

## REZUMAT

Scopul cercetărilor propuse în cadrul tezei de doctorat a vizat pe de o parte elaborarea unor materiale nanocompozite cu matrice din nanopulberi de W caracterizate printr-o omogenitate ridicată destinate fabricării pastilelor contactelor electrice pentru curenți de mare putere, iar pe de altă parte a urmărit elaborarea unor tehnologii optimizate de fabricare a materialelor și a contactelor electrice prin procedee specifice metalurgiei pulberilor.

Obiectivele urmărite au fost:

- elaborarea și caracterizarea unor pulberi nanometrice de W prin măcinarea pulberii micronice de W în moară planetară de mare energie;
- elaborarea prin aliere mecanică și caracterizarea unor materiale compozite nanostructurate W-Cu sub formă de pulberi nanometrice;
- studiul parametrilor de aliere mecanică în moară planetară a nanopulberilor de W și a pulberilor micronice de Cu utilizând două regimuri de lucru ale morii și anume: „friction mode” și „shock mode”;
- adoptarea unui nou proces de sinterizare și anume sinterizarea în doi pași pentru elaborarea contactelor electrice nanostructurate din W-Cu;
- caracterizarea structurală a contactelor electrice nanostructurate;
- caracterizarea contactelor nanostructurate din punct de vedere al parametrilor electrici;
- caracterizarea contactelor nanostructurate din punct de vedere al proprietăților tribologice;
- studiul interdependenței dintre structura nanometrică și proprietățile funcționale ale contactelor nanostructurate

Pentru atingerea acestor obiective au fost analizate 3 sorturi de materiale din sistemul W-Cu cu diferite concentrații și anume: 85W-15Cu, 80W-20Cu, 75W-25Cu.

Pentru început au fost elaborate nanopulberile de W prin măcinare mecanică utilizând o vario moară planetară Pulverisette 4 marca Fritsch urmând ca acestea să fie aliate mecanic cu pulberea micronică de Cu.

Alierea mecanică s-a realizat în două moduri: modul prin lovire și modul prin frecare.

Atât pentru măcinare cât și pentru alierea mecanică au fost stabiliți parametrii de lucru ai morii, presiunea și temperatura din interiorul incintei de măcinare fiind monitorizate pe tot parcursul perioadei de lucru, cu ajutorul unui sistem GTM marca Fritsch.

Nanopulberile de W obținute după măcinare respectiv pulberile nanocompozite W-Cu au fost analizate prin microscopie electronică SEM, analiză EDAX (ENERGY DISPERSIVE X-RAY ANALYSIS) și distribuție granulometrică ajungându-se la următoarele concluzii:

- La elaborarea nanopulberilor de W pentru experimentări, se constată că după 10 ore de măcinare pulberea este nanometrică având maximul de granule în intervalul granulometric [121.6; 150.2] nm. Divizarea fină a granulelor de pulbere de W continuă în intervalul de măcinare [10-20] ore, iar după 20 de ore de măcinare fracția maximă de particule se situează în intervalul granulometric [73.2; 88.3] nm

- La alierea mecanică în moară planetară cele mai bune rezultate din punctul de vedere al divizării fine a particulelor de nanopulberi compozite se obțin în cazul AM prin frecare comparativ cu AM prin lovire.

- Cele mai mici granulații se obțin pentru amestecul 80W-20Cu aliat mecanic prin frecare timp de 8 ore;

- Din analizele SEM se poate observa o aglomerare a particulelor, în special la timpuri mari de AM, fapt ce arată că dimensiunea particulelor este foarte fină. Analizând micrografiile SEM ale amestecurilor omogene se observă că dimensiunea particulelor de Cu este mai mare decât cea a particulelor de W;

- Forma granulelor de nanopulberi compozite pentru toate cele 3 amestecuri obținute după 8 ore de AM prin frecare respectiv lovire este neregulată;

În capitolul al III-lea s-a studiat influența parametrilor de compactizare și sinterizare din procesul tehnologic de elaborare a contactelor electrice din pulberile nanocompozite obținute prin aliere mecanică asupra densității, a contracțiilor volumice la sinterizare, respectiv a porozității și structurii microscopice a contactelor electrice.

S-a studiat influența următorilor parametrii:

- timp de aliere mecanică;
- mod de aliere mecanică (frecare sau lovire);
- conținut de Cu;
- variantă de sinterizare (clasică și în doi pași);
- timp de menținere de 2h, respectiv 8h la temperatura de sinterizare în doi pași (1080 °C.);

asupra proprietăților contactelor electrice sinterizate.

Pe baza datelor experimentale se pot trage următoarele concluzii:

- Densitățile la crud ale probelor din pulberi nanometrice obținute prin procedeul de AM frecare sunt superioare celor corespunzătoare probelor din nanopulberi elaborate prin procedeul de AM lovire;
- Din punctul de vedere al compoziției chimice a granulelor de nanopulberi compozite, valori mai mici ale densităților la crud se obțin în cazul probelor cu 25% Cu după 6 respectiv 8 ore de aliere mecanică.
- Densitatea probelor sinterizate în doi pași depinde de timpul de menținere la temperatura de sinterizare.  
Astfel, densitățile probelor sinterizate cu menținere de 2 ore la temperatura de sinterizare 1080 °C se înscriu în limitele [9-10] g/cm<sup>3</sup> în timp ce densitățile aceluiași probe dar menținute timp de 8 ore la temperatura de sinterizare de 1080 °C se înscriu în limitele [12-15] g/cm<sup>3</sup>.
- Densitățile probelor la care s-a aplicat sinterizarea clasică se înscriu în intervalul [12-13] g/cm<sup>3</sup>;
- La sinterizarea în doi pași cu timpul de menținere la temperatura de sinterizare (1080 °C) de 8 ore cele mai bune valori ale densității se obțin pentru probele din nanopulberi elaborate prin AM timp de 6 și 8 ore prin procedeul frecare [14-15] g/cm<sup>3</sup>;

În capitolul al IV-lea contactele electrice obținute din pulberi nanocompozite au fost caracterizate din punct de vedere al proprietăților electrice și mecanice, rezultând următoarele concluzii:

- Cele mai uniforme valori pentru parametrii electrice se obțin în cazul aliajelor W-Cu elaborate din nanopulberi compozite obținute prin alierea mecanică cu frecare;
- Valorile optime (ținând seama de faptul că un contact electric trebuie să răspundă unor cerințe contrare cum sunt rezistență electrică ridicată combinată cu o conductivitate electrică ridicată) ale proprietăților electrice le au aliajele W-Cu elaborate din nanopulberi compozite obținute prin aliere mecanică cu frecare;
- Valorile cele mai ridicate ale conductivității electrice le au aliajele W-Cu elaborate prin sinterizare clasică: 4.37 [ $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ] în cazul aliajelor 85W-15Cu; 5.29 [ $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ] în cazul aliajelor 80W-20Cu și [7.47  $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ] în cazul aliajelor 75W-25Cu;

- Sinterizarea în doi pași la 1080 °C cu menținere timp de 8 ore la temperatura de sinterizare favorizează creșterea rezistenței electrice a aliajelor W-Cu: 850 [ $\mu\Omega$ ] în cazul aliajelor 85W-15Cu, 1030 [ $\mu\Omega$ ] în cazul aliajelor 80W -20Cu și 620 [ $\mu\Omega$ ] în cazul aliajelor 75W-25Cu;
- Din punctul de vedere al optimului dintre rezistența, rezistivitatea și conductivitatea electrică, cele mai bune valori le înregistrează aliajul 75W-25Cu elaborat din nanopulberi compozite nanostructurate obținute prin aliere mecanică cu frecare, sinterizate în doi pași cu menținere 8 ore la temperatura de sinterizare 1080 °C: 430 [ $\mu\Omega$ ], 215.31 [ $\Omega\cdot m\cdot 10^{-3}$ ] respectiv 4.64 [ $\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$ ].
- Modul de elaborare a nanopulberilor W-Cu (frecare sau lovire) respectiv procedeul de sinterizare nu influențează semnificativ valorile coeficienților de frecare respectiv uzura aliajelor W-Cu;
- Cea mai bună valoare pentru coeficientul de frecare 0.116 coroborat cu uzura probei 0,428 [ $mm^3/N/m$ ]\* $10^{-2}$  se înregistrează pentru aliajul 75W-25Cu elaborat din nanopulberi compozite aliate mecanic prin lovire și sinterizat în doi pași cu menținere 8 ore la temperatura de sinterizare;
- Se constată că aliajul 75W-25Cu sinterizat în doi pași cu menținere 8 ore la temperatura de sinterizare are caracteristicile electrice și tribologice optime.

Din cercetarea bibliografică principalele contribuții originale ale autorului lucrării de doctorat sunt următoarele:

1. elaborarea și caracterizarea unor pulberi nanometrice de W prin măcinarea pulberii micronice de W în moară planetară de mare energie;
2. elaborarea prin aliere mecanică și caracterizarea unor materiale compozite nanostructurate W-Cu sub formă de pulberi nanometrice;
3. studiul parametrilor de aliere mecanică în moară planetară a nanopulberilor de W și a pulberilor micronice de Cu utilizând două regimuri de lucru ale morii și anume: „friction mode” și „shock mode”;
4. adoptarea unui nou proces de sinterizare și anume sinterizarea în doi pași pentru elaborarea contactelor electrice nanostructurate din W-Cu;
5. caracterizarea structurală a contactelor electrice nanostructurate;
6. caracterizarea contactelor nanostructurate din punct de vedere al parametrilor electrici;
7. caracterizarea contactelor nanostructurate din punct de vedere al proprietăților tribologice;

8. studiul interdependenței dintre structura nanometrică și proprietățile funcționale ale contactelor nanostructurate;
9. Identificarea materialului cu caracteristici electrice și tribologice optime și anume cel cu compoziția 75W-25Cu;
10. Stabilirea procedurii optime de elaborare a nanopulberilor compozite nanostructurate W-Cu și anume alierea mecanică timp de 8 ore prin metoda frecare;
11. Stabilirea tehnologiei optime de sinterizare a compozitelor nanostructurate și anume sinterizarea în doi pași cu menținere timp de 8 ore la temperatura de sinterizare 1080 °C.