

Universitatea POLITEHNICA din București



Ing.dipl. Vasile AVRAM

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL OBTINERII ȘI PROCESĂRII
ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE INOVATIVE**

/

**ENGINEERING AND MANAGEMENT OF OBTAINING AND
PROCESSING INNOVATIVE ANTI-FRICTION ALLOYS**

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.univ.dr.ing.Florin MICULESCU	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing.ec Augustin SEMENESCU	
Referent	Prof.univ.dr.ing. Rodica ION	Universitatea "VALAHIA" din Târgoviște
Referent	Prof.univ.dr.ing.ec. Laura BACALI	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
Referent	Prof.univ.dr.ing. Nicolae CONSTANTIN	Universitatea POLITEHNICA din București

- 2022 -

CUPRINS

INTRODUCERE	4
PARTEA a I-a INGINERIA OBȚINERII SI PROCESARII ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE INOVATIVE.....	5
Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE	5
1.1. Rolul aliajelor antifricțiune. Cerințe funcționale	5
1.2. Aliaje antifricțiune pe bază de Sn și Pb	5
1.2.1. Aliajul de staniu Y-Sn83	6
1.2.2. Aliajul Y-PbSn10.....	6
1.3. Tendințe privind aliajele antifricțiune la nivel mondial.....	6
Capitolul 2. ÎMBUNĂȚĂȚIREA CARACTERISTICILOR ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB PRIN MICROALIERE	7
2.1. Metode de îmbunătățire a proprietăților aliajelor antifricțiune.....	7
2.2. Influența elementelor de microaliere asupra structurii aliajelor	7
2.3. Efectul elementelor de microaliere în aliajele antifricțiune de Sn și Pb.....	7
2.4. Materii prime si echipamente utilizate pentru obținerea aliajelor microaliate Y-Sn83 și Y-PbSn10.....	8
2.4.1. Materii prime și materiale. Echipamente utilizate.....	8
2.4.2. Elaborarea aliajelor antifricțiune YSn83 si YPbSn10	8
2.4.2.1. Elaborarea aliajelor antifricțiune Y-Sn83	8
2.4.2.2. Elaborarea aliajelor antifricțiune Y-PbSn10.....	8
Capitolul 3. MICROALIEREA ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB CU MISHMETAL. STUDIU DE CAZ.	9
3.1. Elaborarea aliajelor microaliate	9
3.2. Analiza metalografică a probelor de aliaje antifricțiune elaborate	9
3.2.1. Analiza metalografică a probelor de aliaj YSn83	9
3.2.2. Analiza metalografică probe aliaj YPbSn10.....	10
3.3. Caracterizarea mecanică a aliajelor antifricțiune aliate cu mischmetal	11
Capitolul 4. MICROALIEREA ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB CU CALCIU SI MAGNEZIU	13
4.1. Analiza chimica a aliajelor elaborate	13
4.2. Analiza metalografica probe de aliaje antifricțiune elaborate	14
4.2.1. Analiza metalografică probe de aliaj YSn83	14
4.2.2. Analiza metalografică a probei din aliajul YPbSn10	15
4.3. Caracterizarea microstructurală a aliajelor antifricțiune Y-Sn83 și Y-PbSn10 microaliate cu Ca si Mg	15
4.4. Analiza prin difracție cu raze X a probelor microaliate de Ca și Mg	20
Capitolul 5. CARACTERIZAREA TRIBOLOGICĂ A ALIAJELOR YSN83 ȘI YPBSN10 MICROALIAȚE CU CALCIU ȘI MAGNEZIU.....	23
PARTEA a II-a – MANAGEMENTUL PRODUCERII ȘI COMERCIALIZAREA PE PIAȚA NAȚIONALĂ ȘI INTERNAȚIONALĂ A ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE INOVATIVE.....	26

Capitolul 6. ELEMENTE DE MANAGEMENT APLICABILE ÎN PRODUCȚIA ALIAJELOR NEFEROASE	26
6.4. Managementul proceselor de producție	26
6.4.1. <i>Definirea managementului producției. Caracteristici principale</i>	26
6.5. Concluzii	27
Capitolul 7. PIAȚA INTERNAȚIONALĂ, PRODUCȚIA ȘI CONSUMUL DE METALE NEFEROASE COMUNE ÎN PERIOADA 2001 - 2021	28
7.1. Evoluția producției, consumului și prețului metalelor neferoase pe piața mondială în perioada 2019-2021	28
7.2. Concluzii	29
Capitolul 8. PLAN DE AFACERI PENTRU ALIAJE ANTIFRICȚIUNE PE BAZĂ DE STANIU ȘI PLUMB.....	30
8.1. Obiective	30
8.2. Resurse umane	30
8.2.1. <i>Conducerea /managementul firmei</i>	30
8.3. Planul de marketing și vânzări	30
8.3.1. <i>Politica de produs</i>	30
8.3.2. <i>Politica de distribuție</i>	30
8.3.4. <i>Politica de preț</i>	31
8.3.5. <i>Segmentul de piață țintă</i>	31
8.4. Analiza operațională	31
8.4.1. <i>Procesul de producție/furnizare</i>	31
8.4.2. <i>Echipamente, tehnologie și facilități</i>	31
8.5. Managementul riscurilor	31
8.5.1. <i>Identificarea riscurilor</i>	31
8.5.2. <i>Evaluarea riscurilor</i>	32
8.6. Bugetul planului de afaceri	32
8.7. Aplicabilitatea planului de afaceri / Sustenabilitate in raport cu domeniul de studiu ..	32
8.8. Inovarea sociala	32
Capitolul 9. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	33
9.1. Concluzii	33
9.2. Contribuții personale.....	34
BIBLIOGRAFIE (Selectivă)	36

INTRODUCERE

Pe parcursul duratei lor de viață toate materialele antifricțiune sunt expuse în mod repetat sau ocazional la o serie de factori distructivi din mediu. Acești factori distructivi pot acționa individual sau simultan astfel încât structurile materialelor antifricțiune se modifică în mod gradual și ireversibil. Implicațiile acestor modificări conduc la scăderea performanțelor materialelor antifricțiune până în punctul inutilității acestora. Materialele antifricțiune pot fi utilizate fie ca produse individuale, fie ca părți componente ale unor dispozitive expuse neprotejat în mediu.

Indiferent de situație materialele antifricțiune suferă în timp procese distructive. Datorită acestui aspect, este necesară acumularea și aprofundarea cunoștințelor legate de structura și caracterizarea materialelor antifricțiune pentru a putea interveni în mod eficient în procesele de stabilizare și evaluare a duratei de viață (life-time prediction). O cunoaștere aprofundată a acestor aspecte prezintă și utilitate practică pentru o planificare corectă a mentenanței echipamentelor confecționate din materiale antifricțiune și argumentarea acesteia din punct de vedere științific. Astfel, este necesară acumularea de cunoștințe avansate legate de structura, proprietățile, condițiile de funcționare ale dispozitivelor și echipamentelor confecționate din materiale. Astfel, este necesară acumularea de cunoștințe avansate asupra, lucru care m-a preocupat încă de pe băncile facultății. Menționez ca am absolvit Facultatea de Metalurgie a Institutului Politehnic București, secția Mineralurgie în anul 1984 și de la absolvire până în prezent mi-am desfășurat activitatea profesională în domeniul metalurgic.

În anul 2013 am înființat firma SC MELBA METALURGICAL SRL care se ocupă cu producerea și comercializarea aliajelor antifricțiune YSn83 și YPbSn10. În obținerea acestor aliaje avem o bună colaborare cu Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Metale Neferoase și Rare -IMNR. Firma se adresează unor segmente industriale cum ar fi: calea ferată, industria cimentului, industria energetică, etc. Am reușit să exportăm aliajul YPbSn10 în Germania.

Pentru a ne distanța mai mult de concurență, am identificat în preocupările noastre o posibilitate de îmbunătățire a celor două aliaje YSn83 și YPbSn10. În acest sens au fost depuse la OSIM 2 cereri de Brevet de Invenție.

PARTEA a I-a INGINERIA OBTINERII SI PROCESARII ALIAJELOR **ANTIFRICȚIUNE INOVATIVE**

Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE

1.1. Rolul aliajelor antifricțiune. Cerințe funcționale

Sub denumirea de aliaje antifricțiune sunt cunoscute aliajele folosite la fabricarea cuzinetelor pentru lagăre. Lagărele sunt organe de mașini pe care se reazemă fusurile, de o deosebită importanță pentru toate categoriile de mașini și mecanisme (motoare, mașini unelte, etc.). Prin intermediul suprafețelor de alunecare, ele preiau forțele radiale, axiale sau combinate ale arborelui, permițându-i mișcări de rotație sau de oscilație. Marea diversitate a mașinilor și mecanismelor necesită diferite tipuri de lagăre variate atât din punct de vedere constructiv cât și din punct de vedere al materialelor de execuție.

O grupă importantă de materiale antifricțiune este aceea a aliajelor constituite dintr-o masă (matrice) moale cu incluziuni dure, aliajele reprezentative fiind compozițiile de lagăre cu conținut ridicat de *staniu*, respectiv de *plumb*.

Lucrarea elaborată are ca principal obiectiv studii și cercetări privind microalierea aliajelor antifricțiune pe bază de staniu (aliajul Y-Sn83) și pe bază de plumb (Y- PbSn10), cu o serie de elemente pentru îmbunătățirea structurii și proprietăților acestora.

Tema abordată are caracter multidisciplinar, necesitând cunoștințe teoretice de ingineria materialelor (elaborarea aliajelor neferoase), analize fizico-chimice și structurale, rezistența materialelor și tribologie, permițând contribuții proprii în domeniul aliajelor antifricțiune, în aplicații efective și produse finite (lagăre, cuzineți etc.).

Pereteii cuplurilor de frecare (fus – cuzinet) trebuie să reziste acțiunii complexe a factorilor de lubrifiere prin natura și prin caracteristicile materialelor lor. Din această cauză, se cunosc mai multe feluri de materiale, numite și *antifricțiune*, care permit rezolvarea de la caz la caz, în condițiile cele mai favorabile, a problemelor legate de construcția cuplurilor de frecare [1-3].

1.2. Aliaje antifricțiune pe bază de Sn și Pb

Aliajele antifricțiune pe baza de staniu sau plumb sunt considerate printre cele mai bune materiale metalice pentru lagăre, fiind caracterizate prin diferite metode [3,5,6].

Aliajele antifricțiune pe bază de staniu și plumb mai conțin și o serie de alte elemente ca: Sb, Cu, Ca, Li, Sr, Ba, Mg etc. [5, 6, 14,16]

Ele se folosesc, în general, depuse pe un strat de bronz sau oțel, prin turnare centrifugă, întrucât nu posedă proprietăți mecanice ridicate. Obținerea acestor aliaje implică alegerea compozițiilor chimice corecte și a condițiilor de turnare, condiții care să permită formarea constituentilor duri, uniform distribuiți și intim integrați în masa metalică de bază.

1.2.1. Aliajul de staniu Y-Sn83

Cele mai vechi aliaje antifricțiune pe bază de staniu sunt cunoscute de la începutul secolului XIX, fiind constituite din Sn și Sb. Actualele aliaje din această categorie datează din 1839, fiind numite și "babbite" după Babbitt, care a propus pentru prima dată următoarea compoziție chimică a lor: 89,5% Sn, 8,8% Sb și 1,7% Cu. După această formulă de bază au fost create o serie de variante, în funcție de efectele de structură, metalurgice și tehnologice, economiile de materiale deficitare etc. [3, 13, 15,16].

1.2.2. Aliajul Y-PbSn10

Matricea moale a structurii unui aliaj poate fi obținută și cu ajutorul plumbului, care posedă proprietăți mecanice asemănătoare cu ale staniului. Pentru obținerea fazelor dure se folosesc în mod curent stibiul și staniul. De asemenea, pot fi obținute incluziuni dure cu ajutorul elementelor As, Cd, elemente alcaline și alcalino-pământoase ca de exemplu: Ca, Ba, Na, K [3, 5, 6, 24]

În România, sunt standardizate următoarele aliaje antifricțiune de Pb:

Y-PbSn10: Sn: 10 %, Sb: 15% , Cu: 1%, Pb – rest;

Y-Pb98 : Ca: 0,7%, Na: 0,7% , 0,3% Mg , Pb – rest.

Având proprietăți mecanice apropiate de cele ale aliajului Y-Sn83, materialul antifricțiune Y-PbSn10 se folosește în special sub formă de strat subțire (0,5-1,0 mm) aplicat pe carcase de oțel la fabricarea de cuzineți și lagăre pentru unele tipuri de motoare.

După compoziția chimică, Y-PbSn10 este un aliaj cuaternar, în care elementele de aliere sunt stibiul și cuprul: 9,5-12 % Sn, 14,5-16,5 % Sb, 0,5-1,5 % Cu, rest Pb.

Din punctul de vedere al structurii, aliajul Y-PbSn10 este astfel format dintr-o matrice relativ moale, constând din eutecticul binar $\alpha + \beta$, în care soluția solidă ternară sau binară de plumb α este faza cu duritatea cea mai mică. În această matrice apare faza eutectică ternară $\alpha + \beta + \delta$, sub formă de mici linii. Constituenții duri propriu-ziși ai aliajului sunt compușii definiți SnSb și Cu₂Sb, ambii în faze de cristalizare primară.

1.3. Tendințe privind aliajele antifricțiune la nivel mondial

Literatura de specialitate prezintă câteva materiale metalice antifricțiune pentru aliajele de interes. În prezent, în ceea ce privește dezvoltarea de tehnologii noi de prelucrare a materialelor, se practică obținerea unei piese de bază din materialul necesar și apoi aplicarea de acoperiri necesare pentru îmbunătățirea proprietăților suprafeței acestuia [40]. Această abordare asigură obținerea proprietăților necesare suprafeței produsului rezultat, extinzând funcționalitatea acestuia [41], rezultând astfel materiale hibride.

Totodată cercetările efectuate pe parcursul acestei teze de doctorat au darul de a umple golurile existente la momentul actual în literatura de specialitate, privind aliajele antifricțiune și microalierea acestora în vederea îmbunătățirii proprietăților acestora.

Capitolul 2. ÎMBUNĂȚIREA CARACTERISTICILOR ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB PRIN MICROALIERE

2.1. Metode de îmbunătățire a proprietăților aliajelor antifricțiune

În literatura de specialitate sunt recomandate următoarele metode de îmbunătățire a caracteristicilor antifricțiune ale aliajelor pe bază de Sn și Pb [1-4]:

- a. minimizarea conținutului de impurități (în cazul aliajului YSn83 – minimizarea în special a conținutului de Pb);
- b. optimizarea compoziției de bază a aliajelor;
- c. microalierea.

Minimizarea conținutului de impurități în aliajele antifricțiune

Pb prezent în Y-Sn83 are tendința de a precipita și de a acoperi cristalele de compus SbSn, conducând la micșorarea rezistenței acestora. Plumbul, de asemenea, formează un eutectic cu Sn și Sb cu o temperatură de topire de 183° C. Dacă aliajul conține Cd (ca microelement de aliere), se formează un eutectic Pb-Cd cu o temperatură de topire mai mică de 145° C.

Optimizarea compoziției de bază a aliajelor

Prin varierea conținutului elementelor de aliere, în anumite limite, cuprinse în compozițiile standardizate, se pot îmbunătăți suplimentar unele proprietăți tehnice precum: rezistența la compresiune, la uzură, la coroziune, prelucrabilitatea prin așchiere etc.

Microalierea - Una din cele mai uzitate metode de îmbunătățire a caracteristicilor tehnice a aliajelor antifricțiune o constituie microalierea.

2.2. Influența elementelor de microaliere asupra structurii aliajelor

În numeroase cazuri, topiturile metalice sunt supuse, înainte de turnare, unor tratamente, pentru a modifica condițiile de solidificare, structura rezultată și comportarea mecanică a produselor obținute [4-9].

2.3. Efectul elementelor de microaliere în aliajele antifricțiune de Sn și Pb

Elementele de microaliere/modificatoare în aliajele antifricțiune pe bază de staniu și plumb au următoarele efecte [4-6]:

Arseniul- Are rol de agent de nucleere (germinare) pentru rafinarea cristalelor de SbSn.

Nichelul - Ni ca element de microaliere a fost detectat exclusiv în cristalele Cu₆Sn₅. Singurul efect posibil al Ni, și care datorită cantităților mici utilizate poate fi neglijat – constă într-o durificare suplimentară ca urmare a amestecului cristalelor de Cu₆Sn₅

Cadmiul - Este utilizat pentru durificarea matricei aliajului, ceea ce conduce la creșterea rezistenței la compresiune.

2.4. Materii prime si echipamente utilizate pentru obținerea aliajelor microaliate Y-Sn83 și Y-PbSn10

Studiul obținerii aliajelor YSn83 și YPbSn10 prin microaliere cu pământuri rare este obiectul acestui capitol. Obținerea acestor aliaje a fost realizată în instalația de producere a aliajelor metalice și a materialelor compozite, conform invenției Brevet RO132816-B1.

2.4.1. Materii prime și materiale. Echipamente utilizate

Materiile prime și materialele utilizate în lucrările experimentale de elaborare a aliajelor antifricțiune sunt: Sn, Sb, Cu și Pb.

Prealiaje

La elaborarea aliajelor antifricțiune din sistemele considerate s-au utilizat, în afară de metale elementare și prealiaje: Cu-Sb respectiv Pb-Sb.

2.4.2. Elaborarea aliajelor antifricțiune YSn83 și YPbSn10

Aliajele antifricțiune YSn83 și YPbSn10 au fost obținute în instalația descrisă anterior utilizând parametrii care vor fi prezentați în această secțiune. Am stabilit să elaborez cantități mici pentru a putea efectua experimentările necesare și pentru a studia eficiența metodei propuse. Prin urmare, cantitatea de aliaje YSn83 și YPbSn10 elaborate: ≈ 100 g/șarjă.

Pierderile de metale prin ardere se iau între limitele prezentate în Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Pierderi de metale prin ardere la elaborarea aliajelor de staniu și plumb

Element	Sn	Pb	Cu	Sb	Mn
%	0,5...1	0,5...1	0,5	0,5	5...10

2.4.2.1. Elaborarea aliajelor antifricțiune Y-Sn83

Încărcătura este compusă din următoarele materiale:

Element	Prealiaj CuSb50	Sb	Sn	Cărbune
g	12,2	5,0	84,0	10

2.4.2.2. Elaborarea aliajelor antifricțiune Y-PbSn10

Încărcătura este compusă din următoarele materiale:

Element	Prealiaj CuSb50	Prealiaj PbSb50	Sn	Pb	Cărbune
g	2,2	29,0	11,2	59,0	10

În capitolele următoare vom descrie microaliera aliajelor de bază cu mai multe elemente și vom analiza rezultatele obținute.

Capitolul 3. MICROALIEREA ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB CU MISHMETAL. STUDIU DE CAZ.

3.1. Elaborarea aliajelor microaliate

Am decis microalierea aliajelor antifricțiune cu mischmetal. Mischmetalul a fost ales pentru a studia efectul pe care acesta îl are asupra microstructurii și a proprietăților aliajelor antifricțiune selectate. Mischmetalul are o compoziție descrisă în tabelul 3.1.

Tabel 3.1. Compoziția mischmetalului utilizat în experimentări

Element	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Yt	Fe, Si, P (suma)	Altele (suma):
[% gr]	Bal. (53,8)	24,5	11,4	5,6	1,8	1,5	1,4	< 0,1

*altele: Sc, Ca, Ba, Al

Pentru elaborarea aliajului YPbSn10 microaliat cu mischmetal, materialele se încarcă în ordinea următoare: prealiajul cupru-stibiu, stibiul și 2/3 din cantitatea totală de plumb. Materialele încărcate se acoperă cu un strat de cărbune uscat. După topirea încărcăturii și supraîncălzirea aliajului până la temperatura de 600-700°C, se îndepărtează de la suprafața zgura, oxizii și resturile de cărbune nears și se încarcă restul de plumb și la sfârșit cantitatea de staniu. După amestecare, aliajul se menține 10-15 minute, se amestecă din nou și se toarnă la o temperatură de 500-550°C în cochilă metalică.

Încărcătura este compusă din următoarele materiale:

Element	Prealiaj CuSb50	Prealiaj PbSb50	Sn	Pb	Prealiaj PbMm10
g	2,2	29	11,2	48	11,2
Pb-Mm	Topire cu inducție în creuzet de cuarț* sub atmosferă de Ar uscat și purificat (< 5 ppm O ₂ , H ₂ O), la 800°C [3] Încărcătura: 18 g Pb, 2 g Mm				9,25...9,75 % ≈ 10 % Mm (suma TR)

Pentru microaliere se procedează identic cu elaborarea aliajului YPbSn10. După ce se încarcă restul de plumb și cantitatea de staniu, și un timp de menținere de 10-15 min., se introduce prealiajul PbMm, se amestecă 1-2 min. și se toarnă la o temperatură de 500-550°C în cochilă metalică.

3.2. Analiza metalografică a probelor de aliaje antifricțiune elaborate

3.2.1. Analiza metalografică a probelor de aliaj YSn83

Aliajele astfel elaborate au fost analizate din punct de vedere chimic, iar rezultatele analizei chimice sunt prezentate în tabelul 3.4.

Tabel 3.4. Compoziția chimică determinată a probelor analizate

Denumire proba	Conținutul de Mm [%wt]	Sn	Cu	Sb	Pb	Zn	Fe	Al	Mm	altele*
YSM 1	0,1	bal	6,03	11,34	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,09	<0,01
YSM 2	0,2	bal	5,97	11,68	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,18	<0,01
YSM 3	0,5	bal	5,88	11,08	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,48	0,02
YSM 4	1,0	bal	5,96	10,85	0,02	<0,01	0,02	<0,01	0,93	0,02

În figura 3.1 este prezentată microstructura aliajului de bază YSn83. Observăm o structură formată din ace sau lamele de Cu_6Sn_5 și din cuburi de SnSb înglobate într-o masă de eutectic ternar format din soluție solidă α , Sn și compusul intermetalic Cu_4Sn [4]. În figura 3.2 este prezentat aliajul de bază, YSn83, la o mărire mai mare pentru a evidenția compusul cuboid Cu_4Sn . În figura 3.3. este prezentată microstructura aliajului YSM1 în care se poate observa faza Cu_6Sn_5 întrepătrunsă în cuboizii de SnSb. Este în continuare vizibilă masa de eutectic ternar format din soluție solidă α Sn(Sb).

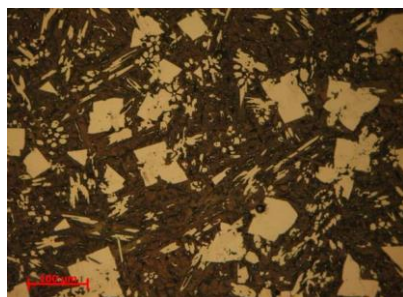


Fig.3.1. Microstructura aliajului YSn83 turnat (200 \times)



Fig. 3.2. Microstructura aliajului YSn83 turnat (900 \times)

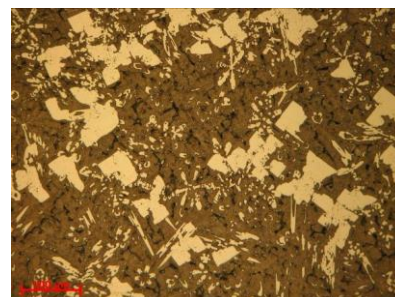


Fig.3.3. Microstructura aliajului YSM1 (200 \times)

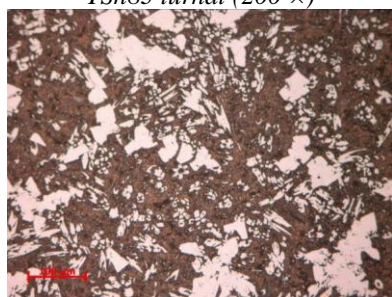


Fig. 3.4. Microstructura aliajului YSM2 (200 \times)

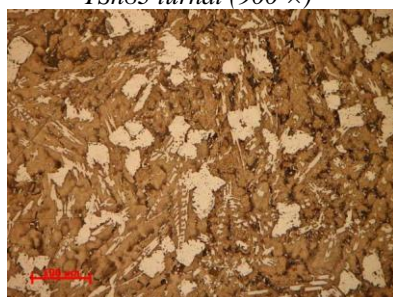


Fig. 3.5. Microstructura aliajului YSM3 (200 \times)

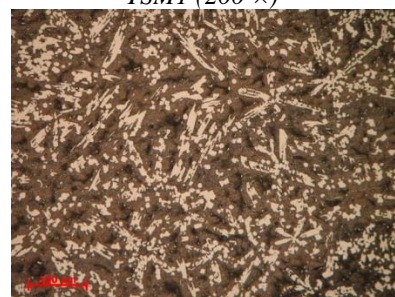


Fig. 3.6. Microstructura aliajului YSM4 (200 \times)

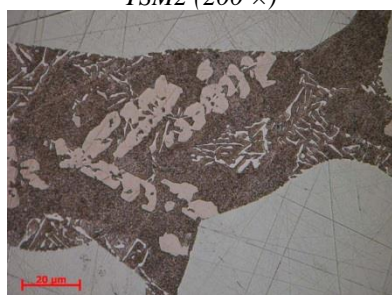


Fig. 3.7. Detaliu microstructura aliajului YSM4 (900 \times)



Fig. 3.8. Evoluția microstructurii aliajului de bază (a) și a aliajului microaliat YSM4 (b)

În figura 3.5 și 3.6 sunt prezentate microstructurile probelor YSM3 și YSM4 în care sunt evidențiate cristalele aciculare de compus Cu_6Sn_5 . În aceste două microstructuri nu au mai fost puse în evidență cristale albe, pătratice, de compus SbSn.

În figura 3.7 este prezentat un detaliu al microstructurii probei YSM4, cu cel mai mare conținut de mischmetal. În figura 3.8 se poate observa un detaliu al evoluției microstructurii de la aliajul de bază la cel microaliat cu 1% mischmetal. Se poate observa structura modificată precum și absent compușilor cuboizi de tip SnSb.

3.2.2. Analiza metalografică probe aliaj YPbSn10

Aliajele astfel elaborate au fost analizate din punct de vedere chimic iar rezultatele analizei chimice sunt prezentate în tabelul 3.5.

Tabel 3.5. Compoziția chimică determinată a probelor analizate

Denumire proba	Cantitatea de Mm [%wt]	Pb	Sb	Sn	Cu	Zn	Fe	Al	Mm	Altele*
YPM 1	0,1	bal	6,03	11,34	0,93	<0,01	0,01	<0,01	0,09	<0,01
YPM 2	0,2	bal	5,97	11,68	1,08	<0,01	0,01	<0,01	0,21	<0,01
YPM 3	0,5	bal	5,88	11,08	0,92	0,02	0,02	<0,01	0,49	0,02
YPM 4	1,0	bal	5,96	10,85	1,12	0,01	0,02	<0,01	1,05	0,03

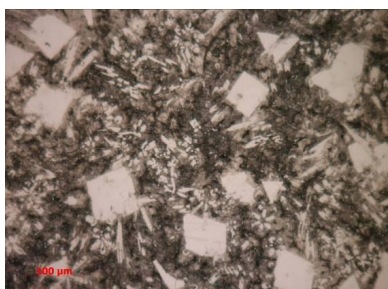


Fig. 3.9. Microstructura aliajului YPbSn10 turnat (200 X)

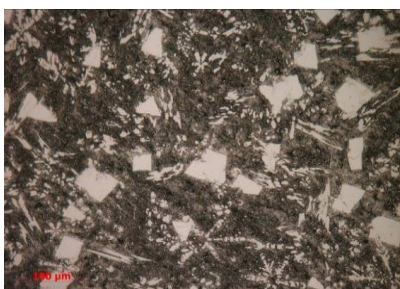


Fig. 3.10. Microstructura aliajului YPM1 (200 ×)

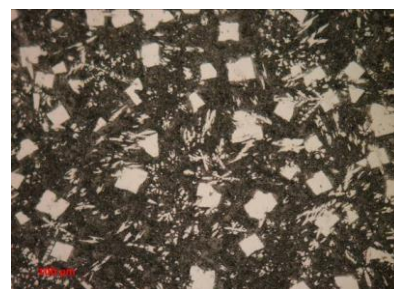


Fig. 3.11. Microstructura aliajului YPM2 (200 ×)

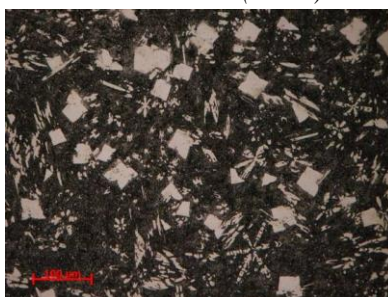


Fig. 3.12. Microstructura aliajului YPM3 (200 ×)



Fig. 3.13. Microstructura aliajului YPM4 (200 ×)



Fig. 3.14. YPM4 microaliat cu 1,0 % Mm (900 ×)

Structura este formată din bastonașe și ace de Cu_2Sb și din cuburi de $SnSb$ înglobate într-un amestec de faze de eutectic binar și ternar, ce formează matricea moale a aliajului. În figura 3.10 se pot observa primele modificări. În matricea aliajului se observă descreșterea cuboizilor și apariția unor structuri lamelare și șiruri de compuși.

3.3. Caracterizarea mecanică a aliajelor antifricțiune aliate cu mischmetal

Determinarea durității Brinell a aliajelor antifricțiune elaborate s-a efectuat cu ajutorul unui durimetru WPM model HPO 3000, Germania. Măsurătorile au fost efectuate în următoarele condiții:

Forța de apăsare [daN]	D [mm]	Durata de menținere [s]	Temperatura [°C]
250	10	60	20 , 50±1 , 100±2

În Fig. 3.15 și Fig. 3.16 sunt prezentate diagramele cu variația durității aliajelor antifricțiune funcție de conținutul elementului de microaliere

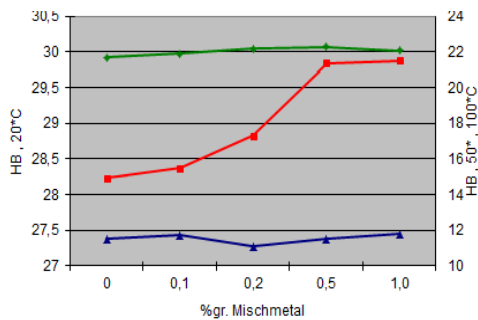


Fig. 3.15. Duritatea aliajelor YSn83 microaliate

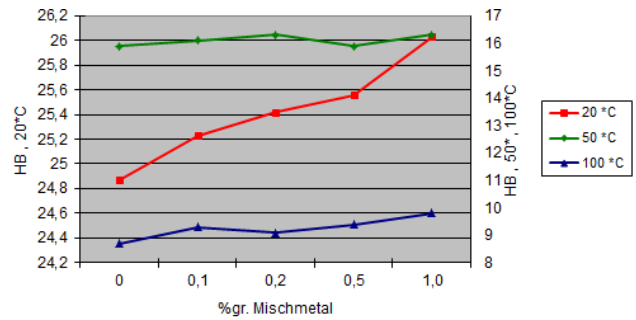


Fig. 3.16 Duritatea aliajelor YPbSn10 microaliate

3.4 Determinarea rezistenței la compresiune

Rezistența la deformare prin compresiune dinamică a aliajelor *YSn83* și *YPbSn10* s-a determinat prin metoda refulării.

Variația rezistenței la compresiune a aliajelor Y-Sn83 și Y-PbSn10 funcție de conținutul de element de microaliere este prezentată în Fig. 3.17 respectiv Fig. 3.18.

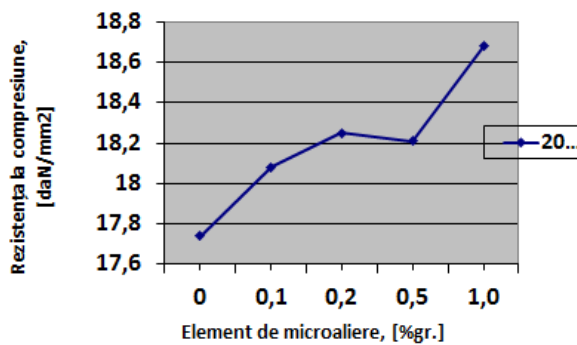


Fig. 3.17. Rezistența la compresiune a aliajelor Y-Sn83 microaliate

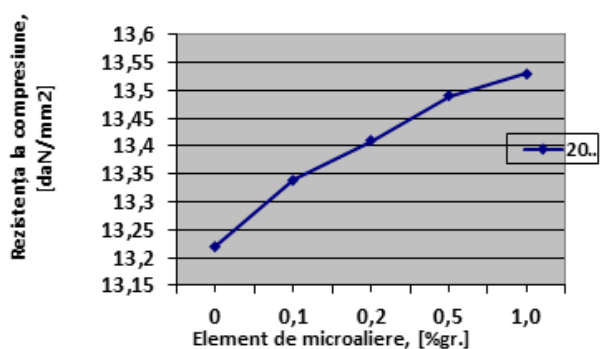


Fig. 3.18. Rezistența la compresiune a aliajelor Y-PbSn10 microaliate

Creșterea gradului de dispersie a fazei dure în matricea moale a aliajelor poate fi consecința creșterii durității HB a aliajelor cu 3 – 5 % și a rezistenței la compresiune cu 3 – 6%.

Cu creșterea temperaturii scade valoarea durității, consecință a unor posibile fenomene de recristalizare ce au loc în timpul încălzirii probelor – este cunoscut faptul că aliajele de Sn și Pb prezintă temperaturi de recristalizare relativ scăzute.

Capitolul 4. MICROALIEREA ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE PE BAZA DE STANIU SI PLUMB CU CALCIU SI MAGNEZIU

4.1. Analiza chimica a aliajelor elaborate

Aliajele YSn83 microaliate cu Ca și respectiv Mg au fost obținute utilizând același mod de lucru ca pentru aliajele YSn83 aliate cu mischmetal. Acest mod de lucru a fost prezentat pe larg în capitolul 3, subcapitolul 3.1.

Pentru a reduce prețul de cost al aliajelor antifricțiune pe bază de staniu, o parte din staniu este înlocuit cu plumb, realizându-se aliaje cuaternare Sn-Pb-Sb-Cu. Aliajele care au un conținut mai mic de staniu se durifică, de obicei, prin adaosuri de alte elemente, care formează faze intermediare, ca de exemplu: As, Cd, Te, Ni. Adaosurile de As, Cd sau Te formează noi constituenți duri, care îmbunătățesc proprietățile de antifricțiune ale aliajelor și permit să se reducă conținutul de Sb. Aceste aliaje au fost propuse pentru brevetare [1].

Compoziția calculată a aliajului YSn83 microaliat cu Ca respectiv Mg este prezentată în tabelul 4.1.

Tabel 4.1. Compoziția aliajului YSn83 microaliat cu Ca respectiv Mg

Marca aliajului	Compoziție chimică % gr.								
	Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Mg	Ca	Alte elemente	Impurități
Y-Sn83Ca	82-84	10-12	5,5-6,5	-	-	-	0,2-0,5	-	0,25
YSn83Mg	82-84	10-12	5,5-6,5	-	-	0,2-0,5	-	-	0,25

Aliajele YPbSn10 microaliate cu Ca respectiv Mg au fost de asemenea obținute în același fel în care au fost produse aliajele YPbSn10 microaliate cu mischmetal. Modul de obținere și aparatura utilizată au fost descrise pe larg în capitolul 3, subcapitolul 3.1. Elaborarea aliajelor microaliate.

În tabelul 4.2 sunt prezentate compozițiile calculate pentru aliajul YPbSn10 microaliat cu Ca respectiv Mg.

Tabel 4.2. Compoziția aliajului YPbSn10 microaliat cu Ca respectiv Mg

Marca aliajului	Compoziție chimică % gr.								
	Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Mg	Ca	Alte elemente	Impurități
YPbSn10Ca	9,5-12	14,5-6,5	0,5-1,5	Rest	-	-	0,2-0,5	-	Max 0,2
YPbSn10Mg	9,5-12	14,5-6,5	0,5-1,5	Rest	-	0,2-0,5	-	-	Max 0,2

Pentru a identifica probele, în continuare s-au utilizat următoarele notații, prezentate în tabelul 4.3.

Tabel 4.3 Notații utilizate pentru identificarea probelor

Denumirea aliajului	Denumirea probei
YSn83	YS0
YSn83Ca0,2	YS1
YSn83Mg0,2	YS2
YPbSn10	YP0
YPbSn10Ca0,2	YP1
YPbSn10Mg0,2	YP2

4.2. Analiza metalografică probe de aliaje antifricțiune elaborate

4.2.1. Analiza metalografică probe de aliaj YSn83

Aliajele elaborate au fost analizate din punct de vedere chimic iar rezultatele analizei chimice sunt prezentate în tabelul 4.4.

Tabel 4.4. Compoziția chimică determinată a probelor analizate

Denumire proba	Sn	Cu	Sb	Pb	Zn	Fe	Al	Ni	Mo	Ca	Mg	altele*
YS1	baza	6,9	11	0,44	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,22	-	<0,01
YS 2	baza	6,32	10,7	0,46	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	0,23	<0,01

În figura 4.1 este prezentată microstructura aliajului de bază YSn83. Observăm o structură formată din ace sau lamele de Cu_6Sn_5 și din cuburi de SnSb înglobate într-o masă de eutectic ternar format din soluție solidă α , Sn și compusul intermetalic Cu_4Sn [3]. În figura 4.2 este prezentată microstructura probei YS1 în care putem observa compuși duri de tip CaSn_3 distribuiți uniform în matricea aliajului. Calciul formează compuși duri de CaSn_3 și are o toxicitate scăzută. De asemenea magneziu formează compusul MgSn_2 , compus dur și, de asemenea are o toxicitate scăzută.

Aceste elemente pot segrega la granițele grăunților(cristale)/dendrite și reducând energia de interfață grăunte/dendrită, frânează mișcarea sau alunecarea granițelor. În plus, pot contribui la îndepărtarea impurităților (cum ar fi sulful, fosforul, etc.), schimba proprietățile, forma și distribuția incluziunilor și astfel îmbunătăți proprietățile tehnologice ale aliajelor.

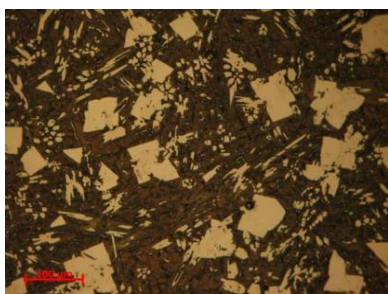


Fig.4.1. Microstructura aliajului YS0 turnat (200 ×)



Fig. 4.2. Microstructura probei YS1 (100x)



Fig. 4.3. Microstructura probei YS2 (100x)

În proba YS2, microaliată cu magneziu se poate observa compusul dur MgSn_2 și un eutectic fin lamelar, distribuit uniform în toată matricea aliajului de bază. În analizele de microscopie electronică ce vor fi prezentate ulterior vom identifica compusul ce apare în aceasta microstructură.

4.2.2. Analiza metalografică a probei din aliajul YPbSn10

Aliajele elaborate au fost analizate din punct de vedere chimic iar rezultatele analizei chimice sunt prezentate în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Compoziția chimică determinată a probelor analizate

Denumire proba	Pb	Cu	Sb	Sn	Zn	Fe	Al	Ni	Mo	Ca	Mg	altele*
YP1	baza	1,03	13,5	8,7	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,23	-	<0,01
YP2	baza	1,19	13,9	7,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	0,21	<0,01

Pentru această teză de doctorat au fost alese elementele Ca și Mg pentru microaliere. Ca formează compuși duri de CaPb_3 și are o toxicitate scăzută. De asemenea Mg formează compusul dur MgPb_2 și, de asemenea, are o toxicitate scăzută. Aceste elemente pot segrega la grănițele grăunți(cristale)/dendrite și reducând energia de interfață grăunte/dendrită, frânează mișcarea sau alunecarea grăunților.

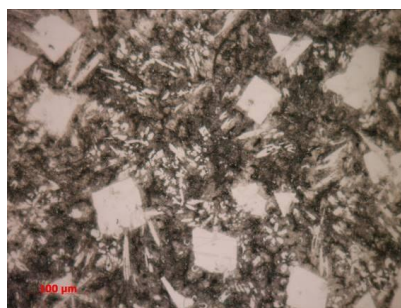


Fig. 4.4. Microstructura aliajului YP0 turnat (200 X)

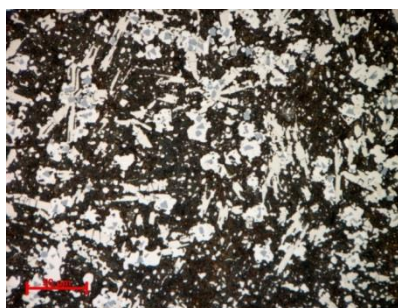


Fig.4.5. Microstructura probei YP1

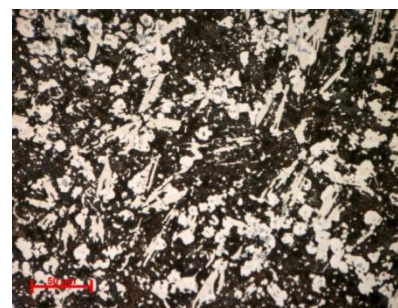


Fig. 4.6. Microstructura probei YP2

Structura este formată din bastonașe și ace de Cu_2Sb și din cuburi de SnSb înglobate într-un amestec de faze de eutectic binar și ternar, ce formează matricea moale a aliajului.

În figura 4.5 este prezentată microstructura probei YP1 și în figura 4.6 microstructura probei YP2. În figura 4.5 se observa microstructura probei microaliată cu Ca, omogena, cu compuși globulari de mici dimensiuni și compuși globulari mai mari, de CaPb_3 precum și compuși cu forma aciculară probabil SnSb .

În figura 4.6 se observa compuși poliedrici, MgPb_3 , uniform distribuiți în matricea moale a aliajului. Compușii aciculari de SnSb sunt reduși în comparație cu proba microaliată cu calciu.

4.3. Caracterizarea microstructurală a aliajelor antifricțiune Y-Sn83 și Y-PbSn10 microaliate cu Ca și Mg

Probele prelevate au fost pregătite în vederea analizei microstructurale. Probele au fost înglobate în rășina tip ProbeMet. Șlefuirea a fost realizată pe hârtie abrazivă și lustruirea pe postav de tip Lecloth, îmbibat cu o suspensie de α -alumină în apă. Atacul a fost realizat cu Soluție $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (alcool etilic) + HNO_3 (acid azotic).

Pentru analize a fost utilizat un microscop tip FEI Quanta 250 cu vid înaintat, CBS, ESD și BSE. Softul utilizat a fost XT Microscope server dedicat pentru SEM și ELEMENT EDS Analysis Software Suite dedicat pentru EDS.

Analizele chimice semicantitative punctuale EDS realizate pe fiecare compus în parte, indică următoarea compoziție chimică:

- compusul de formă cubică ce conține majoritar Sb-Sn (fig. 4.9a, 4.14a)
- compusul de formă aciculară ce conține majoritar Cu-Sb-Sn (fig. 4.9b, 4.14b)

În urma analizei EDS/live-map, a fost pusă în evidență o repartiție a elementelor în funcție de fiecare structură în parte (fig. 4.10, 4.11 și fig. 4.15, 4.16).

În cazul aliajelor de Sn analizate, masa metalică de bază este formată din Sn.

Prezența carbonului în analizele EDS efectuate poate fi explicată prin prezența acestuia în rășina de înglobare folosită.

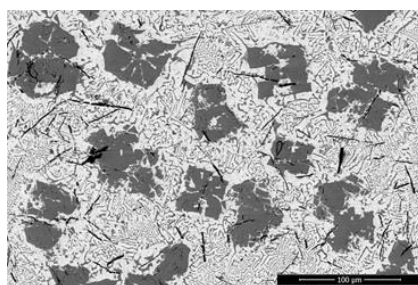


Fig. 4.7. Imagine SEM a probei YP1 obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS), în modul de lucru cu vid înaintat.

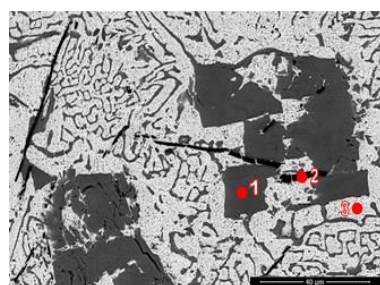


Fig. 4.8. Imagine SEM a probei P1, cu punctele selectate pentru analiza EDS,

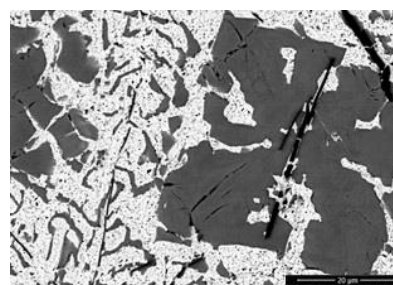


Fig. 4.9. Imagine SEM a probei YP1 cu zona selectată pentru analiza EDS/Live-Map

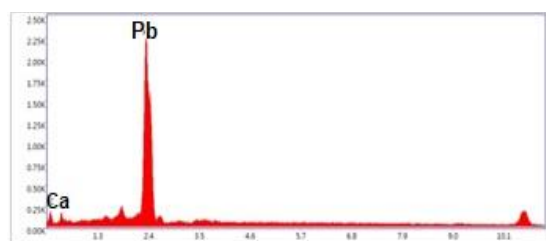


Fig.4.10. Rezultatele analizei EDS a probei P1 realizată în punctul 1 menționat în figura 4.8 (c)

Element	Masa %	Atm. %	Net Int.
Ca K	8,99	63,02	57,57
PbM	91,01	36,98	768,33

Din rezultatele EDS se poate observa că aliajul prezintă plumb în compoziție, în concordanță cu specificațiile aliajului inițial. Compusul cuboid conține CuSnPb iar compusul acicular conține CuSnSb și se regăsește în cantitate redusă.

Figura 4.10 prezintă microstructura probei YP1 la o mărire mai mare pentru a focusa compusul poliedric format. Imaginea a fost obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS), în modul de lucru cu vid înaintat. Din mappingul realizat (fig.4.11) putem observa că în componența compusului poliedric intră Sn, Sb și Cu iar în compusul acicular se observa Cu prezent în cantitate redusă

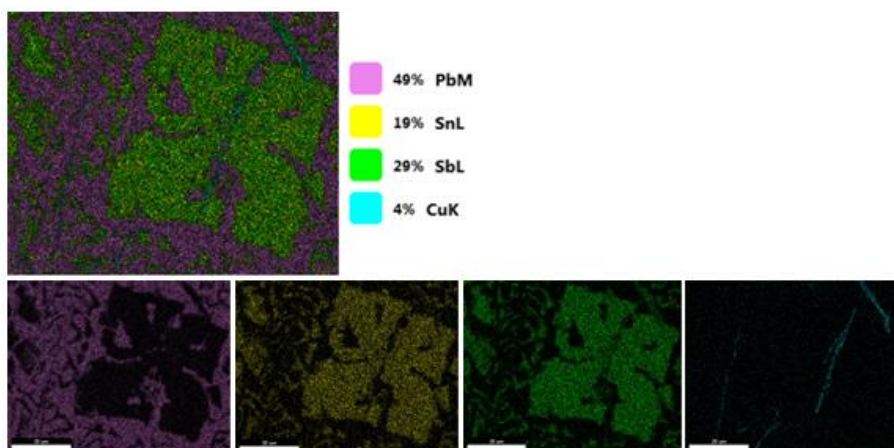


Fig. 4.11. Rezultatele analizei EDS/Live-Map a probei YP1

În figura 4.12 este prezentată microstructura probei YP2, microaliată cu magneziu. Putem observa o structura eutectică lamelară omogenă în toată masa probei și compuși cuboidali ce conțin preponderent Sn și Sb. Compușii aciculari conțin Pb, Cu, Sn și Sb. În figura 4.13 este prezentată microstructura la o mărire mai mare pentru a pune în evidență compusul cuboidal pentru a realiza analiza EDS a probei studiate. În figura 4.14 sunt prezentate analizele EDS ale probei mărite.

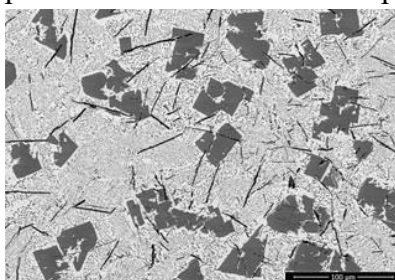


Fig. 4.12. Imagine SEM a probei P2

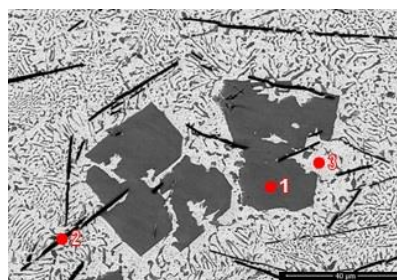


Fig. 4.13. Imagine SEM a probei YP2 cu punctele selectate pentru analiza EDS

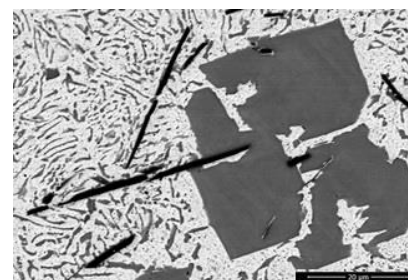


Fig. 4.14. Imagine SEM a probei P2 cu zona selectată pentru analiză EDS/

În figura 4.14 este prezentată microstructura probei YP2 și mappingul realizat pe această probă. Putem constata din imaginile prezentate că în compusul cuboidal regăsim preponderent Sb și Sn, cu o mică cantitate de Cu. Compusul acicular conține Sb și Cu iar matricea este cu Pb preponderent. Compusul $MgPb_2$ este eutecticul fin care apare în masa de Pb. Este compusul mai dur distribuit uniform și omogen în microstructura analizată.

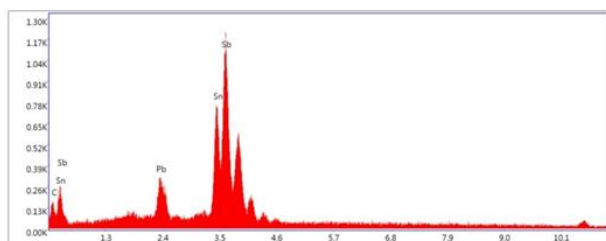


Fig. 4.15. Rezultatele analizei EDS a probei YP2 realizată în punctul 1

Element	Wt %	At %	Net Int.
C K	3,08	24,97	38,66
PbM	9,30	4,36	82,86
SnL	34,84	28,53	289,38
SbL	52,78	42,14	404,87

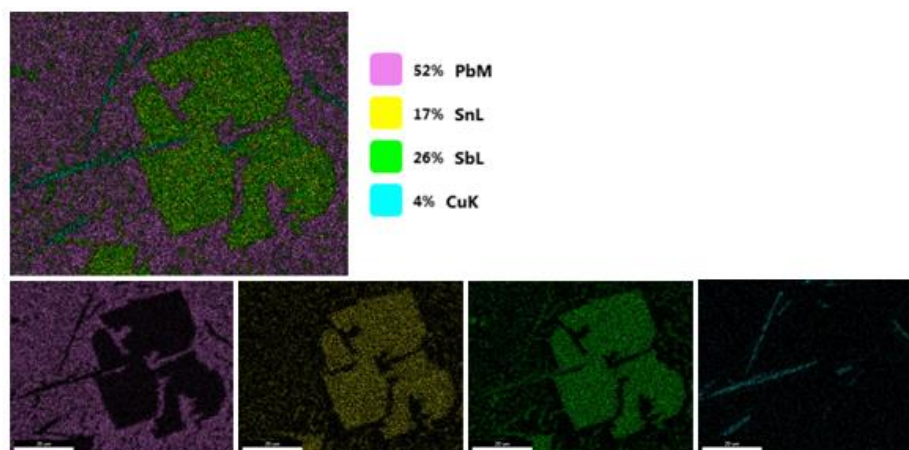


Fig. 4.16. Rezultatele analizei EDS/Live-Map a probei YP2.

În figura 4.17 este prezentată realizată în modul de vid înaintat, imaginea fiind obținută cu electroni retroîmprăștiați. Observăm matricea moale a aliajului gri deschis (punctul 4 corespunzător figurii 4.18 în care prezentăm microstructura pe care s-a efectuat analiza EDS a probei YS1. În punctul 1, faza gri deschis, compuși poliedrici având diferite dimensiuni observăm prezența Ca, a Sb și a Cu. În faza acicular – cilindrică gri închis a fost identificată prezența Sb și Cu iar în zona notată cu 3 a fost identificată prezența Cu, Sn și Sb formând probabil compusul SnSbCu.

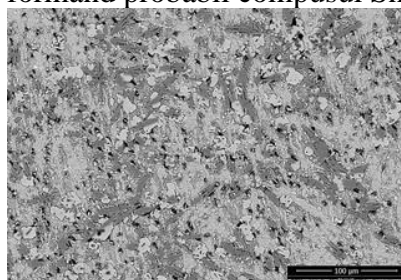


Fig. 4.17. Imagine SEM a probei YS1

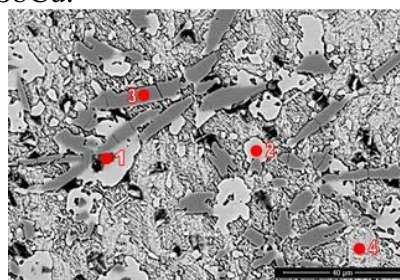


Fig. 4.18. Imagine SEM a probei P3

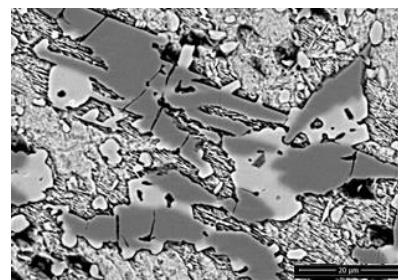


Fig. 4.19. Imagine SEM a probei YS1

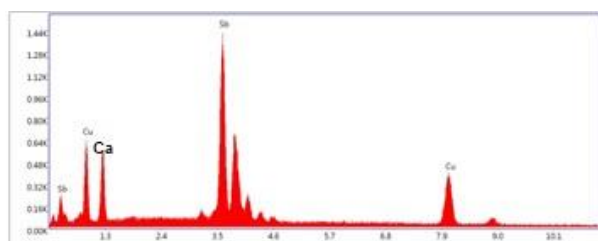


Fig. 4.20. Rezultatele analizei EDS a probei YS1 realizată în punctul 1

Element	Wt %	At %	Net Int.
CaK	13,06	36,98	161,16
SbL	60,24	34,08	591,07
CuK	26,70	28,94	213,49

Figura 4.18. prezintă o imagine SEM a probei YS1 cu zona selectată pentru analiza EDS/Live-Map, obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS), în modul de lucru cu vid înaintat. În figura 4.21 este prezentat mappiugul elementelor prezente în aceasta microstructura, unde putem observa Ca distribuit uniform în matricea de Sn, Sb și Cu prezenți în compușii poliedrici și Sb prezent de asemenea împreună cu Sn în matricea aliajului de bază. Calciu formează compusul CaSn_3 , un compus mai dur care e distribuit uniform în matricea aliajului moale. Compusul cu Ca este cel care îmbunătățește calitățile aliajului format.

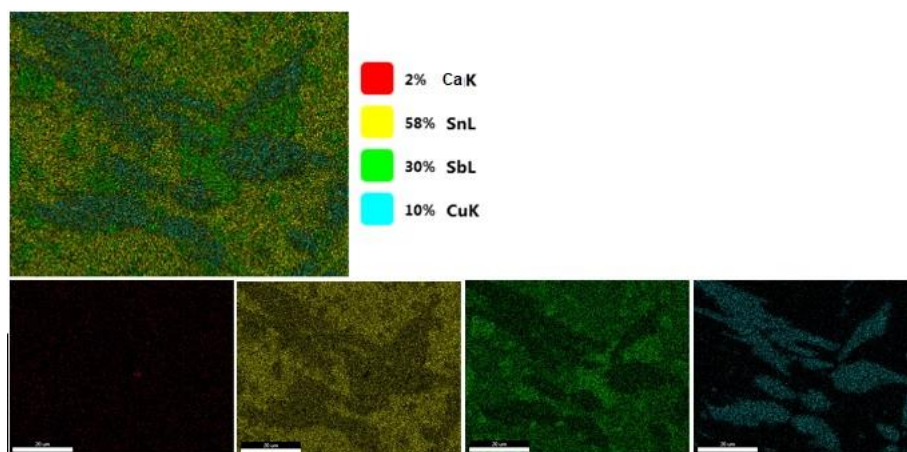


Fig. 4.21. Rezultatele analizei EDS/Live-Map a probei YS1

În figura 4.22 este prezentată microstructura probei YS2, microaliată cu Mg. Se poate observa o fază majoritară a aliajului cu Sn și Sb și compuși cilindrici de culoare gri închis. De asemenea sunt prezenți compuși poliedric de culoare gri deschis și gri închis.

În figura 4.23 este prezentată microstructura probei YS2 pe care a fost realizată analiza EDS pentru a identifica elementele componente. În figura 4.24 a sunt prezentate elementele identificate de analiza EDS în punctele evidențiate în figura 4.23.

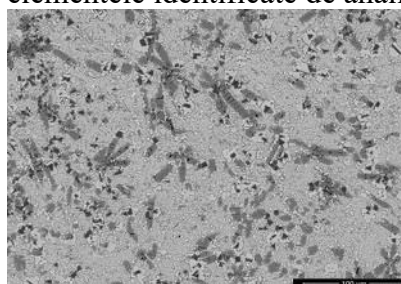


Fig. 4.22. Imagine SEM a probei YS2 obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS), în modul de lucru cu vid înaintat.

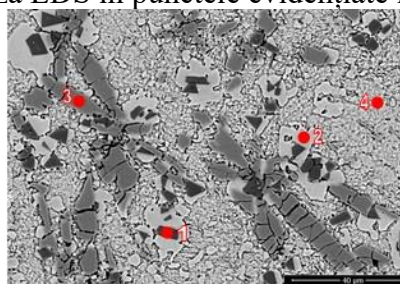


Fig. 4.23. Imagine SEM a probei P4 cu punctele selectate pentru analiza EDS, obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS), în modul de lucru cu vid înaintat.

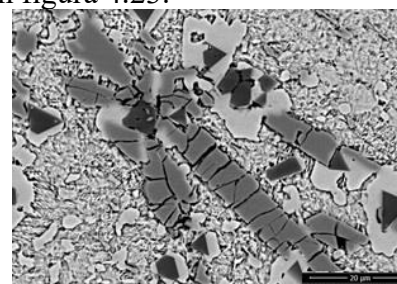


Fig. 4.25. Imagine SEM a probei YS2 cu zona selectată pentru analiza EDS/Live-Map, obținută cu detectorul de electroni secundari retroîmprăștiați (CBS)

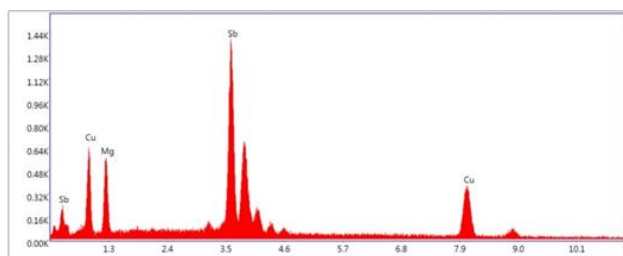


Fig. 4.24. Rezultatele analizei EDS a probei YS2 realizată în punctul 1 menționat în figura 4.23

Element	Wt %	At %	Net Int.
MgK	13,51	37,91	168,01
SbL	59,90	33,56	588,64
CuK	26,58	28,53	212,86

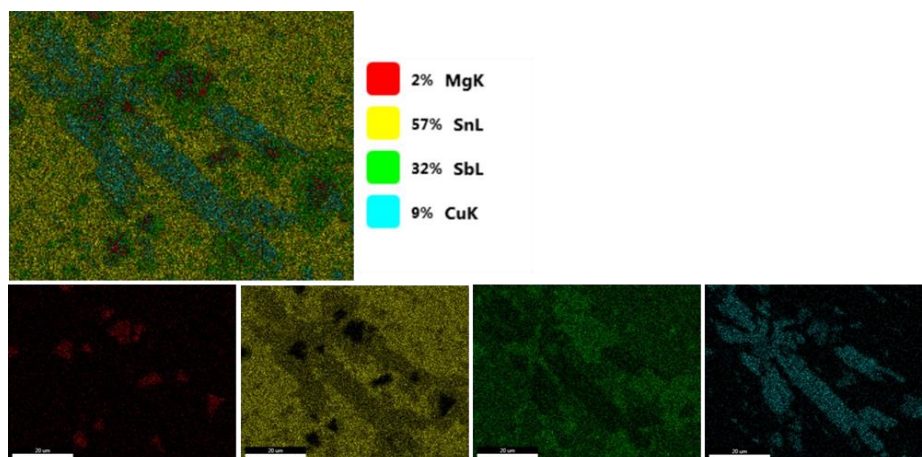


Fig. 4.26. Rezultatele analizei EDS/Live-Map a probei YS2

Analizele chimice semicantitative punctuale EDS realizate pe fiecare structură în parte, indică următoarea compoziție chimică:

- compusul de formă trigonală, conține majoritar Sb-Cu-Mg (fig. 4.19, 4.23)
- compusul de formă neregulată, conține majoritar Sb-Sn (fig. 4.19, 4.24)
- compusul de formă aciculară-columnară, conține majoritar Cu-Sb-Sn (fig. 4.19)

4.4. Analiza prin difracție cu raze X a probelor microaliate de Ca și Mg

Achiziția datelor s-a realizat pe difractometrul BRUKER D8 ADVANCE cu ajutorul softului DIFFRAC^{plus} XRD Commender (Bruker AXS), prin metoda de difracție Bragg-Brentano, cuplaj $\Theta - \Theta$

Procesarea datelor s-a făcut cu ajutorul programului DIFFRAC.EVA VER.5 2019 din componența pachetului de programe DIFFRAC.SUITE.EVA și al bazei de date ICDD PDF4+ 2021.

În figura 4.27 este prezentată difractograma probei YP1 în care sunt identificate peak-uri pentru fazele SnSb, PbSnSb și Cu₂Sb. De asemenea se poate observa și un peak mai mic cu compusul CaPb₃.

În figura 4.28 este prezentată difractograma probei YP1 cu analiza cantitativă a probei analizate. Analiza cantitativă a fost realizată cu ajutorul softului DIFFRAC.EVA release 2019 și a bazei de date ICDD PDF4+2021.

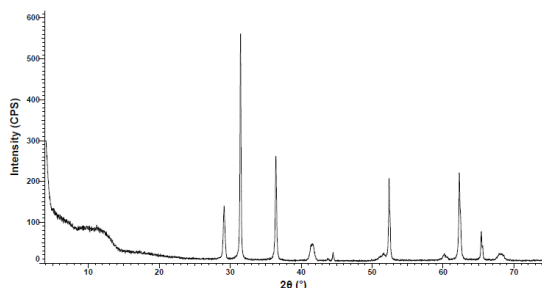


Fig.4.27. Difractograma YP1 (date primare).

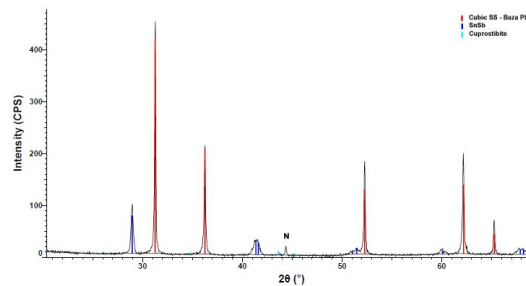


Fig. 4.28. Difractograma probei YP1 cu conținut de Ca

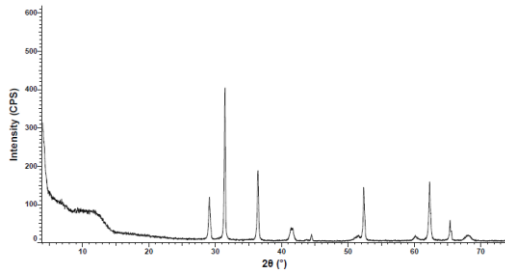


Fig. 4.30. Difractograma probei YP2, date primare

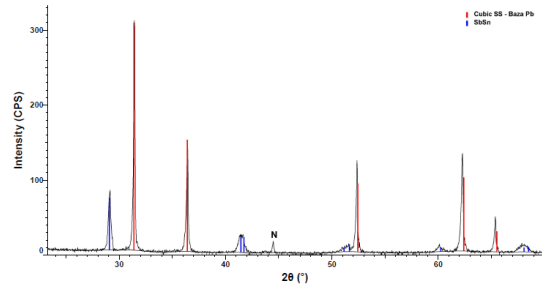


Fig. 4.31. Difractograma probei YP2 cu analiza cantitativă

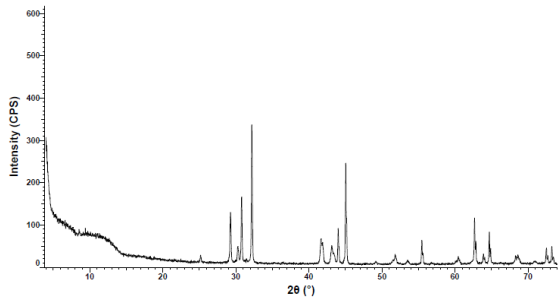


Fig. 4.32. Difractograma probei YS1 (date primare)

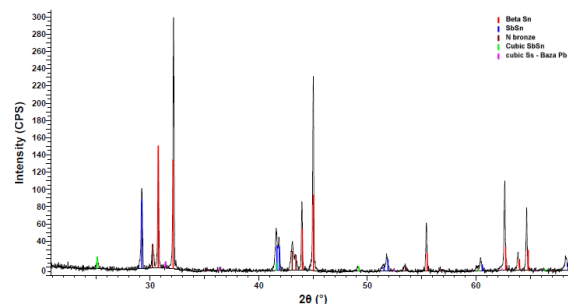


Fig. 4.32. Difractograma cu analiza cantitativă a probei YS1

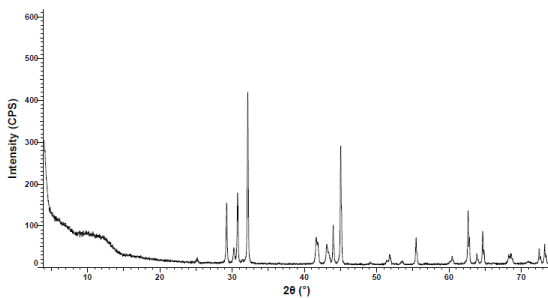


Fig. 4.33. Difractograma probei YS2 (date primare)

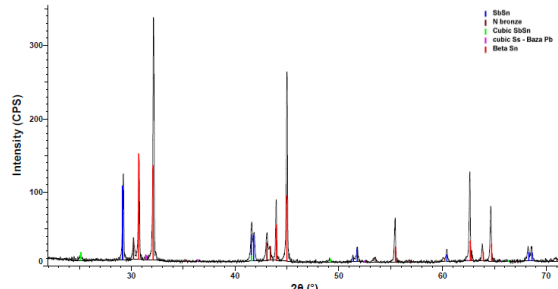


Fig. 4.34. Difractograma cu analiza cantitativă a probei YS2.

În figura 4.28, compusul ce conține calciu este prezent în peak-ul cel mai înalt de pe figură. Aceasta identificare este în concordanță cu datele obținute prin microscopia electronică unde compusul conținând calciu este uniform distribuit în matricea moale a materialului. În următorul capitol vom studia influența pe care o are acest compus asupra proprietăților tribologice ale aliajului studiat. În figura 4.31 este prezentată difractogramă pentru proba YP2 cu datele cantitative obținute cu ajutorul softului DIFRAC.EVA release 2019 și a bazei de date ICDD PDF4+2021. În figura 4.31, peak-ul cel mai înalt este reprezentat de compusul cu structura similar cubica cu Mg și Pb. În figura 4.32 este prezentată imaginea obținută pentru difractograma probei YS1 din care se observă profilul diferit față de probele YP1 și YP2, baza aliajului fiind schimbată. În figura 4.33 este prezentată difractograma cu analiza cantitativă realizată cu aceleași softuri și baze de date ca în cazul probelor YP1 și YP2. În figura 4.34 este prezentată difractograma probei YS2 cu analiza cantitativă realizată pentru aliajul microaliat cu Mg.

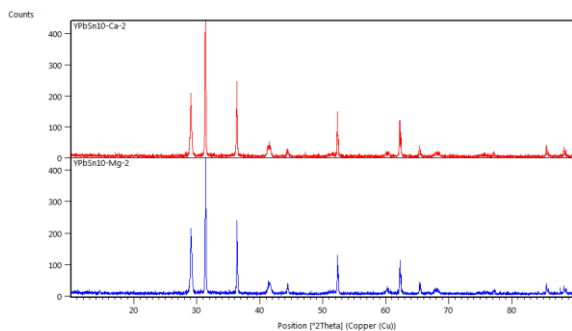


Fig. 4.35. Analiza comparativă a probelor YP1 și YP2.

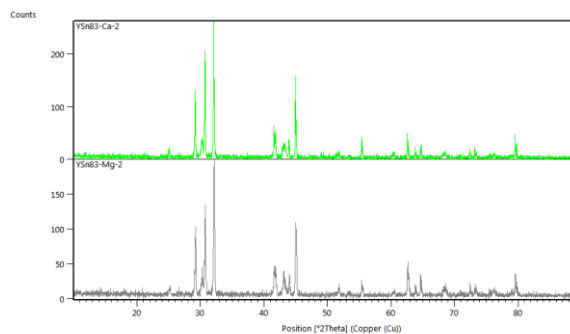


Fig. 4.36. Comparație între probele YS1 și YS2

Pentru probele YS1 și YS2 putem observa o asemănare a difractogramelor, peakul mare conținând Ca pentru proba YS1 și Mg pentru proba YS2. De asemenea, peakul mijlociu din imaginea de mai sus, care corespunde celor două difractograme este reprezentat de compusul Cu_6Sn_5 . În rest, sunt mici diferențe date de efectul pe care îl au elementele de microaliere utilizate.

În cazul probelor YP1 și YP2, analiza prin difracție de raze X pune în evidență prezența unei faze majoritare de tip soluție solidă cu baza Pb, soluție solidă de substituție și a unui compus SnSb cu structură romboedrală. Analiza identifică și un procent mic de Cuprostibite în cazul primei probe.

În cazul probelor YS1 și YS2 se observă prezența unei structuri tetragonale majoritare asociată βSn .

Capitolul 5. CARACTERIZAREA TRIBOLOGICĂ A ALIAJELOR YSN83 ȘI YPBSN10 MICROALIAATE CU CALCIU ȘI MAGNEZIU

Aliajele obținute prin microaliere cu Ca și respectiv Mg sunt utilizate preponderent în aplicații tribologice. Determinările experimentale prezentate în teza de doctorat s-au efectuat cu ajutorul tribometrului CETR UMT Multi-Specimen Test System, din cadrul Departamentului de Organe de Mașini și Tribologie (Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Universitatea Politehnică din București).

Pentru testele întreprinse pe tribometrul UMT II CETR prezentate în acest capitol s-a folosit sistemul pin-on-flat. Această metodă de testare implică folosirea unei epruvete de forma unui știft montată în partea superioară a tribometrului, epruvetă care alunecă sub un set de condiții prestabilite pe suprafața plată efectuând o mișcare de translație. Tribometrul UMT II permite monitorizarea în timp real a forței normale de încărcare (F_z), a forței de frecare (F_f) și a coeficientului de frecare (COF).

Pentru aceste teste, tribometrul UMT II CETR a fost echipat cu un senzor de forță pe două direcții, model DFH-20, folosit pentru măsurarea forței de frecare dintre epruveta superioară și cea inferioară, precum și pentru măsurarea și controlul forței de încărcare normală. Suportul epruvetei superioare fixează știftul de sistemul de amortizare, în timp ce suportul epruvetei inferioare o fixează pe aceasta de unitatea de mișcare de translație, modelul folosit pentru aceste teste fiind L20HE. În acest caz, știftul, care a fost realizat din bronz, are o lungime de 28 mm și un diametru de 6,35 mm, iar epruveta inferioară a fost reprezentată de cele patru probe din materiale diferite.

Probele utilizate sunt sumarizate în tabelul 5.1. În vederea determinării coeficientului de frecare dintre cele patru materiale și știftul din bronz s-au realizat teste tribologice de frecare cu mișcare liniară pe o lungime de 5 mm, la trei viteze de alunecare diferite (0,1 mm/s, 0,5 mm/s și 1 mm/s) și la trei forțe normale de încărcare diferite (5 N, 10 N și 15 N).

Având în vedere că aria nominală de contact dintre știft și cele patru probe este o suprafață cilindrică determinată de diametrul știftului, presiunea de contact corespunzătoare celor trei forțe de încărcare a fost 0,16 MPa (5 N), 0,32 MPa (10 N) și 0,48 MPa (15 N).

Tabel 5.1. Notații utilizate pentru identificarea probelor

Denumirea aliajului	Denumirea probei
YSn83	YS0
YSn83Ca0,2	YS1
YSn83Mg0,2	YS2
YPbSn10	YP0
YPbSn10Ca0,2	YP1
YPbSn10Mg0,2	YP2

Rezultatele pentru valoarea medie a coeficientului de frecare sunt centralizate în Tabelul 5.2, iar evoluția coeficientului pentru cele 36 de teste este prezentată grafic în Fig.5.1 și 5.2.

Tabel 5.2. Valoare medie a coeficientului de frecare

Proba	Forța de încărcare F_z	Viteza de relativă de deplasare		
		0,1 mm/s	0,5 mm/s	1 mm/s
YP1	5 N	0,0871	0,1015	0,0916
	10 N	0,0989	0,1021	0,1074
	15 N	0,1033	0,1126	0,1097
YP2	5 N	0,1007	0,1159	0,1286
	10 N	0,0975	0,1153	0,1190
	15 N	0,1013	0,1008	0,1410
YS1	5 N	0,0713	0,0663	0,0741
	10 N	0,0832	0,0718	0,0756
	15 N	0,0960	0,0769	0,0813
YS2	5 N	0,1051	0,1022	0,1125
	10 N	0,1008	0,0926	0,1094
	15 N	0,1160	0,1256	0,1406

Din analiza rezultatelor se observă că cele mai reduse valorile ale coeficientului de frecare au fost obținute pentru proba YS2. În cazul acestei probe, creșterea vitezei relative de alunecare nu influențează semnificativ valorile coeficientului de frecare. Doar creșterea forței normale de încărcare duce și la o ușoară creștere a coeficientului de frecare.

În figura 5.1 este prezentată variația coeficientului de frecare în cazul apăsării cu o forță normal de 5N și o viteză de 0,1mm/s. Se observă o evoluție relativ constantă a coeficientului de frecare cu valoarea medie a acestuia fiind 0,0871.

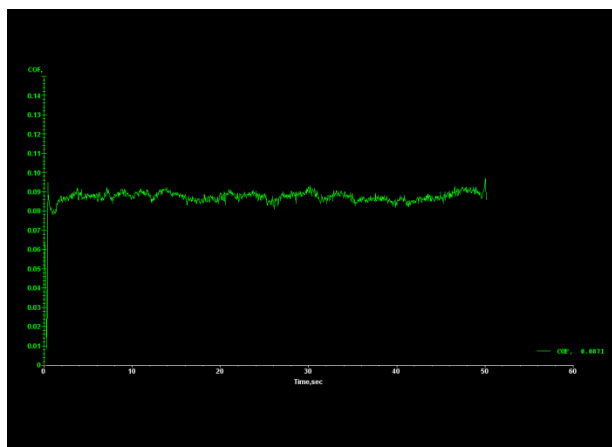


Fig. 5.1. Evoluția coeficientului de frecare – YP1 ($F_z = 5 \text{ N}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

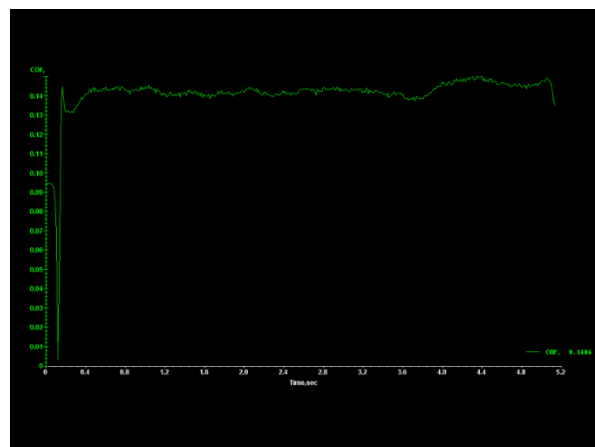


Fig. 5.2. Evoluția coeficientului de frecare – YS1 ($F_z = 15 \text{ N}$, $v = 1 \text{ mm/s}$)

Analiza rezultatelor obținute este prezentată în figurile următoare.

În figura 5.3 este prezentată variația rezultatelor obținute pentru proba YP1.

Se poate observa că valorile cele mai mici ale coeficientului de frecare au fost obținute pentru proba analizată la o forță de 5N și o viteză de 1mm/s.

În figura 5.4 este prezentată variația coeficientului de frecare pentru proba YP2.

Din analiza rezultatelor obținute se poate observa că valoarea cea mai mică a fost cea pentru forța de 10N la viteza de 0,1mm/s. În figura 5.5 sunt prezentate rezultatele analizei

tribologice pentru proba YS1. Din imaginea prezentată se poate observa că valoarea minimă obținută pentru coeficientul de frecare a fost obținută pentru proba analizată la o forță de 5N și o viteză de 0,5mm/s.

În figura 5.6 sunt prezentate rezultatele obținute pentru proba YS2. Se poate observa că valoarea minimă a coeficientului de frecare a fost obținută pentru proba analizată cu o forță de 10N și o viteză de 0,5mm/s. Din analiza rezultatelor se observă că cele mai reduse valorile ale coeficientului de frecare au fost obținute pentru proba YS2. În cazul acestei probe, creșterea vitezei relative de alunecare nu influențează semnificativ valorile coeficientului de frecare. Doar creșterea forței normale de încărcare duce și la o ușoară creștere a coeficientului de frecare.

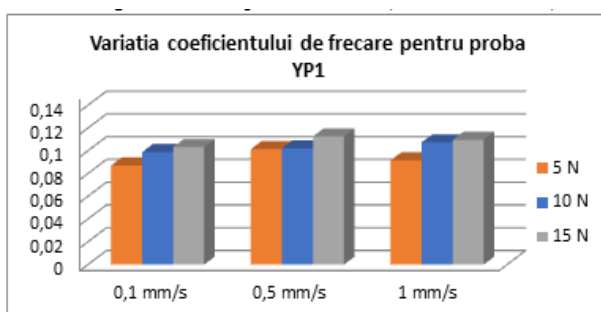


Fig. 5.3. Variația coeficientului de frecare pentru proba YP1

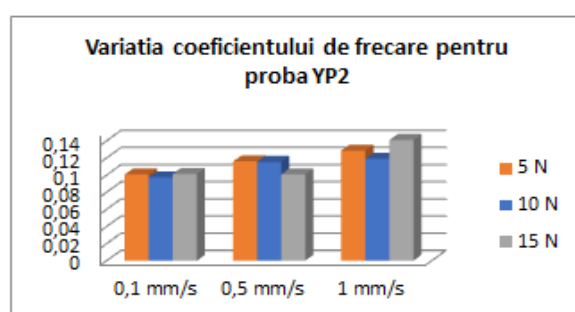


Fig. 5.4. Variația coeficientului de frecare pentru proba YP2

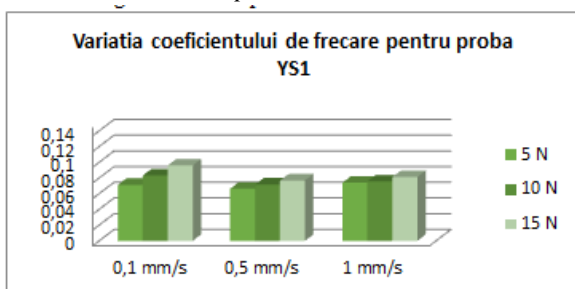


Fig. 5.5. Variația coeficientului de frecare pentru proba YS1

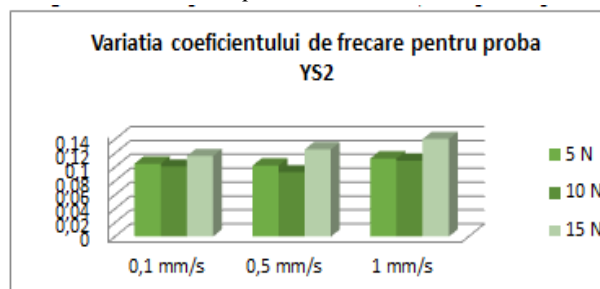


Fig. 5.6. Variația coeficientului de frecare pentru proba YS2

PARTEA a II-a – MANAGEMENTUL PRODUCERII ȘI COMERCIALIZAREA PE PIATA NAȚIONALĂ ȘI INTERNAȚIONALĂ A ALIAJELOR ANTIFRICȚIUNE INOVATIVE

Elementele prezentate mai sus legate de *Viziunea 2050 pentru industria de metale neferoase*, îmi impun, ca alături de soluțiile inovative prezentate în partea I a tezei de doctorat, să dezvolt în partea a II-a a tezei, soluții viabile în domeniul managementului metalelor și aliajelor neferoase, studiind piața, producția și evoluția costurilor metalelor neferoase în vederea realizării unui plan de afaceri și unui plan de marketing pentru a pune pe piața națională și internațională materialele antifricțiune brevetate.

Capitolul 6. ELEMENTE DE MANAGEMENT APLICABILE ÎN PRODUCȚIA ALIAJELOR NEFEROASE

În acest capitol se prezintă corelațiile dintre funcțiile managementului și funcțiunile întreprinderii. Sunt definite și analizate conceptele de eficiență și eficacitate. Sunt analizate în acest capitol organizațiile economice (întreprinderile) și managementul acestora. Astfel, procesele de muncă sunt analizate în cadrul celor două categorii: procese de execuție și procese de management. Se prezintă de asemenea trăsăturile definitorii pentru manageri: profesionalizare multiplă; caracterul accentuat creator (inovator) al activităților desfășurate.

6.4. Managementul proceselor de producție

6.4.1. Definirea managementului producției. Caracteristici principale

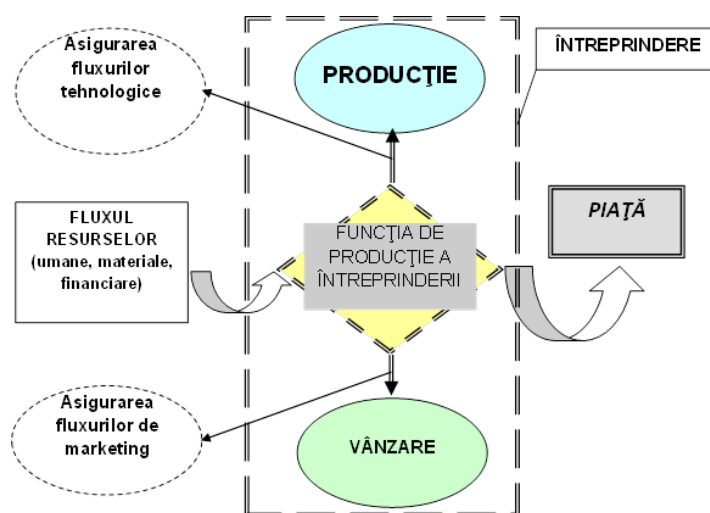


Fig. 6.1. Importanța (locul și rolul) funcției de producție în cadrul circuitului întreprindere – piață

Managementul producției (MP) constă în *totalitatea activităților de organizare și conducere* a întreprinderii industriale¹, activități desfășurate în scopul **realizării eficiente (cu obținere de profit)** a principalei funcțiuni a ei, și anume *funcția de producție*, cea care

¹ Reprezintă activități specifice managementului general al întreprinderii

determină obiectul principal de activitate al întreprinderii industriale². O condiție strict necesară (dar nu și suficientă) pentru realizarea eficientă (cu profit) a funcției de producție a întreprinderii este acordarea importanței cuvenite circuitului întreprindere-piață. În figura 6.1 este prezentat **circuitul întreprindere – piață**, cu evidențierea funcției de producție.

Într-un proces (flux) tehnologic de producție, o anumită etapă tehnologică transformă mărimile de intrare proprii (resurse) în mărimi de ieșire (subproduse, semifabricate) pentru respectiva etapă tehnologică.

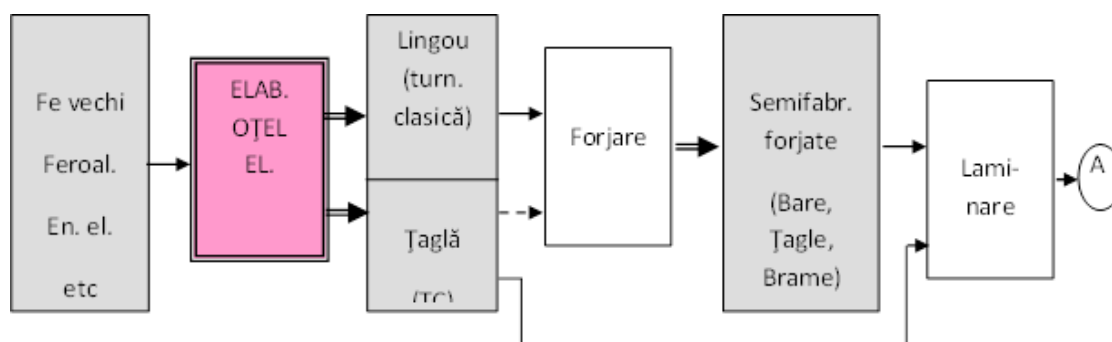


Fig. 6.2. Corelația și transformarea mărimilor de ieșire (subproduse, semifabricate) în mărimi de intrare (resurse) pentru un flux de producție din industria materialelor metalice

Eficiența managementului producției este cuantificată în mod special prin *nivelul de satisfacere al clienților*. În acest sens, managementul producției trebuie să aibă în vedere în permanentă cerințele de bază ale oricărui client, și anume: *Calitate* (a P/L/S-urilor) *maximă*; *aport cost/calitate optim* (de regulă, minim); *Ciclu* (durată) *de producție minim*³; *Flexibilitate* (suplețe) *maximă*.

6.5. Concluzii

Cercetarea evoluției temporale a conceptului de management, de la abordarea situațională, apoi la cea sistemică, până la abordarea behaviorista (comportamentală) și la cea tradițională (clasică) este foarte importantă pentru creșterea eficienței principiilor și activităților de management pentru orice proces economic, inclusiv pentru producerea aliajelor neferoase.

Analiza corelațiilor dintre funcțiile manageriale (previziunea, organizarea, coordonarea, comanda-antrenarea, evaluare-control) și funcțiunile întreprinderii (personal, financiară, materială, comercială, cercetare-dezvoltare-inovare) au scopul de a eficientiza din punct de vedere tehnologic, economic și ecologic procesul industrial la care se referă, inclusiv procesele tehnologice de producere a aliajelor neferoase.

² Obiectul principal de activitate al unei întreprinderi industriale este producția de bunuri și servicii (Produce/Lucrări/Servicii – P/L/S) destinate vânzării

³ Fără să fie afectată negativ calitatea

Capitolul 7. PIAȚA INTERNAȚIONALĂ, PRODUCȚIA ȘI CONSUMUL DE METALE NEFEROASE COMUNE ÎN PERIOADA 2001 - 2021

Acest capitol are ca punct de plecare argumentarea importanței producerii metalelor în general și a metalelor și aliajelor neferoase în particular. În acest context, este prezentat inclusiv un scurt istoric al producției de metale neferoase în România. Un aspect important prezentat și analizat în articol este evoluția producției, consumului și prețului aluminiului pe piața mondială.

Data fiind importanța foarte mare a materialelor metalice în producția de bunuri materiale cu aplicații în cele mai diverse domenii, cel puțin în prezent și în viitorul apropiat, nu poate fi concepută menținerea sau dezvoltarea standardelor actuale de viață fără menținerea, dezvoltarea și diversificarea producției de materiale metalice.

7.1. Evoluția producției, consumului și prețului metalelor neferoase pe piața mondială în perioada 2019-2021

Prețurile tuturor metalelor neferoase au scăzut (brusc) la debutul pandemiei din 2020, și au crescut în 2021 mai mult decât au scăzut în 2020. Această creștere este datorată redresării puternice a economiei din China, a constrângerilor legate de aprovizionare și slăbirii dolarului american. În fig.7.1. este prezentat prețul metalelor neferoase, conform London Metal Exchange(LME).

Staniul a avut cea mai mare ascensiune, cu o creștere de 113% la London Metal Exchange (LME), față de mai 2021, urmat fiind de cupru, care a urcat la un nivel ridicat de 10.417 USD pe tonă, depășind vârful său anterior de 10.160 USD pe tonă în februarie 2011.

La aluminiu, prețurile au crescut cu 69% față de 2020, comparativ cu plumbul, nichelul și zincul care au prezentat o creștere modestă de 46%, 36% și respectiv 49% pe an.

Evoluția prețurilor metalelor neferoase în ultimii ani este prezentată în figura 7.1, iar România urmând tendința prețurilor internaționale.

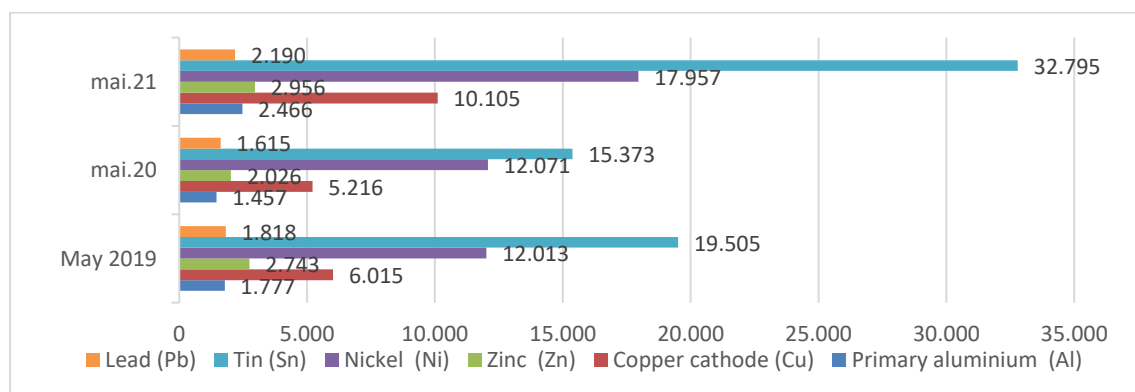


Fig.7.1. Prețul metalelor neferoase, conform London Metal Exchange(LME)

Se estimează că producția mondială a minelor de plumb va crește cu 5,1%, până la 4,75 milioane de tone în 2021, în timp ce se anticipează că cererea globală va crește cu 3,9% în 2021 la 11,97 milioane de tone, a declarat ILZSG.

Se preconizează că aprovizionarea globală cu zinc rafinat va depăși cererea cu 353.000 de tone în 2021, a declarat vineri Grupul Internațional de Studii pentru Plumb și Zinc (ILZSG), adăugând că se așteaptă ca oferta globală de plumb să depășească cererea cu 96.000 de tone (Reuters, 30 aprilie 2021).

În timp ce cuprul, aluminiul și staniul au înregistrat o creștere fără precedent a prețurilor în 2020, zincul, plumbul și nichelul au înregistrat doar creșteri modeste de 46%, 36% și respectiv 49%. În cazul zincului metalic, piața zincului a fost în surplus în 2020 și se așteaptă să rămână în surplus și în anul curent.

7.2. Concluzii

Analiza economică a producției, consumului și prețului metalelor neferoase comune (Al, Cu, Pb, Zn și Ni) pe perioada 2001 – 2021 a condus la următoarele concluzii.

Principalii producători tradiționali de metale neferoase au menținut un nivel relativ constant de producție, chiar dacă în această perioadă foarte mulți operatori de talie mai mică au redus sau au oprit definitiv producția de metale neferoase. Este de remarcat creșterea fără precedent a producției de metale neferoase în China, care a devenit primul producător mondial pentru toate metalele analizate;

Prețul metalelor neferoase a înregistrat oscilații mari în perioada 2001 – 2013. Pentru toate metalele analizate prețul a înregistrat valori maxime în perioada 2005 – 2008, ceea ce coincide cu perioada de declanșare a crizei economico – financiare pe plan mondial. După 2008 prețurile au avut o tendință de scădere și în prezent oscilează la nivelul anilor 2006 – 2007, cu excepția cuprului al cărui preț a înregistrat un maxim istoric de cca 9000 \$/t în 2011 și are în prezent o ușoară tendință de scădere.

Analiza economică a producției, consumului și prețului metalelor neferoase comune a scos în evidență fluctuații mari pe piața internațională în contextul crizei economico – financiare resimțită cu precădere în țările Uniunii Europene și în Statele Unite. La fluctuațiile înregistrate, o cauză importantă o reprezintă faptul că metalele neferoase sunt considerate metale strategice și, în aceste condiții, cererea și mai ales prețul, sunt deosebit de sensibile atât la crizele economice cât și la cele politice.

Capitolul 8. PLAN DE AFACERI PENTRU ALIAJE ANTIFRICȚIUNE PE BAZĂ DE STANIU ȘI PLUMB

8.1. Obiective

Aliajele antifricțiune microaliate cu calciu și magneziu, obținute în cadrul firmei **S.C. MELBA METALURGICAL SRL** prelungesc durata de funcționare a organelor de mașini, ceea ce face mai rară intervenția factorului uman în demontarea și montarea acestora. La constituirea firmei am avut în vedere faptul că societatea noastră beneficiază de o tehnologie superioară de obținere a aliajelor antifricțiune din materii prime metalice cu o puritate de peste 99,9%. Pornind de la aceste considerații, **principalul obiectiv al firmei** îl constituie obținerea prin microaliere cu calciu și magneziu a aliajelor antifricțiune cu caracteristici îmbunătățite YSn83 și YPbSn10.

8.2. Resurse umane

8.2.1. Conducerea /managementul firmei

Conducerea firmei va fi realizată de managerul firmei BUCIUMAN TEODOR, iar funcția de director executiv este preluată de administratorul AVRAM VASILE, inginer diplomat, cu licență și master Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor, secția INGINERIA METALELOR NEFEROASE.

Firma S.C. MELBA METALURGICAL SRL va mai avea ca angajați:

- Director economic - 1 persoană;
- Inginer pentru analize și controlul calității - 1 persoană;
- Muncitor - 2 persoane.

8.3. Planul de marketing și vânzări

8.3.1. Politica de produs

Firma **S.C. MELBA METALURGICAL SRL** urmărește să obțină ca produs final aliaje antifricțiune YSn83 și YPbSn10 microaliate cu calciu și magneziu.

Comparativ cu celelalte aliaje antifricțiune existente pe piață, aliajele antifricțiune nou obținute, YSn83 și YPbSn10 microaliate cu calciu și magneziu, prezintă mai multe avantaje, evidențiate de analiza SWOT:

Firma nou înființată, având ca obiectiv, obținerea aliajelor antifricțiune YSn83 și YPbSn10, microaliate cu calciu și magneziu, nu are concurență pe teritoriul României. Firma va avea implementat un **sistem de management al calității** pentru aliaje neferoase, conform standardelor STAS 202 și ISO 9001/2015.

8.3.2. Politica de distribuție

Aliajele antifricțiune YSn83 și YPbSn10, microaliate cu calciu și magneziu, vor fi livrate direct societăților beneficiare, la o dată stabilită de comun acord între producător și beneficiar.

8.3.3. Politica de promovare

Organizarea de evenimente și prezența firmei pe internet sunt două strategii de promovare prin care dorim să ne facem cunoscute produsele. Bugetul de promovare l-am stabilit ca fiind cuprins între 1000-5000 Ron, în funcție de modalitatea de promovare.

8.3.4. Politica de preț

Produsul obținut fiind reprezentat de noi tipuri de aliaje antifricțiune, va fi destinat pentru utilizare în transportul feroviar dar și în industria cimentului și cea energetică.

Prețul produsului îl vom stabili pe baza costurilor și a asigurării marjei de profit. În ceea ce privește concurența, acest lucru nu îl vom lua în calcul, având în vedere faptul că **aceasta este slab reprezentată.**

8.3.5. Segmentul de piață țintă

Calitatea activităților productive este oportun să fie realizată prin utilizarea unor utilaje și echipamente de productivitate ridicată și înaltă precizie. Activitățile productive vor trebui să se desfășoare continuu, situație care necesită existența unor utilaje și echipamente, care să ofere o funcționare fără întreruperi dese a activității, iar în caz de defectare, timpul de staționare să fie redus la minim.

8.4. Analiza operațională

8.4.1. Procesul de producție/furnizare

Sediul de producție va fi în comuna Pantelimon, jud. Ilfov, pe o suprafață închiriată, de 190 mp. Costurile cu închirierea: 4 750 lei/lună.

8.4.2. Echipamente, tehnologie și facilități

ACTIVE CORPORALE 1

În vederea atingerii obiectivului propus, firma va achiziționa un spectrometru, un cuptor de topire pe gaz metan, un cântar electronic și un calculator. Mobilierul aferent (2 birouri, 2 scaune directoriale etc) va fi achiziționat de la IKEA, valoarea acestuia nu va depăși 5 000 Ron.

ACTIVE CORPORALE 2

Autoturismul cu care se va face livrarea produsului, va fi autoturismul firmei, model Hyundai Tucson , B 213 MLB. Pe măsură ce afacerea se va dezvolta, se intenționează achiziționarea unui alt autoturism, doar al firmei, care să poată să fie utilizat de toți angajații, în funcție de necesitățile firmei.

ACTIVE FIXE NECORPORALE

Firma **S.C. MELBA METALURGICAL SRL** va face toate demersurile necesare în vederea **certificării ISO 9001-2015.**

Cheltuielile necesare pentru certificarea conform ISO 9001-2015, vor include angajarea unei firme de audit al calității, care se va ocupa de întocmirea tuturor documentelor necesare. Cheltuielile estimate pentru atingerea acestui obiectiv: 1000 EUR. După obținerea acestei certificări, pe măsură ce firma se va dezvolta, managerul va face alte demersuri pentru obținerea unei certificări conform standardului **STAS 202.**

8.5. Managementul riscurilor

8.5.1. Identificarea riscurilor

Riscul reprezintă posibilitatea de a pierde sau de a suferi prejudicii, ca urmare a producerii unor evenimente viitoare care în prezent sunt incerte. Atunci când decidem să investim într-o afacere, riscurile pe care ni le asumăm pot avea efecte negative asupra obiectivelor pe care ni le-am propus. De aceea, se va face o analiză a tuturor factorilor de risc identificați în acest caz.

8.5.2. Evaluarea riscurilor

Evaluarea riscurilor se va realiza utilizând matricea riscurilor. În urma identificării și evaluării riscurilor, după stabilirea toleranței la risc, s-a constatat că sunt necesare o serie de **măsuri pentru reducerea efectului acestora.**

S-a constatat că **riscurile medii**, cu care se confruntă firma, sunt legate de **tehnologia de obținere a celor două aliaje și de fluctuația prețurilor de achiziție pentru materia primă, de întâzieri mari în livrarea materiilor prime.** Având în vedere faptul că firma va produce noi aliaje antifricțiune, cererea venind din partea unor ramuri importante ale industriei, orice întâziere în livrarea materiilor prime sau perturbare a fluxului tehnologic va afecta imaginea firmei.

8.6. Bugetul planului de afaceri

Bugetarea anuală a fost făcută pe baza cheltuielilor estimate anterior.

8.7. Aplicabilitatea planului de afaceri / Sustenabilitate în raport cu domeniul de studiu

Consider că planul de afaceri este oportun, deoarece tema de cercetare aleasă, “Îmbunătățirea caracteristicilor aliajelor antifricțiune YSn83 și YPbSn10 prin microaliere cu calciu și magneziu”, reprezintă un domeniu de mare interes pentru transportul feroviar dar și pentru industria cimentului și cea energetică.

Sustenabilitatea afacerii

Pentru a asigura sustenabilitatea afacerii, se vor avea în vedere **măsuri concrete pe cei 3 piloni: mediu, social și economic.**

8.8. Inovarea socială

Afacerea propusă urmărește obținerea aliajelor antifricțiune YSn83 și YPbSn10 prin microaliere cu calciu și magneziu. Aliajele astfel obținute prelungesc durata de funcționare a organelor de mașini, fapt ce face mai rară intervenția factorului uman în demontarea și montarea acestora. Consider că, implicarea firmei în obținerea acestor aliaje antifricțiune, are un efect benefic asupra multor ramuri ale industriei, contribuind la creșterea fiabilității și reducerea mentenanței mașinilor/echipamentelor/instalațiilor industriale, acest lucru reflectându-se și în creșterea calității și a securității vieții.

Capitolul 9. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

9.1. Concluzii

Îmbunătățirea semnificativă a proprietăților tribologice ale aliajelor antifricțiune clasice pe bază de Sn (aliaje babbitt) și aliajelor pe bază de Pb se obține prin microalierea cu elemente adiționale ca As, Cd, Ni, Cr, Al, Mn, Te, Pb (în aliaje de Sn), etc.

Dintre acestea, cele mai bune rezultate au dat As și Cd, în ciuda caracterului lor toxic pentru sănătate și mediul înconjurător. Legiferarea utilizării unor astfel de elemente în diverse aplicații, a determinat și în cazul aliajelor antifricțiune studii și cercetări pentru găsirea unor înlocuitori, cum ar fi: Li, Na, Tl, In, Ga, Tr, etc.

Au fost obținute două aliaje antifricțiune, YSn83 și YPbSn10. Aliajele obținute au fost ulterior microaliate cu Mm în cantitate de 0,1, 0,2, 0,5 și 1% masice. Aliajele obținute au fost caracterizate din punct de vedere microstructural. Analizele chimice efectuate au confirmat compoziția inițială.

Pentru aliajele Ysn83 se poate observa o microstructura ușor modificată la adăugarea de 0,1%Mm și complet diferită la procentul de 1% masic de Mm. Putem menționa că pe parcurs, proba cu 0,2% Mm are o microstructura mai omogenă și cu mai puțini compuși segregati decât proba cu 0,5% Mm. Pentru proba cu 1%Mm putem observa de asemenea că a fost evidențiat compusul Cu_6Sn_5 , dar SnSb lipsește.

Pentru aliajele YPbSn10 se observă predominant cristalele poliedrice de SnSb la toate probele obținute cu excepția celei aliate cu 1%Mm care prezintă predominant cristale aciculare și microstructura e radical modificată în comparație cu aliajul de bază.

Instalația de topire – aliere utilizată pentru producerea acestor aliaje a fost brevetată de autor pentru materiale compozite dar ea a fost utilizată cu succes și pentru producerea aliajelor antifricțiune aliate cu misch metal. Utilizarea ei a redus timpul de producere al aliajelor antifricțiune microaliate cu Mm.

Pentru probele YSn83 și YPbSn10 microaliate cu pământuri rare (mish metal) s-a constatat că creșterea gradului de dispersie a fazei dure în matricea moale a aliajelor poate fi o consecință a creșterii durtății HB a aliajelor cu 3 – 5 % și a rezistenței la compresiune cu 3 – 6%. De asemenea s-a observat că o dată cu creșterea temperaturii scade valoarea durtății, consecință a unor posibile fenomene de recristalizare ce au loc în timpul încălzirii probelor – este cunoscut faptul că aliajele de Sn și Pb prezintă temperaturi de recristalizare relativ scăzute.

În matricea metalică a aliajelor de Sn au fost identificați trei compuși distribuiți relativ uniform. Primul compus, are elemente de simetrie trigonală, al doilea compus este de formă neregulată și îl înglobează pe primul iar cel de-al treilea compus, este de formă aciculară-columnară. Compusul cu elemente de simetrie trigonală, acționează ca un germene de cristalizare pentru compusul de formă neregulată.

Analizele chimice semicantitative punctuale EDS realizate pe fiecare structură în parte, indică următoarea compoziție chimică:

- compusul de formă trigonală, conține majoritar Sb-Cu-Mg
- compusul de formă neregulată, conține majoritar Sb-Sn
- compusul de formă aciculară-columnară, conține majoritar Cu-Sb-Sn

O repartiție a elementelor în funcție de fiecare structură în parte a fost obținută cu ajutorul analizei EDS/live-map.

Pentru probele YS1 și YS2 putem observa o asemănare a difractogramelor, peakul mare conținând Ca pentru proba YS1 și Mg pentru proba YS2. De asemenea peakul mijlociu care corespunde celor două difractograme este reprezentat de compusul Cu_6Sn_5 . În rest sunt mici diferențe date de efectul pe care îl au elementele de microaliere utilizate.

În procesarea datelor experimentale colectate au fost luate în considerare următoarele aspecte:

- Fondul (privit ca informație cuprinsă în datele colectate), a fost eliminat din analiza calitativă de fază.
- A fost eliminată componenta $K\alpha_2$.

În cazul probelor YP1 și YP2, analiza prin difracție de raze X pune în evidență prezența unei faze majoritare de tip soluție solidă cu bază Pb, soluție solidă de substituție și a unui compus cu structură romboedrală SnSb. Analiza identifică și un procent mic de Cuprostibite în cazul primei probe.

În cazul probelor YS1 și YS2, se observă prezența unei structuri tetragonale majoritare – asociată βSn . Din analiza rezultatelor se observă că cele mai reduse valorile ale coeficientului de frecare au fost obținute pentru proba YS2. În cazul acestei probe, creșterea vitezei relative de alunecare nu influențează semnificativ valorile coeficientului de frecare, doar creșterea forței normale de încărcare duce și la o ușoară creștere a coeficientului de frecare.

9.2. Contribuții personale

În prima parte din cadrul acestei teze de doctorat am realizat un amplu studiu teoretic pentru a fundamenta noțiunile existente pentru aceste aliaje antifricțiune ce vor fi utilizate pentru aplicații tribologice.

Am realizat alierea cu pământuri rare (0,1%, 0,2%, 0,5% și 1% mischmetal) a aliajului YSn83 într-o instalație originală.

Am studiat microstructura aliajelor obținute și am studiat duritatea și comportarea la compresiune a aliajelor obținute la mai multe temperaturi.

Am realizat microalierea cu pământuri rare (mischmetal) în procente de 0,1%, 0,2%, 0,5% și 1% a aliajului YPbSn10.

Am studiat microstructura și proprietățile mecanice ale aliajului obținut.

Am obținut compoziții originale ale aliajului YSn83 microaliat cu 0,2%Ca și 0,2% Mg.

Am obținut compoziții originale ale aliajului YPbSn10 microaliat cu 0,2% Ca și 0,2% Mg.

Am realizat un amplu studiu structural al aliajelor obținute.

Am efectuat analize tribologice pentru a identifica comportarea aliajelor antifricțiune microaliate cu Ca și Mg.

Rezultatele obținute au arătat o îmbunătățire semnificativă a structurii aliajelor YSn83 microaliate cu Mg.

Pentru aliajele YPbSn10 microaliate cu Ca au fost obținute cele mai bune rezultate pentru testele tribologice.

Legat de partea a II-a a tezei de doctorat, am prezentat soluții viabile în domeniul managementului metalelor și aliajelor neferoase, studiind piața, producția și evoluția costurilor metalelor neferoase în vederea realizării unui plan de afaceri și a unui plan de marketing pentru a pune pe piața națională și internațională materialele antifricțiune brevetate.

În speță:

- am realizat o structură managerială destinată firmelor și companiilor producătoare de materiale metalice neferoase,
- am realizat o analiză economică a producției, consumului și prețului metalelor neferoase comune (Al, Cu, Pb, Zn și Ni) pe perioada 2001 – 2021
- am realizat un plan de afaceri, destinat dezvoltării unei noi firme care să comercializeze aliajele anti-fricțiune, conform studiilor efectuate în cadrul tezei de doctorat și pe baza cărora s-au depus la OSIM două CBI, plan de afaceri realizat conform cerințelor pieței financiar-bancare

Voi continua cercetările, în cadrul unei burse POSTDOC sau pe cont propriu, privind realizarea de aliaje antifricțiune din pulberi, aliate cu pământuri rare (lantan, ceriu, praseodim, neodim, promethium, samariu, europiu, gadolinu, terbiu, dyprosium, holmium, erbiu, thulium, yterbiu, lutețiu și ytriu). În acest scop, voi căuta tipuri de materii prime ieftine, disponibile pe scară largă, profitabile din punct de vedere economic pentru a crea materiale antifricțiune capabile să asigure fiabilitatea, durabilitatea și performanța ridicată a unităților de frecare, în special în condiții dificile de lucru. În plus, astfel de materiale ar trebui să fie realizate folosind o tehnologie simplă și materii prime ieftine, care nu poluează iremediabil ecosistemul și biosfera, poluarea reprezentând o problemă acută la scară globală.

Rezultatele originale din cadrul prezentei teze de doctorat au făcut obiectul a **2 articole științifice, publicate în REVISTE ISI WOS (Web of Science) și 1 publicat în Revista internațională de specialitate MATERIALS, cotată Q1 (zona roșie), cu factor de impact 3,623, 3 comunicări orale la manifestări științifice internaționale, cotate ISI, 2 Cereri de Brevet de Invenție, înregistrate la OSIM și 2 postere prezentate la Salonul Internațional de Inventică INVENTCOR 2021, unde am obținut 2 medalii de AUR, 2 TROFEE și diplomele aferente.**

BIBLIOGRAFIE (Selectivă)

- [1] Vasilică Gh., Bită O. (1967), Procese de lubrificație, frecare și uzură la suprafețele metalice, Ed. Academiei RSR, București
- [2] Mang T., Bobzin K, Bartels T. (2011), Industrial Tribology. Tribosystems, Friction, Wear and Surface Engineering, Lubrication, WILEY-VCH Verlag & Co. KGaA, Germania
- [3] Ludema K.C. (1996), Friction, Wear, Lubrication, A Textbook in tribology, CRC Press LLC, SUA, Chapter 7: Metallic antifriction materials, p.223-254.
- [4] Manea Gh. (1970), Organe de mașini, vol.1. Ed.Tehnică, București, Capitolul Lagăre cu alunecare, p.735-347
- [5] Guruswamy S. (2000), Engineering properties and applications of lead alloys, Marcel Dekker Inc., NY SUA
- [6] Glaeser W.A. (1992), Materials for tribology, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Olanda
- [7] Habashi F (Editor), (1998), Alloys - Preparation, Properties, Applications, ISBN 3-527-29591-7, WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim, Germania
- [8] Matucha K.H. (Vol. Ed.) (1996), Structure and Properties of Nonferrous Alloys, ISBN: 3-527-26821-9, WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim, Germania
- [9] Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M., - Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [10] T. B. Majdanczuk, W. M. Iljuzenko, A. N. Bondarenko (2017), Effect of Modifying and Alloying Elements on the Structure and Properties of Surfaced Layers Made of High-Tin Bronze, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa No. 1, pp. 39-43
- [11] Șontea S. et.al. (1981), Metale și aliaje neferoase de turnătorie, Ed.Scrisul românesc, Craiova, România
- [12] Popescu, V. I (1967), Tehnologia forjării și extruziunii, Editura didactică și pedagogică, București
- [13] Han Q. (Ed), (1998), Rare Earth, Alkaline Earth and Other Elements in Metallurgy, IOS Press, Amsterdam, Olanda
- [14] I. Yu. Efimochonkin, S. B. Lomov, I. E. Goncharov, S. V. Fedotov, 2008, Patent RF 2436857, Powder composite material.
- [15] S.N. Grigoriev, M.A. Volosova, Application of coatings and surface modification of the tool: Textbook. allowance. - Moscow: MSTU "Stankin": Janus-K, 2007. pp 342.
- [16] M.A. Zlensko, M.V. Nogaitzev, V.M. Dovbysh, Additive technologies in mechanical engineering. Lambert Academic Publishing, 2015. Pp 224
- [17] Brevet RO132816-B1, Procedeu si instalatie de obtinere electrochimica a unui material compozit cu matrice metalica, Inventatori: ARGHIRESCU M, COSTOIU M C, SEMENESCU A, **AVRAM Vasile**, BURADA M, MILITARU N G, AMZA C G, CHIVU O
- [18] **Vasile Avram**, Augustin Semenescu, MISCH METAL MICRO-ALLOYING EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF BABBITT ALLOYS, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 83, Iss. 2, 2021 ISSN 1454-233, pp. 221 – 230
- [19] **Vasile Avram**, Augustin SEMENESCU, Ioana CSÁKI, Y-PbSn10 ANTIFRICTION ALLOYS MICROALLOYED WITH MISCHMETAL, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 83, Iss. 4, 2021 ISSN 1454-2331, pp. 307 – 312
- [20] Brevet A202100494 Alloys for tribological applications **AVRAM Vasile**, SEMENESCU Augustin, CSÁKI Ioana, STOICA Alina Maria, University Politehnica Bucharest

- [21] Brevet A202100495 Antifriction alloys improved by microalloying **AVRAM Vasile**, SEMENESCU Augustin, CSÁKI Ioana, STOICA Nicolae Alexandru, University Politehnica Bucharest
- [22] **Vasile AVRAM**, Ioana CSÁKI, Ileana MATES, Nicolae Alexandru STOICA, Alina-Maria STOICA Augustin SEMENESCU, *The Effect of Ca and Mg on the Microstructure and Tribological Properties of YPbSn10 Antifriction Alloys*, **Materials 2022, Volume 15, Issue 9, 3289.**, **Metals and Alloys, Structure and Mechanical Properties of Alloys II**, pag.1-10, **IF 3,623, Quartile Q1 (zona roșie)**, <https://doi.org/10.3390/ma15093289>, www.mdpi.com/journal/materials
- [23] **Vasile AVRAM**, Augustin SEMENESCU, Adrian IOANA, Resit UNAL, Dragoș MARCU, EVOLUTION OF NON-FERROUS METALS PRODUCTION, CONSUMPTION AND PRICE ON THE WORLD MARKET IN THE THIRD MILLENIUM, The 10th International Conference of Management and Industrial Engineering Business Change and Digital Transformation in a World Moving Through Crisis” ICMIE 2021, November 11th– 13th, 2021, <https://www.icmie-faima.ro/>
- [24] Adrian IOANA, **Vasile AVRAM**, Augustin SEMENESCU, MANAGEMENT ELEMENTS APPLICABLE IN THE PRODUCTION OF NON-FERROUS ALLOYS, The 10th International Conference of Management and Industrial Engineering Business Change and Digital Transformation in a World Moving Through Crisis” ICMIE 2021, November 11th– 13th, 2021, <https://www.icmie-faima.ro/>