy X by Nd:YAG". *MATEC Web of Conferences*, 14, 13006 (2014). DOI: 10.1051/matec-conf/20141413006.
23. Qian S., Hong-Shuang D., Jun-Chen L., Xiao-Nan W. "Effect of pulse frequency on microstructure and properties of welded joints for dual phase steel by pulsed laser welding". *Materials and Design*, 105 (2016): s. 201–211.
24. McDaniels R.L., Chen L., Steward R., Liaw P.K. i in. "The strain-controlled fatigue behavior and modeling of Haynes Hastelloy C-2000 superalloy". *Materials Science and Engineering A*, 528 (2011): s. 3952–3960.
25. Lee S.Y., Lu Y.L., Liaw P.K. i in. "High-temperature tensile-hold crack-growth behavior of Hastelloy X alloy compared to Haynes 188 and Haynes 230 alloys". *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 12 (2008): s. 31–44, DOI: 10.1007/s11043-008-9049-6.
26. Bulut Coskun M., Serdar Aksoy, Mahmut F. "Friction and Wear Characteristics of Haynes 25, 188, and 214 Superalloys Against Hastelloy X up to 540°C". *Tribology Letters*, 45 (2012): s. 497–503, DOI: 10.1007/s11249-011-9912-5.
27. Caiazza F., Alfieri V., Sergi V., Schipani A., Cinque S. "Dissimilar autogenous disk-laser welding of Haynes 188 and Inconel 718 superalloys for aerospace applications". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. DOI: 10.1007/s00170-013-4979-9
28. Baghajari S.H., Ghaini F.M., Shahverdi H.R., Ebrahimiya M., Mapelli C., Barella S. "Characteristics of electrospray deposition of a nickel-based alloy on 410 stainless steel for purpose of facilitating dissimilar metal welding by laser". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. DOI: 10.1007/s00170-016-8668-3. ■