A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești"
SEBEȘ, 2017

CONTACTE ELECTRICE CU DENSITATE RIDICATĂ PENTRU CURENŢI INTENŞI PRODUSE PRIN METALURGIA PULBERILOR

George ARGHIR, Liviu BRÂNDUŞAN, Marius BĂRĂIAN
Gabriel BATIN, Ioan PETEAN, Adrian ARDUSĂTAN
Alina Georgeta JUMOLEA, Nicu Marian TRANDAFIR

ELECTRICAL CONTACTS WITH HIGH DENSITY FOR STRONG CURRENTS, MADE BY POWDER METALLURGY

Electrical contacts for strong currents by infiltration after sintering, was not satisfactory because the final density is much higher (11,100 kg/m^3) and porosity is much lower (10.85 %). The infiltration after sintering contains: powder mixture preparation (W - 52 mass %, Ni - 2 %, Cu - 46 %, zinc stearate - 0,7 % - 7 g), homogenization, pressing (4,5 MPa), sintering (730 and 780 ^{o}C). The green density is almost constant, with an identical porosity of the first after the end of the process (14,28 %). By infiltration the density increased drastically (10,832 kg/m^3), its variations were increased also and porosity decreased (at 10.85 %). The attained density is not sufficient for electrical contacts work (11,100 kg/m^3), but it is closer. Way to improve density: pressing, sintering, and repressing (10,700 kg/m^3).

Keywords: sintered electrical contacts, W-Cu
Cuvinte cheie: contacte electrice sinterizate, W-Cu

1. Introducere

Contactele electrice sunt solicitate la curenţi intenşi, tensiuni electrice ridicate și arc electric. Contactele trebuie să conţină cât mai

mult element conductor electric (Cu), pe o structură rezistentă la temperaturi înalte (W), dar și mecanic.

În stare solidă Cu şi W nu formează o soluţie solidă, conform diagramei de faze, la 25 ^{o}C [1]. Segregarea în stare solidă se produce datorită temperaturilor diferite de solidificare a Cu (1085 ^{o}C), respectiv W (3422 ^{o}C), structurilor cristaline extrem de diferite: CFC, respectiv CVC şi parametrilor cristalografici mult diferiţi: 361,46 pm, respectiv 316,52 pm [1]. Segregarea se evită prin metalurgia pulberilor.

Compozitul Cu (10, 20, 30 % masă) și W rezistă la temperatură înaltă având conductibilitate termică şi electrica ridicată, rezistenţă excelentă la arcul electric, rezistenţă mecanică superioară, prelucrabilitate prin aşchiere bună şi dilatare termică redusă [2]. Se intenţionează producerea de contacte electrice pentru întrerupătoare de curenţi intenşi la medie şi înalta tensiune care să conţină 50 % masă Cu şi restul W.

Mici cantităţi de Ni (până la 27 % masă) dizolvate în W, favorizează aderarea Cu la W [3], dizolvă legăturile W-W formate în timpul sinterizării solide [4], favorizând sinterizarea W, deși Ni (CFC, a = 352,39 pm [5]) și W (CVC, a = 316,52 pm [1]).

Densitatea finală să fie cât mai ridicată, posibil cea teoretică, a amestecului de pulberi elementale componente. Prezentul articol descrie tehnologia formării contactelor electrice cu densitate ridicată, prin metalurgia pulberilor pentru întrerupătoare de curenţi intenşi, la medie şi înaltă tensiune. Articolul este continuarea articolelor [6] și [7]. Sunt redate succint variantele utilizate.

2. Tehnologia realizării probelor pilot

2.1. Structură de W infiltrată cu Cu

Structură de W infiltrată cu Cu s-a realizat cu Şarja 1 (pulbere): 490 g W (90,07 % masă), 10 g Ni (1,84 %), 40 g Cu (7,35 %) şi 4 g stearat de zinc (0,74 %) (bazat pe unele cercetări anterioare). Densitatea compactă a şarjei 1 este de: 15.347 kg/m^3 şi, respectiv, 17.563 kg/m^3 fără stearat de zinc. Omogenizare: 2 h cu 10 bile (Ø7 mm) în omogenizatorul spaţial TURBULA. Presarea s-a făcut într-o matriţă circulară cu dublă acţiune, suprafaţă de 1 cm^2, la presiunile (p), rezultând densitatea (ρ) şi porozitatea (P), Tabelul 1 (Şarja 1. Presiunea utilizată, densitatea şi porozitatea presatelor). Rezultatele sunt media a cinci probe. S-au considerat densităţile: ρ_W = 19.300 kg/m^3, ρ_{Ni} = 8.902 kg/m^3, ρ_{Cu} = 8.960 kg/m^3 [8], $\rho_{stearatZn}$ = 900 kg/m^3 [8]. Masa unui presat a fost în medie 11,2 g.

Tabelul 1

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %
1	0,5	9.680	44,71
2	0,8	10.035	42,48
3	1	10.095	42,13
4	2	10.848	37,81
5	3	11.391	34,70
6	5	12.245	29,80
7	8	13.136	24,69

2.2. Compozit având Cu ca materialul de bază armat cu W

Compozitul conţine pulbere - Şarja 2a:125,56 g W (50,18 % masă), 2,56 g Ni (1,02 %), 120,25 g Cu (48,06 %) şi 1,83 g stearat de zinc (0,73 %). Densitatea compactă a şarjei 2a este de 11.249 kg/m^3 şi, respectiv, 12.378 kg/m^3. Presările ca la şarja 1, Tabelul 2 (Şarja 2a. Presiunea utilizatâ, densitatea şi porozitatea presatelor). Masa unui presat: 10,7 g.

Tabelul 2

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %
1	0,5	7.460	33.68
2	1	8.147	27,58
3	2	8.873	21,12
4	5	9.951	11,54
5	8	10.438	7,21

Şarja 2b conţine pulbere: 100 g W (41,36 %), 20 g Ni (8,27 %), 120 g Cu (49,63 %) şi 1,8 g stearat de zinc (0,74 %). Densitatea compactă a şarjei 2b este de 10.601 kg/m^3 şi respectiv 11.613 kg/m^3. Presările ca la şarja 1 rezutatele sunt redate în Tabelul 3 (Şarja 2b. Presiunea utilizată, densitatea şi porozitatea presatelor). Masa unui presat: 10,3 g.

Tabelul 3

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %
1	0,5	6.762	36,21
2	1	7.407	30,13
3	2	8.152	23,10
4	5	9.283	12,43
5	8	9.718	8,33

2.3. Sinterizarea presatelor

Presatele din Tabelele 1, 2 şi 3 au fost sinterizate: la 875 ^oC, durată: 15 minute, atmosfera: endogaz cu temperatura de rouă 4 ^oC.

Rezultatele sunt redate în Tabelele 4 (Şarja 1. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluţi cu Cu (ρprescris) şi cantitatea de Cu de adăugat (MCu), 5 (Şarja 2a. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluţi cu Cu (ρprescris) şi cantitatea de Cu de adăugat (MCu)) şi 6 (Şarja 2b. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluţi cu Cu (ρprescris) şi cantitatea de Cu de adăugat (MCu)).

Tabelul 4

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %	$\rho_{prescris}$, kg/m^3	M_{Cu}, g
1	0,5	9.506	45,87	13.581	4,4
2	0,8	9.830	44,03	13.739	4,3
3	1	9.889	43,69	13.768	4,2
4	2	10.708	39,03	14.165	3,6
5	3	11.231	35,54	14.419	3,1
6	5	12.087	31,18	14.836	2,5
7	8	12.935	26,35	15.248	2,4

După sinterizare se remarcă, în medie, densitatea ρ mai scăzută ca în cazul presatelor la orice presiune, cu 1,59 %, iar porozitatea creşte cu 1,34 %, rezultat al expandării în timpul sinterizării, dar şi al părăsirii compactului de către stearatul de zinc.

Adăugând cantitatea de Cu, M_{Cu}, în locul porozităţii, rezultă o nouă densitate $\rho_{prescris}$ de interes în cercetare. Cantitatea de Cu adăugată prin infiltrare este proporţională porozităţii, scăzând odată cu aceasta de la 4,4 g la respectiv 2,4 g, iar densitatea rezultantă creşte de la 13.581 kg/m^3 la respectiv 15.248 kg/m^3, rezultat al densităţii iniţiale, care se apropie de cea teoretică (17.563 kg/m^3).

Tabelul 5

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %	$\rho_{prescris}$, kg/m^3	M_{Cu}, g
1	0,5	7.434	39,94	10.973	5,1
2	1	8.157	34,10	11.169	4,0
3	2	8.841	28,57	11.354	3,0
4	5	9.805	20,79	11.615	2,0
5	8	10.250	17,19	11.738	1,4

Se remarcă scăderea densităţii în medie cu 1,00 %, porozitatea creşte cu 7,90 %, cantitatea de cupru scade de la 5,1 g la respectiv 1,4 g şi

densitatea $\rho_{prescris}$ creşte de la 10.973 kg/m^3 la respectiv 11.738 kg/m^3, apropiindu-se de cea teoretică (12.378 kg/m^3).

Tabelul 6

Nr. cr.	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %	$\rho_{prescris}$, kg/m^3	M_{Cu}, g
1	0,5	6.538	43,70	10.416	6,0
2	1	7.109	38,78	10.543	5,0
3	2	7.747	33,29	10.685	3,9
4	5	8.658	25,45	10.888	2,6
5	8	8.926	23,14	10.948	2,2

Şi în acest caz se remarcă scăderea densităţii în medie cu 5,67 %, porozitatea creşte cu 10,83 %, cantitatea de cupru scade de la 6,0 g la respectiv 2,2 g şi densitatea $\rho_{prescris}$ creşte de la 10.416 kg/m^3 la respectiv 10.948 kg/m^3, apropiindu-se de cea teoretică (11.613 kg/m^3).

3. Contacte electrice

Contactele electrice au forma unui paralelipiped: l (lăţime) x L (lungime) x h (grosime) = 20 x 35 x 8 mm cu toleranţe admise: ± 0,1 mm la toate dimensiunile. Masa unui contact: 62,2 g, densitate: 11.100 kg/m^3 (ale modelelor). S-au realizat două variante: 1. infiltrare simultană cu sinterizare şi 2. infiltrare după sinterizare.

3.1. Infiltrare simultană cu sinterizare

S-a considerat (în baza unor experienţe anterioare [6]) necesar W 42,55 % masă: 15 contacte x 62,2 x 42,55/100 = 397 g ~ 400 g.

Şarja 4 (pulberi) conţine: W – 400 g - 50,00 % masă; Ni – 16 g – 2 % masă şi Cu – 384 g – 48 % masă, stearat de zinc 5,6 g – 0,7 % masă = 805,6 g, omogenizat: 1 h, cu 20 bile Φ7 mm, omogenizator Turbula. Pentru infiltrare s-au realizat presate din Cu cu 0,7 % masă.

Masa presatului cu W: 51,3 g + stearat de Zn 0,4 g = 51.7 g; masa presatului de Cu: 10,9 g + stearat de zinc: 0,1 g = 11,0 g. Total: masa contact: 62,2 g + stearat de zinc: 62,7 g.

S-au considerat densităţile: ρ_W = 19.300 kg/m^3, ρ_{Ni} = 8.902 kg/m^3, ρ_{Cu} = 8.960 kg/m^3 [8], $\rho_{stearatZn}$ = 900 kg/m^3 [9]. Densitatea presatului, ρ = 1/(0,5/19.300 + 0,02/8.902 + 0,48/8.960) = 11.909 kg/m^3, iar cu stearat de zinc, ρ_s = 1/(0,993(0,5/19.300 + 0,02/8.902 + 0,48/8,960) + 0,007/900) = 10.969 kg/m^3. Material fără porozităţi.

Presare: 4,50 MPa. Rezultatele presării sunt redate în Tabel 7 (Densitatea și porozitatea contactelor presate).

Tabelul 7

Proba	Material	ρ_{mediu},kg/m^3	p, %
83-97	Şarja 4	9067	23,86
98-112	Cu+0,7 % st.Zn	6669	25,56

Sinterizarea şi infiltrarea s-a efectuat simultan la temperatura de 1100 ^{o}C. Pentru infiltrare s-a adaugat 6,8 g Cu pe contact de 51,4 g. Densitatea de 11.889 kg/m^3 pentru calculul porozităţii p*, Tabel 8 (Densitatea medie și porozitatea dupa sinterizare simultană cu infiltrarea). Prin infiltrarea Cu: W 46 % masă, Ni 2 % masă şi Cu 52 % masă.

Tabelul 8

Proba	ρ_{mediu},kg/m^3	ρ_{mediu*},kg/m^3	p*, %
83-89	9.873; s=0,502	10.191 s=0,537	14,28
90, 91	10.400 s=0.076	10.397 s=0,072	12,54
92-94	10.586 s=0.019	10.586 s=0.019	10,95
95-97	10.290 s=0.008	10.292 s=0,008	13,43

În descrierea tabelului 8 s-a avut în vedere: probele 83-89 s-au aşezat deasupra presatelor de Cu (probe 98-104); probele 90, 91 s-au aşezat deasupra presate de Cu (probe 105-106); probele 92-94 s-au aşezat dedesubt presate de Cu (probe 107-109); probele 95-97 s-au aşezat deasupra şi dedesubt presate de Cu (probe 110-112). Infiltrarea satisfăcătoare. Porozitate mare; ρ_{mediu*} este obţinut după îndepărtarea defectelor); p* - porozitatea după îndepărtarea defectelor.

3.2. Infiltrare după sinterizare

Şarja 5: W - 52 % masă - 520 g, Ni - 2 % masă - 20 g, Cu - 46 % masă - 460 g, 0,7 % masă - 7 g - stearat de zinc. Omogenizarea s-a efectuat într-un borcan de 0,5 l (10 bile, Φ12,7 mm), Turbula, 1 oră. Materialul compact, şarja 5, are densitatea de 12.338 kg/m^3, iar fără stearatul de zinc: 12.424 kg/m$^{3.}$. Presarea s-a efectuat la presiunea de 4,5 MPa. Rezultatele în Tabel 9 (Densitatea și porozitatea după presare).

Sinterizarea: cuptor cu bandă, 8 m/s, la temperaturi: Zona 1: 730 ^{o}C, respectiv Zona 2: 780 ^{o}C, 1 oră. Rezultatele în Tabel 10 (Densitatea și porozitatea după sinterizare). Pe presate (masa medie 52,06 g) s-au pus sinterizatele de Cu (masa medie de 3,58 g). Densitatea la volum compact ar trebui să fie de 12.151 kg/m^3. Noua compoziţie ar fi: W - 48.69 %, Ni - 1,87 şi Cu - 49,44 %. Rezultatele

infiltrărilor sunt redate în Tabel 11 (Densitatea și porozitatea după infiltrare).

Grosimea (h) a crescut semnificativ, densitatea a crescut puţin, rămânând încă un mare volum de pori.

Tabelul 9

Proba	Material	ρ_{mediu},kg/m^3	p, %
117-135	Şarja 5	9482	23,14
136-150	Cu+0,7 % st.Zn	6669	25,56

Tabelul 10

Proba	ρ_{mediu},kg/m^3	p, %
117-135	9203; s=0,062	14,28

Tabelul 11

Proba	ρ_{mediu},kg/m^3	p, %
117-135	10.832; s=0,174	10,85

4. Contacte electrice cu densitate ridicată

Şarja 6 (pulberi): W – 500 g – 49.50 % masă; Ni – 10 g – 1 %, Cu – 500 g – 49,50 %, stearat de zinc 10 g – 0,98 % = 1020 g, omogenizat 1 h, cu 20 bile Φ7 mm, omogenizator Turbula.

Densitatea presatului, ρ = 1/(500/1010/19.300 + 10/1010/8.902 + 500/1010/8.960) = 12.193,1 kg/m^3, iar cu stearat de zinc, ρ_S = 1/(500/1020/19.300 + 10/1020/8.902 + 500/1020/8.960 + 10/1020/900) = 10.857,4 kg/m^3, material compact, fără porozităţi.

Masa presatului: l.L.h.ρ = 2 (l, cm) x 3,5 (L, cm) x.0.8 (h, cm) x 12.193,1 (ρ, kg/m^3) x 1,0099 (stearatul de zinc) = 68,96 g. Total: masa contact: 68,28 g pulberi + 0,58 g stearat de zinc: 68,96 g.

Amestecurile de pulberi cu stearat de zinc au fost presate la diferite presiuni, rezultând densităţile din tabelul 12 (Densitatea și porozitatea după presare, amestec șarja 6).

Tabelul 12

Proba	p, GPa	ρ, kg/m^3	P, %
156, 157, 158	0,5	7.208,3	41,29
159, 160, 161	1,0	7.822,9	36,29
162, 163, 164	2,0	8.503,9	30,74
165, 166, 167	4,0	9.258,1	24.60

Sinterizarea s-a efectuat la diferite temperaturi (Ts – temperatura de sinterizare) și durate, atmosfera: endogaz cu temperatura de rouă 4 ^{o}C, Tabel 13 (Densitatea și porozitatea după sinterizare, amestec șarja 6). Durata sinterizării: 1170 ^{o}C – 100 minute; 1050 ^{0}C – 120 minute; 800 ^{0}C – 90 minute.

Sinterizatele au fost represate cu presiuni de 1, 2, 4 și 6 GPa, rezultând densităţile din Tabelul 14 (Densitatea și porozitatea după represări, amestec șarja 6).

Tabelul 13

Proba	Ts, ^{o}C	ρ, kg/m^3	P, %
156	1.170	7.524,0	38,29
157	1.050	7.144,4	41,41
158	800	7.042,7	42,24
159	1.170	8.074,3	33,78
160	1.050	7,794,3	36,07
161	800	7.695,8	36,88
162	1.170	8.610,2	29,38
163	1.050	8.401,9	31,09
164	800	8.265,4	32,21
165	1.170	9.045,5	25,81
166	1.050	8.999,6	26,19
167	800	8.968,8	26,44

Tabelul 14

Proba	p, GPa							
	1		2		4		6	
	ρ, kg/m^3	P, %	ρ, kg/m^3	P, %	ρ, kg/m^3	P, %	ρ, kg/m^3	P, %
156	7.583	37,80	8.303	31,90	9.640	20.93	10.497	13,89
157	7.942	34.85	9.160	24,87	9.963	18,28	10.625	12,85
158	8.380	31,26	8.983	26,32	9.765	19,91	10.326	15,31
159	8.042	34,04	8,529	30,04	9.623	21,07	10.527	13,65
160	8.168	33,00	9.307	23,66	10.048	17,58	10.661	12,55
161	8.303	31,90	9.106	25,31	9.819	19,46	10.289	15,61
162	8.638	29,15	8.771	28,06	9.746	20,06	10.582	13,21
163	8.674	28,85	9.016	26,05	10.133	16,89	10.746	11,86
164	9.116	25,23	9.116	25,23	9.842	19,27	10.293	15,58
165	9.204	24,50	9.278	23,90	9.828	19,39	10.616	12,93
166	9.231	24,28	9.458	22,42	10.211	16,24	10.759	11,75
167	9.111	25,27	9.333	23,45	9,982	18,12	10,394	14,83

NOTA: Dacă se represează cu o forţă superioară celei de presare, de la dublu în sus, densitatea creste. Nu depinde de presiunea iniţiala ci de material și presiunea de represare.

Regim optim: p = 2 GPa, T = 1.170 ^{0}C, $p_{represare}$ = 6 GPa (eventual 8 GPa).

5. Discutarea rezultatelor

Pentru realizarea contactelor electrice cu 50 % Cu şi 50 % W (masă) s-au realizat probe cilindrice [6] cu 2 % Ni, presiunea de presare de 4,5 MPa şi temperatura de sinterizare de 730-780 ^{o}C. Dimensiunile de 20 x 35 x 8 mm ale contactelor electrice a dus la două variante: infiltrare simultană cu sinterizare şi infiltrare după sinterizare.

Prima variantă (pe presat s-a pus Cu), fiind mai simplă, însă însoţită de porozitate ridicată (14,28 %), a crescut grosimea sinterizatului datorită infiltrării Cu, a necesitat testarea celei de a doua variante. Compoziţia finală este: W – 46 %, Ni 2 - % şi Cu 52 % (masă).

Varianta infiltrare după sinterizare conţine: pregătirea pulberii, presarea, sinterizarea (730 şi 780 ^{o}C), infiltrarea prin introducerea la temperatura mai ridicată (1100 ^{o}C). Porozitate identică cu cea din varianta primă (14,28 %). Prin infiltrare densitatea a crescut semnificativ (la 10.832 kg/m^3, dar variaţiile densităţii au crescut şi ele (s=0,174), porozitatea însă a scăzut la 10,85 %, dar nu a dispărut. Înălţimea (h) a crescut, fapt ce a dus la scăderea densităţii faţă de cea aşteptată. Densitatea atinsă nu este suficientă (11.100 kg/m^3). Compoziţia finală a contactului este de W – 48,69 %, Ni – 1, 87 % şi Cu – 49,44 % (masă).

Prin infiltrare creşte grosimea pieselor, porii nu sunt ocupaţi total de Cu, rămâne o porozitate latentă, posibil al faptului că infiltratul Cu nu udă satisfăcător materialul sinterizat, posibil sunt şi pori închişi.

6. Concluzii

■ Se aplică varianta a doua pentru producerea contactelor electrice pentru curenţi intenşi: infiltrare după sinterizare, densitatea finală este mai ridicată (10.832 kg/m^3), iar porozitatea fiind mai scăzută (10,85 %).

■ Varianta cu infiltrare după sinterizare conţine fazele: pregătirea pulberii (W - 52 % masă - 520 g, Ni - 2 % masă - 20 g, Cu - 46 % masă - 460 g, stearat de zinc - 0,7 % masă - 7 g - stearat de zinc), omogenizarea, presarea (4,5 MPa), sinterizarea (730 şi 780 ^{o}C) şi infiltrarea (se aşează presatul pe strat de electrocorindon EC 120, peste care se aşează presatul de Cu, se supune temperaturii de 1100 ^{o}C). În această variantă densitatea presatelor este relativ constantă (s = 0,062), cu o porozitate identică cu cele din varianta primă dar la finalul procesului (14,28 %). Prin infiltrare densitatea a crescut (10.832 kg/m^3),

porozitatea a scăzut la 10,85 %. Densitatea atinsă nu este suficientă pentru contacte (11.100 kg/m^3). Compoziţia finală a contactului este de W – 48,69 %, Ni – 1,87 % şi Cu – 49,44 % (masă).

■ Densităţi ridicate se obţin prin presare, sinterizare și represare (10.700 kg/m^3), nu suficiente pentru contacte.

BIBLIOGRAFIE

[1] Subramanian, P.R., Laughlin, D.E., *Cu-W (Copper-Tungsten), Phase diagrams of binary tungsten alloys,* Editors: S. V. Nagender Haidu, P. Rama Rao, Indian Institute of Metals, Calcutta, pp. 76-79.

[2] Böning, M., *Tungsten-Copper for SF6 circuit breakers*, Online [http://www.plansee.com/en/Products-electrical-contacts-Tungsten-copper-Cu-58. hrm?gclid=CIPILn9ySk8QCFUHItAodxmgAAA] (06.03.2015, EST 9.10).

[3] Okamoto, H., *Ni-W (Nickel-Tungsten)*, J. of Phase Equilibria, December 1991, Vol. 12, No. 6, p. 706. ISSN: 1054-9714 (Print), 1054-9714 (Online).

[4] Yunxin, W., German, R. M., Marx, B., Suri, P., Bollina, R., *Comparison of densification and distortion behaviors of W-Ni-Cu and W-Ni-Fe heavy alloys in liquid phase sintering*, J. of Mat. Sci., 38 (2003), p. 2271-2281.

[5] Arghir, G., Ghergari, L.M., *Cristalografie-Mineralogie*, Îndrumător, Institutul Politehnic din Cluj-Napoca, 1989, pag. 337.

[6] Arghir, G., Brânduşan, L., *Cercetare pilot pentru producerea contactelor electrice pentru curenţi intenşi prin metalurgia pulberilor*, Ştiinţă şi Inginerie, An XV, Vol28/2015, pag. 421-428.ISBN 9772067 713001.

[7] Arghir, G., Brândușan, L., Bărăian, M., Petean, I., Batin, G., *Contacte electrice produse prin metalurgia pulberilor, pentru curenţi intenși*, Inginerie – Cugir, Ediţia III-a, Cugir, 2015, Editura Grinta, Cluj-Napoca, 2015, pag. 233-240. ISBN 978-973-126-712-8.

[8] * * * *Handbook of Chemistry and Physics*, 53rd Edition, 1972-1973, Editor R. C. Weast, Thye Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, 1972, p. B4-B38.

[9] * * * *Handbook of Chemistry and Physics*, 53rd Edition, 1972-1973, Editor R. C. Weast, The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, 1972, p. C397.

[10] Arghir, G., Brândușan, L., Bărăian, M., Petean, I., Batin, G., *Contacte electrice pentru curenţi intenși produse prin metalurgia pulberilor*, Ştiinţă și Inginerie, 2016, Vol. 30, pag. 123 – 132, ISSN 2067-7138.

Prof. Em., Dr. Ing., Dipl. Fiz. George ARGHIR
Prof., Dr. Ing. Liviu BRÂNDUŞAN
Dr. Ing. Marius BĂRĂIAN
Dr. Ing. Gabriel BATIN
Asistent Cerc. Dr. Ing. Ioan PETEAN
Dr. Soc. Adrian ARDUSĂTAN
Ing. Alina Georgeta JUMOLEA, Ing. Nicu Marian TRANDAFIR
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membri AGIR