

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA**  
**FACULTATEA DE MECANICĂ**

**ing. HUȚIU GHEORGHE**

**STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND FOLOSIREA MATERIALELOR  
RECUPERABILE PENTRU OBTINEREA ALIAJELOR  
ANTIFRICȚIUNE PE BAZĂ DE STANIU FĂRĂ CADMIU ȘI ARSEN**

**Conducător științific**

**Prof. dr. ing. MARIN TRUȘCULESCU**

BIBLIOTECA CENTRALA  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

638.02  
203

**TIMIȘOARA**

**2003**



# CUPRINS

	Nr. pg
INTRODUCERE	4
CAPITOLUL 1	Aliaje antifricțiune pe bază de SnSb..... 7
1.1	Funcționarea lagărelor..... 7
1.1.1	Generalități ..... 7
1.1.2	Comparație între lagărele de alunecare și de rostogolire..... 8
1.1.3	Justificarea alegerii lagărelor de alunecare și de rostogolire..... 11
1.1.4	Aspecte de frecare și uzură care au loc în funcționarea lagărelor..... 11
1.2	Caracteristici impuse aliajelor antifricțiune..... 13
1.3	Criterii de selecție ale aliajelor antifricțiune..... 15
1.4	Clasificarea aliajelor antifricțiune..... 16
1.5	Teoria structurii aliajelor antifricțiune ..... 17
1.6	Structura aliajelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb-Cu ..... 21
1.7	Familii de aliaje antifricțiune..... 22
1.8	Concluzii privind alegerea aliajelor antifricțiune SnSb fără Cd și As. 23
CAPITOLUL 2	Stadiul actual al folosirii materialelor recuperabile ..... 32
2.1	Generalități ..... 32
2.2	Tehnologii de recuperare a materialelor re folosibile utilizate pe plan mondial..... 34
2.2.2	Tehnologii de recuperare a deșeurilor provenite din rebuturi, rețele, Piese dezmembrate..... 37
2.2.3	Tehnologii de recuperare a șpanului..... 40
2.3	Tehnologii propuse pentru recuperarea materialelor recuperabile pe bază de Sn Sb..... 54
CAPITOLUL 3	Tehnologii de eliminare a As și Cd din aliaje antifricțiune pe bază de Sn Sb ..... 56
3.1	Influența As și Cd asupra organismului uman, animalelor și solului... 56
3.2	Tehnologii pentru eliminarea As și Cd ..... 59
3.2.1	Eliminarea As și Cd prin topire oxidantă..... 59
3.2.1.1	Oxidarea topiturii..... 59

3.2.1.2	Dezoxidarea topiturii.....	63
3.2.1.3	Metoda de cercetare folosită.....	64
3.2.2	Eliminarea Cd și As prin evaporare, respectiv sublimare în vid.....	67
3.2.2.1	Generalități.....	67
3.2.2.2	Termodinamica și cinetica procesului de evaporare pentru un metal pur.....	68
3.2.2.3	Instalația de elaborare în vid.....	79
3.2.2.4	Metoda de cercetare folosită.....	86
CAPITOLUL 4	Realizarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn Sb fără Cd și As, folosind materiale recuperabile.....	97
4.1	Tehnologii de obținere a aliajelor antifricțiune pe bază de Sn Sb fără Cd și As, folosind materiale recuperabile.....	97
4.1.1	Procese fizico-mecanice produse la topirea și supraîncălzirea aliajelor.....	98
4.1.2	Tehnologia de elaborare pentru aliajul $LgSnR_1$ .....	103
4.1.3	Analize și încercări.....	106
4.2	Tratamente fizico-mecanice aplicate aliajelor în timpul solidificării...	110
4.2.1	Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra solidificării aliajelor .	110
4.2.2	Tipuri de tratamente fizico-mecanice aplicate aliajelor lichide.....	115
4.2.2.1	Tratamentul aliajelor prin aplicarea procedurii de agitare electromagnetice.....	115
4.2.2.2	Tratamentul aliajelor prin aplicarea procedurii de agitare în atmosferă de gaze.....	116
4.2.2.3	Tratamentul aliajelor prin aplicarea procedurii cu ultrasunete de mari energii.....	118
4.2.2.4	Tratarea aliajelor prin utilizarea vibrațiilor.....	119
4.3	Tratarea aliajelor antifricțiune în timpul solidificării cu ajutorul vibrațiilor produse în vibratorul mecanic cu mase neechilibrate .....	126
4.3.1	Metoda de cercetare folosită.....	126
4.3.2	Vibratorul mecanic cu mase neechilibrate .....	128
4.3.3	Modul de lucru.....	146
4.3.4	Analize și încercări.....	147

4.4.	Tratarea aliajelor în timpul solidificării cu ajutorul vibrațiilor produse de vibratorul electrodinamic.....	153
4.4.1	Schema de principiu a instalației.....	153
4.4.2	Metoda de cercetare.....	154
4.4.3	Analize și încercări.....	154
CAPITOLUL 5	Estimarea eficienței economice a tehnologiilor propuse pentru elaborare .....	182
CAPITOLUL 6	Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții privind continuarea cercetărilor.....	183
6.1	Necesitatea eliminării As și Cd din aliajele antifricțiune SnSb.....	183
6.2	Tehnologia de eliminare a As și Cd.....	184
6.3	Obținerea aliajelor antifricțiune Sn Sb fără Cd și As, folosind materiale recuperabile.....	185
6.4	Instalația de vibrare cu mase neechilibrate.....	187
6.5	Contribuții originale rezultate în urma cercetărilor.....	187
6.6	Direcții de continuare a cercetărilor.....	188
CHAPTER 6	Final Conclusions. Original Contributions. Future Research Lines...	189
CURRICULUM	VITAE.....	195
BIBLIOGRAFIE		196

## INTRODUCERE

Obiectul de cercetare al tezei de doctorat îl constituie obținerea de aliaje antifricțiune pe bază de Sn Sb, care să nu conțină cadmiu și arsen, folosind la elaborarea lor și materiale recuperabile.

Aliajele antifricțiune pe bază de staniu se folosesc în cantități mari pentru confecționarea cuzinețelor, în special a celor folosiți la motoare cu ardere internă. Familiile de aliaje antifricțiune pe bază de staniu sunt considerate printre cele mai bune materiale pentru confecționarea cuzinețelor, fiind caracterizate prin stabilitate înaltă la coroziune, la diferite substanțe folosite la ungere, rezistență mare la gripare, temperatură mică de turnare, proprietăți bune de turnare, conductibilitate termică bună, prelucrabilitate bună prin așchiere, preț de cost redus.

Din familiile aliajelor antifricțiune pe bază de staniu, cele mai utilizate în prezent sunt cele pe bază de Sn-Sb-Cu .

Companiile producătoare de cuzineți au îmbunătățit în continuu calitatea acestor aliaje folosind tehnologii noi de elaborare și turnare precum și prin introducerea unor elemente de aliere în compoziția acestora , cum ar fi : As, Cd, Ni, Cr, Pb, Al, Mn, Te, Se, etc.

Aceste elemente au rolul de a modifica structura în vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice și tribologice ale acestor aliaje.

Unele dintre aceste elemente de aliere cu toate că au o influență pozitivă asupra proprietăților mecanice și tribologice, s-au dovedit a fi foarte dăunătoare pentru sănătatea oamenilor, animalelor și solului.

As și Cd sunt considerate în unanimitate de specialiști cancerigene. În cazul acestor aliaje contaminarea se face cu vaporii de Cd și As în timpul elaborării. Aceste două elemente provoacă cancer renal, de prostată, de piele, etc.

În metalurgie s-au înregistrat îmbolnăviri de cancer de piele, plămâni, etc., la muncitori care au lucrat la elaborarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn cu conținut de Cd (0,8- 1,5 %) și As (0,3-0,5 %) datorită vaporilor inhalați.

Departamentele de Sănătate ale statelor industrializate și nu numai, impun norme care stipulează concentrații cât mai mici pentru aceste elemente în sol, aer, apă, materiale, etc. până la nivelul la care acestea să nu fie dăunătoare.

Având în vedere cele prezentate, obiectivul tezei a fost găsirea unor tehnologii de eliminare a Cd și As, precum și aducerea acestor aliaje fără Cd și As la parametrii aliajelor cu As și Cd, folosind la elaborare și materiale recuperabile.

În urma cercetărilor efectuate s-au obținut următoarele rezultate :

- A fost stabilită o tehnologie de recuperare a materialelor recuperabile (Cap.2)
- S-a obținut eliminarea As și Cd printr-o tehnologie de topire în vid. Instalația folosită și tehnologia sunt prezentate în Cap.3
- A fost implementată tehnologia de elaborare a aliajelor antifricțiune pe bază de Sn fără Cd și As, folosind 50% materiale recuperabile. Proprietățile mecanice și tribologice ale aliajelor obținute astfel se ridică la nivelul celor obținute din materiale noi (fără Cd și As) (Cap.4).
- Prin aplicarea tratamentului de vibrație în timpul solidificării, proprietățile mecanice și tribologice ale aliajelor antifricțiune pe bază de Sn, fără As și Cd (care au putut fi obținute și din 80% materiale recuperabile ) au fost aduse la nivelul celor cu As și Cd.

Prin folosirea acestui tratament s-a îmbunătățit structura prin micșorarea dimensiunilor cristalelor portante de Sn Sb de la 50 μm la 15 μm, prin creșterea cantității de cristale  $Cu_3Sn$  și  $Cu_5Sn_6$ .

Totodată, s-a demonstrat că îmbunătățirea structurii se poate face, în afară de creșterea vitezei de răcire și în afară de aliere (cu As, Cd, Cr, Pb, Te, Se, Al, etc.), și prin aplicarea tratamentelor fizico-mecanice în timpul solidificării. Instalația pe care s-au făcut experimentele, precum și modul de cercetare sunt prezentate în Cap.4

În urma rezultatelor bune obținute, se impune continuarea cercetărilor folosind și alte metode neconvenționale de tratare în timpul solidificării a acestor aliaje, în special cu ultrasunete de mari energii.

#### NOTĂ

Țin să-mi exprim mulțumirile tuturor celor care m-au ajutat în decursul cercetărilor care au condus la finalizarea acestei teze.

Doresc în primul rând să mulțumesc d-lui profesor dr. ing. Marin Trușculescu, conducătorul științific al tezei pentru ajutorul acordat, pentru observațiile pertinente făcute în timpul elaborării lucrării și nu în ultimul rând pentru răbdarea și încurajările pe care mi le-a dat. Toate acestea au făcut posibilă finalizarea tezei.

De asemenea, țin să mulțumesc d-lui profesor dr. ing. Laurentie Sofroni de la Universitatea Politehnică București pentru sugestiile utile și documentația oferită mai ales în perioada de stagiu.

Sunt totodată îndatorat colegilor mei din cadrul Universității A. Vlaicu Arad, în special d-lui conf. dr. ing. Ioan Copaci care m-a ajutat să-mi clarific unele aspecte legate de fenomenul vibrațiilor.

Mulțumesc d-lui ing. Francisc Delfi, d-lui ing. Iulian Georgevici de la UCM Reșița pentru că mi-au permis să mă documentez atât teoretic cât și practic în cadrul societății asupra tehnologiilor de producere a cuzinetilor. Totodată le sunt recunoscător și pentru sugestiile oferite.

Aceleași mulțumiri le aduc colegilor de la S.C. ASTRA TRINITY S.A S.C. FERONERIA S.A., S.C. AZOMA S.A., S.C. ARIS S.A., Regia Apă -Canal Arad pentru ajutorul dat la efectuarea de analize, încercări și prelucrări mecanice.

De asemenea mulțumesc sponsorilor, în special d-lui director ing. Lucian Barniciu și d-lui ing. Ionel Martin de la CET Arad.

În final sunt foarte recunoscător soției mele care pe lângă răbdare și încurajare, m-a ajutat și la traducerea de articole din diverse limbi care mi-au fost de mare ajutor în finalizarea tezei.



## CAPITOLUL 1

### Aliaje antifricțiune pe bază de staniu

**Funcționarea lagărelor. Caracteristici impuse aliajelor antifricțiune. Criterii de selecție ale aliajelor antifricțiune. Clasificarea aliajelor antifricțiune . Teoria structurii materialelor antifricțiune. Structura materialelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb. Familii de aliaje antifricțiune pe bază de Sn**

#### 1.1 Funcționarea lagărelor

##### 1.1.1 Generalități

Lagărele sunt organe de mașini care preiau forțe radiale și axiale ale unui arbore căruia îi permit mișcări de rotație sau de oscilație în jurul axei sale.

Lagărele se împart în două categorii fundamentale, în funcție de felul frecării : lagăre de alunecare și lagăre de rostogolire .

Lagărele se mai pot clasifica din punct de vedere al direcției forței față de axa lagărului, în lagăre radiale- la care reacțiunea este perpendiculară pe axa lagărului - și lagăre axiale - la care reacțiunea este dirijată după axa lagărului. Există și lagăre combinate care pot prelua concomitent atât sarcini axiale cât și sarcini radiale. Asemenea lagăre sunt mai frecvente în categoria lagărelor de rostogolire.

După poziția fusului pe arbore, lagărele pot fi frontale , de capăt sau intermediare.

Fusurile. Lagărul constă din lagărul propriu-zis și din fus care, constructiv, face parte integrantă din arbore, dar funcțional este o parte componentă a lagărului.

Fusurile cuprinse în lagăre pot avea diferite forme, în funcție de condițiile funcționale. Ele pot fi :

- cilindrice (cele mai răspândite);
- tronconice, folosite în special pentru construcția lagărelor combinate ;
- inelare, întâlnite în special în construcția pivoților;
- canelate, folosite și ele în construcția pivoților;

- sferice, folosite câteodată pentru sarcini combinate , când se cer arborelui deviații în diferite direcții.

Din punct de vedere constructiv, lagărele constau în general din următoarele părți componente : corpul lagărului, cuzinetul, capacul lagărului, dispozitive de ungere, dispozitive de corijare a jocurilor de uzură și dispozitive de etanșare.

Dintre aceste piese, rolul principal îl are cuzinetul, întrucât pe el se realizează frecarea. Buna funcționare a lagărului depinde în mare măsură de calitatea materialului și a prelucrării cuzinetului. Corpul și capacul lagărului au rolul de a transmite fundației sarcina primită prin cuzinet de la fus, cât și de a primi și conduce spre exterior căldura dezvoltată prin frecarea dintre fus și cuzinet.

Jocul dintre fus și cuzinet, modificat prin uzura cuzinetului, poate fi reglat cu niște pene de reglare, cu adaosuri montate între corpul și capul lagărului sau alte dispozitive de reglare a jocului .

Dispozitivele de ungere și de etanșare au rolul de a asigura lagărul cu lubrifianțul necesar, respectiv de a împiedica scurgerea lubrefiantului din lagăr sau pătrunderea în lagăr a impurităților.

### **1.1.2 Comparație între lagăre cu alunecare și lagăre de rostogolire**

Lagărele cu alunecare prezintă o mare varietate de forme, clasificarea lor fiind prezentată mai jos :

- După direcția sarcinii : - radiale
  - axiale
  - radial-axiale
- După lubrifianțul folosit : - cu lubrifiant lichid
  - cu lubrifiant semisolid
  - cu lubrifiant solid
  - cu lubrifiant gazos
- După sistemul de alimentare
  - cu lubrifiant : - prin cădere liberă

- prin capilaritate
  - prin presiune
  - autolubrifiante
- După felul sarcinii :
    - cu sarcină constantă
    - cu sarcină variabilă
- După poziția fusului pe arbore:
    - de capăt
    - de intermediere

Domeniile de utilizare ale lagărelor cu alunecare rezultă dintr-o comparație a avantajelor și dezavantajelor acestora în raport cu lagărele cu rulmenți. Astfel, lagărele cu alunecare funcționează cu zgomot și șocuri mai reduse; sunt mai ieftine; au gabarit radial mai redus, fiind de obicei din două jumătăți, permit un montaj și demontaj ușor; amortizează șocurile și vibrațiile datorită stratului continuu de lubrifiant. Lagărele cu alunecare prezintă și o seamă de dezavantaje, ca de exemplu: frecare mare la pornire; lungimi de obicei mari; consum relativ mare de lubrifiant, coeficienți de frecare mai mari.

Pentru a corespunde scopului, lagărele trebuie să fie rezistente și suficient de rigide; să asigure contactul dintre fus și cuzinet în tot lungul fusului; ungerea să se facă în bune condiții și să existe posibilitatea recuperării lubrifiantului; să existe posibilitatea corijării uzurii cuzinetului; să permită evacuarea căldurii din lagăr; cuzinetul să fie rezistent și să se uzeze mai ușor decât fusul; întreținerea simplă și ieftină, diferențe reduse între dilatățile pieselor componente ale lagărului, pentru a nu modifica prea mult jocul inițial, sarcina din lagăr să nu cadă pe linia de despărțire dintre corp și capac.

Spre deosebire de lagărele cu alunecare, în lagărele de rostogolire, frecarea de alunecare dintre fus și cuzinet se înlocuiește cu frecarea de rostogolire dintre inele și corpurile de rulare. Prima încercare de utilizare a rulmenților se datorește lui Leonardo da Vinci. Totuși introducerea acestora pe scară largă s-a produs abia după primul război mondial.

Lagărele de rostogolire prezintă următoarele avantaje în raport cu lagărele de alunecare:

a) frecarea este aproape constantă, atât la pornire cât și în mers stabilizat, ca urmare nu necesită rodaj;

b) coeficientul de frecare este în general mai redus, deci și încălzirea este mai redusă și randamentul mai ridicat;

c) au un consum mai redus de lubrifianți (cu ~30%), o întreținere și etanșare mai simple;

d) fusuri mai scurte, deci gabarit axial al lagărului mai redus ;

e) joc radial redus;

f) evită uzura fusului;

Lagărele cu rulmenți prezintă și o seamă de neajunsuri:

a) gabarit radial mai mare;

b) unele dificultăți de montaj;

c) durabilitate mai redusă;

d) rigiditate mai mare, deci capacitate de amortizare mai mică;

e) rezistență mai redusă la suprasarcini și șocuri;

f) durabilitate redusă la viteze unghiulare mari;

Din cele de mai sus rezultă următoarele domenii de utilizare ale rulmenților :

1) în mașini cu porniri dese;

2) la turații și sarcini variabile pe fus;

3) la fusuri având viteze periferice reduse; în cazul vitezelor periferice mari sunt mai avantajoase lagărele cu alunecare;

4) în mașini cu rezistențe mari de pornire;

5) în mașini unde trebuie evitată uzura fusurilor (mașini-unelte, electromotoare);

Se evită utilizarea rulmenților în cazul lagărelor foarte mari cu viteză unghiulară redusă, a lagărelor cu viteză unghiulară foarte înaltă, când durabilitatea rulmenților este foarte redusă (la  $w = 2000 \text{ rad/s}$ , durabilitatea unui rulment este sub 500 de ore) și a lagărelor agregatelor supuse la vibrații în stare de repaos, deoarece corpurile de rulare produc deformații plastice în inele.

Rulmenții au o largă răspândire în construcția de mașini și aparate, asigurând randamente mari și cost de întreținere redus (~30% decât la lagărele cu alunecare).

### 1.1.3 Justificarea alegerii lagărelor cu alunecare

În construcția de mașini atât lagărele cu alunecare cât și cele de rostogolire au o foarte mare pondere, alegerea cu prioritate a unuia dintre ele fiind impusă de tipul constructiv al agregatului sau utilajului proiectat, astfel :

- la mașini, utilaje, agregate cu gabarit redus, de largă utilitate și fiabilitate scăzută, se utilizează cu precădere lagărele de rostogolire.

- la utilaje complexe, unde nu sunt acceptate șocuri, vibrații cum ar fi : turbine hidraulice, generatoare, motoare electrice de mare putere, motoare navale, se utilizează lagăre cu alunecare.

De asemenea, sunt utilizate lagăre cu alunecare la agregatele care lucrează la temperaturi relativ ridicate 100-300 grade C, unde utilizarea lagărelor de rostogolire este impracticabilă.

În ultimul timp perfecționările aduse în tehnologiile de producere a lagărelor cu alunecare, au ca rezultat o mărime a productivității și o scădere a prețului de cost ceea ce conduce la o utilizare pe scară din ce în ce mai largă a acestui tip de lagăre.

În acest sens amintim două tehnologii de mare productivitate utilizate în țara noastră, la fabricația cuzineților, și anume :

- tehnologia de obținere a cuzineților prin sinterizare a aliajului antifricțiune, pe suport laminat

- tehnologia de obținere a cuzineților prin turnare centrifugală a aliajelor antifricțiune pe suport turnat, forjat sau laminat.

Deși prima tehnologie are un randament mult mai ridicat (productivitate de ordinul milioanelei de semicuzineți pe an ), s-a impus tehnologia turnării centrifugale datorită calității deosebite a stratului antifricțiune.

### 1.1.4 Aspecte de frecare și uzură care au loc în funcționarea lagărelor

În timpul funcționării lagărelor de alunecare apar diferite tipuri de uzuri datorită anumitor frecări.

Cele mai importante tipuri de uzură sunt :

a) *Uzura de contact* - apare în lagăre, atunci când nu este asigurată condiția optimă pentru regimul hidrodinamic.

Înteruperea regimului hidrodinamic apare datorită :

- ungerii insuficiente datorită unor defecțiuni de pompare;
- folosirii unui lubrifianț cu vâscozitate de regim mult mai mică decât cea calculată;
- alegerii unor materiale antifricțiune necorespunzătoare;
- vitezei prea mari între cele două suprafețe, care poate să conducă la creșterea temperaturii, etc.

b) Uzura de abraziune - este de natură mecanică și este produsă de asperitățile dure din masa eterogenă a materialului, de particulele rezultate în urma uzurii de contact sau provenite din exterior;

Uzura abrazivă depinde de :

- natura materialelor ( duritatea lor)
- natura particulelor abrazive (forma, dimensiunea, duritatea lor)
- încărcarea pe lagăr (sarcina are o acțiune preponderentă în procesul de abraziune, efectele sale sunt de scurtă durată, uzura fiind în schimb foarte mare).

Rezistența la uzura abrazivă a materialelor antifricțiune depinde mai mult de deformarea plastică a materialului și de duritate. Ea variază în sens invers cu raportul HB/E.

c) Uzura de coroziune - apare datorită atacului chimic sau electrochimic al diferiților agenți chimici asupra suprafețelor cu materialele cărora acești agenți formează compuși chimici. (La motoarele termice procesul de combustie conduce la formarea de produse gazoase  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , halogeni, etc.)

Rezistența la uzura de coroziune a suprafețelor depinde de :

- natura metalelor de contact;
- natura uleiurilor;
- temperatura;

d) Uzura prin oboseală - este produsă datorită existenței a cel puțin doi factori : o forță alternativă variabilă oscilantă și un mediu lichid care să influențeze acțiunea acestei forțe asupra suprafeței.

Formele principale sub care se manifestă acest tip de uzură sunt : uzura prin ciupituri, exfolierea, cavitația, coroziunea.

Factorii care influențează acest tip de uzură sunt :

- natura metalelor de contact;
- starea suprafețelor;
- lubrifiantul;
- viteza de lucru;
- temperatura de lucru;

Pe lângă aceste tipuri de uzură, în timpul funcționării lagărelor de alunecare mai pot să apară : șocuri, vibrații, expunere la radiații,încărcări exagerate pe muchie atunci când alinierea lagărelor nu este corectă, etc.

### 1.2 Caracteristici impuse aliajelor antifricțiune

Pentru ca un lagăr să funcționeze în condiții ideale, suprafețele de contact ar trebui să aibă o rugozitate foarte mică, să fie separate întotdeauna printr-un film de lubrifiant, care să nu conțină nici un fel de impurități și să nu aibă deformații, etc.

Aceste condiții nu se întâlnesc în situații practice. De exemplu, la pornire, suprafețele nu sunt separate printr-un film de lubrifiant, nu se pot evita deformațiile arborelui și cuzinetului, lubrifiantul are impurități, etc.

Având în vedere toate acestea, precum și solicitările la care este supus ansamblul fus-cuzinet, materialele antifricțiune trebuie să aibă următoarele caracteristici :

- a) Rezistență la presiuni de contact.

Pentru a avea rezistență la presiune de contact mare, materialele trebuie să aibă o anumită duritate, dar nu prea mare pentru a se evita uzura fusurilor sau fisurarea datorită sarcinilor. Parametrul care definește această proprietate este *încărcarea specifică medie pe lagăr (Pm)*

$$P_m = W_m / DL \text{ (daN/mm}^2 \text{)}$$

unde :

$W_m$  - sarcina medie suportată de lagăr

$D$ - diametrul

$L$ - lungimea

Valoarea  $P_m$  permite o selectare a materialelor antifricțiune, uzura fiind influențată de această sarcină.

Duritatea unui material ne dă informații privind rezistența la presiunea de contact. Ea trebuie să fie situată între anumite limite. Dacă este prea mică, coeficientul de frecare este mare mai ales la porniri și opriri, iar dacă este prea mare se uzează fusul;

b) Rezistența la oboseală

Solicitările la oboseală apar în cazul încărcărilor variabile și depind de numărul de cicluri. În cazul acesta grăunții cristalini sunt supuși la o deformare periodică și alternantă, se durifică, iar în acest caz pot apărea microfisuri, crăpături locale. Toate acestea duc la o creștere exagerată a jocului dintre fus și cuzinet, conducând la pierdere de presiune de ulei și uneori la gripare.

Sunt supuși la oboseală cuzineții motoarelor cu ardere internă, bușa bolțului bielei, etc. Îmbunătățirea rezistenței la oboseală a materialelor antifricțiune se face prin micșorarea grosimii stratului depus.

c) Rezistența la coroziune

Materialele care conțin Pb, Cd, Zn, Cu, Ag sunt vulnerabile la coroziunea provocată de acizii din lubrifianți. Aliajele pe bază de Sn au de obicei o bună rezistență la coroziune.

d) Coeficientul de dilatare termică

Acesta trebuie să fie mic, în caz contrar apare un joc între fus și cuzinet care poate duce la gripare.

e) Conductivitatea termică - trebuie să fie mare pentru a se evita supraîncălzirea, deoarece cuzineții funcționează la temperaturi cuprinse între 10-130 ° C

f) Adaptabilitatea - este proprietatea de a se adapta la eventualele erori ale fusului și de a lua săgeata de încovoiere necesară în funcție de turația mașinii. În acest caz materialul trebuie să fie cât mai moale. Criteriul de evaluare îl reprezintă modul de elasticitate.

g) Griparea - este proprietatea materialelor de a prezenta o tendință minimă de adeziune și sudare la frecarea uscată. Rezistența cea mai bună la sudare față de un oțel o au aliajele pe bază de Sn, urmate de cele pe bază de Cu-Pb, Al.

h) Capacitatea de înglobare a particulelor rezultate din uleiuri sau de la uzură.

l) Asigurarea aderenței lubrifianțului.



### 1.3 Criterii de selecție ale aliajelor antifricțiune

Materialele antifricțiune folosite în lagărele de alunecare se pot clasifica după :

a) rezistența la presiunea de contact, respectiv duritatea raportată și la viteza periferică a fusului. Aceasta condiționează capacitatea de a suporta solicitări mecanice. Duritatea trebuie să fie cât mai mică pentru preluarea unor presiuni de contact și cât mai mică pentru condiții de conformabilitate.

Parametrul care caracterizează presiunea de contact este încărcarea specifică medie pe lagăr ( $P_m$ )

În funcție de  $P_m$ , aliajele se pot clasifica astfel [10] :

1)  $P_m < 140 \text{ daN/cm}^2$  - temperatura de lucru  $< 150^\circ \text{C}$   
- rotații : 500 rot./min.

Din această categorie fac parte aliajele antifricțiune pe bază de Sn, Bz-Al, Al-Si, etc.

2)  $140 < P_m < 350 \text{ daN/cm}^2$

Din această categorie fac parte aliajele de CuPb care rezistă la  $350 \text{ daN/mm}^2$ ,  $v_p = 10 \text{ m/s}$ , temperatura  $300^\circ \text{C}$ ; aliaje de Al-Sn -(ALCAO)-  $v_p = 10 \text{ m/s}$ , temperatura de  $300^\circ \text{C}$

3)  $P_m > 350 \text{ daN/cm}^2$

Din această categorie fac parte aliajele Cu-Pb, aliajele pe bază de Al care sunt acoperite galvanic cu straturi (de ordinul micronilor) de Pb-Sn, Pb-Ir.

Acoperirile galvanice se fac pentru a corecta incapacitatea acestor aliaje de a îngloba particulele străine și de a face un film protector pentru rezistență la coroziune.

b) Rezistența la oboseală

Principalii parametri constructivi ai cuzinetului care influențează rezistența la oboseală și asupra cărora se poate acționa, sunt :

- natura aliajului
- grosimea stratului pe suport
- grosimea stratului de galvanic

c) Rezistența la coroziune

d) după modul de protecție a mediului înconjurător :

- aliaje cu As și Cd

- aliaje fără As și Cd- vaporii de As și Cd sunt toxici și cancerigeni

#### **1.4 Clasificarea aliajelor antifricțiune**

Funcție de tipul tehnologiei aplicate la fabricația cuzinetelor, aliajele se împart în :

a) Aliaje sinterizabile -procedeu VORTEX de amestecare intensă a pulberilor de grafit în topituri de aliaje de aluminiu ca :

-AlSi11Ni 2,5 - grafit

-AlSi11,8Ni1,5- grafit

b) Aliaje specifice turnării statice:

- YSn83 (Sn,Sb,Cu)

- TEGO V (Sn,Sb,Cu)

- Lurgi-metal (Pb,Ca,Na,Ba)

- Ulco-metal (Pb,Ba,Ca,Hg)

c) Aliaje specifice turnării centrifugale

- bronzuri cu Pb - CuPb10Sn - 2.1010

- CuPb15Sn - 2.1570

- CuPb22Sn - 2.2020

- CuPb25Sn - 2.2530

- weissmetaturi - LgPbSn9Cd

- LgSn80

- LgSn89

d) aliaje specifice depunerii prin tehnologii speciale

- galvanice

- prin explozie

- pulverizare cu jet de plasmă

e) aliaje antifricțiune obținute prin solidificare rapidă

Pe scară largă sunt utilizate aliaje destinate turnării statice și centrifugale datorită calităților deosebite dar și a facilității obținerii, în comparație cu celelalte tipuri prezentate.

Diferența între aliajele antifricțiune turnate static și cele turnate centrifugal constă în principal în tendința primelor de a produce segregatii. În general ele se aseamănă, având aceeași compoziție dar diferă la concentrația procentuală a unor elemente.

### 1.5 Teoria structurii materialelor antifricțiune

Datorită solicitărilor la care sunt supuse materialele antifricțiune trebuie să poată satisface următoarele două condiții :

- comportare bună la regim semifluid
- rezistență mare la uzură

Prima proprietate este dată de o fază moale. Aceasta trebuie să fie ductilă, să aibă temperatura de topire scăzută, căldură latentă mare și conductibilitate bună datorită următoarelor considerente:

- trebuie să absoarbă căldura
- să evite contactul dintre compușii duri
- să înglobeze particulele, etc.

Rezistența la uzură este dată de fazele dure care trebuie să suporte sarcina.

Structura celor două faze, raportul dintre ele, este în funcție de cerința tehnică de funcționare a ansamblului cuzinet-fus.

Există foarte multe aliaje antifricțiune cu diferite compoziții chimice și microstructuri.

În funcție de matrice și constituenți, materialele antifricțiune se pot împărți în :

- 1) cu matrice moale și constituenți duri
- 2) cu matrice semidură și constituenți moi. Această categorie la rândul ei are două grupe :
  - cu matrice semidură simplă
  - cu matrice semidură complexă
- 3) cu matrice mixtă semidură și constituenți duri
- 4) structuri eutectice

### 1. Aliaje antifricțiune cu matrice moale și constituenți duri

Aliajele tipice acestei categorii sunt pe bază de Pb și Sn , Pb-Sn-Sb, Sn-Sb-Cu. Compoziția cea mai veche, Sn-Sb, este cunoscută din 1800 sub denumirea de "Babbitt".

Matricea moale (5HB) este un eutectic format din:

- soluție solidă ternară SnCuSb (în soluția solidă de Sn sunt dizolvate cantități de Sb și Cu)

- compusul chimic  $Cu_6Sn_5$

Faza dură este formată din următorii constituenți :

- SnSb (30 HB) - soluție solidă pe bază de compus intermetalic de formă cubică

-  $Cu_3Sn$  (100HB) – compus electronic cu concentrația electronică de 7/4.

-  $Cu_6Sn_5$ ;  $Cu_8Sn_3$ ;  $Cu_2Sb$  - joacă rol de centre de germinare

### 2. Aliaje cu matrice semidură și incluziuni constituenți moi

În cazul motoarelor de putere mare în care presiunea specifică este înaltă, aliajele antifricțiune ale categoriei anterioare prezintă unele dezavantaje mari , mai ales în ceea ce privește rezistența la oboseală scăzută. Structurile cu matrice semidură au în vedere mărirea proprietăților mecanice, în special rezistența la oboseală a aliajului. În acest caz, incluziunile moi au efect de antigripare.

Structura cu matrice semidură simplă și incluziuni moi de tip Cu-Pb este structura formată din două faze amestec cu cea mai largă aplicare în tehnică.

Dintre bronzurile cu plumb indigene aliajul BzPb25 (STAS 1512-50) formează structuri caracteristice bifazice Cu-Pb.

O importanță fundamentală pentru lubrificație, o are repartiția și mărirea particulelor de plumb, cerându-se anume ca aceste particule să fie cât mai mici și repartizate cât mai uniform în structură. Materialul BzPb 25 nu îndeplinește în cele mai bune condiții aceste cerințe. Aceasta dovedește că turnarea materialului examinat s-a făcut pe cale obișnuită, știut fiind că problema obținerii plumbului în structură în condiții favorabile implică turnarea acestui material după o tehnologie specială, care constituie de fapt greutatea de bază la fabricarea lagărelor din acest material.

- Structura cu matrice semidură complexă și incluziuni moi.

Necesitatea unor matrici semidure, care să imprime aliajului o duritate mai mare a condus în tehnică la aliaje cu o compoziție chimică mai complexă decât bronzurile cu plumb binare.

Compoziția Bz Sn Pb 20 este un reprezentant al acestei grupe, în care staniul se dizolvă în cupru, mărindu-se duritatea matricii aliajului.

Totuși, evoluția tehnicii cere să se înlocuiască cuprul (un metal deficitar) printr-un metal mai ieftin. Apariția și răspândirea aliajelor pe bază de aluminiu din perioada celui de-al doilea război mondial provine din această necesitate. În cei peste 50 de ani ce au trecut, s-au creat multe compoziții pe bază de aluminiu, din care compoziția cea mai potrivită pentru motoarele grele cu ardere internă și cea mai răspândită în construcția lagărelor de alunecare fiind aliajul Al-Sn cu conținut de staniu până la 10-20 %.

Pe baza aluminiului se poate crea o gamă largă de aliaje de tipul cu matrice semidură, prin alierea cu elementele care formează soluția solidă cu aluminiu, pe care se poate aplica tratamentul termomecanic corespunzător pentru compozițiile respective. În acest caz, staniul prezintă elementul de antigripare.

În general, aliajele antifricțiune pe bază de aluminiu se folosesc prin placare pe un suport de oțel.

Pentru construcția motoarelor termice, această grupă de aliaje se folosește adesea cu 12% la 20% Sn. Prin placarea benzilor de aliaje pe suportul de oțel placat cu un strat intermediar de aluminiu pur, greutățile tehnologice privind obținerea unei aderențe bune a aliajului, cu oțel s-au rezolvat complet.

Totuși, staniul este un material deficitar, deci înlocuirea staniului printr-un material mai ieftin a devenit o problemă importantă pusă în fața cercetătorilor din acest domeniu. Plumbul se prezintă ca un element care are o perspectivă mare în înlocuirea staniului.

### 3) Structurile cu matrice mixtă semidură și constituenți duri

Funcțiunile de fază moale și fază dură în înțelesul lor din lubrificație rămân valabile în cazul structurilor cu matrice semidură și cu constituenți duri. Aceste funcții trebuie însă privite și la un nivel mai ridicat pe scara durității construcțiilor structurii. Rolul antigripant al matricii moi va fi îndeplinit în cazul de față de către matricea semidură evident în limite mai restrânse,

incluziunile dure nemaifiind singurele care să îndeplinească funcția portantă în aceeași măsură ca și în structurile cu matrice moi.

O structură cu matrice semidură și cu incluziuni/constituenți tari se poate obține cu un aliaj de tip Al-Sb [75], cu adaos de puțin magneziu. În acest aliaj, stibiul formează compusul definit AlSb și nu prezintă stabilitate reciprocă. În consecință, stibiul nu influențează duritatea fazei de aluminiu prin formare de soluție solidă. Magneziul este complet solubil în aluminiu până la un conținut de 1,9% Mg, măbind duritatea fazei de aluminiu.

Distribuția neuniformă a fazei dure AlSb în aliaj constituie unul dintre defectele tehnologice importante ale acestui tip de structură, deoarece duritatea mare a acestei faze se reflectă în mod cu totul negativ asupra uzurii fusului lagărelor.

#### 4) Structurile eutectice

La structurile eutectice, constituentul principal mai moale alternează cu cel dur la scară microscopică. Repartiția fazei antigripante moi în structură îndeplinește deci una din condițiile principale cerute în cazul structurilor care au în componența lor astfel de constituenți. Constituenții fazei eutectice pot fi la rândul lor, elemente simple, soluții solide sau compuși definiți.

Aliajele aluminiului cu siliciu sunt tipice în concentrația eutectică prezentată mai sus.

Pentru îmbunătățirea structurii se adaugă elementele de aliere și anume: cupru, magneziu, mangan, nichel. Structura aliajului va apărea în consecință cu ușoare abateri de la forma eutectică, motiv pentru care denumirea lor de structuri cvasieutectice pare mai corectă.

Prin tendința fazei aluminiu de a se aglomera, lamelele de siliciu tind deasemenea, pe de o parte, să se unească, formând lamele cu ace mult mai grosiere decât în cazul eutecticelor normale, iar pe de altă parte, aceste lamele se concentrează, formând zone mai mari de siliciu eutectic. Procesul de desaturare se răsfrânge însă asupra siliciului eutectic și într-un alt mod. Astfel, în creșterea lor, lamelele cu acele de siliciu devin colțuroase, cu muchii și vârfuri foarte ascuțite, ceea ce le mărește eficacitatea în procesul de uzură abrazivă.

Siliciul eutectic se prezintă, în general, sub formă de particule lamelare, unele chiar globulare cu muchiile rotunjite și fără colțuri. O astfel de structură se obține prin procedeul tehnologic de modificare.

Totuși, aceste aliaje au duritate înaltă și provoacă uzura puternică a arborilor. De aceea folosirea pentru motoarele termice este limitată.

### 1.6 Structura aliajelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb- Cu

Aceste aliaje fac parte din categoria aliajelor cu matrice moale și constituenți duri.

#### Faze și constituenți

Matricea moale (cu o duritate de ~5 HB) este un eutectic format dintr-o soluție solidă ternară Sn, Cu, Sb (în soluția solidă de Sn sunt dizolvate cantități mici de Cu și Sb) și un compus chimic  $Cu_6Sn_5$ . Are temperatura de solidificare de ~230°C.

Faza dură este formată din următorii constituenți :

- SnSb (30 HB) faza  $\beta'$  - soluție solidă pe bază de compus intermetalic sub formă cubică

-  $Cu_3Sn$  (100 HB) faza  $\epsilon$  - are formă aciculară sau lamelară întreruptă , poate să apară și sub formă de litere grecești. Este un compus electronic cu concentrația electronică de  $7/4$  [72].

- Alți constituenți duri :  $Cu_6Sn_5$  faza  $\eta'$ ;  $Cu_8Sn_3$  ;  $Cu_2Sb$  ; Aceștia constituie centre de germinare.

Dacă conținutul de Cu >9 % cristalele formate au vârfuri ascuțite , iar granulația este mare.

Elementele de aliere - Cele mai importante elemente de aliere sunt Pb, Cd, As, Cr, Ni, Co, Al Mn, Te, Se, Ag, Ti. Aceste elemente îmbunătățesc proprietățile mecanice și de antifricțiune, rolul lor fiind de a finisa structura și de a înlocui Sb [75].

Cadmiul se dizolvă în matrice.

Nichelul formează compuși duri cu Sb. Microstructura care rezultă este foarte fină și conține Sn-Sb; Cu-Sn; Ni-Sb; uniform distribuite în matricea Sn-Sb-Cu-Cd [75] .

Un astfel de aliaj posedă proprietăți antifricțiune excelente, ductilitate mare și duritate la temperaturi înalte, precum și rezistență la oboseală.

Procentul elementelor de aliere trebuie limitat deoarece peste o anumită cantitate, calitatea aliajului scade. Chiar în procente optime ele pot să aibă o influență negativă asupra proprietăților aliajului datorită segregăției în timpul turnării (datorită diferențelor de greutate), sau formează eutectice cu puncte de topire joase [73].

De exemplu : Aliajul Sn 80; Sb12;  $Cu_6Pb_2$  sau structura formată din :

- matrice - ss Sn-Sb-Cu-Pb

- constituenți - Sn-Sb și Cu-Sn.

Plumbul care nu s-a dizolvat în matrice se solidifică sub formă de eutectic Pb+ (Sn-Sb). Acesta are un punct de topire de 183 °C cu 40 °C mai mic decât punctul de topire al aliajului. Totodată eutecticul de Pb în cazul turnării statice sedimentează, iar în cazul turnării centrifugale trece la interfața aliaj-bucșă de oțel , ducând la o legătură slabă între aliaj și bucșă.

Același fenomen se întâmplă dacă avem o cantitate mare de Cu sau alte elemente cu o greutate specifică mare [75].

Aluminiul în sistemul Sn-Sb-Cu-Al (10% Sb, 3% Cu, 1% Al) formează compuși CuAl<sub>2</sub> și Al Sb. Peste 1% Al scad proprietățile aliajului datorită formării cristalelor dure cu dimensiuni mari de Al Sb [75].

- Caracteristicile mecanice ale aliajelor Sn-Sb-Cu sunt date în tabelul 1.1

**Tabelul nr.1 1**

Rm <i>N / m<sup>2</sup></i>	R <sub>p0.2</sub> <i>N / m<sup>2</sup></i>	A %	HB 10/250						E <i>daN / mm<sup>2</sup></i>	
			20 ° C		50 ° C		100 ° C			
87-	70-	4-	30	60	180	60	180	60	180	3800- 5000
90	75	7	29	22	20-	16	14	11	9	
			33	24	22	17	15	10	8	

### 1.7 Familii de aliaje antifricțiune pe bază de Sn

Famiile de aliaje antifricțiune pe bază de Sn sunt considerate printre cele mai bune materiale pentru lagăre, fiind caracterizate prin :

- temperatura redusă de topire
- proprietăți bune de turnare
- stabilitate înaltă la coroziune la diferite substanțe folosite la ungere
- conductibilitate termică bună
- rezistență mare la uzură
- prelucrabilitate ușoară



-preț de cost redus

Un dezavantaj îl reprezintă faptul că au o rezistență mecanică scăzută, de aceea se toarnă pe suport din oțel, fontă, alamă, bronz.

În tabelele 1.2 sunt redate principalele familii de aliaje antifricțiune pe bază de Sn și Pb, iar în tabelul 1.3 principalele familii de aliaje pe bază de Sn.

Aceste aliaje se utilizează pentru executarea lagărelor mașinilor unelte, motoarelor de avioane, turbinelor, locomotivelor, pompelor și diferitelor motoare cu ardere internă.

În literatura de specialitate sunt împărțite în următoarele familii conform tabelelor 3 și 4.

### **1.8 Concluzii privind alegerea aliajelor Sn – Sb - fără Cd și As**

Aliajele antifricțiune pe bază de Sn-Sb sunt folosite în prezent pe scară mare la confecționarea cuzinetelor, datorită caracteristicilor prezentate în paragrafele anterioare.

Companiile producătoare de aliaje antifricțiune pe bază de Sn-Sb, atât din străinătate cât și din țară (UCM Reșița, FAUR București, TRACTORUL Brașov, etc.) au îmbunătățit în continuu calitatea acestor aliaje prin tehnologii noi de elaborare și turnare, precum și prin modificarea compoziției chimice.

Compoziția chimică a fost modificată prin adăugarea de elemente de aliere, cum ar fi : Cu, Pb, As, Cd, Ti, Cr, Al, Mn, Te, Se, etc. Aceste elemente au dus la îmbunătățirea proprietăților mecanice și tribologice prin apariția de noi constituenți prin micșorarea dimensiunilor acestora și prin creșterea durității matricii. Alte elemente de aliere au fost introduse pentru a înlocui altele (de exemplu, Pb pentru înlocuirea Sn) în vederea reducerii prețului de cost.

Unele elemente de aliere cu toate că au o influență pozitivă asupra proprietăților mecanice și tribologice ale aliajelor Sn-Sb, s-au dovedit a fi foarte dăunătoare pentru sănătatea oamenilor, animalelor și poluante pentru mediu..

Astfel, As și Cd sunt considerate în unanimitate de specialiști drept cancerigene.

Aceste elemente trebuie eliminate din aliaje, iar aliajele la rândul lor, trebuie aduse la parametrii inițiali, folosindu-se alte elemente de aliere sau alte tehnologii de elaborare și turnare performante.

Având în vedere cele prezentate mai sus, în capitolele 2, 3, 4, vom prezenta rezultatele cercetărilor privind eliminarea As și Cd din aceste aliaje, precum și tehnologii noi de obținere a aliajelor Sn-Sb fără Cd și As, folosind materiale recuperabile.

**Aliaje antifricțiune Sn -Sb -Pb -Cu**

Tipul aliajului	Stusul	Marca Denumirea	Compozitia chimica %										Elemente de aliere %										Impuritatii maxime %									
			Sn	Sb	Cu	Pb	As	Cd	Be	Bi	Te	Cr	Co	Mn	Ni	Pb	Cu	Zn	Fe	Al	As	Bi	Cd	Si								
Sn - Sb		Metal alb	92	8																												
		Bronz	97	3																												
		Bechman	85	15										3%																		
		Aliaj lagare	65	20																												
		Metal Wagner	76	25			4-10																									
		LSn74Sb	73,5-74,5	25,5-26,5																												
	Sn-Sb-Cu	Stas 202-73	Y-Sn 89	88-90	7-8	3-4														0,05	0,1	0,0008	0,05									
		Stas 202-73	Y-Sn 83	82-84	10-12	5,5-6,5														0,05	0,12	0,05	-									
			Babbit evsn	93	3,5-5	2-3,5																										
			Babbit evsn	83	10-12	5,5-6,5	0,35					0,08							0,08													
		Babbit evsn	89-91	4,5-8	3-4,5																											
		COPAN	80-90	10-15	2-3	0,2																										
		COPAN	~83	5-13	1-3										0,1-1,5																	
		Federalny B100	87-90	7-8	3-5																											
			58-89	5-13	1-9										0-15																	
GOST 1320-55			B93	Rest	3,5-5	3,5-5																										
			B90	Rest	7-8,5	2,5-3,5															0,1	0,05										
			B89	Rest	7,2-8,2	2,5-3,5																0,08										
			B83	Rest	10-12	5,6-6,5															0,1	0,05										
		DIN 1703		LgSn80I	79-81	10-12	8-10																									
	LgSn80		79-81	11-13	5-7																											
	GDsn78		77-79	16-18	3,5-4,5																											
	GDsn75		74-76	16-18	4,5-5,5																											
ASTM B32-46T		GDsn70	69-71	14-16	4-5																											
			90-92	4-5	4-5																											
			88-90	7-8	3-4																											
			82-84	7,5-9	7,5-9																											

STANDART	Material	89 - 91	5,75- 7,25	3 - 4	0,35																					
Sn-Pb-Sb	MB85	SnSb8Cu7	84 - 86	7,25- 8,75	6,25- 7,75	0,35														0,05						
	MB83	SnSb11Cu6	82 - 84	10 - 12	5,25- 6,75	0,35														0,05						
	MB80	SnSb11Cu9	79 - 81	10 - 12	8,25- 9,75	0,35																0,05				
	MB80 P	SnSb12Cu6 Pb2	79 - 81	11 - 13	5,25- 6,75	1,5- 2,5																0,1				
	STAS 202-72	Y-Sn80	79, 81	11- 13	5,7	1 - 3																0,05	0,12	0,05		
	STAS 202-59	YPbSn10	~10	~15	~1	~74																0,05	0,12	0,05		
	STAS 202-59	YPbSn6Cd	~6	~17	-	~74				0,7- 0,8	0,8- 0,9											0,05	0,1	0,05		
	GOST 1320-55	B 16	15- 17	15- 17	1,5- 2	64- 69																	0,15	0,1	0,1	
		B 6	5-6	14- 16	2,5- 3	70- 78				0,6- 1	1,75- 2,25												0,15	0,1	0,1	
		BN	9-11	13- 15	1,5- 2	69- 75				0,5- 0,9	1,25- 1,75												0,15	0,1	0,1	
		BT	9-11	14- 16	0,7- 1	78- 76																		0,15	0,1	0,1
		Lg Pb Sn 5	4 - 5,5	14,5- 16,5	0,5 - 1,5																					
	DIN 1703-52	Lg Pb Sn 10	9,5- 10,5	14,5- 16,5	0,5 - 1,5	Rest																				
Pb Sb 3 Sn		1,5- 2,5	2,5- 3,5	-	Rest																					
Pb Sn 15 Sb		15,5- 16	4 - 5	-	Rest																					
SUA	Pb Sb 12 Sn 3	2,5- 3,5	11,5- 12,5	-	Rest																					
		4,5- 5,5	9,25- 10, 75	0,5	Rest																					
		0,75- 1,25	14,5- 17,5	0,6	Rest																					
		4,5- 5,5	14- 16	0,5	Rest																					
		9,3- 10,7	14- 16	0,5	Rest																					
		0,6	12- 13,5	0,1	Rest																					
						Rest				1,5- 3%																

Tabelul 1.2 (continuare)

Tipul aliajului	Stusul	Marca Denumirea	Compozitia chimica %										Elemente de aliere %										Impuritati maxime %					
			Sn		Sb		Cu		Pb		Pb		Al	Mg	Na	Ca	As	Cd	Si	Tc	Ni	Pb	Cu	Zn	Fe	Al	As	Bi
Pb-Sn-Sb	STAS 203-73	Y Pb	-	-	-	-	-	96				0,02-0,04	0,22-0,25	0,58-0,66	0,65-0,72							0,09	0,05	0,1	-	0,12	0,1	
		Y PbSn5	4-5	5,9-12	0,3-0,6	-	~82															-	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	
		Y PbSn6Sb6	5,5-6,5	5,5-6,5	-	-	88-90																					
		Weissmettal 3	2-4	2-4	-	-	92-96																					
		PbSb3Sn	1,5-2,5	2,5-3,5	-	-	93-96																					
		PbSn15Sb	15,5-16	4-5	-	-	79-81																					
	Lager-hartblei	LgPb65 Sn5	5	5	-	-	81																					
		GfD Pb85	4-6	9-11	-	-	77									0,75	0,75											
		LgPbSb10Sn5	5	10	-	-	77																					
		GfD Pb46	39-41	11-13	1,5-2,5	44-46										0,5	0,5											
		GfD Pb59	24-26	12-14	2,5-3,5											0,5	0,5											
		LgPbSb9Cd	8-10	13-15	0,8-1,2	~73										0,3-1%	0,3-0,7											
		B3	12-13	13-15	2,5-3	69																						
		LgPbSn40Cd	40	13-16	3-3,5	~35										0,5-1	0,6-1											
		LgPbSn6Cd	5-7	14-16	0,8-1,2																							
	LgPbSb15Sn10	6,5-12	14-20	3,5-7	68-75																							
	LgPbSn5	4,5-5,5	14,5-16,5	0,5-1,5	76-81																							
	LgPbSn10	9,5-10,5	14,5-16,5	0,5-1,5	73-77																							
	SAE 15	0,9-1,25	14,5-15,5	-	83-84										0,8-1,1													
	B2	15-16	15-16	2,5-3	64-67																							
	LgPbSb15Sn5	5	15	-	72																							
Grafit Bear ing Metal		PbSn10Sb15 Cu	15	17	-	66																						

Tabelul 1.2 (continuare)

Tipul aliajului	Stasul	Marca Denumirea	Compozitia chimica %										Elemente de aliere %														
			Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Mg	Na	Ca	K	Li	Ba	Sr	As	Cd	Si	Be	Bi	Hg	Ag	Te	Ni				
Pb+metale alcalino-pamintoase	STAS 203-73	YPb98				96	0,02-0,04	0,22-0,25	0,58-0,66	0,65-0,72																	
	GOST 1209-59	BKA				98	0,05-2%		0,58-0,66	0,65-0,72				0,25													
		BK2	1,5-2,5			Rest	-	0,04-0,09	0,25-0,5	0,35-0,55																	
	DIN 1703-52	LgPb				~97	0,05	0,05	0,15-0,7	0,4-0,75			0,04	0,8													
		LgPbBo3				Rest							0,04	3													
		Bahn Metal				~98	0,02		0,6	0,7			0,04														
		Lurgumetall				~95			0,3	0,4			2-4														
		LgPb (CaNaAl)				~97	0,2	0,05	0,1-0,25	0,7			0,02	0,35	0,5												
		Ulca metal				~97					0,43			1,76						0,2-0,3							
				1-2			0,02-0,15	0,2-0,1		0,3-0,7	0,02-0,06		0,02-0,06							0,4-0,9							
			Babbitt cu Pb	15-17	15-17	1,5-2,6	64-78																				
				9-11	13-15	1,5-2	68-75																0,5-0,9	1,25-1,75			
				5	5	-	71																				9
			5-6	14-16	2,5-3	72-76																0,6-1	1,75-2,25	0,1			
						~96	0,02-0,04	0,22-0,25	0,58-0,66	0,65-0,72																	
						~98	0,05-0,2		0,6-0,9	0,85-0,15												0,25					
						94-96			0,9	0,15																	
		Ferry	6	15	1,2	~76	0,05	0,05	0,15-0,75	0,4-0,75		0,04	0,8									0,5	1				
						~98						0,02-0,7															
						~95			0,01-1	1		Latuu 1%										0,01-2					
			0,05-2			~98			0,05-1	1												0,015-0,1					
									1	1								0,25									

Tabelul 1.3

Tipul aliajului	Stasul	Marca Denumirea	Masa moale/HB	Masa dura/HB	Caracteristici Mecanice					Temp. de turnare	Domeniu de utilizare	
					$\rho$ gr/cm <sup>3</sup>	$\sigma_r$ daN/m <sup>2</sup>	$\sigma_c$ daN/m <sup>2</sup>	A %	HB			
Sn - Sb		Metal alb	$\alpha$ (Sn) 5 HB	$\beta$ SnSb 30 HB							lag. aluneș. cu ungere insuficientă	
		Bronz									lagare de alunecare	
		Bechman										
		Aliaj lagare									lagare de alunecare	
		Metal Wagner										
		L Sn74Sb										
Sn-Sb-Cu	Stas 202-73	Y-Sn 89				7.39	-	-	-	424	Turnare in lagare turbine abur.	
	Stas 202-73	Y-Sn 83				7.5-7.7	-	-	-	500-550	turboimpresoare . motoare Diesel	
		Babbit cvsn					4.8-6.7		25-29		lagare pt. masini unelte	
		Babbit cvsn					9		6		motoare avioane	
		Babbit cvsn					6-8		7-32		compressoare locomotive	
		COPAN		$\alpha$ (Sn) 5 HB	$\beta$ SnSb 30 HB		6-8		7-32		pompe	
		COPAN					6-8		7-32		luminoare	
		Federalay B100					9		21		lagare masini-unelte	
							8		11		lagare de alunecare	
								5-14	11-25		mas unelte . mot avioane	
											pompe compresoare	
											avioane, mot cu ardere	
										interna, mot electrice		
GOST 1320-55	B93											
	B90					7.3	9.2	4.3	9	350-400		
	B89						8			325-375		
	B83					7.28	9	8.2	6	400-450		
	DIN 1703	Lg Sn80F										
	DIN 1742	Lg Sn80										
		GD Sn 78										
		GD Sn 75										
		GD Sn 70										
	ASTM B32-46T						7.34	9.3		6.3	400-450	
							7.39	11.1	6.1	18	400-450	
							7.46	10.1		6.6	450-500	
MB90	SnSb6.5Cu 3.5									420-480		
MB85	SnSb8Cu7									430-490		
MB83	SnSb11Cu6									430-490		
MB80	SnSb11Cu9									450-510		
MB80 P	SnSb12Cu6									430-490		

Tabelul 1.3 (continuare)

Sn-Pb-Sb	STAS 202-73	Y-Sn 80	Curtectic α (Pb)	7,6-7,8	-	-	-	24-30	450-500	electromotoare , generat locomotive cu vit mare masini cu turatie pama la 500 rot / min
	STAS 202-59	Y Pb Sn 10	β (SnSb) 30HB	9,6-9,8	135			23-32	400-450	
	STAS 202-59	Y PR Sn 6 Cd	Cu3Sn 100HB	9,7-9,9	125			22-31	400-450	
	GOST 1320-55	B 16	compusi pe baza PbTe	9,29	8,6	0,2		30	c.frecare	
		B 6	de Ni	9,6	-	0,2		32	0,006	
		BN	As,Cd	9,55	7	1		29		
		BT						22		
	DIN 1703-52	Lg Pb Sn 5						23		
		Lg Pb Sn 10								
		Pb Sb 3 Sn								
		Pb Sn 15 Sb								
		Pb Sb 12 Sn3								
	S.U.A.			10, 24	8,0	5		19	300-400	
				10, 10	9,2	2		20	400-500	
				10, 04	8,0	5		20	300-400	
				9,73	8,5	4		22	350-450	
				10,1	7,8	1,5		22	400-500	

Tipul aliajului	Stusul	Marca Denumirea	Masa moale/HB	Masa dura/HB	Caracteristici Mecanice					Temp. de turnare	Domeniu de utilizare		
					$\rho$ gr/cm <sup>3</sup>	$\sigma_r$ daN/m <sup>2</sup>	$\sigma_c$ daN/m <sup>2</sup>	A %	HB				
Pb-Sn-Sb	STAS 203-73	Y Pb				10,5	16,5			30-39	500-600	cuzineti pt. vag. loc. pt. viteze 300-400 rot / min	
		Y Pb Sn 5									400-500	cuzineti pt. vag. calator si marfa	
		Y Pb Sn6 Sb6 Weissmetal 3									400-450	cuzineti subiri la autocamioane	
	Lager - hartblei	Pb Sb3 Sn											
		Pb Sn15 Sb											
		Lg Pb 65 Sn5											
		GID Pb 85											
		Lg PbSb10Sn5											
		GDPb46											
		GDPb59											
		LgPbSb9Cd											
		B3											
		LgPbSn40Cd											
		LgPbSn6Cd											
		LgPbSb15Sn10											
LgPbSn5													
LgPbSn10													
SAE 15													
Grafit Bear ing Metal	B2												
	LgPbSb15Sn5												
		PbSn10Sb15 Cu											



Tabelul 1.3 (continuare)

Tipul aliajului	Stusul	Marca Denumirea	Masa moale/HB	Masa dura/HB	Caracteristici Mecanice					Temp. de turnare	Domeniu de utilizare	
					$\rho$ gr/cm <sup>3</sup>	$\sigma_r$ daN/m <sup>2</sup>	$\sigma_c$ daN/m <sup>2</sup>	A %	HB			
Pb + metale alcalino-pământoase	STAS 203-73	YPb98			10,5		16,5		36-39	500-600	cuzineti vâg locomotive v. 300-600 rot / min	
	GOST 1209-59	BKA BK2	$\alpha$ Pb sau eutectic	Pb3Co, Pb3No	10	10	11,8		32			
	DIN 1703-52	LgPb	$\alpha$ (Pb)		Pb1i							
		LgPbBo3	HB 5		PbMg2							
		Bahn Metall			Pb3Sr							
		Lurgumetall			Pb3Bn							
		LgPb (CaNaAl)			Pb1c, PbSe							
		Ulca metal			PbZn	9-14	8-12	22-27				lagare mot elec - masini
		Babbit cu Pb				10-14	2-5	24-30				unelte, metalurgice minerit
	Ferry					10-14	2-5	28-32				lagare, buese, cuzineti de alunecare pt motoare
						8-12	4-5	17-24				electrice si cu ardere internă, torje
						10-13	3-5	20-26				pot functiona la temp < 150 grade C
						8-14	8-10	20-26				
						10-14	6-8	24-32				
					10-14	6-10	20-30					
					8-14	6-14	18-30					
				10-14	3-5	22-28					lagare motoare locomotive, vagoane	
					-	-	-	-	-		pt lagare de alunecare	
					-	-	-	-	-		pt lagare de alunecare	
					6-8	6-10	17-29				pt lagare de alunecare	
					10-14	6-8	20-30				pt lagare de alunecare	

## CAPITOLUL 2

### Stadiul actual al folosirii materialelor recuperabile.

#### Tehnologii de recuperare a materialelor re folosibile folosite pe plan mondial

#### Tehnologii propuse pentru recuperarea materialelor re folosibile pe bază de Sn-Sb

### 2.1 Generalități

Industria constructoare de mașini se află într-o situație dificilă .Pe de-o parte ,s-a dezvoltat atât calitativ cât și cantitativ ,iar pe de altă parte , se confruntă cu probleme legate de lipsa materiilor prime . O mare parte din cei care lucrează în acest domeniu sunt angrenați în obținerea de tehnologii performante de recuperare a deșeurilor ,în special a șpanului.

Potrivit postulatului : "Cea mai mare sursă de materii prime este economia de materiale " - la ora actuală în industrie fiecare gram contează ,pentru că multiplicat la nivel de producție el devine kilogram și apoi tonă. Valorificarea deșeurilor a devenit în acest caz foarte importantă.

Referindu-ne la cazul aliajelor neferoase , putem afirma că resursele de minereuri și concentrate neferoase sunt în scădere ,în timp ce prețul de cost al acestora este în creștere.

Printr-o curiozitate a naturii , se pare că cu cât un element este mai rar cu atât el este mai valoros prin calitățile sale sau prin influența pe care o poate avea asupra elementelor cu care formează aliajul. Separarea elementelor metalice din zăcăminte este cu atât mai grea cu cât aceste elemente sunt în concentrație mai mică. De aici și prețul de cost este invers proporțional cu concentrația din zăcăminte.

Statisticile țărilor cu industrie metalurgică dezvoltată ne indică faptul că deșeurile de metale neferoase constituie o rezervă care permite recuperarea în medie a 30-40% din producția de metale neferoase .De aceea ,indiferent de gradul de dezvoltare al unei țări ,colectorilor și utilizatorilor de deșeuri neferoase li se acordă o atenție deosebită, datorită economiei pe care o aduc.

Exemplu : La elaborarea aluminiului ,dacă acesta este produs din deșeuri ,tona de aluminiu costă cu aproximativ 15% mai puțin decât tona de aluminiu obținut din materii prime noi.

Investițiile necesare pentru construcția unei societăți pentru prelucrarea aliajelor neferoase secundare sunt mult mai mici decât pentru societățile metalurgice de prelucrare a materiilor prime și dau rezultate în perioade de timp mai scurte.

Cantitățile de deșuri depind de dimensiunea resurselor sau fondurilor de metale neferoase din țara respectivă.

În afară de fondul metalurgic al țării, cantitățile de deșuri existente mai pot fi influențate de următoarele :

- structura fondului - adică împărțirea deșeurilor pe ramuri și sectoare ale industriei

- durata de folosință a utilajelor și instalațiilor din țară - cu cât aceasta este mai mare cu atât fondul este mai mic.

Desigur aceste surse de materiale recuperabile prezintă și unele inconveniente în procesul tehnologic ,și anume :

- volumul lor este mult mai mare decât al materiilor prime

- sunt impurificate cu diferite materiale

- la elaborare apar anumite probleme specifice ,care trebuie eliminate , etc.

Așadar, pentru a putea fi introduse în circuitul tehnologic ,aceste materiale trebuie să fie supuse unei operații de prelucrare, cum ar fi: sortarea, separarea, porționarea, sfărâmarea, centrifugarea, balotarea, brichetarea, topirea, turnarea.

Cu toate că aceste operații măresc prețul de cost al pieselor, folosirea acestor deșuri prelucrate este încă foarte avantajoasă..

În România, la ora actuală nu există o societate specializată numai pe recuperarea deșeurilor rezultate de la elaborarea și prelucrarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn .Colectarea și prelucrarea acestor deșuri se face în societățile în care se fabrică cuzineții.

Materialele recuperabile în cazul aliajelor pe bază de Sn constau din :

- șpan rezultat din prelucrarea cuzineților (peste 60% din materiale se îndepărtează prin prelucrare)

- piese rebutate

Șpanul aliajelor antifricțiune pe bază de Sn se adună în containere pe mărci, se separă de eventualele impurități de feroase, după care se introduce în șarjă.

În țară nu există o tehnologie complexă de prelucrare a șpanului mergând până la brichetare .

Totodată nu am putut să apreciez cantitatea de șpan și materiale recuperabile din țară deoarece producția a scăzut foarte mult în toate societățile care turnau cantități mari de aliaje antifricțiune pe bază de Sn-Sb (UCM Reșița, Faur București, Roman S.A. și Tractorul S.A din Brașov).

Cu toate acestea, făcând abstracție de cheltuielile de regie, precum și de rebut la elaborarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn în țară se folosesc până la 50% materiale re folosibile.

Prețul de cost al șpanului este cu 50% mai mic decât al materiei prime, rezultând o economie de aprox.25%[Cap.5]

## **2.2 Tehnologii de recuperare a materialelor re folosibile utilizate pe plan mondial**

Având în vedere cele prezentate în paragraful (2.1 ), țările dezvoltate au elaborat tehnologii de recuperare pentru materialele re folosibile. În continuare vom prezenta astfel de tehnologii de recuperare , axate în primul rând pe tehnologiile de recuperare a șpanurilor.

### **2.2.1 Clasificarea deșeurilor metalelor neferoase**

Deșeurile metalelor neferoase se clasifică pe :

- categorii
- grupe
- sortimente

în felul următor :

a) în funcție de compoziția chimică : - deșeuri din metal pur

- deșeuri din aliaje

b) în funcție de formă și dimensiuni : - deșeuri din bucăți

- deșeuri din strunjituri

- deșeuri din oxizi, zgură, etc.

c) după valoare : - deșeuri cu valoare totală , atunci când întreaga lor cantitate se dirijează direct la prelucrare fără a mai fi necesară o prelucrare metalurgică;

- deșeuri cu valoare redusă , care necesită o prelucrare metalurgică;

d) în funcție de posibilitățile de prelucrare : - deșeuri de recirculație, atunci când ele se valorifică în societățile comerciale ;

- deșeuri comerciale , atunci când se predau  
contra cost prin intermediul unei firme de colectare;

e) în funcție de tipul materialului: - rețele de alimentare

- rebuturile din turnătorii și de la prelucrarea mecanică

- piese scoase din uz

- șpan

După valoare ,deșeurile și metalele vechi se clasifică in :

- deșeuri cu valoare totală -când întreaga lor cantitate se dirijează direct la prelucrare fără a mai fi necesară o prelucrare metalurgică

- deșeuri cu valoare redusă - care necesită o prelucrare metalurgică (de ex. zgurele, cenușa, drojdiile )

Din punct de vedere al posibilităților de valorificare, deșeurile se clasifică în:

- deșeuri de recirculație -atunci când ele se revalorifică în societățile comerciale

- comerciable -atunci când se predau contra cost prin intermediul unor firme de colectare

Din aceste două categorii fac parte :

a) Rețelele de alimentare și piesele turnate declarate rebut se introduc în rețelele de încărcare a cuptoarelor după o eventuală sortare ,mărunțire și sablare. Nu mai necesită cheltuieli de transport și nu există ,în general ,restricții de folosire deoarece au aceeași compoziție chimică .Această resursă de deșeuri este cea mai convenabilă.

b) Piese declarate rebut la prelucrare reprezintă o altă categorie de deșeuri cu re folosire integrală ,practic fără restricții. Acolo unde nu există turnătorie ,ele sunt valorificate prin intermediul societăților specializate.

c) Resturi de la debitări -refolosirea lor din punct de vedere tehnologic nu ridică probleme. Operațiile anterioare pot consta în :sortare, balotare, debitare și transport în cazul în care nu există turnătorie proprie.

d) Margini debitate după operația de matrițare -nici aceste deșeuri nu prezintă probleme tehnologice .

e) Piese scoase din uz sau dezmembrate din utilaje sau mașini casate .Acestea au o pondere însemnată în raport cu întreaga cantitate de deșeuri metalice recuperabile .

Fiind colectate atât de la societăți cât și de la populație acestea necesită o prelucrare anterioară deoarece conțin :

- mărci diferite
- corpuri nemetalice
- corpuri metalice
- impurități ,ulei ,pământ ,vopsea ,etc.

f) Șpanul rezultat în urma operațiilor de prelucrare mecanică sau manuală- În procesul de prelucrare a pieselor metalice pe mașini-unelte rezultă o cantitate mai mare sau mai mică de șpan în funcție de configurația pieselor respective. Pentru piesele turnate din aliaje neferoase cantitatea de șpan se ridică la aproximativ 30%- 80%.

Forma și dimensiunile așchiilor ce se produc la prelucrarea pieselor metalice pe mașini-unelte ,depind de anumiți factori ,și anume : tipul sculei așchietoare, forma sculei așchietoare, tipul mașinii-unealtă, viteza de prelucrare, materialele ce se prelucrează, geometria piesei prelucrate, tehnologia de prelucrare aplicată .

Șpanul poate fi clasificat în :

- șpan mărunț
- șpan foios

Prin șpan mărunț se înțeleg așchiile metalice obținute la prelucrarea pe mașini unelte care se prezintă sub formă de lamele plane ,curbe sau semicirculare ale căror dimensiuni nu depășesc 20-30 mm, precum și sub formă de benzi ,în spirală cilindrică sau plană cu dimensiunea maximă de 100-150 mm.

Șpanul foios este sub formă de panglici lungi ,răsucite în formă de tuburi ,spirale plate sau spirale cilindrice cu diferite forme ,cu dimensiuni peste 200-250 mm.

Această clasificare a fost determinată de condițiile necesare procesului de recuperare a șpanului și anume : colectare, transport, stocare, manevrare, prelucrare.

Șpanul mărunț are o fluiditate relativ bună ,ceea ce îi permite să fie în-depărtat relativ ușor de la mașina -unealtă. Se pretează la un transport mecanizat .Are o greutate volumică acceptabilă și se pretează la brichetare.

Șpanul foios prezintă o serie de neajunsuri. Fiind vorba de spirale cilindrice ,foarte flexibile ,se agață foarte ușor și formează ghemotoace care pot înfunda mijloacele mecanizate de transport ,iar la depozitare ocupă un spațiu mare .Pentru brichetare necesită operații de sfărâmare cu mașini specializate ,deci un consum suplimentar de manoperă ,energie ,investiții.

Șpanul provenit din prelucrarea pieselor produse din aliaje neferoase este în cantitate destul de redusă deoarece aliajele neferoase sunt materiale deficitare ,iar piesele fabricate din aceste materiale reprezintă aprox.2% din producția de piese din fontă și oțel.

Fiind materiale deficitare ,șpanul a fost gospodărit cu mai multă grijă, recuperarea sa făcându-se prin topire.

### **2.2.2 Tehnologia de recuperare a deșeurilor provenite din rebuturi, rețele, piese dezmembrate**

La aceste tipuri de materiale este necesară doar sortarea și sfărâmarea.

Sortarea \_este mai dificilă decât în cazul sortării șpanului deoarece aceste deșeuri provin din domenii diferite și conțin foarte multe impurități, atât metalice cât și nemetalice.

#### Sortarea deșeurilor provenite din rebuturi, instalații și piese dezmembrate

In cazul acestor deșeuri ,sortarea este mai dificilă decât în cazul sortării șpanului, deoarece aceste deșeuri provin din domenii diferite și conțin foarte multe impurități ,atât metalice cât și nemetalice.

In cazul acestor deșeuri ,etapele sortării sunt următoarele :

- cântărirea
- controlul pirotehnic
- sortarea propriu-zisă

Cântărirea -toate materialele care intră în depozit trebuie cântărite .Depozitele sunt dotate cu cântar tip CFR sau auto.

Controlul pirotehnic -Fiecare cantitate ,indiferent de proveniența sa trebuie să fie supusă controlului pirotehnic ,urmând a se evacua elementele periculoase.

Sortarea propriu-zisă constă în despărțirea deșeurilor în grupe , sortimente și aliaje.

Metodele folosite pentru sortare sunt următoarele :

- sortarea după aspectul exterior (culoare,densitate)
- sortarea după etichetă (la anumite produse)

- metoda cu picături
- sortarea cu ajutorul stiloscopului
- prin analize chimice rapide care pot fi : clasice ,spectrale, fluorescență , radiații x.

Metoda de încercare de analiză prin picături se bazează pe faptul că o picătură dintr-un anumit reactiv (de obicei incolor) așezată pe o suprafață curățată a piesei intră în reacție chimică cu anumiți componenți ai aliajului formând compuși colorați caracteristic.

Pentru recunoașterea aliajelor este necesar să se facă încercarea succesivă cu mai mulți reactivi .Intensitatea colorației este proporțională cu conținutul metalului în aliajul respectiv și deci permite atât aprecierea calitativă cât și cea aproximativ cantitativă.

Metoda este simplă și se poate aplica direct în exploatare .

În unele țări metodele de analiză cu picături sunt standardizate .În funcție de elementele care se presupun a fi prezente se folosesc diferiți reactivi.În funcție de reactivul folosit în standard este indicată culoarea pe care o dă reactivul pentru elementul respectiv.

În cazul deșeurilor de dimensiuni mici și mijlocii ,după o sortare prealabilă se trece la o verificare a compoziției chimice pe loturi .Probele trebuie sa reprezinte 5% din compoziția lotului.

Selectarea probelor reprezintă o operație dificilă care necesită un personal cu pregătire tehnică corespunzătoare și o practică îndelungată în prelucrarea deșeurilor neferoase. În general un lot de deșuri este constituit dintr-un amestec eterogen de diferite aliaje ,alcătuit din bucăți de mărci diferite ,având aspecte si impurități diverse.

Probele se iau pentru a stabili sortul ,compoziția ,impuritățile și deci în final randamentul de prelucrare al lotului respectiv.

Datele vor permite stabilirea modului optim de prelucrare și domeniile optime de prelucrare ale deșeurilor.

Cea mai sigură probă pentru identificarea și evaluarea deșeurilor se obține prin topirea întregului lot. Această metodă se folosește numai în cazuri speciale .

O probă reprezentativă se poate obține prelevând o anumită cantitate din fiecare lot de deșuri, aproximativ 10% din greutatea lotului .Înainte de luarea probei , lotul se concasează .Deșeurile rezultate se topesc folosind metode de elaborare a aliajului care se va obține din aceste deșuri pentru a determina randamentul de elaborare și posibilitatea de prelucrare optimă din punct de



vedere tehnico-economic și pentru detectarea corectă a compoziției chimice , atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ.

Utilajele și aparatele folosite la sortarea deșeurilor sunt :transportoarele, separatoarele magnetice, separatoarele mecanice, centrifugele, concasoarele, foarfecile, piesele excentrice, fierăstraele electrice de tăiat, stiloscoapele, etc.

#### Sfărâmarea deșeurilor

Sfărâmarea la fel ca și sortarea se poate împărți în :

- sfarmarea deșeurilor sub formă de bucăți
- sfarmarea șpanului

#### Sfarmarea deșeurilor sub formă de bucăți

Deșeurile metalice trebuie aduse la o formă care să permită manevrarea și prelucrarea lor în condiții economice.Mărimea lor condiționează capacitatea și gabaritele utilajelor tehnologice și de transport.

Prima operație care se face la pregătirea deșeurilor constă din aducerea lor la dimensiunile care să permită încărcarea lor în cuptoarele de topire.In acest scop se folosește tăierea cu flacără oxiacetilenică sau electrică, cu curenți de înaltă frecvență, cu foarfecă ghilotină, etc.Tăierea cu flacără se practică numai în cazul deșeurilor cu pereți subțiri .Mărunțirea deșeurilor se face și mecanizat în instalații de mare productivitate cum ar fi :

- foarfece hidraulice
- mori cu ciocane de tip special

Un exemplu îl reprezintă morile Shredder de tip constructiv Lindermann care permit prelucrarea a 5-7 tone de deșeuri pe oră sub formă de bucăți de la 1 la 10 mm.Principiul de funcționare este următorul : pe un arbore care se rotește cu 600-2000 de rotații pe minut , acționat de un motor de 450 CP sunt montate două perechi de brațe legate între ele prin bolțuri pe care stau inelele cu ciocane. Datorită forței centrifuge acestea lovesc și mărunțesc deșeurile care se găsesc pe o placă în carcasa morii. Morile Shredder mărunțesc și obiecte mari.

### 2.2.3. Tehnologii de recuperare a șpanului

Din punct de vedere al prelucrătorului prin așchiere ,șpanul este un produs rezidual care trebuie îndepărtat de la mașină .In cazul liniilor automate de prelucrare ,problema devine acută, șpanul putând bloca mașina și întrerupe activitatea unei întregi linii.

Evacuarea șpanului a devenit o problemă mai ales în secțiile cu un număr mare de mașini .Pentru îndepărtarea lui se folosesc utilaje specializate și forță de muncă .

In literatura de specialitate sunt date caracteristicile diferitelor tipuri de șpanuri ,pe grupe indicându-se principalele operații la care aceste șpanuri trebuie supuse în vederea unei cât mai bune valorificări.

Pentru mecanizarea operațiilor de transport ,precum și pentru organizarea gospodăriilor de șpan ,trebuie să se țină seama de caracteristicile șpanului ,atât pentru a alege cel mai eficient mijloc de transport cât și pentru a stabili tehnologia de prelucrare a șpanului. Procesul de valorificare a șpanului se compune din două părți :

- colectare
- prelucrare

Colectarea cuprinde ansamblul operațiilor necesare îndepărtării șpanului de la mașină, transportarea sa în afara atelierului până la depozitul de șpan sau ,după caz ,la stația de prelucrare.

Structura gospodăriei de șpan depinde de specificul șpanului .Astfel la unele categorii de șpan trebuie efectuate mai întâi toate operațiile tehnologice ,cum ar fi :sortarea ,porționarea ,mărunțirea ,centrifugarea ,balotarea ,brichetarea în vederea topirii.

De obicei societățile specializate dețin în gospodăriile lor de șpan toată gama de utilaje necesare unei prelucrări complete .

Instituțiile de proiectare și cercetare specializate au proiectat o serie de module ,din combinația cărora se pot realiza mai multe variante de gospodării de șpan .

Șpanul aparține grupei de deșeuri și materiale secundare S(strunjituri).

După valoare ,șpanul este inclus în categoria deșeurilor cu valoare totală.

Din punct de vedere al posibilităților de valorificare ,șpanul este inclus în clasa deșeurilor comerciale. Șpanul are un grad de impurificare destul de ridicat , de aceea el necesită o prelucrare specială înainte de utilizare.

Tehnologiile de recuperare a șpanului constau din :

- A) Evacuarea șpanului de la mașini-unelte
- B) Depozitarea șpanului
- C) Prelucrarea mecanică a șpanului
- D) Topirea șpanului
- E) Turnarea prealiajului

#### A.Evacuarea șpanului de la mașinile unelte

Pentru evacuarea șpanului de la mașinile unelte au fost gândite trei soluții :

- a) - la mașinile unelte unde cantitatea de șpan este mică într-un interval de timp mai mare ,șpanul este direcționat spre un sertar înglobat în mașină de unde este evacuat periodic .In atelierele mici șpanul este evacuat de către muncitorul care lucrează pe mașină.
- b) - când cantitatea de șpan este mare ,nu se mai poate folosi sertarul înglobat în mașină deoarece volumul acestuia ar trebui să fie mult mărit ,iar manevrarea sa ar putea depăși capacitatea de manevrare manuală. In acest context mașinile-unelte au fost prevăzute cu transportor-elevator. Șpanul cade gravitațional de la nivelul sculei la partea de jos a mașinii de unde este preluat de un transportator care-l ridică la o anumită cotă și îl deversează într-un container în afara mașinii. Acest container este evacuat periodic .
- c ) -în secțiile mari cu mașini-unelte producătoare de cantități mari de șpan ,soluția care s-a impus a dus la aranjarea mașinilor în linii paralele și colectarea șpanului în canale .Șpanul produs cade la baza batiului de unde printr-o pâlnie cu jgheab ajunge într-un canal amplasat sub linia de mașini-unelte sau paralel cu aceasta. In canal se găsește un transportor care colectează șpanul de la toate mașinile amplasate pe aceeași linie .Canalul poate colecta șpanul și de la două linii paralele dacă distanța dintre ele nu este prea mare .

Utilarea unei mașini -unelte cu un anumit transportor este la latitudinea proiectantului mașinii -unelte respective .Se știe că forma șpanului depinde de materialul prelucrat dar și de regimul de prelucrare .Tipurile de transportoare utilizate pentru îndepărtarea șpanului sunt următoarele :transportor cu plăci, transportor cu melc, transportor magnetic, transportor tubular, transportor cu racletă, transportor cu bandă, transportor inerțial, transportor pneumatic.

Aceste transportoare sunt alimentate fie prin cinematica mașinii, fie prin curentul electric de la mașina-unealtă .In acest fel funcționarea transportorului poate fi corelată cu funcționarea mașinii pentru funcționarea în regim economic.

#### Mijloace de transport mecanizate specializate

Pentru mecanizarea transportului șpanului se folosesc mai mult metode sau tipuri de utilaje specializate .Cele mai utilizate sunt :transportoarele cu harpoane, cu șarniere, cu raclete, transportoarele helicoidale, transportoarele cu bandă inerțială, transportoarele inerțiale, pneumatice și hidraulice.

Eficiența unuia sau a altuia depinde de următorii factori :felul șpanului (mărunt sau foios), starea șpanului (umed sau uscat), lungimea traseului, forma traseului.

Există situații când în același sistem de transport se folosesc transportoare de tip diferit în funcție de felul șpanului pe diferite porțiuni ale traseului.

Șpanul mărunt este șpanul care ridică cele mai puține probleme putând fi transportat cu oricare din tipurile de transportoare menționate.

Șpanul foios este mai restrictiv în ceea ce privește alegerea transportorului deoarece acesta se poate încurca foarte ușor dând naștere la ghemotoace.

Pentru transportul mecanizat se aleg transportoare cu harpoane ,inerțiale sau hidraulice. Celelalte tipuri de transportoare nu se pot utiliza .

Pentru trasee lungi se recomandă transportoare cu harpoane ,având mai puține elemente în mișcare ,o construcție simplă și un preț mai scăzut.

Pentru situațiile în care șpanul trebuie ridicat la un alt nivel se folosesc transportoare cu șarniere ,cu raclete ,cu bandă sau elicoidale ,precum și transportoare pneumatice dacă este vorba de distanțe mai mari.

Singurele transportoare care pot realiza curbe în plan orizontal sunt cele pneumatice sau hidraulice .Pentru celelalte tipuri este necesară intersecția a două utilaje, treabă care se face cu pierderi de înălțime .

Colectarea înseamnă preluarea șpanului de la mașină și containere transportabile cu mijloace de transport specifice.

Containerele pot fi tipizate sau netipizate, pot fi basculante sau nu.

Diversitatea containerelor depinde de posibilitățile societăților care le folosesc. Ele sunt concepute în funcție de mijloacele de transport și manipulare atât ca formă cât și ca și capacitate.

Pentru un transport eficient este necesară o gândire de ansamblu a întregii activități, dar criteriul de bază este economicitatea metodei.

### B. Depozitarea șpanului

Depozitarea șpanului este locul unde se organizează strângerea șpanului în vederea expedierii fie la turnătoria proprie, fie la societățile de colectare. Din motive de transport, capacitatea depozitului trebuie să poată stoca șpanul acumulat pe o perioadă de timp mai mare.

Stocarea se face în :

- stive pe platforme amenajate
- containere pe platforme amenajate
- buncare din beton
- buncăre metalice

### Gospodăriile de șpan

Dotarea și organizarea gospodăriilor de șpan este în funcție de modul cum se prezintă șpanul calitativ.

Gospodăriile de șpan au ca scop brichetarea șpanului, bricheta reprezentând caracteristici mult mai bune de transport și re folosire.

În funcție de operațiile la care este supus șpanul de la utilajele folosite, s-au conceput mai multe tipuri de gospodării de șpan.

Amplasarea în teren a utilajelor se face în funcție de spațiile disponibile, traseele putând lua forme mai alungite sau mai compacte.

Producerea șpanului are un caracter continuu, dar se întâmplă ca volumul de șpan produs să nu coincidă cu capacitatea de prelucrare a gospodăriei de șpan. A lucra cu gospodăria de șpan sub capacitate nominală nu este economic, deoarece puterea instalată într-o gospodărie de șpan este foarte mare.

Pentru a corela aceste două mărimi, este necesar ca șpanul produs să fie stocat în cadrul gospodăriei de șpan.

Ne vom referi în special la șpan ,deoarece prelucrarea lui necesită cele mai multe operații. Unele din aceste operații sunt folosite și la celelalte deșeuri.

Prin prelucrarea șpanului și a deșeurilor în general se înțeleg toate operațiile la care sunt supuse în vederea refolosirii lor ca materie primă pentru topire.

Pentru a realiza o materie primă de calitate ,șpanul trebuie să treacă prin următoarele operații :

- sortarea
- separarea
- porționarea
- sfărâmarea
- centrifugarea
- uscarea
- balotarea
- brichetarea

Aceste operații nu sunt obligatorii pentru toate categoriile de șpan deoarece unele categorii de șpan se prezintă într-o formă care le scutește de unele dintre aceste operații.

### C .Prelucrarea mecanică a șpanului

C1. Sortarea - este o opeație mai mult organizatorică, dar este considerată foarte importantă. În funcție de modul cum se face sortarea randamentul prelucrării ulterioare a deșeurilor poate să crească sau să scadă foarte mult ajungând uneori sub 20%. Având două sau mai multe categorii de deșeuri metalice, șpanul și alte obiecte, putem vorbi de sortarea șpanului și sortarea celorlalte deșeuri metalice .

Așa cum s-a prezentat, șpanul provine de la prelucrarea pieselor cu compoziție chimică diferită. Pentru valorificarea superioară a anumitor elemente deficitare din compoziție, este necesar ca șpanul ce conține aceste elemente să fie sortat pe categorii.

Se poate aborda soluția colectării separate a șpanului de la o mașină la alta . După sortare, șpanul urmează să fie prelucrat separat, pe calități, până la faza finală care o reprezintă depozitarea. Depozitarea trebuie făcută pe sorturi distincte pentru a fi ușor de identificat.

După ce șpanul a fost sortat pe categorii, din fiecare categorie trebuie luate probe pentru analize chimice. Probele trebuie să reprezinte minimum 10% din greutatea categoriei respective .

Șpanul se topește, se toarnă în probe, după care se trece la efectuarea analizei chimice care poate fi :

- analiză chimică clasică
- analiză chimică spectrală ,etc.

#### C2.Separarea șpanului foios de cel mărunțit

În cazul prelucrării șpanului în vederea brichetării este necesar ca șpanul să fie mărunțit și să nu conțină corpuri străine .Mărunțirea se face în utilaje anume concepute.

În cazul în care din secțiile de prelucrat șpanul mărunțit vine amestecat cu șpan foios este necesar ca aceste două componente să fie separate.

Șpanul foios trebuie mărunțit, dar nu are sens ca prin mașina de sfărmat șpan să treacă și șpanul mărunțit.

Separarea se face într-un utilaj numit “sortator”. Un astfel de utilaj este sortatorul cu tambur rotativ. Sortatorul de șpan cu tambur rotativ este compus dintr-un cilindru perforat cu axa înclinată la 5-6 grade față de orizontală.La capătul mai ridicat al cilindrului se află o palnie care ajută la încărcarea cilindrului.Prin învîrtirea cilindrului șpanul este rostogolit, dar în același timp din cauza pantei capătă o mișcare de avans.O parte din șpan ,cel mărunțit,v-a trece prin perforațiile cilindrului și va fi dirijat prin intermediul unei palnii spre un transportor ce trece prin sortator .Ceea ce nu poate trece prin perforațiile cilindrului se va rostogoli până cand va ajunge la capătul din aval al cilindrului și va cădea pe un alt transportor .

Un alt tip de sortator este ciurul vibrator.

Separarea șpanului provenit din metale și aliaje neferoase de cel provenit din feroase se face cu ajutorul separatorului magnetic

### C3. Porționarea

Se aplică șpanului și deșeurilor ce urmează a fi sfărmate. Operația pentru șpan se execută de o foarfecă ghilotină și are rolul de a alimenta sfărământorul cu părți convenabile unei funcționări normale.

Foarfeca poate fi aprozivionată cu șpan prin intermediul unui alimentator cu harpoane acționat mecanic.

### C4.Sfărâmare

Se face pentru a se crea posibilitatea brichetării. În același timp transportul șpanului foios este neeconomic, deoarece ocupă un volum mare, greutatea transportată nu acoperă capacitatea mijlocului de transport. Ideal ar fi să nu se producă șpan în spirale chiar de la mașina-unealtă, lucru care ar îmbunătăți condițiile de transport și de prelucrare ulterioară a șpanului. S-ar elimina operațiile de sortare, porționare și sfarmare. Evitarea formării spiralelor lungi de șpan se poate realiza prin măsuri tehnologice la prelucrarea metalelor. Așchiile trebuie sfarmate chiar de scule așchietoare printr-o geometrie anume de așchiere sau printr-un regim de lucru. Există chiar și dispozitive, care atașate la scula așchietoare, produc sfarmarea șpanului. Dacă măsurile de mai sus nu pot fi aplicate din diferite motive șpanul foios va trebui sfarmat.

Mașinile de sfarmat șpan sunt de tipul :

- cu cuțite și rotor vertical
- cu cuțite și rotor orizontal
- cu ciocane
- cu inele

1. Mașinile de sfarmat șpan cu ax vertical - sunt formate dintr-un ax vertical antrenat de un motor electric. Axul pătrunde prin partea de jos a unei palnii. În zona superioară, are fixat pe el o serie de cuțite care prin învartire vor trece printre cuțitele fixe. Prins între cele două seturi de cuțite fixe și mobile șpanul va fi mărunțit. Bucățile de șpan pe măsură ce vor deveni mai mici vor cădea spre baza palniei, unde printr-o fantă vor cădea pe un jgheab de evacuare. La baza jgheabului se va afla un container sau un transportor în cazul în care sfarmătorul este integrat în flux.



## 2. Mașina de sfarmat șpan cu ax orizontal

Intr-o carcasă metalică se găsesc două axe orizontale și paralele la o distanță unul de altul. Cele două axe au montate pe ele un număr de cuțite cu cate patru tășuri dispuse la 90 de grade. Cuțitele unui ax sunt montate în așa fel încat la rotire să treacă printre cuțitele celuilalt ax. Prin intermediul unei plăci de încărcare șpanul este obligat să cadă pe cele două axe cu cuțite . Cuțitele vor prinde șpanul între ele și-l vor forfecă până la dimensiuni care îi vor permite să se strecoare printre cuțite și vor aluneca pe un jgheab de evacuare.

## 3 Mașina de sfărâmat șpan cu ciocane

Intr-o carcasă metalică se găsește un rotor pe care sunt montate ciocanele. Prin învartirea rotorului ciocanele își schimbă poziția și cad peste încărcătura de șpan. Șpanul este introdus pe la partea superioară printr-o palnie, iar după mărunțire va trece printr-un grătar ce se află sub rotorul cu ciocane. Mașina se montează deasupra unui transportor ce va prelua așchiile mărunțite pentru a fi încărcate în mod uniform , sfarmatorul poate fi echipat cu un alimentator .

4 Mașina de sfărâmat șpan cu inele este o variantă îmbunătățită a mașinii de sfărâmat șpan cu ciocane . Aici ciocanele sunt înlocuite cu inele cu dinți . Au fost rezolvate și alte deficiențe ale sfărâmătorului cu ciocane , putând să elimine singură corpurile metalice mici și mijlocii ajunse accidental în mașină

## C5 Eliminarea umidității

Eliminarea apei și uleiului din deșeurile metalice se poate face prin două metode și anume:

- pe cale termică
- prin centrifugare

### A. Eliminarea umezelii și a uleiurilor pe cale termică

In vederea creșterii randamentului la elaborare și a îmbunătățirii calității aliajului elaborat, deșeurile metalice se supun operației de eliminare a umidității de la 6-8 % până la 3-4%. Operația se face de obicei pe linia de prelucrare termică.

Liniile de prelucrare termică trebuie să conțină următoarele componente și utilaje :

### 1. Punctul de primire al deșeurilor mărunțite

2. Punctul de sitare a materialului. În acest punct se caută să se elimine impuritățile. Se folosesc ciururi vibratoare cu găuri cuprinse între 50-100 mm.

3. Punctul de eliminare al apei și al grăsimilor. Acest punct poate conține următoarele utilaje :

- uscător tip tambur sau cameră
- instalație pentru captarea gazelor și a prafului
- instalație pentru purificarea aerului

4. Punctul de sitare și control.

Acest punct este necesar pentru o separare a bucăților mai mici de 3 mm. Se folosesc ciururi cu ochiuri mici.

5. Punctul de separare electromagnetică- are ca scop extragerea părților magnetice cu ajutorul separatoarelor electromagnetice. Pentru aceasta separatoarele se încălzesc până la 100 grade C. Sunt dotate cu captatoare de praf și cu răcire hidraulică a sistemului. În caz contrar deșeurile trebuie răcite până la 60 grade C, temperatură la care separatoarele electromagnetice lucrează normal.

Instalații de eliminare a apei și uleiurilor prin uscare

Uscătoarele de tip cameră sunt de diferite dimensiuni în funcție de capacitatea de uscare. Pot funcționa cu gaz metan sau cu combustibil lichid. Sunt construite din material refractar. Introducerea materialului în interiorul camerei se face cu ajutorul vagonetelor. Arderea combustibilului se face în camere separate. Gazele fierbinți intră în cameră printr-o serie de canale. Gazele împreună cu aburii sunt eliminate din cameră printr-un orificiu din tavanul camerei spre instalația de evacuare și filtrare. Camerele moderne sunt automatizate în ceea ce privește în special regimul termic.

În practică, în afară de uscătoarele tip cameră se mai folosesc uscătoarele tip tambur. Având în vedere tangența directă dintre gaze și deșeurile neferoase, acestea se oxidează ducând în unele cazuri la impurificarea băii metalice.

Firme specializate în construcția unor astfel de instalații au pus la punct instalații de ardere neoxidantă a deșeurilor în vid.

Instalații pentru captarea prafului și filtrarea aerului sunt prevăzute cu captatori uscați pentru captarea particulelor de maximum 5 mm-cicloane cu baterie. Pentru captarea prafului mai mic de 1 mm se recomandă folosirea captatorilor umezi.

Pentru îmbunătățirea calității deșeurilor au fost proiectate și executate linii de deshidratare hidrochimice. Aceste linii constau dintr-o instalație de spălare și o instalație de dehidratare a deșeurilor. Pentru dehidratarea -eliminarea uleiurilor -se folosesc diferite esențe de spălat, în funcție de calitatea uleiurilor. Esența pentru spălat trebuie încălzită la 60-70 grade C. Esența prelucrată este dusă la purificare prin centrifugare și prin alte metode chimice.

B Centrifugarea. Recuperarea lichidelor se mai poate face prin decantare. Această metodă dă rezultate parțiale deoarece din cauza aderenței lichidului nu se poate realiza o scurgere totală. Metoda cea mai eficace este prin centrifugare. Mașina de separat prin centrifugare poate fi :

- cu funcționare discontinuă
- cu funcționare continuă

Mașina de separat prin centrifugare cu funcționare discontinuă are o construcție simplă. Pe un ax vertical se așează un coș plin cu șpan umed. În jurul coșului, pereții mașinii vor colecta lichidele de răcire centrifugate prin rotirea axului și respectiv a coșului. După centrifugare coșul este scos din mașină, golit de șpan și din nou umplut.

Există mașini mai perfecționate la care coșul este prevăzut cu un sistem de golire pe la fund. Incărcarea se poate face pe la partea superioară -coșul fiind fixat pe axul de rotire -cu ajutorul unui alimentator. După umplerea coșului se pornește centrifugarea, după care se declanșează sistemul de golire.

#### Mașinile de separare prin centrifugare continuă

Specific acestei mașini este forma coșului. Coșul este sub formă de clopot. În timpul funcționării datorită forței centrifuge, fiecare bucățică de șpan tinde spre zona coșului care are diametrul cel mai mare. Astfel în timpul rotirii coșului, șpanul capătă și o mișcare de înaintare spre gura coșului deoarece în această zonă diametrul este cel mai mare. Apoi șpanul părăsește coșul fiind proiectat pe pereții mașinii.

Părăsind coșul apare și forța care acționează asupra particulelor de șpan care vor cădea într-un jgheab de colectare. Centrifuga cu funcționare continuă este alimentată cu ajutorul unui transportator cu funcționare continuă. După centrifugare șpanul va cădea pe alt transportator care îl va duce la depozit.

## C.6 Recoacerea

Așa cum s-a arătat ,regimul de prelucrare intens face ca așchia de șpan să se încingă local la temperaturi care produc transformări structurale, ducand la schimbarea caracteristicilor mecanice ale materialului.Așchia devine dură și casantă ,cu plasticitate redusă ,ceea ce o face improprie pentru balotare și brichetare.

Pentru a împiedica acest neajuns va trebui să se aplice așchiilor de șpan un tratament care să ducă la creșterea sensibilă a plasticității șpanului .Recoacerea de înmuiere se poate face în orice tip de cuptor ,dar ținand cont de forma în care se prezintă șpanul au fost concepute cuptoare cu destinație specială de tip continuu.Se disting două tipuri constructive speciale :

- cuptor tip tunel
- cuptor rotativ

Cuptoarele trebuie să asigure încălzirea treptată a șpanului și o zonă de răcire repetată ca să asigure transformările structurale.

### Cuptoarele de recoacere tip tunel

Sunt în general prismatice, din cărămidă refractară și termoizolantă ,lungimea fiind dimensiunea predominantă.Vatra este formată din plăci de fontă cu transportor cu lanț și racleți, asigurand deplasarea șpanului în lungul vetrei.In zona de încălzire se găsesc focarele de ardere.Incărcarea se face dintr-un buncăr prin intermediul unui alimentator sau direct cu un transportator în cazul integrării cuptorului într-un flux.Evacuarea se face în funcție de organizare.

### Cuptorul de recoacere de tip rotativ

Este construit dintr-o carcasă metalică cilindrică,căptușită la interior cu cărămidă refractară .Carcasa se învartește pe un sistem de role în jurul axei proprii care are o înclinație de 8 grade față de orizontală .In interior în lungul căptușelii sunt patru praguri care împiedică rostogolirea șpanului înainte ca cilindrul să se rotească cu un unghi de 30-50 grade, mărind astfel durata de contact a șpanului cu căptușeala.Din această poziție ridicată șpanul se rostogolește peste acest prag ,va cădea și va fi antrenat de pragul următor care la randul său va ridica șpanul, ș.a.m.d.

Incărcarea șpanului se face printr-o palnie fixă amplasată la capătul ridicat al carcasei.Datorită înclinației carcasei la fiecare rostogolire peste pragurile interioare șpanul capătă

și o deplasare în lungul carcasei înspre capătul încărcării, acolo unde se află arzătorul. Evacuarea șpanului se face pe la capătul carcasei cu ajutorul unei pâlnii.

### C.7 Balotarea

Este o operație de presare a așchiilor de șpan având forma de spirale lungi. Aflat sub această formă șpanul are o greutate volumică mică. Pentru creșterea greutății se face operația de balotare, adică micșorarea volumului de aproximativ 15 ori. Din acest motiv este necesar ca o presare să se facă din două sau chiar trei direcții.

Balotarea se face la prese special construite cu doi sau trei cilindri hidraulici care acționează după direcții perpendiculare. Balotarea se face prin operații succesive. Dacă balotarea se face când șpanul este scos de la recoacere densitatea balotului crește și productivitatea la fel. Există mai multe tipuri de prese pentru balotare dar care în principal nu diferă prea mult. Incluse într-un flux aceste prese beneficiază de încărcare și evacuare mecanizată. Forțele de presare sunt de ordinul sutelor de tone.

### C8 Brichetarea

Reprezintă scopul final al prelucrării șpanului. Brichetul este un calup realizat din șpan presat și are forme și dimensiuni variate în funcție de configurația camerei și de forța de presare. Brichetele se fac pe prese concepute special. Brichetele au formă cilindrică sau paralipedică. Forma cilindrică este cea mai folosită din motive de prelucrare. Presiunea care trebuie realizată la brichetare trebuie să fie mare pentru a se putea obține o rezistență mecanică suficientă și o greutate volumetrică mare. Dimensiunile brichetelor sunt destul de diferite, dar în general nu depășesc 200 mm pe dimensiunea cea mai mare.

Începând cu o greutate specifică de  $2,2 \text{ kgf} / \text{dm}^3$  comportarea brichetelor dă rezultate satisfăcătoare, atât în ceea ce privește rezistența mecanică cât și în ceea ce privește comportarea în cuptor sub presiunea bucăților de încărcătură metalică. După unii autori această greutate trebuie să fie și mai mare pentru a nu apărea riscul de a pluti în zgură, zonă unde apar arderi puternice. Piese pentru brichetat sunt de diferite tipuri în funcție de materialul care trebuie brichetat și de densitatea care trebuie realizată.

Pentru brichetarea materialelor se folosesc următoarele tipuri de prese:

- a) Prese pentru brichetarea șpanului
- b) Prese pentru brichetarea deșeurilor subțiri

a) Prese pentru brichetarea șpanului

Densitățile realizate cu aceste piese sunt în jur de 2-2,2 kgf /dm<sup>3</sup> ,iar dimensiunea șpanului nu trebuie să depășească 100 mm.

Presele care realizează presarea prin explozie pentru crearea energiei de presare folosesc energia exploziei de gaz și aer. După încărcarea containerului cu șpan în camera de ardere printr-o supapă se dă drumul la gaz și sub presiune la aer. Verificarea cantității de gaz și aer este automatizată. Când cantitatea de gaz și aer se găsește în limitele prescrise ,amestecul este aprins, presiunea gazelor lovește în piston care acționează asupra părților mobile ale presei și presează șpanul. Acest tip de presă are o productivitate de 1-2 tone pe oră. Densitatea brichetului este de 2-2,5 kgf pe dm<sup>3</sup>.

Presele dinamice -In aceste prese șpanul este introdus în camerele de presare .De la o anumită înălțime un cilindru cade cu o anumită greutate pe șpan presându-l.

Densitatea brichetului este de aproximativ 1,4 kgf pe dm<sup>3</sup>.

Prese hidraulice -sunt des întâlnite în depozitele de șpan .Presiunea se realizează hidraulic. Sunt prese cu una ,două sau trei trepte de strângere. După încărcarea materialelor în camera de presare se închide camera cu ajutorul unui capac care taie capetele rămase afară. După închiderea capacului se pun în funcțiune treptele I ,II și III de strângere. După finalizarea etapei III de strângere ,hidrosistemul se deconectează automat și capacul se ridică.

Odată cu ieșirea brichetului are loc revenirea tuturor sistemelor la etapele inițiale și ciclul se repetă.

b) Presele pentru brichetarea deșeurilor subțiri table ,țevi ,etc.

Datele principale ce determină o alegere a presei sunt determinate de : felul aliajului, grosimea deșeurii, densitatea care dorește a fi obținută, etc. In funcție de aceste date se determină forța de presare. In funcție de forța de presare , presele se împart în : prese cu putere mică - 2500kN

- prese cu putere medie - 2500+5000 kN

- prese cu putere mare -peste 5000 kN

Indiferent de putere ,tipul și particularitățile constructive ,presele de împachetat sunt compuse din :

- cutia de încărcat cu mecanismul de transportare
- camera de presare
- mecanismul de descărcare
- sistemul hidraulic
- pupitrul de control

În general aceste tipuri de prese funcționează în felul următor : Încărcarea deșeurilor se face cu ajutorul cutiei de încărcat .După încărcarea camerei de încărcare cu deșeuri sparte ,cutia este rotită în jurul axei și descărcată în camera de presare. Când cutia de încărcare revine la loc începe procesul de presare în mod automat .Ciclul de presare începe cu coborârea capacului camerei de presare .Deșeurile ce ies din cameră sunt tăiate cu cuțitele ce se găsesc pe marginea capacului.Mișcarea următoare a capacului este presarea obiectelor până la densitatea dorită, după care are loc procesul de deconectare a hidrosistemului .La atingerea presiunii uleiului are loc deconectarea presei și împingerea pachetului în afară.După ieșirea pachetului are loc ridicarea capacului și readucerea sistemului în poziția inițială.

Pentru o bună funcționare a preselor hidraulice destinate brichetării șpanului este necesar să se asigure un anumit microclimat. Pentru a putea funcționa pe timp friguros ,presele de brichetat trebuie amplasate într-o încăpere închisă în care să se asigure o temperatură minimă necesară funcționării utilajului.

#### D.Topirea șpanului

Topirea șpanului se poate face în instalații de topire clasice și neconvenționale .

D.1. Instalațiile clasice de topire pot fi :

- a) cu combustibil cu creuzet rotativ
- b) cu combustibil cu creuzet staționar
- c) cu combustibil cu vatră cu reverberație rotativă
- d) cu combustibil cu vatră cu reverberație staționară
- e) instalații electrice cu rezistență cu creuzet rotativ sau staționar
- f) instalații electrice cu inducție cu canal și respectiv cu creuzet

## D.2. Instalațiile neconvenționale de topire

- a) tunuri electronice

-b) arzătoare cu plasmă

### E. Turnarea aliajului

Aliajul topit se va turna în calupuri în lingotiere metalice

## **2.3 Tehnologii propuse pentru recuperarea materialelor re folosibile pe pază de Sn-Sb**

În paragrafele 2.1 și 2.2 am prezentat pe scurt tehnologiile de recuperare a materialelor re folosibile care se practică pe plan mondial. Aceste materiale re folosibile sunt atât feroase cât și neferoase.

În cazul aliajelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb, cantitatea cea mai mare de material recuperabil este șpanul. Din cantitatea de metal turnat pe cuzinet, aproximativ 60% se înlătură prin șpan.

Pentru recuperarea șpanului, propunem următoarele tehnologii:

A) Evacuarea șpanului de la mașini-unelte să se facă în containere pe categorii de șpan (șpan foios, șpan mărunț) și după compoziția chimică.

B) Depozitarea șpanului să se facă în buncăre, pe categorii și după compoziția chimică

C) Prelucrarea mecanică a șpanului

1. Sortarea - nu mai este necesară deoarece evacuarea și depozitarea s-a făcut după compoziția chimică și categoria de șpan.

2. Separarea șpanului foios de cel mărunț la fel nu mai este necesară.

Propunem ca separarea de metale feroase să se facă înainte de depozitare, după evacuarea de la mașinile-unelte

3. Pentru șpanul foios se va face porționarea în vederea balotării. Sfărâmarea nu mai este necesară deoarece așchia este moale și se poate balota ușor.

4. Balotarea- se va face numai pentru șpanul foios, cu valoare mare, în vederea transportării.

5. Bricetarea se va face atât pentru șpanul foios cât și pentru cel mărunț.



6.Topirea - Recomandăm tehnologia de elaborarea descrisă în capitolul 4 al prezentei lucrări.

7. Turnarea- se va face în lingotiere , iar în timpul turnării recomandăm utilizarea vibrațiilor (Procedeul este descris la cap.4)

Având în vedere cantitatea mică de șpan de aliaje antifricțiune pe bază de Sn-Sb din România propunem înființarea unei societăți specializate în prelucrarea acestor șpanuri, care să execute în special următoarele operații : brichetarea, topirea, turnarea.Aceasta poate ființa chiar și în cadrul unei societăți care prelucrează cantități mari de cuzineți. În acest caz, s-ar putea justifica din punct de vedere economic cumpărarea unor utilaje performante de topire, tratare și turnare a acestor aliaje.

### Tehnologii de eliminare a As și Cd din aliaje antifricțiune pe bază de Sn-Sb

#### 3.1 Influența As și Cd asupra organismului uman , animalelor și solului

Din cercetările efectuate s-a constatat că foarte mulți muncitori care au lucrat sau care lucrează și în prezent la elaborarea aliajelor pe bază de Cd și As suferă de diferite boli provocate de aceste două elemente. Cd se absorbe și se înmagazinează în țesuturile umane în plămâni, inimă, rinichi , sânge. Pacienții care au fost otrăviți cu Cd au prezentat dureri de stomac, uneori chiar cancer la stomac.

Cd provoacă boli vasculare, distrugând acizii grași nesaturați ai membranelor. Studii privind efectele toxice ale Cd au arătat că acest element atacă în primul rând ficatul, inima, testiculele, rinichii și tractul gastrointestinal.

Cd și compuși săi sunt cunoscuți ca fiind substanțe cancerigene , în urma studiilor efectuate asupra oamenilor și animalelor. Rezultatul acestor cercetări arată că există o legătură cauzală între expunerea la cadmiu și apariția cancerului la om. Raportul Departamentului de Sănătate al SUA din ianuarie 2001[76] a relevat faptul că în mai multe studii efectuate asupra unor grupuri de muncitori expuși la diverși compuși ai cadmiului, riscul mortalității datorate cancerului de plămâni este ridicat. Deși în unele din aceste studii expunerea s-a făcut nu numai la Cd ci și la As , raportul conchide că este puțin probabil ca riscul mărit de cancer pulmonar să fie datorat doar expunerii la As.

Studii epidemiologice pe grupuri de muncitori (Sorahan și Lancashire, 1997; Sorahan ș.a. 1995 ) [76] sugerează existența unei legături între expunerea la cadmiu și cancerul renal, al prostatei și al vezicii biliare.

Caracterul cancerigen al Cd și al compușilor săi este demonstrat și de către numeroasele experimente efectuate pe animale . Acestea au arătat că expunerea la Cd și la compușii săi duce la producerea de tumori maligne .Pe baza acestor studii s-a ajuns la concluzia că din punct de

vedere al efectuluicancerigen,cadmiul ionic este cel mai activ . Studiile pe animale și pe celule izolate de țesuturi sugerează faptul că eliberarea de Cd ionic cauzează distrugeri genetice(modificări de ADN, mutații, transformări celulare, etc.) și are efect cancerigen [76]. Astfel potențialul cancerigen al unui compus de cadmiu ar depinde mai ales de gradul în care respectivul compus eliberează cadmiu ionic .

Consumul de alimente , apă potabilă, ingerarea accidentală de praf contaminat cu cadmiu, inhalarea de particole contaminate cu cadmiu din aer , inhalarea fumului de țigară sau munca într-un mediu care presupune expunerea la vapori sau pulberi de cadmiu, toate acestea reprezintă modalitățile principale de expunere la cadmiu. Conform unui studiu efectuat în Statele Unite în perioada 1981-1983 [76], ramurile industriale cu cea mai mare expunere la cadmiu sunt cele din sfera fabricării produselor metalice : producerea de cupru, metale neferoase, prelucrarea metalelor , placarea metalelor, reciclarea produselor metalice, oțelării . Emisii de cadmiu și compuși ai săi se înregistrează și la producerea bateriilor, a produselor din cauciuc, a produselor chimice destinate agriculturii, a rășinilor și a altor mase plastice.

Cele patru surse majore de expunere la cadmiu în mediul industrial sunt : topirea minereurilor de zinc și plumb; producerea , procesarea și manevrarea pulberilor de cadmiu; sudarea sau retopirea oțelului placat cu cadmiu; și utilizarea pastelor de lipit.

În atmosferă, cadmiul se găsește sub forma unor particole solide. Procesele de combustie generează paricole de cadmiu foarte fine care sunt eliberate în atmosferă. Cei mai numeroși compuși ai cadmiului în atmosferă sunt oxidul de cadmiu și unele săruri de cadmiu care se găsesc în forme stabile. Compușii de cadmiu din atmosferă sunt dispersați de vânt și depozitați prin intermediul procedeelelor umede sau uscate în sol.

Concentrațiile de cadmiu din mediul înconjurător nu depășesc în general  $0,005\mu\text{g}/\text{m}^3$  , dar în preajma unităților care emit cadmiu s-au înregistrat și valori de pînă la  $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$  .

În atmosferă emisiile de cadmiu se datorează și arderilor de combustibili fosili, incinerării gunoiului menajer .

Pătrunderea cadmiului în pînza freatică se poate produce prin fisurile țevilor de plumb sau prin intermediul părților sudate ale acestora .

Din apă cadmiul este preluat de plantele acvatice sau terestre și apoi este transferat animalelor unde cadmiul se depozitează în ficat și rinichi.

În sol , cadmiul poate exista sub formă solubilă în apă sau sub formă insolubilă în compuși alcătuiți din substanțe organice și anorganice. Concentrațiile de cadmiu din sol tind să fie mai mari dacă pH-ul solului are o valoare scăzută. Creșterea concentrației de cadmiu în sol rezultă în principal din sedimentele rețelelor de canalizare și din depunerile de îngrășăminte chimice cu fosfați. În SUA concentrația de cadmiu din solurile considerate necontaminate este de 0,25 ppm , în timp ce în solurile poluate ea poate să ajungă pînă la 800 ppm (conform raportului ATSDR 1997-HO10.)[76]

Arsenul este un element care se găsește în natură în cantitate mare în special în scoarța terestră .În mediul înconjurător el se combină cu oxigenul , cu clorul și sulful formând compuși anorganici.

În plante și în animale arsenul se combină cu carbonul și hidrogenul dând naștere la compuși organici.

Compușii anorganici sunt utilizați în general pentru păstrarea lemnului Compușii organici sunt utilizați în special ca pesticide, mai ales pe plantațiile de bumbac.

În ceea ce privește toxicitatea, aceasta este scăzută, intoxicațiile făcându-se din cauza compușilor acestuia. Pătrunderea compușilor arsenului în organism se face prin tubul digestiv, pe căi respiratorii, prin mucoasă și prin piele, astfel încât cel mai mare pericol îl reprezintă pulberile conținând As și vaporii care pot fi absorbiți ușor pe toate aceste căi. O expunere prelungită poate duce chiar la apariția cancerului de piele. Datorită acțiunii sale de iritație, As poate duce și la apariția cancerului pulmonar. Tratamentul intoxicațiilor acute constă în inhalații de oxigen și în transfuzii de sânge .

Unele persoane care lucrează în mediu toxic cu As și care suferă de cancer prezintă un dezechilibru mineral foarte pronunțat. Acest dezechilibru este caracterizat printr-o concentrație crescută de Na, K, Sb, Mn în păr, în timp ce elemente cum ar fi Ca, Mg, Zn se găsesc într-o concentrație redusă.

Conținutul maxim de arsen (2,9 ppm) a fost detectat în părul pacienților suferind de cancer de piele și al membranelor mucoase.

Studiile efectuate au arătat că există o legătură între dezechilibrul mineral și cancerul de plămâni (As/Se < As/Zn < Cd -Pb -Mg -Ca/Se) și , într-o mai mică măsură între acest dezechilibru și cancerul de piele . (As/Fe, As/P).

Având în vedere efectele nocive pe care le au Cd și As asupra organismului uman , pe plan mondial se pune din ce în ce mai mult problema eliminării acestor elemente din aliaje. Se caută obținerea de aliaje pe bază de Sn fără As și Cd, dar care să prezinte performanțe identice cu cele care conțin As și Cd.

### **3.2 Tehnologii pentru eliminarea As și Cd**

Pentru eliminarea As și Cd din aliajele antifricțiune pe bază de Sn-Sb-Cu , s-au folosit următoarele două tehnologii :

- eliminarea prin topire oxidantă;
- eliminarea prin evaporare în vid ;

#### **3.2.1 Eliminarea As și Cd prin topire oxidantă**

Eliminarea As și Cd prin topire oxidantă se realizează în două etape și anume :

- oxidarea topiturii
- dezoxidarea topiturii

##### **3.2.1.1. Oxidarea topiturii**

#### **Teoria oxidării elementelor însoțitoare în baia metalică**

Oxidarea elementelor însoțitoare se realizează:

- cu ajutorul oxigenului din aer suflat în baia metalică
- prin intermediul vaporilor de apă
- cu ajutorul sărurilor oxidante

La trecerea în soluție, moleculele de oxigen se descompun în atomi. Atomii de oxigen sunt legați de toți atomii de metal care îi înconjoară. Formele de legătură între oxigen și metalul Me nu se cunosc. Se presupune că la dizolvarea în metalul Me oxigenul primește electroni căpătând o formă apropiată de forma de anioni ( $O_2^-$ ) . Această trecere este însoțită de o creștere a

dimensiunii particulelor elementare ceea ce explică faptul că oxigenul în metalul lichid are o viteză de difuziune mai mică decât alte elemente[49].

Elementele însoțitoare dizolvate în baia metalică se pot oxida :

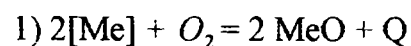
- a) prin contactul lor direct cu oxigenul din aerul de la suprafața băii metalice;
- b) cu oxigenul dizolvat în baia metalică;
- c) prin contactul lor cu oxidul metalului (metalelor) de bază supus oxidării;

Primele două căi (a,b) joacă un rol mic deoarece elementele însoțitoare se găsesc în concentrații mici (~1 %), iar oxigenul are o solubilitate scăzută în baia metalică ; calea c) are rolul principal .

Aceste căi de oxidare au loc dacă sunt satisfăcute anumite condiții, și anume :

- o solubilitate cât mai mare a oxidului de metal supus operației de oxidare  $[MeO]$  în baia metalică;
- o solubilitate cât mai scăzută a oxizilor elementelor însoțitoare  $[MeO]$  în baia metalică ;
- tensiunea de disociere a oxidului de metal supus oxidării  $P(O_2)_{MeO}$  să fie mai mare decât tensiunea de disociere a oxizilor elementelor însoțitoare  $P(O_2)_{Me'O}$  ;
- variația potențialului termodinamic de formare a oxizilor elementelor secundare trebuie să fie mai mare decât variația potențialului termodinamic de formare a oxidului metalului principal;
- în condiții date de temperatură, solubilitate , concentrație, afinitatea elementelor însoțitoare față de oxigen trebuie să fie mai mare față de afinitatea metalului (metalelor ) de bază . Dacă afinitatea este apropiată, oxidarea elementelor însoțitoare se face numai dacă oxidul metalului de bază se combină cu oxizii elementelor însoțitoare ;

În cazul topirii oxidante au loc următoarele reacții :



Oxidul  $MeO$  ( metalului principal ) are de obicei o solubilitate limitată în baia metalică.

2)  $MeO + Me' = Me + Me'O \pm Q$  - oxidul metalului principal vine în contact cu metalele secundare.

Constanța de echilibru a acestei reacții este :

$$K = \frac{[MeO] \cdot [Me']}{[MeO][Me]} \quad \text{unde : } [ \bar{MeO} ]; [ \bar{Me'O} ]; [Me] ; [Me'] \text{ sunt concentrațiile fiecărui}$$

element în baia metalică. La anumite concentrații ale acestora pentru fiecare temperatură există un echilibru .

În timpul oxidării concentrația metalului de bază Me variază foarte puțin, deoarece el se eliberează din oxid prin oxidarea elementelor însoțitoare.

MeO -solubilitatea în baia metalică este foarte mică..

Având în vedere toate acestea , Me și Me'O se pot considera invariabile ,  
iar  $K = [MeO] \cdot [Me']$ .

Ordinea de oxidare a elementelor dizolvate în baia metalică depinde de :

- concentrația lor
- solubilitatea oxizilor lor în baia metalică
- temperatura băii
- gradul de oxidare al băii
- reacția chimică dintre oxizii din baia metalică, etc.

Dacă nu se ține seama de influența concentrațiilor, în primul rând sunt oxidate elementele însoțitoare , care formează oxizii cu efectul termic de formare cel mai mare.

În practică oxidarea elementelor însoțitoare se realizează simultan , predominând în anumite perioade oxidarea elementelor cu afinitate mare față de oxigen. Explicarea acestui fenomen are la bază influența concentrației elementelor însoțitoare asupra tensiunii de disociere a oxizilor lor și neuniformitatea distribuirii elementelor în baie. Valoarea tensiunii de disociere variază în funcție de valoarea concentrației.

Influența concentrației asupra afinității față de oxigen este dată și de variația potențialului termodinamic de formare.

Oxidarea elementelor însoțitoare din baia metalică continuă până când tensiunea de disociere a oxidului metalului de bază devine egală cu tensiunea de disociere a oxidului elementelor însoțitoare.

$$(P_{O_2})_{MeO} = (P_{O_2})_{Me'O}$$

Prin oxidare, elementele însoțitoare sunt eliminate sub următoarele forme:

- gaze sau vapori ( $As_2O_3$ )

- oxizi care ulterior se zgurifică

### Echilibrul zgură-baie metalică

La topirea oxidantă se obține și zgură topită, care reacționează cu baia metalică prin reacție de difuziune. Pentru cazul soluțiilor diluate, aceste fenomene se supun legii repartiției lui Nerst :

$$\text{Echilibru } L_{MeO} = \frac{[Me'O]}{[MeO]} \text{ la } T \text{ și } P \text{ constante}$$

[Me'O] - oxidul dizolvat în zgură

[ $\bar{Me}O$ ] - oxidul dizolvat în baie

Aceasta se aplică când MeO nu intră în combinații cu alți oxizi din zgură.

În sistemul baie metalică - zgură au loc reacții la nivelul :

- băii metalice ;

reacției în zgură;

- reacțiilor pe suprafața interfazică dintre baia metalică și zgură ;

În cazul acesta se obțin următoarele constante de echilibru :  $K_A$ ,  $K_B$ ,  $K_C$  și prin intermediu lcoeficienților de repartiție se stabilește raportul de repartiție a unui component în baia metalică și în zgură.

$$L_{MeO} = \frac{(MeO)}{[\bar{MeO}]} ; \quad L_{Me} = \frac{(Me)}{[Me]}$$

Pentru îndepărtarea cât mai completă a metalelor însoțitoare din baia topită este necesar ca în baia metalică și în zgură concentrațiile (MeO) să fie cât mai mari (să nu se disocieze din nou).

MeO trebuie să aibă o activitate cât mai mică în zgură..Aceasta se poate obține ori printr-o concentrație mică în zgură ori printr-o mare afinitate pentru componenții zgurei.

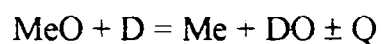


### 3.2.1.2 Dezoxidarea băii metalice

#### Teoria dezoxidării metalelor

După o operație de oxidare și după îndepărtarea impurităților, baia metalică mai conține oxizii, în special ai metalului de bază. La solidificare, solubilitatea lui scade și se separă la limite dintre grăunți, influențând caracteristicile mecanice în sens negativ. Pentru aceasta, înainte de a se turna aliajul se dezoxidează.

Dezoxidarea poate fi făcută prin difuziune sau prin precipitare. În practica tehnologică dezoxidarea se face prin precipitare. Oxidul MeO intră în reacție cu dezoxidantul, iar produsele de reacție se îndepărtează pe baza diferenței de greutate specifică.



$$K = \frac{[\text{MeO}][\text{N}]}{[\text{DO}]} = \bar{M}_{\text{eO}} = \frac{K[\text{NO}]}{[\text{N}]}$$

De aici rezultă că dezoxidarea metalului Me este cu atât mai completă cu cât concentrația [NO] este mai mică și [N] mai mare.

În practica industrială N nu se adaugă în cantități foarte mari pentru a nu modifica proprietățile metalului. Dezoxidantul trebuie să îndeplinească următoarele condiții pentru a realiza o dezoxidare bună:

- să nu formeze produse gazoase ce rămân în baia de metalică sau să modifice proprietățile metalului principal.
- oxidul dezoxidantului să aibă temperatura de topire ridicată și greutatea specifică mică.
- dezoxidantul să prezinte o solubilitate cât mai mică în baia metalică.
- oxidul dezoxidantului să formeze cu alți oxizi prezenți compuși insolubili în baia metalică.

### 3.2.1.3 Metoda de cercetare folosită

#### Aliaje folosite

1. Aliajul RL 38-93 cu următoarea compoziție chimică : Sn 81,1 %; Sb 12,13% ; Cd 0,9%; As 0,35%; Cu 4,79%; Ni 0,14 %; Bi <0,02%; Zn 0,01%; Fe < 0,01%; Pb 1,4% ; Al< 0,01 %.

Proprietăți mecanice  $R_m = 87 N / mm^2$ ,  $R_{p0.2} = 67 N / mm^2$  A = 4 %, HB 250/10/60 = 26.

2. Aliajul LgSnR<sub>0</sub> cu următoarea compoziție chimică : Sb 7,6%; Cu 3,5%; Ni 0,21 %; Cd 1,3%; Pb0,10%; Fe 0,05%; rest Sn.

Proprietăți mecanice  $R_m = 90 N / mm^2$ ,  $R_{p0.2} = 72 N / mm^2$ , A = 7 %, HB 250/10/60 = 29.

#### Tehnologia folosită

Din fiecare aliaj s-a topit separat 1 kg de aliaj într-un cuzinet din oțel inoxidabil. Când aliajul a ajuns la temperatura de 600 ° C s-a introdus oxigen tehnic.

Timpul de oxidare a fost de 3,5 10 minute pentru fiecare șarjă, aliajul menținându-se la temperatura de 600° C .

După expirarea timpului de oxidare se înlătură zgura și se face dezoxidarea .

Dezoxidarea se obține prin următoarea tehnologie :

- se pulverizează pe suprafața aliajului un amestec de NaOH (0,1 % din cantitatea topiturii) și praf de mangal.

- se agită ușor baia timp de 10 minute la temperatura de 500 ° C, după care zgura formată se înlătură.

- se presară praf de sulf și făină de var, se amestecă puțin baia, după care se înlătură zgura.

- se menține aliajul în continuare la temperatura de 500 ° C și se barbotează cu Ar. timp de 5 minute.

- se scade temperatură la 450 ° C și se tornă în cochile pentru probe.

## Analize și încercări

### Compoziția chimică

S-a făcut analiza chimică prin absorbție atomică pentru Cu, Cd, Sn, Sb, iar pentru As analiza s-a făcut prin metoda clasică.

S-au obținut rezultate conform tabelului nr.3.1

**Tabelul 3.1**

Timp de Oxidare (minute)	Aliaj	% din elemente rămase după oxidare		% inițial de elemente	
		Cd	As	Cd	As
3	RL38-93	0,801	0,021	0,9	0,35
	LgSnR <sub>0</sub>	0,913	-	1,3	-
5	RL38-93	0,742	0,008	0,9	0,35
	LgSnR <sub>0</sub>	0,793	-	1,3	-
10	RL38-93	0,489	urme	0,9	0,35
	LgSnR <sub>0</sub>	0,600	-	1,3	-
15	RL38-93	0,421	urme	0,9	0,35
	LgSnR <sub>0</sub>	0,574	-	1,3	-

Nu s-a studiat compoziția zgurei, dar presupunem că s-au format următorii oxizii :

- arseniți  $As_2O_3$  - volatili
- arseniați  $As_2O_5$
- antimoniți  $Sb_2O_3$  - volatil
- antimonati  $Sb_2O_5$
- CdO, antimoniți și arsenati de cupru ,etc.

### Arderile

S-a făcut analiza chimică la temperatura de oxidare de 15', iar pierderile prin oxidare au fost următoarele : Sn- 18% ; Sb - 19%; Cu -20% .

### **Microstructura**

La aceste aliaje s-au făcut microstructurile și s-au constatat următoarele :

- 1) nu au apărut oxizi în structurile vizibile la microscopul optic.
- 2) structura este diferită față de cea a aliajelor inițiale

Constituenții SnSb sunt neuniformi și de dimensiuni mari. Structura obținută este necorespunzătoare.

### **Proprietățile mecanice**

S-au făcut 5 analize din fiecare material ( numai pe aliajele cu timp de oxidare de 15' ) și s-au obținut următoarele rezultate (conform tabelului 3.2):

**Tabelul nr.3.2**

Aliaj	Rm N/ mm <sup>2</sup>	Rp <sub>0,2</sub> N/ mm <sup>2</sup>	A %	Z %	HB 250/ 10/60
RL 38-93	73,6	62,1	3,1 %	-	24
Lg Sn R <sub>0</sub>	78,4	66,1	5 %	-	26

### **Concluzii**

Prin topire oxidantă urmată de dezoxidare se pot elimina As și Cd, dar cu următoarele dezavantaje :

- se poluează atmosfera
- sunt pierderi mari prin ardere la elementele de bază, datorită acestui fapt proprietățile mecanice și structura nu mai corespund (Tabelul nr.3.7)
- pentru a putea fi folosit la confecționarea cuzineților, aliajul trebuie readus la compoziția chimică corespunzătoare.

Având în vedere aceste neajunsuri , afit de ordin tehnic, dar mai ales economic, nu am mai continuat cercetările folosind această metodă de eliminare a Cd și As.

### 3.2.2 Eliminarea Cd și As prin evaporare, respectiv sublimare în vid

#### 3.2.2.1 - Generalități

Dintre elementele care intră în componența aliajelor Sn-Sb- Cu ( Ni, Ca, Na, Al, As, Cd, etc.), cadmiul și arseniul au temperaturile de fierbere, respectiv sublimare cele mai mici și implicit presiunile de vapori cele mai mari. (conform tabelului 3.3)

**Tabelul numărul 3.3**

Elementul	Cd	As	Sn	Sb	Cu	Ni	Pb	Zn	Pent ru	Al
Temperatura de topire -°C	320	817	231,9	630,5	1083	1453	327,4	419,5	1536	660
Temperatura de fierbere -° C	765	Sub 613	2270	1380	2595	2730	1725	907	3000	2450

Substanțele gazoase sunt de două feluri : gaze și vapori.

Sunt gaze, substanțele care la temperaturi constante, oricât ar fi comprimate, nu se condensează.

Se numesc vapori, substanțele care la temperaturi constante, dacă sunt comprimate, se condensează.

Substanțele solide și lichide sunt înconjurate de vaporii lor, procesul de evaporare fiind întotdeauna însoțit de un proces de condensare.

Dacă o substanță lichidă este introdusă într-un vas închis, după un anumit timp, cantitatea de substanță evaporată în unitatea de timp este egală cu cantitatea de substanță condensată în aceeași unitate de timp.În interiorul vasului se stabilește un echilibru termodinamic.

Pentru o temperatură dată, stării de echilibru îi corespunde o concentrație anumită a vaporilor. Presiunea vaporilor care se găsesc în echilibru în lichid (sau într-un corp solid ) se numește *presiune de vaporii*.

La presiune normală ( $P= 1 \text{ atm.}$ ), presiunea de vaporii a topiturii unui metal pur depinde de temperatură și de natura metalului, care se vaporizează și nu depinde de cantitatea de metal topit și nici de volumul ocupat de vaporii acestuia.

La amestecuri de lichide, presiunea de vaporii a componentului care se evaporă, depinde de fracția sa molară, iar în unele cazuri de activitatea componentului din amestec precum și de presiunea de vaporii a componentului respectiv dar în stare pură.

Evaporarea sau sublimarea unui metal sau a unui aliaj se face prin încălzire, iar acest proces depinde de presiunea de vaporii.

Cantitativ, presiunea de vaporii  $P$  a unui metal pur poate fi exprimată ca o funcție de temperatură după ecuația lui CLAUSIUS- CLAPEYRON, iar pentru aliaje prin legea lui RAOULT și HENRY [3].

### 3.2.2.2. Termodinamica și cinetica procesului de evaporare pentru un metal pur

**Echilibrul lichid- vaporii ( Echilibru de vaporizare)** - Echilibrul de vaporizare se stabilește în sistemul în care există un lichid în contact cu vaporii săi [3],[45],[50] .

În cazul unui sistem bifazic monocomponent, starea de echilibru este caracterizată de egalitatea entalpiilor libere molare a celor două faze.

$$G_{(l)} = G_{(v)} \quad (3.1)$$

Entalpia liberă molară Gibbs este o funcție termodinamică care depinde de presiune și temperatură .

$$G = f_{(T,P)} \quad (3.2)$$

Modelul termodinamic cantitativ pentru studiul echilibrului interfazic este dat de ecuația Clausius-Clapeyron :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_v H_m}{T(V_{m_v} - V_{m_l})} \quad (3.3)$$

unde  $T$  = temperatura (K)

$\Delta_v H_m$  - variația entalpiei molare de vaporizare

$V_{m_v}, V_{m_l}$  - volumul molar al vaporilor și lichidului

Avînd în vedere că în sistemele reale, întotdeauna volumul vaporilor este mult mai mare decât volumul lichidului, ecuația (3.3) poate fi scrisă sub forma (3.4)

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_v H_m}{T(V_m)} \quad (3.4)$$

Deoarece procesul de vaporizare este endoterm, variația entalpiei molare de vaporizare este mai mare decât 0, rezultă că termenul  $\frac{dP}{dT}$  din ecuația (3.4) este pozitiv, adică creșterea presiunii determină creșterea temperaturii de vaporizare.

O altă formă a ecuației Clausius -Clapeyron este dată de relația (3.5)

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = \frac{\Delta_v H_m}{RT^2} \quad (3.5)$$

Această ecuație precizează că presiunea  $P$  a vaporilor unui lichid în echilibru cu acesta variază logaritmic cu temperatura, iar temperatura de fierbere a unui lichid crește cu presiunea.

În timpul procesului de vaporizare  $\Delta_v H_m$  este constantă, astfel că prin integrarea ecuației (3.5) se obține :

$$\ln P = -\frac{\Delta_v H}{RT} + B \quad (3.6)$$

sau

$$\lg P = -\frac{\Delta_v H}{4,5731} + B \quad (3.7)$$

Dacă în ecuația (3.6) se înlocuiesc relația :

$$\frac{\Delta_v H}{R} = A$$

Atunci relația (3.6) devine

$$\lg P = -\frac{A}{T} + B \quad (3.8)$$

Unde A, B - constante care depind de material.

Relația (3.8) permite calculul presiunii de vapori a unui metal pur atunci când  $\Delta_v H$  este constantă pe un interval de temperatură dat.

În cazul în care  $\Delta_v H$  variază cu temperatura, atunci presiunea de vapori a unui metal,  $\lg P$ , se poate calcula cu relațiile (3.9) și (3.10)

$$\ln P = -\frac{A}{T} + B \ln T + C \quad (3.9)$$

unde A;B;C, = constante de material

$$\lg P = -\frac{\Delta H_{vap}}{RT} + \frac{\alpha}{1,987} \lg T + \frac{\beta T}{4,576} + \frac{\chi + 2}{4,576} \quad (3.10)$$

P= presiunea de vapori la temperatura de evaporare

$\Delta H_{vap}$  = entalpia de vaporizare

$\alpha, \beta, \chi$  sunt caracteristicile substanței analizate.



Pentru determinarea presiunii de vapori pentru un element pur,  $\Delta H_{vap}$  se poate determina cu ajutorul următoarelor ecuații empirice :

Relația lui Nerst :

$$\frac{\Delta H_{vap}}{T_f} = 9,5 \lg T_f - 0,007 \quad (3.11)$$

Relația lui Nerst și Wartenberg :

$$\frac{\Delta H_{vap}}{T_f} = 7,4 \lg T_f - 1,985 \quad (3.12)$$

Relația lui Kristiakov :

$$\frac{\Delta H_{vap}}{T_f} = 4,576 \lg T_f + 8,75 \quad (3.13)$$

### **Echilibrul solid-vapori (echilibru de sublimare)**

Sublimarea este procesul fizic prin care un solid trece direct în faza de vapori fără a se topi. În cazul echilibrului de sublimare, ecuația Clausius -Clapeyron poate fi scrisă sub forma :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_s H_m}{T(V_m)} \quad (3.14)$$

$$\frac{d \ln P}{dT} = \frac{\Delta_s H_m}{RT^2} \quad (3.15)$$

unde  $\Delta_s H_m$ - variația entalpiei molare de sublimare

În cazul metalelor pure, echilibrul de sublimare este caracterizat de egalitatea

$$G_s = G_v \quad (3.16)$$

În cazul aliajelor care sunt amestecuri multicomponente, presiunea de vapori a fiecărui component este diferită față de presiunea sa în stare pură.

În cazul aliajelor, condiția de echilibru termodinamic va fi exprimată de egalitatea valorilor potențialului chimic al fiecărui metal component în toate fazele în care acest metal se găsește.

Dacă în diversele faze ale sistemului, potențialul chimic al unui component dintr-un aliaj are valori diferite, atunci componentul respectiv va trece din faza cu potențialul chimic mai mare în faza cu potențialul chimic mai mic.

O altă mărime termodinamică frecvent utilizată pentru a descrie echilibrul interfazic care se stabilește în cazul trecerii în fază de vapori a unui aliaj topit, este potențialul chimic  $\mu$ . El reprezintă modul în care variază entalpia liberă Gibbs a unui sistem la adăugarea unui mol de substanță și este descris de ecuația (3.17) :

$$\mu_i = \frac{\partial G}{\partial n_i}_{p,T,n_j} \quad (3.17)$$

Într-un sistem bicomponent aflat la presiune atmosferică, separarea componentelor depinde atât de valoarea presiunii lor de vapori cât și de interacțiunile care se pot manifesta între aceștia.

Un astfel de sistem poate fi descris cu ajutorul fracțiilor molare  $X_i$  care se definesc ca fiind raportul dintre numărul de moli din componentul  $i$  și numărul total de moli al tuturor componentelor prezenți în sistem.

$$X_i = \frac{n_i}{n} \quad \text{unde } n_i = \text{numărul de moli ai componentului} \quad (3.18)$$

$n$  = numărul total de moli

În cazul aliajelor metalice Sn-Sb-Cu componentele sunt complet solubili în stare lichidă. În cazul acestui sistem multicomponent, presiunea de vapori a fiecărui component se determină cu ajutorul legii lui Raoult, conform căreia presiunile parțiale de vapori ale componentelor unui amestec sunt egale cu produsul dintre presiunile de vapori ale componentelor în stare pură și a fracțiilor lor molare.

$P_i = P_i^\circ \cdot x_i$  unde  $P_i$  = presiunea de vapori a componentului  $i$  în topitură

$P_i^\circ$  = presiunea de vapori a componentului  $i$  în stare pură (3.19)

$X_i$  = fracția molară

Temperatura de fierbere a soluției formate din doi componenți este între temperaturile de fierbere ale componentilor puri și depinde de fracțiile molare ale acestora.

Valoarea presiunii totale de vapori a soluției se găsește între valorile presiunilor de vapori ale componentilor puri și este suma presiunilor parțiale ale componentilor din amestec.

Compoziția vaporilor formați în timpul evaporării depinde de compoziția soluției la un moment dat.

Primele cantități de vapori sunt bogate în componentul care are presiunea de vapori cea mai mare.

Dacă se ține seama de efectul termic și de atracția dintre atomii diferitelor specii ce alcătuiesc aliajul legea lui Raoult prezintă abateri. Aceste abateri pot fi negative (dacă forțele de atracție dintre atomii diferitelor metale sunt mai mari în aliaj față de forțele de atracție dintre atomii proprii) sau pozitive (când forțele de atracție dintre atomii metalului sunt mai mari decât forțele de atracție dintre atomii din aliaj .)

Observație : Abaterile negative se referă la faptul că presiunile de vapori reale sunt mai mici decât cele obținute prin legea lui Raoult, iar cele pozitive sunt mai mari.

Gradul de abatere al soluției metalice de la starea ideală se poate aprecia prin intermediul coeficienților de activitate  $\gamma$  corespunzători componentilor în soluție și prin fugacitatea vaporilor  $f$ .

Coeficientul de activitate termodinamic al unui component  $\gamma_A = \frac{a_A}{X_A}$  (3.20)

unde  $a_A$  reprezintă activitatea componentului  $A$  în soluție, (adică fracția molară efectivă) el fiind un factor de corecție aplicat concentrației  $\gamma = a/c$  (când  $a = c$  soluția este ideală)

Activitatea termodinamică a substanțelor pure se poate calcula cu diferite formule, cea mai utilizată fiind

$$a_A = P_i / P_i^\circ \quad (3.21)$$

unde  $P_i$  reprezintă presiunea totală de vapori a amestecului, iar  $P_i^\circ$  presiunea de vapori a componentului pur.

### Fugacitatea vaporilor

Fugacitatea are aceeași dimensiune cu presiunea și reprezintă o presiune efectivă.

Ea se referă la dependența de presiune a potențialului chimic al gazului real.

La presiuni mari, potențialul chimic  $\mu$  al gazului real crește foarte mult (deoarece predomină forțele de respingere), iar la presiune scăzută, potențialul chimic scade (datorită forțelor de atracție).

$$f = \varphi \cdot P \quad \text{unde } \varphi \text{ este coeficientul de fugacitate la presiunea } P. \quad (3.22)$$

$$\ln \varphi = \int_0^P (z - 1/P) dP \quad \text{unde } z = pV_m/RT \text{ (factor de compresibilitate al gazului)} \quad (3.23)$$

Abaterile negative apar în general la metalele care formează compuși intermetalici sau o serie de soluții solide. În cazul acesta, presiunile totale de vapori ale soluției și presiunile de vapori ale componentelor sunt mai mici.

La abaterile pozitive situația se inversează.

În cazul metalelor, presiunea de vapori a componentului  $i$  este:

$$P_i = P_i^\circ \cdot a_i \quad \text{unde } P_i = \text{presiunea parțială de vapori a metalului în amestec}$$

$$P_i^\circ = \text{presiunea de vapori a metalului în stare pură}$$

$$a_i = \text{activitatea metalului } i \text{ în soluție}$$

Când aliajele metalice prezintă abateri mari de la legea lui Raoult, ele formează azeotropi (curbele de fierbere au maxime pentru abateri negative și minime pentru abateri pozitive)

Amestecul azeotrop apare în general, la aliajele care au valori apropiate pentru presiunile de vapori. El nu poate fi separat de componente decât prin modificarea presiunii (la presiune atmosferică nu se poate distila)

**Viteza de evaporare** - reprezintă mărimea principală care caracterizează cinetica procesului. Viteza de evaporare este mărimea principală care caracterizează cinetica procesului de fierbere sau sublimare. La o anumită temperatură viteza de evaporare reprezintă cantitatea (volumul) de vapori formați în unitatea de timp pe unitatea de suprafață a interfeței.

Există formule pentru determinarea vitezei de evaporare care țin cont de presiunea de vapori a elementelor respective la temperatura respectivă, și de masa atomică a metalului [50].

$$1) V_{\text{vap}} = 5833 \cdot 10^{-5} P_0 \sqrt{\frac{A}{T}} \text{ ( g / cm}^2 \cdot \text{h )}$$

$$2) V_{\text{vap}} = 5833 \cdot 10^{-5} P_1 \sqrt{\frac{A}{T}} \text{ ( g / cm}^2 \cdot \text{s)}$$

$$3) \lg V_{\text{vap}} = C + 0,5 \lg T - B/T \text{ ( g / cm}^2 \cdot \text{s)}$$

unde  $P_1$  = presiunea parțială a vaporilor elementului (mm Hg)

$M$  = masa atomică

$T$  = temperatura de vaporizare

$B, C$  = constante de material

Într-un aliaj viteza de evaporare depinde de numeroși factori, și anume :

- presiunea parțială a componentelor din baie
- viteza de îndepărtare a gazelor și a vaporilor de la suprafață
- viteza de amestecare a băii
- suprafața băii
- starea de saturație a vaporilor (pe măsură ce vaporii se apropie de starea de saturație, viteza se micșorează )
- presiunea exterioară
- presiunea hidrostatică a băii lichide
- tensiunea superficială a băii

- gazele și impuritățile din baie

### **Rotul vidului în procesele de evaporare**

Prin realizarea unei presiuni mai mici decât presiunea atmosferică se realizează:

- fierberea la temperatură mai mică
- viteza de evaporare crește deoarece presiunea de vapori învinge o presiune exterioară mai mică

Bula de vapori se poate forma în timpul evaporării numai dacă presiunea de vapori depășește presiunea exterioară.

În vid bulele nu se formează în interiorul lichidului numai la suprafața topiturii, de aceea este necesară o suprafață de distilare cât mai mare.

Literatura de specialitate oferă doar date referitoare la presiunea de vapori și la viteza de evaporare a Cd în aliaje cu Zn.

Astfel : în vacuum, fierberea este posibilă la o presiune de vapori  $>10$  mmHg [50]

S-au realizat stații pilot pentru eliminarea prin condensare a Cd din aliajele de zinc care ating viteze de evaporare de la 0, la  $1,5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h}$  la un vid de 1mmHg și la o temperatură de  $400-450^\circ \text{C}$  la  $12-15 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h}$  la un vid de 1 mmHg la temperaturi de  $400-450^\circ \text{C}$  [50].

În acest caz, singura soluție este aceea de a topi aliajele la diferite temperaturi și diferite presiuni, folosind creuzete cu arii diferite pentru a verifica dacă As și Cd se evaporă și care este viteza lor de evaporare optimă.

Conform ecuației lui Clausius- Clapeyron și a legii lui Rault, pentru eliminarea Cd și As din topitură presiunile parțiale de vapori ale celor două elemente trebuie să fie mai mari decât presiunea exterioară la o temperatură dată .

Pentru determinarea presiunii la care se poate extrage Cd și As din aliajele Sn-Sb este nevoie să se stabilească următoarele date :

- a) presiunile de vapori ale elementelor în stare pură la diferite temperaturi;

Pentru Cd  $P_{Ca}$  la  $394^\circ \text{C}$  - 1 mmg Hg [77]

Pentru CdO 656° C - 10 mmHg [77]

736 °C - 40 mmHg

967° C - 760 mmHg

Pentru As - presiunea de vapori la 633 °C este 1 atm. Rezultă deci, că arsenul se evaporă la această temperatură la presiunea de 1 atm. fără să fie nevoie de scăderea presiunii.

- b) fracțiile molare ale As și Cd

Determinarea acestei fracții pentru Cd :

$X_{cd} = \frac{n_{cd}}{n_{total}}$  unde  $n_{cd}$  = numărul de moli de Cd în topitură

$n_{total}$  = numărul totali de moli din topitură

Numărul de moli ai unui element se determină prin raportul dintre masa elementului în topitură și masa lui atomică.

$$n_{cd} = \frac{m_{cd}}{a_{cd}} \quad (3.24)$$

Ținând cont de procentul de elemente de aliere în aliajul LgSnR (Sb = 7,9%, Cu= 2,9%, Cd= 1,2% , Ni= 0,6%, Sn = 88%) și masa de 400 g de aliaj, putem calcula numărul de moli pentru fiecare element.(tabelul nr.3.4)

**Tabelul nr.3.4**

Element	Masa (g)	Masa atomică	Nr. de moli
Sn	351	119	2,94
Sb	31,2	122	0,25
Cu	11,6	64	0,18
Cd	4,08	112	0,036
Ni	2,32	59	0,04
Pb	0,4	207	0,19

Numărul total de moli la 400 gr. de aliaj este de 3,636

$$X_{Cd} = \frac{0,036}{3,636} = 0,01$$

La temperatura de 394 °C  $P_i = P_{Cd} \times X_{Cd} = 0,01 \times 1 = 0,01 \text{ mmHg} = 0,01 \text{ torr} = 10^{-2} \text{ torr}$

Deci, pentru eliminarea Cd din topitură pînă la un procent de 1,02 la temperatura de 394 C avem nevoie de un vid de  $10^{-2}$  torr.

3. Pentru eliminarea Cd din topitură la temperatura de 394 °C , de la 1,02 la 0,001 % , este necesară o anumită presiune care se calculează cu următoarele relații :

$$\text{masa Cd în aliaj (400 gr.) este de } \frac{0,001 \times 400}{100} = 0,004 \text{ g}$$

- numărul de moli de Cd raportat la 0,004 g =  $\frac{0,004}{112,4} = 0,000035$

- fracția molară  $X_d = \frac{0,000035}{3,600} = 0,0000098 \approx 0,00001$

- Presiunea  $P_i = P_{Cd(394^\circ C)} \times X_{Cd} = 1 \cdot 0,00001 = 10^{-5} \text{ mmHg} = 10^{-5} \text{ torr}$

Avînd în vedere că vidul (presiunea) de  $10^{-5}$  torr se poate realiza numai cu pompe de difuzie (fiind un vid înaintat) și că acesta este destul de greu de obținut în instalațiile industriale pentru cercetare am proiectat și executat o instalație de producere a vidului care lucrează pînă la  $10^{-2}$  torr, urmînd să cresc temperatura (metoda și instalațiile sunt prezentate în paragraful 3.2.2.3 și planșele 3.1, 3.2, 3.3 și 3.4 )

În ceea ce privește As, acesta sublimază la 613°C , iar peste această temperatură se evaporă.



### 3.2. 2.3 Instalația de elaborare în vid

#### Caracteristicile fizice ale vidului relativ. Parametrii tehnologici specifici sistemului de vidare

Întrucât vidul absolut nu poate fi încă produs, în cele ce urmează, prin termenul vid se va înțelege întotdeauna un vid relativ, care reprezintă o atmosferă gazoasă, rarefiată, obținută inițial prin evacuarea aerului atmosferic dintr-o incintă închisă și perfect etanșă, cu ajutorul unui sistem de vidare format din pompe de vid, conducte, aparate de măsură, control și regalj al vidului.

Clasificarea vidului relativ se face în funcție de raportul dintre drumul liber mediu parcurs a unei molecule  $\lambda$  (drumul între două ciocniri consecutive) și dimensiunea geometrică minimă a incintei conform tabelului de mai jos.

Tabelul nr. 3.5

Tipul de vid	Intervalul de presiune torr	Raportul $\lambda$ - D
Slab	1	$\lambda < D$
Mediu	$1 - 10^{-3}$	$\lambda \leq D$
Înalt	$10^{-3} - 10^{-6}$	$\lambda \geq D$
Ultraînalt	$< 10^{-6}$	$\lambda > D$

În tehnica vidului ca unitate de măsură a presiunilor, cel mai adesea se utilizează torrul. Un torr este egal cu forța cu care apasă o coloană cilindrică de mercur înaltă de 1 mm asupra bazei sale care are dimensiunea de 1 cm.<sup>2</sup>

În sistemul internațional unitatea de măsură pentru presiune este Pascal care este egal cu 1N/ m<sup>2</sup>. Echivalența unor unități de măsură este următoarea [3]:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ KPa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr}$$

1 torr  $\cong$  1 mm Hg

Presiunea standard în chimie = 1 barr

Utilizarea vidului la diferite valori implică și utilizarea unor parametri tehnologici corespunzători. Presiunea scăzută (vidul relativ) este realizată și menținută cu ajutorul unui sistem de vidare format din incinta care trebuie vidată și sistemul de evacuare format la rândul său din : pompă de vid , conducte, filtre, sistem de condensare a gazelor ,etc.

Vidul slab și mediu (până la  $10^{-2}$  torr) se poate realiza cu pompele de vid mecanice , care refulează direct în atmosferă . Vidul înalt și supraînalt se realizează cu ajutorul unor pompe de vid speciale (pompe de difuziune) , capabile să lucreze numai în condiții în care atât presiunea inițială cât și presiunea minimă la robinetul de evacuare sunt cu mult inferioare presiunii atmosferice. Având în vedere acest lucru pompele respective trebuie să fie legate în serie cu pompele mecanice , particulele din incintă trecând mai întâi prin pompa de vid înalt , după care prin pompa mecanică ,fiind apoi evacuate.

Așadar, pentru a putea funcționa, pompa de difuzie în interiorul cuptorului trebuie să existe o depresiune minimă -numită vid limită- realizată cu ajutorul pompei mecanice de vid preliminar.

#### **Instalația de topire în vid folosită în cercetare**

În instalația folosită în cercetare se realizează un vid mediu de până la  $10^{-2}$  torr cu ajutorul unei pompei mecanice cu ulei.

Instalația (Planșa nr. 3.1) este compusă din :

1. Cuptorul electric cu bare de silită
2. Cuptorul de topire a aliajului
3. Conducte
4. Pompă de vid preliminar
5. Aparat de măsură și control
6. Condensator

1. Cuptorul electric (Poza nr3. 4 ) – are următoarele componente:

1- Carcasă metalică exterioară din oțel inoxidabil

- 2- Cărămidă refractară acidă
- 3- Bare de silită
- 4- Capac din oțel inoxidabil

2. Cuptorul de topire (Poza nr.3.3) este confecționat din oțel inoxidabil

3. Conductele de vid (Planșa nr.3.1) sunt din alamă.

Conductanța lor depinde de temperatura gazului, greutatea moleculară a gazului, presiunile de la cele două capete ale conductei, diametrul și lungimea conductei.

În funcție de conductanță se determină și secțiunea conductei. Secțiunea conductelor nu trebuie să fie mai mică decât secțiunea găurii de evacuare a pompei.

#### **4. Pompa de vid (Planșa nr.3.2)**

Parametrii de bază ai pompei de vid

Parametrii de bază ce caracterizează oricare pompă de vid sunt :

- presiunea limită - presiunea minimă care se poate atinge cu pompa respectivă
- presiunea inițială - presiunea din recipient de la care pompa de vid începe să lucreze în mod normal
- presiunea maximă de refulare (presiunea critică) - presiunea de la orificiul de evacuare al pompei , care dacă este depășită pompa nu mai poate să funcționeze.

Presiunea obținută de pompa de vid -determinarea presiunilor caracteristice ale pompelor de vid se face cu ajutorul manometrelor care se clasifică în funcție de domeniul presiunilor în care lucrează astfel :

0/10 torr- manometre statice cu lichide (mercur)

10/  $5 \cdot 10^{-4}$  torr - manometre termice cu punte sau cu termocuplu

10/  $5 \cdot 10^{-7}$  torr -manometre de ionizare și omegatroane

Pentru măsurarea presiunii realizată de pompă s-a folosit manometrul termic cu termocuplu.

Pompa folosită (Planșa 3.2) a fost o pompă rotativă cu ulei cu paletele pe rotor . Camera pompei se află într-un rezervor umplut cu ulei, în felul acesta asigurându-se și răcirea pompei. Uleiul trebuie să se găsească la un nivel determinat deasupra supapei, pentru a feri substanța gazoasă direct de contactul cu atmosfera . De aceea pompele rotative cu ulei nu pot evacua din recipientele substanțele cu presiune mare de vapori deoarece acestea se condensează în spațiul de evacuare .

Pompa folosită în instalație are o presiune limită de până la  $10^{-2}$  torr.

Verificarea presiunii pompei s-a făcut pe o instalație de fluorescență de radiații X cu ajutorul unui manometru termic cu termocuplu. Presiunea a fost de  $10^{-2}$  torr.

## 5. Aparat de măsură și control

**Autotransformatorul** - asigură tensiunea la bornele cuptorului : este de tip ATR, construit de Electrotehnica București .

$$I_{\max} = 4 \text{ A} , V_{\max} = 220 \text{ V}$$

Sursele de alimentare cu energie electrică:

- pentru alimentarea autotransformatorului - 220 V
- pentru alimentarea motorului electric al pompei de vid - 380 V

**Ampermetru** -s-a utilizat un ampermetru tip MF -35

Caracteristicile tehnice ale aparatului utilizat ca și ampermetru :

1. Domeniul de utilizare și clasa de precizie pentru curent alternativ :

- la limita inferioară 2,5 mA - clasa de precizie 2,5
- la limita superioară 25-250 mA 1-5 A/-clasa de precizie 1,5

**Aparat pentru măsurat temperatura** - s-a folosit un termocuplu și un milivoltmetru.

Termocuplul folosit este confecționat din Pt/Pt90 Rh 10 care poate măsura până la  $1600^{\circ}\text{C}$

## 6. Condensatorul

Calculul condensatorului s-a făcut pentru instalația pe care s-au făcut experiențele cu o cantitate de 600 g aliaj și pentru o instalație de 100 kg. aliaj. Temperatura de elaborare fiind de 770 ° C , iar timpul de vidare de 30 minute.

a) *Calculul condensatorului pentru cantitatea de 600 g. aliaj.*

Pentru a calcula condensul pentru elementele care se degajă în timpul de elaborare al șarjei , s-au luat în calcul o temperatură medie de 770°C un timp de vidare de 30 ' , o cantitate de aliaj de 600gr.

În cazul unei șarje de 600 g se degajă :

Sn= 12 g ; Sb = 24 g; Cu = 6 g; Cd = 2,1 g; As = 2,1 g . Aceste elemente au entalpia de vaporizare : Sn = 70 ; Sb=46,6 ; Cu= 72,8 ; Cd= 23,8 ; As= 7,75  $\frac{kcal}{atom.gram}$  , [45] respectiv

căldura specifică : Sn =54; Sb=49; Cu= 92 ; Cd = 55 ; As = 82  $\frac{kcal}{atom.gram}$  .[45]

Se calculează căldura latentă de condensare cu relația [52] :

$$Q_c = m.r$$

în care m = masa de metal exprimată în kg, iar r = căldura latentă de condensare în J/ kg.

Se calculează căldura cedată prin răcirea metalului condensat cu ajutorul relației :

$$Q_r = m.c.st , \text{ admișind că răcirea are loc de la } 770^{\circ}\text{C la } 20^{\circ}\text{C} .$$

Se obține astfel :  $Q_c = 99734 \text{ J/ șarja de } 600 \text{ g}$

$$Q_r = 8371 \text{ J/ șarja de } 600 \text{ g}$$

Pentru instalația experimentală alegem un condensator care are forma unei țevi din oțel inox 24 x 2 mm cu nervuri transversale cu diametrul exterior de 30 mm , grosimea de 1 mm și pasul de 5 mm.

Coeficientul parțial de transfer de căldură se calculează cu relația :

$$N_m = 0,45 Re^{0,625} \left(\frac{A_0}{A}\right)^{0,375} Pr^{0,333} \quad [52]$$

$$\text{unde } N_m = \frac{\alpha.d}{\lambda} \quad Re = \frac{w.d.\rho}{\eta} ; Pr = \frac{C_p.\eta}{\lambda} \quad [52]$$

în care  $\alpha$ - coeficientul parțial de transfer de căldură prin convecție, în  $w/m^2.k$

$d$  – dimensiunea geometrică determinată în m

$\rho$ - densitatea aerului în  $kg/m^3$

$w$  – viteza medie a fluidului , în m/s

$C_p$  -căldura specifică a fluidului , în  $J/kg.k$

$\eta$  - vîscozitatea dinamică , în Pa.s

$\lambda$  - coeficientul de conductivitate termică  $w/m.k$

$A_0, A$  - suprafața totală și de bază , în  $m^2$  .

În cazul experimental se admite o viteză a aerului de 0,2 m/s pentru convecție naturală.

$$Re = \frac{w.d.\rho}{\eta} = \frac{0,2.0,025.1,29}{0,0188.10^{-3}} = 343$$

$$A_0 = 0,0814 \text{ m}^2 \text{ (considerînd ambele fețe active)}$$

$$A = 0,0151 \text{ m}^2$$

$$Pr = 0,72 \text{ (din tabel)}$$

$$Nu = 0,45.343^{0,625} .5,39^{0,375} .0,72^{0,33} = 29,148$$

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{d} = \frac{29,148.1,4.10^{-2}}{2,4.10^{-2}} = 17,003 w/m^2.k$$

Coeficientul total de transfer de căldură :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ în care}$$

$\alpha_1$  = coeficientul parțial de transfer de căldură interior  $w/m^2.k$

$\delta$  = grosimea peretelui în m

$\lambda$  = conductivitatea termică a materialului în  $w/m.k$

$\alpha_2$  = coeficientul parțial exterior  $w/m^2.k$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{17,003}} = 16,97 w/m^2.k$$

Din ecuația bilanțului termic :

$$Q = K \cdot A \Delta t_m$$

se calculează  $\Delta t_m$  :

$$\Delta t_m = \frac{Q}{KA} = \frac{60,058}{16,97 \cdot 0,014} = 43,47^\circ \text{C}$$

$$\text{în care } Q = \frac{108105}{30,60} = 60,058 \text{ w}$$

$$t_{ext} = 20 + \Delta t_m + 63,47^\circ \text{C}$$

În cazul șarjei de 100 kg și a timpului de elaborare de 30 minute vom avea :

$$Q = 60,058 \frac{100}{0,6} = 10009,72 \text{ W}$$

Condensatorul este format din patru elemente de răcire cu țeava interioară de  $\Phi 30 \times 30$  mm și nervuri cu  $D_{ext.} = 70$  mm , grosime de 1,5 mm, iar pasul de 8 mm

$$\frac{A_o}{A} = \frac{1,403}{0,056} = 25,05$$

Circulația aerului este forțată cu viteza de 1,5 m/ s

$$R_e = \frac{1,5 \cdot 0,05 \cdot 1,2}{0,0188 \cdot 10^{-3}} = 4787,2$$

$$N_u = 0,45 \cdot 4787,2^{0,625} \cdot 25,05^{0,375} \cdot 0,72^{0,333} = 269,345$$

$$\alpha = \frac{269,345 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 75,4 \text{ W / m}^2 \cdot \text{k}$$

$$K = \frac{1}{\frac{0,003}{17,5} + \frac{1}{75,4}} = 74,438 \text{ W / m}^2 \cdot \text{k}$$

$$\Delta t_m = \frac{10009,72}{74,438 \cdot 1,403 \cdot 4} = 23,96^\circ \text{C}$$

$$t_{\text{crit}} = 20 + 23,96 = 43,96 \text{ } ^\circ \text{C}$$

*Notă : Având în vedere cantitatea mică de Cd și As conținută în cele 600 g. de aliaj folosit pentru experimentare, vaporii de As și Cd s-au condensat pe conductele de cupru înainte de a ajunge în condensator.*

### 3.2.2.4 Metoda folosită la cercetare

Pentru a putea urmări dacă As și Cd din topitură se evaporă la presiunea standard, și la presiuni mai mari, precum și pentru a determina în cazul evaporării viteza de evaporare, s-a folosit instalația descrisă la paragraful anterior.

Pentru studii experimentale s-au folosit două tipuri de aliaje :

- un aliaj românesc LgSnR, având următoarele caracteristici :

Sb -7,9%

Cu - 2,9%

Cd- 1,02 %      HB 250/10/30 – 29 ÷ 33

Ni- 0,6 %       $R_m = 90 \text{ N/mm} ; R_{p0,2} = 75 \text{ N/mm}^2$

Sn -88%      A = 7%

Pb- 0,1%

- un aliaj străin RL 38,93 elaborat din șpan având următoarele caracteristici :

Sn - 81,10 %      HB 250/10/60 – 26

Sb - 12,13 %       $R_m = 87 \text{ N/mm}^2 ; R_{p0,2} = 67 \text{ N/mm}^2$

As - 0,35 %      A = 4 %

Ni - 0,14%

Pb- 1,4 %

Bi <0,02%



Cu - 4,79 %

### **Modul de lucru**

Experimentele s-au efectuat pe o cantitate de 0,4 kg. din fiecare aliaj.

Metoda de cercetare prin topirea în vid s-a bazat pe faptul că temperatura de fierbere a Cd este de 765 ° C, respectiv temperatura de sublimare a As este de 613 ° C sunt cu mult mai mici decât temperaturile de fierbere ale celorlalte elemente care intră în compoziția aliajelor. (Tabelul 3.3)

Prin această metodă de cercetare s-a urmărit verificarea teoriei descrise anterior, potrivit căreia prin topire în vid, temperaturile de fierbere, respectiv de sublimare scad

S-a mai urmărit și variația vitezei de evaporare a As și Cd în funcție de temperatură și timp, menținând presiunea (vidul) constantă.

Aliajul LgSnR (cu conținut de Cd) a fost menținut în vid de  $10^{-2}$  torr începând de la temperatura de 450 ° C până la 800 ° C timp de 15, 30 respectiv 60 de minute. Rezultatele obținute sunt redată în tabelul 3.6.

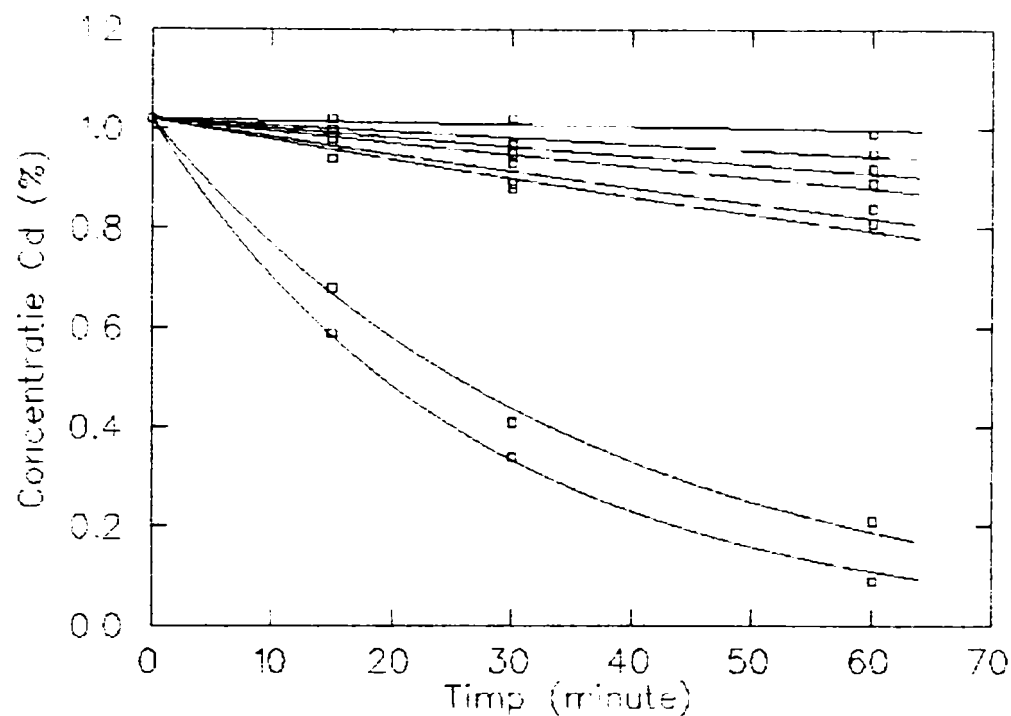
Aliajul RL 38-93 (cu conținut de As) a fost menținut la temperatura de 450 și respectiv 650 ° C la o presiune de 1 atm. Timp de 15, 30, 60 de minute. Rezultatele sunt redată în tabelul 3.6.

**Tabelul nr.3.6 – Pierderi de Cd din aliajul LgSnR și de As din aliajul RL 38-93 la  
P= 10<sup>-2</sup> torr.**

T° C / t'	Cd inițial %	Cd rămas %	As inițial %	As rămas %
450 /15	1,02	1,02	0,35	0,35
/ 30	1,02	1,02	0,35	0,35
/ 60	1,02	0,99	0,35	0,30
500/ 15	1,02	1,00	0,35	0,32
/ 30	1,02	0,97	0,35	0,30
/ 60	1,02	0,95	0,35	0,24
550/ 15	1,02	0,98	0,35	0,28
/ 30	1,02	0,95	0,35	0,19
/ 60	1,02	0,92	0,35	0,1
600/15	1,02	0,98	0,35	0,17
/30	1,02	0,93	0,35	0,091
/60	1,02	0,89	0,35	urme
650/15	1,02	0,94	0,35	0,11
/30	1,02	0,89	0,35	0,07
/60	1,02	0,84	0,35	urme
700/15	1,02	0,94	0,35	-
/ 30	1,02	0,88	0,35	-
//60	1,02	0,81	0,35	-
750 /15	1,02	0,68	0,35	-
/30	1,02	0,41	0,35	-
/60	1,02	0,21	0,35	-
800/15	1,02	0,59	0,35	-
/30	1,02	0,34	0,35	-
/60	1,02	0,09	0,35	-

**Fig. 3.1 – Pierderile de Cd în funcție de timp la  $P = 10^{-2}$  torr și  $T = 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800^{\circ}\text{C}$**

Fit:  $\text{Concentrație} = 1,02 \cdot \exp(-\text{timp}/T)$



**Analize efectuate** - Pentru cele două aliaje s-au făcut următoarele analize :

- 1) Conținutul de As și Cd rămas (conform tabelului nr.3.6 )
- 2) Rm, Rpo2, A,Z, HB ( conform tabelului nr.3.7)
- 3) Microstructuri
- 4) S-au determinat la temperaturi de  $800^{\circ}\text{C}$  cu timp de menținere de 30 minute, pierderile de Sn, Sb,Cu la o presiune de  $P= 10^{-2}$  torr.

Analizele și încercările au fost făcute în următoarele laboratoare :

1. Laboratorul de încercări chimice UCM Reșița
2. Laboratorul CTC al SC CHIMOPAR SA București

4. Laboratorul SC Feroneria S.A. Arad
5. Laboratorul Regiei de Apă- Canal Arad
6. Laboratorul S.C. CEPROMIN Deva
7. Analizele de microstructuri au fost făcute la Universitatea Politehnica Timișoara, la Universitatea Aurel Vlaicu din Arad, la UCM Reșița și la SC ASTRA TRINITY ARAD.

### Rezultatele analizelor

- 1) Eliminarea Cd (tabelul 3.6) – Aliajul s-a vidat de la temperatura de 450 la ° C la 800 °C timp de 15, 30 , 60 de minute. La temperatura de 800 ° C și timpul de vidare de 60 minute Cd se elimină de la 1,02 % la 0,09% .
- 2) Eliminarea As (Tabelul 3.6 ) – Aliajul s-a vidat la temperaturile de 450, 500, 550, 600, 650 ° C , timp de 15, 30, 60 minutc. La temperatura de 650 °C, după 60 de minute, As a fost complet eliminat .
- 3) Pierderile prin evaporare în vid au fost de : Sn 4%, Sb 2%, Cu 1 % . Aceste pierderi sunt mai mici decât prin elaborarea aliajului în atmosferă la 500 ° C (Sn 10%, Sb 10%, Cu 10%).[14],[73]
- 4) Structurile aliajelor după evaporare nu mai corespund .
- 5) Proprietățile mecanice – Pentru aliajul LgSnR elaborat la 800 ° C timp de 60 de minute s-au făcut 3 determinări și s-au obținut următoarele rezultate :

$$R_m = 85 N / mm^2 , R_{p0,2} = 67 N / mm^2 , A = 5 \% , HB 250/10/60 = 27$$

Pentru aliajul RL 38-93 s-au efectuat trei determinări pe aliajul turnat la 650 °C cu timp de menținere de 60 minute și s-au obținut următoarele valori:

$$R_m = 84,3 N / mm^2 , R_{p0,2} = 64,1 N / mm^2 , A = 3,6 \% , HB 250/10/60 = 25$$

Compoziția chimică și proprietățile mecanice sunt prezentate în tabelul 3.7

### Concluzii

Tehnologia de evaporare prin distilare în vid este o tehnologie ecologică, As și Cd putându-se recupera.

- Pierderile de elemente prin oxidare Sn, Sb, Cu sunt mai mici decât în cazul elaborării în atmosferă la 500 ° C.
- As se elimină complet la temperatura de 650 ° C după 60 minute . Cd la presiunea de  $10^{-2}$  torr și 800 ° C cu un timp de menținere de 60 minute a fost eliminat până la un procent de 0,09 % .

- Viteza de evaporare scade odată cu scăderea cantității de Cd (conform Fig. 3.1) .
- S-a putut determina teoretic, interpretând rezultatele practice, formula care determină pierderile de element în funcție de timp. (conform Fig. 3.1).
- După eliminarea As și Cd, proprietățile mecanice ale aliajelor au scăzut chiar sub proprietățile unor aliaje antifricțiune Sn-Sb-Cu .
- Structurile acestor aliaje nu mai corespund. Pentru a putea fi întrebuințate ele trebuie elaborate din nou și modificate.

### **Tehnologia propusă pentru eliminarea As și Cd**

Având în vedere că la presiuni de  $10^{-2}$  torr, chiar la temperaturi ridicate, Cd nu se poate elimina în totalitate, propunem continuarea cercetărilor pe o instalație conform Planșei 3.5 Se va realiza un vid de cel puțin  $10^{-5}$  torr, iar în timpul evaporării aliajul se va vibra.

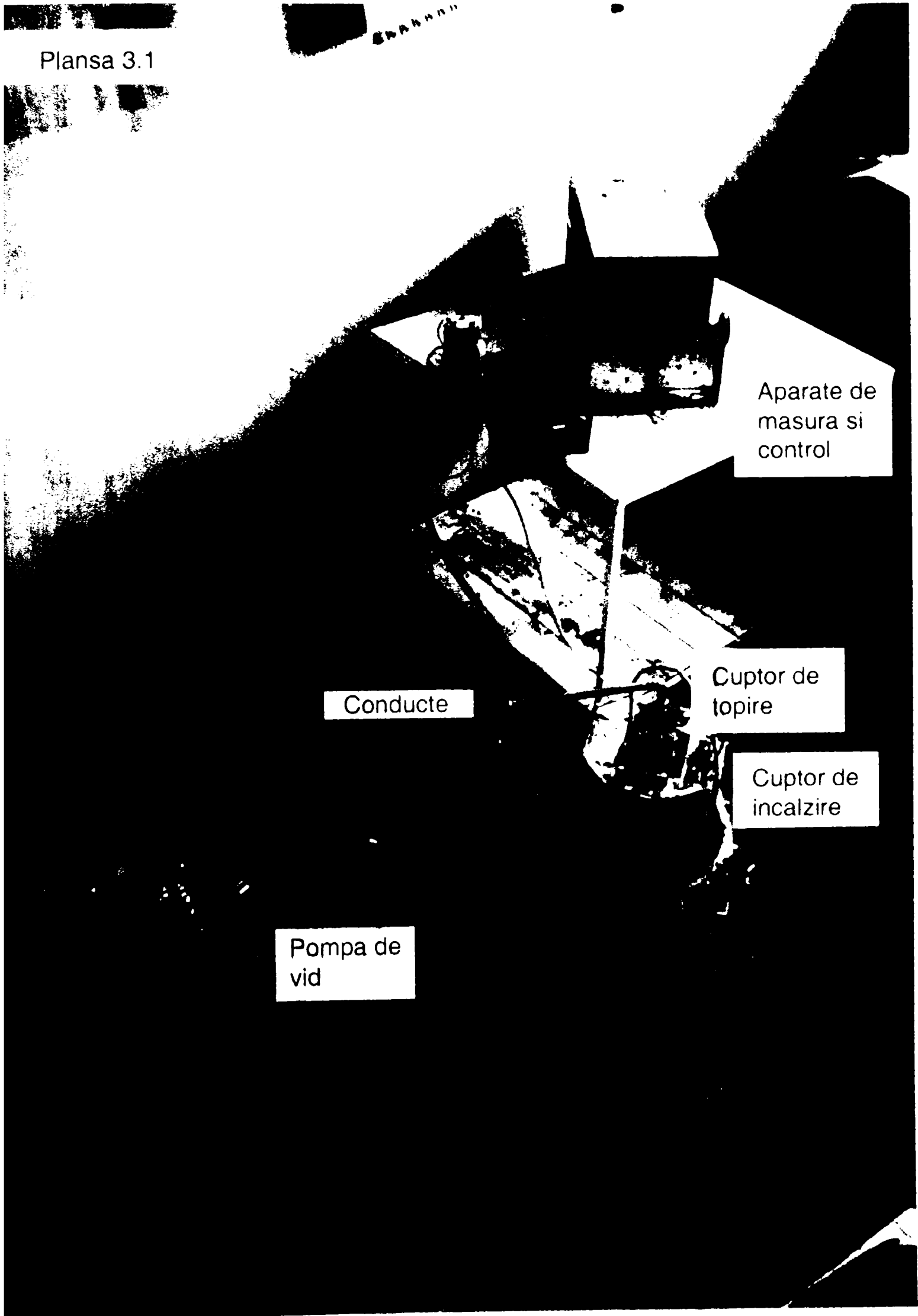
S-a constatat că în timpul vibrării în aliaj apar presiuni mari care duc la creșterea vitezei de evaporare a gazelor (presiunile fiind echivalente cu un vid de  $10^{-3}$  torr ).

Aceeași instalație se poate utiliza și pentru eliminarea As în vederea creșterii vitezei de evaporare și reducerii temperaturii.

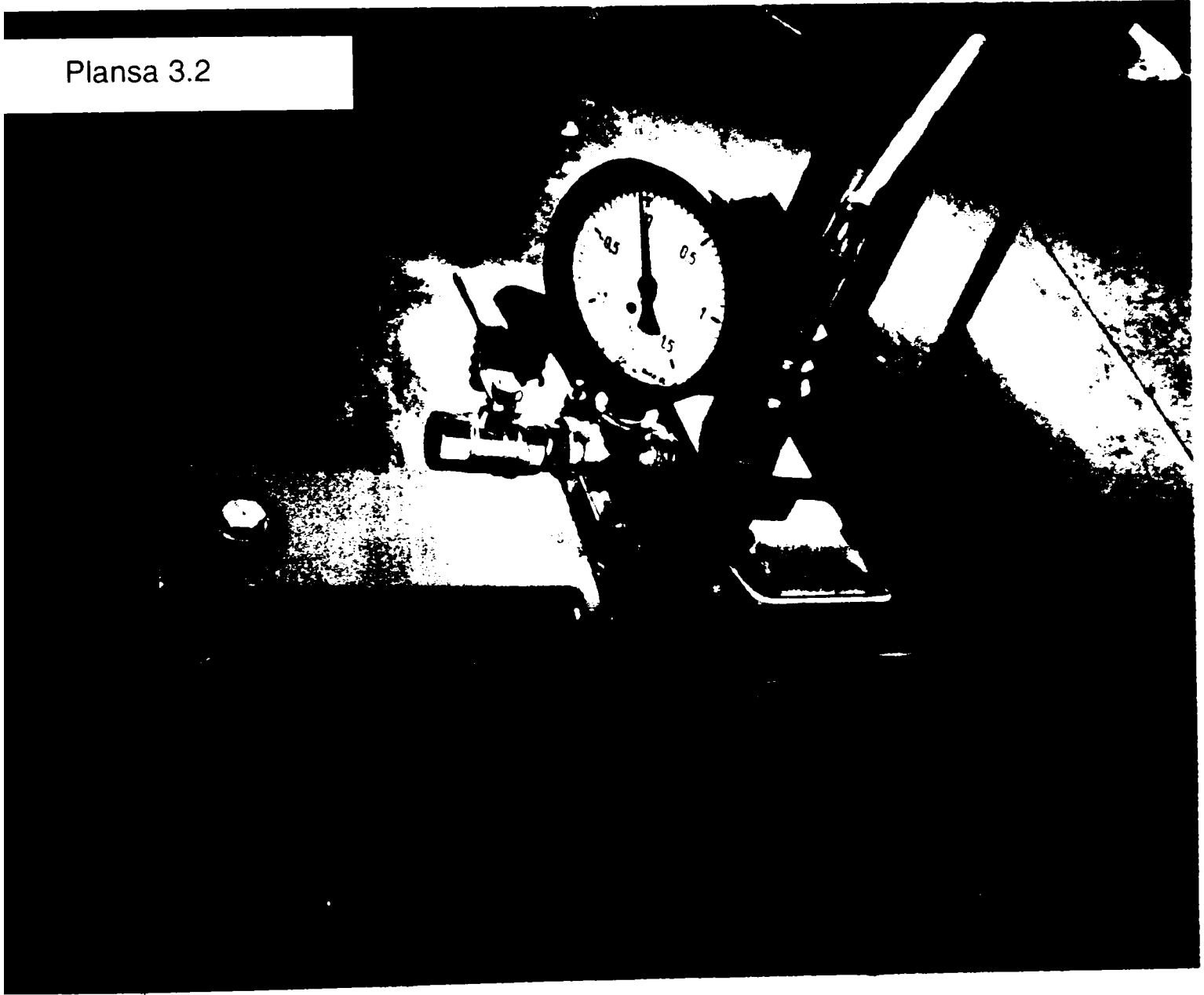
Tabelul 3.7 Compoziția chimică și proprietățile mecanice ale aliajelor LR 38-93, LgSnR<sub>0</sub> și LgSnR înainte și după vidare

Aliaj	Compoziția chimică %						Proprietățile mecanice %				
	Sn	Sb	Cu	Cd	As	Ni	$R_m, N/mm^2$	$R_{p0,2}, N/mm^2$	A %	HB 250/10/60	
RL-38-93	81,1	12,13	4,79		0,35		87	67	4	26	
RL 38-93 oxidat	66,50	9,82	3,84		urme	0,14	73,6	62,1	3,1	24	
RL 38-93 vidat	77,8	11,88	3,70				84,3	64,1	3,6	25	
LgSnR <sub>0</sub>	87,3	7,6	3,5	1,3		0,21	90	72	7	29	
LgSnR <sub>0</sub> oxidat	71,58	6,15	3,23	0,57		0,6	78,4	66,1	5	26	
LgSnR	88	7,9	2,9	1,02			90	70	7	29	
LgSnR vidat	84,4	7,74	2,8				85	67	5	27	

Plansa 3.1



Plansa 3.2

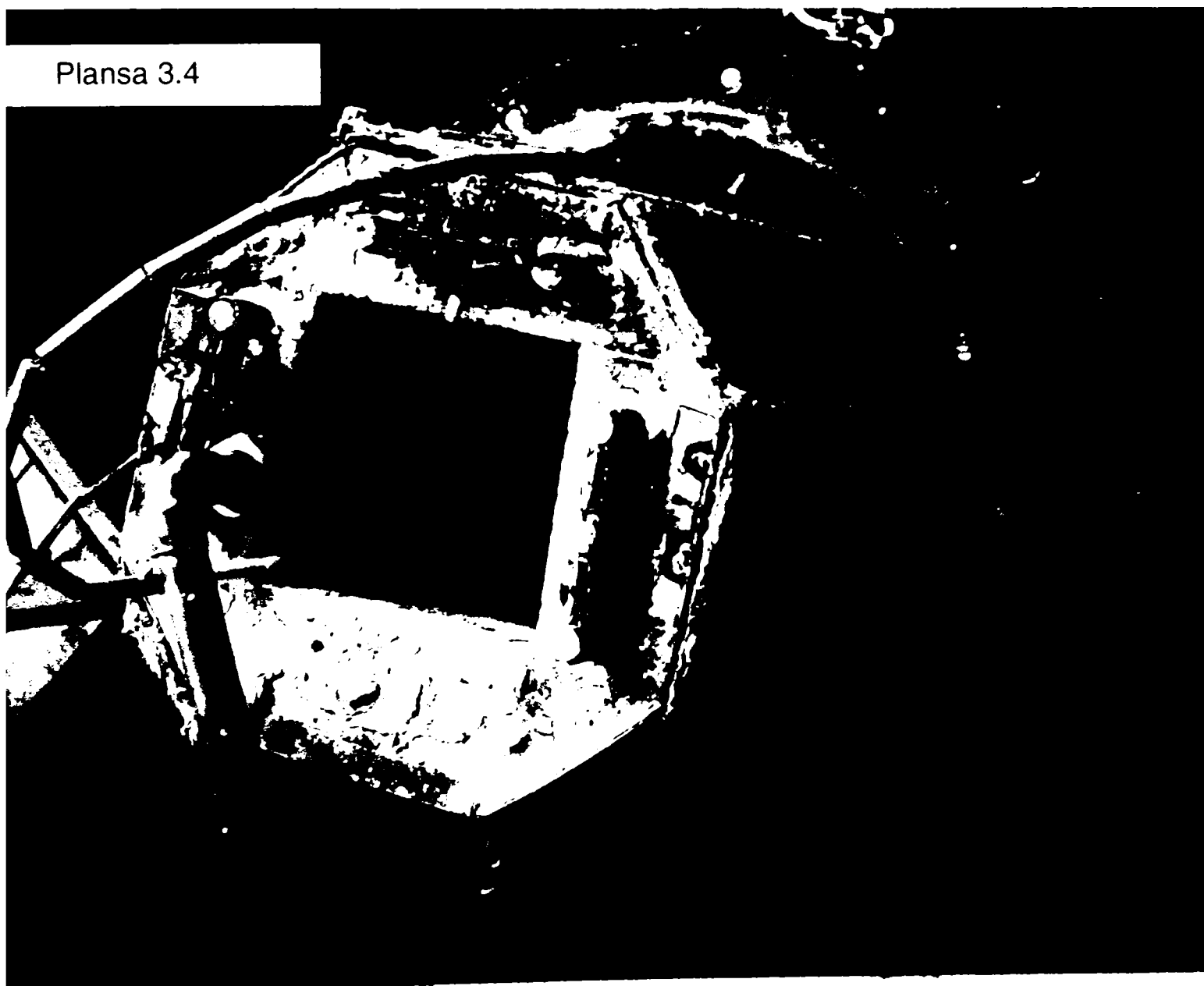




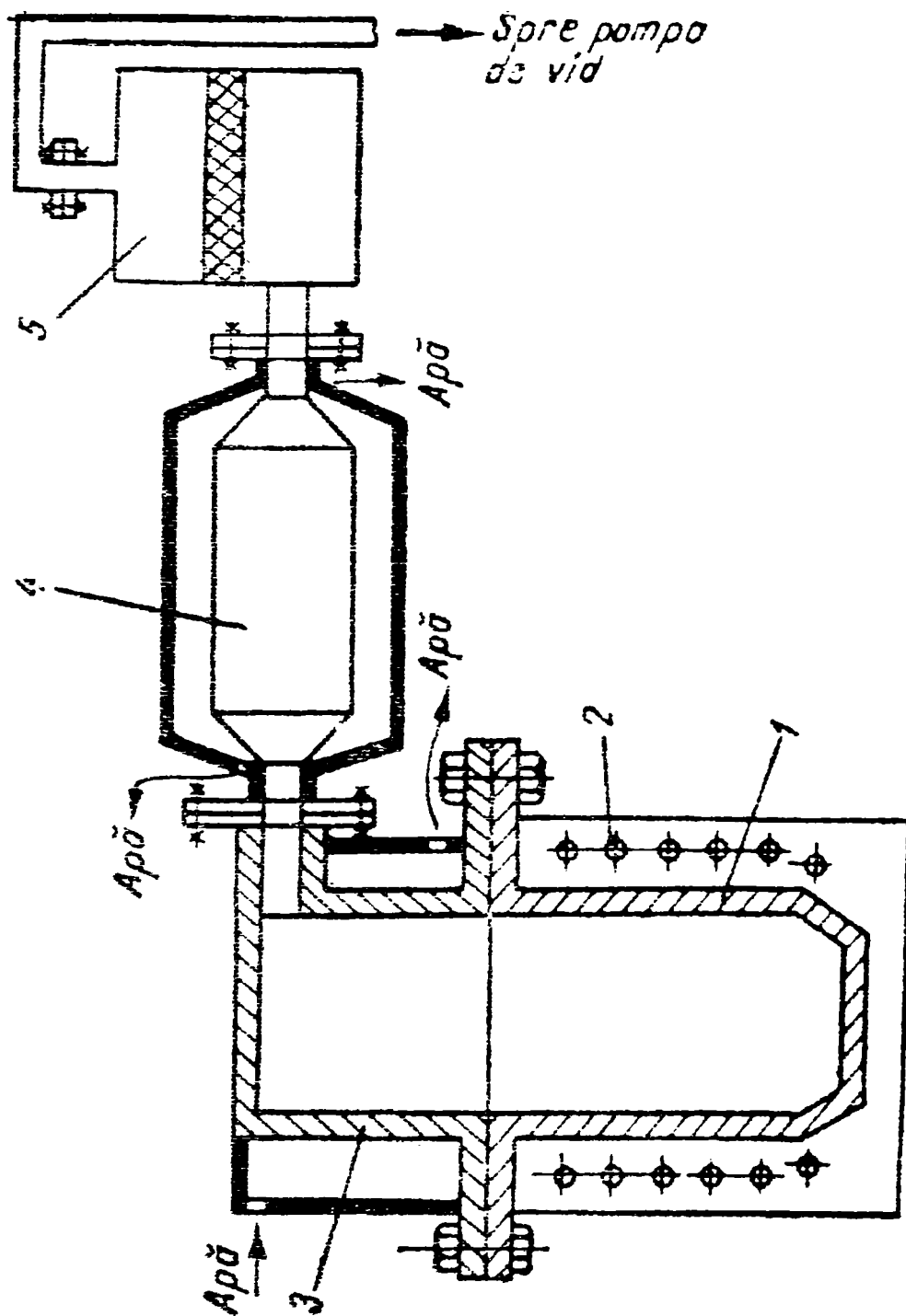
Plansa 3.3



Plansa 3.4



PLAȘA NR. 3.5 – CUPTOR DE TOPIRE ÎN VID



## CAPITOLUL NR. 4

### Realizarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn -Sb fără Cd și As folosind materiale recuperabile

#### 4.1 Tehnologii de obținere a aliajelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb fără Cd și As folosind materiale recuperabile

##### 4.1.1 Procese fizico-chimice produse la topirea și supraîncălzirea aliajelor

Procesele care stau la baza elaborării aliajelor sunt :

1. Topirea
2. Supraîncălzirea
3. Evaporarea elementelor
4. Reacția băii cu gazele
5. Reacția băii cu cătușala
6. Alierea
7. Tratarea fizico-mecanică a topiturii

##### 1. Topirea

Temperatura de topire variază în funcție de compoziția chimică a aliajului. Căldura necesară pentru topire se compune din căldura de încălzire până la topire și căldura de supraîncălzire.

2. Supraîncălzirea - se face cu scopul tratării topiturii în vederea obținerii unor proprietăți superioare ale aliajului după solidificare. Temperatura de supraîncălzire depinde de compoziția chimică și de felul tratamentului aplicat topiturii.

##### 3. Evaporarea

Pierderile prin evaporare depind de :

- tensiunea de vapori a elementelor din compoziția aliajului. Cu cât tensiunea de vapori este mai mare cu atât pierderile sunt mai mari.

- cu cât temperatura este mai mare cu atât și pierderile sunt mai mari
- suprafața băii metalice
- atmosfera cuptorului
- presiunea de deasupra băii de metal

#### 4. Reacția băii cu gazele

##### 4.1 Oxidarea

Procesul de oxidare depinde de :

- afinitatea față de  $O_2$  a metalului
- concentrația metalului în aliaj
- temperatura
- suprafața băii
- timpul de elaborare
- natura peliculei de oxizi (există două tipuri de pelicule: compactă -V oxidului/ V metalului este mai mare decât 1 -și poroasă , dacă acest raport este mai mic decât 1 ).
- procesul de difuziune

*Oxidarea aliajelor pe bază de Sn se realizează cu  $O_2$ ,  $CO_2$ , vapori de apă, bioxid de sulf.*

*Produsele rezultate nu se dizolvă în baia metalică.*

##### Dezoxidarea

În general dezoxidarea se poate face pe mai multe căi și anume :

1) Prin precipitare pe bază chimică . În cazul acesta, elementele dezoxidante trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

- să aibă o afinitate mai mare față de  $O_2$  decât materialul oxidat
- să fie solubil în materialul de bază
- să formeze oxizi care să nu fie solubili în baie și să se ridice ușor la suprafață
- să nu influențeze negativ proprietățile mecanice

2) Prin difuziune pe cale chimică .Acest procedeu se aplică atunci când se urmărește eliminarea oxigenului fără dizolvarea elementelor dezoxidante, putându-se obține aliaje de puritate înaltă. Substanțele dezoxidante se presară sub formă de pulberi la suprafața băii unde are loc o micșorare a concentrației băii.

3) Pe cale fizică . Se face cu ajutorul gazelor argon, azot. Durata de suflare este de 8-15 minute, iar cantitatea de gaz suflat variază între 0,3-1 %.

4) Cu ajutorul fondanților . În general se folosesc fluoruri ( $\text{NaF} + \text{NaCl}$ , etc.).

Dezoxidarea aliajelor pe bază de Sn se realizează de obicei, cu fondanți pe bază de hidroxid de sodiu 0,05% din șarjă. Zgura obținută la suprafață se îngroașă cu făină de var după care se îndepărtează.

*Observație:* Pentru evitarea oxidării băii metalice, aceasta se protejează cu diferiți fondanți. În cazul aliajelor pe bază de Sn, baia se protejează cu cărbune de mangal, sau clorură de amoniu ~1% din baia topită .

### 5.Reacția băii cu căptușala

La elaborarea aliajelor antifricțiune pe bază de Sn se folosesc creuzete metalice din fontă sau oțel inoxidabil refractar. În acest caz are loc o dizolvare a fierului. Pentru a evita acest lucru, suprafața creuzetului se acoperă cu o peliculă de vopsea din pulbere de cretă sau oxid de zinc, talc, etc.

Pentru eliminarea fierului din baie se folosește un dispozitiv de separare magnetică. Principiul de funcționare al acestui dispozitiv se bazează pe proprietățile metalice ale fierului aflat la temperatură mai mică de  $727^{\circ}\text{C}$

Aliajul lichid este turnat printr-o prismă de formă regulată în interiorul căreia se formează un câmp magnetic variabil pe secțiunea transversală a acesteia. Particulele care conțin fier se vor așeza pe liniile de câmp cu intensitate maximă, iar restul aliajului care nu are proprietăți magnetice își păstrează direcția. La ieșire din dispozitiv, vânele de metal sărăcite în Fe sunt separate de cele îmbogățite printr-un sistem de canale.

Câmpul magnetic este obținut cu ajutorul unor linii de electromagneți așezați paralel cu muchia prisme. Forma prisme poate fi pătrată, hexagonală, triunghiulară, etc. Forma optimă poate fi determinată experimental. Determinarea lungimii maxime a dispozitivului se face în funcție de viteza de scurgere a lichidului și timpul de trecere (care este în funcție de pierderile de temperatură din tub).

Tendința câmpului magnetic este de a micșora întrefierul, deci de a trece între polii electromagnetului cât mai mult fier. Intensitatea curentului prin bobinele electromagneților,

dimensiunile componentelor dispozitivului se stabilesc experimental în urma determinărilor din laborator. Modelele mai sunt prevăzute cu sistem de răcire și avertizare de străpungere a izolației.

## 6. Alierea

Aliajele neferoase antifricțiune implică la elaborare operații complexe de aliere

Particularitățile principale ale aliajelor neferoase antifricțiune sunt următoarele :

- un număr mare de elemente de aliere
- conținuturi variabile ale elementelor de aliere de la ordinul sutimilor la cel al zecilor de procente
- afinitate mare față de oxigen
- au tensiuni de vapori ridicate
- au o temperatură de topire superioară față de aliajul elaborat

Obținerea aliajelor cu compoziție precisă la o durată de elaborare scurtă, cu pierderi minime prin oxidare, absorbție minimă de gaze impune utilizarea la elaborarea încărcăturii a unor componente cu o anumită ordine de încărcare în cuptor .Alierea în general se face cu ajutorul prealiajelor sau uneori cu săruri care trebuie să aibă anumite proprietăți, și anume :

- conținut cât mai ridicat de elemente de aliere
- temperatura de topire mai mică decât a metalului de bază
- capacitate mare de dizolvare în materialul de bază
- tendință mică de oxidare și de evaporare
- omogenitate mare a structurii
- suceptibilitate mică de schimbare a compoziției în timpul depozitării
- capacitate mare de sfărâmare

Elementele de aliere pot fi dizolvate în soluții solide sau compuși cu faze eutectoide sau eutectice . Dacă proporția elementelor de aliere este mică se poate introduce și sub formă de săruri.

Ordinea de încărcare și de topire a elementelor de aliere este următoarea :

- în funcție de proporția elementului în încărcătură
- oxidabilitatea componentului
- tensiunea de vapori a componentului
- temperatura de topire a componentului

## 7. Tratarea fizico-mecanică a topiturii

### 7.1 Tratarea topiturilor cu ajutorul ultrasunetelor de mari energii

Prin introducerea în lichide a oscilațiilor ultrasonore de mari energii apare un fenomen fizic complex - cavitația acustică. Oscilațiile ultrasonore de mari energii crează câmpuri acustice care depășesc rezistența la rupere a lichidului. Cavitația constă din formarea unui șir de fisuri sau goluri în lichid sub acțiunea forțelor de întindere exercitate de undele sonore și apoi închiderea acestora în faza de comprimare.

Cercetările teoretice și experimentale au scos în evidență faptul că sub acțiunea ultrasunetelor asupra masei topite se modifică unele proprietăți cum ar fi:

- vâscozitatea - se micșorează odată cu aplicarea ultrasunetelor până la 50 %

- tensiunea superficială la interfața lichid-solid se micșorează

- unghiul de aderență se micșorează

Micșorarea tensiunii superficiale și a unghiului de aderență conduce la activarea procesului de cristalizare prin mărirea numărului de embrioni activi .

- subrăcirea se mărește ducând la mărirea cantității de embrioni de germinare, aliajul având o structură foarte fină.

- timpul de cristalizare se micșorează până la 50%

- procesul de difuzie se accelerează datorită amestecării atomilor prin efectul de cavitație ( ruperea rețelei ) și datorită creșterii temperaturii și presiunii acustice prin amestecarea turbulentă și distrugerea peliculelor dintre faza lichidă și faza solidă.

- solubilitatea crește datorită fenomenului de cavitație

- degazarea aliajului se accentuează

- procesul de cristalizare se mărește datorită vitezei liniare de cristalizare

- contracția la solidificare crește

- duritatea crește

- structura se finisează mărind proprietățile mecanice ale aliajului

Cinetica cristalizării în câmp ultrasonor prezintă trei stadii mai importante :

- formarea centrilor de cristalizare pe impurități



- cristalizarea spontană a substanțelor purificate sub acțiunea câmpului acustic  
- cristalizarea primară și secundară sub acțiunea oscilațiilor ultrasonice. Undele folosite sunt longitudinale, iar pentru producerea lor este nevoie de o instalație care conține următoarele componente :

a) - sursa de energie primară care de obicei este un generator de frecvență electronic, cu tuburi electrice sau cu semiconductoare . Pe plan mondial se utilizează generatoare cu semiconductoare deoarece sunt mai ieftine, au gabarit redus și pot furniza frecvențe diferite la puteri de la 0,1 până la zeci de Kw .

b) - emițătorul ultrasonic sau transductorul transformă energia primară în energie mecanică . După principiul de funcționare ele sunt de două tipuri :

- piezoelectrice
- magnetostrictive

Emițătorul piezoelectric este format din diferite cristale ( cuarț, titanat de plumb, titanat de bariu ) care sub acțiunea energiei electrice se deformează, iar această deformare dă naștere la unde mecanice ( ultrasunete ) . Pentru obținerea frecvenței ridicate grosimea acestora trebuie să fie cât mai mică ( de câțiva microni ), iar pentru frecvențe groase de câțiva centimetri.

Emițătoarele magnetostrictive - principiul de funcționare al acestora are la bază fenomenul de magnetostricțiune, care duce la deformarea materialului . Pentru confecționarea lor se folosesc materiale feromagnetice, cum ar fi : feritele, tole ștanțate din alfier, nichel, etc. pe care vine înfășurarea de excitație pentru a produce câmpul magnetic de înaltă frecvență.

c) - Elementele de fixare și adaptare acustică sunt părțile care realizează legătura între transductori și concentratorul de ultrasunete .

d) - Cuplajele mecano-acustice realizează legătura între concentrator și suprafața de lucru

e) - Concentratorul de ultrasunete ( difuzorul ) este elementul din sistemul acustic care amplifică intensitatea undei sonore . Se realizează din oțel înalt aliat cu niobiu și poate avea diferite forme geometrice . Lungimea lui trebuie să fie multiplu de jumătăți de lungime de undă .

## 7.2 Tratarea topiturilor prin vibrații mecanice în cursul solidificării

Sub acțiunea vibrațiilor în aliajul turnat, aflat în curs de solidificare apar forțe de inerție ce produc fenomene de cavitație. Acestea conduc la agitarea aliajului și la schimbarea condițiilor de germinare a fazei solide. Oscilațiile mecanice determină mărirea vitezei de germinare prin :

- creșterea gradului de subrăcire în fața frontului de solidificare ca urmare a intensificării schimbului de căldură în sistemul aliaj - formă
- aglomerarea germeilor subcritici
- crearea de noi germeni de cristalizare prin fragmentarea fazei solide în curs de constituire
- activarea suprafețelor de cristalizare

Din punct de vedere tehnologic vibrațiile au următoarele efecte :

- micșorarea grăunților cristalini
- omogenizarea macroretasurii
- mărirea compactității aliajului turnat, în special prin micșorarea volumului de microretasuri
- reducerea neomogenității chimice .

Pentru obținerea vibrațiilor se folosesc mașini de vibrare construite pe baza următoarelor sisteme de funcționare :

- cu electromagneți pentru realizarea oscilațiilor mecanice pe o singură direcție și pe trei direcții perpendiculare între ele
- cu excentric și cu camă

Frecvența utilizată este de 100 Hz, amplitutidea variind între 0,3 -0,7 mm.

### **4.1.2 Tehnologia de elaborare pentru aliajul $LgSnR_1$**

#### **a) Compoziția chimică a aliajului turnat :**

Sb 7,5-8,5	Arderi	Sb ~10%
Cu 2,5-3,3		Cu ≈10%
Rest Sn		Sn ~10%

#### **b) Compoziția chimică a băii :**

Sb 8-9,5 %

Cu ~4 %

Sn restul

c) Materialele folosite la elaborare :

Sn 99,9 - STAS 3091/75

Sb 99,9 sau Sb 99,6 STAS 10262/75

Cu ETP conform SR ISO 431: 1995

Șpan cu compoziția chimică a aliajului  $LgSnR_4$

Hidroxid de sodiu pentru rafinare

Făină de var pentru zgurificare

Cărbune de lemn uscat (mangal) cu dimensiuni de 2-5 cm.

Pulbere de sulf

d) Utilajele folosite

Creuzet din fontă aliată cu Cr (În practica industrială se folosesc și creuzete din Cr-Ni)

Malaxor din grafit

Separator de șpan

Cochile pentru turnarea probelor

În scopul obținerii unei bune alieri și omogenizării a elementelor de aliere este absolut obligatorie elaborarea unui prealiaj din șpanul existent.

e) Pregătirea șpanului pentru topire

Deoarece nu am dispus de toate instalațiile de prelucrare a șpanului propus la capitolul 2, tehnologia aplicată a fost numai de sortare și separare.

Sortatorul de șpan este prevăzut cu un separator electromagnetic ce permite eliminarea impurităților feroase și o sită pentru separarea pulberilor fine.

Constructiv, este compus dintr-un buncăr rotativ prevăzut cu magneți permanenți și o sită vibratoare înclinată. Șpanurile impurificate coboară din buncăr peste tambur pe o sită. Tamburul rotativ antrenează impuritățile metalice eliminându-le. Restul materialului ajunge pe sita vibratoare. Ochiurile acesteia nu permit trecerea particulelor fine, restul căzând în buncăr.

Șpanul care a fost obținut de la o strunjire uscată poate să conțină următoarele tipuri de impurități :

- resturi de azbest de la suprafețele de etanșare

- strat oxidant de metal alb de la găurirea piesei brute
- praf de metal alb mai mic decât 1 mm

f) Elaborarea prealiajului din span

Pentru evitarea oxidării pronunțate a șpanului în creuzet se topesc calupuri de Sn (1/2 din încărcătură). După topirea calupurilor de Sn în cuptor, se introduce șpan până la umplerea cuptorului. În scopul reducerii pierderilor prin oxidare, temperatura băii nu va depăși 380-390 °C. Permanent protecția băii se face cu praf de mangal.

Tratarea topiturii - După topire și încălzire la 500°C se va amesteca topitura cu amestecătorul din grafit și se va trata astfel :

- se înlătură mangalul de pe suprafața băii
- se scade temperatura la 450°C pentru rafinare
- se pulverizează 0,05 -0,07 % din baia metalică NaOH în cantități mici și se amestecă ușor fără a agita prea intens baia timp de câteva minute.
- spuma ce se formează se tratează cu făină de var, se îngroașă și se îndepărtează de pe baie .
- dacă mai rămâne un strat albăstrui, se va adăuga în continuare praf de var și se va elimina de pe baie
- dacă pe suprafață apare un strat de leșie, aceasta se elimină prin adăugare de praf de sulf (0,01% din topitură) în cantități mici și se amestecă continuu la 450 °C câteva minute.
- se îndepărtează spuma de la suprafață și se acoperă suprafața băii cu mangal uscat.
- se supraîncălzește baia la 600-650 ° C, menținându-se la această temperatură câteva minute, amestecând șarja cu malaxorul.
- se coboară temperatura la 480-520 °C , se înlătură mangalul de pe suprafață, se așteaptă liniștirea băii, după care se iau probe pentru analiza chimică . Se modifică, dacă este cazul, după care se toarnă în lingouri.

g) Topirea aliajului pentru omogenizare și aliere

- Materialul de pornire este prealiajul tratat anterior
- După cântărirea componentilor, conform rețetei (s-a ținut cont de compoziția chimică a prealiajului), se așează în creuzet lingourile de prealiaj, fără nici un fel de adaosuri.

- Topirea prealiajului până la 400-450°C se face sub strat de mangal
- Când temperatura prealiajului ajunge la 400-450 °C , se intrduc adânc în topitură bucăți de Sb de mărimea unei nuci, amestecându-se pe parcursul încălzirii.
- După creșterea temperaturii (deoarece temperatura băii a scăzut odată cu introducerea Sb), se adaugă Sn pur.
- La temperatura de 500°C se adaugă Cu pur sau SnCu30 în bucăți mici.
- Deoarece la introducerea Cu , temperatura băii scade, aceasta se ridică din nou la 500 °C și se menține la această temperatură .Pentru omogenizarea, baia se agită.
- Se ridică temperatura la 480-520 °C, se iau probe pentru analiza chimică și metalografică.
- Dacă este necesar, se face o corectare și se tornă în lingouri și în cochile pentru probe.

#### **4.1.3 Analize și încercări**

Pentru omologarea aliajului s-au turnat 15 șarje și s-au făcut următoarele analize :

- 1) Compoziția chimică (tabelul 4.1)
- 2) Duritatea HB 250/10/60 (tabelul 4.1)
- 3) Duritatea HB la 20 °, 50 °, 100 °C (Tabelul 4.2)
- 4) Încercările mecanice (Tabelul 4.3)

**Tabelul nr. 4.1 Analize chimice și duritate pentru aliajul  $LgSnR_1$**

Nr. șarjă	Analiza chimică %					STRUCTURA	DURITATEA HB 250/ 10 / 60
	Sn	Sb	Cu	Pb	Fe		
1.	rest	7,8	2,8	0,20	0,02	Fără finețe de granulație	22,7 / 23,7 / 23,7
2.	rest	8,4	3,5	0,35	0,01	Cu finețe de granulație	26,7 / 26,7 / 26,7
3.	rest	8,4	2,8	0,01 7	0,01	Cu finețe de granuație	25,2 / 25,2 / 25,2
4.	rest	8,1	3,0	0,10	0,10	Cu finețe de granulație	22,4 / 21,8 / 21,8
5.	rest	8,5	3,1	0,05	0,03	Fără finețe de granulație	25,2 / 25,2 / 25,2
6.	rest	8,5	3,3	0,03	0,05	Cu finețe de granulație	21,2 / 21,2 / 21,2
7.	rest	7,7	3,3	0,05	0,008	Fără finețe de granulație	22,4 / 22,4 / 22,4
8.	rest	8,0	3,1	0,17	-	Fără finețe de granulație	23,2 / 22,4 / 22,4
9.	rest	8,1	3,0	0,03	0,01	Fără finețe de granulație	22,4 / 22,4 / 21,8
10.	rest	8,3	3,3	0,19	0,04	Cu finețe de granulație	22,4 / 23,1 / 22,4
11.	rest	8,1	3,4	0,11	0,03	Repartizată fin și uniform	20,6 / 20,6 / 19,6
12.	rest	8,2	3,0	0,10	0,02	Repartizată fin și uniform	19,6 / 19,6 / 19,6
13.	rest	8,0	3,5	0,02	0,01	Precipități prea brute de ace $Cu_6Sn_5$	19,1 / 19,1 / 19,1
14.	rest	8,5	3,5	0,01	0,02	Precipități prea brute	19,1 / 19,1 / 19,1
15.	rest	8,4	2,7	0,02	0,01	Fără finețe de granulație	22,4 / 22,4 / 24,2

**Tabelul nr. 4.2 Durițiile aliajului  $LgSnR_1$  la diferite temperaturi**

Temperatura	Duritatea HB
20° C	250 / 10 / 60" = 23,4 HB
	250 / 10 / 180" = 21,5 HB
50° C	250 / 10 / 60" = 17,7 HB
	250 / 10 / 180" = 15,3 HB
100° C	250 / 10 / 60" = 11,4 HB
	250 / 10 / 180" = 9,7 HB

La temperaturi de 50 ° C, variațiile de temperatură au fost de 2 ° C la un minut și de 5° C la 3 minute. Măsurătoarea s-a făcut în acest caz de la 51 ° C la un minut și de la 52° C la 3 minute. La temperaturile de 100 ° C, variațiile de temperatură au fost de 2/5 ° C la un minut și de 8 ° C la 3 minute. Măsurătoarea s-a făcut începând de la 101,5 ° C la un minut și de la 104 ° C la 3 minute.

**Tabelul nr. 4.3 Caracteristicile mecanice ale aliajului  $LgSnR_1$** 

Șarja	$R_m [N/mm^2]_m$	$R_{p0.2} [N/mm^2]$	A [%]
1	82,1	68	3
3	81,9	67,4	4,2
6	83	69	3,1
10	82,7	67,9	3,4
13	83,2	69,1	4,6
Media	82,5	68,2	3,7

## Concluzii

Din analizele efectuate pe aliajul  $LgSnR_1$ , elaborat conform tehnologiei descrise ,( folosind 50% materiale recuperabile ) printr-o compoziție chimică corespunzătoare și o tehnologie de elaborare adecvată , proprietățile mecanice s-au adus aproape de nivelul aliajelor fără Cd și As, elaborate din materii prime, dar sub proprietățile aliajelor cu Cd și As (conform Tabelului 4.4).

Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice și tribologice ale acestor aliaje, s-au continuat cercetările folosind tratamentul de vibrație în timpul solidificării, descris în paragrafele următoare.

**Tabelul nr.4.4 Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale aliajelor  $LgSnR_1$ , HM02, HM07**

Aliajul	Compoziția chimică					Proprietățile mecanice			
	Sn %	Sb %	Cu %	Cd %	Ni %	$R_m [N/mm^2]$	$R_{p0,2} [N/mm^2]$	A %	HB 250/10/60
$LgSnR_1$	89	8	3	-	-	82,5	68,2	3,5	23
HM02	84,5	10,5	5	-	-	85	70	4	25
HM07	88	7,6	3	1	0,2	90	75	7	28



## 4.2 Tratamente fizico-chimice aplicate aliajelor în solidificării

### 4.2.1 Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra solidificării aliajelor

Experimentele științifice au demonstrat că tratamentele fizico-mecanice aplicate aliajelor lichide în timpul solidificării au influență asupra următorilor factori [9] :

- stratul limită
- curgerea aliajului
- zona bifazică
- tensiunea superficială
- gradul de subrăcire

Prin modificarea acestor factori sub acțiunea tratamentelor fizico-mecanice se modifică și condițiile de solidificare ale aliajelor și implicit structura obținută la solidificare.

În analiza structurii stării lichide există mai multe teorii, cum ar fi : teoria modelului cinetic, teoria modelului cristalin, teoria pe baza funcțiilor de corelație, teoria structurilor semnificative a lichidelor, etc. Pe baza acestor teorii se poate considera că structura metalelor lichide ar consta din grupuri de atomi distribuiți neuniform , poziția unui atom fiind schimbătoare față de celălalt. În interiorul lichidului existând și volume neocupate de atomi (goluri), mărimea lor fiind de ordinul mărimii unui atom , acesta depinzând de temperatura aliajului .

Practic prin aplicarea acestor tratamente se acționează asupra acestei structuri modificându-se condițiile de solidificare ale acesteia.

#### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra stratului limită

##### Stratul limită

În timpul curgerii pe suprafața formei se formează straturi în care viteza, temperatura, concentrația impurităților se schimbă față de restul aliajului. Stratul poartă denumirea de strat limită hidrodinamic. Pe grosimea stratului există două tipuri de curgeri : laminară și turbulentă. În strat ia naștere un gradient de temperatură între temperatura aliajului și temperatura peretelui formei. Datorită acestui gradient între particule se manifestă un schimb de căldură conductiv în cazul curgerii laminare și convectiv și de difuzie în cazul curgerii turbulente. Există trei straturi

limită: hidrodinamic, termic, de difuzie. Micșorarea acestor straturi conduce la intensificarea transferului de masă și a schimbului de căldură convectiv, iar mărirea acestora duce la micșorarea proceselor de schimb și transfer. În general grosimea stratului limită termic este mai mare decât grosimea stratului limită hidrodinamic în timp ce stratul limită de difuzie are o grosime foarte mică. Acesta din urmă apare în momentul inițial al curgerii aliajelor când zona bifazică este minimă. Stratul limită se desprinde de pe suprafața formei când presiunea statică a aliajului este mai mare decât presiunea dinamică.

Prin aplicarea tratamentelor fizico-mecanice se desprinde de pe peretele formei imediat, prin aceasta intensificându-se transferul de căldură convectiv dintre aliaj și formă. Aceasta duce la creșterea vitezei de difuziune și micșorarea gradientului de concentrație [27].

#### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra curgerii aliajelor

##### Curgerea laminară și curgerea turbulentă

Curgerea aliajelor prin canale poate fi laminară sau turbulentă. În cazul curgerii laminare, particulele de lichid se deplasează pe traiectorii aproximativ paralele și paralele cu axa canalului.

În curgerea turbulentă, traiectoriile particulelor de lichid sunt în continuă schimbare, având o mișcare transversală de la un perete la altul.

Regimul de curgere al unui aliaj lichid depinde de viteza jetului, vâscozitatea aliajului, forma și dimensiunile transversale ale canalului. Corelația acestor factori este stabilită de criteriul Reynolds:

$Re = v \cdot d / \nu$ , în care  $v$  = viteza medie a aliajului pe secțiunea canalului m/s;

$d$  = diametrul hidraulic al canalului m

$\nu$  = vâscozitatea cinematică a aliajului  $m^2 / s$

Tipul regimului de curgere este stabilit de valorile critice inferioare și superioare ale numărului Reynolds. Pentru valori  $Re < 2500$ , curgerea este laminară, iar pentru valori  $Re > 3000$  curgerea este turbulentă. Între cele două valori avem o zonă de curgere în regim tranzitoriu.

În practică curgerea este turbulentă. Dacă turbulența nu depășește o anumită limită efectul ei nu este dăunător.

Prin aplicarea tratamentelor fizico-mecanice se formează turbioane, care conduc la distrugerea particulelor dintre fazele lichidă și solidă, realizându-se o rafinare constantă a topiturii și o creștere a schimbului de căldură dintre faza lichidă și cea solidă [9].

### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra cavitației

Fenomenul de cavitație apare în volume de slabă rezistență a aliajului , care se datorează impurităților din material. În locurile unde se produce cavitația apar bule de gaze. Sub acțiunea vibrațiilor acestea se măresc și sunt eliminate prin flotație la suprafață [40].

### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra tensiunilor superficiale și a unghiului de umectare

Tensiunea superficială reprezintă energia necesară pentru aducerea unui atom sau a unei molecule la suprafața unui lichid. Tensiunea superficială este influențată de : temperatură, elemente superficiale active (Te,S,O<sub>2</sub> micșorează) , vâscozitate și anumite forțe exterioare care acționează asupra aliajelor.

Ea joacă un rol important la solidificarea aliajelor fiind în strânsă legătură cu umectarea sau neumectarea canalelor capilare ale dendridelor[40].

Tratamentele fizico-mecanice micșorează tensiunea superficială a aliajului, iar prin aceasta se umectează mai bine canalele capilare.

Totodată se micșorează tensiunea superficială dintre lichid și gaz și flotația bulelor de gaz[40].

Se micșorează deasemenea și tensiunea superficială și unghiul de umectare dintre germenii eterogeni și lichid. Prin aceasta raza critică se micșorează, mărindu-se numărul centrelor de germinare [40] .

### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra gradului de subrăcire

Prin aplicarea tratamentelor fizico-mecanice ,gradul de subrăcire crește, micșorându-se lucrul mecanic de formare a germenilor , deoarece se micșorează și raza lor critică[9].

### Influența tratamentelor fizico-mecanice asupra zonei bifazice

Aliajele pot solidifica fără fază bifazică eutecticele și cu zonă bifazică soluțiile solide.

### **Solidificarea succesivă cu zonă bifazică**

În cazul acestei solidificări apar trei suprafețe de contact:

- suprafața de contact aliaj-formă (dintre crusta solidificată și formă)
- suprafața de contact dintre crustă și zona bifazică
- suprafața de contact dintre zona bifazică și aliajul lichid

Zona bifazică este constituită din cristalite solide și faza lichidă.

Grosimea zonei bifazice se mărește în timp pe măsură ce frontul de solidificare se apropie de axa termică a piesei.

În cazul solidificării succesive cu zonă bifazică, prezintă interes practic următorii parametri :

- structura zonei bifazice;
- grosimea zonei bifazice;
- rugozitatea frontului izolichid;
- valoarea coeficienților de solidificare.

Zona bifazică poate fi împărțită în trei subzone și anume:

a) subzona transferului de masă macroscopic- este vecină suprafeței izolichidului și se caracterizează prin aceea că cristalele se găsesc în suspensie, îndepărtându-se odată cu lichidul. În această subzonă procesul de alimentare are loc în condiții bune.

b) subzona transferului local de fază lichidă- este situată între limita de scurgere și limita de alimentare așezării piesei. Se caracterizează prin aceea că cristalele solide formează un schelet continuu, iar faza lichidă poate să curgă printre ele. În timpul procesului de scurgere a aliajului lichid printre acestea, rămâne aliaj lichid din cauza forțelor capilare.

c) subzona transferului microscopic de fază lichidă este situată între limita de alimentare și frontul de solidificare propriu-zis. Caracteristic acestei subzone este faptul că porțiuni de fază lichidă sunt separate între ramurile cristalitelor în curs de creștere. Posibilitățile de transfer de fază solidă pot să aibă loc numai în interiorul acestei microstructuri.

Din subzona a doua în subzona a treia nu poate avea loc transfer de fază lichidă.

Caracteristicile zonei bifazice sunt :

- grosimea stratului solidificat;

- rugozitatea crustei solidificate care depinde de morfologia stratului solidificat ;

Zona bifazică prezintă importanță practică deoarece aici se formează microretasuri, segregatii, sufluri, fiind sursa principală a defectelor în piesa turnată.

Cu cât această zonă este mai mare cu atât calitatea piesei turnate este mai scăzută.

Factorii care influențează mărimea zonei bifazice pot fi împărțiți în patru : natura aliajului, natura formei, condițiile de turnare, geometria piesei turnate.

a) Influența naturii aliajului asupra zonei bifazice

Grosimea zonei bifazice este influențată de :

- intervalul de solidificare ; un interval redus duce la o grosime a zonei bifazice mai mici .
- conductivitatea termică a aliajului ; cu cât ea este mai mică cu atât și grosimea este mai mică.
- căldura specifică a aliajului ; dacă este mică și grosimea zonei bifazice este mică.
- temperatura de turnare a aliajului :la o temperatură mică și grosimea zonei bifazice este mică.

b) Influența naturii formei asupra zonei bifazice :

Valoarea grosimii zonei bifazice este cu atât mai mică cu cât :

- conductivitatea termică a formei este mai mare;
- gradientul termic pe secțiunea peretelui este mai mare ;
- temperatura inițială a peretelui formei este mai mică;
- cu cât cantitatea de aliaj care s-a scurs până la sfârșitul procesului de solidificare în zona luată în considerare este mai mică.

c) Influența condițiilor de turnare asupra zonei bifazice:

Cu cât temperatura de turnare este mai mare cu atât gradientul de temperatură pe secțiunea peretelui piesei va fi mai mic, iar lățimea zonei bifazice va fi mai mare.

d) Influența geometriei piesei turnate :

Cu cât grosimea peretelui va fi mai mare cu atât viteza de răcire va fi mai mică, iar grosimea zonei mai mare.

Dintre factorii enumerați mai sus pot fi utilizați în mod practic pentru reglarea zonei bifazice : temperatura, temperatura formei și grosimea peretelui piesei.

Pe lângă acești factori clasici, zona bifazică este influențată și de tratamentele fizico-mecanice . Acestea reduc lungimea canalelor capilare, prin ruperea lor îmbunătățindu-se astfel

umplerea lor cu aliaj lichid. Totodată, prin ruperea ramurilor dendridelor se vor forma un număr mai mare de cristale echiaxiale[40].

### Concluzie

Prin aplicarea tratamentelor termofizice aliajelor în curs de solidificare, se va duce la obținerea unei structuri cu grăunți fini, cu o compoziție chimică omogenă și foarte compactă. Această structură va oferi proprietăți fizice, mecanice și tribologice superioare.

## **4.2.2 Tipuri de tratamente fizico-mecanice aplicate aliajelor lichide**

### **4.2.2.1 Tratamentul aliajelor prin aplicarea procedurii de agitare electromagnetice**

Agitatoarele electromagnetice funcționează pe principiul mașinilor electromagnetice de inducție care se realizează în variante plane și cilindrice, ambele fiind agitatoare de inducție sub forma unor inductoare liniare sau plane cu câmp magnetic progresiv, liniar și învârtitor. Toate aceste mașini funcționează prin interacțiunea dintre unda progresivă sau învârtitoare a câmpului magnetic creat de inductor și unda curentului electric indus de câmpul inductor care este metalul topit. Inductorul este construit dintr-un circuit magnetic format din unul sau mai multe miezuri magnetice pe care se află dispusă o înfășurare, de regulă, trifazată.

Circuitul magnetic al mașinii include una sau mai multe zone în care câmpul magnetic principal se închide prin aer. În aceste zone, denumite întrefieruri se dispune indusul. Dacă circuitul hidraulic al indusului lichid este închis, deplasarea metalului topit având loc sub presiune într-un canal închis, mașinile se numesc pompe de inducție, la care forțele electromagnetice asigură presiunea de pompare. În cazul în care câmpul inductor acționează asupra unei băi de metal topit, circulația acestuia este liberă, în sensul că forțele electromagnetice echilibrează doar forțele de vâscozitate în lichid. Aceste tipuri de mașini se numesc agitatoare electromagnetice de inducție.

Inductorul cu câmp magnetic progresiv asigură o antrenare pe verticală destul de puternică a topiturilor metalice în zona pereților datorită câmpului magnetic învârtitor creat în indus.

Agitatoarele cilindrice de inducție care crează un spațiu cilindric din interior, un câmp magnetic învârtitor, se bazează pe principiul mașinilor rotative asincrone de curent alternativ potrivit cărora rotorul are turația diferită de cea a câmpului învârtitor creat de stator și este dependentă de sarcină. Inductorul care este asemănător cu statorul mașinii rotativ asincrone crează în spațiul cilindric din interior un câmp magnetic învârtitor, deci o mișcare de rotație a metalului. Acest câmp induce în aliajul lichid, care este un mediu conductor, situat în spațiul cilindric din interiorul inductorului, curenți cu orientare după axa  $OZ$  a cărei interacțiune cu câmpul inductor determină forțe electromagnetice orientate tangențial după coordonata  $\theta$ .

Sub acțiunea forțelor create de aceste mașini se schimbă geometria suprafeței libere a aliajului lichid, presiunea, viteza, și traiectoria ridicării la suprafață a incluziunilor nemetalice. Agitarea electromagnetică a topiturilor metalice determină efecte dinamice datorită cărora se intensifică schimbul de căldură convectiv și transferul macroscopic de masă. Caracteristica esențială a procedurii constă în realizarea unor turbulențe în aliajul lichid într-o perioadă tehnologic determinată cu efecte termodinamice și mecanice asupra formării fazei solide.

#### **4.2.2.2 Tratamentul aliajelor prin aplicarea procedurii de agitare în atmosferă de gaze**

##### **Principiul procedurii**

Procedura de agitare al aliajelor în stare lichidă prin intermediul gazelor constă în aspirația prin vidare periodică a aliajului într-un recipient cilindric refractar urmată de refularea lui în formă, oala de turnare sau creuzet. Este cunoscut faptul că la ieșirea unui jet de aliaj cu o oarecare densitate dintr-un tub și pătrunderea lui într-un volum de aliaj lichid liniștit se formează în secțiunea transversală a jetului un vârtej, care generează o serie de vârtejuri inelare.

Studierea deplasării turbioanelor inelare efectuate pe baza modificărilor hidrodinamice demonstrează că acestea se scufundă în coloana de aliaj lichid în condițiile micșorării vitezei lor. Pe măsură ce jetul pătrunde din ce în ce mai mult în coloana de aliaj, raza acestor turbioane se mărește, iar faza lichidă din vecinătatea lor este absorbită de către acestea. Se pot determina distanțele dintre centrele vârtejurilor inelare, vitezele de agitare, interdependența dintre diametrul tubului, amplitudinea și frecvența oscilațiilor nivelului aliajului lichid în acest tub. Intensitatea agitării coloanei de aliaj lichid și forța de acțiune a vârtejurilor inelare asupra volumelor de aliaj

începând depinde de structura acestor inele, de viteza de rotație și de stabilitatea lor. Parametrul de bază care caracterizează vârtejul este densitatea de circulație a acestuia. (G)

$$G = \omega r^2$$

Unde  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație, iar  $r$  este raza turbionului.

La valori mari ale vitezelor unghiulare, în centrul vârtejului se formează o zonă care nu mai conține aliaj lichid. Bulele gazoase care se formează prin implozie conduc la apariția undelor de șoc dirijate către frontul de solidificare.

Analiza proceselor hidrodinamice care au loc la prelucrarea coloanei de aliaj lichid cu ajutorul turbioanelor scoate în evidență următoarele :

- în timpul tratamentului în aliajul lichid se dezvoltă vârtejuri de dimensiuni mari care se dispersează succesiv de la secțiunea de ieșire din tubul refractar până la fundul coloanei de aliaj lichid;

- turbioanele cuprind porțiuni întregi de metal lichid din volumele învecinate determinând o agitare intensă a topiturii, apariția unor unde de șoc datorită imploziilor bulelor gazoase din cavitatea vârtejurilor, la marginea frontului de solidificare, care conduc la fragmentarea ramurilor dendridelor, distrugând practic întreaga zonă bifazică.

- micșorarea grosimii straturilor limită termice, hidrodinamice și de difuzie și mărirea transferului de masă și căldură spre frontul de solidificare

- dispariția gradientului de temperatură în coloana de aliaj lichid încă nesolidificată creând condiții pentru solidificarea în volum a aliajelor.

#### **4.2.2.3 Tratarea topiturilor cu ajutorul ultrasunetelor de mari energii**

Prin introducerea în lichide a oscilațiilor ultrasonore de mari energii apare un fenomen fizic complex - cavitația acustică. Oscilațiile ultrasonore de mari energii crează câmpuri acustice care depășesc rezistența la rupere a lichidului. Cavitația constă din formarea unui șir de fisuri sau goluri în lichid sub acțiunea forțelor de întindere exercitate de undele sonore și apoi închiderea acestora în faza de comprimare.

Cercetările teoretice și experimentale au scos în evidență faptul că sub acțiunea ultrasunetelor asupra masei topite se modifică unele proprietăți cum ar fi :

- vâscozitatea - se micșorează odată cu aplicarea ultrasunetelor până la 50 %



- tensiunea superficială la interfața lichid-solid se micșorează
- unghiul de aderență se micșorează [13]

Micșorarea tensiunii superficiale și a unghiului de aderență conduce la activarea procesului de cristalizare prin mărirea numărului de embrioni activi .

- subrăcirea se mărește ducând la mărirea cantității de embrioni de germinare, aliajul având o structură foarte fină.
- timpul de cristalizare se micșorează până la 50% [27]
- procesul de difuzie se accelerează datorită amestecării atomilor prin efectul de cavitație ( ruperea rețelei ) și datorită creșterii temperaturii și presiunii acustice prin amestecarea turbulentă și distrugerea peliculelor dintre faza lichidă și faza solidă.
- solubilitatea crește datorită fenomenului de cavitație
- degazarea aliajului se accentuează
- procesul de cristalizare se mărește datorită vitezei liniare de cristalizare
- contracția la solidificare crește
- duritatea crește
- structura se finisează mărind proprietățile mecanice ale aliajului

Cinetica cristalizării în câmp ultrasonor prezintă trei stadii mai importante :

- formarea centrilor de cristalizare pe impurități
- cristalizarea spontană a substanțelor purificate sub acțiunea câmpului acustic
- cristalizarea primară și secundară sub acțiunea oscilațiilor ultrasonice Undele folosite sunt longitudinale, iar pentru producerea lor este nevoie de o instalație care conține următoarele componente :

a) - sursa de energie primară care de obicei este un generator de frecvență electronic, cu tuburi electrice sau cu semiconductoare . Pe plan mondial se utilizează generatoare cu semiconductoare deoarece sunt mai ieftine, au gabarit redus și pot furniza frecvențe diferite la puteri de la 0,1 până la zeci de Kw .

b) - emițătorul ultrasonic sau transductorul transformă energia primară în energie mecanică .

După principiul de funcționare ele sunt de două tipuri :

- piezoelectrice
- magnetostrictive

Emitătorul piezoelectric este format din diferite cristale ( cuarț, titanat de plumb, titanat de bariu ) care sub acțiunea energiei electrice se deformează, iar această deformare dă naștere la unde mecanice ( ultrasunete ) .Pentru obținerea frecvenței ridicate grosimea acestora trebuie să fie cât mai mică ( de câțiva microni ), iar pentru frecvențe groase de câțiva centimetri.

Emitătoarele magnetostrictive - principiul de funcționare al acestora are la bază fenomenul de magnetostricțiune, care duce la deformarea materialului .Pentru confecționarea lor se folosesc materiale feromagnetice, cum ar fi : feritele, tole ștanțate din alfter, nichel, etc. pe care vine înfășurarea de excitație pentru a produce câmpul magnetic de înaltă frecvență.

c) - Elementele de fixare și adaptare acustică sunt părțile care realizează legătura între transductori și concentratorul de ultrasunete .

d) - Cuplajele mecano-acustice realizează legătura între concentrator și suprafața de lucru

e) - Concentratorul de ultrasunete ( difuzorul ) este elementul din sistemul acustic care amplifică intensitatea undei sonore .Se realizează din oțel înalt aliat cu niobiu și poate avea diferite forme geometrice .Lungimea lui trebuie să fie multiplu de jumătăți de lungime de undă. .

#### **4.2.2.4 Tratarea aliajelor prin utilizarea vibrațiilor**

A. Mașini vibratoare. Domenii de utilizare. Tipuri.

Problemele practice ale teoriei vibrațiilor pe trei direcții principale :

- prevenirea, amortizarea și eliminarea vibrațiilor
- generarea vibrațiilor și utilizarea lor în diferite domenii
- aparate și sisteme pentru urmărirea, verificarea și controlul vibrațiilor

Cele mai importante domenii în care se aplică vibrațiile sunt :

- compactarea betonului
- compactarea terasamentului de drumuri
- forarea puțurilor geologice
- transportarea unor materiale
- separarea materialelor granulare
- compactarea amestecurilor de formare și de miez
- rezbaterea ramelor de formare
- curățirea pieselor turnate, matrițate, etc.

- rectificarea și finisarea suprafețelor
- compactarea pulberilor metalice
- solidificarea materialelor metalice

Având în vedere diversitatea domeniilor de utilizare în industrie a apărut o varietate de tipuri constructive, care se pot clasifica după anumite criterii de bază astfel :

1) După scop: - a) mașini de uz general - mașini de compactare, separatoare, transportoare, etc.

- b) mașini de uz special - alimentatoare pentru mașini-unelte automate, mașini folosite la solidificarea aliajelor, etc.

2) După tipul antrenării : mașini cu antrenare mecanică, electrică, hidraulică, pneumatică

3) După tipul transformării energiei de alimentare în energie mecanică mașini cu generatori centrifugali, cu bielă balansier, electromagnetice, electrodinamice, piezoelectrice, cu autoinducție, etc.

4) După numărul corpurilor vibratoare : cu una, două sau mai multe mase de mișcare

5) După forma vibrației organului de lucru: mașini cu vibrație rectilinie, circulară, eliptică, elicoidală, combinate, etc.

6) După periodicitatea vibrațiilor: mașini cu vibrații periodice simple, aproape periodice, aleatoare.

7) După aspectul vibrațiilor : vibrații sinusoidale, biarmonice, poliarmonice

8) După prezența șocurilor : fără șoc, cu șocuri și vibrații

9) După relația dintre frecvența excitației și frecvența proprie: mașini prerezonante, postrezonante, rezonante

10) După banda de frecvență : cu frecvență joasă, medie și înaltă

11) După metoda de control : mașini fără control, cu reglare manuală, control automat, etc.

În ultima perioadă industria cere mașini vibratoare cu caracteristici superioare, cum ar fi puteri mari, turații mari, amplitudini mari. Acest fapt a determinat producerea de astfel de mașini precum și dezvoltarea cercetării pe următoarele direcții :

- a) modelul de generare a vibrațiilor mecanice
- b) interacțiunea între organul de lucru și mediul de lucru

- c) analiza energetică
- d) automatizarea operațiilor

### Generarea vibrațiilor mecanice

Prin vibrații mecanice se înțeleg acele fenomene de mișcări oscilatorii care apar în sistemele mecanice cu elemente elastice și în care oscilațiile se pot produce tocmai ca urmare a deformării acestor elemente.

Forțele elastice sunt forțe de reacțiune ale corpurilor elastice deformate sub acțiunea forțelor exterioare. O forță elastică are modulul dependent de mărimea deformației corpului și sensul contrar deformației. În general, corpurile elastice se folosesc ca elemente de legătură, iar masa lor se neglijează în raport cu masa corpurilor care se studiază.

Cauzele vibrațiilor sunt forțele și corpurile variabile precum și șocurile, acestea ? mai poarte denumirea de excitatori.

Vibrațiile produse de către acești excitatori pot să fie :

- 1) vibrații cu număr finit de grade de libertate
- 2) vibrații cu un număr infinit de grade de libertate
- 3) vibrații neamortizate
- 4) vibrații amortizate
- 5) vibrații liniare (când ecuațiile diferențiale care descriu vibrațiile sunt liniare)
- 6) vibrații neliniare
- 7) vibrații libere
- 8) vibrații forțate (produse de factori perturbatori)
- 9) vibrații parametrice
- 10) vibrațiile autoexcitante
- 11) vibrații aleatoare
- 12) vibrații deterministe - provocate de factori perturbatori a căror desfășurare în timp

poate fi descrisă prin relații matematice. Acestea se clasifică după tipul de funcție care descrie variația lor în timp. Ele pot fi continue sau discontinue (șocuri), periodice sau neperiodice.

Factorii perturbatori din componentele mașinilor de vibrație folosite în general în practică produc vibrații periodice armonice.

## B. Tipuri de generatoare de vibrații periodice armonice

1. Generatoare mecanice care la rândul lor pot fi :

- a) cu antrenare directă - mișcarea vibratoare a organului de lucru a mașinii se obține prin cuplarea sa rigidă sau elastică la un mecanism cu o mișcare periodică cu caracteristici prescrise. Amplitudinea și vibrația organului de lucru depind de cinematica mecanismului de antrenare.

O astfel de mașină poate avea mecanismul de antrenare bielă-balansier și poate avea cuplaj rigid, cuplaj elastic, cuplaj cu arcuri elicoidale sau cu arcuri de cauciuc sau cuplaj amortizor.

Alte tipuri de mașini cu antrenare directă sunt :

- mașini vibratoare cu excentric și bielă
- mașini vibratoare cu jug și excentric
- mașini vibratoare cu camă și mecanism condus

Trăsăturile esențiale ale acestor vibratori constau în faptul că funcționează la frecvențe joase (60 Hz) și amplitudini mari.

b) cu mase neechilibrate - sunt prevăzute cu unul sau mai mulți arbori de rotație pe care se află o masă sau mai multe al cărei centru este diferit de centrul de rotație al arborelui.

Produsul dintre masa și distanța de la centru ei de masă la axa de rotație se numește dezechilibru masic. Forța ce rezultă din rotirea masei neechilibrate se numește forță de dezechilibru sau forță centrifugă.

Generatorii de vibrații centrifugali dezvoltă forțe de inerție cu variație periodică ca urmare a rotirii masei neechilibrate.

Valoarea absolută, orientarea în spațiu și caracterul variației în timp a forțelor și momentelor dezvoltate depind de mișcarea organului de lucru și de motorul care acționează sistemul.

Generatorii centrifugali pot fi :

- cu o singură masă neechilibrată
- cu doi volanți ce se rotesc în fază în același sens
- cu trei volanți - cele trei centre trebuie să fie pe aceeași linie dreaptă, iar momentele statice ale maselor neechilibrate lateral să fie egale între ele (condiție constructivă)
- cu două mase neechilibrate identice care se rotesc în jurul unui ax în sensuri opuse.

- cu doi volanți care se rotesc în sensuri contrare
- cu doi volanți cu mase neechilibrate, care se rotesc în același sens, având între ele un defazaj de un unghi  $\alpha$ .
- cu doi volanți cu mase neechilibrate care se rotesc în sensuri contrare având între ele un unghi  $\alpha$ .
- cu două mase neechilibrate defazate cu unghiul  $\pi$  dispuse la o distanță de pe un ax
- cu două axe cu două mese dezechilibrate pe fiecare ax și defazate cu unghiul  $\pi$ , axele rotindu-se în sens contrar una față de cealaltă.

Aceste tipuri de vibratoare (în special ultimul) pot să realizeze amplitudini mari (~1 mm) la frecvențe mari (~300 Hz), uneori chiar peste aceste frecvențe.

## 2. Vibratoare electrice

Acestea se clasifică în:

- vibratoare electromagnetice
- vibratoare electrodinamice

## 3. Vibratoare electromagnetice (VEM)

Cu aceste tipuri de generatoare se pot obține mișcări vibratoare de-a lungul unor arce de cerc. Au o construcție simplă, nu necesită organe care se uzează și mecanisme complicate.

Se utilizează exclusiv în regim de rezonanță. Ele sunt sisteme electromecanice de conversie a energiei electromagnetice, cu două grade de libertate: unul electric (curentul electric care parcurge circuitul bobinei) și unul mecanic (deplasarea armăturii mobile). La baza vibratoarelor electromagnetice stă electromagnetul de curent continuu ale cărui bobine sunt alimentate de la tensiuni variabile în timp.

În ceea ce privește caracteristicile acestor vibratoare putem menționa în primul rând faptul că pot funcționa la frecvențe mari, dar amplitudinile sunt mici.

#### 4. Vibratoarele electrodinamice

Denumirea acestora derivă din modul de a genera forța. Mișcarea este determinată de o forță electromagnetică produsă prin interacțiunea dintre un flux magnetic continuu și o bobină străbătută de un curent electric alternativ.

La fel ca și vibratoarele electromagnetice funcționează la frecvențe mari și amplitudini mici.

#### 5. Vibratoarele piezoelectrice

Un material piezoelectric este acela care generează o sarcină electrică atunci când este supus unei solicitări mecanice sau invers, un cristal piezoelectric își modifică dimensiunile când i se aplică o tensiune electrică.

Vibratoarele piezoelectrice folosesc un grup de elemente piezoelectrice ca sursă de vibrații mecanice.

Caracteristici : funcționează la frecvențe înalte 1000-20.000 Hz , iar deplasările sunt foarte mici.

6. Vibratoare hidraulice - transformă energia unui curent de fluid la presiune înaltă de la o pompă într-o mișcare alternativă a masei unei mașini vibratoare . Se găsesc în diferite tipuri constructive.

Caracteristici : - pot produce forțe mari și amplitudini mari

- au o greutate mică în comparație cu forțele pe care le produc
- pot funcționa în medii cu temperaturi înalte sau joase

7. Vibratoarele pneumatice - permit transformarea energiei unui gaz (aer) aflat în mișcare într-o mișcare alternativă a unei mase permițând realizarea unui sistem oscilant pneumatic . Pot realiza deplasări mari, precum și forțe mari, dar la frecvențe limitate.

#### **Concluzii**

Dintre tipurile de tratamente care se pot aplica aliajelor în timpul solidificării (în vederea îmbunătățirii), am ales pentru cercetare vibrațiile . Alegerea acestui procedeu am făcut-o din următoarele motive :

- se pretează la turnarea statică a cuzinețelor
- a fost aplicată în țară la diferite tipuri de aliaje [9], [66]

- prețul de cost al instalației este mai mic decât al celor cu ultrasunete de mari energii (metodă care se poate aplica la turnarea cuzinetelor).

În acest sens am proiectat și executat o instalație de vibrat cu mase neechilibrate -Plansa 4.1- 4.5 – și am executat un montaj pentru un vibrator electrodinamic- Plansa 4.6 și 4.7.



### 4.3 Tratarea aliajelor antifricțiune SnSb în timpul solidificării cu ajutorul vibrațiilor produse de vibratorul mecanic cu mase neechilibrate

#### 4.3.1 Metoda de cercetare

Pentru cercetările efectuate în vederea analizării influenței vibrațiilor de joasă frecvență asupra solidificării aliajelor antifricțiune Sn-Sb, s-au utilizat instalații, SDV-uri, aparate, materiale.

##### a) Instalații utilizate

Pentru producerea vibrațiilor s-au ales două tipuri de vibratoare:

- vibratorul electrodinamic;
- vibratorul mecanic cu mase neechilibrate (de concepție originală)

##### b) SDV-uri utilizate :

- placă de fontă Fc x 250 cu următoarele dimensiuni : 500 x 275 x 50 [mm]
- placă de fontă Fc x 250 - 500 x 275 x 20 [mm]
- placă din oțel OL52 - 500 x 275 x 15 [mm]
- cochile pentru turnarea probelor din OLT cu următoarele dimensiuni :

C<sub>1</sub> φ 40 x φ 30 x 260

C<sub>2</sub> φ 35 x φ 30 x 260

C<sub>3</sub> φ 20 x φ 10 x 260

C<sub>4</sub> φ 15 x φ 10 x 260

##### c) aparate utilizate :

- convertizor de frecvență VLT 5008 Danfoss (Danemarca)
- vibrometru tip 2511
- generator de joasă frecvență E0501
- amplificator de putere LV 103
- generator electrodinamic 11075
- traductor seismic KD 35
- accelerometru B12/ 1000 HOTTINGER BALOWIN MESS TECHNIK cu următoarele caracteristici :

- frecvența proprie : 1000Hz

- frecvența proprie : 1000Hz
- domeniul frecvenței de lucru : 0-500 Hz
- domeniul de măsură  $\pm 200$  g
- greutatea : 18 g.
- amplificator de măsură KWS 3072 - HBM
- osciloscop

#### d) Materialele analizate

- $LgSnR_2$
- $LgSnR_3$

#### e) Parametrii urmăriți

- Performanțele și regimul de lucru al vibratorului mecanic cu mase neechilibrate (concepție proprie)
- caracteristicile fizico-mecanice
- caracteristicile tribologice
- comparația între structura și proprietățile aliajului fără As și Cd obținute prin vibrație și aliajele care conțin As și Cd obținute prin solidificare fără vibrații.

#### Generatoare de vibrații utilizate în cercetarea experimentală

Pentru cercetările experimentale, am utilizat tratamentul cu vibrații de joasă frecvență, utilizând două tipuri de vibratoare, și anume :

- un vibrator mecanic cu mase neechilibrate (concepție originală) , corespunzand unui sistem cu un grad de libertate și amortizare vîscoasă excitat prin rotirea unei mase excentrice;
- un vibrator electrodinamic, corespunzand unui sistem cu un grad de libertate de amortizare vîscoasă excitat printr-o forță aplicată masei.

### 4.3.2 Vibratorul mecanic cu mase neechilibrate

#### Teoria vibrației

Ansamblul vibratorului este un sistem cu un singur grad de libertate și amortizare vâscoasă, vibrația fiind cauzată de o masă excentrică rotitoare  $m_u$  (conform fig.4.1) [24]

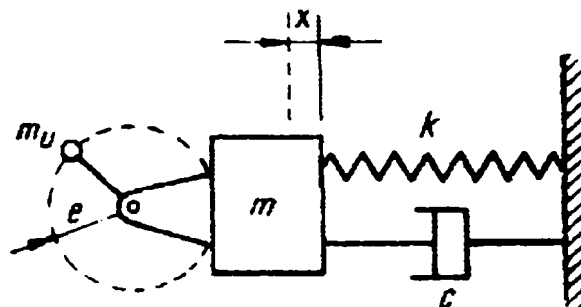


Fig. 4.1 – Sistem cu un singur grad de libertate și amortizare vâscoasă, excitat prin rotirea unei mase excentrice.

Componentele deplasării masei  $m_u$  în raport cu masa  $m$  pe direcția axei  $x$  este :

$$x_2 - x_1 = e \sin \omega t \quad (4.1)$$

unde :  $x_2$  = deplasarea absolută a masei  $m_u$

$x_1$  = deplasarea absolută a masei  $m$

$e$  = lungimea brațului de menținere a masei  $m_u$

$\omega$  = viteza unghiulară a masei  $m_u$

Ecuția diferențiată ce descrie mișcarea sistemului este :

$$m\ddot{x}_1 + m_u\ddot{x}_2 + c\dot{x}_1 + kx_1 = 0 \quad (4.2)$$

unde :  $k$  (este rigiditatea sistemului) =  $\frac{F}{x}$

$c$  = amortizarea sistemului, care poate fi a) vâscoasă (realizată cu ajutorul cauciucurilor, prin trecerea unui fluid printr-un orificiu sau a aerului comprimat); și b) columbiană (realizată prin frecarea unor suprafețe)

Derivand de două ori relația (4.1) în raport cu timpul și explicitand  $\ddot{x}_2$  obținem :

$$\ddot{x}_2 = -e\omega^2 \sin \omega t + \ddot{x}_1 \quad (4.3)$$

înlocuind  $\ddot{x}_2$  în relația (4.2) rezultă :

$$(m + m_u)\ddot{x}_1 + c\dot{x}_1 + kx_1 + m_u e\omega^2 \sin \omega t \quad (4.4)$$

Această ecuație este ecuația diferențiată a sistemului cu un grad de libertate cu amortizare vâscoasă cu o forță de excitație  $F = F_0 \sin \omega t$  (4.5)

$$F_0 = m_u e\omega^2 \quad (4.6)$$

Rezolvând ecuația (4.4), va rezulta răspunsul sistemului pentru deplasarea  $x$ , viteza  $\dot{x}_1$  și accelerația  $\ddot{x}_1$  astfel :

$$\frac{x_1 k}{m_u e\omega^2} = R_d \sin(\omega t - \theta) \quad (4.7)$$

$$\frac{\dot{x}_1 \sqrt{k(m + m_u)}}{m_u e\omega^2} = -R_v \cos(\omega t - \theta) \quad (4.8)$$

$$\frac{\ddot{x}(m + m_u)}{m_u e\omega^2} = -R_a \sin \omega t \quad (4.9)$$

unde :  $R_d$  = factor de amplificare definit ca raportul dintre deplasarea în mișcarea vibratorie și deformația arcului sub efectul forței aplicate static.

$R_v$  = factor de amplificare a vitezei

$$R_v = \frac{\omega}{\omega_n} R_d \quad (4.10)$$

$R_a$  = factor de amplificare a accelerației

$$R_a = \frac{\omega}{\omega_n} R_d \quad (4.11)$$

$\omega_n$  este pulsația proprie a sistemului în vibrație liberă fără amortizare.

Frecvența de rezonanță - este acea frecvență la care răspunsul sistemului este maxim.

Un sistem cu un singur grad de libertate are în general trei frecvențe de rezonanță apropiate .

Relațiile dintre pulsația proprie  $\omega_n$  a vibrațiilor libere fără amortizare, pulsația proprie a sistemului cu amortizare și cele trei tipuri de pulsații proprii de rezonanță sunt :

Pulsația de rezonanță a deplasării :

$$\omega_n (1 - 2\zeta^2)^{1/2} \quad (4.12)$$

Pulsația de rezonanță a vitezei  $\omega_n$  (4.13)

Pulsația de rezonanță a accelerației

$$\omega_n (1 - 2\zeta^2)^{1/2} \quad (4.14)$$

Pulsația proprie a sistemului cu amortizare

$$\omega_n (1 - \zeta^2)^{1/2} \quad (4.15)$$

unde  $\zeta$  reprezintă fracțiunea din amortizarea critică și este egală cu raportul  $\frac{C}{C_c}$  în care  $C$

reprezintă coeficientul de amortizare existent, iar  $C_c$  coeficientul de amortizare critic =  $2 m \omega_n$

Dacă :  $\zeta$  este < 1, atunci amortizarea este subcritică. În acest caz după încetarea aplicării forței, sistemul mai oscilează până la amortizare.

$\zeta = 1$  , amortizarea este critică, în acest caz nu se mai produc vibrații

$\zeta > 1$ , amortizarea este supracritică. În acest caz mișcarea nu mai este oscilatorie (dacă sistemul este deranjat din poziția de echilibru el tinde să revină încet în poziția inițială).

Pentru valorile amortizării uzuale în sisteme fizice, care de regulă sunt subcritice, diferențele între cele trei frecvențe de rezonanțe sunt neglijabile.

Din relațiile (4.7), (4.8), (4.9) deplasarea  $x_1$  , viteza  $\dot{x}_1$  și accelerația  $\ddot{x}_1$  punctului care oscilează se determină foarte greu datorită factorilor  $R_d, R_v, R_a$  ( $R_d$  se determină foarte greu experimental, el depinzând de componentele sistemului).

Datorită acestui fapt accelerația punctului s-a determinat experimental cu ajutorul accelerometrului B12/1000 HOTTINGER (cap.4.3.) În funcție de accelerație ( $\ddot{x}_1$ ) se poate determina viteza  $\dot{x}_1$  și deplasarea maximă  $x_1$  cu următoarele relații:

$$x_1 = \frac{\ddot{x}_1}{\omega^2} ; \dot{x}_1 = \omega x_1 \quad \text{unde } \omega = 2\pi \cdot f$$

Notă : Cu ajutorul accelerometrului s-a determinat mărimea [g] care, înmulțită cu accelerația gravitațională  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ne dă accelerația punctului care oscilează.

#### Prezentarea instalației

Instalația (Planșa 4.1) este compusă din :

-Poz. 1 – motor asincron de curent alternativ cu următoarele caracteristici :

$$P_n = 2,2 \text{ kW} ,$$

$$U = 165 \text{ A}$$

$$N = 17.000 \text{ rot./min.}$$

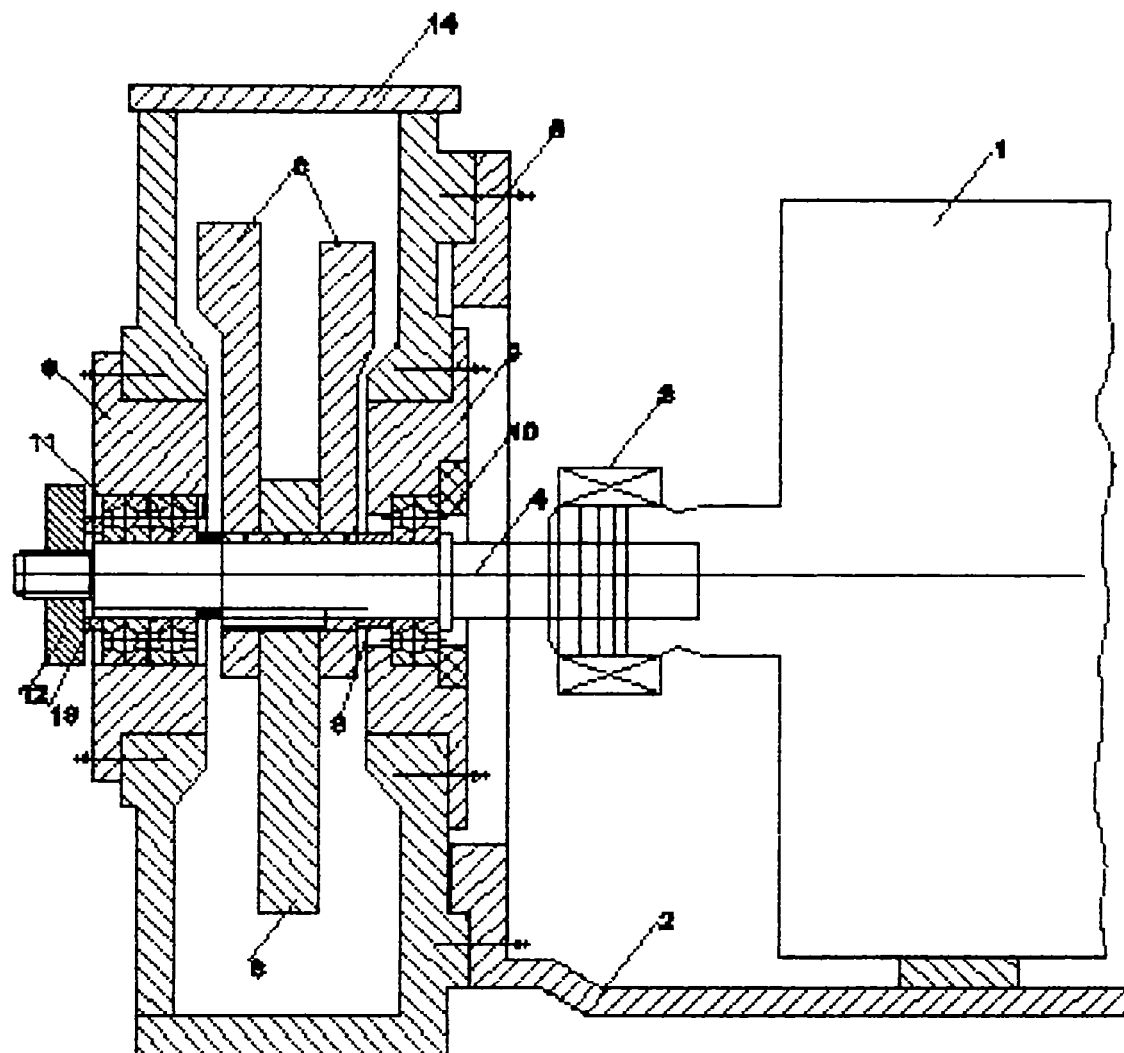


Fig. 4.2- Vibratorul mecanic

1. Motor electric; 2. Suport motor electric , 3.Piuliță, 4.Arboare, 5. Carcasă, 6. Piesă excentric, 7. Bucșă de susținere pentru piesă excentric, 8. Bucșă de poziționare pentru piesă excentric, 9. Bucșă pentru fixare rulmenți, 10. Bucșă pentru fixare rulemni, 11.Rulmenți radiali, 12.Piuliță, 13. Șaibă, 14. Capac

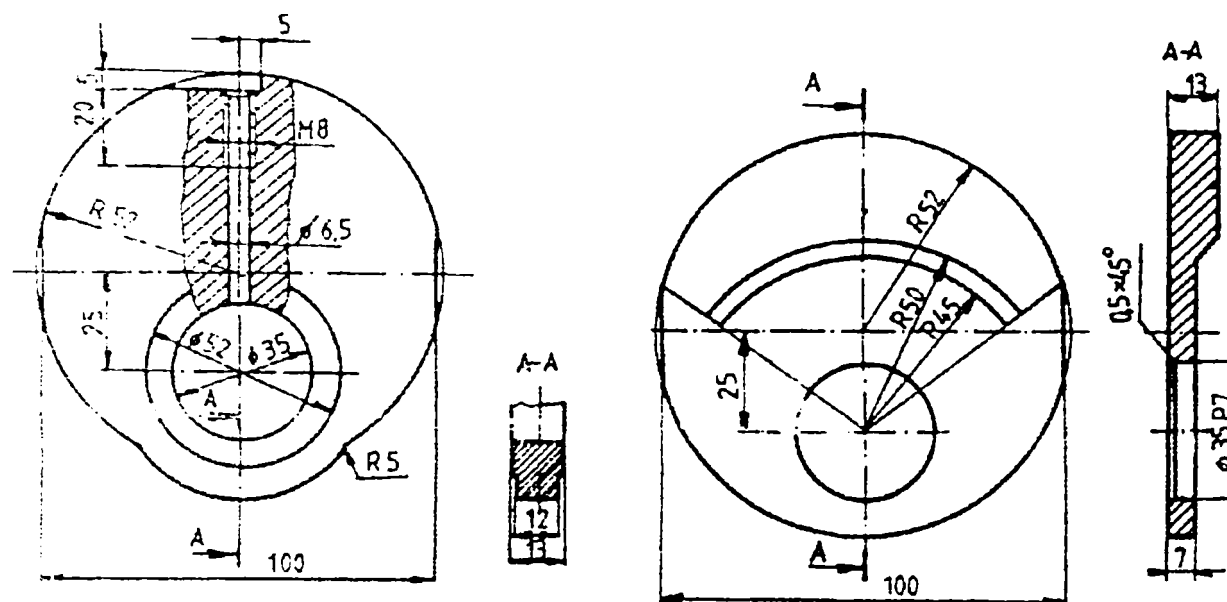


Fig. 4.3 - Piese excentric

Poz. 3 – Convertizor de frecvență tip VLT 5008 Danfoss

Dintre producătorii de convertizoare de frecvență pentru acționările cu turație variabilă utilizând motoare electrice asincrone, cel mai important pare să fie **Danfoss** (Danemarca). Cea mai nouă serie de convertizoare Danfoss este codificată VLT 5000, distingându-se față de seria anterioară VLT 3000 prin următoarele caracteristici:

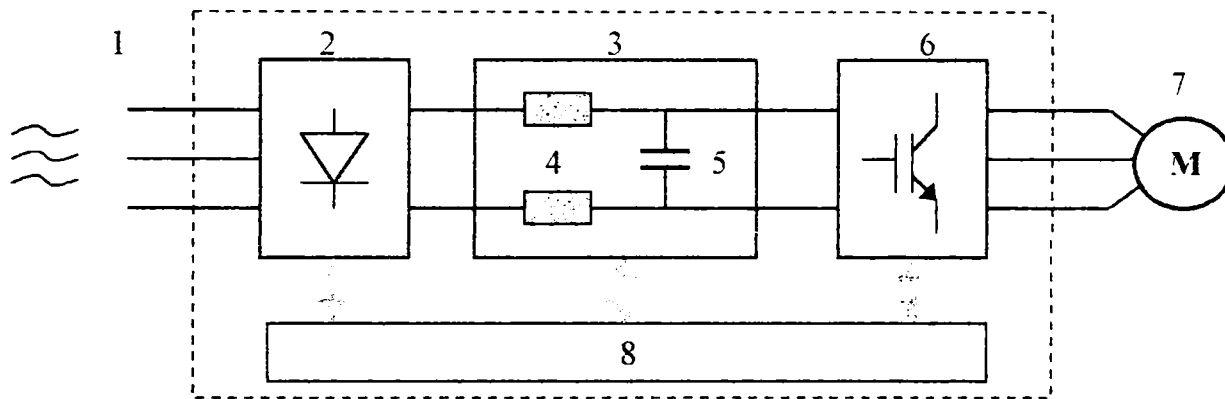
- Un nou sistem de conducere a motoarelor de inducție, vectorial și fără senzori (*Sensorless Vector Drive System*):  $VVC^{PLUS}$ , atât pentru cuplu cât și pentru turație.
- Un nou concept de protecție, în întregime digital, care permit funcționarea fiabilă chiar și în cele mai defavorabile condiții; protecțiile convenționale de supracurent, pământare și suprasarcină sunt de asemenea menținute.
- O interfață de monitorizare și programare cu un *Quick menu* specific, cu monitorizarea a 4 parametri simultan și programarea optimă a parametrilor, grupați astfel încât identificarea



celor esențiali pentru pornirea motorului să fie imediată; în plus panoul de comandă este detașabil, ceea ce permite operații de punere în funcțiune și depanare rapide.

Sistemul VVC<sup>PLUS</sup> oferă față de variantele precedente o dinamică și o stabilitate superioare, chiar și atunci când referința de turație și cuplul de sarcină variază simultan.

Schema bloc a convertizoarelor de frecvență VLT 5000 este prezentată în continuare.



4.4 Schema bloc a convertizoarelor de frecvență din familia VLT 5000

1. Tensiunea de alimentare: 3x200-240 Va.c., 50/60Hz sau 3x380-500 Va.c., 50/60Hz.
2. Redresor trifazat.
3. Circuit intermediar, cu rol de filtrare și de limitare a supracurenților. Tensiunea c.c este egală cu  $0,707 \times$  tensiunea c.a.
4. Bobinele circuitului intermediar.
5. Capacitățile circuitului intermediar.
6. Invertor trifazat cu frecvență variabilă.
7. Tensiunea motorului, variabilă 0-100% din valoarea tensiunii de alimentare; frecvența este variabilă: 0,5-132/0,5-1000Hz.
8. Placa de comandă, prin care se determină forma impulsurilor prin care tensiunea c.c este transformată în tensiune a.c.

După cum se observă din schema bloc, convertizorul de frecvență redresează tensiunea alternativă trifazată de la intrare, după care tensiunea continuă redresată este la rândul ei transformată într-o tensiune de curent alternativ, trifazată, cu frecvența și amplitudinea variabile.

Motoarele trifazat standard sunt astfel alimentate cu tensiune variabilă atât în frecvență cât și în amplitudine, ceea ce permite reglarea extrem de nuanțată a turației. Curentul este măsurat în permanență, tensiunea necesară și alunecarea motorului fiind estimate prin intermediul unui model al motorului. Frecvența și tensiunea sunt ajustate astfel ca punctul de funcționare al motorului să rămână optim chiar și când se produc variații ale condițiilor de funcționare.

Măsurarea curentului precum și modelul motorului au fost îmbunătățite față de VLT 3000. Curentul este diferențiat în curentul de magnetizare și curentul generator al cuplului, rezultând astfel o estimare mai rapidă și mai precisă a încărcării motorului. Se pot comanda și mai multe motoare electrice conectate în paralel.

VLT 5000 poate include în model un număr foarte mare de parametri:

- parametri ai motorului, atât parametri electrici (tensiune, curent, putere și frecvență nominale, rezistențe, inductivități, etc.) cât și valori limită maxime și minime;
- parametri ai acționării, atât pentru configurare (reglarea vitezei, cuplului sau întregului proces în buclă închisă sau deschisă);
- parametri ai reglării procesului, regulatorul de bază fiind de tip PID.

Convertizoarele VLT 5000 pot menține un cuplu constant 100%, utilizând un motor supradimensionat. Se pot alege două caracteristici ale cuplului (CT respectiv VT) cu valori ridicate -160% sau medii -110% ale cuplului maxim, față de valoarea nominală, care poate fi menținut timp de 1 minut. În funcție de caracteristicile motorului, sunt posibile mai multe configurații ale convertizorului.

În cazul acestei aplicații, principalii parametri ai motorului sunt:  $P=2,2\text{kW}$ ,  $U=165\text{V}$ ,  $I=11\text{A}$ ,  $n=17000\text{rot/min}$ . S-a ales configurația VLT 5008, având următoarele date, la o tensiune de rețea de 200-240V:

- putere maximă la ax: 5,5kW pt. încărcare (160%), 7,5kW pt. încărcare (110%);
- curent maxim constant: 25A pt. încărcare (160%), 32A pt. încărcare (110%);

Puterea maximă disponibilă în cadrul seriei ajunge, pentru această gamă de tensiuni de alimentare, până la 22kW, la un curent de 88A.

Printre accesoriile disponibile opțional se numără: filtre LC suplimentare, consolă de programare portabilă, interfață de monitorizare și comandă de la distanță, etc.

## 2. Instalația electrică

Convertizoarele VLT 5000 sunt construite astfel încât punerea în funcțiune necesită un număr minim de conexiuni externe (alimentarea trifazată, conectarea motorului și comenzile), realizabile prin elemente de automatizare convenționale, de exemplu prin butoane de pornire-oprire, contactoare, relee de protecție, etc.

Cel mai indicat este însă ca instalația electrică a acționării cu VLT 5000 să fie realizată cu ajutorul unui automat programabil (PLC) dedicat și să fie montată în dulapuri electrice de protecție corespunzătoare. Pentru evitarea problemelor legate de protecția muncii și de interferențele electromagnetice este necesară respectarea strictă a modului de conectare indicat de producători.

O instalație electrică tipică cu VLT 5000 este prezentată în figura următoare

Dulap PLC

Dulap VLT 5000

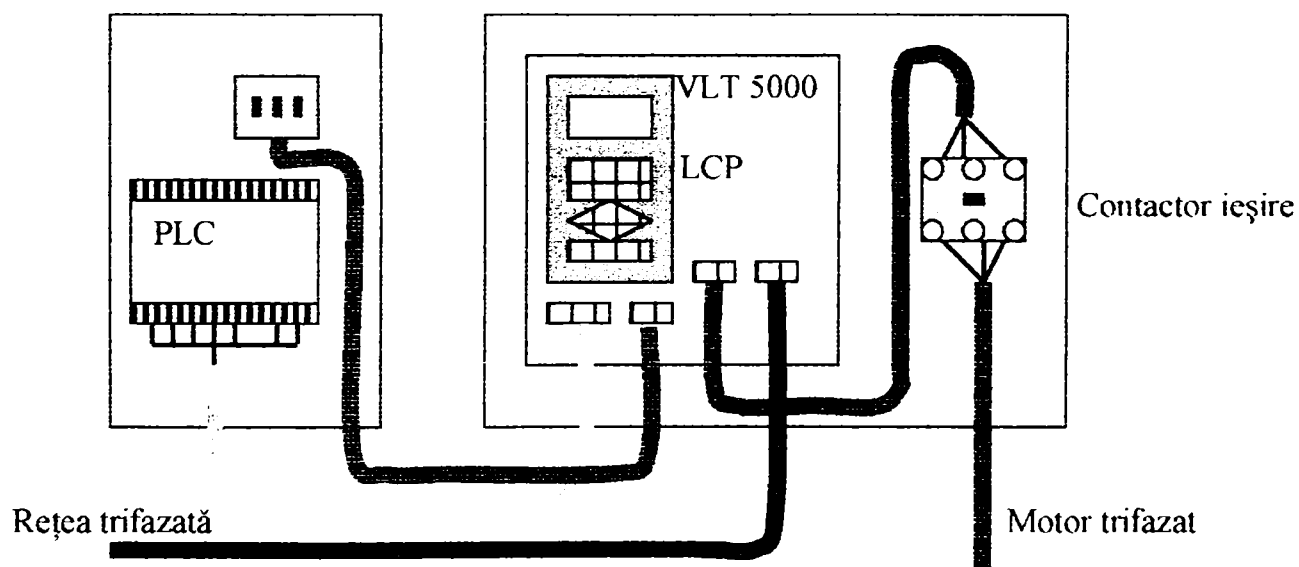


Fig. 4.5 Instalație electrică cu convertizor de frecvență VLT 5000

Convertizoarele dispun și de o interfață serială RS 485 (cu două conductoare).

### 1.3. Unitatea de control LCP

Unitatea LCP (*Local Control Panel*) îndeplinește următoarele funcțiuni:

- afișaj;
- modificarea parametrilor de program;
- operare locală.

Panoul este detașabil, putând fi instalat la 3m de VLT, cu ajutorul unui kit opțional.

Toate datele sunt indicate printr-un afișaj alfanumeric cu 4 linii, care poate funcționa în mai multe moduri de operare și 3 LED-uri de semnalizare: ON, WARNING și ALARM.

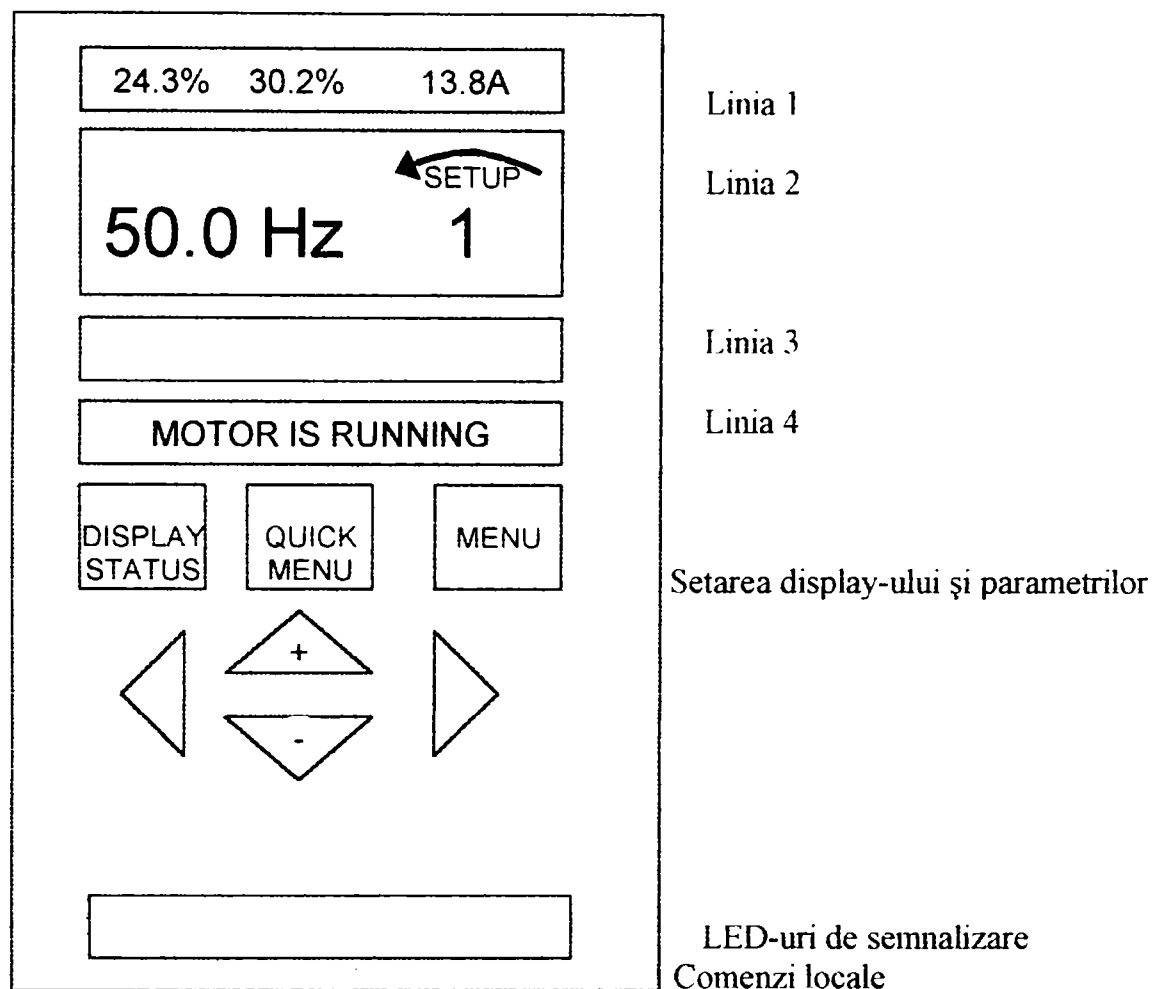
◆ **Linia 1** arată maxim 3 măsurători continue în regim normal de funcționare sau numele parametrului în timpul programării parametrilor.

◆ **Linia 2** arată o măsurătoare continuă cu unitatea de măsură corespunzătoare referitoare la stare (cu excepția alarmelor/avertizărilor). Dimensiunea caracterelor este mai mare decât în cazul celorlalte linii și în această linie există și o săgeată indicatoare a sensului de rotație și un indicator al modului de programare.

◆ **Linia 3:** este utilizată doar pentru modul *Menu*, pentru a arăta numărul parametrului selectat.

◆ **Linia 4:** este utilizată în timpul funcționării pentru a arăta texte de stare sau în modul de programare pentru afișarea modului sau valorii parametrului selectat.

◆ Tastele de comandă sunt împărțite în două zone: zona pentru setarea parametrilor și a selectării modului de afișare, respectiv zona pentru comenzi locale: STOP/RESET, JOG, FWD/REV și START.



#### 4.6 Unitatea de control LCF

Funcțiile tastelor de comandă sunt următoarele :

**DISPLAY STATUS:** selectarea modurilor de afișare sau readucerea modul afișaj după unul din modurile *Quick Menu* sau *Menu* (meniu extins).

**QUICK MENU:** acces la setul de parametri de bază, comutabil cu *Extend Menu*.

**MENU:** acces la setul extins de parametri, comutabil cu *Quick Menu*.

**CHANGE DATA:** modificarea parametrului selectat prin meniuri.

**CANCEL:** abandonarea modificării unui parametru.

**O K :** confirmarea modificării parametrului selectat.

**+ / - :** selectarea parametrilor și modificarea parametrilor aleși.

- < > : selectarea unui grup de parametri și mutarea cursorului când se modifică valoarea numerică.
- STOP/RESET: oprirea motorului sau inițializarea convertorului după o denclanșare.
- JOG: înlocuiește frecvența de ieșire cu o frecvență prestabilită atunci când tasta este apăsată.
- FWD/REV: schimbarea sensului de rotație al motorului.
- START: pornirea convertorului după o oprire cu tasta STOP/RESET.

Poz. 4 – Amplificator de măsură KW 3072 HBM

Poz. 5 – Osciloscop

Poz. 6 – Accelerometru B12/ 1000 HOTTINGER BALOWIN MESS TECHNIK

Poz. 7 – Masă vibraoare

Poz. 8 – Suportți cauciuc

Pe instalația prezentată în Planșa 4.1 s-au determinat doi parametri, și anume :

- Turația maximă a motorului în funcție de excentricitatea vibratorului. Aceasta s-a făcut cu ajutorul convertorului de frecvență.
- Accelerația s-a determinat indirect. Cu ajutorul accelerometrului B12/1000 HOTTINGER s-a determinat mărimea [g] . Prin înmulțirea lui [g] cu accelerația gravitațională ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) s-a determinat accelerația punctului.

*Determinarea parametrilor instalației*

Pe instalația prezentată în Planșa 4.1 s-au determinat doi parametri :

- turația motorului în funcție de excentricitatea vibratorului (cu ajutorul convertorului de frecvență)
- accelerația [g] cu ajutorul accelerometrului

1) *Determinarea turației maxime a motorului funcție de excentricitatea vibratorului*

Constructiv, excentricul instalației este format din trei piese care sunt fixate pe o bucă . Piesele din exteriorul bucei au o poziție fixă, iar piesa din mijloc (cea cu greutatea de 0,504 kg.) se poate roti pe bucă.

În prima fază s-a făcut o echilibrare statică a excentricului (prin rotirea lui, să nu producă vibrații). În cazul echilibrării maselor, turația motorului din sarcină a ajuns la 17.000 rot./min.

Dispozitivul cu cele trei mase s-a dezechilibrat prin rotirea piesei din mijloc cu  $\approx 120^\circ$  față de piesa dinspre motor.

S-a constatat că la 8000 rot/min. puterea motorului a ajuns la 2,2 kW, iar convertizorul de frecvență l-a decuplat.

S-a continuat rotirea piesei din mijloc până când motorul a atins 2,2kW la o turație de 12000 rot./min. La atingerea puterii de 2,2 kW, convertorul a decuplat motorul (unghiul de dezechilibru fiind de  $20^\circ$ ). Din datele din literatura de specialitate reiese că rezultatele bune s-au obținut când s-a ajuns la o frecvență de peste 179 Hz. La 12000 rot./min. frecvența a fost de 200 Hz.

Cu acest excentric s-au determinat frecvența și puterea pe cele trei plăci cu următoarele mase, (conform tabelului nr. 4.5) :  $M_1 = 53,94 \text{ kg}$  ;  $M_2 = 21,58 \text{ kg}$  ;  $M_3 = 16,19 \text{ kg}$ ., obținându-se următoarele rezultate :

- pentru placa  $M_1$  la 12 000 rot./min. puterea motorului a depășit valoarea nominală , iar motorul a fost decuplat.

- pentru placa  $M_2$  puterea motorului a depășit valoarea nominală la 8000 rot./min., motorul fiind decuplat;

- pentru placa  $M_3$  puterea motorului a depășit valoarea nominală la 7800 rot./min., motorul fiind decuplat;

## 2) Determinarea accelerației

S-a făcut indirect, cu ajutorul accelerometrului, care a determinat direct parametrul [g]. Prin înmulțirea lui [g] cu accelerația gravitațională  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  se poate determina accelerația punctului care oscilează.

În Fig. 4.7, 4.8, 4.9 și 4.10 este redată variația parametrului [g] în funcție de turația motorului pe cele trei mese  $M_1, M_2, M_3$ .

Fig.4.7- Variația lui [g] în funcție de turație, măsurată pe masa  $M_1$

N – turația în  $10^3$  [rot./min.]

a - accelerația = [g]

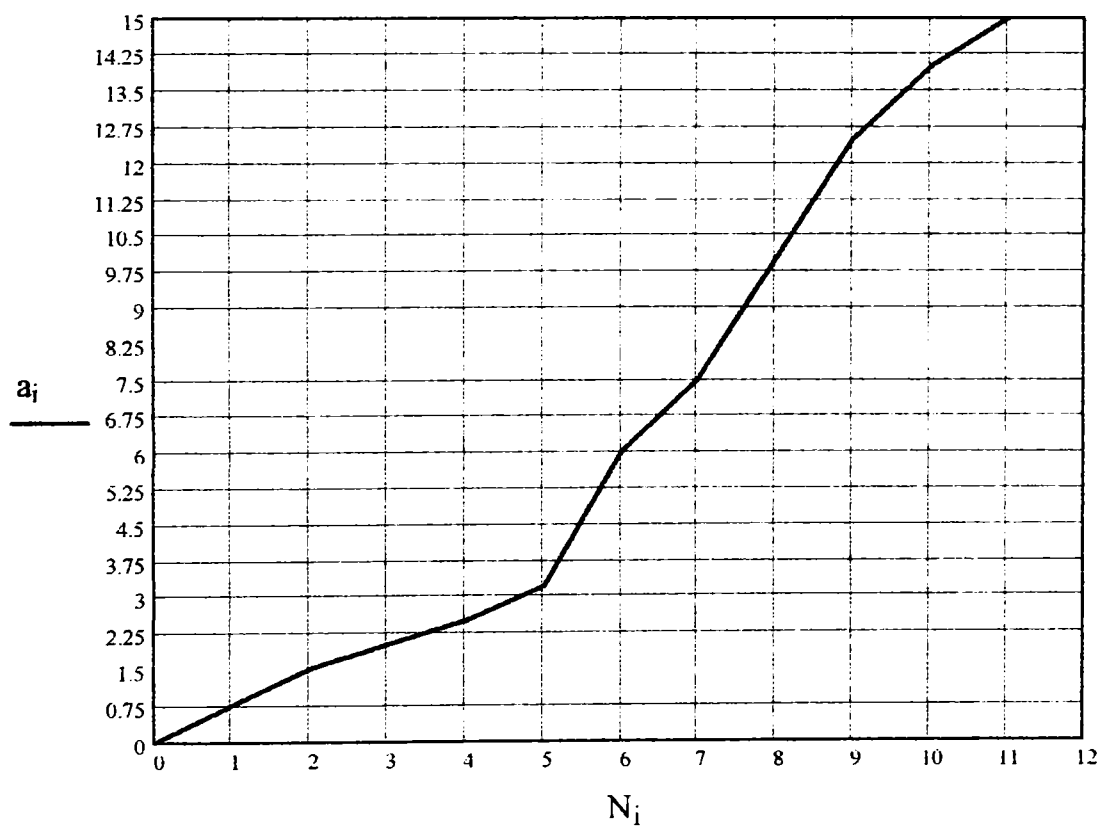




Fig. 4.8 – Variația lui [g] în funcție de turație(N), măsurată pe masa  $M_2$

N – turația în  $10^3$  [rot./min.]

a - accelerația = [g]

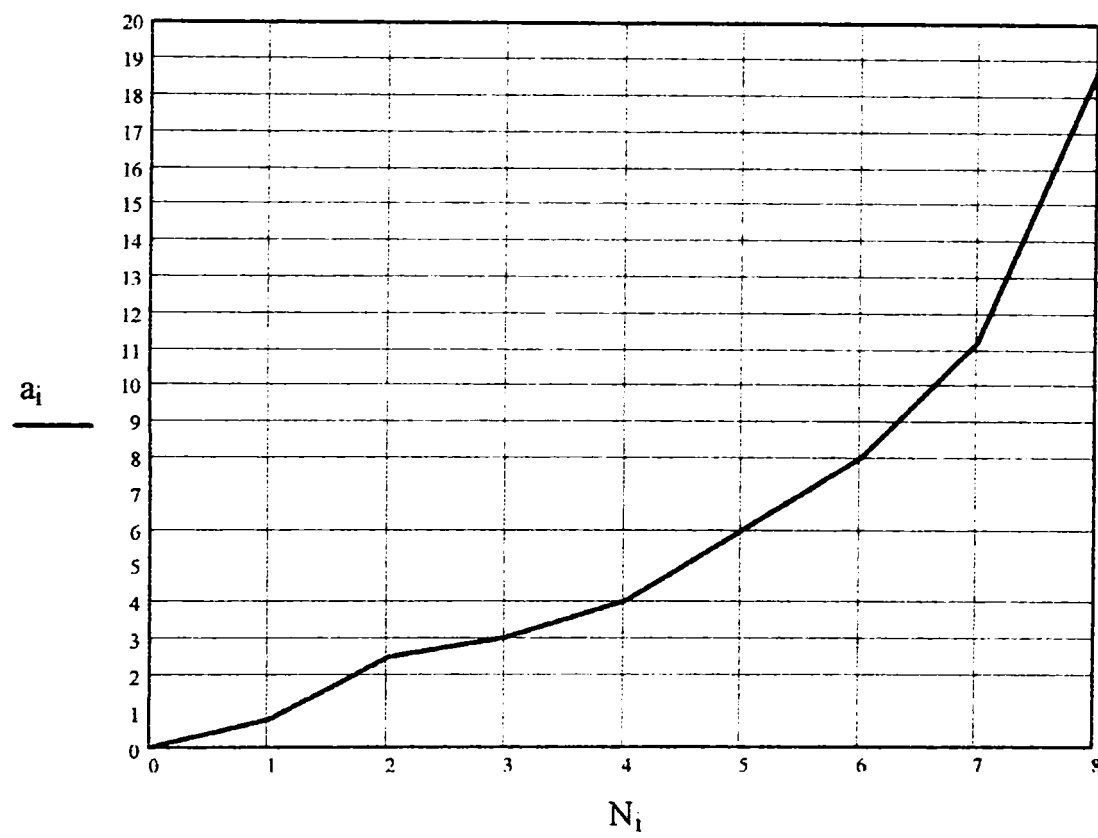


Fig.4.9 – Variația lui [g] în funcție de turație (N), măsurată pe masa  $M_3$

N - turația în  $10^3$  [rot./min.]

a - accelerația = [g]

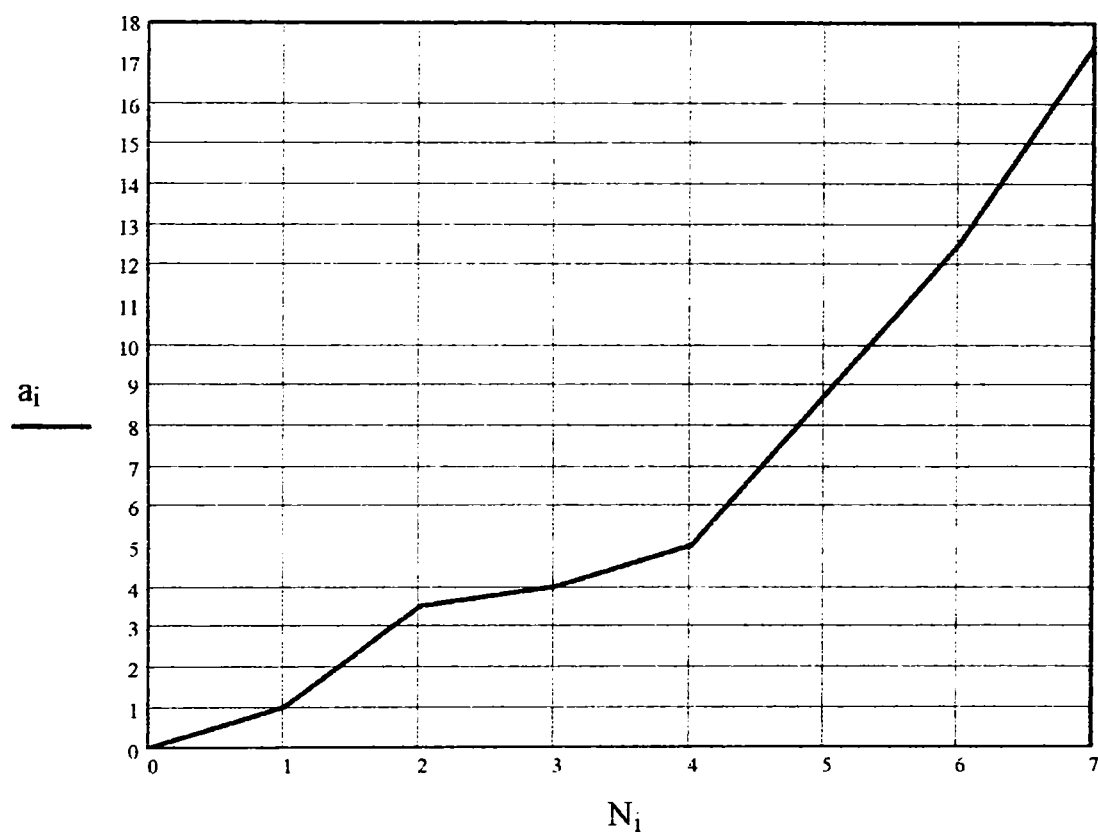
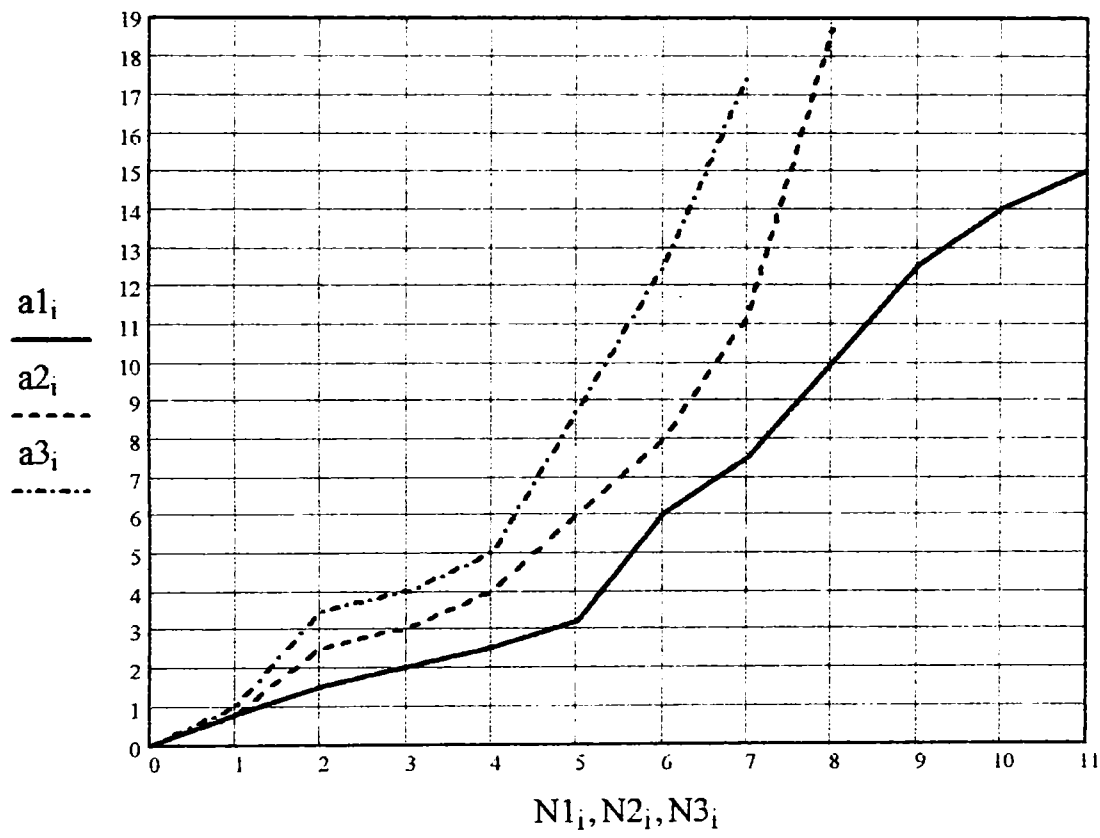


Fig. 4.10- Variația lui [g] în funcție de turație (N), pe cele trei mese  $M_1, M_2, M_3$ .

N – turația în  $10^3$  [rot./min.]

a - accelerația = [g]



Conform fig.4.10 rezultă că accelerațiile sunt diferite pe cele trei plăci la aceeași turație.

Din experiențe s-a constatat că la un anumit excentric la turații mari în instalație apar momente de inerție foarte mari care conduc la distrugerea rulmenților .

Din graficele 4.7, 4.8, 4.9 ,4.10 rezultă că se pot obține valori mari ale accelerației și la turații mai mici folosind plăci de vibrat cu greutate mai mică. Astfel se reduce efectul negativ al momentelor mari de inerție asupra rulmenților.

În tabelul nr 4.5 sunt date caracteristicile instalației P(kW); H(Hz); Turație (rot./min.) pe cele trei plăci la un unghi de dezechilibrare de 20 °.

**Tabel 4.5**

Turatia [N] Rot./min.	f [Hz]	P[kW ]		
		M1	M2	M3
1000	16,66	0,06	0,05	0,07
2000	33,33	0,09	0,08	0,09
3000	50,00	0,12	0,15	0,2
4000	66,66	0,20	0,21	0,16
5000	83,33	0,30	0,33	0,36
6000	100	0,45	0,55	0,6
7000	116,66	0,61	1,3	1,07
8000	133,33	0,74	2,2	2,2
9000	150	1,19	-	-
10.000	166,66	1,61	-	-
11.000	183,33	2,01	-	-
12.000	200	2,2	-	-

### 4.3.3 Modul de lucru

Pentru experimentare s-au folosit aliajele :1)  $LgSnR_2$  cu următoarele proprietăți :

a) Compoziția chimică : Sb = 8,9 %; Cu = 4,1 %; rest Sn

b) Proprietăți mecanice :  $R_m = 84,9 N / mm^2$  ;  $R_{p0,2} = 67,8 N / mm^2$  , A= 3,9% ; HB

250/10/60 = 22;

c) Structura : conform planșei 4.8 1x100 și 4.8 2x500 ;

2)  $LgSnR_3$  cu următoarele proprietăți:

a) Compoziția chimică : Sb= 7,8% , Cu= 3,5 % ; rest Sn

b) Proprietăți mecanice :  $R_m = 84,2 N / mm^2$  ;  $R_{p0,2} = 68,1 N / mm^2$  ; A = 4,0% ; HB

250/10/60 = 23

c) Structura conform planșei 4.8.14 Poz.1

Aliajele alese nu au în compoziție elemente de aliere care să aibă rol de centrii de germinare (Te,Se, Cr,etc.) pentru a putea observa efectul vibrațiilor asupra micșorării granulației. Cele două aliaje au compoziția chimică diferită în ceea ce privește procentul de Sn, Sb, Cu pentru a putea urmări dacă prin variația cantitativă a acestora se modifică structura în condiții identice de tratament.

A.Cercetări efectuate pe aliajul  $LgSnR_2$

Elaborarea s-a făcut conform tehnologiei prezentate la paragraful 4.2 . Aliajul a fost elaborat cu 80% șpan în cuptor de 4 kg

Turnarea s-a făcut în cochila  $C_3(\Phi 20 \times \Phi 10 \times 260)$

Înainte de turnare, cochila a fost preîncălzită la temperatura de 150-200° C. S-a turnat în cochilă aliajul, iar după umplere s-a vibrat pe masa  $M_1$  ,  $M_2$  ,  $M_3$  la următoarele turații :

1) Pe masa  $M_1$  - 2000, 3000, 5500, 6000, 8000, 9000, 11000, 12000[ rot./min.]

2) Pe masa  $M_2$  - 2000, 3000, 5000, 7500, [rot./min]

3) Pe masa  $M_3$  - 2500, 3500, 4500 [rot./min.]

**4.3.4 Analize și încercări** – După turnare s-au prelevat eșantioane din toate probele turnate pentru analiza metalografică.

Dina analiza metalografică s-a constatat că modificări ale structurii comparativ cu structura inițială au apărut la următoarele turații [rot./min.]:

$M_1$  - 5500, 8000, 10000, 12000

La probele obținute la turații de 2000, 3000, 6000, 9000 nu s-a produs nici o modificare semnificativă a structurii față de structura inițială.

$M_2$ - 7500. La turația de 2000, 3000, 5000 structurile nu au fost modificate față de cea inițială.

$M_3$  - S-a constatat că la toate probele au apărut modificări de structură .

#### Analiza metalografică

Proba  $M_1$ -3000rot./min. - Planșa 4.8.12 – apar cristale SnSb (faza  $\beta'$  ) bine conturate și uniform repartizate cu dimensiunea medie de 45  $\mu\text{m}$  . Cristalele  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ (faza  $\epsilon$ ) nu apar sub formă de schelet , nu se observă nici cristale de  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  , nici la mărimi mici. Structura nu diferă de structura inițială.

Proba  $M_1$  - 5500 rot./min. – Planșa 4.8.10-

Cristalele SnSb ( $\beta'$ ) au formă regulată, sunt uniform repartizate cu dimensiunea medie de 15  $\mu\text{m}$ , dar se pot observa și cristale de dimensiuni de 5 $\mu\text{m}$  (destul de multe ). Cristalele  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ (faza  $\epsilon$ ) apar sub formă de schelet, dar puține. Cristalele  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  sunt clar vizibile (în cantitate mare), chiar și la mărimi mici.

Proba  $M_1$  - 8000 (rot./min) - Planșa 4.8.5

Cristalele SnSb ( $\beta'$ ) au formă regulată, sunt uniform repartizate cu dimensiuni de 35  $\mu\text{m}$ . Cristalele  $Cu_3Sn$ (faza  $\varepsilon$ ) nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$ .

Proba  $M_1$  - 10000 (rot./min.) - Planșa 4.8.7 -

Cristalele SnSb ( $\beta'$ ) au formă regulată, uniform repartizate, cu dimensiunea medie de 15  $\mu\text{m}$ , dar apar și unele cu dimensiuni de 50  $\mu\text{m}$ .

Cristalele  $Cu_3Sn$ (faza  $\varepsilon$ ) nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$ , nici la mărimi de x 500.

Proba  $M_1$  - 12000 (rot./min.) - Planșa 4.8.8 -

Cristalele SnSb apar bine conturate, uniform repartizate cu dimensiunea medie de 15  $\mu\text{m}$ . Apar și cristale cu dimensiuni de 50  $\mu\text{m}$ .

Cristalele de  $Cu_3Sn$ ( $\varepsilon$ ) nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$ , nici la mărimi de x 500.

Proba  $M_2$  - 2000 (rot./min) - Planșa 4.8.13-

Cristalele SnSb apar bine conturate, uniform repartizate, cu dimensiuni de 35  $\mu\text{m}$ .

Cristalele  $Cu_3Sn$ ( $\varepsilon$ ) nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$ .

Proba  $M_2$  - 7500 [rot./min] - Planșa 4.8.2 -

Cristalele SnSb ( $\beta'$ ) apar bine conturate, uniform repartizate, având o dimensiune medie de 15  $\mu\text{m}$ .

Cristalele  $Cu_3Sn$ ( $\varepsilon$ ) nu se deosebesc de cristalele  $Cu_6Sn_5$ .

Proba  $M_3$  - 2500 [rot./min.] - Planșa 4.8.6 -

Cristalele SnSb apar bine conturate, sub formă cubică, uniform repartizate cu o dimensiune medie de 25  $\mu\text{m}$ .

Cristalele de  $Cu_3Sn$  nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$ , nici la mărimi de x 500.

Proba  $M_3$  - 4500 [rot./min.] - Planșa 4.8.11

Cristalele SnSb sunt bine conturate (sub formă cubică), uniform repartizate cu o dimensiune de 25 μm.

Cristalele de  $Cu_3Sn$  nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$  nici la mărimi de x 500.

#### Concluzii la analiza metalografică

Tratarea aliajelor antifricțiune Sn-Sb-Cu cu ajutorul vibrațiilor în timpul solidificării conduce la modificarea structurii lor astfel :

- a) - micșorarea dimensiunii cristalelor portante de SnSb în cazul aliajului  $LgSnR_2$  de la 45 μm la 15 μm. Cristalele rămân bine conturate sub formă cubică și sunt uniform repartizate
- b) - Cristalele  $Cu_3Sn$  cresc din punct de vedere cantitativ, dar își micșorează dimensiunile, iar în cazul unor microstructuri nu se pot deosebi de cristalele  $Cu_6Sn_5$  chiar la mărimi de x 500.
- c) Cristalele  $Cu_6Sn_5$  apar sub formă de segregații în matrice, cresc din punct de vedere cantitativ, micșorându-și dimensiunile. La unele microstructuri nu se pot distinge de cristalele  $Cu_3Sn$ .

#### Analiza durității

Duritatea Brinell a fost măsurată cu bilă de  $\Phi$  10 mm și cu sarcini de 250 daN cu timp de menținere de 60 sec.

Valorile de duritate sunt relativ disperse, duritățile maxime obținându-se la structura vibrată pe  $M_1$  la 5500 rot./min., unde din structură se poate observa pe lângă micșorarea dimensiunilor cristalelor SnSb și o creștere cantitativă și dispersă a fazelor  $\varepsilon$  și  $\eta'$

#### Analiza proprietăților mecanice

$R_m$  - valoarea maximă s-a obținut pentru aliajul vibrat pe  $M_1$  x 5500, diferența față de aliajul nevibrat fiind de 3,2 unități.



$R_{p0,2}$  - valoarea maximă s-a obținut la aliajul vibrat pe  $M_1$  x 5500 (rot./min.), diferența față de aliajul nevibrat fiind de 1,8 unități.

[A %] – diferența dintre alungirea maximă obținută față de cea a aliajului nevibrat este de 0,5 unități.

Rezultatele experimentelor sunt prezentate în tabelul 4.6 și tabelul 4.7.

**Tabelul 4.6**

Masa vibratoare	Nr. Probă	Turația $N_{rot} / min.$	Accelerația g	Proprietăți mecanice			
				$R_m / Nmm^2$	$R_{p0,2} / N / mm^2$	A %	HB 250/10/ 60
$M_1$	1	3000	2,1	85,8	66,2	4,1	23,6
	2	5500	4,5	88,1	69,0	3,6	25,5
	3	8000	9,8	86,3	66,9	3,9	22,4
	4	10000	13,9	86,9	67,9	3,9	23,5
	5	12000	18	87,3	68,1	3,8	24,1
$M_2$	6	2000	2,6	84,7	67,1	4,0	22
	7	7500	13,8	87,1	69,1	3,6	25
$M_3$	8	2500	3,8	86,1	67,5	3,8	22
	9	4500	7	86,8	68,3	3,8	24,1
Aliaj Nevibrat	10			84,9	67,8	4,1	22

Tabelul nr. 4.7

Masa vibratoare	Nr. proba	Turația N rot./min	Planșa	Dimensiunea Medie a comp. SnSb ( $\mu\text{m}$ )	Nr. mediu comp. Sn-Sb / $\text{mm}^2$
$M_1$	1	3000	4.8.12	45	225
	2	5500	4.8.10	15	800
	3	8000	4.8.5	35	400
	4	10000	4.8.7	15	900
	5	12000	4.8.8	15	900
$M_2$	6	2000	4.8.13	35	350
	7	7500	4.8.2	15	800
$M_3$	8	2500	4.8.6	25	500
	9	4500	4.8.11	25	525
Aliaj nevibrat	10	-	4.8.1	45	200

#### B. Cercetări efectuate pe aliajul $LgSnR_3$

Elaborarea și turnarea a fost identică cu cea a aliajului  $LgSnR_2$ . Vibrarea s-a făcut numai pe  $M_1$  x5500 [rot./min.] acolo unde s-au obținut rezultatele cele mai bune la aliajul  $LgSnR_2$ .

#### Analiza metalografică - Planșa 4.8.14

Poz.1 – reprezintă structura aliajului înainte de vibrare.

Poz. 3 – reprezintă structura aliajului după vibrare pe  $M_1$  x 5500 [rot./min.] . Din microstructura aliajului vibrat se observă :

-cristalele SnSb apar bine conturate , de formă cubică, uniform repartizate, cu dimensiunile medii de 25  $\mu\text{m}$  față de dimensiunea inițială de 40 $\mu\text{m}$

- cristalele  $Cu_3Sn$  sunt foarte mici, uniform repartizate și nu se pot deosebi de cristalele de  $Cu_6Sn_5$  chiar la mărimea de x 500.

- Nr. cristalelor SnSb din aliajul nevibrat /  $\text{mm}^2 = 120$

- Nr. cristalelor de SnSb din aliajul vibrat /  $mm^2$  = 850

Analiza durtății :

S-a măsurat cu bilă de  $\Phi 10$  cu o forță de 250daN cu timp de menținere de 60 sec.

HB 250/10/60 = 24,2.

Analiza proprietăților mecanice

$R_m = 87,3 \text{ N/mm}^2$ ;  $R_{p0,2} = 69,1 \text{ N/mm}^2$ ;  $A = 2,7 \%$

Față de proprietățile inițiale cresc proprietățile de rezistență  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ , HB și scade puțin plasticitatea de la 4% la 3,7 %.

### Concluzii

Din analizele metalografice și mecanice efectuate pe aliajele  $LgSnR_2$  și  $LgSnR_3$  vibrare în timpul solidificării cu un vibrator mecanic cu mase neechilibrate, rezultă următoarele :

a) la anumite accelerații (care sunt în funcție de masa vibratorului, masa pe care se vibrează , turații) vibrațiile influențează structura aliajelor prin :

- micșorarea dimensiunilor cristalelor portante SnSb
- distribuirea uniformă a cristalelor de SnSb
- creșterea cantitativă a cristalelor  $Cu_3Sn$  și  $Cu_6Sn_5$

b) Rezistența mecanică crește cu 3-4 unități, durtatea HB cu 2-3 unități, iar alungirea scade cu max. 1 unitate.

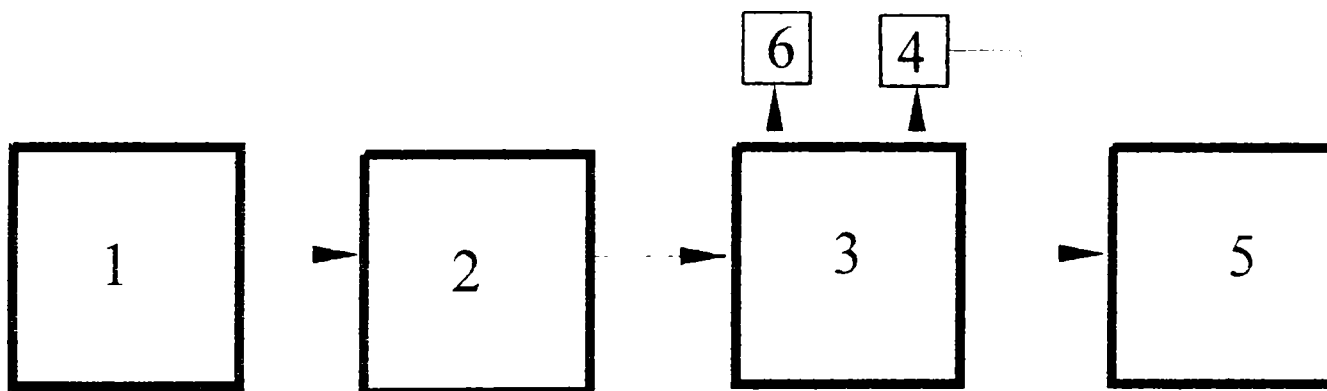
În Tabelul 4.8 sunt redate comparativ proprietățile aliajelor cu Cd și As și respectiv fără Cd și As vibrare.

**Tabelul nr. 4.8**

Aliaj	Compoziția chimică %					Proprietăți mecanice			
	Sb	Cu	Cd	Ni	Pb	$R_m N/mm^2$	$R_{p0,2} N/mm^2$	$A\%$	HB 250/10/60
HM07	7,6	3	1	0,2	0,1	90	75	7	26
LgSnR <sub>2</sub> vibrat pe M <sub>1</sub> x5500rot./min	8,9	4,1	-	-	-	88,1	69	4	25,5

#### 4.4 Tratarea aliajelor în timpul solidificării cu ajutorul vibrațiilor produse de vibratorul electrodinamic

##### 4.4.1.Schema de principiu a instalației cu vibrator electrodinamic de turnare



Conform fig. 1, 2 și 3, instalația cuprinde generator de frecvență (1), amplificator de putere (2) și generatorul electrodinamic de vibrații (3).

Generatorul de frecvență este de tipul E0501. Amplificatorul de putere este un amplificator LV 103, iar generatorul electrodinamic 11075, ambele fiind de fabricație RDG.

Parametrii vibrației au fost determinați cu ajutorul unui traductor seismic KD35 (4) cuplat cu aparatul de măsurat vibrații 2511 , de fabricație Bα K. Sensibilitatea traductorului este de  $5,01 \text{ mV/s}^{-2}$  .

Matrița de turnare (6) a fost fixată prin înșurubare pe capul excitator al generatorului electrodinamic (3), luându-se măsuri de protecție a generatorului împotriva materialului topit care ar putea pătrunde în interiorul lui.

#### 4.4.2 Metoda de cercetare

Pentru experimentare s-au folosit aliajele  $LgSnR_2$  și  $LgSnR_3$  (compoziția lor chimică, proprietățile mecanice și microstructura au fost prezentate în paragraful anterior).

Aliajul  $LgSnR_2$

Elaborarea s-a făcut conform tehnologiei prezentate la paragraful 4.1.2

Turnarea s-a făcut în cochila prezentată în planșa 4.6.

După turnare s-a vibrat până la solidificarea aliajului pe următoarele frecvențe : 150 Hz, 170 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 750 Hz,  $1 \times 3 \cdot 10^3$  Hz,  $1 \times 3 \cdot 10^4$  Hz.

Tensiunea de ieșire de la amplificatorul de putere a fost constantă la valoarea de 17 V.

#### 4.4.3 Analize și încercări

Analiza metalografică

S-au prelevat eșantioane din toate probele turnate și s-au constatat următoarele :

a) microstructura diferă de cea inițială (Planșa 4.8.1) numai la frecvența  $3 \cdot 10^3$  Hz (Planșa 4.8.3) și la  $3 \cdot 10^4$  Hz (Planșa 4.8.9).

Pentru frecvența  $3 \times 10^3 \text{ Hz}$  - Planșa 4.8.3 (x 100 și x 500)

Cristalele SnSb apar bine conturate , uniform repartizate, cu dimensiuni medii de  $25 \mu\text{m}$

Nr. cristale SnSb /  $\text{mm}^2 = 200$  pentru aliaj nevibrat

Nr. cristale SnSb /  $\text{mm}^2 = 350$  pentru aliaj vibrat

Cristalele  $Cu_3Sn$  nu se pot distinge de cristalele  $Cu_6Sn_5$ .

Aceste două tipuri de cristale sunt în număr mare și destul de uniform repartizate.

Pentru frecvența  $3 \times 10^4$  Hz – Planșa 4.8.9 (x 100, x 500)

Cristalele de SnSb apar bine conturate, destul de uniform repartizate, cu dimensiuni de 0,02- 0,03 [mm].

Cristalele de  $Cu_3Sn$  și  $Cu_6Sn_5$ , nu se pot deosebi, ele fiind în număr destul de mare și uniform repartizate.

Analiza proprietăților mecanice

Pentru  $3 \cdot 10^3$  Hz :  $R_m = 86,3 N / mm^2$ ,  $R_{p0,2} = 67,6 N / mm^2$ ,  $A = 3,7\%$ , HB 250/10/60 = 22

Pentru  $3 \cdot 10^4$  Hz :  $R_m = 86,7 N / mm^2$ ,  $R_{p0,2} = 67,3 N / mm^2$ ,  $A = 3,8$ , HB 250/10/60 = 23;

**Aliajul  $LgSnR_3$**

S-a vibrat numai pe frecvența  $3 \cdot 10^4$  Hz

Analiza microstructurală - Planșa 4.8.14., poz. 2

Cristalele de SnSb apar bine conturate (apar din loc în loc 2-3 cristale împreună).

Dimensiunea cristalelor este de 25  $\mu m$ .

Nr. cristale SnSb /  $mm^2 = 120$  pentru aliaj nevibrat

Nr. cristale SnSb /  $mm^2 = 350$  pentru aliaj vibrat

Cristalele  $Cu_3Sn$  se observă sub formă de litere grecești.

Cristalele  $Cu_6Sn_5$  sunt puține la număr.

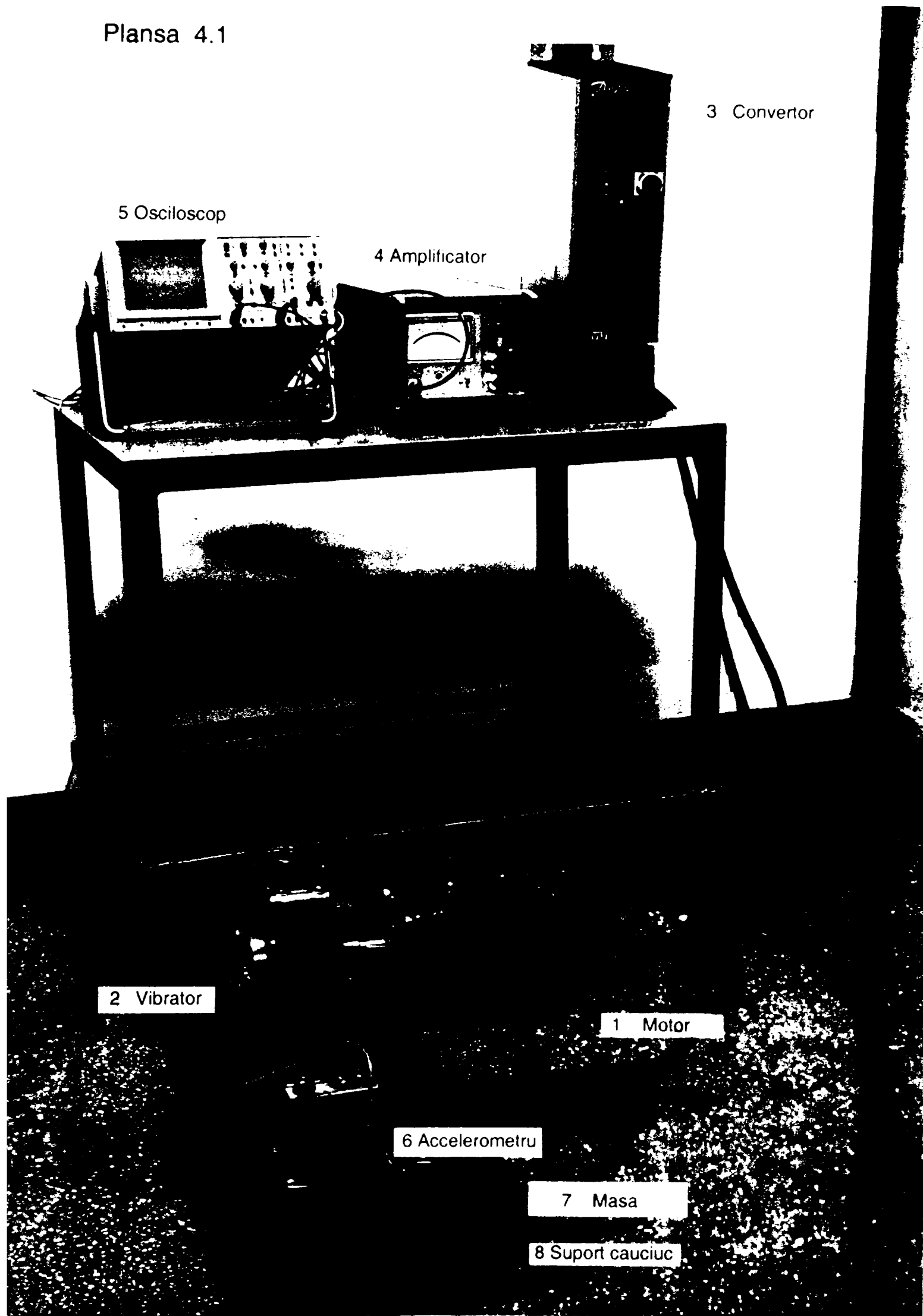
Analiza proprietăților mecanice

$R_m = 86,3 N / mm^2$ ,  $R_{p0,2} = 67,3 N / mm^2$ ,  $A = 3,8 \%$ , HB 250/10/60 = 22

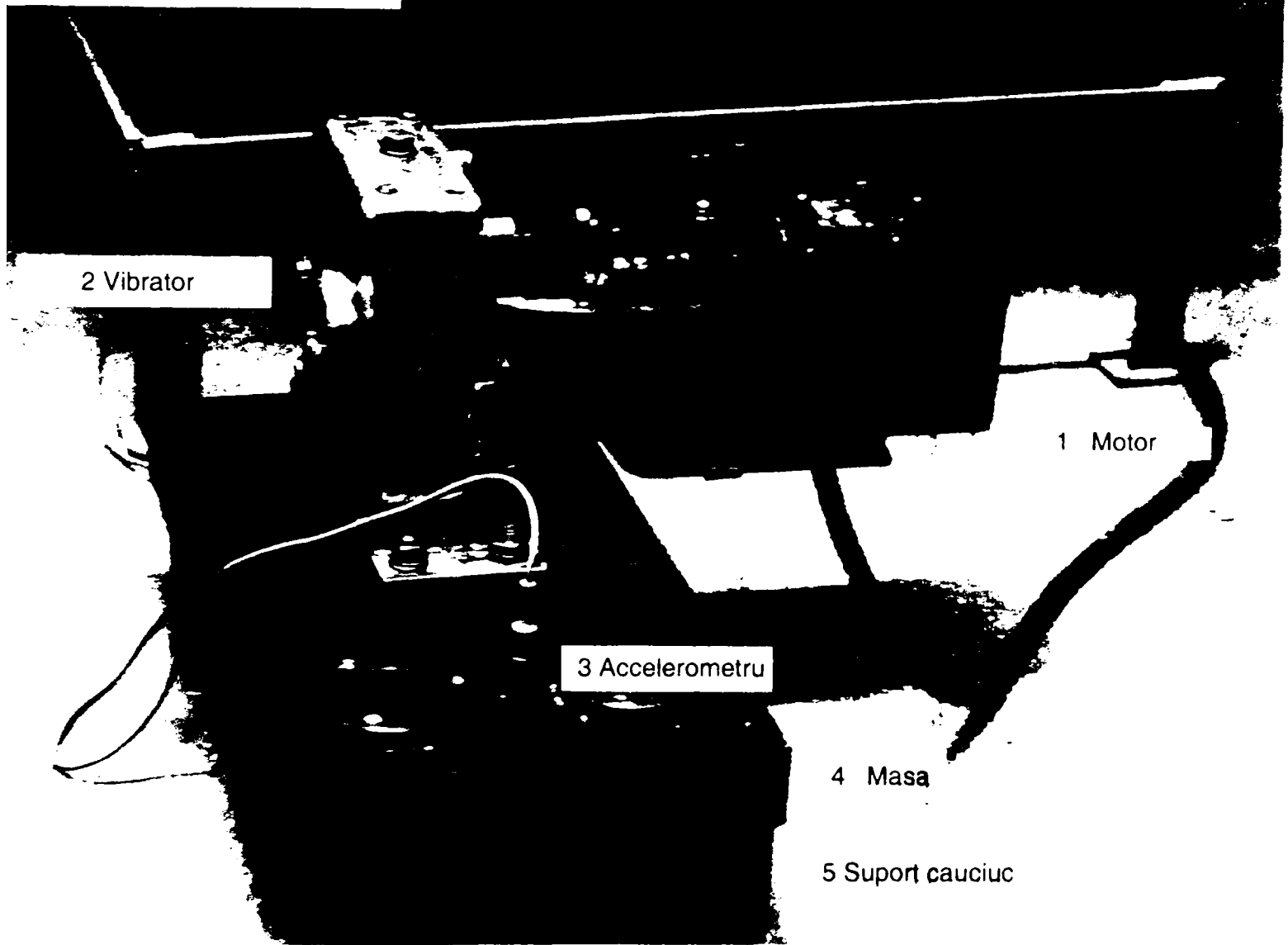
Concluzii

Prin vibrarea aliajelor antifricțiune Sn-Sb-Cu cu ajutorul vibratorului electrodinamic rezultă că vibrațiile au influență asupra solidificării aliajelor numai atunci când se utilizează frecvențe mari. Rezultatele obținute fiind inferioare celor obținute prin vibrarea pe vibratorul mecanic cu mase neechilibrate.

Plansa 4.1



Plansa 4.2



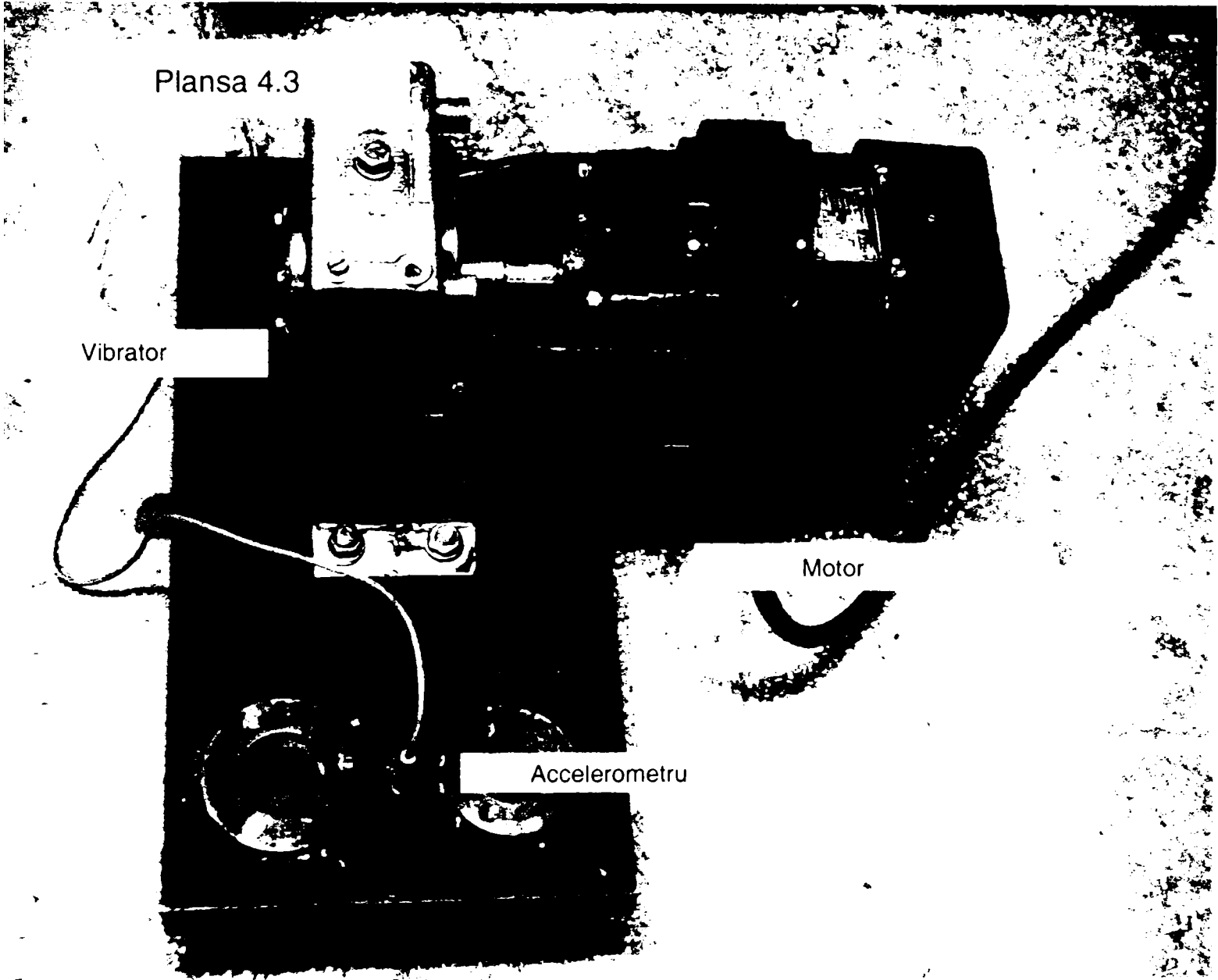


Plansa 4.3

Vibrator

Motor

Accelerometru

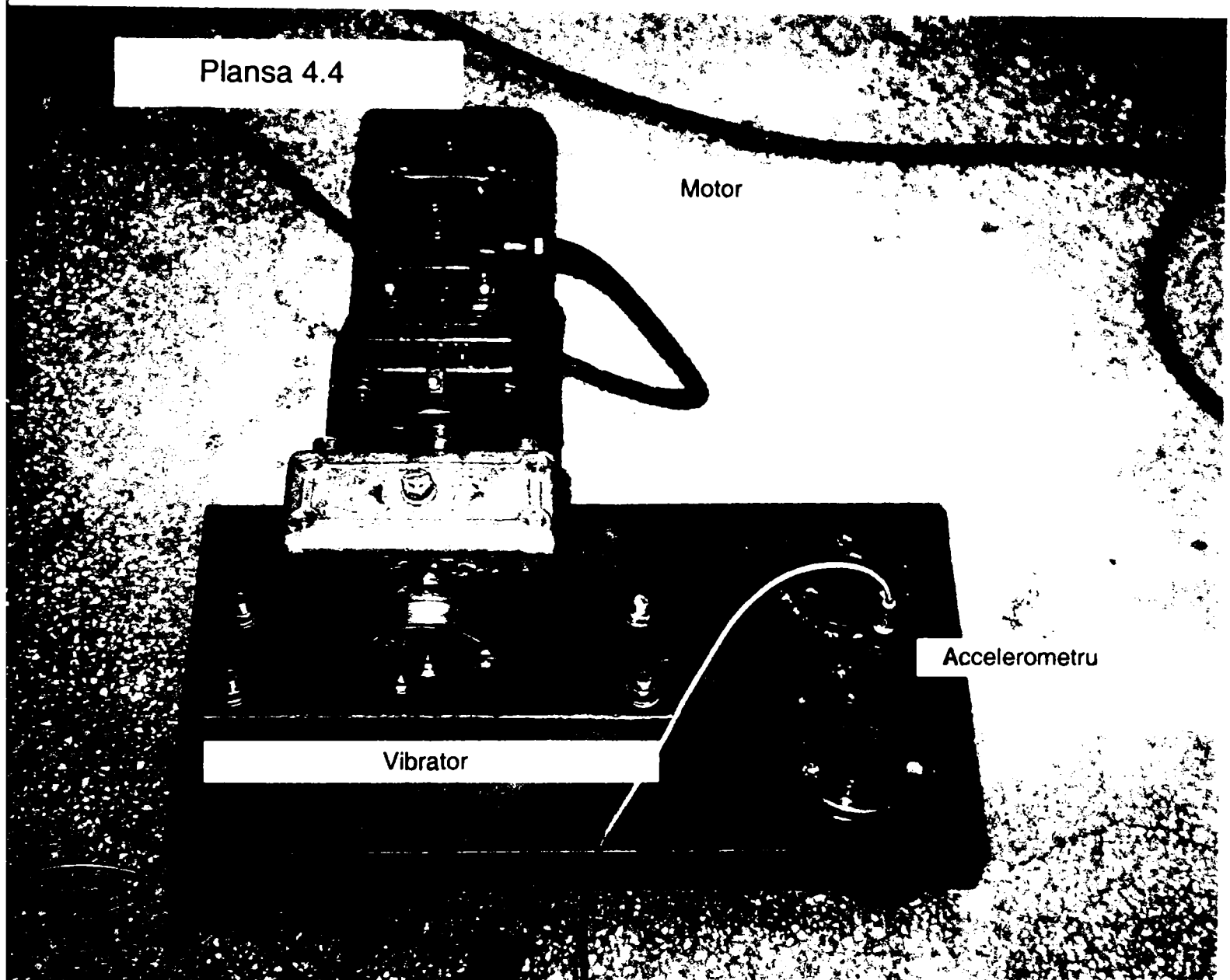


Plansa 4.4

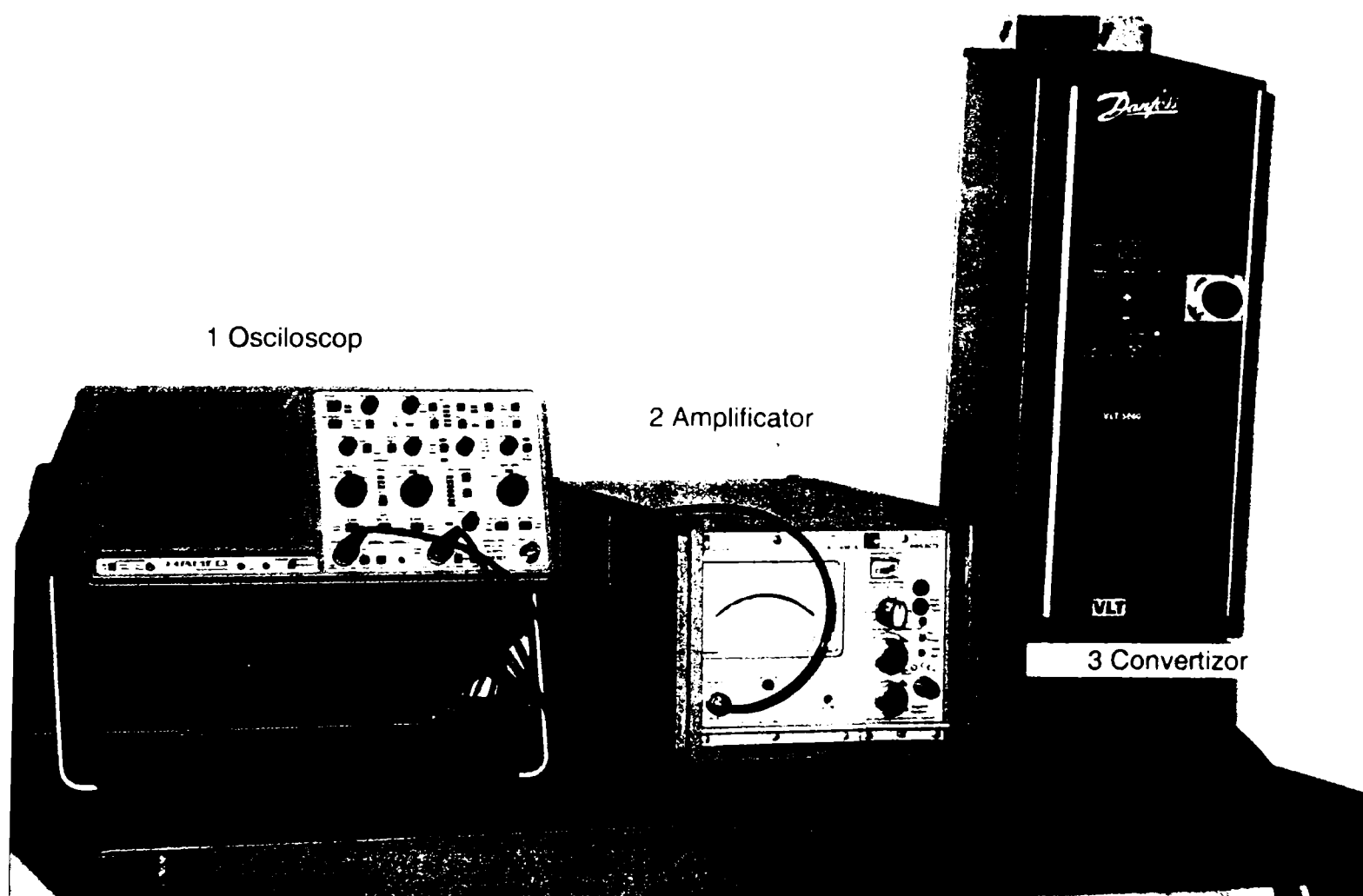
Motor

Accelerometru

Vibrator



Plansa 4.5

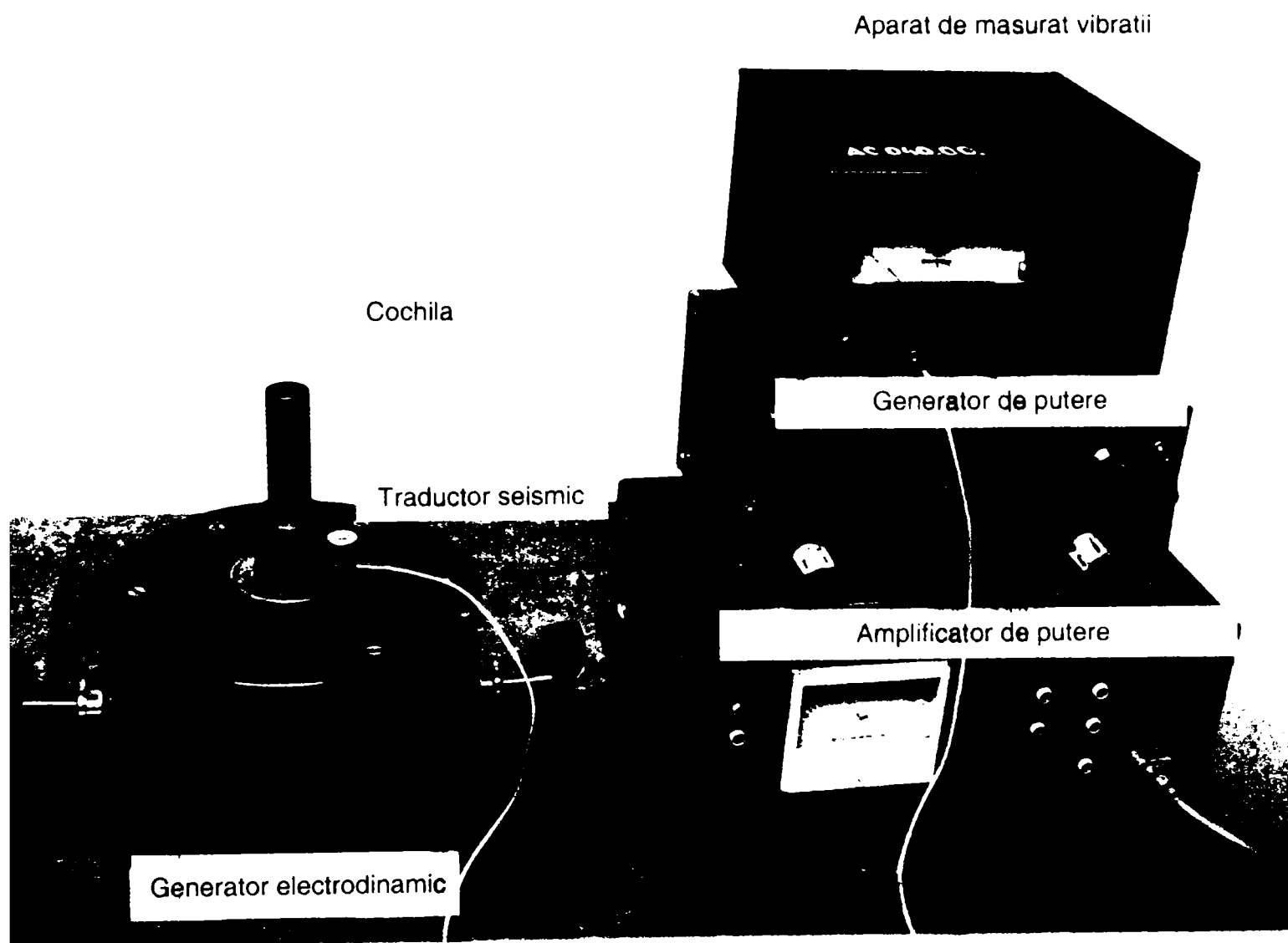


1 Osciloscop

2 Amplificator

3 Convertizor

Plansa 4.6



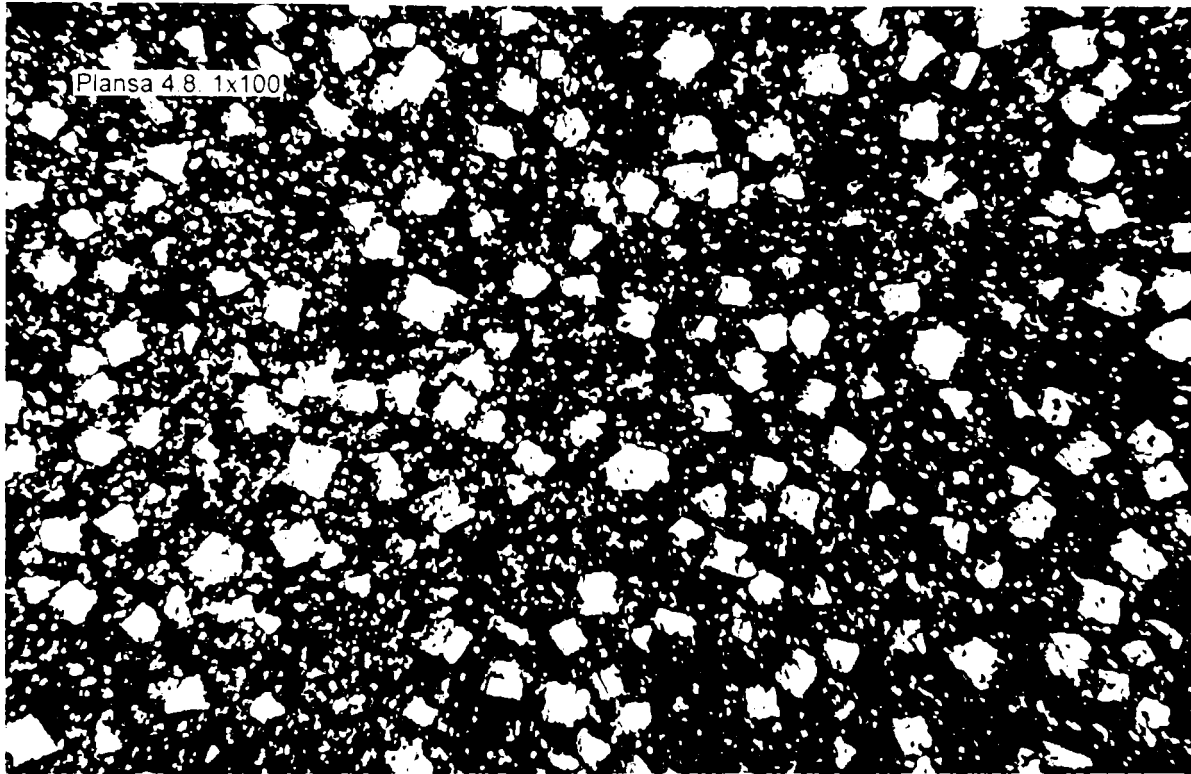
Plansa 4.7

Cochila

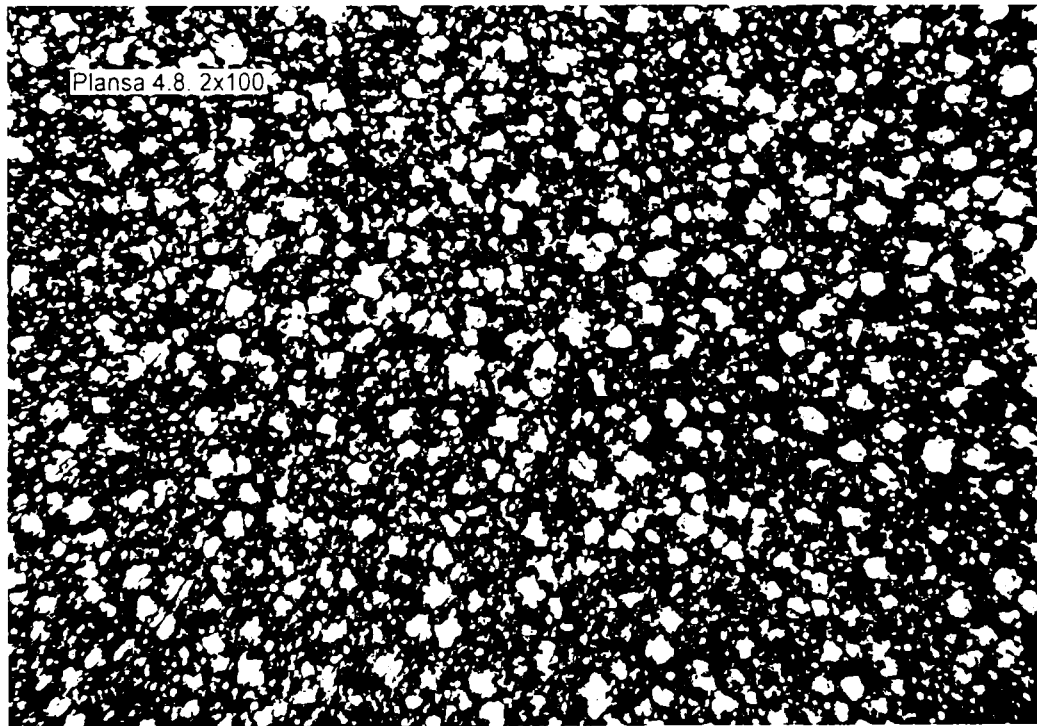


Traductor seismic KD 35

Generator electrodynamic



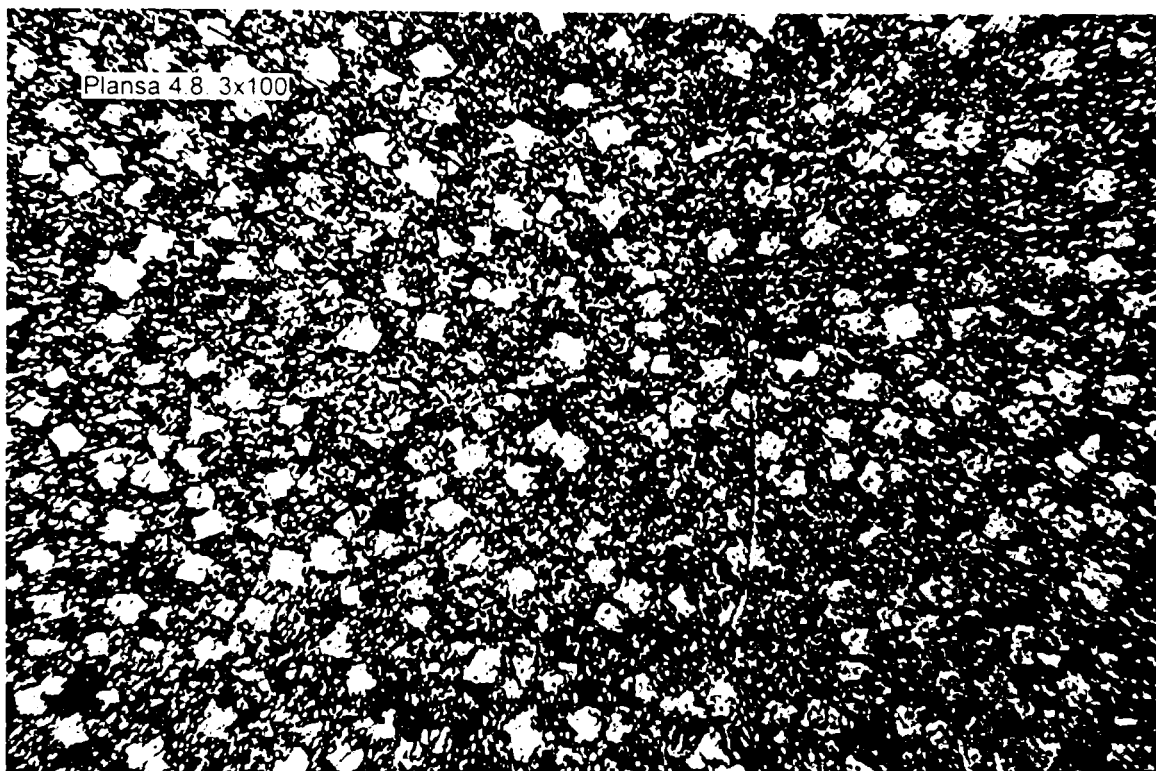
Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – nevibrat  
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



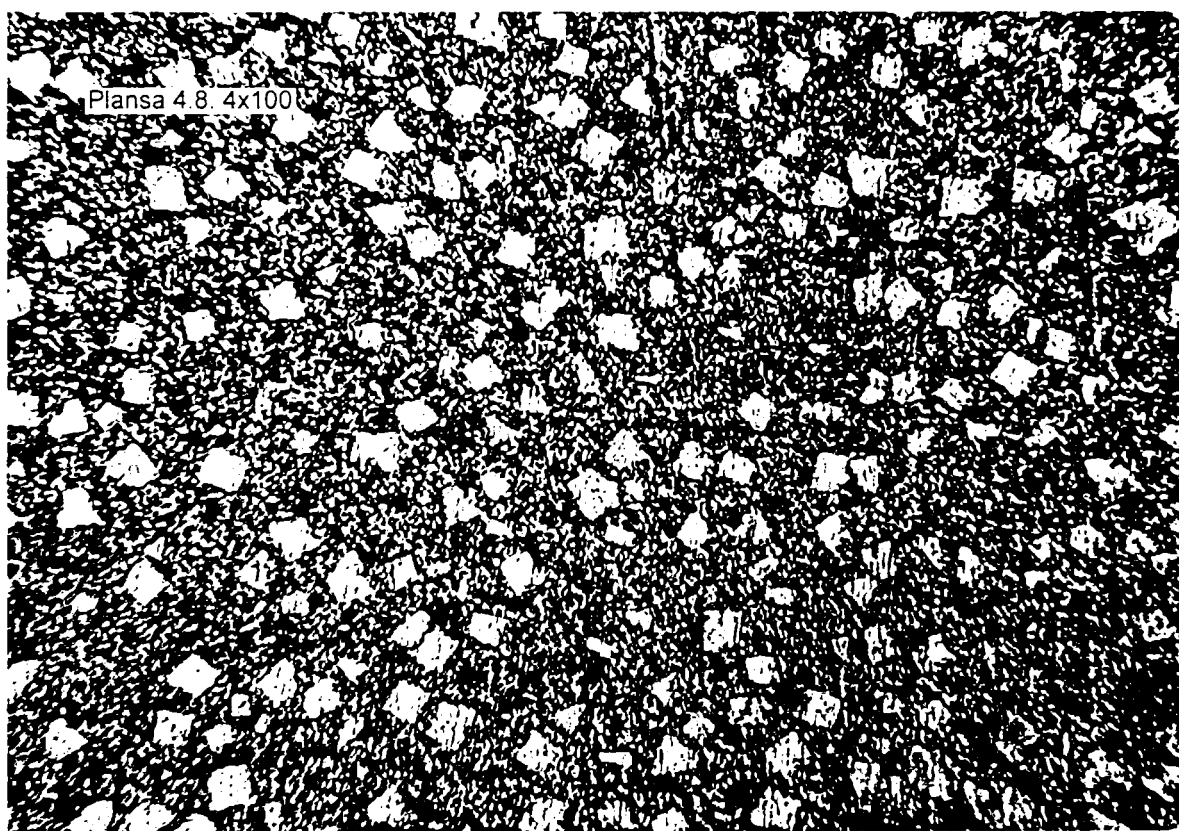
Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat la turatii de  
7500 [rot/min] ( $g=13,8$ ) pe masa  $M_2=21,58$  kg  
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 1x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) -- nevibrat  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj LgSnR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat pe vibratorul electrodinamic la frecventa de  $3 \times 10^3$  Hz  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj LgSnR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat pe vibratorul electrodinamic la frecventa de  $1 \times 10^3$  Hz  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

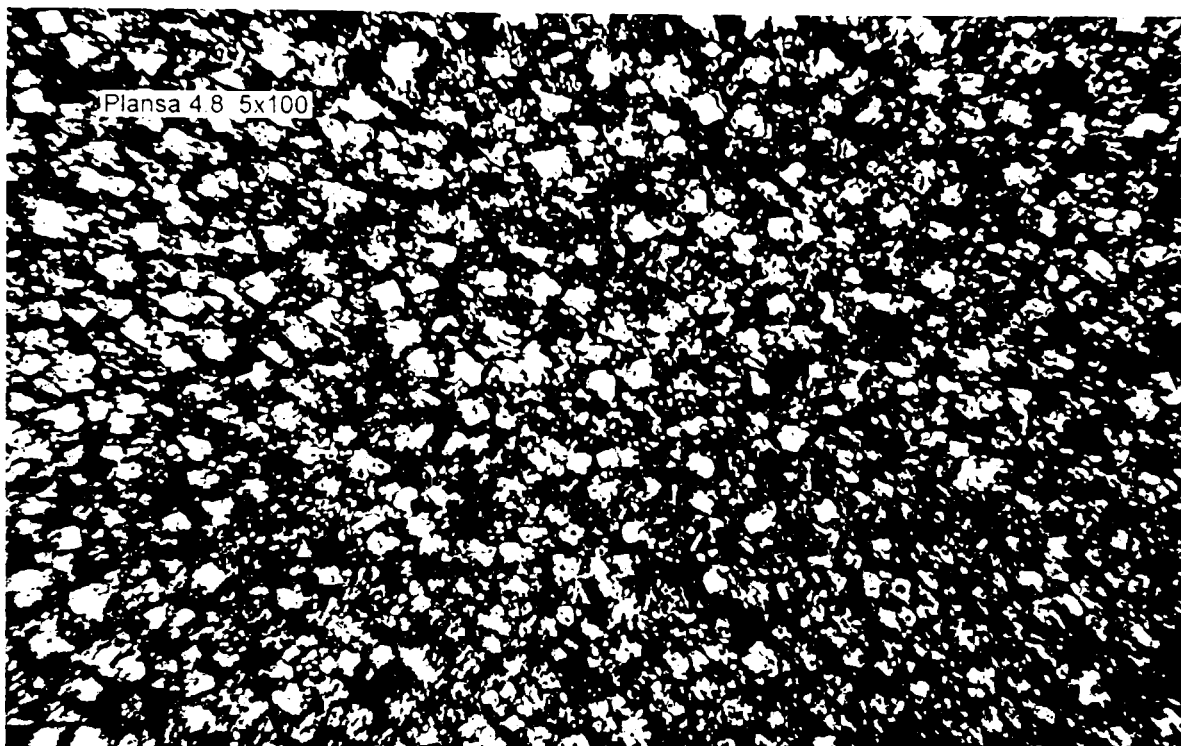


Plansa 4.8 3x500

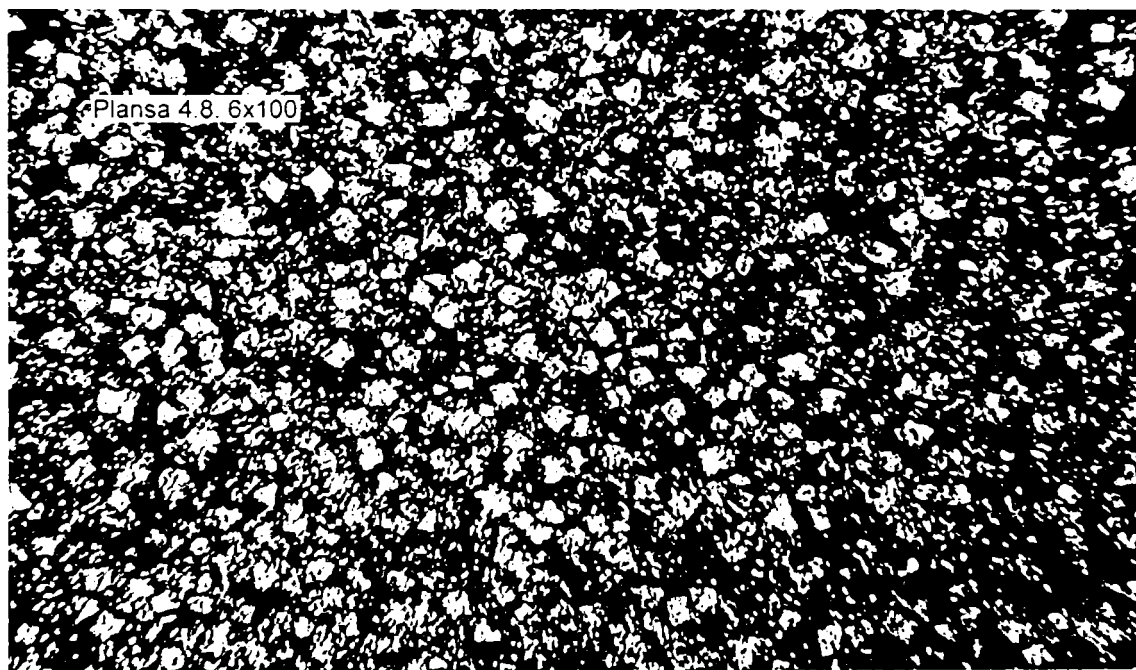
Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat pe vibratorul  
electrodinamic la frecventa de  $3 \times 10^3$  Hz  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 4x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat pe vibratorul  
electrodinamic la frecventa de  $1 \times 10^3$  Hz  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8.9 %, Cu 4.1 %, rest Sn) – vibrat la turatii  
de 8000 [rot/min] (g=9.8) pe  $M_1=53,94kg$   
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



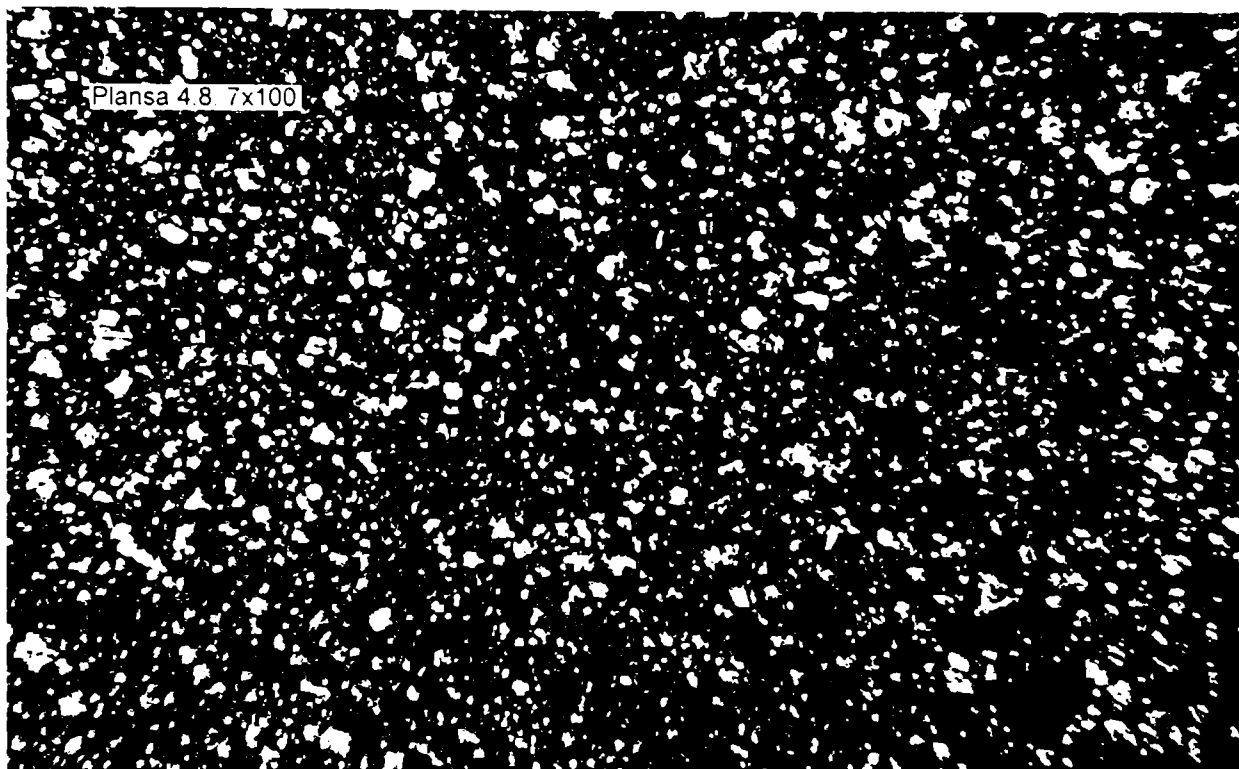
Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4.1 %, rest Sn) -- vibrat la turatii de  
2500 [rot/min] (g=3.8) pe masa  $M_3=16,19 kg$   
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 5x500

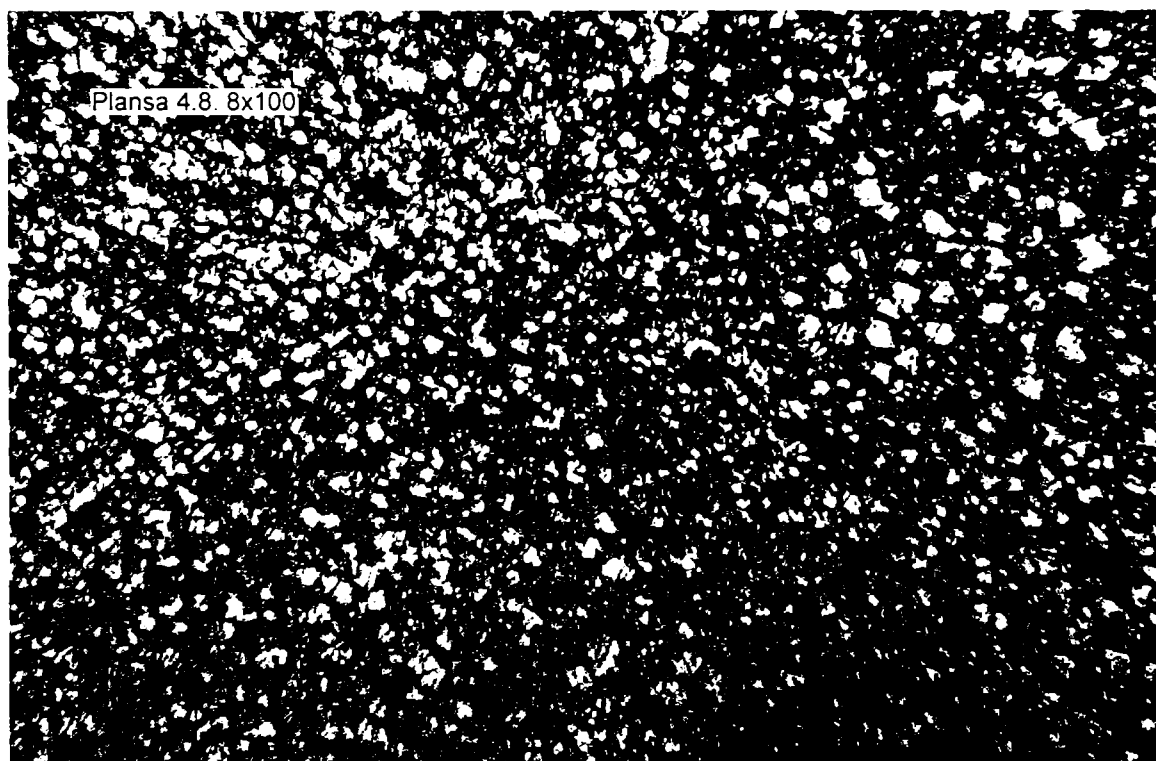
Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
8000[rot/min] ( $g=9,8$ ) pe masa  $M_1=53,94$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 6x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
2500[rot/min] (g=13,8) pe masa  $M_3=16,19$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj LgSnR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat la turatii de  
10.000 [rot/min] (g=13,9) pe masa M<sub>1</sub>=53,94 kg  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj LgSnR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) - vibrat la turatii de  
12.000 [rot/min] (g=18) pe masa M<sub>1</sub>=53,94 kg  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

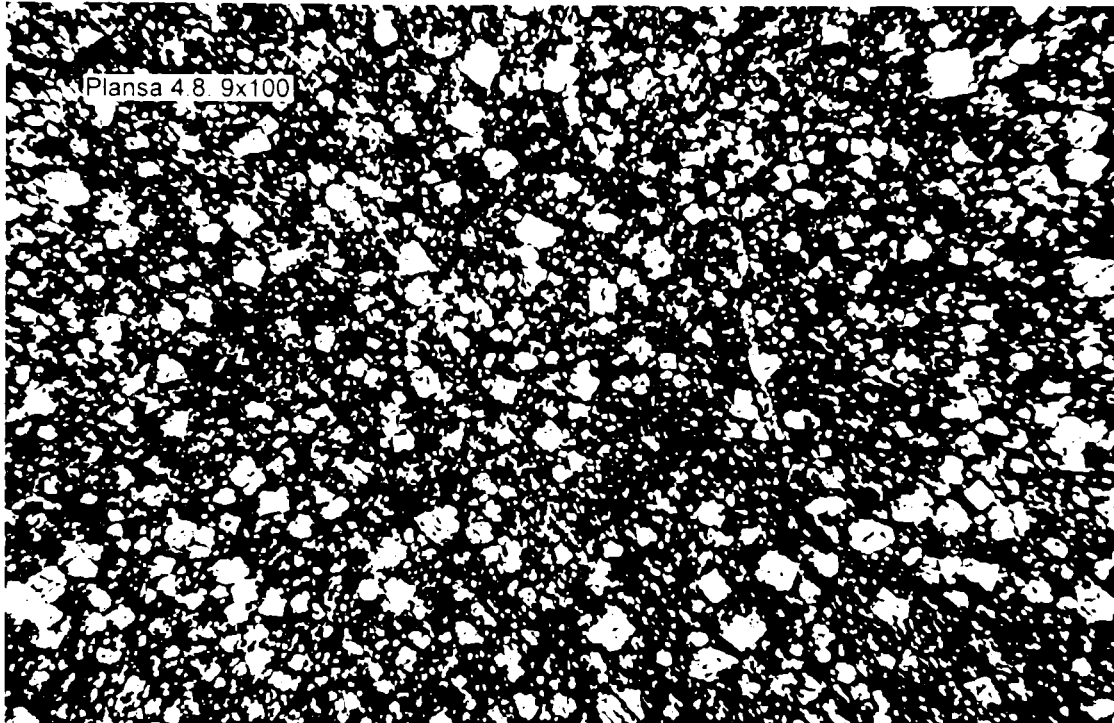
Plansa 4.8 7x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
10000[rot/min] (g=13,8) pe masa  $M_1=53,94\text{g}$   
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.

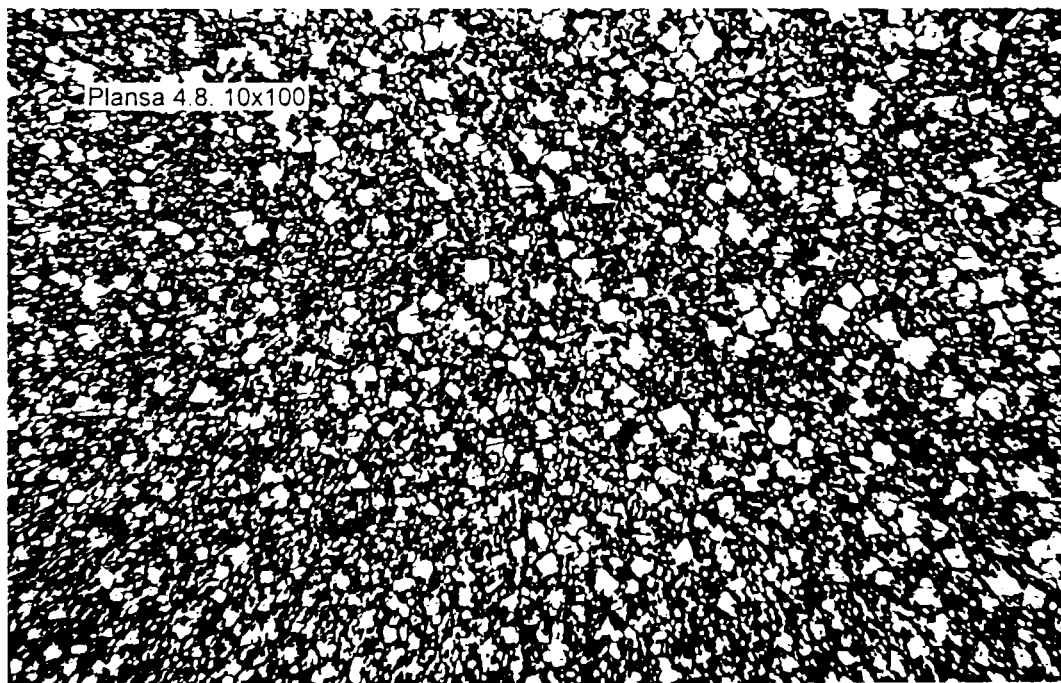
Plansa 4.8 8x500

Aliaj  $LgSnR_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
12000[rot/min] (g=18) pe masa  $M_1=53,94g$   
Atac cu NITAL -  $HNO_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.





Aliaj LgSnR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat pe  
vibratorul electrodinamic la frecventa de  $3 \times 10^4$  Hz  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



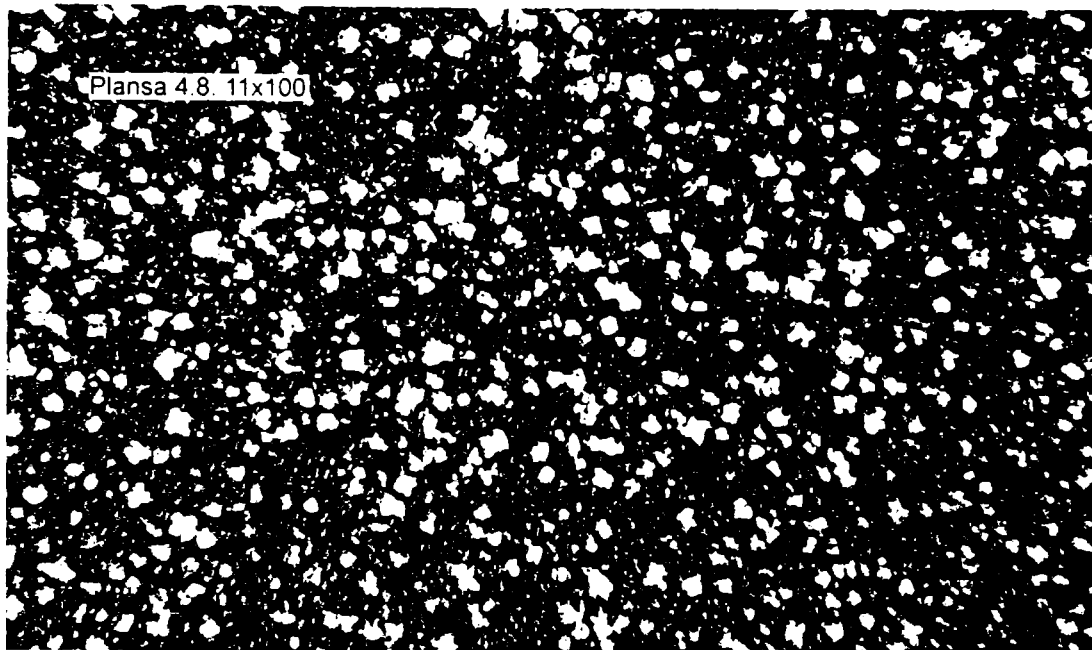
Aliaj LgCuR<sub>2</sub> ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rst Sn) -- vibrat la turatii de  
5500 [rot/min] (g=4,5) pe masa M<sub>1</sub>=53,94 kg  
Atac cu NITAL – HNO<sub>3</sub> (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 9x500

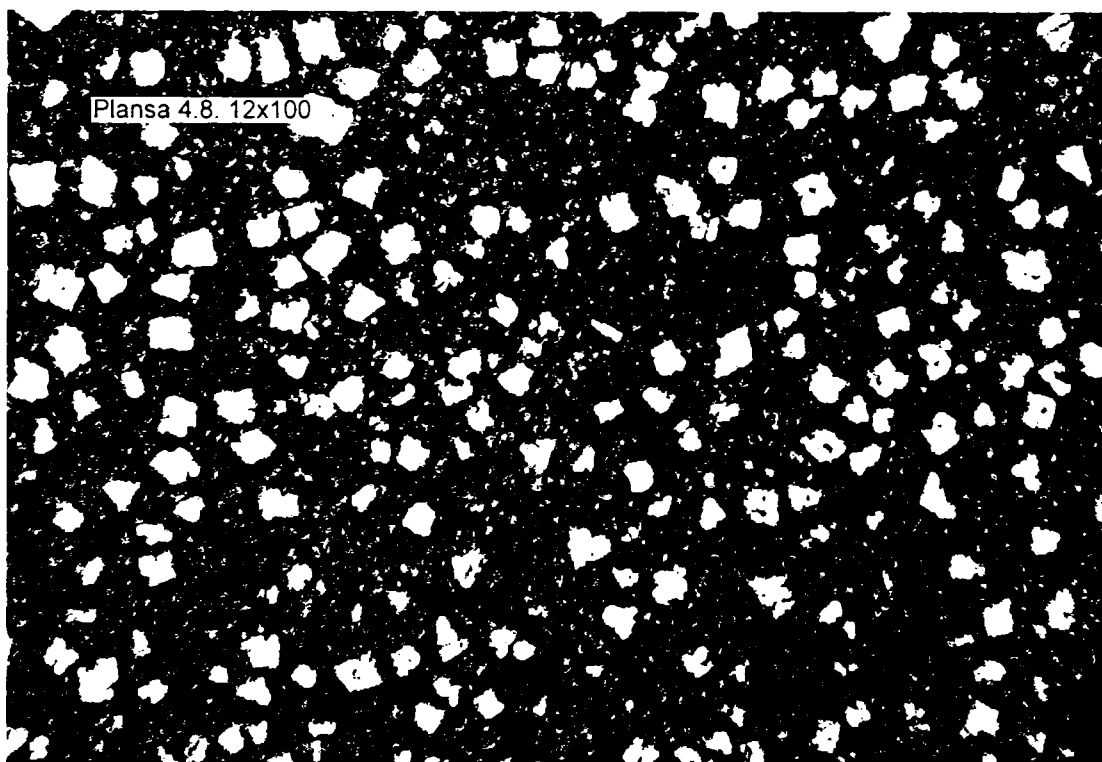
Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) -- vibrat pe vibratorul  
electrodinamic la frecventa de  $3 \times 10^4$  Hz  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 10x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn ) – vibrat la turatii de  
5500[rot/min] ( $g=4,5$ ) pe masa  $M_1=53,94$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat la turatii  
de 4500 [rot/min] ( $g=7$ ) pe  $M_3=16,19kg$   
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.



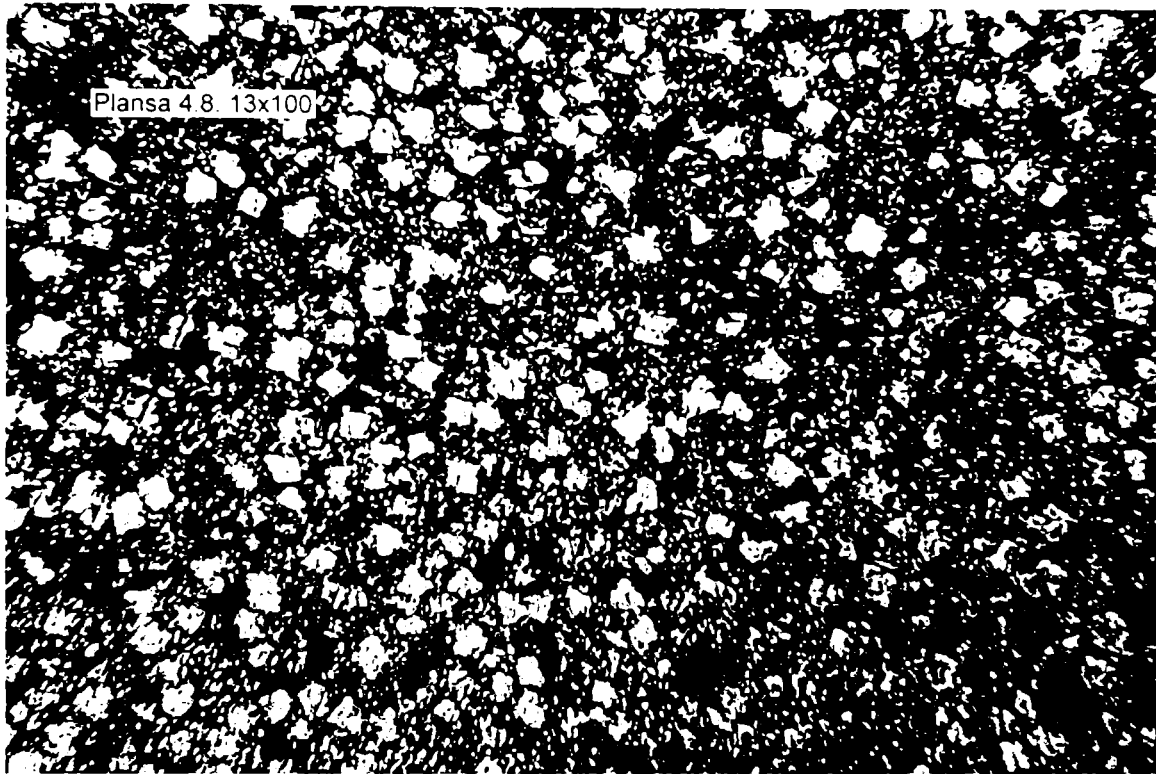
Aliaj  $LgSnR_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat la turatii de  
3000 [rot/min] ( $g=2,1$ ) pe masa  $M_1=53,94 kg$   
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 11x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
4500[rot/min] ( $g=7$ ) pe masa  $M_3=16,19$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.

Plansa 4.8 12x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8,9%, Cu 4,1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
3000[rot/min] ( $g=2,1$ ) pe masa  $M_1=53,94$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  ( Sb 8,9 %, Cu 4,1 %, rest Sn) – vibrat la turatii  
de 2000 [rot/min] ( $g=2,6$ ) pe  $M_3=21,58\text{kg}$   
Atac cu NITAL –  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67%) 5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

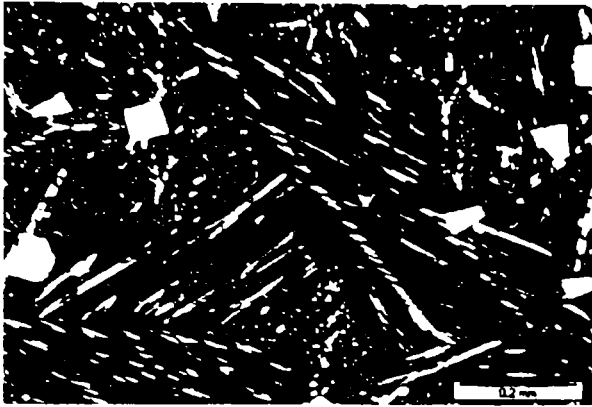
Plansa 4.8 13x500

Aliaj  $\text{LgSnR}_2$  (Sb 8.9%, Cu 4.1%, rest Sn) – vibrat la turatii de  
2000[rot/min] ( $g=2,6$ ) pe masa  $M_2=21,48$  kg  
Atac cu NITAL -  $\text{HNO}_3$  (concentratie 67 %) 5ml si alcool etilic 100ml  
Timp de mentinere 30 sec.



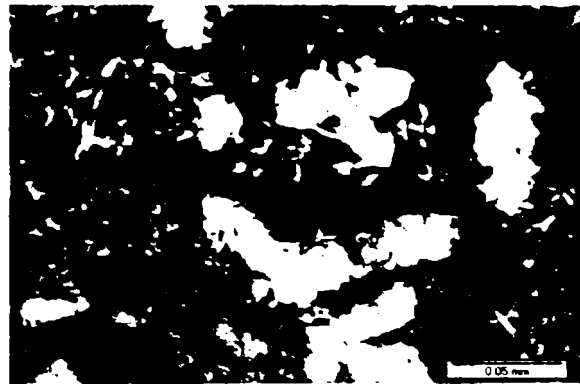
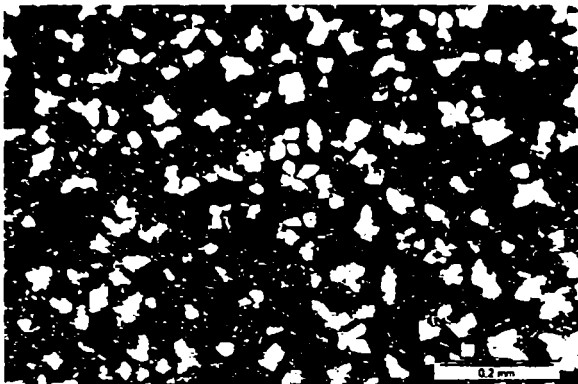
## Plansa 4.8.14

Poz. 1



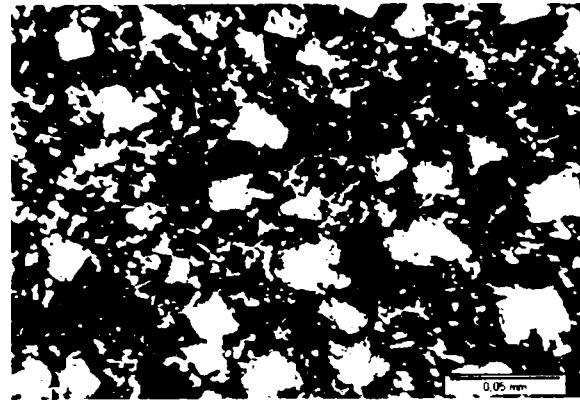
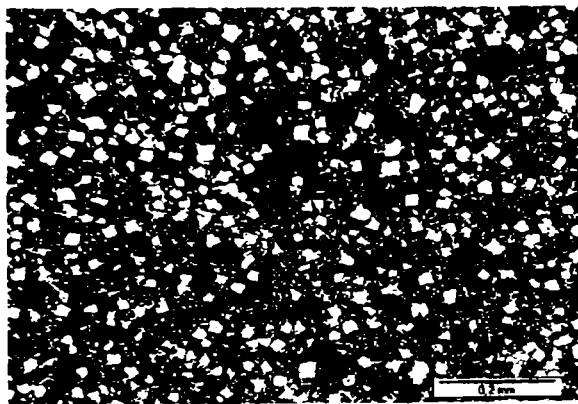
Aliaj  $LgSnR_3$  ( Sb 7,8 %, Cu 3,5 %, rest Sn) – nevibrat  
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Poz. 2



Aliaj  $LgSnR_3$  ( Sb 7,8 %, Cu 3,5 %, rest Sn) – vibrat pe  
vibratorul electrodinamic la frecventa de  $3 \times 10^4$  Hz  
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

Poz. 3



Aliaj  $LgSnR_3$  ( Sb 7,8 %, Cu 3,5 %, rest Sn) – vibrat la turatii  
de 5500 [rot/min] ( $g=4,5$ ) pe  $M_1=53.94$ kg  
Atac cu NITAL –  $HNO_3$  5ml si alcool etilic 100 ml.  
Timp de mentinere 30 sec.

## CAPITOLUL 5

### ESTIMAREA EFICIENȚEI ECONOMICE A TEHNOLOGIEI PROPUSE PENTRU ELABORARE

Așa cum s-a arătat în Capitolul 2, nu s-a putut determina cantitatea de aliaj antifricțiune Sn-Sb utilizată în țară de către societățile comerciale.

Din acest motiv am încercat să determinăm eficiența economică luând în calcul costul pe kg.

Făcând abstracție de cheltuielile de regie și de rebut, costul a 500 kg. aliaj SnSbCu elaborat din materii prime 100% este :

a) compoziția chimică medie : Sb 8%, Cu 3%, Sn 89%

b) cheltuielile pentru combustibil :

$$\text{- gaz metan : } 30 \text{ m}^3/\text{h} \times 3 \text{ h} \times 1 \$ / \text{m}^3 = 90 \$$$

c) cheltuieli cu materiile prime :

$$1 \text{ kg Sn} = 5,3 \$ \times 89 \text{ kg} = 471,7 \$$$

$$1 \text{ kg. Sb} = 1,8 \$ \times 8 \text{ kg.} = 14,4 \$$$

$$1 \text{ kg Cu} = 1,6 \$ \times 3 \text{ kg} = 4,8 \$$$

$$\text{Total cheltuieli} = 490,9 \$$$

$$\text{Total cost} = 580,9 \$$$

Cheltuielile pentru elaborarea a 100 kg. aliaj folosind 60 % șpan

Prețul șpanului este în general cu 50% mai ieftin decât al materiilor prime.

a) cheltuieli pentru combustibil : 90 \$

b) cheltuieli cu materiile prime : 196,3 \$

c) cheltuieli cu șpanul : 147,3 \$

$$\text{Total cheltuieli} : 343,6 \$$$

$$\text{Total cost} : 433,6 \$$$

$$\text{Diferența de cost la 100 kg. este de : } 580,9 \$ - 433,6 \$ = 147,3 \$$$

## CAPITOLUL 6

### CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII PRIVIND CONTINUAREA CERCETĂRILOR

#### 6.1 Necesitatea eliminării As și Cd din aliajele antifricțiune Sn-Sb

Cd și As precum și compușii acestora sunt recunoscuți în unanimitate de cercetători ca fiind elemente cancerigene. Acest fapt a fost dovedit prin analizele efectuate atât pe animale cât și pe oamenii bolnavi de cancer, care au lucrat în mediu de Cd și As. [3. 1].

Cd se găsește în apa potabilă, sol, plante, atmosferă.

La om, Cd este absorbit și înmagazinat în țesuturi, plămâni, inimă, rinichi, sânge, provocând boli vasculare, distrugând acizii grași nesaturați ai membranelor, provocând dureri de stomac, cancer renal, de prostată, sau al vezicii biliare, precum și cancer de piele.

Cd cel mai activ din punct de vedere al efectului cancerigen este Cd ionic.

Cd poate fi absorbit de organismul uman prin : consumul de alimente, apa potabilă, inhalarea de particole contaminate , inhalarea fumului de țigară, expunerea la vapori săi.

Ramurile industriale cu cea mai mare expunere la Cd sunt prelucrarea metalelor neferoase, placarea metalelor, recircularea acestora, producerea bateriilor, a îngrășămintelor chimice, a rășinilor, a maselor plastice.

Cele cinci surse majore de expunere la Cd sunt: topirea minereului de zinc și plumb, prelucrarea și manevrarea pulberilor de Cd, sudarea și retopirea oțelului placat cu Cd, utlizarea pastelor de lipit, topirea aliajelor neferoase cu conținut de Cd.

As se găsește în natură în cantitate mare, în sol, plante, animale.

Toxicitatea lui este scăzută , intoxicațiile făcându-se cu compușii lui, care pot fi organici sau anorganici .

Pătrunderea compușilor As în organismul uman se face prin tubul digestiv, prin căile respiratorii, prin mucoase și prin piele.

Pericolul de contaminare cel mai mare îl reprezintă pulberile de As și vaporii săi.

As provoacă intoxicații, dar și cancer de piele și al membranelor mucoase.

Rapoartele Departamentelor de Sănătate din statele industrializate scot în evidență în fiecare an pericolul de îmbolnăvire cu aceste elemente și impun concentrații cât mai mici din aceste elemente în sol, aer, plante, mediu de lucru, materiale, etc.

Având în vedere cele prezentate, se impune eliminarea As și Cd din aliajele antifricțiune Sn-Sb.

## 6.2 Tehnologia de eliminare a As și Cd

1) Pentru experimentare s-au folosit trei aliaje RL38-93 cu un conținut de 0,35 % As, LgSnR cu un conținut de 1,3 % Cd și Lg SnR<sub>1</sub> cu 1,02 % Cd (conform cap.3.2.1- 3.2.2.)

2) Cercetările teoretice și experimentale au arătat că tehnologia optimă pentru eliminarea Cd și As este evaporarea în vid din următoarele considerente :

- este nepoluantă, As și Cd nu sunt eliminate în atmosferă, ci recuperate prin condensare ;
- pierderile prin oxidare a celorlalte elemente Sn, Sb, Cu sunt mici (Tehnologia fiind rentabilă și din punct de vedere economic – cap.3.2.2 )

3) Datele experimentale au demonstrat valabilitatea teoriei de evaporare în vid și pentru eliminarea As și Cd (chiar dacă acestea sunt în cantități foarte mici).

4) Din experiențele efectuate s-a demonstrat că eliminarea cantitativă a unui element la P și T constant variază în funcție de timp după o curbă determinată de formula :

$$\text{cantitatea de element eliminat} = \% \text{ element în aliaj} \times e^{-\frac{t}{T}} \quad (\text{cap.3 Fig.3.1})$$

5) Eliminarea Cd prin evaporare în vid depinde, în afară de timp și de P și T. În cazul experiențelor efectuate pe o cantitate de 400 g. aliaj cu un conținut de 1,02% Cd la P= 10<sup>-2</sup> torr, T= 800 °C și timp de menținere 60 minute, acesta a fost eliminat până la un procent de 0,09% (Cap.3, Tabelul nr.3.6, Fig.3.1 ) Pentru a-l putea elimina complet este nevoie de modificarea temperaturii (creșterea acesteia) și a presiunii (creșterea acesteia).

6) Eliminarea arsenului prin evaporare în vid (la fel ca și la eliminarea cadmiului), în afară de timp mai depinde de P și T. La o cantitate de aliaj de 400 g. cu 0,35 % As, la P=10<sup>-2</sup> torr și T= 650 ° C cu timp de menținere de 60 minute, As a fost eliminat complet.(Cap.3, Tabelul 3.6)

7) Structurile aliajelor după eliminarea As și Cd nu mai corespund.

- 8) Proprietățile mecanice scad, pentru a putea fi refolosite acestea trebuie elaborate din nou și modificate.
- 9) Eliminarea As și Cd prin topire oxidantă nu este recomandată deoarece As și Cd se elimină în atmosferă, arderile celorlalte elemente sunt mari și din experiențele efectuate reiese că la oxidări (cu  $O_2$ ) la temperatura de 600 ° C și timp de menținere de 15 minute Cd nu se elimină complet.

### 6.3 Tehnologii de obținere a aliajelor antifricțiune Sn-Sb fără Cd și As folosind materiale recuperabile

- 1) Pentru cercetare s-au folosit trei tipuri de aliaje:  $LgSnR_1$  (elaborat cu 50% șpan) pentru tehnologia de elaborare din șpan [cap.4.1 ],  $LgSnR_2$  și  $LgSnR_3$  (elaborate cu 80% șpan) pentru tehnologia de solidificare prin vibrații.(cap.4.3)
- 2) Folosind o compoziție chimică adecvată precum și o tehnologie de elaborare corespunzătoare, aliajul  $LgSnR_1$  fără Cd și As a fost adus la proprietăți apropiate aliajelor elaborate din materii prime fără Cd și As, dar sub proprietățile celor aliate cu As și Cd.
- 3) Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice și tribologice ale aliajelor antifricțiune  $LgSnR_2$  și  $LgSnR_3$  (Sn- Sb-Cu) în vederea aducerii lor la nivelul aliajelor cu As și Cd, s-a utilizat tehnologia de vibrare în timpul solidificării. Influențele vibrațiilor asupra celor două aliaje au fost următoarele :

- a) A scăzut dimensiunea cristalelor portante SnSb ( $\alpha-\beta'$ ) de la 50  $\mu m$  nevibrat la 15  $\mu m$  vibrat.(Tabelul 4.7)
- b) A crescut numărul cristalelor SnSb pe  $mm^2$  de la 200 la 900 (Tabelul 4.7).
- c) Distribuția cristalelor de SnSb este destul de uniformă .
- d) A crescut numărul de cristale  $Cu_3Sn$ , iar acestea au fost uniform repartizate .
- e) A crescut numărul de cristale de  $Cu_6Sn_5$  din matrice, ele fiind uniform repartizate.

Aceste modificări de structură s-au produs datorită vibrațiilor care au indus în materialul lichid presiuni mari. Aceste presiuni la rândul lor au determinat

-creșterea numărului de germeni eterogeni prin dispersia incluziunilor în interiorul materialului lichid;

- micșorarea razei critice de formare a germeilor eterogeni, datorită scăderii unghiului de umectare și a tensiunii superficiale :

- creșterea vitezei de difuziune a atomilor ;

- ruperea mecanică a vârfurilor dendridelor ,care la rândul lor devin centre de germinare ;

f) Modificările de structură au condus la creșterea proprietăților mecanice care se apropie de proprietățile mecanice ale aliajelor aliate cu Cd și Ni. [ Tabelul 4.8 ]

g) Din literatura de specialitate studiată și din experiențele efectuate s-a constatat că îmbunătățirea structurii aliajelor Sn-Sb se poate face pe trei căi :

1) prin creșterea vitezei de răcire ;

2) prin modificare cu anumite elemente de aliere;

3) prin vibrare ;

1) Modificarea structurii prin creșterea vitezei de răcire se poate face la rândul ei prin:

a) răcirea cu aer și apă ; [72] În cazul acesta dimensiunile grăunților scad la jumătate, dar apar și unele inconveniențe , cum ar fi :

a. la aliajul Sb 7%, Cu 3%, Sn rest , la o creștere mare a vitezei de răcire  $> 4$  °C/ min., cristalele portante de Sn Sb dispar.

b. La aliajul Sb 11%, Cu 5 %, rest Sn, cristalele de SnSb nu mai sunt uniform repartizate, ele având aranjament dendritic.

Toate acestea duc la scăderea proprietăților mecanice și tribologice.

b) prin tehnica *splat* [43] cristalele de Sn Sb se micșorează de la 50 μm la 10 μm, procedeul neputându-se aplica în practică .

c) prin centrifugare [43] cristalele de Sn-Sb se micșorează de la 50μm la 1,4 μm. Se obțin aliaje cu grosimi de microni (grosimi identice cu tehnologia aliajelor amorfe). Tehnologia nu se poate aplica în practică.

2)Modificările de structură în aliajele antifricțiune SnSb prin introducerea de elemente de aliere As,Cd, Ni, Te, etc. (care crează centrii de germinare eterogeni sau durifică matricea ) au dezavantajul că aceste elemente segregază atât la turnarea statică cât și la turnarea

centrifugală datorită greutateii lor specifice diferite față de cea a aliajului de bază. Din această cauză proprietățile mecanice și tribologice ale aliajelor se reduc.

3) Modificarea structurii prin vibrare. În cazul acestei tehnologii cristalele de SnSb se micșorează de la 45 μm la 15 μm, au o repartizare destul de uniformă și sunt destul de bine conturate. Cantitatea de cristalele de  $Cu_3Sn$  și de  $Cu_6Sn_5$  crește, iar acestea sunt destul de uniform repartizate în aliaj. Procedul se poate aplica în practică la turnarea statică a cuzinetelor, mai ales a celor mari unde nu se poate realiza o viteză de răcire mare pentru sfârșitărea structurii.

#### 6.4 Instalația de vibrare mecanică cu mase neechilibrate

a) Pentru a putea obține o structură corespunzătoare, instalația trebuie să atingă parametrii (turația, accelerația) într-un timp foarte scurt ( $N=12000$  trebuie să fie atinsă în max. 7-10 sec.).

b) Aceeași accelerație se poate obține și pe turații mai mici folosind excentrice diferite sau mase vibratoare diferite.

c) Modificări importante ale structurii (cele mai bune) s-au obținut pe masa  $M_1$  într-un domeniu de turații de 5000-6000 rot./min. corespunzând 3 respectiv 6[g.], unde se atinge o armonică a frecvenței de rezonanță, crescând astfel densitatea spectrală de putere.

#### 6.5 Contribuții originale rezultate în urma cercetărilor efectuate

a) Prin studiul teoretic s-a reușit o sinteză a literaturii de specialitate din domeniul aliajelor antifricțiune pe bază de Sn-Sb [cap.1].

b) S-a propus o tehnologie de recuperare a materialelor recirculabile din aliajele Sn-Sb [cap.2].

c) S-a demonstrat că prin elaborare în vid As și Cd se pot extrage din aliajele Sn-Sb, chiar dacă aceste elemente sunt într-o cantitate mai mică, deducându-se o formulă din care rezultă evaporarea în funcție de timp la P și T constant [cap.3].

d) S-a proiectat și executat o instalație de vibrare mecanică cu mase neechilibrate (concepție proprie în curs de brevetare) la nivel de producție [cap.4].

e) S-a demonstrat că îmbunătățirea structurii aliajelor antifricțiune SnSb se poate face și prin vibrare. Proprietățile mecanice ale aliajelor antifricțiune Sn Sb fără Cd și As au fost

aduse prin aplicarea vibrațiilor în timpul solidificării la proprietățile aliajelor antifricțiune aliate cu Cd, As, Ni.

f) Procedeul se poate aplica în practică la turnarea statică a cuzineților (mai ales a celor mari).

#### **6.6 Direcții de continuare a cercetărilor**

În urma rezultatelor obținute pe parcursul cercetării , propunem următoarele direcții :

a) Pentru a mări productivitatea eliminării prin evaporare în vid a As și Cd trebuie proiectată o instalație cu următoarele caracteristici :

- cuptor de topire cu dimensiunile  $D/H \geq 1$ .

-vid de difuziune cel puțin de  $10^{-5}$  torr

-vibrarea aliajului în timpul solidificării

b) Pentru a crește performanțele instalației de vibrare cu mase neechilibrate propunem înlocuirea motorului asincron de curent alternativ [P 2,2= kW, N= 17000 rot./min] cu un motor asincron de curent alternativ de 5 kW și N= 30000 rot./min. Motorul va fi fixat direct pe vibrator, iar antrenarea excentricului se va face direct de către axul motorului (fără piesă intermediară).

c) Cercetările se vor continua și asupra altor tipuri de aliaje antifricțiune modificându-se parametrii instalației.

d) Se vor continua cercetările pe aliajele antifricțiune folosind procedeul cu ultrasunete de mari energii.



## Chapter 6

### Final Conclusions. Original Contributions. Future Research Lines

#### 6.1 The Necessity of Cadmium and Arsenic Elimination from Sn-Sb Antifriction Alloys

Cadmium, arsenic and their compounds are widely recognized by researchers for their carcinogenic effects. The evidence that these elements are human carcinogens is supported by the analyses carried out both on animals and on people suffering from cancer and that had formerly been exposed to cadmium and arsenic during their work. [3.1].

Cadmium can occur in drinking water, soil, plants and ambient air.

The human body absorbs cadmium and stores it mainly in tissues, lungs, heart, kidneys and blood, generating cardio-vascular diseases, destroying the unsaturated fat acids of the membranes and producing pains in the stomach as well as various forms of cancer, such as kidney, prostate, bladder or skin cancer.

Studies have revealed that the most active form of cadmium, as far as the carcinogen effect is concerned, is the ionic cadmium.

The human body absorbs cadmium from food, drinking water, through the inhalation of cadmium- containing particles from ambient air and cigarette smoke, through exposure to cadmium vapours.

The industrial branches with highest cadmium exposure rates are: the processing of nonferrous metals, the coating and electroplating of metals, the recycling of metals, the production of batteries, of fertilizers, resins and plastics.

Within these industries, the five major sources of occupational exposure are: smelting of zinc and lead ores, handling and processing of cadmium powders, welding or remelting of cadmium – coated steel, working with solders that contain cadmium, smelting of nonferrous cadmium – containing alloys.

Arsenic is a naturally occurring element, widely distributed in soil, plants and animals. Although its toxicity is low, the organic and inorganic compounds get into the human body via the digestive system, through breathing, the mucous membranes and skin.

The most dangerous are the arsenic powders and vapours. Exposure to arsenic compounds may generate intoxications and even skin cancer or cancer of the mucous membranes.

The yearly reports issued by the Health Departments of developed countries highlight the dangerous effects of these elements for the human health and stipulate ever lower permissible limits in soil, ambient air, plants, working areas, materials, etc.

Taking into account the aforementioned facts, the elimination of arsenic and cadmium from Sn-Sb antifriction alloys has become a necessity.

## 6.2 Technologies for the elimination of As and Cd

- 1) Three types of alloys have been used in our experiments: RL 38- 93 0.35 % As alloy; LgSnR 1.03% Cd alloy; and  $LgSnR_1$  1.02 % Cd alloy (as per chapter 3.2.1.- 3.2.2.)
- 2) The theoretical and experimental research have shown that the optimum technology for the elimination of As and Cd is through evaporation in vacuum, due to the following reasons:
  - This technology is pollution – free, as Cd and As are not released in the atmosphere but recovered by means of condensation;
  - The losses of other elements, such as Sn, Sb, Cu due to oxidation, are low.(This technology is also economically profitable- chapter 3.2.2).
- 3) The experimental data have shown the validity of the theory of evaporation in vacuum for the elimination of As and Cd (even if they are in very small quantities)
- 4) The experiments that were carried out have demonstrated that the quantitative elimination of an element if P and T are constant, depends on time, varying along a curve determined by the following formula:

$$\text{Quantity of eliminated element} = \% \text{ element in alloy} \times e^{-\frac{t}{T}} \quad (\text{chap. 3, Fig.3.1})$$

- 5) Elimination of Cd by means of evaporation in vacuum depends, besides time, on P and T. At experiments performed on a quantity of 400 g. of alloy containing 1.02% Cd, at  $P= 10^{-2}$  torr,  $T= 800^\circ \text{C}$  and a holding time of 60 minutes, Cd was eliminated down to 0.09% (Chap.3, Table no.3.6, Fig.3.1). In order to eliminate Cd completely pressure and temperature have to be increased.
- 6) Besides time, the elimination of arsenic by means of evaporation in vacuum (likewise the elimination of cadmium) also depends on P and T. For an amount of 400

gr. alloy containing 0.35% As , at a  $P= 10^{-2}$  torr and  $T= 650$  ° C with a holding time of 60 minutes. As was eliminated completely. (Chap.3, Table 3.6)

7) The structures of the alloys after Cd and As have been eliminated are no longer adequate [Plate 3.6]

8) The mechanical properties are weaker, so the alloys have to be newly elaborated in order to be suitable for processing.

9) The elimination of As and Cd by means of oxidizing fusion is not recommendable because As and Cd are released into the atmosphere, the burning rates of the other elements in the alloy are high and the experiments carried out have shown that during oxidation processes (with  $O_2$ ) at a 600 ° C temperature and a 15 · holding time, Cd is not completely eliminated.

### **6.3. Technologies for the Elaboration of Sn-Sb Antifriction Alloys Using Recycled Materials**

1) The experiments were carried out on three types of alloys :  $LgSnR_1$  (elaborated from 50% chips) for the elaboration technology that uses chips;  $LgSnR_2$  and  $LgSnR_3$  (elaborated from 80% chips) for the technology of solidification with vibrations.

2) Using an adequate chemical composition and a suitable elaboration technology, the  $LgSnR_1$  alloy without Cd and As has acquired characteristics close to those of alloys elaborated from raw materials without Cd and As. However, these characteristics fall behind those of alloys containing Cd and As.

3) In order to improve the mechanical and tribological properties of antifriction alloys  $LgSnR_2$  and  $LgSnR_3$  (Sn-Sb-Cu) and to bring them to the same level as the alloys containing Cd and As, we applied a technology that uses vibrations during the solidification process.

The influences of the vibrations upon the two alloys were as follows:

- a) The size of the carrying SnSb crystals (phase  $\beta'$ ) diminished from 50  $\mu\text{m}$  in the non-vibrated alloys to 10  $\mu\text{m}$  in the vibrated one.
- b) The number of SnSb crystals per  $\text{mm}^2$  increased from 200 to 900 (Table 4.7)
- c) The SnSb crystals are very evenly distributed.

d) The number of  $Cu_3Sn$  crystals increased and they were evenly distributed in the matrix.

e) The number of  $Cu_6Sn_5$  crystals increased and they were evenly distributed in the matrix.

These changes in the structure occurred due to the vibrations that induced high pressures in the liquid material. These pressures in their turn, determined:

-the increase in number of the heterogeneous grains via the dispersion of the inclusions inside the liquid material;

-the decrease of the critical radius within which the heterogeneous grains were formed, due to the diminishing of the damping angle and of the surface tension;

-the increase of the atom diffusion speed;

-the mechanical fracture of the dendrite tips which in their turn became germination centers.

f) The structural changes have led to a strengthening of the mechanical properties which are close to those of alloys containing Cd and Ni [Table 4.8].

g) The literature consulted so far and the experiments carried out have shown that the structure of the Sn Sb alloys can be improved in three ways:

1) By increasing the cooling rate;

2) Through the addition of alloying elements;

3) By means of vibrations;

1) The change of structure by the increase of the cooling rate can be performed in its turn by:

a) cooling with air and water [72]; In this case the dimensions of the grains are diminished to a half, but the method has also its drawbacks, such as:

- for an alloy with a composition of 7% Sb, 3%Cu and the rest Sn , if the cooling rate is quickly increased  $> 4$  °C /min., the carrying Sn Sb crystals disappear.

- for an alloy with a composition of 11 % Sb, 5 % cu and the rest Sn , the SnSb crystals are no longer evenly distribute in the matrix, their array being dendritic.

All these aspects lead to weaker mechanical and tribological properties.

b) through the “splat “ technique [43] the Sn Sb crystals diminish their size from 50  $\mu\text{m}$  to 10  $\mu\text{m}$ , but the procedure cannot be applied.

c) by the spinning technique [43], the Sn Sb crystals diminish their size from 50  $\mu\text{m}$  to 1.4  $\mu$ . The alloys manufactured through this procedure have a thickness of a few microns, (similar to the thickness of amorphous alloys). This technology is not practicable.

2) The structural changes of the Sn Sb antifriction alloys obtained by the addition of alloying elements, such as As, Cd, Ni, Te, etc. (which generate heterogeneous germination centers or hardens the matrix) have the disadvantage that these elements segregate both during static and centrifugal casting due to the fact that their specific gravities differ from that of the base alloy. That is why the mechanical and tribological properties of the alloys are weaker.

3) The structural changes obtained by means of vibrations – Through the use of this technology the Sn Sb crystals diminish from 45  $\mu\text{m}$  to 15  $\mu\text{m}$ , their distribution is quite even and they are clearly outlined.

The amount of  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  and  $\text{Cu}_5\text{Sn}_6$  crystals increases, they being evenly distributed in the alloy. This procedure is practicable for the static casting of the bearings, mainly for the large bearings where higher cooling rates necessary for the grain refining cannot be achieved.

#### **6.4 The Vibrating Equipment with Unbalanced Tables**

a) In order to obtain an adequate structure, the equipment has to attain the optimum parameters (rotation speed, acceleration) in a very short period of time ( $N \approx 12\ 000$  in max. 7-10 sec.).

b) The same acceleration can be obtained at lower rotation speeds if different eccentric parts or vibrating tables are used.

c) Significant structural changes (the best values) have been obtained on vibrating table  $M_1$  within a speed range of 5000- 6000 r.p.m., corresponding to an acceleration of 3 and respectively 6 g, where a concord of resonance frequency is attained, while the spectral power density increases.

#### **6.5 Original Contributions.**

a) The theoretical study undertaken has lead to a synthesis of the literature concerning the Sn Sb antifriction alloys [chap.1].

b) A technology for the recycling of the Sn Sb alloys has been proposed [Chap.2].

c) Our experiments have shown that As and Cd can be extracted from the Sn Sb alloys even if these alloys contain smaller amounts of As and Cd, by means of inferring a

formula which states that evaporation is dependent on time if T and P are constant values [Chap.3].

d) A vibrating equipment with unbalanced tables (the obtaining of a patent being under way at the moment) has been designed and manufactured and it can be used in the production process [Chap.4]

e) it has been demonstrated that the improved structure of the Sn Sb antifriction alloys can be obtained by means of vibrations . If vibrations are applied during the solidification process, the mechanical properties of the Sn Sb antifriction alloys without Cd and As have become similar to the properties of the antifriction alloys containing Cd, As, Ni.

f) The procedure is practicable for the static casting of bearings (mainly for the large bearings).

### **6.6 Future Research Lines**

Following the results obtained we suggest the following future research lines:

a) In order to increase the productivity of As and Cd elimination via evaporation in vacuum , an equipment with the following characteristics has to be designed:

- a melting furnace with the dimensions  $D/H \geq 1$
- diffusion vacuum of at least  $10^{-5}$  torr
- vibration of the alloy during solidification

b) In order to improve the performance of the vibrating machine with unbalanced tables, the asynchronous a.c. motor [P= 2.2kW; N=17000 r.p.m.] should be replaced with an asynchronous a.c. 5 kW and 30 000 r.p.m. motor located on the vibrating machine. Thus the eccentric part will be driven by the motor shaft (without any intermediate part).

c) Altering the parameters of the equipment, the research could be expanded on other types of antifriction alloys .

d) In the future, research upon antifriction alloys should be continued using procedures with high energy ultrasounds .

## **CURRICULUM VITAE**

### **1. Date biografice**

Numele și prenumele : Huțiu M. Gheorghe

Data și locul nașterii : 1956, 8 octombrie, loc. Susag, jud.Arad

### **2.Starea civilă :căsătorit**

**3.Studii :** Universitatea “Politehnica” București, Facultatea de Metalurgie, specializarea Turnătorie- 1982

### **4.Funcții academice / administrative**

- Metalurg șef în cadrul S.C. ARIS S.A. ARAD 1990-1993
- Secretar șef în cadrul Universității Aurel Vlaicu din Arad 1993-1996
- Șef lucrări în cadrul Universității Aurel Vlaicu din Arad 1996- în prezent

### **5.Domeniul științific**

Cursuri predate în cadrul Universității A. Vlaicu Studiul materialelor, Tehnologia materialelor, Tratamente termice, Materiale metalice, Materiale compozite.

### **6. Publicații**

- 10 articole din domeniul turnătoriei, tratamentelor termice și solidificării materialelor

### **7. Adresa – oficială : Universitatea Aurel Vlaicu din Arad**

B-dul Revoluției nr.81 2900 Arad

Telefon : 0257/ 281070; Fax : 0257/ 283010

- privată : Str. Basarab I nr. 1 2900 Arad

Telefon : 0257/ 286367 ;

e-mail : carold@inext.ro

## BIBLIOGRAFIE

1. ALBIȚĂ, RĂDULESCU. *Bazele proceselor de turnare a metalelor și aliajelor*. Editura Tehnică București, 1970.
2. ALEXANDRESCU, GRIGORE . *Pompe de vid*. Editura Tehnică București, 1972
3. ATKINS, P.W. *Tratat de chimie fizică*. Editura Tehnică București ,ediția a 5-a, 1996
4. BALABAN, GHEORGHE, *Utilizarea ultrasunetelor în industria metalurgică și în industria constructoare de mașini*, I.D.T. București, 1957
5. BALEKICS, MARCU .*Tribologie*. Timișoara , 1991
6. BRABIE, V. ș.a. *Bazele teoretice ale turnării*. Editura Didactică și Pedagogică București, 1980
7. BRASZCZYNSKI, *Mecanisme de l'influence des vibrations sur la cristallisation des alliages de fonderie .Memoires et Etudes Scientifiques*.
8. CAIBA, V.A. ș.a. *Utilaje pentru metalurgia neferoasă secundară*. Editura Tehnică, București
9. CĂMUI, C. *Cercetări privind influența tratamentelor fizico-mecanice asupra solidificării pieselor turnate*. Teză de doctorat, București 1980.
10. CONSTANTINESCU, V.N. *Lagăre de alunecare*. Editura Tehnică, București, 1980
11. DONET, ANDREI .*Chimie analitică și analiză instrumentală* .I. P. București, 1990.
12. DRAGOȘ, Z., MOLDOVAN C., EPURE M. *Folosirea sunetelor și ultrasunetelor la turnarea metalelor*. *Metalurgia* nr.8/ 1963.
13. DRĂGAN, O. ș.a. *Ultrasunete de mari energii*. Editura Academiei 1983.
14. \* \* \* FAUR București. *Norme interne privind elaborarea și turnarea aliajelor antifricțiune*. 1994
15. FLOREA , OCTAVIAN, ș.a. *Operații și utiliaje în industria chimică*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
16. FIRITEANU, V .*Pomparea și antrenarea electromagnetică a metalelor topite*. Editura Tehnică, București ,1986.
17. FIRITEANU V. *Agitarea electromagnetică a metalelor topite și aplicațiile sale industriale*. *EEA Electrotehnică* nr.2 /1986.



18. FISHER, T.P. *Effects of vibrational energy on the solidification of aluminium alloys* . British Foundryman nr.3/73.
19. GALAEB, N.N. *Cercetarea aliajelor antifricțiune pentru cuzineți de motoare navale*. Ir. Tr. Leningrad , 1978
20. GÂDEA, S., GERU M, ș.a. *Metalografie*. Editura Didactică și Pedagogică București , 1974
21. GÂDEA S., PETRESCU M., *Metalurgia fizică și studiul metalelor vol.II*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
22. GÂDEA S., PROTOPOPESCU N. *Aliaje neferoase*. Editura Tehnică, București, 1978
23. GHEORGHE, C-TIN *Controlul texturii metalelor cu radiații x* Editura Tehnică, București, 1994.
24. HARIS,C.,M., CREDE, C.,E. *Șocuri și vibrații* vol.I, Editura Tehnică și Pedagogică, București, 1968
25. HITERMNANN, H.E. ș.a. *Noi materiale de lagăre pentru aplicații în tehnica vidului înalt* în Luftfahrttechnik Ramfahrttechnik , vol.16 /1970 RFG
26. HÜTTE *Manualul inginerului*. Editura Tehnică, București, 1996.
27. HUȚIU ,GHEORGHE. *Studii și cercetări privind eliminarea As și Cd din aliajele antifricțiune Sn Sb prin topire în vid*. Analele Univ. A.Vliacu Arad ,2000
28. HUȚIU, GHEORGHE *Tehnologia de obținere a aliajelor antifricțiune SnSb fără Cd și As, folosind materiale recuperabile*. Analele Univ. A.Vlaicu, 2000
29. HZROYNKI Y , TOHRU ISHIRO *Vibration during solidification*. Congres Mondiale de Fonderie , Krakovia , 1991.
30. \* \* \* ICEM București *Studii asupra recuperării și valorificării deșeurilor metalice provenite din industria constructoare de mașini*.
31. IENCIU, M., MOLDOVAN, P.ș.a. *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
32. IENCIU, M., MOLDOVAN, P.ș.a *Elaborarea și i turnarea aliajelor neferoase speciale* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
33. ION, RADU *Utilizarea vibrațiilor în procesul de prelucrare mecanică* Ref. Nr.1 Teză de doctorat, Cluj,1993
34. IONESCU, I., VERMEȘAN, E. *Chimie metalurgică*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981

35. KASOVIC, I. *Cercetări asupra influenței As asupra diverselor forme de cristale ale fazei SnSb în aliajele de lagăre SnSb* . În Metall.? Vol. 25 nr.9 1971
36. KÖNEZAR; B.A. *Utilaje pentru metalurgia neferoasă secundară*. 1981
37. KRANFORD, A. *Tehnica ultrasunetelor* Editura Tehnică, București, 1965.
38. LEGER, M ș.a. *affinement de grain de solidification par vibration mecaniques* . În Etudes bibliographiques .Fonderie. Fevrier , 1997
39. LICEA, IOAN *Fizica metalelor*. ESE, București ,1986
40. \* \* \* *Manualul inginerului metalurg* vol. I și II Editura Tehnică, București, 1978
41. MARIAN, GHEORGHE *Tehnica vidului și aplicațiile ei în industrie* . II Editura Tehnică, București , 1987
42. MASERE, C. *Effets des vibrations sur les alliages en fusion ou en cours de solidification* . În Etudes bibliographiques . Fonderie. Octobre, 1962
43. MOLDOVAN, PETRU *Topirea deșeurilor și elaborarea aliajelor neferoase secundare*. Metalurgia nr.7/ 1994.
44. MUSTAFA KAMAL, ABU BAKR EL BEDEWEI, TAREK EL ASHRAM *Proprietățile structurale și termice ale aliajelor de cuzineți Sn Sb Cu Al cu solidificare rapidă*. Teză de doctorat, Universitatea Mansoura, Egipt, 2002
45. \* \* \* NEFERAL București *Instrucțiuni interne de elaborare și turnare a aliajelor neferoase*.
46. NENIȚESCU, C.D. *Chimie generală*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
47. NGUEN VAN HOO *Contribuții la studiul aliajelor antifricțiune pentru motoarele tractoarelor și automobilelor* Teză de doctorat, Universitatea Gh.Asachi, Iași, 1988
48. NICULAE, VIRGILIU, LESCU, C. ș.a. *Lagăre de alunecare*. Editura Tehnică, București, 1980
49. OPREA, FLOREA *Teoria proceselor metalurgice* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986
50. OPREA, FLOREA *Teoria proceselor metalurgice pentru aliaje neferoase* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1988
51. OPREA, FLOREA ș.a. *Metalurgiile elementelor însoțitoare ale metalelor neferoase uzuale ???*

52. PAVELESCU, DAN *Tribotehnica* Editura Tehnică București
53. PAVLOV, C., F., *Procese și aparate în ingineria chimică* Editura Tehnică București, 1981
54. PĂRĂUȘAN, V *Tehnologii chimice*. ESE București , 1982
55. POPA, BAZIL ș.a. *Schimbătoarele de căldură industriale* Editura Tehnică, București, 1977
56. POPA, VIRGIL , ș.a. *Valorificarea deșeurilor metalice* Editura Tehnică București, 1973
57. PREDESCU, CRISTIAN *Cercetări privind intensificarea prin ultrasunete a proceselor de ardere în agregate metalurgice* Teză de doctorat, U.P. București, 1992
58. SĂNDULESCU, D-TRU *Chimie fizică* E.S.E. București, 1979
59. SIROTIN, I.I. *Fizica cristalelor* E.S.E. București, 1981
60. SOFRONI, L. *Elaborarea și turnarea aliajelor* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975
61. \* \* \* SR. EN 10002-1 *Încercarea la tracțiune a materialelor metalice*.
62. STARINOV, A.G. *Aliaje de antifricțiune pentru cuzineți de alunecare* În Nauciu tr. Krasnodarsk Politehnica Fascicola 23, nr.1 ,1968.
63. \* \* \* STAS 202 –73 *Aliaje antifricțiune pe bază de Sn, Pb, Al*.
64. \* \* \* STAS 4203 –74 *Turnarea și pregătirea probelor metalografice*.
65. STOICA, L. ș.a. *Chimie pentru metalurgie* Editura tehnică, București, 1972
66. STOICA, L. MĂRCULEȚIU, V. ș.a. *Chimie pentru metalurgi* Editura Tehnică, București, 1987
67. ȘTEFĂNESCU, FL. *Cercetări privind dirijarea procesului de solidificare a aliajelor turnate în piese* Teză de doctorat. București 1989
68. TIPEI, N. ș.a. *Lagăre de alunecare* Editura Academiei 1971
69. \* \* \* TRACTORUL Brașov *Norme interne pentru elaborarea și turnarea aliajelor antifricțiune pentru cuzineți*.
70. TRIPȘA, IOSIF *Bazele teoretice ale metalurgiei extractive*. Editura tehnică , 1969.
71. TRUȘCULESCU, MARIN *Studiul metalelor* Editura Didactică și Pedagogică , București, 1977
72. TRUȘCULESCU, MARIN, *Studiul materialelor, analize și încercări* .Timișoara , 1992

73. TRUȘCULESCU, MARIN , CUCUREZ ,L., LIȚĂ, M. *Determinarea caracteristicilor fizico- mecanice ale aliajelor YSN83, LgSn80, LgSn89*. Temă de cercetare. Beneficiar : UCM Reșița.
74. \* \* \* UCM Reșița *Norme interne privind fabricarea cuzineților antifricțiune* 1996
75. URSACHE, M., CHIRCĂ, D. *Proprietățile metalelor* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
76. \* \* \* *Compoziția metalelor albe pentru cuzineți de tip Babbite*  
<http://www.hoyt-darchem.co.uk/babbit.html>
77. \* \* \* *Raportul Departamentului de Sănătate SUA. Cei 10 carcinogeni.*  
<http://www.mindfully.org/Pesticide/Cadmium-Human-Carcinogen/NTP.htm>.
78. \* \* \* *Presiunea de vapori a Cd* <http://www.inchem.org/documents/ech/ech/ech/224.htm>

Scara 100

1 DIV. = 20  $\mu\text{m}$

Scara 500

1 DIV. = 10 $\mu$ m

