

Badanie wpływu miedzi na zmianę współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej spieku W-Cu

Do zmiany własności elektrycznych, przewodnictwa cieplnego oraz współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej materiału stosuje się w przemyśle elektrotechnicznym i elektronicznym dodatek miedzi do wolframu. Spieki W-Cu znajdują zastosowanie, m. in. w elektrotechnice /jako materiały stykowe/, a także w elektronice /jako płytki kompensacyjne w krzemowych diodach mocy i tyrystorach, zapewniające określony gradient współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej/ [3].

Znane są różne metody dodawania miedzi do tego metalu, a wśród nich :

- 1/ nasycanie szkieletu wolframowego miedzią,
- 2/ dosycanie spieku W-Cu miedzią,
- 3/ spiekanie mieszaniny proszków wolframu i miedzi w ostatecznym składzie chemicznym.

W każdej z wymienionych metod liczne otwarte pory szkieletu wolframowego są w temperaturze powyżej 1370 K wypełnione płynną miedzią. Miedź nie rozpuszcza się w wolframie, ani nie tworzy z nim związków międzymetalicznych, jednakże ze względu na dobrą zwilżalność w szerokim zakresie temperatur istnieje duża powierzchnia styku pomiędzy cząstkami wolframu i miedzi. Po skrzepnięciu miedzi tworzy się przeto pseudostop o własnościach różniących się od własności poszczególnych składników.

B. Jermołajew [4] podaje, że miedź podczas stygnięcia od temperatury jej krzepnięcia zmniejsza swą objętość bardziej niż wolfram i stara się oderwać od cząstek wolframu, czemu przeciwdziałają siły adhezji. Jednocześnie szkielet wolframowy zmniejsza swe wymiary i poddawany jest odkształceniom ściskającym, mającym charakter sprężysty, które są zauważalne w zakresie temperatur 1070-970 K. Twierdzi on dalej, że w momencie nagrzewania pseudostopu W-Cu decydujący wpływ na zmianę współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej ma zwiększanie się objętości wolframu. W przypadku, kiedy szkielet wolframowy posiada równomiernie rozłożone pory, wypełnione prawie całkowicie miedzią, jest decydujący przyrost wielkości samego szkieletu. Stykające się z wolframem wtrącenia miedzi zawsze doznają odkształceń plastycznych, które praktycznie nie wpływają na różnicę porowatości szkieletu.

W. Rabkin i R. Kozłowa zaobserwowali [5], że w wysokich temperaturach współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej jest znacznie większy w pseudostopach bo-

gaty w fazę "miękką" (Cu) niż w pseudostopach bogatych w fazę trudno topliwą (W). Wyjaśniają to małą wytrzymałością miękkiej fazy na odkształcenie plastyczne i wpływem szkieletu fazy trudno topliwiej.

Autor niniejszej pracy jest skłonny zgodzić się ze stwierdzeniem W. Rabkina i R. Kozłowej, natomiast wnioski B. Jermołajewa wydają mu się słuszne tylko w przypadku, kiedy zawartość miedzi w pseudostopie W-Cu jest tak mała, że znajduje się ona w postaci małych wtrąceń otoczonych ze wszystkich stron mostkami wolframowymi. Przy większej zawartości miedzi, kiedy tworzy ona jakgdyby siatkę miedzianą, wewnątrz której znajdują się cząstki wolframu, obecność jej powinna wpływać na zmianę liniowej rozszerzalności cieplnej całego pseudostopu.

Na potwierdzenie tego wykonano wiele badań zmiany współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej pseudostopu W-Cu o różnej zawartości miedzi, których wyniki zostaną przedstawione w niniejszym opracowaniu.

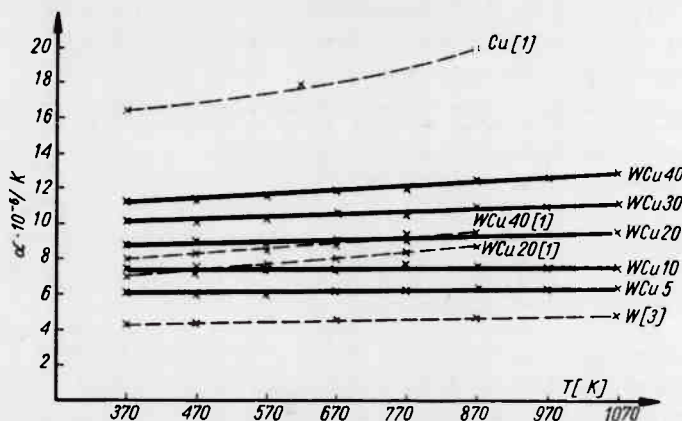
W tym celu, z mieszaniny proszków wolframu i miedzi sprasowano próbki o zawartości miedzi 5%, 10%, 20%, 30% i 40% wag. Wypraski te poddano spiekaniu w atmosferze czystego i suchego wodoru w temperaturze około 1770 K przez 90 minut. Temperaturę procesu określano za pomocą temperatury W-WRe30 umieszczonej w odległości około 2 mm od spiekanej próbki.

Otrzymane spieki poddano badaniom współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej w dylatometrze "Chevenarda" w próżni rzędu $1 \cdot 10^{-5}$ Tr w zakresie temperatur 290-1070 K.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej spieku W-Cu od zakresu temperatury, w której ten współczynnik był określony oraz, dla porównania, wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej czystego wolframu /B. Jermołajewa [4] / i czystej miedzi oraz pseudostopu WCu20 i WCu40 /wg danych F. Hensela i współpracowników [1] /.

Na rysunku 2 jest pokazana zależność wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej od składu chemicznego, przy czym krzywe sporządzono według danych pomiarowych otrzymanych w zakresie temperatur 290-870 K. Krzywa A została wykreślona na podstawie danych doświadczalnych F. Hensela i współpracowników [1], krzywa B - według własnych badań do zakresu 40% wag. Cu /linia przerywana jest linią hipotetyczną/, krzywa C - zgodnie z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi przez F. Hensela i współpracowników.

Jak widać z krzywych na rys. 1 w miarę wzrostu zakresu temperatury badania współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej jego wartość nieznacznie się zwiększa. Bardziej istotny wpływ na zmianę wartości tego współczynnika ma skład chemiczny, co wyraźnie widać zarówno na rys. 1 i rys. 2. Na rysunku 1 przedstawiono porównanie wyników badań pseudostopu W-Cu o różnej zawartości poszczególnych składników. Widać również różnicę w wartościach współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej otrzymanych przez autora niniejszej pracy i F. Hensela [1] dla materiału o składzie chemicznym WCu20 i WCu40. Wartości otrzymane przez autora są o około 35% wyższe, niż otrzymane przez F. Hensela. Znajduje to również potwierdzenie na rys.2, przy czym wyniki otrzymane przez autora są bardziej zbliżone wartościowo do danych wyliczonych teoretycznie przez F. Hensela, niż jego własne wyniki doświadczalne. Różnice te mogą być spowodowane stopniem spieczenia badanego materiału.

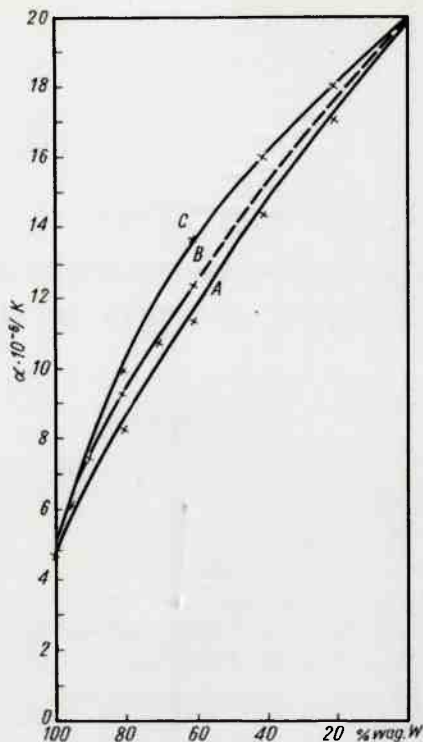


Rys. 1. Zależność wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej od temperatury

Próbki badane przez autora miały stosunkowo wysoki stopień spieczenia wynoszący około 93% gęstości teoretycznej. F. Hensel w swojej pracy [1] nie podał gęstości własnych próbek. Obliczenia swoje wykonywał na podstawie gęstości teoretycznej materiału /rys. 2 krzywa C/, podczas gdy osiągnięcie takich gęstości spieków jest praktycznie niemożliwe. Istnieje zawsze pewna ilość porów, które wpływają na wartość współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej. Znajdująca się w spieku miedź pod wpływem wzrostu temperatury stara się zwiększyć swoją objętość. Przeszkadzają temu cząstki wolframu, których współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej ma wartość znacznie mniejszą niż miedzi. Powstają duże naprężenia w całej objętości materiału; jeśli przewyższają one wytrzymałość na odkształcenie sprężyste wolframu, wtedy zaznacza się wyraźny wpływ miedzi na zmianę tego współczynnika. W przypadku ciała porowatego naprężenia te mogą spowodować jak gdyby chwilowe włoczenie części miedzi w istniejące pory. Jeśli to nastąpi naprężenia w całym spieku są mniejsze, a zatem i wpływ miedzi na rozszerzalność cieplną jest mniejszy.

Jeżeli rozpatrywać wyłącznie wpływ zawartości miedzi w spieku W-Cu na zmianę wartości omawianego współczynnika, to z rys. 2 wynika, że w miarę wzrostu zawartości miedzi rośnie jego wartość w przybliżeniu liniowo, ale o dużym kącie nachylenia. Dodatek miedzi w ilości 5% wag. nieznacznie zwiększa wartość współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej pseudostopu W-Cu w stosunku do "czystego" wolframu. Natomiast zwiększona zawartość miedzi, przykładowo 20% wag., podwyższa wartość tego współczynnika około dwukrotnie w porównaniu z jego wartością dla wolframu.

Potwierdza to wniosek postawiony przez autora na początku: w przypadku, kiedy zawartość miedzi w pseudostopie W-Cu jest no tyle mała, że miedź znajduje się w postaci małych wtrąceń wewnątrz szkieletu wolframowego, o wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej materiału decyduje przyrost wielkości samego szkieletu wolframowego.



Rys. 2. Zależność wartości współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej od składu chemicznego w zakresie temperatur od 290 K do 870 K
 A - dane doświadczalne wg [1], B - badania własne do 40% wag. Cu, C - dane teoretyczne wg [1]

W miarę wzrostu zawartości i w pseudostopie W-Cu miedź zaczyna tworzyć jak gdyby siatkę miedzianą, której rozszerzalność cieplna wpływa coraz bardziej na ogólną wartość omawianego współczynnika dla całego układu.

Istotny wpływ na wartość powyższego współczynnika ma prawdopodobnie również stopień spiekania materiału, tzn. ilość i wielkość porów.

Literatura

1. Hensel F. R., Larsen E. I., Swazy E. F.: Tungsten-Cooper for electrical contacts. Metals and Alloys. May 1941
2. Kingery W. D.: Note on thermal expansion and microstresses in two-phase Compositions. J. Amer. Soc. 40, 1957
3. Lejbrandt M.: Opracowanie wielowarstwowych podkładek kompensacyjnych z materiałów spiekanych, etap I, Sprawozdanie ONPMP nr 365
4. Jermolaev B. I., Termičeskoje rossiienie pseudosplova wolfram-med s soderżaniem medi do 25-30% obemnych procentov. Poroskovaja Metallurgija 3, 45, 1971
5. Rabkin V. B., Kozlova R. F.: Teplovoe rossiienie molibdeno-mednych pseudosplovov. Poroskovaja Metallurgija 3, 64 1968