

WPLYW ZWILŻALNOŚCI WYŻEJ TOPLIWEGO PODŁOŻA NA JAKOŚĆ WARSTW MIEDZIANYCH WYTWARZANYCH METODĄ POŚREDNIEGO GRZANIA OPOROWEGO PRZY OBNIŻONYM CIŚNIENIU

Jarosław Komorowski¹, Marek Binienda¹, Magdalena Pokrzywa¹, Paweł Just², Emilia Wołowicz¹, Aneta Praska-Jaros¹, Piotr Kula¹

Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, ¹Instytut Inżynierii Materiałowej, ²Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji

Streszczenie. W artykule prezentowane są zagadnienia związane z badaniem wpływu zwilżalności wysokotopliwego podłoża na jakość warstw miedzianych wytwarzanych metodą pośredniego grzania oporowego przy obniżonym ciśnieniu. W pracy przedstawiono wyniki badań przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożach metalowych o wyższej temperaturze topnienia niż sam surowiec. Metoda ta może znaleźć zastosowanie przy tworzeniu różnego rodzaju bimetalu lub może posłużyć także do kierunkowego oczyszczania przetapianego surowca.

Słowa kluczowe: miedź, grzanie oporowe, zwilżalność podłoża, bimetały, topienie pośrednie.

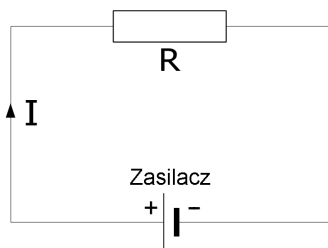
THE INFLUENCE OF HIGH FUSIBLE SUBSTRATE WETTABILITY ON A QUALITY OF CUPPER FILMS PRODUCED BY INDIRECT HEAT RESISTANCE METHOD AT REDUCED PRESSURE

Abstract. The article presents issues related to examination of the impact of wettability of high fusible substrate on a quality of the copper produced by indirect resistance heating at reduced pressure. This paper presents the results of remelting of powdered copper on metal substrates with melting points higher than those for the raw material. This method can be used to create different types of bimetals and may be used also for directional cleaning of remelted material.

Keywords: copper, heat resistance, surface wettability, bimetal, indirect melting.

Wstęp

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej dotyczących przetapiania miedzi o czystości 99,8% na podłożach wyżej topliwych. Badania te są wstępem do opracowania technologii wytwarzania laminatów bimetalicznych techniką topienia warstwy niżej topliwej [2, 3]. Modyfikacja warstwy wymaga dostarczenia odpowiedniej ilości ciepła do strefy przetapiania [1, 7]. Badania wstępne przeprowadzono na stanowisku grzania oporowego (rys. 1) złożonym ze źródła prądu o dużej wydajności i blaszki molibdenowej, reprezentowanej na schemacie przez rezystancję R .



Rys. 1. Schemat ideowy grzania oporowego (opis w tekście)

Przepływ prądu przez blaszkę, stanowiącą jednocześnie wysokotopliwe podłoże, powoduje wydzielanie w niej ciepła zgodnie z prawem Joule'a- Lenza:

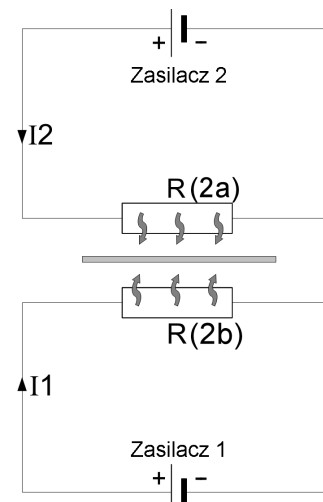
$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (1)$$

gdzie: I - natężenie prądu w obwodzie, R - rezystancja blaszki molibdenowej pomiędzy zaciskami, t - czas przepływu prądu.

W wyniku przeprowadzonych dla tego modelu pomiarów rozkładu temperatury stwierdzono, że największa ilość ciepła jest wydzielana w środkowej części podłoża molibdenowego i maleje w miarę zbliżania się do zacisków. Wymagane dla laminatów w bimetalicznych równomierne rozprowadzenie miedzi na podłożu jest konsekwencją płaskiego frontu krystalizacji wymagającego jednorodnego zarodkowania homogenicznego w tym obszarze, co jest niemożliwe do osiągnięcia przy takim rozkładzie temperatury [9].

W celu uzyskania równomiernego rozkładu temperatury zaprojektowano i wykonano stanowisko do przetapiania miedzi

na bazie układu podgrzewania pośredniego (rys. 2). Dwa niezależne zasilacze sterują przepływem prądów I_1 i I_2 przez zespoły grzałek wolframowych 2a i 2b, które umieszczone są nad i pod płytką (rys. 3). Ciepło wydzielane przez grzałki jest dostarczane do podłoża poprzez promieniowanie.



Rys. 2. Schemat ideowy układu grzania pośredniego; 1- podłoże, 2- zespoły grzałek

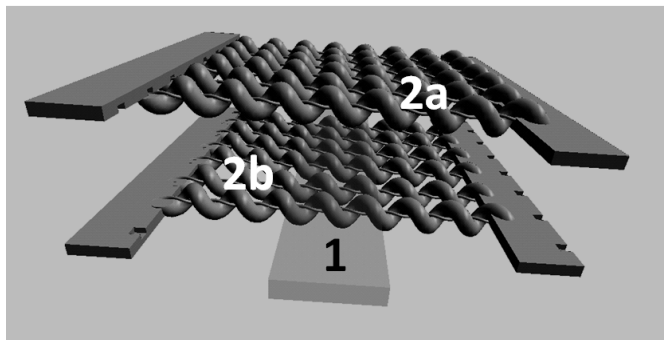
Przeprowadzone na tym modelu badania wykazały równomierny rozkład temperatury na założonym obszarze, jednakże z powodu dużej różnicy temperatur topnienia podłoża i miedzi (słaba zwilżalność) zaobserwowano tworzenie się kropli miedzi na podłożu (rys. 13).

Zatem w celu realizacji prac związanych z wytwarzaniem taśmowych laminatów bimetalicznych, w których konieczne jest uzyskanie równomiernej grubości warstwy niżej topliwej na podłożu, konieczny był również dobór podłoża o dobrej zwilżalności dla miedzi.

Badania przeprowadzono dwutorowo. Z jednej strony zapewniony został równomierny rozkład temperatur, który osiągnięto poprzez zastosowanie układu grzania pośredniego. Ilość ciepła przekazywanego radiacyjnie do podłoża regulowano poprzez zmianę natężenia prądu płynącego w sterowanych niezależnie grzałkach wolframowych. Z drugiej strony stosowano różnego rodzaju materiały w celu znalezienia podłoża o optymalnej zwilżalności dla miedzi.

1. Metoda wytwarzania i badania przetapianej miedzi

Sproszkowaną miedź roztopiono na wysoko topliwym podłożu metalowym ogrzewanym od góry oraz od dołu poprzez układ niezależnych grzałek wolframowych rozgrzewanych oporowo (rys. 3).



Rys. 3. Model układu nagrzewania pośredniego podłoża (1) do temperatury topnienia surowca przy pomocy układu grzania oporowego górnego (2a) i dolnego (2b)

Podłoże wyżej topliwe znajduje się pomiędzy grzałkami umieszczonymi do niego prostopadle. Taki sposób usytuowania grzałek w stosunku do podłoża wyżej topliwego zapewnia równomierne nagrzewanie powierzchni podłoża na znacznym większym jego obszarze. Cały proces odbywał się w próżni w celu niedopuszczenia do utleniania się któregośkolwiek z materiałów, składników bądź elementów występujących w komorze. Ciśnienie panujące w komorze podczas prób wynosiło 4×10^{-3} Pa. Pierwsze próby wykonano na podłożach molibdenowych o czystości 99,97% o wymiarach $120 \times 10 \times 0,2$ mm, na których równomiernie została rozprowadzona miedź w postaci proszku. Badano także inne podłoża, tj. tytan o czystości 99,99%, chrom o czystości 99,5% i nikiel o czystości 99% o tych samych wymiarach. Płytki mocowano w specjalnych uchwytach ceramicznych eliminując w ten sposób możliwość przepływu prądu przez podłoże. W metodzie grzania oporowego grzałki można rozgrzać bezpiecznie do temperatury 2500°C . Przy takiej temperaturze grzałek górnych lub dolnych można było rozgrzać powierzchnię podłoża do temperatury wynoszącej 1700°C przy zachowaniu odległości grzałek od podłoża wynoszącej 10 mm. Zmniejszenie odległości grzałki-podłoże do 5 mm pozwoliło zwiększyć temperaturę podłoża nawet do 2100°C w przypadku molibdenu. Przepływ prądu przez grzałki wolframowe zwiększa ich temperaturę, która przekazywana jest na podłoże molibdenowe w sposób radiacyjny. Czas nagrzewania podłoża do temperatury topnienia miedzi może wahać się w granicach od dowolnie długiego czasu do 1 sekundy. Podczas krystalizacji roztopionej warstwy miedzianej możliwe jest obniżanie temperatury z szybkością 80°C na sekundę lub wolniej dzięki kontroli nagrzewania grzałek [4-6, 8].

W artykule przedstawiono fotografie mikrostruktury przetapianej miedzi na podłożu molibdenowym przy różnych parametrach procesu oraz miedzi przetapianej na podłożach tytanowych, chromowych i niklowych z uwzględnieniem parametrów zastosowanych w procesie przetapiania miedzi na podłożu molibdenowym. Przeprowadzono następujące procesy:

- 1) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek);
- 2) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek);

- 3) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek);
- 4) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku powolnego ochłodzenia warstwy przez stopniowe obniżanie natężenia prądu przepływającego przez układ grzałek wolframowych i wyłączenie zasilania układu (obniżanie temperatury na powierzchni podłoża z szybkością chłodzenia 10°C na sekundę do momentu zakrzepnięcia warstwy miedzianej);
- 5) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek oraz krystalizacji warstwy w wyniku powolnego ochłodzenia warstwy przez stopniowe obniżanie natężenia prądu przepływającego przez układ grzałek wolframowych i wyłączenie zasilania układu (obniżanie temperatury górnej blaszki z szybkością chłodzenia 2°C na sekundę do momentu zakrzepnięcia warstwy miedzianej);
- 6) proces przetapiania sproszkowanej miedzi domieszkowanej krzemem w ilości 80% Cu i 20% Si na podłożu molibdenowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek oraz krystalizacji warstwy w wyniku powolnego ochłodzenia warstwy przez stopniowe obniżanie natężenia prądu przepływającego przez układ grzałek wolframowych i wyłączenie zasilania układu (obniżanie temperatury powierzchni podłoża z szybkością chłodzenia 2°C na sekundę do chwili zakrzepnięcia warstwy miedzianej);
- 7) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu chromowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek);
- 8) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu niklowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek);
- 9) proces przetapiania sproszkowanej miedzi na podłożu tytanowym przy wykorzystaniu grzania pośredniego górnego i dolnego układu grzałek i krystalizacji warstwy w wyniku gwałtownego ochłodzenia warstwy przez wyłączenie zasilania układu (80°C na sekundę w pierwszych dwóch sekundach po wyłączeniu zasilania grzałek).

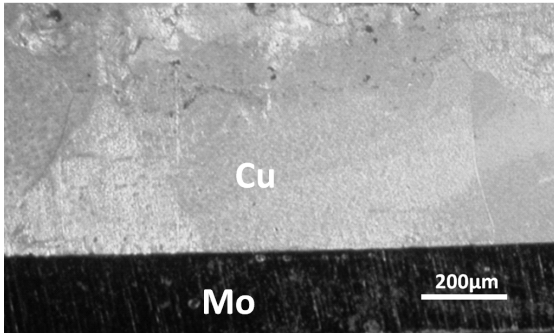
Podczas eksperymentów jako podłoża użyte zostały blaszki wykonane z kilku rodzajów metali w celu zbadania ich wpływu na zwilżalność podłoża dla roztopionej miedzi oraz ich ewentualnego wpływu na dyfuzję zanieczyszczeń do warstwy miedzianej. Zbadano wpływ rodzaju podłoża wykonanego z metali, takich jak: Ti (1688°C), Cr (1857°C), Ni (1455°C), Mo (2623°C).

W wyniku przeprowadzonych procesów otrzymano próbki, dla których wykonano zgłady metalograficzne, które obserwowano na mikroskopie optycznym Nikon Eclipse MA200.

2. Wyniki badań

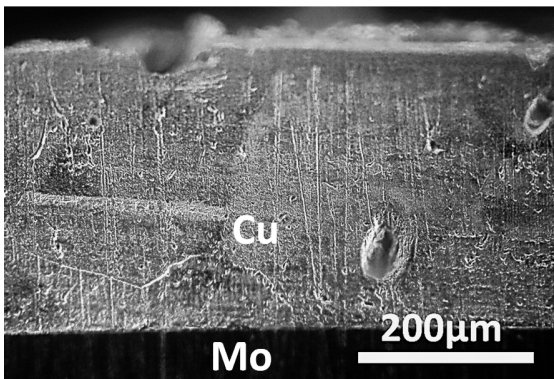
Badania mikroskopowe warstw uzyskanych w wyżej opisanych procesach pozwoliły na wyciągnięcie wniosków co do dalszych działań związanych z opracowaniem technologii wytwarzania laminatów bimetalicznych techniką topienia warstwy niżej topliwiej. W pierwszym procesie przetopiono miedź przy pomocy dolnego układu grzałek wolframowych, przez które przepływał prąd

o natężeniu 280A. Ziarna miedzi po krystalizacji posiadały oś prawie równoległą do płaszczyzny podłoża molibdenowego. Temperaturę podłoża zwiększano do temperatury topnienia miedzi stopniowo co 100°C, a czas utrzymywania układu w temperaturze topnienia wyniósł 5 minut. Chłodzenie odbyło się poprzez wyłączenie grzania oporowego dolnego układu grzałek wolframowych. Długi czas grzania wpłynął na znaczny rozrost ziarna (rys. 4).



Rys. 4. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (1); ziarna Cu posiadają oś równoległą do płaszczyzny podłoża molibdenowego

W drugim procesie przetopiono miedź przy pomocy górnego układu grzałek wolframowych, przez które przepływał prąd o natężeniu 300A. Ziarna miedzi po krystalizacji posiadały oś prostopadłą do płaszczyzny podłoża molibdenowego. Chłodzenie odbyło się poprzez wyłączenie grzania oporowego górnego układu grzałek wolframowych. Długi czas nagrzewania do temperatury topnienia i wytrzymanie stopionej miedzi w tej temperaturze wpłynęły na znaczny rozrost ziarna (rys. 5).



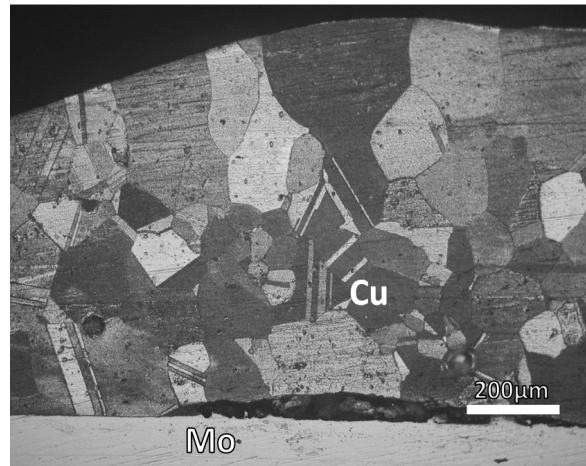
Rys. 5. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (2); ziarna Cu posiadają oś prostopadłą do płaszczyzny podłoża molibdenowego

W trzecim procesie przeprowadzano próby przetapiania sproszkowanej miedzi przy pomocy grzania oporowego podłoża molibdenowego dwoma grzałkami wolframowymi. Przez obydwa układy przepuszczony został prąd o natężeniu 200A. Podczas chłodzenia obniżano temperaturę poprzez wyłączenie w pierwszej kolejności grzania układu górnych grzałek wolframowych, a następnie po czasie 1 sekundy następowało wyłączenie grzania oporowego układu grzałek dolnych. Spadek temperatury podłoża molibdenowego wyniósł 80°C w pierwszych 2 sekundach procesu chłodzenia roztopionej warstwy miedzianej. Oś ziaren jest w przybliżeniu prostopadła do płaszczyzny podłoża molibdenowego (rys. 6). Wszystkie ziarna są niemal jednakowej wielkości na całej grubości warstwy miedzianej.

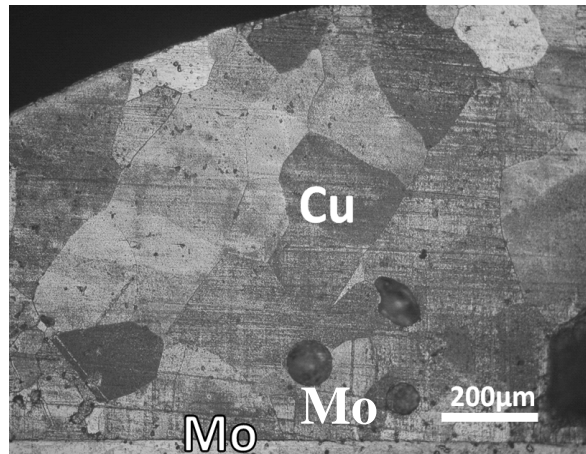
Kolejne procesy wykonywano w celu wyznaczenia najbardziej optymalnego podłoża dla przetapiania miedzi, która po procesie nie będzie tworzyła kropeł, a będzie dobrze pokrywała wyżej topliwie podłoże.

Proces czwarty wykonano zgodnie z parametrami procesu trzeciego, jednak przy znacznie wolniejszym tempie chłodzenia wynoszącym 10°C na sekundę od temperatury 1120°C do temperatury 900°C, w kolejnym etapie wyłączono górny układ grzałek wolframowych i po 1 sekundzie dolny układ grzałek

wolframowych. Uzyskane ziarna były wydłużone w kierunku od podłoża do powierzchni warstwy a oś ziaren była prostopadła do niego (rys. 7).

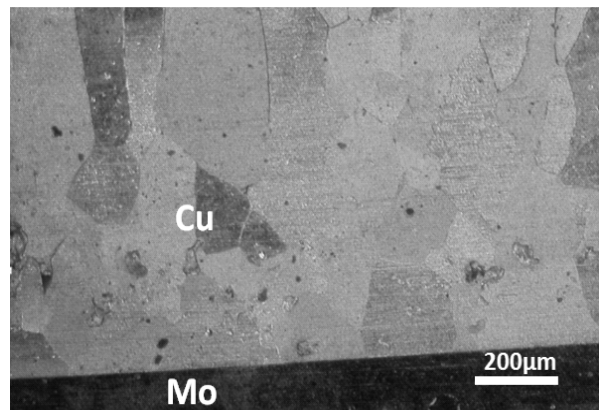


Rys. 6. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (3); ziarna Cu są lekko wydłużone i mają oś prostopadłą do podłoża molibdenowego



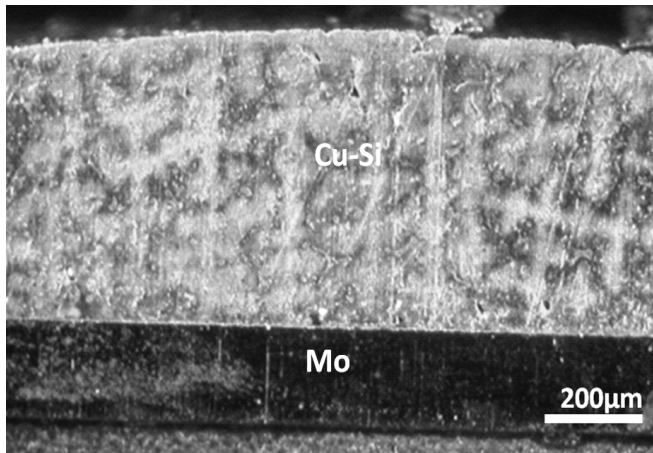
Rys. 7. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (4); zaobserwowano znacznie wydłużone ziarna skryształizowanej miedzi

Proces piąty wykonano zachowując parametry procesu trzeciego jednak przy innej prędkości zmniejszania temperatury podłoża molibdenowego, tj. 2°C na sekundę od temperatury 1120°C do temperatury 900°C. W pierwszej kolejności wyłączono górny układ grzałek, a po 1 sekundzie dolny. Uzyskane ziarna mają postać podobną do ziaren uzyskanych w procesie czwartym, jednak ze względu na znacznie dłuższy czas przebywania warstwy miedzianej w podwyższonej temperaturze są nieznacznie większe (rys. 8).



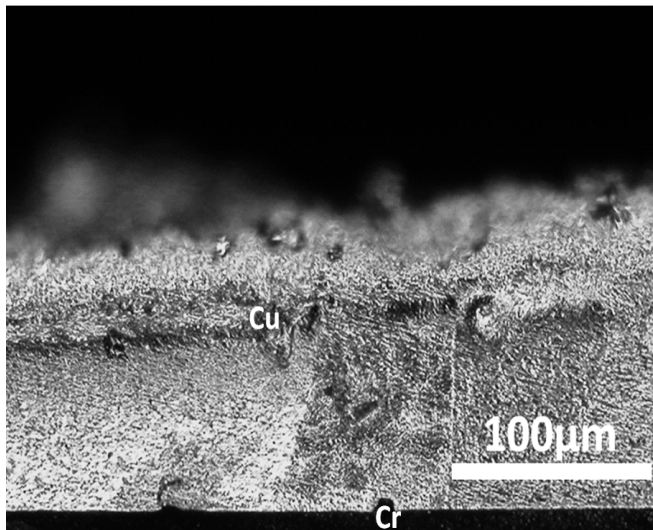
Rys. 8. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (5); rozmiary ziaren Cu są znacznie większe w porównaniu z wielkością ziaren z procesu (4)

Proces szósty wykonany został z zachowaniem parametrów procesu piątego, jednakże ze względu na słabą zwilżalność miedzi na powierzchni molibdenu postanowiono do proszku miedzianego dodać proszek krzemowy o takiej samej wielkości ziarna wynoszącej $50\mu\text{m}$ (rys. 9). Po procesie zauważono zwiększenie zwilżalności podłoża przez miedź i brak tendencji to tworzenia warstw o przekroju kropli.



Rys. 9. Mikrostruktura miedzi uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (6); widoczne dendryty uzyskane podczas krystalizacji miedzi połączonej z krzemem, który polepszył zwilżalność warstwy do podłoża

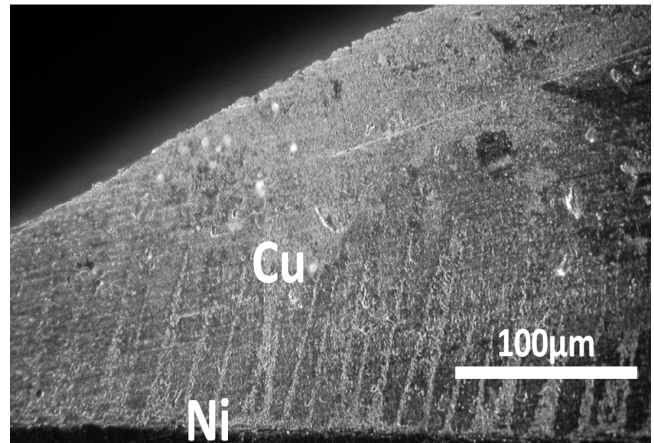
Rys. 10 przedstawia warstwę przetopionej miedzi na podłożu chromowym. Różnica temperatur pomiędzy miedzią a chromem wyniosła 773°C . Natężenie prądu konieczne do otrzymania warstwy miedzi wyniosło 190A na dolnej grzałce i 215A na górnej grzałce. Chromowe podłoże wykazało dobrą zwilżalność przez miedź, dzięki czemu nie zaobserwowano tworzenia się kropli na blaszce chromowej. Sproszkowana miedź po osiągnięciu temperatury podłoża 1100°C równomiernie rozplynęła się po powierzchni warstwy chromowej, a uzyskana grubość warstwy wyniosła $129\mu\text{m}$.



Rys. 10. Mikrostruktura miedzi przetopionej na podłożu chromowym uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (3); ziarna miedzi posiadają rozmiary znacznie większe niż w przypadku procesów od (1) do (6)

Na rys. 11 przedstawiona została warstwa przetopionej miedzi na powierzchni blaszki niklowej. Różnica temperatur wyniosła 371°C . Natężenie prądu konieczne do otrzymania warstwy miedzi wyniosło 185A dla grzałek dolnych i 200A dla grzałek górnych.

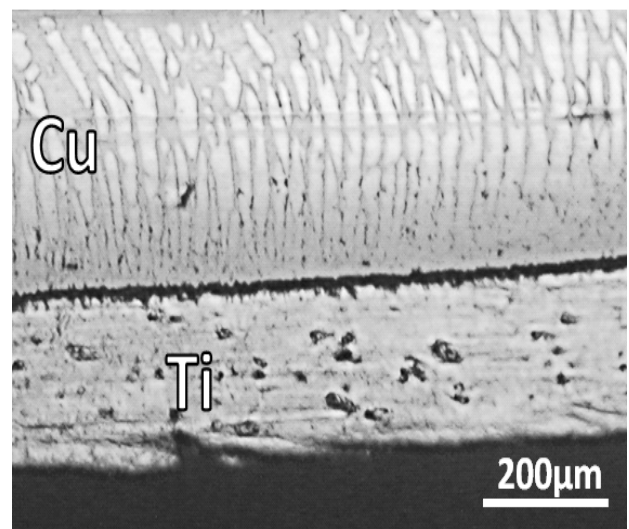
Niklowe podłoże wykazało gorszą zwilżalność przez miedź w stosunku do podłoża chromowego. Sproszkowana miedź grupowała się w krople widoczne na rys. 11. Grubość warstwy w postaci kropli wyniosła $372\mu\text{m}$.



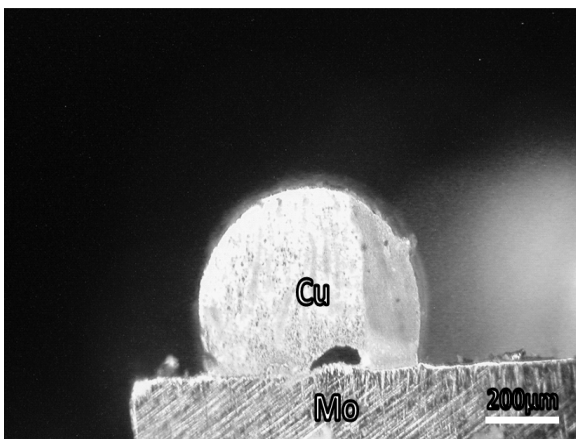
Rys. 11. Mikrostruktura miedzi przetopionej na podłożu niklowym uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (3); widoczne są wydłużone ziarna Cu o osi prostopadłej do podłoża

Na rys. 12 przedstawiona została warstwa przetopionej miedzi na podłożu tytanowym. Różnica temperatur pomiędzy miedzią a tytanem wyniosła 584°C . Przetopienie miedzi nastąpiło przy przepływie przez podłoże prądu o natężeniu 90A. Podłoże wykazało najlepszą zwilżalność dla przetopionej sproszkowanej miedzi w stosunku do innych badanych podłoży. Nie zauważono efektu tworzenia się kropli miedzianych, a grubość warstwy na całej szerokości podłoża była jednakowa i wyniosła $171\mu\text{m}$.

Na rys. 13 przedstawiona została warstwa przetopionej miedzi na podłożu molibdenowym. Różnica pomiędzy temperaturą topnienia molibdenu a miedzi wynosi 1552°C . Natężenie prądu konieczne do przetopienia miedzi wyniosło 200A dla grzałki górnej i dolnej. Molibdenowe podłoże wykazało słabą zwilżalność dla miedzi, przez co sproszkowana miedź podczas przetapiania nie rozplywała się równomiernie na podłożu lecz skupiała się w krople. Grubość uzyskanej warstwy, która zamieniła się w kroplę wyniosła $1600\mu\text{m}$.



Rys. 12. Mikrostruktura miedzi przetopionej na podłożu tytanowym uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (1); widoczny kolumnowy wzrost ziaren miedzi



Rys. 13. Mikrostruktura miedzi przetopionej na podłożu molibdenowym uzyskana dzięki zastosowaniu parametrów procesu (3); widoczny słaby efekt zwilżania podłoża przez miedź

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono nowatorską metodę przetapiania sproszkowanej miedzi znajdującej się na podłożu molibdenowym umiejscowionym po środku między dwoma prostopadle ułożonymi do podłoża układami grzałek wykonanych z wolframu. Każda z grzałek posiada własne źródło zasilania i dzięki temu możliwa jest zmiana ich temperatur poprzez sterowanie przepływającym przez nie prądem. W wyniku grzania oporowego grzałek wolframowych w sposób pośredni możliwe jest rozgrzanie sproszkowanej miedzi do temperatury topnienia.

Na fotografiach zglądów metalograficznych zauważono różnorodną wielkość ziarna i orientację osi wynikającą z parametrów procesu przetapiania miedzi. W przypadku powolnego ochładzania następował znaczny rozrost ziarna w porównaniu z próbami, w których warstwa chłodzona była z większymi szybkościami. Zauważono również możliwość zmiany kształtu z ziaren skoagulowanych do ziaren kolumnowych.

Opisana metoda może mieć potencjalne zastosowanie w sterowaniu parametrami procesu krystalizacji dowolnego materiału o temperaturze topnienia niższej od temperatury przetapianego materiału, w wyniku czego możliwe jest wytwarzanie różnic w uzyskiwaniu gradientów temperatur w miejscu gdzie warstwa przetopionego materiału kontaktuje się z atmosferą roboczą oraz w miejscu gdzie przetopiony materiał styka się bezpośrednio z podłożem. Odpowiednie sterowanie temperaturą dolnego i górnego układu grzałek może sprzyjać powstawaniu odpowiednich warunków do inicjacji zarodkowania i wzrostu zarodków w dowolnym miejscu warstwy.

Badania nad zwiększeniem zwilżalności podłoża dla przetopionej miedzi spowodowały jej lepsze, bardziej równomierne rozprowadzenie na podłożu i zmniejszenie jej skłonności do tworzenia warstwy o przekroju kropli. Najlepszym podłożem okazało się podłoże wykonane z tytanu, gdzie roztopiona miedź rozplynęła się po całej powierzchni, na której wytworzono warunki do przetopienia proszku miedzianego. W przypadku innych warstw należy przeprowadzić modyfikację surowca w celu zmniejszenia napięcia powierzchniowego pomiędzy warstwą a podłożem.

Dzięki opisanej metodzie możliwe jest przetopienie dowolnego surowca na podłożu, którego temperatura topnienia jest większa od temperatury topnienia topionego na nim materiału.

Zaproponowana metoda pośredniego grzania oporowego oraz modernizacja stanowiska do przetapiania miedzi na podłożu wyżej topliwym pozwoliły na uzyskanie podstaw do prowadzenia kolejnych badań nad otrzymywaniem nowoczesnych materiałów bimetalicznych.

Przedstawione wyniki prac nad przetapianiem miedzi metodą pośredniego grzania oporowego, rozwiązują problem uzyskania jednakowej temperatury na wydzielonej części podłoża wysoko

topliwego, na którym przetapiano miedź. Uzyskana dzięki temu struktura przetapianej miedzi w wydzielonej części podłoża jest taka sama. Zbadanie podłoży o temperaturze topnienia wyższej niż temperatura topnienia miedzi, pozwoliły na wyselekcjonowanie najlepszego pod względem zwilżalności podłoża. Sposób prowadzenia procesu krystalizacji pozwala na sterowanie wielkością i kształtem ziaren miedzi, a w konsekwencji jej właściwościami elektrycznymi, cieplnymi i wytrzymałościowymi.

Reasumując należy stwierdzić, że metoda pośredniego grzania oporowego może znaleźć zastosowanie przy wytwarzaniu taśmowych laminatów bimetalicznych techniką topienia warstwy niżej topliwiej co jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia.

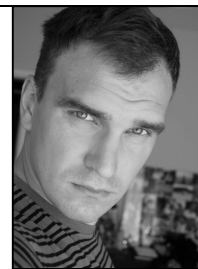
Literatura

- [1] Bydalek A.: Metalurgia miedzi i jej stopów. PWSZ, Głogów 2011.
- [2] Dobrzański L. A.: Materiały Inżynierskie. WNT 2006.
- [3] Ferenc K.: Spawalnictwo. WNT, Warszawa 2007.
- [4] Hannay N. B.: Chemia ciała stałego. PWN, Warszawa 1972.
- [5] Kula P.: Inżynieria warstwy wierzchniej. WPL, Monografie Łódź 2000.
- [6] Pacyna J.: Projektowanie składów chemicznych stali. Wyd. Wyd. Metalurgii i Inżynierii Materiałowej AGH, Kraków 1997.
- [7] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A.: Odlewnictwo. WNT, Warszawa 2000.
- [8] Stolarz S., Rutkowski W.: Wolfram i molibden. PWT, Warszawa 1961.
- [9] Żmija J.: Podstawy teorii zarodkowania i wzrostu kryształów. Wyższa Szkoła Inżynierii w Radomiu, Radom 1981.

Mgr inż. Jarosław Komorowski

e-mail: jarekkomorowski1@op.pl

Jarosław Komorowski ukończył studia magisterskie w 2009 roku na Wydziale Mechanicznym w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale Mechanicznym na Kierunku Inżynieria Materiałowa. W 2012 roku ukończył studia podyplomowe na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Obecnie prowadzi prace badawczo-naukowe nad nowatorską metodą rafinacji krzemu wykorzystującą zjawisko odwrócenia frontu krystalizacji. Jego prace zostaną wykorzystane do budowy nowoczesnych i opłacalnych z ekonomicznego punktu widzenia ogniw słonecznych.



Mgr inż. Marek Binienda

e-mail: marek.binienda@gmail.com

Mgr inż. Marek Binienda ukończył studia w 1986 roku w Instytucie Elektroniki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej. Obecnie kontynuuje studia doktoranckie na Wydziale Mechanicznym na Kierunku Inżynieria Materiałowa przygotowując rozprawę doktorską dotyczącą azotowania narzędzi skrawających o małych rozmiarach w plazmie wysokiej częstotliwości. Tematyka jego pracy obejmuje opracowanie technologii obróbki cieplno-chemicznej na bazie zaprojektowanego i samodzielnie wykonanego plazmotronu przeznaczonego do generacji wysokoenergetycznej plazmy w wyładowaniu pierścieniowym. Uzyskanie utwardzonej warstwy wierzchniej w bardzo krótkim czasie przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej udarności i elastyczności rdzenia podnosi walory zarówno użytkowe jak i ekonomiczne narzędzi skrawających.



Prof. dr hab. inż. Piotr Kula

e-mail: piotr.kula@p.lodz.pl

Prof. dr hab. inż. Piotr Kula jest profesorem Inżynierii Powierzchni na Politechnice Łódzkiej. Jest Dyrektorem Instytutu Inżynierii Materiałowej oraz Dyrektorem Zakładu Inżynierii Powierzchni. Profesor jest ekspertem w dziedzinie inżynierii materiałowej i trybologii, autorem i współautorem międzynarodowych patentów dotyczących obróbki cieplnej metali. Autor wielu publikacji. Profesor od września 2012 roku pełni funkcję Prrektora ds. Innowacji na Politechnice Łódzkiej



Mgr inż. Magdalena Pokrzywa
e-mail: magdalenapokrzywa@gmail.com



Mgr inż. Magdalena Pokrzywa ukończyła studia na Wydziale Paliw i Energii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w roku 2008 na kierunku Technologia Chemiczna w specjalności Technologia Paliw. Aktualnie jest studentką Studium Doktoranckiego „Inżynieria Materiałowa” na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w najnowsze, światowe trendy unowocześnienia wielkoseryjnej technologii hartowania części maszyn, pojazdów i narzędzi poprzez zastąpienie chłodzenia w nieprzyjaznych środowisku i obsłudze cieczach hartowniczych takich jak oleje, emulsje czy też roztwory solne chłodzeniem w gazach obojętnych dla wsadu stalowego takich jak azot, hel lub wodór. Zagadnienie wymiany ciepła pomiędzy wsadem a intensywnie i turbulently przepływającym gazem jest problemem wymagającym tworzenia modeli zjawisk i ich rozwiązywania nowoczesnymi narzędziami numerycznych technik obliczeniowych.

Mgr inż. Paweł Just
e-mail: pawel.just@gmail.com



Mgr inż. Paweł Just ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej w roku 2008 na kierunku Inżynieria Materiałowa w specjalności Inżynieria Powierzchni. Obecnie swoją działalność naukową koncentruje na wybranych zagadnieniach technologii odlewniczych, szczególnie w zakresie teoretycznych i eksperymentalnych podstaw procesu produkcji odlewów z wykorzystaniem jednorazowych modeli ze spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych oraz technologii sferoidyzacji przeprowadzanej w formie. Z tego obszaru tematycznego wyodrębniona została i sprecyzowana tematyka rozprawy doktorskiej: „Opracowanie teoretycznych i technologicznych podstaw otrzymywania odlewów z żeliwa sferoidalnego metodą Inmold w technologii pełnej formy”.

Dr inż. Emilia Wołowicz
e-mail: emilia.wolowicz@p.lodz.pl



dr inż. Emilia Wołowicz jest adiunktem pracującym na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Prowadzi badania w obszarze interdyscyplinarnym: technologii obróbek cieplno-chemicznych i metod sztucznej inteligencji. Absolwentka kierunku Informatyki na Wydziale Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Pracę doktorską obroniła w 2009r. w dyscyplinie inżynierii materiałowej.

Lek. stom. Aneta Praska – Jaros
e-mail: anep@wp.pl



Ukończyła studia w 1997 roku w Akademii Medycznej w Łodzi na kierunku Lekarskim w Oddziale Stomatologicznym. W 2008 roku rozpoczęła studia doktoranckie na Politechnice Łódzkiej, na Wydziale Mechanicznym, kierunku Inżynieria Materiałowa. Tematyka pracy doktorskiej obejmuje badania zwiększania wytrzymałości włókien poliamidowych z zachowaniem ich maksymalnej elastyczności celem zastosowania w protezycie stomatologicznej.

IMPREZY SPECJALISTYCZNE

XIV KONFERENCJA i III SZKOŁA „ŚWIATŁOWODY I ICH ZASTOSOWANIA TAL 2012”



Konferencja *Światłowody i ich zastosowania TAL2012* organizowana wspólnie przez Pracownię Technologii Światłowodów UMCS oraz Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych PL odbywała się dotychczas w Krasnobrodzie. W dniach 9-12 października 2012 roku po raz pierwszy odbyła się ona w Nałęczowie. Wydaje się, że zmiana miejsca przeprowadzenia konferencji nie zaszkodziła jej, o czym może świadczyć liczba uczestników - sięgająca 90 osób reprezentujących ośrodki naukowe, badawcze i technologiczne z całej Polski oraz z zagranicy.

Uroczystość otwarcia konferencji zaszczylicili swoją obecnością Rektor Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. inż. Piotr Kacejko oraz Dziekan Wydziału Chemii UMCS prof. dr hab. Władysław Janusz (fot. 1).

Sesje tematyczne tegorocznej konferencji podzielono w ten sposób, że dotyczyły one teorii i technologii światłowodów, zastosowań światłowodów oraz światłowodów planarnych. Uczestnicy mieli możliwość wysłuchania blisko 40 referatów plenarnych (fot. 2) oraz zapoznania się z ponad 20 prezentacjami posterowymi. Dużym zainteresowaniem cieszyły się zwłaszcza referaty zaproszone, gdyż ich tematyka obejmowała aspekty kluczowe dla współczesnej techniki światłowodowej. Były to wystąpienia:

- W. J. Bock: Fiber-Optics Sensors for Safety and Security Applications.
- T. Pustelny: Wysokoczułe systemy laserowe w badaniach grafenu.
- P. Mergo: Mikrostrukturalne światłowody polimerowe o wysokiej dwójłomności.
- G. Statkiewicz-Barabach, M. Szczurowski, D. Kowal, W. Urbańczyk, P. Mergo: Fabrication of long period gratings in polymer microstructured fiber using transverse pressing method.
- L. R. Jaroszewicz: Fantomy.
- M. Kujawińska, M. Dudek: Tomograficzne badania światłowodów i mikroelementów polimerowych na czołach światłowodów.
- P. Kisała: Metoda jednoczesnego pomiaru siły zginającej i temperatury czujnikami z jednorodnymi siatkami Bragga.

Na uwagę zasługuje fakt, że znaczną część uczestników stanowili doktoranci, dla których konferencja była okazją do zdobycia pierwszych doświadczeń w prezentacji wyników swoich badań.

Kolejna konferencja z cyklu ma zostać przygotowana przez Politechnikę Białostocką na początku 2014 roku.



Fot. 1. Otwarcie konferencji (od lewej: prof. W. Janusz, prof. P. Kacejko, prof. W. Woliński, prof. W. Wójcik, dr W. Podkościelny)



Fot. 2. Sesja plenarna konferencji TAL2012