

Lutowanie ceramiki AlN ze stopem FeNi42 za pośrednictwem powłoki metalizacyjnej osadzonej tarciovo

Brazing of AlN ceramics with FeNi42 alloy through metallic coating deposited by friction onto ceramic surface

Streszczenie

Złącza ceramiki z metalami bazują na wysokotemperaturowych, długotrwałych procesach próżniowych, głównie o charakterze dyfuzyjnym. Opisane w artykule badania są częścią pracy badawczej ukierunkowanej na opracowanie technologii tarciowego osadzania powłok metalizacyjnych na ceramice w celu ułatwionego spajania, w tym lutowania ceramiki z metalami. W celu uproszczenia procesu lutowania ceramiki z metalami na powierzchni ceramiki konstrukcyjnej wytwarzana jest cienka powłoka metaliczna ułatwiająca lutowanie z metalami z wykorzystaniem lutów nieaktywnych w osłonie gazów. W pracy zaprezentowano wstępne wyniki badań złączy lutowanych ceramiki AlN ze stopem FeNi42 uzyskanych za pośrednictwem tarciovo osadzonej powłoki metalizacyjnej.

Słowa kluczowe: lutowanie twarde; złącza ceramika-metal; ceramika AlN; metalizacja ceramiki

Abstract

Ceramics-metal joints usually are obtained in high-temperature and long-time vacuum processes where the mechanism for the creation of interface is based on the diffusion phenomena. The research has been reported at this article is the part of the bigger scientific project focused on friction metallization of ceramic surface. In order to simplify the process of brazing metals to the ceramics a thin metallic coating is deposited onto ceramics surface by friction surfacing. Due to the intermediate metallic coating brazing process of the ceramic-metal joints can be realized by inactive solder in atmosphere of inert shielding gas. The preliminary results of ceramic AlN with alloy FeNi42 brazing process obtained through friction-deposited coating have been reported.

Keywords: brazing; ceramics-metal joints; AlN ceramics; metallization

Wstęp

W nowoczesnym przemyśle złącza ceramiczno-metalowe znajdują szerokie zastosowanie i dotyczą coraz nowszych gatunków ceramiki w tym również AlN. Złącza metalowo-ceramiczne umożliwiają kojarzenie z natury odmiennych właściwości komponentów w określonej cechę wyrobu [1]. Metalizacja jest jednym ze sposobów ułatwiania uzyskania złączy ceramiczno-metalowego, a jej celem jest zmiana właściwości warstwy wierzchniej ceramiki umożliwiającej zwilżenie metalem z natury nieaktywnym w stosunku do ceramiki. Powłoka metalizacyjna w następnym etapie pośredniczy w uzyskaniu złącza pomiędzy litym materiałem ceramicznym i metalowym, np. na drodze lutowania twardego lub zgrzewania [2]. Metalizacja powierzchni materiałów ceramicznych stanowi kluczowy etap technologicznego wytwarzania pośrednich połączeń ceramika-metal. W przypadku par składających się z materiałów ceramicznych i metalowych, w których występują wysoki stopień powinowactwa chemicznego składników łączonych materiałów, możliwe jest bezpośrednie spajanie ceramiki z metalami, lecz takie podejście powoduje ograniczoną

możliwością komponowania złączy [3,4]. Niniejszy artykuł porusza specjalny przypadek lutowania złącza ceramiki AlN ze stopem FeNi42 za pośrednictwem tytanowej powłoki osadzonej tarciovo na ceramice, a następnie pokrytej niklem w procesie galwanicznym. Koncepcja pracy polega na opracowaniu technologii łączenia ceramiki, bez angażowania wielogodzinnych, wysokotemperaturowych procesów próżniowych opartych na zjawiskach dyfuzyjnych.

Powłoka metalizacyjna – metoda wytwarzania i charakterystyka

Powłoka metalizacyjna została osadzona na powierzchni ceramiki metodą tarciową. Czoło robocze narzędzia tytanowego (Ti - grade 2) o średnicy zewnętrznej 9 mm z otworem w osi o średnicy 3 mm trąc o powierzchnię płyty ceramiki AlN o grubości 6 mm (rys. 1) osadza cienką powłokę, na sku-

Mgr inż. Michał Hudycz; dr hab. inż. Tomasz Chmielewski, prof. PW – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: mhudycz@wp.pl

tek przenoszenia metalu z czoła narzędzia na powierzchnię ceramiki. Celem procesu było uzyskanie na powierzchni ceramiki równomiernej powłoki metalizacyjnej z tytanu. Tytan wybrano z powodu tego wysokiego powinowactwa chemicznego do składników metalizowanej ceramiki. Proces metalizacji opisano w pracach [5,6], natomiast wpływ warunków dostarczania energii do powstających złączy materiałów różniamiennych szeroko opisano w pracach [7-9]. Proces tarcowego metalizowania składa się z wstępnej fazy nagrzewania tarcem pod naciskiem 13,4 MPa tytanowej kształtki, która obraca w głowicy z prędkością 2550 obr/min., a po ustabilizowaniu się warunków, narzędzie wykonuje ruch postępowy względem powierzchni ceramiki.



Rys. 1. Narzędzie w pracy oraz widok powstającej powłoki
Fig. 1. The friction tool during operation and a view of the emerging coating

Na rysunku 2 przedstawiono widok powłoki metalizacyjnej wykonanej kilkoma równoległymi przejściami narzędzia z zakładką zapewniającą ciągłość powłoki. Budowę fazową, mikrostrukturę oraz inne właściwości powłoki opisano szczegółowo w pracach [5,6], ze względu na trudności ze zwilżeniem tytanowej powłoki została pokryta galwanicznie niklem o grubości $5\div 7\ \mu\text{m}$.



Rys. 2. Powłoka metalizacyjna składająca się z kilku ścięgów prostych wykonanych z zakładką
Fig. 2. Metallization coating consists of few passes with overlapping

Lutowanie złączy ceramika-metal

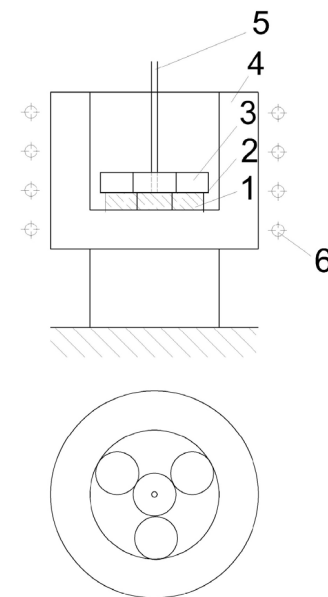
Proces lutowania przeprowadzono w otwartej od góry przepływającej argonem komorze pieca indukcyjnego z transformatorem generatora indukcyjnego MFG5, przepływ argonu wynosił ok 14 l/min. Źródłem ciepła dla lutowanych próbek był grzany indukcyjnie szablon grafitowy

(rys. 3) o wymiarach $\varnothing 33 \times 30\ \text{mm}$ i grubości ścianek ok. 10 mm. W jednym procesie lutowano trzy próbki. Elementy ceramiczne z metalizowaną powierzchnią miały wymiary $8 \times 9 \times 4,5\ \text{mm}$, lut eutektyczny AgCu28 (Ag 272 wg EN-ISO 17672) w formie folii o grubości 0,15 mm i powierzchni $8 \times 9\ \text{mm}$. Próbkę ceramiczną ustawiono w dnie otworu szablonu, na metalizowaną górną powierzchnię położono lut, a na wierzch osiowoosymetrycznie krążek stopu FeNi42 o średnicy 11 mm i grubości 5 mm.

W osi szablonu pomiędzy próbkami lutowanymi umieszczono próbkę referencyjną bez lutu z otworem $\varnothing 1,5\ \text{mm}$ w krążku metalowym w którym umieszczono termoelement NiCr/NiAl. Nagrzewanie przebiegało z prędkością $25\ \text{°C/min}$, zastosowano przystanek temperaturowy na poziomie $720\ \text{°C}$ o czasie 10 min, w celu wyrównania temperatury lutowanych elementów. Temperatura lutowania wynosiła $860\ \text{°C}$, a czas lutowania 1 minuta.

Warunki stygnięcia po lutowaniu:

- $860\div 760\ \text{°C} - 200\ \text{°C/min}$
- $760\div 300\ \text{°C} - 30\ \text{°C/min}$
- $300\div 20\ \text{°C} - \text{swobodne stygnięcie przy wyłączonym grzaniu}$

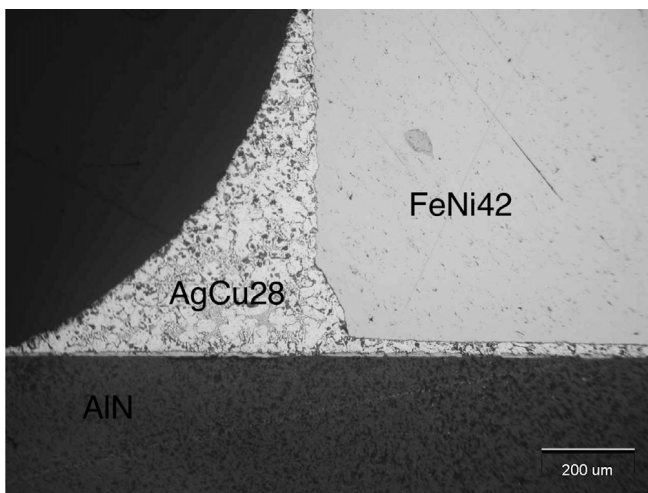


Rys. 3. Szkic szablonu do lutowania: 1) metalizowana próbka ceramiczna ceramika AlN, 2) lut AgCu28, 3) krążek FeNi42, 4) szablon grafitowy, 5) termoelement NiCr-NiAl, 6) cewka indukcyjna
Fig. 3. A sketch of brazing template: 1) metallized sample of AlN ceramic, 2) AgCu28 solder, 3) FeNi42 disk, 4) graphite template 5) thermocouple NiCr-NiAl, 6) induction coil

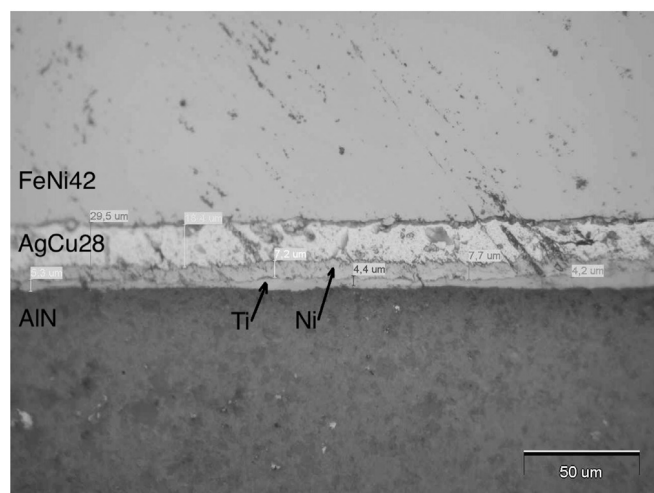
Mikrostruktura złączy lutowanych

Złącza lutowane preparowano do badań metalograficznych wykonując cięcie piłą diamentową prostopadle do połączenia, następnie inkludowano w twardej żywicy epoksydowej i szlifowano tarczą diamentową do uzyskania płaszczyzny przekroju złącza. W kolejnym etapie polerowano zgląd przy pomocy pasty diamentowej. Zgłady fotografowano bez trawienia. Na rysunku 4 pokazano mikrostrukturę złącza lutowanego AlN-FeNi42 przy powiększeniu 100 razy. Profil menisku widocznego na zdjęciu wskazuje na porównywalną zwilżalność łączonych komponentów.

Na rysunku 5 pokazano mikrostrukturę złącza lutowanego AlN-FeNi42 z powiększeniem $\times 500$, dzięki czemu można wyraźnie zaobserwować obecność dwóch warstw pośrednich. Sumaryczna grubość połączenia (lut + powłoki pośrednie) wynosi około $30\ \mu\text{m}$. Pierwsza tytanowa o grubości w zakresie od 3 do $5\ \mu\text{m}$ osadzona tarcio. Druga warstwa to elektrochemicznie osadzony nikiel o grubości w zakresie od 6 do $8\ \mu\text{m}$. Nikiel zastosowano na skutek znacznych trudności z powtarzalnym zwilżaniem lutem AgCu28 powierzchni tytanu [10,11] w tym przypadku osadzanego tarcio. Dodatkowo pokrycie powłoki tarciowej niklem pełni jednocześnie funkcję plastycznego kompensatora naprężeń.



Rys. 4. Mikrostruktura złącza lutowanego AIN-FeNi42
Fig. 4. Microstructure of AIN-FeNi42 brazed joint



Rys. 5. Mikrostruktura złącza lutowanego AIN-FeNi42 z widocznymi warstwami pośrednimi – Ti osadzony tarciowo, Ni osadzany galwanicznie
Fig. 5. Microstructure of brazed AIN-FeNi42 joint, with visible interlayers, Ti deposited by friction and Ni galvanically deposited

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzono próby lutowania ceramiki AlN po metalizacji tarciowej ze stopem FeNi42 lutem srebrno-miedzanym AgCu28. Lutowanie prowadzono w piecu indukcyjnym w atmosferze argonu. Powłokę metalizacyjną uprzednio naniesiono metodą tarciową, a następnie pokryto galwanicznie niklem. Dodatkową powłokę niklową zastosowano w następstwie trudności ze zwilżeniem lutem AgCu28 tarciowo osadzonego Ti. Uzyskane złącza lutowne o grubości około 30 μm, charakteryzują się ciągłością i brakiem wyraźnych niedoskonałości. W kolejnym etapie prac badawczych przeprowadzone zostaną testy wytrzymałości uzyskanych złączy. Przeprowadzony i przedstawiony w niniejszym artykule eksperyment wskazuje na możliwość uzyskania trwałych złączy ceramiczno-metalowych wykonanych bez stosowania kilkudziesięciogodzinnych, próżniowych procesów termicznych o charakterze dyfuzyjnym.

Literatura

- [1] Chmielewski T.: Wykorzystanie energii kinetycznej tarcia i fali detonacyjnej do metalizacji ceramiki, *Prace Naukowe PW, Seria Mechanika, Zeszyt 232*, 2012, s.1-155.
- [2] K. Pietrzak, D. Kaliński, M. Chmielewski, T. Chmielewski, W. Włosiński, K. Choregiewicz: Processing of intermetallics with Al₂O₃ or steel joints obtained by friction welding technique, *Proc. 12th Conference of the European Ceramic Society – ECeS XII, Stockholm (2011)*.
- [3] Włosiński W., Chmielewski T., Kucharczyk M.: Spajanie tarciowo stopów NiAl i FeAl ze stalą węglową St3S, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 76, nr 1, s. 6-12. 2004.
- [4] Włosiński W., Chmielewski T., Grabowska A.: Warunki spajania tarciowego i struktura złączy Al₂O₃-Al i Al₂O₃-Cu, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 75, nr 12, s.1-5. 2003.
- [5] Hudycz M., Winiarski M., Chmielewski T.: Tarciowo metalizowanie ceramiki AlN tytanem, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 87, nr 10, s. 31-35, 2015.
- [6] Hudycz M., Chmielewski T., Winiarski M., Golański D.: Właściwości tytanowej powłoki metalizacyjnej osadzonej tarciowo na ceramice Al, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 88, nr 5, s. 29-35, 2016.
- [7] Chmielewski T., Golański D., Włosiński W., Zimmerman J.: Utilizing the energy of kinetic friction for the metallization of ceramics. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 63, nr 1, s. 201-207, 2015.
- [8] Rogalski G., Fydrych D., Walczak W.: Wpływ cyklu cieplnego na właściwości zgrzewanych wybuchowo złączy stal-aluminium, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 85, nr 6, s. 60-54, 2013.
- [9] Rogalski G., Fydrych D., Walczak W.: Zastosowanie zgrzewania wybuchowego do wytwarzania kompozytów metalowych z osnową ceramiczną. *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 85, nr 6, s. 54-59, 2013.
- [10] Mirski Z., Różański M.: Lutowanie dyfuzyjne tytanu i jego stopu na osnowie fazy TiAl (γ). *Inżynieria Materiałowa*, nr 2/2010, s. 161-166.
- [11] Mirski Z., Różański M., Winiowski A.: Lutowanie dyfuzyjne tytanu z użyciem przekładek z miedzi i niklu, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 84, nr 10, s.15-18, 2012.