



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2018 00472**

(22) Data de depozit: **27/06/2018**

(41) Data publicării cererii:
30/12/2019 BOPI nr. **12/2019**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE-CA,
SPLAIUL UNIRII NR.313, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **LUNGU MAGDALENA VALENTINA,
BD. IULIU MANIU NR. 65, BL. 7P, SC. 7,
ET. 2, AP. 211, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B,
RO;**
• **ENESCU ELENA, DRUMUL TABEREI
NR.64, BL.F 4, SC.5, AP.80, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **GODEANU PETRIȘOR,
STR.MIHAIL SEBASTIAN, NR.137, BL.V79,
SC.2, AP.42, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;**
• **MELNIC CONSTANTIN, STR.TUTUNARI,
NR.26, BL.76 ABC, SC. C, AP.143,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **PĂTROI DELIA, STR.VATRA DORNEI
NR.11, BL.18 B+C, SC.2, ET.1, AP.49,
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **LUCACI MARIANA, BD.DINICU GOLESCU
NR.39, BL.5, SC.2, ET.5, AP.54, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MARIN MIHAI, STR.ZBOINA NEAGRĂ,
NR.9, BL.117, SC.1, ET.3, AP.19,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **BRĂTULESCU ALEXANDRA,
STR.BECAȚEI NR.29, BL.VN 9, SC.A, ET.5,
AP.23, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **MATERIALE COMPOZITE DIN WOLFRAM-CUPRU-NICHEL
ȘI PROCEDEU DE OBȚINERE A ACESTORA PENTRU
REALIZAREA DE CONTACTE ELECTRICE DE ARC
UTILIZATE ÎN APARATE DE COMUTAȚIE DE MEDIE
ȘI ÎNALTĂ TENSIUNE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la materiale compozite din W-Cu-Ni și la un procedeu de obținere a acestora, materialele fiind folosite pentru realizarea contactelor electrice cu arc care intră în componența aparatelor de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆. Materialele compozite conform invenției au în componență următoarele elemente exprimate în procente în greutate: 73...77% W, maxim 2% Ni și restul Cu. Procedeu conform invenției se realizează prin presarea de compacte poroase din pulberi de W-Ni amestecate intim și granulate cu parafină și eter de petrol, presarea de compacte din pulbere de Cu, sinterizarea și infiltrarea în atmosferă

protectoare a compactelor din W-Ni cu topitură de Cu, obținându-se semifabricate cilindrice sinterizate, cudiometrul cuprins între 20...70 mm și înălțimea de 5...20 mm, având densitatea de minim 14,3 g/cm³ și durezza Vickers HV2/15 de minim 252, care se prelucrează mecanic pentru realizarea contactelor electrice de arc de tip inele și vârfuri de contact, care, în funcționare, prezintă valori ale rezistenței de contact statice și ale rezistenței de contact dinamice de maxim 0,3 mOhm și ale timpului până la atingerea valorii rezistenței de contact statice de maxim 5 ms.

Revendicări: 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. ... a 2018 00 472
Data depozit ... 27-06-2018

//

**MATERIALE COMPOZITE DIN WOLFRAM-CUPRU-NICHEL
ȘI PROCEDEU DE OBTINERE A ACESTORA PENTRU REALIZAREA DE
CONTACTE ELECTRICE DE ARC UTILIZATE ÎN APARATE
DE COMUTAȚIE DE MEDIE ȘI ÎNALTĂ TENSIUNE**

Invenția se referă la materiale compozite din wolfram-cupru-nichel (W-Cu-Ni) și procedeu de obținere a acestora pentru realizarea de contacte electrice de arc, cu formă complexă, de tip inele de protecție și vârfuri de contact utilizate în aparate de comutație (întreruptoare) de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆ (hexafluorură de sulf).

Materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, conform invenției, se obțin prin tehnici ale metalurgiei pulberilor din amestecuri de pulberi compozite din W-Ni care se granulează folosind ca liant parafină și ca lubrifianț eter de petrol, se presează sub formă de semifabricate (schelete) poroase cilindrice cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, care se sinterizează și infiltrează cu topitură de Cu, apoi se prelucreează mecanic pentru obținerea de contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție și vârfuri de contact destinate echipării unor întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆.

Materialele compozite sinterizate pe bază de W-Cu pentru contacte electrice de arc care se utilizează în întreruptoare de medie și înaltă tensiune cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆ trebuie să prezinte proprietăți fizico-mecanice și funcționale performante, deoarece sunt supuse la solicitări termice și mecanice extreme atât în timpul funcționării, cât și la ruperea curenților de scurt-circuit. Uzura mecanică și electrică a contactelor electrice afectează adesea performanța și durata de viață a aparatelor de comutație pe care acestea le echipează [1], [2].

Se cunoaște faptul că materialele compozite pe bază de W-Cu pentru contacte electrice se obțin prin tehnici ale metalurgiei pulberilor, deoarece W și Cu prezintă atât diferențe considerabile ale proprietăților fizice (temperatura de topire a W este de 3410°C, iar cea a Cu de 1083°C, densitatea W la 20°C este de 19,32 g/cm³, iar cea a Cu de 8,95 g/cm³), cât și insolubilitate reciprocă sau solubilitate negliabilă (<10⁻³ % atomice) și udabilitate scăzută a particulelor de W de către Cu [3], [4]. Materialele compozite pe bază de W-Cu pot conține unul sau mai multe elemente de

adaos in cantitați mai mici decât 1 % (uzual) sau 3 % (câteodată) pentru activarea sinterizării, care se aleg de regulă din clasa elementelor de tranziție (Ni, Fe, Co, Zn, Ag, a.o.) și au rol de agenți de umectare a particulelor de W și de Cu în timpul procesului de sinterizare [5], [6].

Proprietățile materialelor compozite din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 50-90 % de W, maxim 3 % Ni, restul % Cu, obținute prin tehnici ale metalurgiei pulberilor prezintă o sinergie a proprietăților elementelor componente (W, Cu și Ni), deoarece sinterizarea compactelor presate are loc la temperaturi inferioare temperaturii de topire a elementului component majoritar (W). Comparativ cu celelalte metale, wolframul are cea mai mare temperatură de topire, fiind potrivit pentru aplicații la temperaturi foarte ridicate. De asemenea, wolframul este caracterizat printr-un coeficient mic de dilatare termică, duritate ridicată și rezistență mare la solicitări mecanice, precum și o rezistență foarte bună la uzură, lipire sau sudare și rezistență excelentă la transferul de metale și la eroziunea arcului [1]. Cuprul prezintă conductivități termice și electrice excelente (la 20°C conductivitatea termică este $394 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, iar cea electrică este $59,9 \text{ m}\Omega^{-1}\text{mm}^{-2}$), precum și rezistență ridicată la eroziunea arcului electric la comutația în ulei mineral [3].

Materialele compozite pe bază de W-Cu au proprietăți mecanice bune și rezistență ridicată la uzură, sudare și topire la curenți și tensiuni ridicate. Proprietățile materialelor compozite din W-Cu-Ni sunt influențate de forma și dimensiunea particulelor, precum și de conținutul elementelor componente. Când conținutul de wolfram crește, rezistența la uzură și la eroziunea arcului va crește, dar conductivitatea termică și electrică se va reduce datorită scăderii conținutului de cupru. Adaosul de nichel îmbunătățește sinterabilitatea și duritatea materialelor compozite din W-Cu, dar contribuie la scăderea conductivității termice și electrice. De asemenea, procedeul de obținere a pulberilor compozite și procedeul de consolidare a pulberilor pentru obținerea de semifabricate sau piese finite de contact electric influențează semnificativ proprietățile materialelor de contact din W-Cu-Ni.

Se cunoaște faptul că amestecurile de pulberi compozite din W-Cu-Ni se obțin în mod uzual prin omogenizarea mecanică sau alierea mecanică a pulberilor componente în mori planetare cu bile din oțel inox cu rol de corpuri de măcinare. Deși aceste procedee se pot aplica pe scară largă, există riscul impurificării pulberilor compozite cu cantități mici (în general < 0,5 %) de elemente constitutive ale corpurilor de măcinare.

Sunt cunoscute următoarele procedee clasice ale metalurgiei pulberilor de obținere a materialelor compozite sinterizate pe bază de W-Cu pentru realizarea de contacte electrice pe scară largă [5-9]:

- presarea de compacte din pulberi compozite pe bază de W-Cu, urmată de sinterizarea în fază solidă sau cu fază lichidă a compactelor presate, la temperaturi de sinterizare inferioare, respectiv superioare temperaturii de topire a cuprului și o eventuală represare a compactelor sinterizate;

- presarea de compacte (schelete) poroase pe bază de W, sinterizare și infiltrarea prin forță capilară a porilor scheletelor cu topitură de cupru, care are rol de agent de umplere a porilor.

Dintre procedeele neconvenționale cunoscute pentru realizarea de contacte electrice la nivel de cercetare aplicativă se pot aminti sinterizarea în plasmă de scânteie, sinterizarea cu microunde, sinterizarea cu laser, sinterizarea la presiune ultra înaltă, extrudarea la cald și extrudarea hidrostatică la cald [10-12].

Randamentul și prețul de producție a contactelor electrice realizate prin procedeele menționate mai sus depind de materia prima folosită, precum și de tipul și performanța instalațiilor de procesare și parametrii de proces selectați.

Procedeele clasice ale metalurgiei pulberilor includ o operație de presare uniaxială sau bidirecțională a amestecurilor de pulberi compozite pe bază de W-Cu la presiuni de presare de 100-800 MPa, urmată de operația de sinterizare în fază solidă sau lichidă a compactelor presate, în atmosferă protectoare de hidrogen și azot sau vid, la temperaturi de sinterizare incluse în intervalul 800-1600°C, cu viteze de încălzire și de răcire de 1-15°C/min, durate de sinterizare de până la 10 ore. În unele cazuri se mai realizează o operație de represare la presiuni de presare de 2-4 ori mai mari decât presiunea inițială de presare. Ca rezultat, funcție de proprietățile amestecurilor de pulberi compozite, forma și dimensiunile materialelor de contact elaborate și de parametrii de proces selectați se pot obține fie materiale dense, cu densitatea relativă de până la 97 % din densitatea teoretică, fie materiale mai puțin dense, cu densitatea relativă de până la 92 % din densitatea teoretică și proprietăți neomogene, care vor descrește performanțele funcționale ale contactelor electrice în timpul operării în aparatele de comutație. În plus, în cazul procedurii sinterizării cu fază lichidă de cupru topit, cantitatea de cupru lichid nu poate depăși 15 % volumetrică, datorită solubilității neglijabile dintre W și Cu și a faptului că o cantitate

mai mare de cupru lichid poate deforma comprimatele sinterizate și afecta negativ densificarea materialelor sinterizate.

Procedeele de obținere a materialelor compozite pe bază de W-Cu prin presarea de compacte (schelete) poroase pe bază de W cu un adaos de activare a sinterizării, urmată de sinterizarea în atmosferă protectoare de hidrogen și azot sau in vid și infiltrarea porilor schelelelor cu topitură de cupru prin fenomenul de capilaritate se aplică de regulă pentru realizarea de materiale compozite pe bază de W-Cu cu un conținut în % gravimetrice de 50-85 % W, 0,1-3 % agent de activare a sinterizării și restul % Cu. Compactele (scheletele) poroase pe bază de W se pot consolida anterior infiltrării cu topitura de cupru la temperaturi de sinterizare inferioare temperaturii de topire a cuprului (1083°C), cu durate de menținere pe palierul de tratament termic de 0,5-5 h, iar infiltrarea are loc la temperaturi superioare temperaturii de topire a cuprului, cum ar fi 1150°C, 1250°C sau 1350°C, cu durate de timp de până la 2 h [13], [14]. Dezavantajul acestui procedeu constă în faptul că duratele mari, de ordinul orelor, de menținere pe palierul de tratament termic pot contribui la scurgerea cuprului din scheletele de W și la segregarea cuprului, astfel încât pot să rezulte microstructuri neomogene, care duc la scăderea proprietăților fizico-mecanice și funcționale ale materialelor de contact electric. Alt dezavantaj îl reprezintă limitarea cantității de cupru care se folosește la infiltrare, deoarece există riscul ca excesul de cupru topit și depus pe suprafața contactelor electrice să deformeze scheletele pe bază de wolfram, iar pentru îndepărtarea excesului de cupru de pe suprafața contactelor electrice sunt necesare operații suplimentare de prelucrări chimice și mecanice, fapt ce duce la creșterea costurilor de producție a contactelor electrice.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în obținerea de materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, cu caracteristici mecanice îmbunătățite, printr-un procedeu al metalurgiei pulberilor, care include presarea de compacte (schelete) cilindrice poroase din pulberi compozite de W-Ni amestecate intim și granulate folosind ca liant parafină și ca lubrifianț eter de petrol, presarea de compacte cilindrice din pulbere de Cu negranulată, sinterizarea compactelor presate din W-Ni și din Cu și infiltrarea în atmosferă protectoare de hidrogen și azot a compactelor din W-Ni cu topitură de Cu, fără a se produce deformarea acestora,



după care semifabricatele cilindrice sinterizate din W-Cu-Ni se prelucrează mecanic pentru realizarea de contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție și vârfuri de contact necesare echipării unor întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆.

Materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni și procedeul, conform invenției, constă în obținerea de amestecuri intime de pulberi de W și de Ni cu un conținut de 98-98,7 % și restul % Ni, dintr-o pulbere pură de W cu dimensiunea maximă a particulelor de 20 μm și diametrul mediu Fisher de 4-4,5 μm care se amestecă cu o soluție alcoolică (etanol) 35-50 % de azotat de nichel (II) hexahidrat (Ni(NO₃)₂·6H₂O) 1-2 M, iar șlamul format se usucă într-o etuvă de vid la temperatura de 70-80°C timp de 4-6 h, apoi pulberea obținută se dezaglomerează, se sitează și se tratează termic la temperatura de 550-600°C timp de 1-2 h în atmosferă reducătoare de hidrogen, după care pulberea compozită de W-Ni se granulează cu mărimi ale fracțiunilor granulometrice cuprinse între 315 μm și 800 μm folosind ca liant parafină 1,5-2 % și ca lubrifianț eter de petrol în raport masic parafină:eter de petrol de 1:2...1:3, apoi pulberile de W-Ni granulate se presează cu presiune de presare de 250-300 MPa pentru obținerea compactelor (scheletelor) cilindrice cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm și cantitatea de Cu necesară infiltrării se presează în aceeași matriță cu presiune de presare de 40-60 MPa, din pulbere de Cu negranulată, după care compactele presate din W-Ni și din Cu se sinterizează la temperatura de 950-1000°C timp de 0,5-1 h în atmosferă de hidrogen, apoi compactele sinterizate din W-Ni se infiltrează cu topitură de Cu la temperatura de 1150°C, în atmosferă de hidrogen și azot, într-un cuptor cu bandă transportoare, cu viteza benzii de 50-70 mm/min, după care se obțin materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, cu suprafața de contact curată, netedă, fără fisuri și incluziuni de corpuri străine, densitatea de minim 14,3 g/cm³, densitatea relativă de minim 96 % din densitatea teoretică și durezza Vickers HV2/15 de minim 252, cu prelucrabilitate mecanică bună, după care la final rezultă contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție și vârfuri de contact, care la testarea funcțională în întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆ prezintă valori ale rezistenței de contact statice și ale

rezistenței de contact dinamice de maxim 0,3 mΩ și ale timpului până la atingerea valorii rezistenței de contact statice de maxim 5 ms.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- procedeul permite realizarea eficientă de materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni, pornind de la amestecuri intime de pulberi de W-Ni granulate cu un liant (parafină) și un lubrifiant (eter de petrol), care asigură presarea uniformă a scheletelor din W-Ni;
- procedeul permite realizarea de materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni calitative, deoarece nu se produce deformarea scheletelor din W-Ni sinterizate în timpul infiltrării cu topitură de Cu;
- materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni elaborate prezintă proprietăți mecanice superioare materialelor obținute prin alte procedee clasice ale metalurgiei pulberilor;
- materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni elaborate nu necesită operații suplimentare de prelucrări chimice și mecanice ale suprafețelor pentru îndepărtarea excesului de cupru care rezultă prin alte procedee de sinterizare și infiltrare;
- materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni obținute sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate au prelucrabilitate mecanică bună care permite realizarea de contacte electrice de arc, cu formă complexă, de tip inele de protecție și vârfuri de contact funcționale destinate echipării unor întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆;
- procedeul este fezabil producției pe scară largă a materialelor compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm.

Materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni obținute conform invenției prezintă atât caracteristici mecanice superioare, cât și caracteristici fizico-chimice care corespund criteriilor impuse materialelor de contact electric pe bază de W-Cu în standardele în vigoare și care sunt comparabile cu cele ale materialelor de contact realizate pe plan internațional pentru aparatura electrică de medie și înaltă tensiune cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆ [15-18].

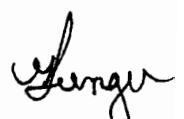
Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției.

Exemplul 1

Conform invenției, pentru obținerea de materiale compozite sinterizate pe bază de W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-75 % W, restul fiind % Cu și maxim 1,3 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, printr-un procedeu care include presarea de compacte (schelete) cilindrice poroase din pulberi compozite de W-Ni amestecate intim și granulate folosind ca liant parafină și ca lubrifianț eter de petrol, presarea de compacte cilindrice din pulbere de Cu negranulată, sinterizarea în atmosferă protectoare de hidrogen și azot a compactelor presate din W-Ni și din pulbere de Cu și infiltrarea scheletelor din W-Ni sinterizate cu topitură de Cu, fără a se produce deformarea acestora, se pornește de la amestecuri intime de pulberi de W și de Ni cu un conținut de 98,7 % și restul % Ni, care se obțin dintr-o pulbere pură de W cu dimensiunea maximă a particulelor de 20 μm și diametrul mediu Fisher de 4-4,5 μm care se amestecă cu o soluție alcoolică (etanol) 50 % de azotat de nichel (II) hexahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 1 M, iar șlamul format se usucă într-o etuvă de vid la temperatura de 80°C timp de 6 h, apoi pulberea obținută se dezaglomerează, se sitează și se tratează termic la temperatura de 550°C timp de 2 h în atmosferă reducătoare de hidrogen, după care pulberea compozită de W-Ni se granulează cu mărimi ale fracțiunilor granulometrice cuprinse între 315 μm și 800 μm folosind ca liant parafină 2 % și ca lubrifianț eter de petrol în raport masic parafină:eter de petrol de 1:3, apoi pulberile de W-Ni granulate se presează cu presiune de presare de 300 MPa pentru obținerea compactelor (scheletelor) cilindrice cu diametrul de $50 \pm 0,1$ mm și înălțimea de $6 \pm 0,1$ mm și cantitatea de Cu necesară infiltrării se presează în aceeași matriță cu presiune de presare de 50 MPa, din pulbere de Cu negranulată, după care compactele presate din W-Ni și din Cu se sinterizează la temperatura de 950°C timp de 1 h în atmosferă de hidrogen, apoi compactele sinterizate din W-Ni se infiltrează cu topitură de Cu la temperatura de 1150°C, în atmosferă de hidrogen și azot, într-un cuptor cu bandă transportoare, cu viteza benzii de 60 mm/min, după care se obțin materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-75 % W, restul fiind % Cu și maxim 1,3 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de $50 \pm 0,1$ mm și înălțimea de $6 \pm 0,1$ mm, cu suprafața de contact curată, netedă, fără fisuri și incluziuni de corpuri străine, densitatea de minim 14,41 g/cm^3 , densitatea relativă de minim 96,2 % din densitatea teoretică și durezza Vickers HV2/15 de minim 285, cu prelucrabilitate mecanică bună, după care la final rezultă contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție, care la testarea funcțională în întreruptoare de medie tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant prezintă valori ale rezistenței de contact statice și ale rezistenței de contact dinamice de maxim 0,18 m Ω și ale timpului până la atingerea valorii rezistenței de contact statice de maxim 4 ms.

Bibliografie

- [1]. D. Ma, J. Xie, J. Li, A. Wang, W. Wang, Contact resistance and arc erosion of tungsten-copper contacts in direct currents, *Journal of Wuhan University of Technology - Materials Science Ed.* 32 (4), 2017, pag. 816-822.
- [2]. N. Selvakumar, S.C. Vettivel, Thermal, electrical and wear behavior of sintered Cu-W nanocomposite, *Materials and Design*, Vol. 46, 2013, pag. 16-25.
- [3]. D. Chapman, Copper in electrical contacts, Copper Development Association Publication No. 223, European Copper Institute Publication No. Cu0169, Hemel Hempstead, 2015, 40 pag.
- [4]. R. M. German, P. Suri, S. J. Park, Review: liquid phase sintering, *J. Mater. Sci.*, Vol. 44, No. 1, 2009, pag. 1-39.
- [5]. E. V. Khomenko, N. I. Grechanyuk, V. Z. Zatovsky, Modern composite materials for switching and welding equipment. Information 1. Powdered composite materials, *The Paton Welding Journal*, Vol. 10, 2015, pag. 36-42.
- [6]. S. Borji, M. Ahangarkani, K. Zangeneh-Madar, Z. Valefi, The effect of sintering activator on the erosion behavior of infiltrated W-10wt% Cu composite, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.*, Vol. 66, 2017, pag. 150-157.
- [7]. A. Ghaderi Hamidi, H. Arabi, S. Rastegari, Tungsten-copper composite production by activated sintering and infiltration, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.*, Vol. 29, 2011, pag. 538-541.
- [8]. P. Chen, Q. Shen, G. Luo, M. Li, L. Zhang, The mechanical properties of W-Cu composite by activated sintering, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.*, Vol. 36, 2013, pag. 220-224.
- [9]. M. H. Maneshian, A. Simchi, Solid state and liquid phase sintering of mechanically activated W-20 wt.% Cu powder mixture, *J. Alloy. Comp.*, Vol. 463, 2008, pag. 153-159.
- [10]. Y. Yu, W. Zhang, H. Yu, Effect of Cu content and heat treatment on the properties and microstructure of W-Cu composites produced by hot extrusion with steel cup, *Adv. Powder Technol.*, Vol. 26, 2015, pag. 1047-1052.
- [11]. A. Mondal, A. Upadhyaya, D. Agrawal, Comparative study of densification and microstructural development in W-18Cu composites using microwave and conventional heating, *Mater. Res. Innov.*, Vol. 14, 2010, pag. 355-360.
- [12]. R. Orrù, R. Licheri, A. Locci, A. Cincotti, G. Cao, Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering, *Mater. Sci. Eng.: R: Reports*, Vol. 63, 2009, pag. 127-287.
- [13]. M. K. Yoo, J. K. Park, K. T. Hong, J. Choi, Tungsten skeleton structure fabrication method employed in application of copper infiltration and tungsten-copper composite material fabrication method thereof, US Patent No. 5963773, Oct. 5, 1999.
- [14]. D. Zhu, H. Wu, Y. Y. Chang, K. Kuang, Process for making copper tungsten and copper molybdenum composite electronic packaging materials, US Patent Application Publication No. US 2010/0092327 A1, Apr. 15, 2010.
- [15]. *** ASTM B 702-93 (2015), Standard Specification for Copper-Tungsten Electrical Contact Material.
- [16]. SR EN 62271-100:2009/A2:2018 ver.eng. "Aparataj de înaltă tensiune. Partea 100: Întreruptoare de putere (disjunctoare) de curent alternativă".
- [17]. *** Doduco, Material for High Voltage Applications Copper-Tungsten (W/Cu) (http://www.doduco.net/media/43225/kupfer-wolfram_englisch_06-12-2016.pdf)
- [18]. *** Plansee, Tungsten-Copper for SF6 circuit breakers (<https://www.plansee.com/en/products/components/electrical-contacts/tungsten-copper-wcu.html>)



Revendicări

- 1) Materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, cu caracteristici mecanice îmbunătățite, pentru realizare de contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție și vârfuri de contact destinate echipării unor întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆, **caracterizate prin aceea că** sunt constituite din compacte (schelete) cilindrice poroase, presate din pulberi compozite de W-Ni, amestecate intim și granulate folosind ca liant parafină și ca lubrifiant eter de petrol, sinterizate și infiltrate în atmosferă protectoare de hidrogen și azot cu topitură de Cu, fără a se produce deformarea acestora.
- 2) Materiale compozite din W-Ni cu un conținut de 98-98,7 % și restul % Ni, conform revendicării 1, **caracterizate prin aceea că** materialele compozite din W-Ni utilizate la obținerea de compacte (schelete) cilindrice poroase se realizează dintr-o pulbere pură de W cu dimensiunea maximă a particulelor de 20 μm și diametrul mediu Fisher de 4-4,5 μm, care se amestecă intim în vederea creșterii sinterabilității, cu o soluție alcoolică (etanol) 35-50 % de azotat de nichel (II) hexahidrat (Ni(NO₃)₂·6H₂O) 1-2 M, iar șlamul format se usucă într-o etuvă de vid la temperatura de 70-80°C timp de 4-6 h, apoi pulberea obținută se dezaglomerează, se sitează și se tratează termic la temperatura de 550-600°C timp de 1-2 h în atmosferă reducătoare de hidrogen, după care pulberea compozită de W-Ni se granulează cu mărimi ale fracțiunilor granulometrice cuprinse între 315 μm și 800 μm folosind ca liant parafină 1,5-2 % și ca lubrifiant eter de petrol în raport masic parafină:eter de petrol de 1:2...1:3.
- 3) Procedeu de obținere materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni, conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** materialele compozite sinterizate din W-Cu-Ni se realizează printr-un procedeu al metalurgiei pulberilor, care include presarea de compacte (schelete) cilindrice poroase cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm din pulberi compozite de W-Ni amestecate intim și granulate, cu presiune de presare de 250-300 MPa, presarea în aceeași matriță a cantității de Cu necesară infiltrării, din pulbere de Cu negranulată, cu presiune de presare de 40-60 MPa, după care compactele

presate din W-Ni și din Cu se sinterizează la temperatura de 950-1000°C timp de 0,5-1 h în atmosferă de hidrogen, apoi compactele sinterizate din W-Ni se infiltrează cu topitură de Cu la temperatura de 1150°C, în atmosferă de hidrogen și azot, într-un cuptor cu bandă transportoare, cu viteza benzii de 50-70 mm/min, după care se obțin materiale compozite sinterizate din W-Cu-Ni cu un conținut în % gravimetrice de 73-77 % W, restul fiind % Cu și maxim 2 % Ni, sub formă de semifabricate cilindrice sinterizate cu diametrul de 20-70 mm și înălțimea de 5-20 mm, cu suprafața de contact curată, netedă, fără fisuri și incluziuni de corpuri străine, densitatea de minim 14,3 g/cm³, densitatea relativă de minim 96 % din densitatea teoretică și duritatea Vickers HV2/15 de minim 252, cu prelucrabilitate mecanică bună, după care la final rezultă contacte electrice de arc (piese finite cu formă complexă) de tip inele de protecție și vârfuri de contact, care la testarea funcțională în întreruptoare de medie și înaltă tensiune, cu comutație în ulei mineral electroizolant sau gaz SF₆ prezintă valori ale rezistenței de contact statice și ale rezistenței de contact dinamice de maxim 0,3 mΩ și ale timpului până la atingerea valorii rezistenței de contact statice de maxim 5 ms.

