

OSOBINE DISPERZNO OJAČANOG BAKRA DOBIJENOG INTERNOM OKSIDACIJOM 1 MAS. % AL

Višeslava Rajković, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za materijale, p. p. 522, 11001 Beograd
Ljubomir Vuličević, Aleksa Maričić, Tehnički fakultet, 32000 Čačak

Sadržaj – Predlegirani prah Cu sa 1mas.%Al mleven je 5h u planetarnom mlinu u cilju oksidacije aluminijuma kiseonikom iz vazduha *in situ* i njegovog izdvajanja u obliku fino dispergovanih čestica Al_2O_3 . Posle redukcije ($400^{\circ}C/1h$, H_2), mleveni prah je kompaktiran toplim presovanjem ($800^{\circ}C/3h$, Ar, 34MPa). Ispitani su efekti ojačavanja i električne osobine. Rezultati pokazuju da je dobijen disperzno ojačan bakar visoke čvrstoće (220HV) i dobre električne provodnosti (79IACS). Posle izlaganja visokoj temperaturi disperzno ojačan bakar u dobroj meri zadržava svoju tvrdoću.

1. UVOD

Disperzno ojačan bakar dobijen metalurgijom praha odlikuje se visokom čvrstoćom i dobrom električnom i toplotnom provodnošću, kako na sobnim, tako i na visokim temperaturama. Zbog svojih osobina koristi se kao zamena za mnoge klasične materijale i dobija sve širu primenu u elektronici, elektrotehnici i nuklearnoj tehnici. Osobine disperzno ojačanog bakra su posledica prisustva fino dispergovanih čestica Al_2O_3 u osnovi bakra. Fina disperzija čestica Al_2O_3 u osnovi bakra može da se postigne postupcima mehaničkog legiranja i unutrašnje oksidacije. [1,2]. Pri postupcima unutrašnje oksidacije, fino dispergovane čestice Al_2O_3 stvaraju se u osnovi bakra oksidacijom aluminijuma *in situ* [2]. Ipitivanja su pokazala da se potpuna unutrašnja oksidacija aluminijuma može izvršiti kiseonikom iz vazduha pri mlevenju predlegiranih prahova bakra u visokoenergetskom mlinu [3,4,5]. Disperzno ojačan bakar dobijen na ovaj način odlikuje se visokom čvrstoćom i dobrom termičkom stabilnošću. Cilj ispitivanja izvršenih u ovom radu je bio da se utvrde efekti ojačavanja, termička stabilnost kao i električna provodnost disperzno ojačanog bakra dobijenog unutrašnjom oksidacijom 1mas.%Al kiseonikom iz vazduha pri mlevenju predlegiranog praha bakra u visokoenergetskom mlinu.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Predlegirani prah Cu sa 1mas.%Al dobijen gasnom atomizacijom mleven je 5h na vazduhu. Mlevenje je vršeno u planetarnom mlinu sa čeličnim kuglama prečnika 4,8mm. Težinski odnos praha i čeličnih kugli iznosio je 1:35. Prah je zatim redukovan na $400^{\circ}C/1h$ u atmosferi H_2 . Kompaktiranje praha je izvršeno toplim presovanjem ($800^{\circ}C/3h$, Ar, 34MPa). Da bi se odredila termička stabilnost kompakti su termički tretirani na $800^{\circ}C$ 1 i 5 h u atmosferi Ar. Na toplo presovanom kompaktu ispitane su mikrotvrdoća, struktura, električna provodnost i gustina. Mikrotvrdoća je izmerena pod opterećenjem od 50gr. Električna provodnost kompakta

(%IACS, IACS na $20^{\circ}C = 0,5800\text{microhm}^{-1}\text{cm}^{-1}$) je određena aparatom SIGMATEST firme Siemens. Gustina kompakta određena je Arhimedovom metodom. Teorijska gustina kompakata je izračunata na osnovu prostog pravila smeše [6] pri čemu su korišćene vrednosti $8,96\text{g/cm}^3$ i $3,95\text{g/cm}^3$ kao potpune gustine za bakar i Al_2O_3 respektivno. Pri izračunavanju teorijske gustine kompakta predlegiranog praha pošlo se od činjenice da je pri mlevenju praha došlo do potpune oksidacije aluminijuma.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati prikazani u tabeli 1 pokazuju da se disperzno ojačan bakar dobijen unutrašnjom oksidacijom 1mas.%Al kiseonikom iz vazduha posle 5h mlevenja kompaktiran toplim presovanjem odlikuje visokom tvrdoćom i dobrom termičkom stabilnosti. Mikrotvrdoća kompakta na sobnoj temperaturi je 3 puta veća u odnosu na mikrotvrdoću elektrolitičkog bakra kompaktiranog pod istim uslovima (65HV). Posle izlaganja na $800^{\circ}C/5h$ mikrotvrdoća kompakta je 2 puta veća od mikrotvrdoće elektrolitičkog bakra kompaktiranog pod istim uslovima. Postignute osobine su posledica fino dispergovanih čestica Al_2O_3 koje predstavljaju snažnu prepreku za kretanje dislokacija i procese rekristalizacije i rasta zrna.

Tabela 1 Mikrotvrdoća kompakta disperzno ojačanog bakra pre i posle izlaganja visokoj temperaturi

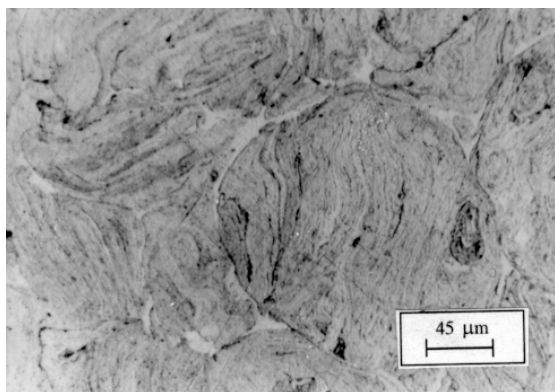
Temperatura/ Vreme	$25^{\circ}C$	$800^{\circ}C/1h$	$800^{\circ}C/5h$
Mikrotvrdoća	220HV	175HV	135

Na sl.1 predstavljene su strukture kompakta disperzno ojačanog bakra pre (a) i posle (b) izlaganja visokoj temperaturi. Iz slike se vidi da kompakti, kako posle toplog presovanja tako i posle izlaganja visokoj temperaturi, zadržavaju lamelarnu strukturu. Lamele predstavljaju deformisane čestice polaznog praha i karakteristika su strukture prahova tretiranih u visokoenergetskom mlinu (7).

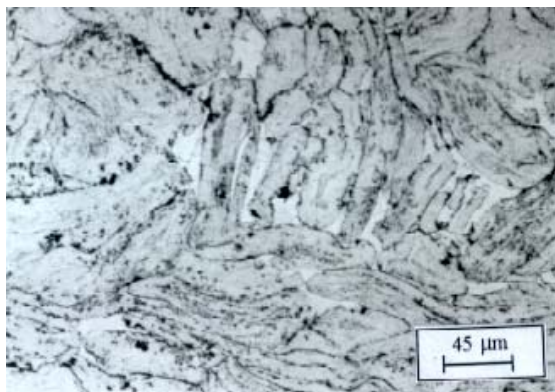
Električna provodnost disperzno ojačanog bakra iznosila je 79%IACS. Pošto se od visokotemperaturnih legura na osnovi bakra zahteva da imaju provodnost veću od 50%IACS [8] dobijena vrednost je sasvim prihvatljiva.

Izmerena gustina kompakta ($8,46\text{g/cm}^3$) u odnosu na teorijsku ($8,75\text{g/cm}^3$) iznosila je 96,7% što ukazuje da pri toplom presovanju nije izvršena potpuna denzifikacija. Ovo može biti posledica ojačane osnove bakra česticama Al_2O_3 i stvaranja dislokacija u njihovoj okolini. Toplo presovanje verovatno nije najpogodniji postupak kompaktiranja pošto gustina kompakata dobijenih toplim izvlačenjem disperzno

ojačanih čestica praha bakra npr. iznosi 99,3% u odnosu na teorijsku vrednost [9].



(a)



(b)

Sl.1 Struktura kompakta disperzno ojačanog bakra pre (a) i posle (b) izlaganja na 800°C, 5 h

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

1. Unutrašnjom oksidacijom aluminijuma kiseonikom iz vazduha pri mlevenju predlegiranog praha Cu sa 1mas.%Al u visokoenergetskom mlinu dobija se disperzno ojačan bakar visoke čvrstoće i dobre termičke stabilnosti i električne provodnosti.
2. Mikrotvrdoća kompakata predlegiranog praha bakra mlevenog 5h (220HV) je 3 puta veća od mikrotvrdoće elektrolitičkog praha bakra kompaktiranog pod istim uslovima
3. Mikrotvrdoća kompakata posle izlaganja na 800°C/5h je 2 puta veća od mikrotvrdoće elektrolitičkog praha bakra kompaktiranog pod istim uslovima.
4. Električna provodnost kompakata iznosila je 79%IACS.

LITERATURA

- [1] R.S. Benn and P.K. Mirchandani, "Dispersion Strengthening by Mechanical Alloying", in Proc. *New Materials by Mechanical Techniques*, 1989, pp. 19-38.
- [2] M.L.Mehta, T.K.A. Ghudbban, M.S.B.Eltalhi, N.E.A. Elraby, "Mechanically Alloyed Alumina Dispersion

Strengthened Copper", *Powder Metallurgy International*, vol.22, No.4, pp.15-18, 1990.

- [3] V. Rajković, N. Ilic, M. Mitkov, "The Copper Matrix Strengthening by Internal Oxidation of Al-Prealloyed Powders", in Proc. *PM98 World Congress, 1998*, pp.103-117.
- [4] V.M.Rajković, M.V. Mitkov, "Dispersion hardened Cu-Al₂O₃ produced by high energy milling" *The International Journal of Powder Metallurgy*, vol.36, No.8, pp.45-49, 2000.
- [5] V. Rajković, E. Romhanji, M. Mitkov, "Characterization of high-energy ball milled copper powder containing 2.5wt.%Al", *Journal of Material Science Letters*, vol. 21, pp.169-173, 2002.
- [6] R.M. German, *Powder Metallurgy Science*, Princeton, Metal Powder Industries Federation, 1994.
- [7] J.S. Benjamin, "Dispersion Strengthened Superalloys by mechanical", *Alloying*, Metallurgical Transaction, vol.1, pp.2943-2951, 1970.
- [8] N.J. Grant, A. Lee, M. Lou, "Multiple hardening mechanisms for high strength, high temperature, high conductivity Copper base alloys", in Proc. *High Conductivity Copper and Aluminium Alloys*, 1984. pp.103-116.
- [9] O. Preston. N. Grant, "Dispersion strengthening of Copper by Internal Oxidation", *Transaction of The Metallurgical Society of AIME*, vol.221, pp.161-173, 1961.

ZAHVALNOST

Autori izražavaju zahvalnost Ministarstvu za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije za finansiranje istraživanja čiji je deo rezultata iznet u okviru ovog rada.

Abstract - Prealloyed copper powder containing 1wt.%Al was milled in planetary ball mill to form alumina particles *in situ* by internal oxidation in air as oxygen source. After reduction (400°C/1h, H₂), milled powder is compacted by hot pressing (800°C/3h, Ar, 34MPa). The examination show that the obtained dispersion strengthened copper possess a good combinations of high strength (220HV) and good electrical conductivity (79% IACS). It was found that dispersion strengthened copper has preserved much of the microhardness after exposition to high temperature.

PROPERTIES OF DISPERSION STRENGTHENED COPPER MADE BY INTERNAL OXIDATION OF PREALLOYED COPPER POWDER CONTAINING 1WT.%AL

Višeslava Rajković, Ljubomir Vuličević, Aleksa Maričić