



CONTACTE ELECTRICE PENTRU CURENȚI INTENȘI PRODUSE PRIN METALURGIA PULBERILOR

George ARGHIR, Liviu BRÂNDUȘAN, Marius BĂRĂIAN,
Gabriel BATIN, Ioan PETEAN

ELECTRICAL CONTACTS FOR STRONG CURRENTS MADE BY POWDER METALLURGY

It was tested to be produced electrical contacts for strong currents by infiltration after sintering, because the final density is much higher (11.100 kg/m^3) and porosity is much lower (10.85 %). The infiltration after sintering variant contains the steps: powder mixture preparation (W - 52 mass % - 520 g, Ni - 2 mass % - 20 g, Cu - 46 mass % - 460 g, zinc stearate - 0,7 mass % - 7 g), homogenization, pressing (4.5 MPa), sintering (730 and 780 °C) and infiltration (the green part is layed down on an electrocorindon EC 120 bed, then the Cu green is on top of it, 1100 °C). In this variant the green part density is almost constant ($s = 0.062$), with an identical porosity of the first after the end of the process (14,28 %). By infiltration the density increased drastically (at $10,832 \text{ kg/m}^3$), but its variations were increased also ($s = 0.174$) and porosity decreased (at 10.85 %). The attained density is not sufficient for electrical contacts work ($11,100 \text{ kg/m}^3$), but it is closer. The final composition of the electrical contact was: W – 48.69 mass %, Ni – 1. 87 mass % and Cu – 49.44 mass %.

Keywords: sintered electrical contacts, W-Cu

Cuvinte cheie: contacte electrice sinterizate, W-Cu

1. Introducere

Cuplarea și decuplarea producătorului (consumatorului) de energie electrică la linia de transport a energiei electrice în centralele

electrice se realizează prin comutatoare ce conțin contacte electrice pentru curenți intensi.

Contactele electrice sunt solicitate la curenți intensi, tensiuni electrice ridicate și arc electric. Contactele trebuie să conțină cât mai mult element conductor electric (Cu), pe o structură rezistentă la temperaturi înalte (W), dar și mecanic.

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

Compozitul format din Cu și W rezistă la temperatură înaltă având conductibilitate termică și electrică ridicată, rezistență excelentă la arcul electric, rezistență mecanică superioară, prelucrabilitate prin așchiere bună și dilatare termică redusă [2].

Întrerupătoarele folosesc contactoare electrice cu conținut de 10, 20, 30 % masă Cu [2].

Se intenționează producerea de contacte electrice pentru întrerupătoare de curenți intensi la medie și înaltă tensiune care să conțină 50 % masă Cu și restul W.

Mici cantități de Ni, dizolvate în W, favorizează aderarea Cu la W. Ni se poate dizolva până la 27 % masă în W la temperatura mediului ambiant [3], dizolvă legăturile W-W formate în timpul sinterizării solide [4], favorizând sinterizarea W, deși structurile cristaline sunt diferite: Ni (CFC, $a = 352,39$ pm [5]) și W (CVC, $a = 316,52$ pm [1]).

Se preferă ca densitatea finală să fie cât mai ridicată, posibil cea teoretică, a amestecului de pulberi elementale componente.

Prezentul articol descrie tehnologia formării contactelor electrice, prin metalurgia pulberii pentru întrerupătoare de curenți intensi, la medie și înaltă tensiune. Articolul este continuarea articolelor: „Cercetare pilot pentru producerea contactelor electrice pentru curenți intensi prin metalurgia pulberilor” [6] și „Contacte electrice produse prin metalurgia pulberilor, pentru curenți intensi” [7].

Întrucât tehnologia cercetată în [6] s-a făcut pe probe cilindrice, cu suprafața transversală de 1 cm², au fost necesare noi cercetări pentru realizarea contactelor electrice cu dimensiunile: 20 x 35 x 8 mm solicitate [7] care s-au remarcat prin modificarea tehnologiei. Rezultatele din [6] au fost utile pentru realizarea acestor cercetări. Sunt redate succint variantele utilizate.

2. Tehnologia realizării probelor pilot

Sunt posibile două variante tehnologice: 1. structură de W infiltrată cu Cu și 2. compozit având Cu ca material de bază armat cu W.

2.1 Structură de W infiltrată cu Cu

Structură de W infiltrată cu Cu s-a realizat cu Șarja 1 (pulbere): 490 g W (90,07 % masă), 10 g Ni (1,84 %), 40 g Cu (7,35 %) și 4 g stearat de zinc (0,74 %) (bazat pe unele cercetări anterioare). Densitatea compactă a șarjei 1 este de: 15.347 kg/m³ (pentru porozitatea presatelor) și, respectiv, 17.563 kg/m³ fără stearat de zinc (pentru porozitatea sinterizatorilor). Pulberea s-a omogenizat 2 h cu 10 bile (Ø7 mm) în omogenizatorului spațial TURBULA. Presarea s-a făcut într-o matriță circulară cu suprafață de 1 cm², la presiunile (p), rezultând densitatea (ρ) și porozitatea (P), tabelul 1 (Șarja 1. Presiunea utilizată, densitatea și porozitatea presatelor). Rezultatele sunt media a cinci probe. S-au considerat densitățile: ρ_W = 19.300 kg/m³, ρ_{Ni} = 8.902 kg/m³, ρ_{Cu} = 8.960 kg/m³ [7], ρ_{stearatZn} = 900 kg/m³ [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 conține pulbere - Șarja 2a: 125,56 g W (50,18 % masă), 2,56 g Ni (1,02 %), 120,25 g Cu (48,06 %) și 1,83 g stearat de zinc (0,73 %). Densitatea compactă a șarjei 2a este de 11.249 kg/m³ și, respectiv, 12.378 kg/m³ fără stearat de zinc. Presările s-au efectuat ca la șarja 1, tabelul 2 (Șarja 2a. Presiunea utilizată, densitatea și porozitatea presatelor). Masa unui presat a fost în medie 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

Șarja 2b conține pulbere: 100 g W (41,36 %), 20 g Ni (8,27 %), 120 g Cu (49,63 %) și 1,8 g stearat de zinc (0,74 %). Densitatea compactă a șarjei 2b este de 10.601 kg/m³ și respectiv 11.613 kg/m³ fără stearat de zinc. Presările s-au efectuat ca la șarja 1 rezultatele sunt redate în tabelul 3 (Șarja 2b. Presiunea utilizată, densitatea și porozitatea presatelor). Masa unui presat a fost în medie 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 (șarja1), 2 (șarja 2a) și 3 (șarja 2b) au fost sinterizate: la temperatura de 875 °C, durată: 15 minute, atmosfera: endogaz cu temperatura de rouă 4 °C. Rezultatele sinterizării sunt redate în tabelele 4 (Șarja 1. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluți cu Cu (ρ prescris) și cantitatea de Cu de adăugat (MCu)), 5 (Șarja 2a. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluți cu Cu (ρ prescris) și cantitatea de Cu de adăugat (MCu)) și 6 (Șarja 2b. Presiunea, densitatea, porozitatea sinterizatelor, densitatea la care se ajunge când porii sunt umpluți cu Cu (ρ prescris) și cantitatea de Cu de adăugat (MCu)).

Tabelul 4

Nr. cr.	p, GPa	ρ , kg/m ³	P, %	ρ_{prescris} , kg/m ³	MCu, 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

Stearatul de zinc folosit pentru presare este eliminat la sinterizare. În porii presatelor rămâne porozitatea P, în care se poate infiltra o cantitate de Cu.

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

Adăugând cantitatea de Cu, M_{Cu} , în locul porozității, rezultă o nouă densitate $\rho_{prescris}$ de interes în cercetare. Cantitatea de Cu adăugată prin infiltrație este proporțională porozității, scăzând odată cu aceasta de la 4,4 g la respectiv 2,4 g, iar densitatea rezultantă crește de la 13.581 kg/m³ la respectiv 15.248 kg/m³, rezultat al densității inițiale, care se apropie de cea teoretică (17.563 kg/m³).

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 densității în medie cu 1,00 %, porozitatea crește cu 7,90 %, cantitatea de cupru scade de la 5,1 g la respectiv 1,4 g și densitatea $\rho_{prescris}$ crește de la 10.973 kg/m³ la respectiv 11.738 kg/m³, apropiindu-se de cea teoretică (12.378 kg/m³).

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

Și în acest caz se remarcă scăderea densității în medie cu 5,67 %, porozitatea crește cu 10,83 %, cantitatea de cupru scade de la 6,0 g la respectiv 2,2 g și densitatea $\rho_{prescris}$ crește de la 10.416 kg/m³ la respectiv 10.948 kg/m³, apropiindu-se de cea teoretică (11.613 kg/m³).

3. Contacte electrice

Contactele electrice au forma unui paralelipiped cu dimensiunile: l (lățime) x L (lungime) x h (grosime) = 20 x 35 x 8 mm.

Toleranțe admise: $\pm 0,1$ mm la toate dimensiunile. Masa unui contact: 62,2 g, densitate: 11.100 kg/m^3 (al celor avute ca model).

S-au realizat două variante: 1. infiltrare simultană cu sinterizare și 2. infiltrare după sinterizare.

3.1 Infiltrare simultană cu sinterizare

S-a considerat (în baza unor experiențe anterioare [6]) necesar W 42,55 % masă: 1 5 contacte $\times 62,2 \times 42,55/100 = 397 \text{ g} \sim 400 \text{ g}$.

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

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 densitățile: $\rho_W = 19.300 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{Ni} = 8.902 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{Cu} = 8.960 \text{ kg/m}^3$ [8], $\rho_{\text{stearatZn}} = 900 \text{ kg/m}^3$ [9]. Densitatea presatului, $\rho = 1/(0,5/19.300 + 0,02/8.902 + 0,48/8.960) = 11.909 \text{ kg/m}^3$, iar cu stearat de zinc, $\rho_s = 1/(0,993(0,5/19.300 + 0,02/8.902 + 0,48/8,960) + 0,007/900) = 10.969 \text{ kg/m}^3$. Densitățile sunt valabile pentru materialul compact, fără porozități.

Presarea s-a făcut într-o matriță cu dimensiunile 20 x 35 mm. Presiunea de presare: 4,50 MPa. Rezultatele presării sunt redată în tabelul 7 (Densitatea și porozitatea contactelor presate).

Tabelul 7

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

Sinterizarea și infiltrarea s-a efectuat simultan la temperatura de 1100 °C. Pentru infiltrare s-a adăugat 6,8 g Cu pe contact de 51,4 g (șarja 4) masă medie. Densitatea fiind acum 11.889 kg/m^3 , pentru calculul porozității p^* . Rezultatele apar în tabelul 8 (Densitatea medie și porozitatea după sinterizare simultană cu infiltrarea). Prin infiltrarea Cu, efectuată total, compoziția este: W 46 % masă, Ni 2 % masă și Cu 52 % masă.

Tabelul 8

Proba	$\rho_{\text{mediu}}, \text{kg/m}^3$	$\rho_{\text{mediu}^*}, \text{kg/m}^3$	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:

- pe probele 83-89 s-au așezat deasupra presate de Cu (probele 98-104). Se remarcă o mare împrăștiere a datelor experimentale la ρ_{mediu} ($s = 0,502$), respectiv ρ_{mediu^*} ($s = 0,537$). Porozitatea este mare.

- pe probele 90, 91 s-au așezat deasupra presate de Cu (probele 105-106). Infiltrarea nu a decurs satisfăcător. Porozitatea este mare.

- pe probele 92-94 s-au așezat dedesubt presate de Cu (probele 107-109). Infiltrarea a decurs satisfăcător. Porozitate mare.

- pe probele 95-97 s-au așezat deasupra și dedesubt presate de Cu (probele 110-112). Infiltrarea satisfăcătoare. Porozitate mare.

- ρ_{mediu^*} este obținut după îndepărtarea defectelor (surplus de Cu sau cratere produse de scurgerea Cu topit).

- p^* , - porozitatea după îndepărtarea defectelor.

3.2 Infiltrare după sinterizare

Șarja 5: W - 52 % masă - 520 g, Ni - 2 % masă - 20 g, Cu - 46 % masă - 460 g. La acestea s-a mai adăugat 0,7 % masă - 7 g - stearat de zinc. Omogenizarea s-a efectuat într-un borcan de 0,5 l (10 bile, $\Phi 12,7$ mm) montat pe omogenizatorul Turbula, timp de 1 oră.

Materialul compact (cu stearatul de zinc), realizat cu șarja 5, are densitatea de 12.338 kg/m³, iar fără stearatul de zinc: 12.424 kg/m³.

Presarea s-a efectuat la presiunea de 4,5 MPa. Rezultatele presării apar în tabelul 9 (Densitatea și porozitatea după presare).

Sinterizarea s-a efectuat în același cuptor cu bandă, 8 m/s, la temperaturi: Zona 1: 730 °C, respectiv Zona 2: 780 °C, timp de 1 oră. Rezultatele apar în tabelul 10 (Densitatea și porozitatea după sinterizare).

Tabelul 9

Proba	Material	ρ_{mediu} , kg/m ³	p, %
117-135	Șarja 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

Pe presate (masa medie 52,06 g) s-au pus sinterizatele de Cu (masa medie de 3,58 g), pentru umplerea porilor. Densitatea ce ar trebui să rezulte la volum compact ar trebui să fie de 12.151 kg/m³. Noua compoziție ar fi: W - 48.69 %, Ni - 1,87 și Cu - 49,44 %. Rezultatele infiltrărilor sunt redate în tabelul 11 (Densitatea și porozitatea după infiltrare).

Tabelul 11

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

Cu a umplut aproape toți porii. A rămas în exces prea puțin Cu, însă grosimea (h) a crescut semnificativ, fapt ce a dus ca densitatea să crească puțin, rămânând încă un mare volum de pori.

4. Discutarea rezultatelor

■ Pentru realizarea contactelor electrice cu 50 % Cu și 50 % W (masă) s-au realizat probe cilindrice [6] ce au stat la baza prezentei cercetări, stabilindu-se un necesar de 2 % Ni, presiunea de presare de 4,5 MPa și temperatura de sinterizare de 730-780 °C.

Se părea că se poate obține densitatea teoretică. Dimensiunile de 20 x 35 x 8 mm ale contactelor electrice ne-a dus la două variante de realizare a contactelor: infiltrare simultană cu sinterizare și infiltrare după sinterizare.

■ S-a încercat prima variantă (pe presatul de pulbere șarja 4 s-a aplicat presatul corespunzător de Cu al cărui volum urma să umple porii presatului pulbere șarja 4), fiind mai simplă, însă împrăștierea prea mare a densităților (s = 0,537), însoțită de porozitate ridicată (14,28 %), a crescut grosimea sinterizatului datorită infiltrării Cu, a necesitat testarea celei de a doua variante experimentale. Compoziția finală a primei variante tehnologice este: W – 46 %, Ni 2 - % și Cu 52 % (masă).

■ Varianta infiltrare după sinterizare conține fazele: pregătirea pulberii (șarja 5), presarea, sinterizarea (730 și 780 °C), apoi infiltrarea (se așează presatul - șarja 5, pe strat de electrocorindon EC 120; pe presatul șarja 5 se așează presatul de Cu, prin topire Cu trebuie să umple porii rămași în materialul de bază), prin introducerea la temperatura mai ridicată (1100 °C). În această variantă densitatea presatelor este destul de constantă (s = 0,062), cu o porozitate identică cu cele din varianta primă la finalul procesului (14,28 %). Prin infiltrare densitatea a crescut semnificativ (la 10.832 kg/m³, dar variațiile

densității au crescut și ele ($s = 0,174$), porozitatea însă a scăzut la 10,85 %, dar nu a dispărut. Înălțimea (h) a crescut, fapt ce a dus la scăderea densității față de cea așteptată. Densitatea atinsă nu este suficientă pentru lucrul contactoarelor (11.100 kg/m^3), însă este apropiată de valoarea așteptată. Compoziția finală a contactului este de W – 48,69 %, Ni – 1, 87 % și Cu – 49,44 % (masă). Compoziția finală conține materia din șarja 5 plus Cu adițional.

■ Este de remarcat că prin infiltrare crește grosimea pieselor, porii nu sunt ocupați de Cu, rămâne o porozitate latentă, posibil al faptului că infiltratul Cu nu udă satisfăcător materialul sinterizat, posibil sunt și pori închiși. Mărirea grosimii nu se produce cu sau în dauna celorlalte dimensiuni.

5. Concluzii

■ Din analiza și discutarea rezultatelor celor doua variante rezultă că se va aplica varianta a doua pentru producerea contactelor electrice pentru curenți intensi: infiltrare după sinterizare, întrucât densitatea finală este mai ridicată (10.832 kg/m^3), iar porozitatea finală fiind mai scăzută (10,85 %).

■ Varianta cu infiltrare după sinterizare conține 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 și 780 °C) și infiltrarea (se așează presatul pe strat de electrocorindon EC 120, peste care se așează presatul de Cu, se supune temperaturii de 1100 °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 semnificativ (la 10.832 kg/m^3 , dar variațiile densității au crescut ($s = 0,174$), iar porozitatea a scăzut la 10,85 %. Densitatea atinsă nu este suficientă pentru lucrul contactelor (11.100 kg/m^3), însă este apropiată. Compoziția finală a contactului este de W – 48,69 %, Ni – 1, 87 % și Cu – 49,44 % (masă).

■ A fost surprinzător faptul că efectuându-se cercetările pe eșantioane cilindrice în [6] când s-a trecut la contactele electrice reale de dimensiuni mult mai mari, tehnologia pilot experimentată nu mai era valabilă în totalitate decât numai în principiu.

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, p. 76-79.
- [2] Böning, M., *Tungsten-Copper for SF6 circuit breakers*, Online [<http://www.plansee.com/en/Products-electrical-contacts-Tungsten-copper-WCu-58.hrm?gclid=CIPILn9ySk8QCFUHIaodxmgAAA>] (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, p. 337.
- [6] Arghir, G., Brândușan, L., *Cercetare pilot pentru producerea contactelor electrice pentru curenți intensi prin metalurgia pulberilor*, Știință și Inginerie, An XV, Vol. 28/2015, p. 421-428. ISBN 9772067 713001.
- [7] Arghir, G., Brândușan, L., Bărăian, M., Petean, I., Batin, G., *Contacte electrice produse prin metalurgia pulberilor, pentru curenți intensi*, Inginerie – Cugir, Ediția III-a, Cugir, 2015, Editura Grinta, Cluj-Napoca, 2015, p. 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.

Prof. Em., Dr. Ing., Dipl. Fiz. George ARGHIR
Prof., Dr. Ing. Liviu BRÂNDUȘAN
Dr. Ing. Marius BĂRĂIAN
Asistent Dr. Ing. Gabriel BATIN
Asistent Cerc., Dr. Ing. Ioan PETEAN
Universitatea Tehnica din Cluj Napoca
membri AGIR