

LUTOWANIE WIĄZKĄ ELEKTRONÓW RÓŻNOIMIENNYCH POŁĄCZEŃ TYTANU I STALI ODPORNEJ NA KOROZJĘ Z WYKORZYSTANIEM SPOIWA NA BAZIE AG

Piotr Śliwiński¹, Krzysztof Kwociński¹, Mateusz Kopyściński²
¹ Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa
² Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Wprowadzenie

Możliwość precyzyjnego ustawienia ogniska wiązki, jej podziału i wprowadzenia w drgania pozwala na kontrolę ilości ciepła wprowadzanego do elementu. Dlatego też technologia lutowania wiązką elektronów (EBB) jest odpowiednia zwłaszcza dla elementów o skomplikowanej geometrii, których nie można w całości podgrzać lub których lutowanie w piecu próżniowym jest nieoptymalne. Technologia ta może być stosowana do wytwarzania elementów bimetalicznych przeznaczonych do dalszego wykorzystania w innych procesach produkcyjnych.

Łączenie stopów tytanu ze stalami sprawia wiele problemów wynikających zarówno z różnic własności fizykochemicznych obu materiałów, wysokiej reaktywności tytanu, jak i tendencji tytanu do tworzenia kruchych faz międzymetalicznych z większością pierwiastków wykorzystywanych w przemyśle.

Połączenia tego typu stosowane są do produkcji bimetalicznych łączników i kolnierzy w aparaturze chemicznej, urządzeniach próżniowych, czy też urządzeniach do przetwarzania odpadów z elektroniki jądrowych.

Metodyka badań

Próby technologiczne były prowadzone na blachach o grubości 1,5 mm wykonanych ze stali odpornej na korozję w gatunku 1.4301 oraz tytanu w gatunku 3.7035. Powierzchnie płyt przed lutowaniem były szlifowane papierem ściernym oraz oczyszczone przy użyciu acetonu. Jako materiał dodatkowy zastosowano spoiwo AWS BAG-21 w postaci folii o grubości 0,2 mm o składzie chemicznym 62-64% Ag, 27,5-29,5% Cu, 5,0-7,0% Sn i 2,0-3,0% Ni.



Rys. 1. Urządzenie do spawania i modyfikacji powierzchni wiązki elektronów model XW150:30/756

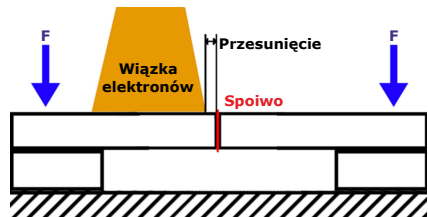
Badania technologiczne były przeprowadzone przy użyciu urządzenia do spawania i modyfikowania powierzchni model XW150:30/756 (Cambridge Vacuum Engineering) będącego na wyposażeniu Łukasiewicz - Instytutu Spawalnictwa - rysunek 1.

Napięcie przyspieszające ustawiono na 60 kV, przy odległości roboczej wiązki elektronów 420 mm, ciśnieniu 5×10^{-5} mbar i przesunięciu 1 mm (rys. 2). Parametry, które były zmieniane, przedstawiono w tabeli 1. Wiązka elektronów była rozogniskowana i wprowadzona w ruch oscylacyjny w kształcie koła o średnicy 2 mm z częstotliwością 1000 Hz. Zmniejszenie gęstości energii spowodowane rozogniskowaniem i oscylacją pozwala na jednoczesne wprowadzenie większej ilości ciepła do złącza bez stopienia powierzchni nagrzewanego elementu.

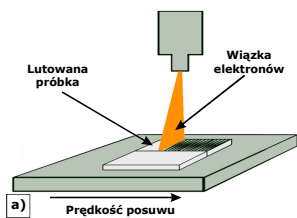
W przypadku lutowania z przesunięciem (rys. 2) ciepło potrzebne do stopienia materiału wypełniającego jest dostarczane przez przewodzenie ciepła w elemencie stalowym. Prędkość posuwu w tym przypadku rozumiana jest jako prędkość ruchu stołu CNC w kierunku równoległym do osi złącza (rys. 3a). Rzeczywisty sposób zamocowania próbek przedstawiono na rysunku 3b.

Nr próbki	Nateżenie prądu wiązki, mA	Prędkość posuwu próbki, mm/min
1	4.00	150
2	4.25	150
3	4.50	150
4	6.00	300
5	6.50	300
6	7.00	300

Tabela 1. Parametry ulegające zmianie podczas lutowania próbek 1-6



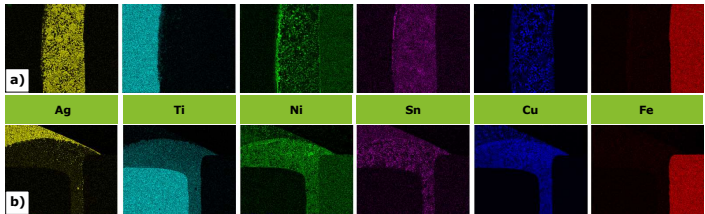
Rys. 2. Schemat wzajemnego ustawienia elementów podczas lutowania.



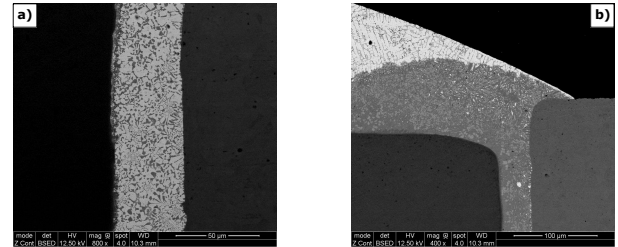
Rys. 3. a) Schemat procesu lutowania elektronowego, b) Widok rzeczywistego sposobu zamocowania próbek podczas lutowania elektronowego

Wyniki badań i dyskusja

Uzyskane złącza poddano statycznej próbie rozciągania, a także pomiarom twardości, oględzinom pod mikroskopem świetlnym oraz elektronowym (SEM), a także analizie EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). Wynik analizy EDS złącza numer 4 przedstawiono na rysunku 4a, natomiast wynik analizy złącza numer 2 przedstawiono na rysunku 4b. Zdjęcia mikrostruktury złącza nr 4 oraz 2 wykonane na mikroskopie elektronowym przedstawiono na rysunku 5a oraz 5b.



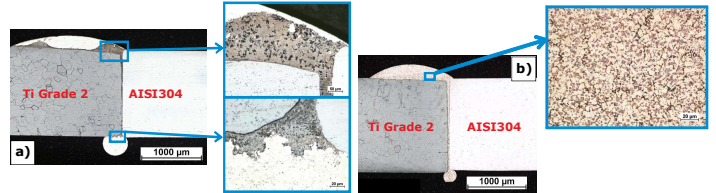
Rys. 4. Wynik analizy EDS a) złącza nr 4 (poprawne połączenie), b) złącza nr 2 (połączenie z widocznymi niezgodnościami)



Rys. 5. Zdjęcia mikrostruktury a) złącza nr 4 (poprawne połączenie), b) złącza nr 2 (połączenie z widocznymi niezgodnościami)

Analiza EDS połączeń lutowanych wykazała segregację atomów Ag w próbkach nr 2 (rys. 4b), 3, 5 i 6. Jaśniejsze obszary widoczne na obrazach mikroskopu świetlnego i skaningowego są obszarami bogatymi w Ag, pozbawionymi atomów Ti. Obszary te mają strukturę dendrytyczną i składają się głównie z roztworu stałego Ag. W przestrzeniach międzydendrytycznych występuje struktura płytkowa z większą zawartością Cu, Sn i Ni w składzie chemicznym niż w osnowie roztworu stałego Ag. Ciemniejsze regiony tych połączeń lutowanych są bogate w Ti, który dyfunduje do obszaru stopionego. Występuje również duża zawartość Cu, Ni i Sn, które wykazują dużą skłonność do tworzenia faz międzymetalicznych z Ti ze względu na niższe entalpie tworzenia faz międzymetalicznych Ti-Cu, Ti-Sn, i Ti-Ni niż Ti-Ag.

W przypadku próbki numer 4 (rys. 4a) prawie nie wystąpiła segregacja pierwiastków w złączu. Analiza EDS wykazała większą koncentrację atomów Ni i Sn na granicy styku Ti. Ze względu na najniższe entalpie tworzenia związków Ti-Sn i Ti-Ni, pierwiastki te mają największą tendencję do tworzenia faz międzymetalicznych z Ti. Zjawisko segregacji Ag w złączach lutowanych ze stopami o dużej zawartości Ag i Cu wynika ze znacznie niższego współczynnika dyfuzji Ag niż Cu, a także z niższych wartości entalpii tworzenia związków Ti-Cu, Ti-Sn, Ti-Ni niż związków Ti-Ag. Atomy materiału wypełniającego innego niż Ag mogą łatwo dyfundować w głąb Ti i tworzyć fazy międzymetaliczne pozostawiając niezwiązany Ag w dużych klastrach. Zdjęcia mikrostruktur złącza nr 2 oraz 4 wykonane na mikroskopie świetlnym przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zdjęcia mikrostruktury a) złącza nr 2 (połączenie z widocznymi niezgodnościami), b) złącza nr 4 (poprawne połączenie).

Nr próbki	2	3	4	5	6
Śr. twardość w górnej strefie [HV _{0,1}]	112	104	115	96	88
Śr. twardość w środkowej strefie [HV _{0,1}]	277	349	127	402	481
Średnia wytrzymałość na rozciąganie, MPA	131.2	76.6	244.2	151.8	83.8

Tabela 2. Wyniki próby rozciągania oraz uzyskane twardości dla złącza 2-6.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki próby rozciągania oraz uzyskane twardości dla złącza nr 2-6. Dla złącza nr 4, uzyskana maksymalna wytrzymałość na rozciąganie wyniosła 256 MPa, przy średnim wyniku 244,2 MPa. Przełomy wszystkich próbek złącza nr 4 były plastyczne. Wartość 244,2 MPa jest równa 40% zmierzonej średniej wytrzymałości na rozciąganie stali w gatunku 304, która wyniosła 608,1 MPa. Wartość ta jest również równa 58,5% zmierzonej wytrzymałości na rozciąganie tytanu w gatunku Grade 2, która wyniosła 417,1 MPa. Widoczna jest tendencja zmniejszania się wartości wytrzymałości na rozciąganie wraz ze wzrostem prądu wiązki oraz ze zmniejszeniem prędkości posuwu, co wyraźnie koreluje ze zmierzonymi twardościami. Wzrost twardości powoduje spadek wytrzymałości na rozciąganie. Obecność twardych faz międzymetalicznych w obszarach o zwiększonej zawartości Ti powoduje wzrost kruchości złącza lutowanego, a tym samym obniżenie jego wytrzymałości na rozciąganie.

Wnioski

- Wiązka elektronów może być z powodzeniem stosowana do lutowania twardego połączeń różnoimiennych tytanu i austenitycznej stali odpornej na korozję z wykorzystaniem spoiwa AWS BAG-21. Zastosowanie optymalnych parametrów, tj. prądu wiązki 6 mA i prędkości lutowania 300 mm/min, pozwoliło uzyskać złącze lutowane o wytrzymałości na rozciąganie 244,2 MPa, o średniej twardości 127 HV_{0,1} i 115 HV_{0,1} odpowiednio w środkowej i górnej strefie złącza.
- Zastosowanie spoiwa AWS BAG-21 umożliwiło prowadzenie procesu lutowania wiązką elektronów przy niższych parametrach niż przy zastosowaniu powszechnie stosowanego spoiwa 72Ag-28Cu, dzięki czemu uzyskuje się niższą temperaturę i mniejszą wzajemną dyfuzję atomów materiału rodzimego i spoiwa.
- Zastosowanie spoiwa AWS BAG-21, które nie zawiera Zn, pozwala uniknąć negatywnego efektu odparowania składników spoiwa w próżni. Uzyskana zwilżalność była zadowalająca na obu lutowanych powierzchniach.
- Zastosowanie przesunięcia wiązki, które powoduje nagrzewanie złącza ciepłem przewodnym przez stal odporną na korozję, zmniejsza maksymalną temperaturę elementu tytanowego, a tym samym dodatkowo ogranicza wzajemną dyfuzję materiału macierzystego Ti i elementów materiału wypełniającego.
- Wykazano, że zarówno zwiększenie prądu wiązki, jak i zmniejszenie prędkości lutowania poza wartości optymalne zwiększa dyfuzję Ti w spoinie przyczyniając się do powstawania kruchych IMC i segregacji elementów materiału wypełniającego. Wykazano również, że stosowanie zbyt niskiego natężenia prądu wiązki powoduje brak zwilżania, co nie pozwala na uzyskanie spoiny.



Kontakt:
mgr inż. Piotr Śliwiński
Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa
ul. Bł. Czesława 16-18
44-100 Gliwice
tel. +48 32 33 58 323
www.is.lukasiewicz.gov.pl
piotr.sliwinski@is.lukasiewicz.gov.pl

Badania prowadzone w Łukasiewicz - Instytucie Spawalnictwa zostały sfinansowane z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach pracy nr CC-62 (ST-1/1/00) pod tytułem: Badania procesów lutowania z wykorzystaniem wiązki elektronów.

63. MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA SPAWALNICZA

18-20 PAŹDZIERNIKA 2022 r. | KATOWICE



SPAWALNICTWO W SIECI NOWYCH MOŻLIWOŚCI

