

Wybrane właściwości i mikrostruktura złącza ze stopu tytanu spawanego wiązką elektronów

Selected properties and microstructure of the titanium alloy connection made using EBW

SŁAWOMIR SPADŁO
WOJCIECH DEPCZYŃSKI
PIOTR MŁYNARCZYK
WOJCIECH WÓJTOWICZ
RADOSŁAW MIJAS*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.183>
English version available on: www.mechanik.media.pl

W artykule przedstawiono badania mikrostruktury oraz właściwości i parametrów technicznych spoin wykonanych metodą spawania wiązką elektronową (EBW). Spawanie wiązką elektronową jest procesem łączenia odpowiednim zwłaszcza w przypadku tytanu i innych materiałów podatnych na utlenianie, ponieważ musi się odbywać w próżni. Kwalifikacji spoiny pod względem integralności połączenia dokonano na podstawie badania właściwości mechanicznych i oceny mikrostruktury. Mikrotwardość spoiny zmierzono urządzeniem Matsuzawa-Vickers MX 100 – zastosowano obciążenie 100 G (0,98 N). Do zbadania mikrostruktury i określenia wielkości poszczególnych stref przegubowych użyto mikroskopu Nikon Eclipse MA200.

SŁOWA KLUCZOWE: spawanie wiązką elektronów, mikrostruktura, mikrotwardość

The paper presents microstructure investigations as well as properties and technical parameters of welds made using the electron beam welding method (EBW). Electron beam welding is a bonding process, especially suitable in the case of titanium and other oxidation-sensitive materials, because it must be carried out in a vacuum. Integrity of the joint was determined on the basis of mechanical properties and microstructure evaluation. The micro-hardness of the weld was measured with the Matsuzawa-Vickers MX 100 – a load of 100 G (0.98 N) was used. Nikon Eclipse MA200 microscope was used to examine the microstructure and determining the size of individual articulation zones.

KEYWORDS: electron beam welding, surface engineering, microstructure, microhardness

W artykule analizowano technologię spawania, strukturę i właściwości stopu tytanu. Tytan jest wyjątkowym materiałem, a jego przetwarzanie (niezależnie od rodzaju), zwłaszcza spawanie, wymaga szczególnej uwagi.

Tytan i jego wysoko wytrzymałe stopy to jedne z najlepszych materiałów inżynierskich do zastosowań przemysłowych [1–3]. Doskonałe połączenie takich właściwości, jak wysoka wytrzymałość, długa trwałość, wyjątkowa odporność na korozję i niska gęstość sprawiają, że materiały te znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle

lotniczym, astronautycznym, zbrojeniowym oraz medycznym.

Stopy tytanu wykazują dużą aktywność chemiczną, przez co łatwo wchłaniają gazy atmosferyczne – tlen, wodór i azot. To pogarsza właściwości mechaniczne tych materiałów i powoduje pojawienie się niestabilnych struktur w spoinach [4, 5].

Spawanie TIG jest metodą dobrze znaną i często stosowaną, podczas gdy spawanie wiązką laserową (LBW) i spawanie mikrofalowe, a także obróbka EDM i EDS są uważane za nowe technologie spawania i obróbki stopów tytanu. Charakteryzują się one wysoką gęstością energii i szybkością spawania [6–10]. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych spawarek elektronowych z komorą o wysokiej próżni (EBW-HV) możliwe jest prowadzenie procesu spawania w warunkach umożliwiających zabezpieczenie spoiny przed zanieczyszczeniem gazowym [11–20].

Aparatura badawcza i przedmiot badań

W pracach eksperymentalnych używano urządzenia do spawania wiązką elektronową firmy TECHMETA NC. Stopień próżni w komorze urządzenia wynosił 10^{-4} Pa, a parametry wiązki elektronów były następujące: natężenie prądu – 40 mA, napięcie przyspieszające – 40 kV. Po wykonaniu złączy spawanych przygotowano próbki do badań metalograficznych (zgłady wykonano według standardowych procedur metalograficznych stosowanych w przypadku stopów tytanu). Do obserwacji zgładów metalograficznych spoin wykorzystano mikroskop metalograficzny Nikon Eclipse MA200 z systemem analizy obrazu NIS 4.20 oraz mikroskop skaningowy SEM JEOL JSM 7100 z mikrosondą elektronową OXFORD X-MAX. Przygotowanie zgładów spoin obejmowało: przecięcie spoiny, zainkludowanie w żywicy, polerowanie i trawienie. Następnie strukturę spoiny obserwowano pod mikroskopem.

Pomiar mikrotwardości

Badanie mikrotwardości przeprowadzono za pomocą węgelnika Vickersa, przy obciążeniu równym 100 G (0,98 N) przez 15 s (przykładowe odciski węgelnika przedstawiono na rys. 3). Do badania wykorzystano mikrotwardościomierz Matsuzawa-Vickers MX 100 – zastosowano obciążenie 100 G (0,98 N). Badania obejmowały złącze spawane oraz strefę wpływów cieplnych w materiale podstawowym.

* 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. Wojciech Wójtowicz (w.wojtowicz@mesko.com.pl), mgr inż. Radosław Mijas (r.mijas@mesko.com.pl) – Mesko S.A.



Rys. 1. Makrofotografia spoiny EBW (powiększenie 50×)

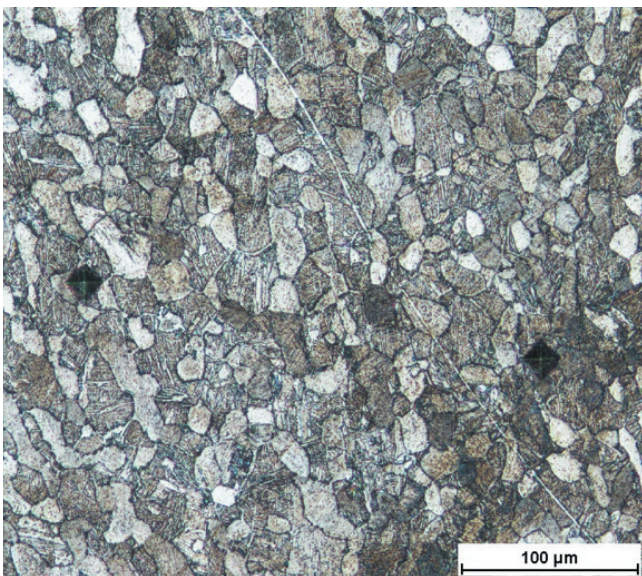
Mikrostruktura złącza

Wykorzystując skaningową mikroskopię elektronową (SEM) dokonano identyfikacji rozkładu wielkości ziaren oraz mikrostruktury materiału rodzimego spoiny oraz strefy wpływów cieplnych (rys. 2–4). Profil mikrotwardości złącza został zmierzony za pomocą twardościomierza Matsuzawa-Vickers MX 100 przy obciążeniu 100 G (0,98 N). Twardość strefy złącza (407 HV) wzrosła nieznacznie w stosunku do mikrotwardości metalu bazowego (391 HV).

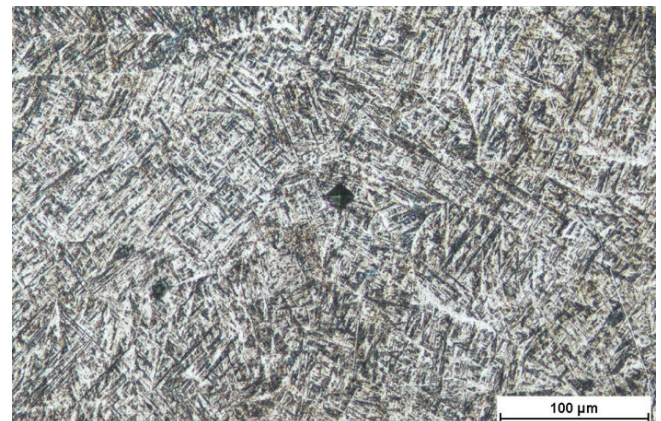
Oddziaływania cieplne nie spowodowały niekorzystnego rozkładu wielkości ziaren. Rozkład mikrotwardości złącza charakteryzował się niewielkim wzrostem twardości w strefie wpływów cieplnych. Analiza literatury w przedmiotowym zakresie wskazuje na zbieżność uzyskanych wyników z wynikami prac innych autorów [20–25].

W badanym złączu nie zaobserwowano negatywnego oddziaływania wpływu ciepła na mikrostrukturę strefy wpływów cieplnych. W złączu nie zaobserwowano ponadto występowania mikropęknięć.

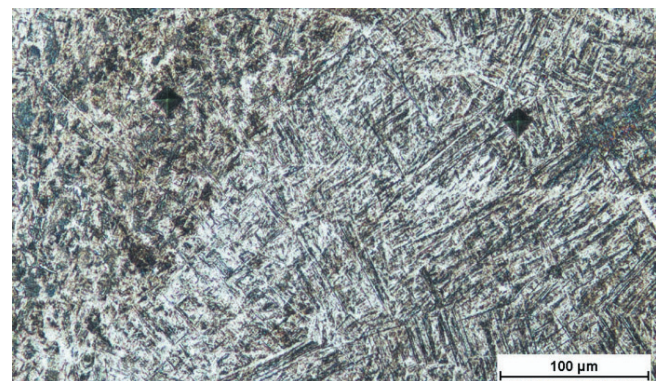
Ocena przedmiotowego złącza spawanego wskazuje, że warunki procesu spawania zostały dobrane prawidłowo.



Rys. 2. Mikrostruktura materiału rodzimego Ti6Al4V (powiększenie 200×, mikroskop metalograficzny Nikon Eclipse MA200)



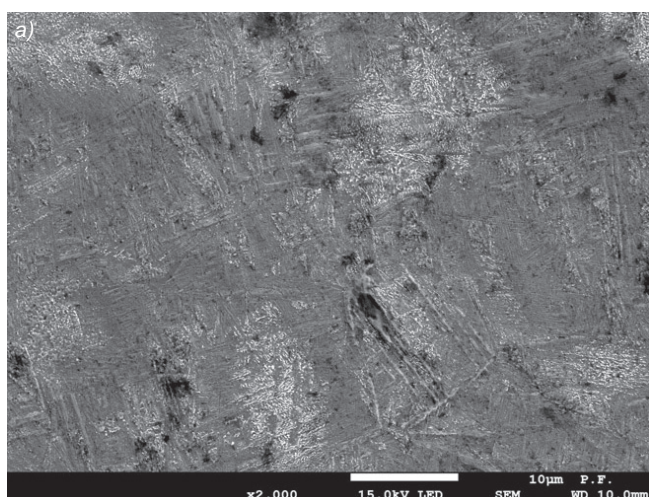
Rys. 3. Mikrostruktura spoiny stopu tytanu Ti6Al4V (powiększenie 200×, mikroskop metalograficzny Nikon Eclipse MA200)



Rys. 4. Mikrostruktura spoiny i strefy wpływów cieplnych (powiększenie 200×, mikroskop metalograficzny Nikon Eclipse MA200)

Analiza składu chemicznego spoiny

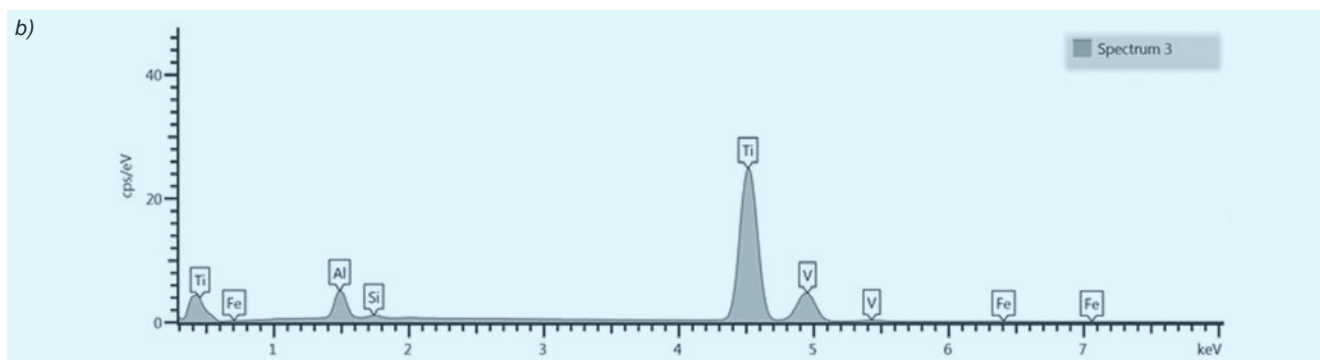
Wyniki badań mikrostruktury metalograficznej spoiny przedstawiono na rys. 5a. Analizę mikrostrukturalną uzupełniono o punktową identyfikację składu chemicznego (zarówno spoiny, jak i strefy wpływów cieplnych), biorąc pod uwagę pierwiastki: Ti, V, Al i Fe. W analizie wykorzystano mikrosondę elektronową typu OXFORD X-MAX. Przykładowy wynik badania pokazano na wykresie (rys. 5b). Zidentyfikowano elementy Ti, Al i V, Fe, które są domniemanymi składnikami strefy wpływów cieplnych oraz spoiny.



Podsumowanie

Na podstawie obserwacji mikroskopowych oraz analiz składu chemicznego można wnioskować, że mikrostruktura spoiny jest fazą martenzytyczną α' . Strefa wpływów cieplnych składa się ze stref drobno- i gruboziarnistej. Mikrostruktura strefy drobnoziarnistej stanowiła pierwotną fazę $\alpha + \beta$, równowagową z fazą α , a mikrostrukturą strefy materiału rodzimego była pierwotnie faza $\alpha + \alpha'$. Mikrostruktura strefy metalu podstawowego składa się głównie z pierwotnej fazy α oraz małej ilości pozostałości fazy β .

Uzyskane rozkłady mikrotwardości w przekroju spoiny i strefie wpływów cieplnych są optymalne. Morfologia spoiny jest prawidłowa. Ani w strefie wpływów cieplnych, ani w spoinie nie zaobserwowano zmiany składu chemicznego łączonego materiału.



Rys. 5. Fotografia SEM mikrostruktury (a) oraz wyniki analizy EDS składu chemicznego (b) złącza spawanego

LITERATURA

- David S.A., Babu S.S., Vitek J.M. "Welding: solidification and microstructure". *JOM*. 55, 6 (2003): s. 14–20.
- Boyer R., Collings E.W., Welsch G. "Materials Properties Handbook: Titanium Alloys". Cleveland, OH: ASM, 1994.
- Węglowski M.St., Błacha S., Phillips A. "Electron beam welding. Techniques and trends – Review". *Vacuum*. 130 (2016): s. 72–92.
- Adamus J., Lacki P., Motyka M. "EBW titanium sheets as material for drawn parts". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 15 (2015): s. 42–47.
- Balasubramanian T.S., Balasubramanian V., Muthumanikkam M.A. "Effect of welding processes on fatigue properties of Ti-6Al-4V alloy joints". *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 5, 2 (2011).
- Depczyński W., Młynarczyk P., Spadło S., Ziach E., Hepner P. "The selected properties of porous layers formed by pulse micro welding technique". *Metal 2015: 24rd International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 1087–1092.
- Młynarczyk P., Spadło S., Depczyński W., Śliwa E., Strzębski P. "The selected properties of the connection superalloy Haynes H 230 using micro welding". *Metal 2015: 24rd International Conference on Metallurgy and Materials*, s. 792–797.
- 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.
- 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.
- 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.
- Shaogang W., Xinqiang W. "Investigation on the microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy joints with electron beam welding". *Materials and Design*. 36 (2012): s. 663–670.
- Boyer R.R. "An overview on the use of titanium in the aerospace industry". *Materials Science and Engineering*. A213 (1996): s. 103–114.
- Jinkeun O., Nack J.K., Sunghak L., Eui W.L. "Correlation of fatigue properties and microstructure in investment cast Ti-6Al-4V welds". *Materials Science and Engineering: A*. 340, 1–2 (2003): s. 232–242.
- Saresha N., Gopalakrishna M., Pillai B., Mathewa J. "Investigations into the effects of electron beam welding on thick Ti-6Al-4V titanium alloy". *Journal of Materials Processing Technology*. 192–193 (2007): s. 83–88.
- Mingyu W., Renlong X., Ying W., Yang Z., Ke W., Qing L. "Microstructure, texture and mechanical properties of commercial high-purity thick titanium plates jointed by electron beam welding". *Materials Science & Engineering: A*. 677 (2016): s. 50–57.
- Hongtao Z., Peng H., Jicai F., Huiqiang W. "Interfacial microstructure and strength of the dissimilar joint Ti3Al/TC4 welded by the electron beam process". *Materials Science and Engineering: A*. 425 (2006): s. 255–259.
- Barreda J.L., Santamarm H.F., Azpiroz X., Irisarri A.M., Varona J.M. "Electron beam welded high thickness Ti6Al4V plates using filler metal of similar and different composition to the base plate". *Vacuum*. 62 (2001): s. 143–150.
- Wang S.Q., Li W.Y., Zhou Y., Li X., Chen D.L. "Tensile and fatigue behavior of electron beam welded dissimilar joints of Ti-6Al-4V and IMI834 titanium alloys". *Materials Science & Engineering: A*. 649 (2016): s. 146–152.
- Chih Jen T., Le Min W., "Improved mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy by electron beam welding process plus annealing treatments and its microstructural evolution, "Materials & Design" 60, (2014)" s. 587–598
- Wei L., Yaowu S., Yongping L., Xiaoyan L. "Effect of electron beam welding on the microstructures and mechanical properties of thick TC4-DT alloy". *Materials & Design*. 34 (2012): s. 509–515.
- Wei L., Xiaoyan L., Yongping L., Yaowu S. "Study on the mechanical heterogeneity of electron beam welded thick TC4-DT joints". *Materials Science and Engineering: A*. 540 (2012): s. 135–141.
- Pan W., Mui L., Sharon N. i in. "Recent progress of additive manufactured Ti-6Al-4V by electron beam melting". *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conf.*
- Yunlian Q., Ju D., Quan H., Liying Z. "Electron beam welding, laser beam welding and gas tungsten arc welding of titanium sheet". *Materials Science and Engineering: A*. 280 (2000): s. 177–181.
- Xiaoguang Y., Shaolin L., Hongyu Q. "Ti-6Al-4V welded joints via electron beam welding: Microstructure, fatigue properties, and fracture behavior". *Materials Science & Engineering: A*. 597 (2014): s. 225–231.
- Yanjun L., Yue Z., Quan L., Aiping W., Ruican Z., Guoqing W. "Effects of welding condition on weld shape and distortion in electron beam welded Ti2AlNb alloy joints". *Materials and Design*. 114 (2017): s. 226–233