



**Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea  
bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor  
navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006**



# **CERCETĂRI FUNDAMENTALE ȘI APLICATIVE PRIVIND REALIZAREA BRONZURILOR CuNiAl DESTINATE RECONDIȚIONĂRII ELICELOR NAVALE – ELNAV**

**CONTRACT CEEX 322 / 06.10.2006**

**ETAPA I / 2006 - FAZĂ UNICĂ. CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND  
CARACTERIZAREA ȘI OBTINEREA MATERIALELOR PENTRU  
RECONDITIONAREA ELICELOR NAVALE**

***Activitatea I.1.***

***Cercetări fundamentale privind fenomenele complexe de uzură prin abraziune,  
cavitație, coroziune și oboseală***

***Activitatea I.2.***

***Cercetări fundamentale privind tehnologiile de omogenizare și fabricație a  
semifabricatelor deformabile de tip CuNiAl prin metalurgia pulberilor***

***Activitatea I.3.***

***Cercetări privind obținerea și caracterizarea pulberilor metalice pentru sinterizare***

***Activitatea I.4.***

***Studiu asupra apariției imperfecțiunilor la încărcarea prin sudare***

***Activitatea I.5.***

***Studiu de fezabilitate***

**Autori:**

**UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI**

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI – CEMS**

**S.C. SUDOTIM AS S.R.L. TIMIȘOARA**

**S.C. TEHNOMAG CLUJ – NAPOCA**

**S.C. ICEPRONAV GALAȚI**

**DECEMBRIE 2006**

## CUPRINS

### **CAP. I. ANALIZA FENOMENELOR DE UZURĂ PRIN ABRAZIUNE, CAVITAȚIE, COROZIUNE ȘI OBOSEALĂ CARE APAR LA ELICELE NAVALE 5**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Noțiuni și concepte de bază în tribologie                      | 5  |
| 1.1. Elementele structurii unui tribo-sistem                      | 6  |
| 1.2. Analiza sistemică a tribo-sistemelor                         | 7  |
| 1.3. Metode pentru încercări tribologice                          | 8  |
| 1.4. Modelarea și simularea fenomenelor și proceselor tribologice | 10 |
| 2. Tipuri de uzuri                                                | 14 |
| 3. Uzura abrazivă                                                 | 16 |
| 4. Uzura prin oboseală                                            | 19 |
| 4.1. Pittingul                                                    | 19 |
| 4.2. Cavitația                                                    | 20 |
| 4.3. Frettingul                                                   | 26 |
| 5. Uzura de coroziune                                             | 38 |
| 5.1. Tipuri de coroziuni                                          | 38 |
| 5.2. Indici de apreciere a coroziunii                             | 42 |
| 5.3. Coroziunea electrochimică                                    | 43 |
| 5.4. Coroziunea sub tensiune                                      | 46 |
| 5.5. Coroziunea de fretare                                        | 49 |
| 6. Stratul superficial al materialelor                            | 53 |
| 6.1. Caracteristicile stratului superficial                       | 55 |
| 6.2. Tipuri de distrugeri ale straturilor superficiale            | 56 |
| 6.3. Metode de control ale stratului superficial                  | 56 |
| 6.4. Modificarea proprietăților stratului superficial             | 59 |
| 7. Concluzii                                                      | 61 |
| BIBLIOGRAFIE                                                      | 63 |

### **CAP. II. CARACTERIZAREA PULBERILOR METALICE DESTINATE OBȚINERII PRIN SINTERIZARE A ALIAJELOR CUNIAL 66**

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 2.1 Nichelul. proprietăți, caracteristici, obținere | 68  |
| 2.1.1 Proprietățile și caracteristicile nichelului  | 71  |
| 2.1.2 Obținerea pulberii de nichel                  | 69  |
| 2.1.3 Caracterizarea pulberii de nichel             | 84  |
| 2.2 Cuprul. proprietăți, caracteristici, obținere   | 89  |
| 2.2.1 Proprietățile și caracteristicile cuprului    | 89  |
| 2.2.2 Obținerea pulberii de cupru                   | 103 |
| 2.2.3 Caracterizarea pulberii de cupru              | 119 |
| 2.3 Alumiul. proprietăți, caracteristici, obținere  | 120 |
| 2.3.1 Proprietățile și caracteristicile alumiului   | 121 |
| 2.3.2 Obținerea pulberii de aluminiu                | 129 |
| 2.3.3 Caracterizarea pulberii de aluminiu           | 134 |
| BIBLIOGRAFIE                                        | 136 |

### **CAP. III. EFECTUL PARAMETRILOR DE REGIM ASUPRA PROCESELOR DE OMOGENIZARE LA FABRICAREA SEMIFABRICATELOR DEFORMABILE DE TIP CUNIAL** **139**

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1 Efectul parametrilor de regim asupra proceselor de omogenizare la fabricarea semifabricatelor deformabile de tip CuNiAl | 139 |
| 3.1.1 Tehnologii de omogenizare ale amestecurilor pulverulente                                                              | 139 |
| 3.1.1.1 Preomogenizarea                                                                                                     | 139 |
| 3.1.1.2 Omogenizarea                                                                                                        | 147 |
| 3.1.2 Tehnologie de determinare și control a omogenității amestecurilor                                                     | 153 |
| 3.1.3 Caracteristici definitorii ale materialelor pentru procesele de omogenizare                                           | 158 |
| 3.1.3.1 Caracteristicile elementelor din componența metalului depus                                                         | 158 |
| 3.1.3.2 Cercetări pentru stabilirea structurii granulometrice                                                               | 164 |
| 3.2. Concluzii                                                                                                              | 165 |
| BIBLIOGRAFIE                                                                                                                | 166 |

### **CAP. IV. IMPERFECTIUNI CARE APAR ÎN PROCESELE DE ÎNCĂRCARE – SUDARE LA ALIAJE NEFEROASE** **167**

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Aspecte generale                                                                        | 167 |
| 4.1.1. Introducere                                                                           | 167 |
| 4.1.2. Metode de încercare și evaluare nedistructivă                                         | 168 |
| 4.1.3. Dependenta dintre proprietățile materialului și comportarea acestuia                  | 172 |
| 4.1.4. Aspecte calitative privind principalele metode de control nedistructiv                | 172 |
| 4.2. Examinarea ultrasonică                                                                  | 175 |
| 4.2.1. Particularități și domeniul de aplicare                                               | 175 |
| 4.2.2. Alegerea metodei de examinare                                                         | 177 |
| 4.3. Controlul prin emisie acustică                                                          | 180 |
| 4.3.1. Principiul metodei                                                                    | 180 |
| 4.3.2. Aplicații                                                                             | 182 |
| 4.4. Examinarea cu lichide penetrante                                                        | 184 |
| 4.4.1. Noțiuni generale                                                                      | 184 |
| 4.5. Tipuri de imperfecțiuni la sudare. clasificare, cauze de apariție și remedii aplicabile | 186 |
| 4.5.1. Fisuri                                                                                | 186 |
| 4.5.1.1. Fisuri apărute la solidificare                                                      | 186 |
| 4.5.1.2. Fisuri prin film lichid                                                             | 186 |
| 4.5.1.2. Fisuri la rece                                                                      | 187 |
| 4.5.2. Pori                                                                                  | 187 |
| 4.5.3. Modificări structurale                                                                | 190 |
| 4.5.4. Dilatările și contracțiile la sudare                                                  | 191 |
| 4.5.5. Formarea peliculei de oxid                                                            | 191 |
| 4.5.6. Colorarea cusăturii sudate                                                            | 192 |
| 4.6. Clasificarea și simbolizarea imperfecțiunilor îmbinărilor sudate prin topire            | 192 |
| BIBLIOGRAFIE                                                                                 | 196 |

### **CAP. V. JUSTIFICAREA FEZABILITĂȚII PROIECTULUI** **197**

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5.1. Tema studiului | 197 |
| 5.2. Cadrul juridic | 198 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Prezentarea situatiei actuale                                            | 199 |
| 5.3.1. Orientări, priorități, direcții, obiective cunoscute, stadiul existent | 199 |
| 5.3.2. Rezultate preconizate și modalități de aplicare                        | 203 |
| 5.3.3. Unități C-D cu preocupări în domeniu                                   | 203 |
| 5.3.4. Potențiali utilizatori                                                 | 204 |
| 5.4. Direcții de investiții privind implementarea proiectului                 | 204 |
| 5.5. Justificarea soluției adoptate                                           | 205 |
| 5.6. Evaluarea investiției                                                    | 206 |
| 5.7. Analiza de sensibilitate a proiectului                                   | 206 |
| 5.7.1. Modalitățile de diseminare și potențiali beneficiari                   | 206 |
| 5.8. Asigurarea surselor de finanțare a proiectului                           | 207 |
| 5.8.1. Necesarul de resurse umane, materiale și financiare                    | 207 |
| 5.8.2. Modul de alocare și utilizare a resurselor                             | 208 |

## **CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND FENOMENELE COMPLEXE DE UZURĂ**

### **CAP. I. ANALIZA FENOMENELOR DE UZURĂ PRIN ABRAZIUNE, CAVITAȚIE, COROZIUNE ȘI OBOSEALĂ CARE APAR LA ELICELE NAVALE – UGJ GALAȚI**

#### **1. Noțiuni și concepte de bază în tribologie**

O preocupare dominantă a științelor ingineresti contemporane este asigurarea funcționării fără întreruperi sau avarii a mașinilor și echipamentelor, garantând în același timp, un randament mare și o fiabilitate ridicată. De aceea, chiar din faza de concepție și proiectare, trebuie luate în considerare posibilele pierderi și deteriorări care pot afecta substanțial optimul funcțiilor tehnice și economice, dar și pe cele care pun în pericol securitatea oamenilor și a altor sisteme.

Analizând solicitările mecanice generale care pot acționa asupra elementelor și sistemelor, acestea pot fi împărțite în două grupe mari:

- solicitări de volum, care rezultă din forțe dinamice și statice – aceste solicitări fac obiectul de studiu al rezistenței materialelor;
- solicitări de suprafață, datorită contactului și mișcării relative dintre corpuri – aceste solicitări și deteriorările pe care le produc fac obiectul de studiu al tribologiei.

Tensiunile de suprafață, care sunt deseori indispensabile pentru însăși asigurarea funcționării sistemelor tehnice, determină pierderi de energie și de material din cauza frecării dar și a modificării elementelor ca rezultat al uzurii. Tribologia are ca scop minimizarea acestor pierderi energetice și de material, provocate de frecare și uzură, încă din faza de proiectare a mașinilor și echipamentelor, contribuind la asigurarea unei funcționări fără probleme, în condițiile menținerii valorii tehnice și economice a mașinilor, prin reducerea uzurii și optimizarea condițiilor de frecare.

La nivelul interacțiunilor dintre elementele sistemului mecanic, frecarea și uzura sunt în corelație cu parametrii cinematici și dinamici și cu prezența unui anumit mediu, a particulelor de uzură sau provenite din mediul de lucru, precum și cu caracteristicile de rezistență ale suprafețelor elementelor în contact.

Aplicarea criteriilor tribologice în proiectare s-a impus ferm deoarece majoritatea avariilor de natură mecanică are la bază deteriorări la nivelul legăturilor dintre elementele componente, deteriorări care provin din necunoașterea proceselor tribologice ce au loc,

din utilizarea unor cuple de materiale și a unor lubrifianți neadecvați condițiilor de funcționare ș.a. Lucrarea de față își propune să analizeze tipurile de uzuri ce pot apare în cazul elicelor navale, condiții ce trebuie impuse la proiectarea sistemelor de propulsie navală, precum și posibilitățile de recondiționare a acestora astfel ca durata de viață a sistemului să crească.

### **5.3. Elementele structurii unui tribo-sistem**

Un sistem tribologic sau un tribo-sistem este definit ca un sistem a cărui comportare este direct legată de interacțiunile de suprafață apărute în mișcarea relativă a elementelor în contact.

Tribo-sistemul poate fi complet caracterizat prin patru elemente distincte: două elemente de bază (tribo-elemente), mediul intermediar care se interpune între cele două elemente (lubrifiant, mediu abraziv) și mediul ambiant în care funcționează elementele. Un proces tribologic implică, în general, toate cele patru componente de material. Cele două elemente, care formează straturile superficiale și se influențează reciproc sunt numite, unul element de bază și celălalt element de contact. De regulă, elementul de bază este cel ales pentru examinarea uzurii, pe când elementul de contact poate fi solid sau fluid (cum este în cazul uzurii de cavitație a elicei, apa de mare).

Fiecare proces tribologic este influențat de anumite proprietăți ale elementelor structurale. Aceste proprietăți de material și de formă, de mare importanță în tribologie, pot fi:

- proprietăți de volum și de suprafață ale tribo-elementelor;
- starea de agregare și compoziția chimică a mediului intermediar și a celui ambiant.

Mărimea uzurii pentru un set predeterminat de solicitări depinde în principal de proprietățile componentelor solicitate tribologic și de alte elemente supuse la uzură. Proprietățile relevante din punct de vedere tribologic ale elementelor se împart în proprietăți de volum și de suprafață, fiecare dintre acestea cuprinzând proprietăți ce depind de materialul și de forma elementelor (Tabelul 1).

Tabelul 1.

Proprietățile componentelor unui tribo-sistem, relevante tribologic

| Tribo-elemente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Mediul intermediar                                                                                                                                                                                                                          | Mediul ambiant                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Proprietăți de volum<br>1.1. Proprietățile materialului:<br>- fizice, chimice;<br>- structurale;<br>- mecanice, tehnologice.<br>1.2. Proprietăți legate de formă și dimensiuni<br>2. Proprietăți de suprafață<br>2.1. Proprietățile materialului<br>- fizice, chimice;<br>- structurale.<br>- mecanice, tehnologice<br>2.2. Proprietăți legate de formă:<br>- rugozitatea;<br>- grosimea straturilor superficiale;<br>- abateri de formă etc. | Proprietățile mediului, în funcție de starea de agregare<br>a) stare solidă:<br>- fizice, chimice;<br>- structurale;<br>- mecanice;<br>- tehnologice.<br>b) stare lichidă:<br>- fizice, chimice.<br>c) stare gazoasă:<br>- fizice, chimice. | Proprietățile mediului, în funcție de starea de agregare<br>a) stare lichidă:<br>- fizice, chimice.<br>b) stare gazoasă:<br>- fizice, chimice. |

## 1.2. Analiza sistemică a tribo-sistemelor

O premisă importantă pentru înțelegerea proceselor de frecare și uzură este examinarea sistemică a tribo-sistemului și a solicitărilor lui tribologice. Concluziile trase asupra proprietăților și a proceselor tribologice relevante vor putea servi ca bază pentru posibile optimizări ale tribo-sistemului respectiv. Trebuie avut în vedere faptul că proprietățile importante de frecare și uzură nu pot fi considerate ca proprietăți individuale ale unui component al sistemului sau ale materialelor, ci sunt valabile și caracterizează întreg tribo-sistemul. Această importantă concluzie se bazează pe constatările de mai jos:

- Orice solicitare tribologică implică cel puțin un cuplu de materiale. Variabilele tribologice nu privesc doar un material, ci se referă la perechea de materiale sau la întreg tribo-sistemul;

- Solicitățile tribologice implică efecte reciproce ale cuplului de tribo-elemente, asupra materialelor și prin forțele implicate;

- Fiecare proces de frecare și uzură poate implica diverse procese fizice și chimice în zonele de margine ale cuplului.

- Solicitarea materialului apare în principal pe suprafața de contact. De cele mai multe ori, pe durata solicitării această suprafață nu este accesibilă unei examinări directe sau încercărilor tribologice.

Aceste aspecte dau o imagine a complexității proceselor de frecare și uzură în mașini și echipamente. Nu este posibilă definirea unei singure variabile de material, general valabilă (de exemplu – rezistența la uzură), pentru a determina procesele de frecare și uzură. În timp ce, în condiții simplificate, unele aspecte și unele variabile ale proceselor tribologice pot rămâne în afara analizei, implementarea teoriei sistemelor garantează o tratare comprehensivă a majorității problemelor tribologice. De aceea este necesară o abordare sistemică și focalizată a diferiților indicatori și variabile de influență ce caracterizează un tribo-sistem.

### **1.3. Metode pentru încercări tribologice**

Pentru a analiza și optimiza fenomenele și procesele de frecare și uzură ale materialelor, componentelor și sistemelor tehnice complexe sunt necesare tehnici de încercare și măsurare accesibile și precise.

Procedurile de încercare tribologică pot fi clasificate în trei categorii:

- tehnici de încercare, în funcție de tipul tribo-sistemului și tipul de încercare a acestuia;
- sisteme de încercare, în care sunt utilizate aparate și dispozitive de măsurare și încercare;
- metode de analiză, în care procedurile de încercare și măsurare sunt folosite pentru examinarea structurii sistemului și analiza solicitărilor, cât și pentru recunoașterea și verificarea formelor de uzură.

Pentru studiul experimental al tribo-sistemelor există un număr mare de proceduri de analiză tribologică. Alegerea celor mai potrivite tehnici de încercare și măsurare pentru un caz particular se face în funcție de obiectivele studiului. Studiile tribologice pot avea câteva obiective de bază:

- Determinarea durabilității în exploatare în condiții de modificare a solicitărilor sau după o schimbare în structura tribo-sistemului, mai ales în cazurile în care uzura este cea mai importantă variabilă pentru durabilitatea în exploatare;
- Optimizarea funcționării prin examinarea influenței factorilor dependenți de uzură asupra funcțiilor generale sau asupra durabilității tribo-sistemului;

- Alegerea preliminară a materialelor sau elaborarea de materiale tribologice și de lubrifianți pentru componente și sisteme reale;

- Cercetarea mecanismelor de frecare și uzură și a efectelor reciproce;

- Dezvoltarea ulterioară a diferitelor metode de încercare;

- Controlul calității materialelor și a lubrifianților pentru a monitoriza producția și calitatea produselor cu ajutorul metodelor standardizate de încercare și încercarea comportării tribologice a materialelor antifricțiune, conform SR ISO 7148-1:1994, aplicată și în România.

Alte obiective ale încercărilor de uzură sunt: monitorizarea funcțiilor dependente de uzură ale mașinilor și echipamentelor, diagnoza condițiilor de exploatare sau pregătirea informațiilor pentru activități de mentenanță.

În cercetarea tribo-sistemelor sunt folosite diferite tehnici de încercare, în funcție de obiectivele studiului.

Sucesiunea procedurilor de încercare corespunde unui proces de subdivizare pas cu pas a tribo-sistemului studiat. În DIN 50322 este dată următoarea clasificare:

- încercări legate de exploatarea tribo-sistemului, realizate atât cu componente sau subansambluri de componente reale, cât și cu mașini sau echipamente reale;

- categoria I: încercări ale sistemului în exploatare, la locul de funcționare;

- categoria II: încercări pe stand cu sistemul real întreg;

- categoria III: încercări pe stand cu sisteme parțiale sau numai cu un ansamblu de componente.

- încercări de laborator pe standuri de încercări care folosesc sisteme model, cu componente simplificate sau la scară redusă:

- categoria a IV-a: încercări cu componente nemodificate sau reduse la scară;

- categoria a V-a: încercări pe modele cu solicitări similare;

- categoria a VI-a: încercări pe modele simplificate.

Până la categoria a III-a inclusiv, structura sistemului se păstrează neschimbată, modificându-se setul de solicitări și ținându-se seama de influențele mediului ambiant. Comparativ cu categoria I-a, categoriile II și III prezintă avantajul că setul de solicitări este reproductibil. Începând cu categoria a IV-a până la a VI-a, structura sistemului încercat suferă modificări considerabile. Tribo-modelele folosite sunt simplificate ca formă și mișcare, în funcție de criterii de modelare și relații de similitudine. Se operează simplificări și asupra seturilor de solicitări.

O dată cu creșterea numărului categoriei, începând de la încercări în funcționare până la încercări pe modele, apar modificări, la început privind setul de solicitări apoi în structura sistemului. Corelarea rezultatelor încercărilor scade din ce în ce mai mult, apar scurtări ale duratelor de încercare dar și posibilități de măsurare mai minuțioase.

Din cauza reducerii și modificării treptate a sistemului real analizat, securitatea translării rezultatelor la sistemul real descrește, dar, pe de altă parte, crește accesibilitatea la punctele de măsurare și puterea de evidențiere a proceselor. De asemenea, scad durata și costurile încercărilor tribologice.

Pentru a putea compara rezultatele obținute în diverse laboratoare de cercetare tribologică din lume sunt necesare standarde pentru încercările de uzură. Rezultate bune au fost obținute prin lucrările comitetului G2 – Uzură și Eroziune – din cadrul DIFUZIUNE, comitet care funcționează din 1964 și care a realizat mai multe standarde cu privire la încercările de uzură.

Împrăștierea datelor referitoare la uzură este influențată de trei surse majore: mașina de încercări, tehnica operatorului uman și materialele. Termenul de mașină de încercări include nu numai construcția și reglarea mașinii, dar și sursele de vibrație și de contaminare din imediata sa vecinătate. Tehnica operatorului include aprecierile și deciziile în timpul măsurărilor, mânuirea și curățirea adecvată a probelor, atenția acordată detaliilor de metodologie, dar și oboseala operatorului. Cu privire la materiale, un standard poate impune condiții referitoare la: compoziția chimică, duritatea, puritatea, procesul tehnologic de obținere a probei etc.

#### **1.4. Modelarea și simularea fenomenelor și proceselor tribologice.**

Cercetările efectuate în ultimii ani, bazate pe un număr mare de experimente, au demonstrat că fenomenele și procesele tribologice care au loc în stratul superficial au un caracter interdisciplinar. Studiile sistematice au implicat domenii extrem de variate cum ar fi: mecanica, fizica, chimia, termodinamica, metalurgia fizică, dinamica mașinilor și construcția de mașini. În ciuda complexității problemelor, aplicarea teoriei sistemelor în tribologie face legătura, pentru prima dată, cu datele practice. Aceasta a permis să se clarifice principalele tipuri de distrugere a suprafețelor în contact, tipurile de uzură care le sunt caracteristice, în funcție de tipul mașinii, clasificare unanim acceptată în prezent.

Multitudinea tipurilor de metode de încercare la uzură, este determinată atât de complexitatea și diversitatea tipurilor de uzuri cât și de diferitele situații în care uzura devine o problemă. Metodele de încercare la uzură pot avea ca scop:

- testarea unui anumit tip de materiale: metalice, ceramice, plastice, compozite etc.;
- evaluarea răspunsului mediului la un anumit tip de uzură și optimizarea sau selectarea materialelor pentru o aplicație particulară;
- simularea unui anumit tip de aplicație în scopul încercării anumitor materiale, tratamente sau lubrifianți, pentru acel material sau acea aplicație;
- cercetări fundamentale cu privire la natura uzurii;
- înțelegerea efectelor unor parametri variabili asupra unui tip particular de uzură;
- susținerea dezvoltării unor modele predictive sau descriptive pentru uzura în tribo-sisteme specifice.

O problemă principală în tribo-modelare este nivelul de precizie cu care încercările de laborator trebuie să reproducă condițiile de utilizare reală, astfel încât informațiile obținute să fie utile. În funcție de aplicație, pot fi obținute informații satisfăcătoare pentru încercări pe sisteme simple (știft pe disc, bilă pe plan etc.). Cu toate acestea, uneori, astfel de sisteme simple nu simulează corect comportarea tribologică a tribo-sistemului în condițiile sale normale de utilizare.

Încercările de laborator trebuie realizate pe baza anumitor caracteristici legate de aplicația reală, în scopul creșterii relevanței încercărilor, dar nu întotdeauna se aplică condiții de funcționare identice cu cele din realitate.

Pentru a realiza încercări tribologice valide, în lucrarea [8] Blau propune 5 etape:

- înțelegerea clară a tribo-sistemului;
- identificarea mărimilor prin care problema poate fi cuantificată;
- selectarea condițiilor necesare încercărilor de laborator;
- alegerea și dezvoltarea metodologiei de încercare;
- validarea simulării.

Pentru înțelegerea naturii unui tribo-sistem se propun 16 parametri, grupați în cinci seturi:

1. Macro-geometria suprafețelor în contact: geometria contactului, la nivel macro (dimensiuni și forme geometrice) și micro (topografia suprafețelor); ariile de contact (nominală, aparentă, reală).

2. Transmiterea forței pe suprafața de contact, cuprinde: tipul mișcării relative (static, oscilant, intermitent etc.), viteza de alunecare (mărime, lege de variație, raport alunecare-rostogolire etc.), încărcarea contactului (distribuție de presiuni, tensiuni etc.).

3. Mediul interfeței: temperatura în regiunea de contact (temperatura mediului ambiant și efectele termice datorate fenomenelor tribologice); mediul atmosferic (presiune, umiditate relativă, compoziția amestecului de gaze); tipul regimului de ungere, starea compoziția și condițiile impuse lubrifiantului; mediul care se interpune (al treilea corp: mărimea, forma, proprietățile mecanice ale particulelor).

4. Informații despre materialele tribo-elementelor în contact: materiale și tratamentele corespunzătoare, folosite în contactul studiat (compoziție, microstructură, condiții de prelucrare etc.); finisarea suprafețelor.

5. Informații despre modul de degradare a suprafețelor: condițiile de apariție a degradărilor; cerințe legate de funcționare; tipuri de deteriorare și uzură observate; regimul de frecare (în condiții statice și în regim staționar, stabilitate, stik-slip etc.); istoricul deteriorărilor și observații legate de acestea.

Deoarece procesele tribologice sunt greu de cuantificat, fiind dependente de mai mulți factori ce acționează simultan și deseori cu discontinuități, utilizarea modelelor matematice în tribologie se face cu mare atenție. Modelarea matematică reduce timpul și costurile necesare cercetării proceselor tribologice dar nu este suficientă fără validarea prin rezultate experimentale. Chiar și în aceste condiții, extrapolarea rezultatelor experimentale pe modele matematice se face cu circumspecție. Aceasta ține seama de noțiunile fundamentale din domeniul deformării solidului real, teoria similitudinii și de descoperirile recente în tribologie.

Diferențele între modelele matematice și cele experimentale s-au datorat și modului de abordare a temei. În sistemele fără frecare sau statice, mulți parametri pot fi introduși cu valori constante (de ex. – rezistența la rupere a materialelor), în timp ce în procesele tribologice, parametrii au o evoluție dinamică, interdependentă, fiind descriși de funcții complexe.

Prin modelele folosite în analiza datelor tribologice, se pot identifica două clase principale: modele empirice și modele fenomenologice (sau analitice). În modelele empirice unele relații cantitative între variabilele tribologice sunt postulate a priori. În modelele fenomenologice relațiile cantitative între variabilele tribologice rezultă din ecuațiile de bază ale mecanicii ruperilor, ale termodinamicii, ale mecanicii fluidelor etc. Deși modelele fenomenologice sunt preferabile din punct de vedere teoretic, acestea

sunt dificil de realizat în scopul analizării datelor experimentale practice. De aceea nu este surprinzător că modelele empirice domină analiza experimentărilor tribologice și în prezent. În cadrul acestor modele, o dezvoltare nouă o reprezintă aplicațiile modelelor bazate pe rețele neurale artificiale în studiile tribologice.

Deoarece fenomenele și procesele tribologice sunt caracterizate ca fiind foarte complexe și cu grade mari de neliniaritate, modelele analitice sunt foarte dificil și deseori imposibil de obținut. Totuși îmbunătățirea performanțelor echipamentelor mecanice necesită modelări și predicții cât mai precise ale proceselor de frecare și uzură. Rețelele neurale artificiale (RNA) sunt potrivite pentru astfel de modele datorită posibilității de comportare neliniară, de învățare (pornind de la date experimentale) și de generalizare.

În aplicațiile tribologice sunt utile două funcții principale ale rețelelor neurale:

- 1) aproximarea continuă a unei funcții cu mai multe variabile, funcție folosită pentru modelarea proceselor;
- 2) clasificarea, care constă în aproximarea discretă a funcțiilor, funcție folosită pentru recunoașterea condițiilor de funcționare ale mașinilor și utilajelor.

În cazul modelării proceselor este preferată rețeaua de tip MLP (Multi Layer Perceptron). Aceasta oferă o aproximare continuă a unei funcții cu mai multe variabile, care nu poate fi obținută analitic, dar care este descrisă corespunzător de seturi de date experimentale. Modelele bazate pe RNA pot fi utilizate pentru simularea încercărilor mecanice de lungă durată, folosind date și informații obținute prin încercări de scurtă durată. Combinația dintre modelarea asistată de calculator prin RNA și încercări mecanice de scurtă durată poate fi folosită pentru a verifica fiabilitatea sistemelor mecanice, prin aceasta eliminându-se duratele și costurile mari ale încercărilor de lungă durată. De asemenea, modelele bazate pe RNA permit proiectanților să prezică performanța sistemelor tehnice în faza de proiectare conceptuală, având parametri critici ca mărimi de intrare ale modelului.

Clasificarea, cea mai veche aplicație a rețelelor neurale, este utilă în domeniul mecanic în primul rând pentru recunoașterea defectelor, parte integrantă a procesului de diagnoză. În probleme de clasificare pot fi utilizate atât rețele tip MPL cât și cele cu autoorganizare.

În concluzie, rețelele neurale pot constitui o bună metodă de modelare, datorită posibilităților de învățare (pornind de la date experimentale), de generalizare și de comportare neliniară. Principalele funcții realizate de RNA sunt predicția și clasificarea. Scopurile predicției pot fi diagnoza (predicția duratei de viață), încercări accelerate de

durabilitate, controlul on-line al proceselor de prelucrare prin așchiere. Interesante sunt aplicațiile funcției de clasificare în domeniul diagnozei: recunoașterea condițiilor de lucru și recunoașterea defectelor. Datorită unei largi game de aplicații posibile și a economiilor de timp și fonduri pe care le pot realiza, rețelele neurale au încă o apreciazabilă aplicabilitate în domeniul tribologiei.

## 2. Tipuri de uzuri

Uzura este un proces de distrugere a stratului superficial al unui corp solid la interacțiunea mecanică cu un alt corp solid, cu un fluid sau cu un fluid cu particule solide în suspensie. Uzura prin frecare are loc atunci când interacțiunea mecanică se produce sub acțiunea unei sarcini exterioare și are loc mișcări relative a corpurilor. Procesul de distrugere implică și modificări structurale superficiale, deformări, detașări de material.

Uzura se analizează în funcție de sarcinile aplicate, de viteză și de mediu. Astfel, există distrugeri în condiții statice (deformații, coroziune) și în condiții dinamice (cu sarcină și mișcare relativă), acestea fiind numite și tribo-distrugeri. Caracteristicile mediului (temperatură, compoziție, presiune etc.) pot influența semnificativ evoluția distrugerilor din stratul superficial.

În funcție de componenta predominantă a unui proces de distrugere, specialiștii admit patru tipuri fundamentale de uzură: adeziunea, abraziunea, oboseala și coroziunea (Tabelul 2, Figura 1).

Tabelul 2.  
Tipuri de uzuri

| Tipuri fundamentale de uzură | Procese specifice                                                                                                    | Natura proceselor predominante                                                                                                                  |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adeziune<br>(fig. 1a)        | - transfer de material<br>- adeziune moderată<br>- adeziune severă – gripare                                         | processe mecanice, schimbări de fază în stare solidă, modificări de concentrații și de structură ale straturilor superficiale, processe termice |
| Abraziune<br>(fig. 1b)       | - micro-așchiere<br>- rizare prin deformare<br>- eroziune abrazivă<br>- brăzdare<br>- zgâriere                       |                                                                                                                                                 |
| Oboseală<br>(fig. 1c)        | - oboseală mecanică<br>- pitting<br>- exfoliere (spalling)<br>- oboseală termo-mecanică<br>- cavitație<br>- fretting | processe mecanice<br><br>processe mecano-termice                                                                                                |

|                                                                                   |                                                |                                                                                                                                                       |  |                                                                                     |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |                                                | <b>Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006</b> |  |  |  |
| Coroziune                                                                         | - coroziune chimică                            | procesе chimice                                                                                                                                       |  |                                                                                     |  |
|                                                                                   | - coroziune electrochimică                     | Procese electrochimice                                                                                                                                |  |                                                                                     |  |
|                                                                                   | - coroziune biochimică                         | procesе mecanice, chimice, termice                                                                                                                    |  |                                                                                     |  |
|                                                                                   | - coroziune sub tensiune și fretting-coroziune |                                                                                                                                                       |  |                                                                                     |  |
|                                                                                   | - coroziune de impact                          |                                                                                                                                                       |  |                                                                                     |  |

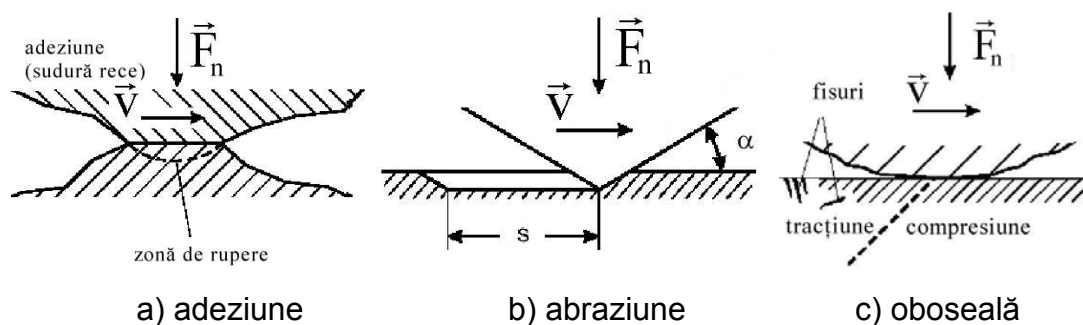


Fig.1 Tipuri fundamentale de uzuri

Chiar și această clasificare a proceselor de distrugere trebuie abordată cu atenție pentru că există forme particulare de uzură care pot fi rezultatul suprapunerii unui pachet de acțiuni, așa cum este cazul uzurii de fretting, această degradare putând fi rezultatul oboselii materialului din stratul superficial sub acțiunea deplasărilor de amplitudine mică, dar și rezultatul unui mediu deosebit de activ chimic. În funcție de procesul predominant (mecanic sau chimic), frettingul este inclus în a treia sau a patra categorie (Tabelul 2).

Procesul de uzură are aspecte particulare, dependente de mișcare, sarcină, temperatură etc., dar într-un tribo-sistem apar și procese termice și chimice care interacționează cu distrugerea de tip mecanic. Distrugerea mecanică a straturilor superficiale ca rezultat al mișcării relative sub sarcină, poate include, pe lângă îndepărtarea de material metalic, și deformări, curgeri, înmuieri locale sau pe regiuni mai întinse ale straturilor superficiale. În realitate, distrugerea se datorează suprapunerii a două sau mai multe forme de uzură.

Pentru un tribo-sistem dat, distrugerea poate fi considerată un pachet de procese intercondiționate, în care fiecare componentă nu poate fi anulată complet, dar este foarte posibil ca acțiunea uneia sau chiar a întregului pachet să fie redusă sau întârziată, astfel încât durabilitatea tribo-sistemului să crească.

Optimizarea unui sistem tehnic presupune identificarea posibilelor tipuri de uzură și soluții pentru diminuarea lor. Mărirea durabilității tribo-sistemelor prin reducerea uzurii

se bazează pe studiul ei în aplicații similare, prin încercări de laborator, pe utilizarea materialelor cu destinație specială și mai puțin pe modele matematice și simulări pe calculator, din cauza complexității și interacțiunii proceselor de uzură.

În cazul elicelor navale se pot întâlni toate tipurile de uzuri, mai puțin uzura de aderență (de adeziune). Din acest motiv ea nu va fi analizată în cele ce urmează.

### 3. Uzura abrazivă

Uzura abrazivă este cauzată de particule sau asperități dure, forțate să se miște față de un solid mai moale, și este un proces mecanic cu forme specifice, dependente calitativ și cantitativ de forma și calitatea suprafețelor în contact, de proprietățile mecanice ale straturilor superficiale. Pe durata frecării, proprietățile mecanice ale straturilor superficiale și micro-topografia lor se pot schimba, determinând modificări ale procesului abraziv.

Cele două straturi superficiale ale corpurilor în contact pot fi ierarhizate în unul moale și unul comparativ mai dur. Aceasta formă de uzură constă în zgărirea și detașarea de particule din stratul mai moale, de către proeminențele stratului mai dur. Procesul poate fi inițiat pe ambele suprafețe chiar dacă, statistic, proprietățile lor mecanice sunt foarte apropiate. Local pot exista mici variații ale durtății, ale topografiei suprafeței, care acționează ca micro-muchii tăietoare sau ca micro-indentoare. Procesul este inițiat și dacă în contact pătrund particule mai dure, care prin antrenare, așchiază suprafețele, diferențiat, funcție de proprietățile lor mecanice.

Uzura de abraziune poate fi consecința altor procese de deteriorare. De exemplu, particulele detașate prin procesul de oboseală superficială, cele formate prin ruperea microvolumelor implicate în aderență, constituie promotori ai uzurii abrazive.

O formă particulară de uzură abrazivă este eroziunea. Aceasta este un proces de pierdere progresivă de material din stratul superficial din cauza interacțiunii mecanice cu un fluid sau a unui jet de fluid în care se află sau nu particule solide. Din cauza definiției foarte largi, tribologii folosesc alți termeni alături de cel de eroziune pentru a specifica mecanismul de eroziune: eroziune de cavitație, eroziune sub jet de particule solide, eroziune prin șoc de presiune etc.

Toate aceste tipuri de uzuri se întâlnesc în cazul elicelor navale care funcționează în apa de mare. Vom considera însă că în acest caz înțelegem prin uzura abrazivă doar cea produsă de particule dure care lovesc elicea și care produc pe

suprafața ei urme disperse sau orientate de micro-așchiere. Uzura de cavitație este un alt fel de uzură ce va fi tratat separat.

În urma impactului cu o particulă solidă sau fluidă, suprafața solidului se deformează, apar procese de alunecare și de fisurare, care, datorită caracterului repetitiv al impactului, generează detașarea de particule. Cei mai importanți factori care influențează procesul de eroziune sunt: natura materialului solid, natura și suportul particulelor, direcția și viteza particulelor relativ la suprafața de impact, topografia suprafețelor (a solidului și a particulelor) ș.a.

Eroziunea cu particule solide poate fi caracterizată printr-unul din mecanismele specifice, prezentate în figura 2:

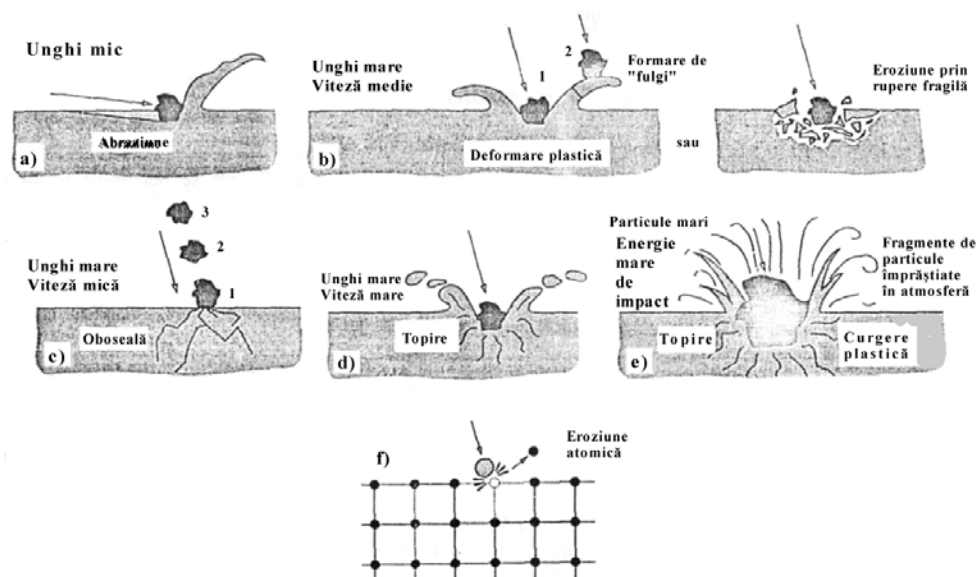


Fig.2. Mecanisme specifice eroziunii cu particule solide.

- a) caracter dominant abraziv, când particulele lovesc suprafața sub unghiuri mici de impact;
- b) particule relativ dure și casante, cu viteze medii, la impactul cu un corp mai ductil, pot produce deformații elastice mari, cu formare de particule de uzură cu aspect de fulgi, sau, dacă și corpul lovit este casant, se poate distruge stratul superficial al acestuia prin fisurarea și fragmentarea unui micro-volum de material;
- c) caracter dominant de oboseală, când particulele au viteză relativ mică, unghiuri de impact mari și mase destul de mari;
- d) caracter termo-mecanic, când particulele au viteze mari, deci energie cinetică mare, iar oprirea particulei pe sau în stratul superficial determină transformarea energiei cinetice în căldură, rezultând topirea locală a stratului superficial;

e) caracter macroscopic, când particulele sunt mari și produc efecte secundare cum ar fi: deformări ale stratului superficial, fisurări și desprinderi de particule;

f) la materialele cristaline, impactul particulelor foarte mici provoacă eroziunea la nivel atomic și molecular.

În variantele b) și c) numerotarea particulelor (1, 2, respectiv 1, 2, 3) sugerează ordinea în care particulele lovesc suprafețele și efectele suplimentare pe care le produc (oboseală, fragmentarea particulelor deja formate și desprinderea din stratul superficial).

Eroziunea poate fi rezultatul combinat a două sau mai multe din mecanismele descrise, având în vedere caracterul statistic al vitezelor, maselor și formelor particulelor și împrăștierea valorilor acestor parametri în jurul mediei.

Și particulele fluide generează, la impact cu suprafețele solide, un proces de eroziune, explicat prin apariția undelor elastice de șoc sau de presiune, care traversează un lichid puternic accelerat, așa cum se întâmplă în preajma elicei (fig.3). Presiunea maximă de contact, generată la lovirea unei suprafețe solide de o picătură de lichid, poate fi foarte ridicată, la viteză mare. De exemplu, o picătură de apă cu viteza de impact de 240 m/s determină o presiune maximă de 375 Mpa, valoare care poate depăși limita de curgere a materialului solid. Tensiunile provocate de impactul repetat al picăturilor determină desprinderea de particule din material. La viteze mici de impact, materialul este micro-escavat, formându-se inițial gropițe, uniform împrăștiate care în timp se măresc și se unesc iar aspectul suprafeței devine neuniform și foarte rugos. Marginile micro-craterelor formate inițial sunt fragile și la următoarele impacturi craterul se mărește. La viteze mari, efectul este mai accelerat. Dacă materialul este casant, stratul superficial se poate rupe sau exfolia pe zone relativ întinse.

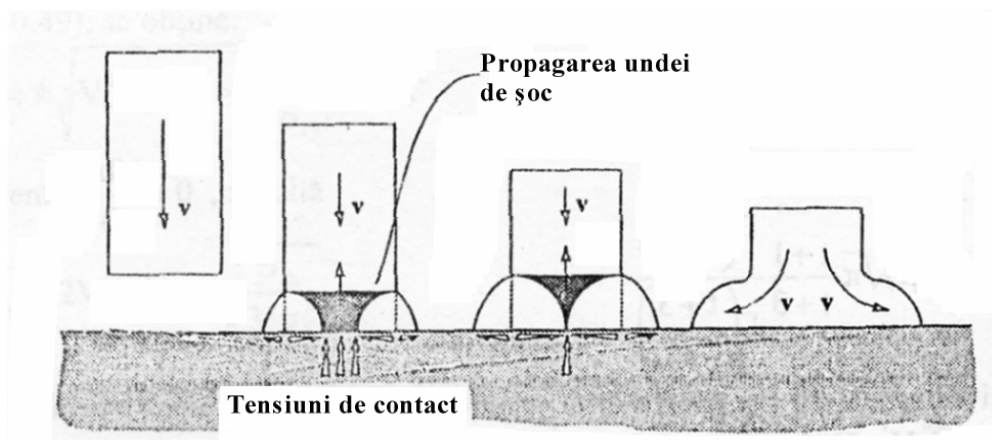


Fig.3 Mecanisme specifice eroziunii cu particule lichide

## 4. Uzura prin oboseală

### 4.1. Pittingul

Pittingul sau uzura prin oboseală superficială este un proces mecanic cauzat de solicitări mecanice sau mecano-termice ciclice, asociate unei mișcări de rostogolire, de alunecare sau de combinații ale celor două, caracterizat de apariția și dezvoltarea unor micro-crater specific.

Sub acțiunea tensiunilor variabile și în prezența unor discontinuități de formă și structură ale materialelor în contact (incluziuni, impurități, fisuri preexistente, rugozitate), în zona cea mai solicitată a contactului, de obicei puțin sub suprafață, se inițiază deformări, alunecări ale formelor structurale, în final o micro-fisură care va avansa spre suprafață. Creșterea progresivă a curgerilor plastice sau a fisurilor spre limita inferioară a asperităților suprafeței provoacă alte micro-fisuri, în majoritate paralele cu suprafața. La un moment dat, din cauza solicitării repetate, rețeaua de fisuri este suficient de mare, încât zona slăbită dintre suprafață și rețeaua de fisuri, se detașează. Ruperea este fragilă, lăsând în urmă un micro-crater cu margini rugoase, un nou concentrator de tensiune.

În figura 4 sunt arătate etapele de distrugere din cauza oboselii superficiale, într-un mediu fluid:

I – fisura a fost amorsată, fie la suprafață, fie a fost propagată până la atingerea suprafeței;

II – tribo-elementul mobil comprimă stratul superficial din fața contactului, având tendința să închidă fluidul în interiorul fisurii;

III – la trecerea tribo-elementului mobil, fisura se închide;

IV – tensiunile de compresiune din stratul superficial închid fisura, tinzând să o deformeze, iar fluidul captat în interiorul ei este supus unor mari fluctuații de presiune, lărgind fisura;

V – după trecerea tribo-elementului, tensiunile de tracțiune care apar în urma contactului și procesele de adeziune locală, deschid fisura și pot detașa o particulă specifică. La următoarele treceri procesul se repetă în alte regiuni ale contactului.

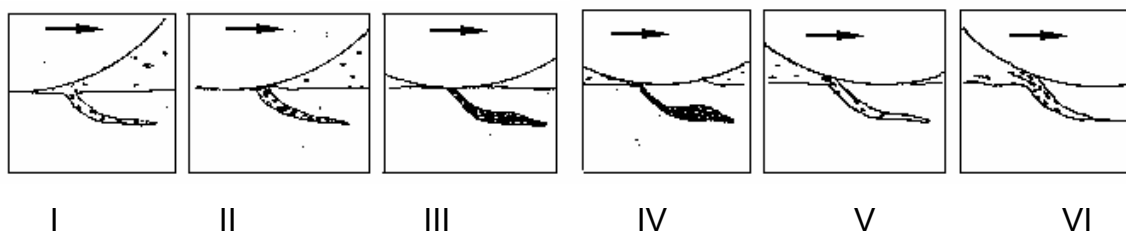


Fig.4 Modelul de distrugere prin oboseală în mediu fluid

Uzura prin oboseală este accentuată de un mediu coroziv și de temperatură. Prezența agenților chimici activează mai rapid procesul de oboseală, accelerându-l în mai multe micro-zone. Temperatura are două efecte care se întrețin reciproc: mișcarea relativă a tribo-elementelor generează căldură, care determină scăderea caracteristicilor mecanice ale straturilor superficiale și accelerează posibilele distrugeri de natură chimică. Acest tip de pitting se întâlnește la elicele navale, denumit și fragilitatea caustică, care va fi tratat detaliat la capitolul de uzură prin coroziune.

Uzura de tip pitting este caracteristică tribo-sistemelor de rostogolire și rostogolire cu alunecare: rulmenți, angrenaje.

## 4.2. Cavitația

Fenomenul de cavitație a fost observat pentru prima dată la o elice de navă în anul 1856 de către francezul George Rennie. Natura reală a fenomenului nu a fost însă sesizată atunci. Importanța fenomenului de cavitație a fost pusă în evidență în anul 1894 când a devenit evident faptul că acest fenomen depinde de presiunea ce acționează pe palele elicei.

Pentru studierea fenomenului s-au construit tunele de probe, cu circulație de apă închisă, presiunea din tunel putând fi modificată. În aceste tunele de cavitație se încearcă modele de elice sau rotoare de pompe, existând posibilitatea corectării numărului de cavitație, măsurarea împingerii și zgomotului produs de cavitație. În aceste laboratoare de cercetări dintre care și la Galați există unul, se analizează comportarea diverselor materiale la uzura de cavitație sau se modelează distrugerea cavitațională. Pentru aceasta se utilizează: instalații vibratorii, instalații cu ultrasunete, tuburi hidrodinamice cu cameră ștrangulată, aparate cu discuri rotative imersate, instalații cu jet intermitent. La noi în țară, în acest domeniu s-au susținut mai multe teze de doctorat, astfel: dr. ing. Popovici M ("Evoluția bulelor cavitaționale produse prin scânteii electrice"), dr. ing. Băran

G. ("Contribuții la studiul cavitației și eroziunii cavitaționale"), dr. ing. Gyulai F. ("Studiul zonelor secundare de cavitație din turbopompe"), dr. ing. Bologa O. de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați ("Studiul uzurii în tribo-sistemele de cavitație") ș.a.

Dacă în anumite porțiuni ale unui lichid în mișcare presiunea scade până la valoarea presiunii de vaporizare, se produce vaporizarea lichidului însoțită de disorbția gazelor dizolvate. În interiorul lichidului apare tendința de formare a unor bule umplute cu vapori de gaze. Bulele formate în lichidul în mișcare se dezvoltă și devin cvasisferice și pot fi transportate într-o regiune cu presiune mai mare decât presiunea de vaporizare care este practic presiunea din interiorul lor. Se constată atunci o surpare bruscă a pereților bulelor spre interiorul acestora, proces numit implozie și care este însoțit de un complex de fenomene fizice și chimice. Implozia este însoțită în primul rând de apariția unor presiuni foarte mari care au efecte importante asupra pereților solizi ce mărginesc fluidul în mișcare. Dacă implozia se produce lângă un perete solid, presiunea se exercită direct asupra lui; dacă implozia se produce la o distanță oarecare de perete, presiunea se transmite sub formă de unde de presiune.

Efectele mecanice ale imploziei sunt extrem de puternice, ceea ce rezultă și din faptul că nici un material cunoscut în prezent nu rezistă la cavitație. Pe lângă fenomenele mecanice, care sunt predominante, în cazul imploziei, apar și fenomene termice, datorate mai ales comportării gazului din bule precum și fenomene chimice, datorate formării de substanțe chimice corozive. Au fost observate chiar și fenomene electrice. Întotdeauna cavitația este însoțită de zgomote puternice și vibrații. Suprafețele solide situate în zona de producere a imploziilor prezintă după un timp fenomene de eroziune sub forma unor caverne, de contur și adâncime neregulată.

Distrugerea unei suprafețe solide din cauza cavitației se numește eroziune (coroziune) de cavitație când implozia bulelor are loc lângă sau chiar pe suprafața respectivă.

Fenomenul general de eroziune este caracterizat de trei tipuri de uzură și anume: uzura de cavitație (cuprinzând și uzura de impact cu jet lichid), uzura hidroabrazivă și uzura gazoabrazivă. În toate cazurile, comportarea materialului depinde de solicitările date de colapsul bulelor de cavitație, șocul unei picături de fluid sau al unui jet și de impactul particulelor solide aflate în suspensie în fluid. Efectele acestor solicitări depind de intensitatea impactului și de numărul de repetări al acestuia.

Uzura de cavitație este o formă particulară de uzură prin oboseală superficială care are și aspecte specifice eroziunii. Ea este caracteristică pieselor imersate în fluid,

care se deplasează cu viteză mare, de aceea este un tip de uzură care se întâlnește la toate elicele navale aflate în funcțiune, constituind principala cauză de distrugere și scoatere din funcțiune a acestora.

Bulele de gaz sau vapori (cu raze de ordinul  $50 \dots 250 \mu\text{m}$ ), figura 5, în contact cu suprafețe reci și sub un câmp de presiune variabil, suferă o implozie sau o condensare bruscă. Acest proces repetat de micro-jeturi, caracterizat prin viteze foarte mari de până la  $1000\text{m/s}$ , are un caracter distructiv pronunțat, desprinzând micro-particule și conducând la un strat superficial slăbit și sensibil la următoarele solicitări.

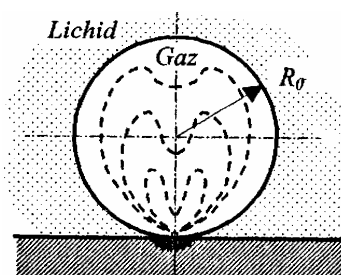


Fig.5 Mecanismul de implozie a bulelor de gaz.

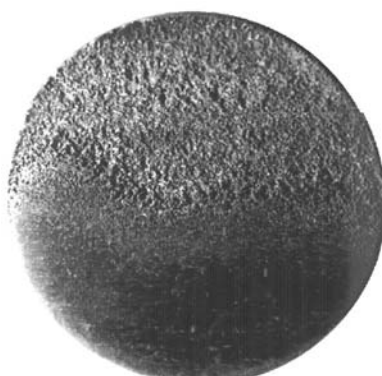
În general, în timpul cavităției unui material, în interiorul acestuia iau naștere tensiuni dinamice de compresiune locală, care ating un maxim și apoi scad, cu toate că în ansamblu piesa poate fi neîncărcată. Distrugerea suprafeței are loc la început foarte lent, apoi brusc se accelerează. La început se produc în straturile superficiale alunecări și deformări plastice, apoi la baza neregularităților se inițiază fisuri care treptat se propagă în stratul superficial al materialului.

În urma cercetărilor a rezultat că mecanismul eroziunii cavitaționale și distrugerea materialului este legat și de compoziția chimică a mediului. Acești factori nemecanici pot accelera într-o mare măsură procesul de distrugere. Un rol important în intensitatea distrugerilor îl joacă reacțiile chimice și electrochimice ale metalului cu mediul de lucru. De exemplu, apa de mare, la orice metal produce o creștere a cavității față de apa dulce. Efectul acțiunii comune este cu mult mai mare decât suma efectelor independente a cavităției și coroziunii.

Figura 6 prezintă distrugerea prin cavitație dar și prin coroziune a unei pale de elice. În figura 7 se prezintă rezultatul cavităției asupra unui oțel carbon și a unei alame, ambele testate în aceleași condiții. Se constată că în cazul alamei distrugerile prin coroziune sunt mai mici.



Fig.6 Uzură de cavitație cu o componentă corozivă, pe o pală de elice.



a) oțel carbon



b) alamă

Fig.7 Eroziune de cavitație pe materiale diferite, în aceleași condiții de testare.

Durificarea stratului superficial prin tratamente termice clasice, prin călire cu fascicul laser sau implantări de ioni, conduce la mărirea de aproximativ 2-3 ori a perioadei de incubație a cavitației, deci întârzierea apariției ei. Materialele cu structură cristalină cu fețe centrate sunt izotrope și puțin sensibile la creșterea vitezei de deformare. Cea mai bună comportare se observă la nichel și cupru iar cea mai slabă la aluminiu. În funcție de compoziție sau de regimul termic de prelucrare aliajele de cupru pot fi unifazice sau multifazice. Aliajele de cupru pot fi compuse din faza  $\alpha$ , faza de transformare  $\beta$ , amestec de fază  $\alpha$  și  $\beta$  sau soluție solidă și produse de descompunere dispersate. Faza  $\alpha$  este relativ plastică și are o rezistență redusă la coroziune cavitațională. Faza  $\beta$  este mai dură și mai puțin plastică. Diferitele proprietăți ale fazelor determină caracterul distrugerii. În figura 8 se prezintă comportarea la cavitație a unui bronz și a unei alame, călite la diferite temperaturi. Pe măsură ce crește procentul de fază  $\beta$ , rezistența la cavitație crește.

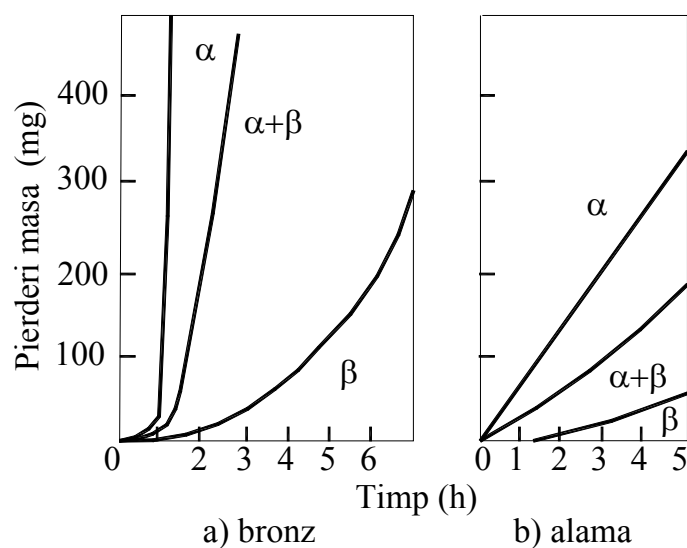


Fig.8 Uzura de cavitație a unui bronz și a unei alame, călite la diferite temperaturi.

Oțelurile cu structură feritică au o slabă rezistență la cavitație, deoarece ferita se distruge prima, focarele de distrugere apar la limitele de faze și se deplasează spre ferită. Oțelurile austenitice stabile au rezistență la cavitație superioară față de cele feritice.

Aliajele pe bază de titan sunt materiale de perspectivă în realizarea organelor de mașini ce funcționează în condițiile acțiunii cavitației. Aceste aliaje au o rezistență mecanică mare, densitate mică, rezistență mare la coroziune. Aliajele de cobalt au cea mai mare rezistență la distrugerea cavitațională. Se presupune că rezistența lor deosebită se datorează transformărilor de fază sub acțiunea cavitației, astfel: pentru transformarea matricei din structură cubică cu fețe centrate în structură hexagonală compactă se consumă cea mai mare parte a energiei de șoc.

Imediat ce un material este supus atacului cavitațional, energia sa internă crește, iar proprietățile în stratul superficial se modifică. Deteriorările încep prin deformări ale stratului superficial, fără a avea practic pierderi de masă. Geometria suprafeței se schimbă, apar adâncituri, sunt amorsate microfisuri ce se propagă și duc în final la smulgeri de material. Pierderile de masă nu evoluează liniar în timp. În general, după o perioadă caracterizată prin pierderi mici (Fig.9), se trece la perioada de distrugere intensă a materialului, după care distrugerea se diminuează. Alura acestor curbe cinetice depinde de condițiile cavitaționale (intensitatea cavitației), felul și starea materialului. Astfel, în perioada de început pot apare două etape distincte (Fig.10, curba a) sau o singură etapă (Fig.10, curba b). În primul caz există la început o perioadă de pierderi practic nemăsurabile după care viteza pierderilor se mărește relativ încet. În al doilea caz,

pierderile sunt imediat măsurabile după expunerea materialului la cavitație. Perioadele caracteristice care se disting pe o curbă ce reprezintă cinetica distrugerilor cavitaționale sunt: perioada de incubație, perioada de atenuare, perioada de stabilizare.

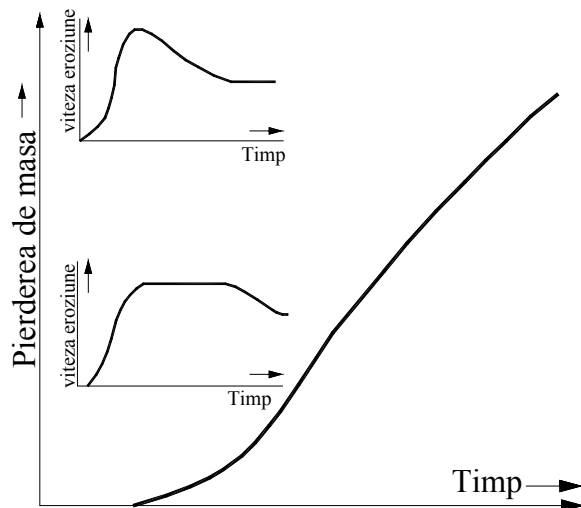


Fig.9 Pierderea de masă în diversele perioade ale uzurii de cavitație.

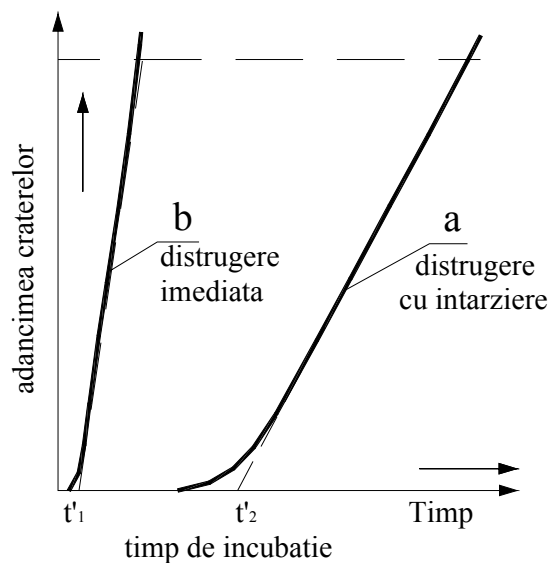


Fig.10 Diverse alinuri ale curbelor de cavitație.

Cercetătorii consideră că tensiunile mecanice intensifică eroziunea cavitațională, permițând formarea unui număr mai mare de cratere de cavitație. În perioada de incubație, tensiunile mecanice accelerează procesul de creștere al microfisurilor. Cum elicele navale sunt supuse atât la tensiuni remanente cât și la tensiuni datorate încărcării, pericolul apariției cavitației este crescut și de neînlăturat.

În concluzie:

- Parametrii mediului de lucru influențează uzura de cavitație:
  - maximul de distrugere corespunde unei temperaturi de aproximativ 40 ° C;
  - cu creșterea presiunii crește și distrugerea;
  - agresivitatea mediului duce la accelerarea procesului de distrugere;
  - creșterea vâscozității frânează procesul de eroziune cavitațională;
  - creșterea conținutului de gaze duce în general la slăbirea procesului de distrugere.

- Parametrii de exploatare influențează uzura de cavitație, astfel:
  - mărirea vitezei duce la accelerarea distrugerilor;
  - aplicarea protecției catodice este favorabilă atunci când mediul de lucru este agresiv;

- existența tensiunilor remanente și a celor externe favorizează apariția cavitației.

O prelucrare îngrijită a suprafețelor elementului supus uzurii de cavitație are influență favorabilă numai în cazul cavitației hidrodinamice.

Comportarea la cavitație a materialelor depinde de structura acestora, astfel: cu cât raportul axelor cristalului este mai apropiat de cel ideal cu atât metalul respectiv are mai multe posibilități de a se deforma și rezistența la distrugere cavitațională crește.

### 4.3. Frettingul

În dicționarul de termeni al OECD (Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică) frettingul este definit ca fiind fenomenul de uzură ce apare între două suprafețe care au o deplasare oscilatorie de mică amplitudine, iar coroziunea de fretting ca o formă de fretting în care reacțiile chimice au un rol predominant.

Cercetătorii francezi au identificat trei moduri de manifestare a frettingului:

- uzura de fretting;
- oboseala de fretting;
- coroziunea de fretting.

În cazul uzurii de fretting mișcarea suprafețelor este datorată unor vibrații exterioare; deplasarea relativă dintre suprafețe ca o consecință a încercării de oboseală poate conduce la oboseala de fretting; în timp ce prezența resturilor de oxid sau predominarea reacției chimice, determină coroziunea de fretting.

Considerat de unii cercetători un adevărat “flagel” al industriei sau o “pacoste” a construcției de mașini, frettingul este răspunzător pentru o serie foarte mare de deteriorări ale diferitelor sisteme tehnice.

Dintre domeniile în care se resimte acțiunea frettingului pot fi menționate:

- asamblările cu strângere: a elicei pe arborele port-elice, a cârmei pe arbore, a rotorilor de turbină, a rulmenților, a roților și rolelor fixe pe osii și arbori, a arborilor cotiți executați din bucăți, a volanților presăți pe arbori, recipiente de înaltă presiune executați din mai multe straturi;
- implanturi ortopedice;
- asamblări cu pene, caneluri, butuci pe arbori profilați, asamblări nituite;
- la arcurile multilamelare;
- orice montaj pe suprafețe conice;
- ambreiaje cu discuri plane și conice.

Frettingul se produce între două suprafețe în contact supuse unor mișcări oscilatorii de mică amplitudine, aceasta conducând la degradări ce pot lua diverse forme, antrenând disfuncționalități de forma: blocaj al sistemelor mecanice (gripaj), apariția jocurilor (datorită produselor de uzură), amorsarea unor fisuri (datorită oboselii).

Frettingul reprezintă o formă particulară și complexă de deteriorare (incluzând forme fundamentale de uzare ca: adeziunea, oboseala, abraziunea și coroziunea) manifestându-se în general ca uzare sau oboseală de fretting, care se produce pe suprafețe în contact încărcate (sau neîncărcate) care au o mișcare relativă oscilatorie de mică amplitudine, mișcare ce poate fi determinată de tracțiune, încovoiere sau torsiune variabilă, sau chiar de vibrații.

În prezentul paragraf, ne vom ocupa de uzura de fretting și oboseala de fretting, iar coroziunea de fretting va fi analizată la capitolul de uzare prin coroziune.

Uzura de fretting înțelegea ca desprinderea de material de pe suprafețele supuse la fretting, pe lângă modificarea geometriei și aspectului exterior, poate avea urmări grave legate de pierderea preciziei dimensionale.

Astfel, pot apărea două situații:

- la ajustajele cu joc, dacă particulele de uzură nu pot fi evacuate din zona de contact, datorită volumului lor pot provoca pierderea jocului și blocarea pieselor aflate în contact;
- la asamblările cu strângere, dacă particulele de uzură sunt evacuate din zona de contact, se poate ajunge la pierderea strângerii inițiale.

Pentru studiul fenomenului de fretting, cercetătorii au scos în evidență importanța dependenței dintre forța tangențială aplicată și deplasarea instantanee la nivelul contactului. Dependența dintre forța tangențială (provenită de la o forță axială, un moment încovoietor sau un moment de răsucire) aplicată variabil și forța sau momentul de frecare din asamblare este definitorie pentru comportarea asamblării la acest tip de uzură. În funcție de această dependență se pot produce alunecări parțiale sau totale între suprafețe. Condițiile contactului pe întreaga suprafață sunt însă dificil de stabilit, ele depinzând de: proprietățile fizico-chimice ale suprafețelor în contact, de legea de distribuție a presiunii între suprafețe, de regimul de lucru și de natura contactului.

Pentru studiul fenomenului de fretting este necesară determinarea corespunzătoare a regimurilor de lucru cu stabilirea unor frontiere cât mai exacte între diferitele regimuri de lucru. Astfel se pot stabili criterii de tranziție între alunecarea parțială și alunecarea totală, aceste criterii depinzând de forța normală și de forța tangențială introdusă la nivelul contactului.

În urma studiilor și experiențelor efectuate pe parcursul mai multor ani, autorii prezentului contract au ajuns la unele concluzii privind cauzele uzurii de fretting și posibilitățile de reducere a acestei uzuri. Studiile s-au efectuat pe asamblări conice montate prin strângere, ușoara conicitate permițând un control riguros al strângerii din asamblare.

S-au urmărit pe rând influența mai multor factori asupra apariției și dezvoltării uzurii de fretting, astfel a fost analizată:

a) Influența capetelor asamblării

După montarea presată a butucului pe arbore, butucul fiind mai scurt decât arborele dar de formă axial simetrică, distribuția presiunii pe suprafața de contact rezultă neuniformă, ea crescând foarte mult la capetele asamblării.

În stare normală, fără încărcare exterioară, în asamblare apare distribuția de tensiuni radiale ( $\sigma_r$ ) și de forfecare ( $\tau$ ) prezentată în figurile 11 și 12, pentru arbore cu diametrul de 400 mm, diametrul exterior al butucului de 800 mm și lungimea butucului de 200 mm. Strângerea diametrală adoptată a fost  $s = d/500$ , materialul pieselor – oțelul.

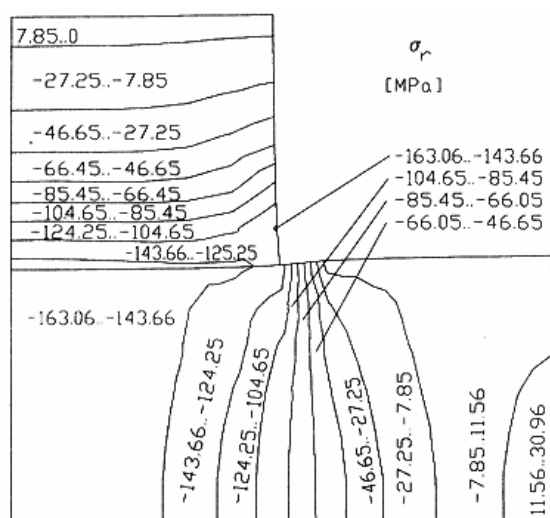


Fig.11 Distribuția tensiunilor  
normale radiale ( $\sigma_r$ )

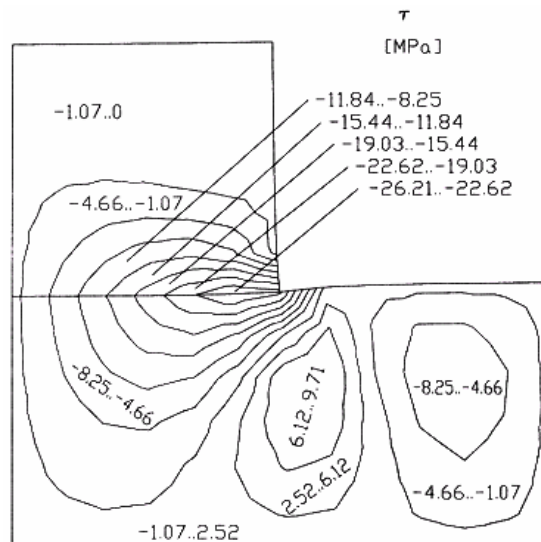


Fig.12 Distribuția tensiunilor  
tangențiale de forfecare ( $\tau$ ).

Considerând numai valorile de pe suprafața de contact, tensiunile menționate au distribuția din figura 13. Calculând raportul  $\tau/\sigma_r$  la raza de contact  $R_c$  (Fig.14), rezultă că acesta are valori superioare coeficientului de frecare  $\mu$ , ceea ce favorizează alunecarea pe capătul asamblării la cea mai mică perturbare a factorilor externi de solicitare. Ba chiar la montări și demontări repetate, deci la aplicarea unei forțe axiale tangență la suprafața de contact a asamblării, s-au constatat amprente circulare ce prevesteau uzura de fretting (Fig.15).

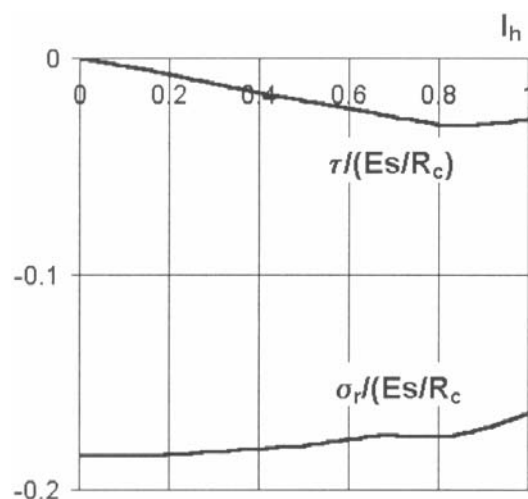


Fig.13 Tensiunile radiale și de  
forfecare la suprafața de contact,  
la montaj.

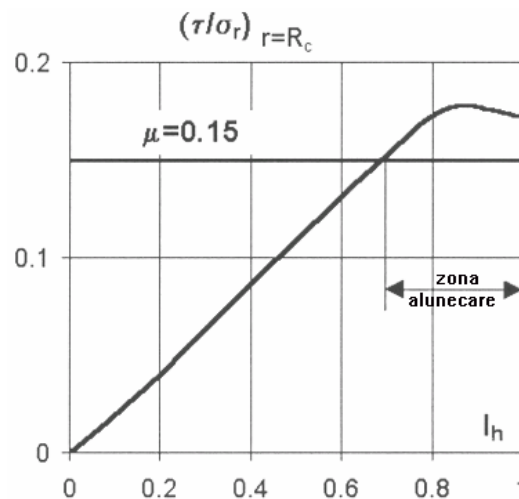


Fig.14 Variația raportului  
la suprafața de contact, pe lun-  
Gimea asamblării, la montaj.



Fig.15 Amprenta circulară de fretting obținută în urma unor montări și demontări repetate a unei asamblări prin strângere.

b) Influența formei exterioare a butucului

Analizând un butuc de formă specială (Fig.16) radial nesimetrică (raza exterioară variază liniar cu unghiul), cum ar fi în cazul cârmei sau a coturilor de la arborii cotiți, au fost calculate și măsurate tensiunile și deformațiile induse de forma nesimetrică. Curbele de nivel constant ale acestor tensiuni sunt prezentate în figurile 17 și 18. Rezultatul este același: pe o anumită arie asamblarea are tendință de alunecare crescută (Fig.20) – zona de slipping – se obține pe porțiunea în care raportul  $\tau/\sigma_r$  depășește coeficientul de frecare  $\mu$ .

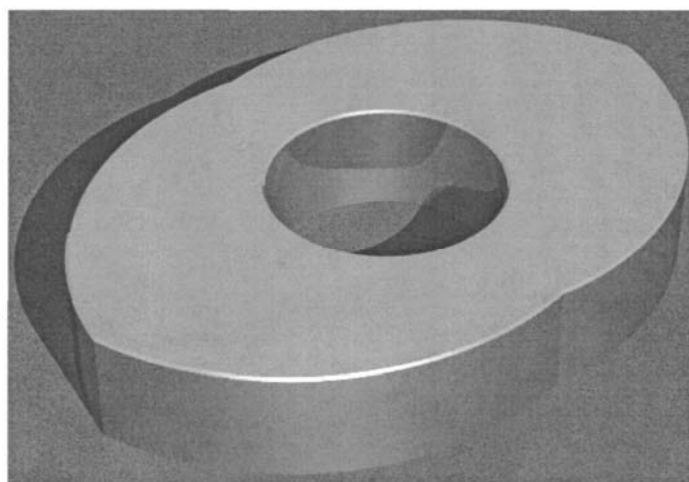


Fig.16 Butuc cu periferie radial nesimetrică.

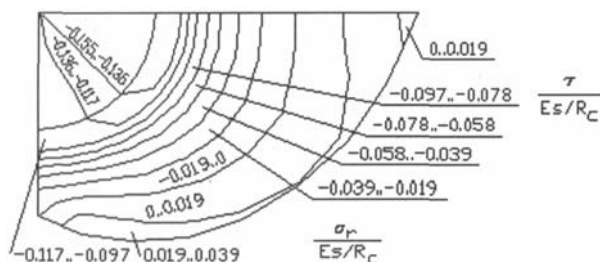


Fig.17 Distribuția tensiunilor radiale  $\sigma_r$  într-o secțiune frontală a butucului.

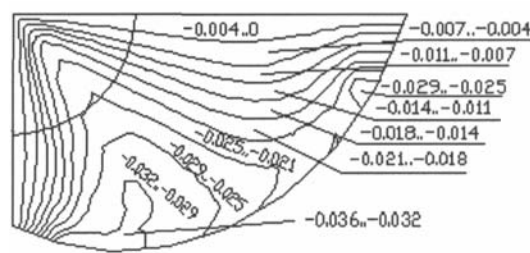


Fig.18. Distribuția tensiunilor de forfecare  $\tau$  într-o secțiune frontală a butucului.

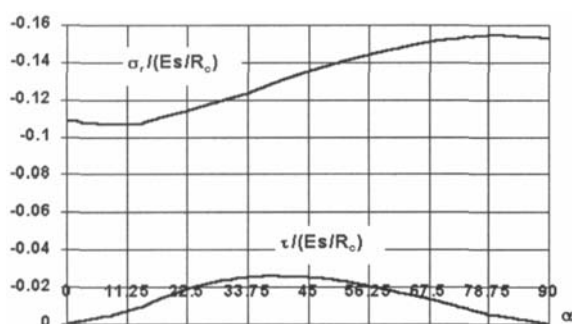


Fig.19 Variația tensiunilor radiale și de forfecare pe un unghi de  $90^\circ$ , într-o secțiune frontală.

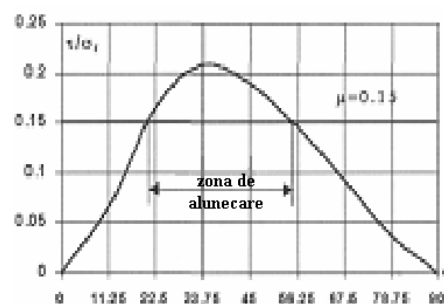


Fig.20 Variația raportului  $\tau/\sigma_r$  într-o secțiune frontală a butucului, pe un unghi de  $90^\circ$ .

Prelucrând rezultatele studiului efectuat pentru asamblări asimetrice este de așteptat să se obțină o distribuție a efectelor de alunecare ca în figura 21

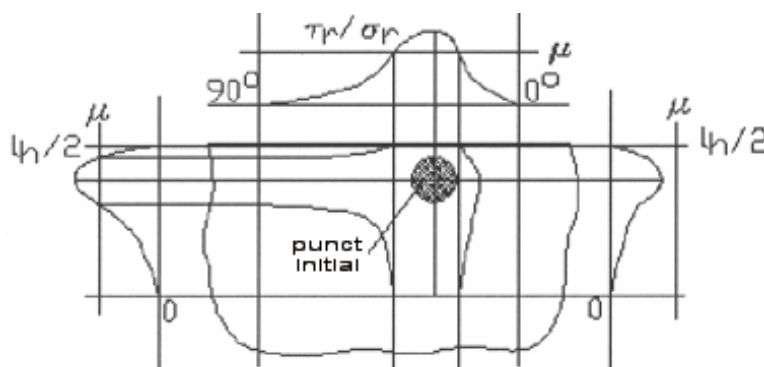


Fig.21 Zona de apariție a "slippingului" la un butuc asimetric.

Într-adevăr, inspectând o asemenea asamblare după un anumit timp de funcționare, s-au observat amprente de presiune și puncte de alunecare în pozițiile prevăzute (Fig.22).

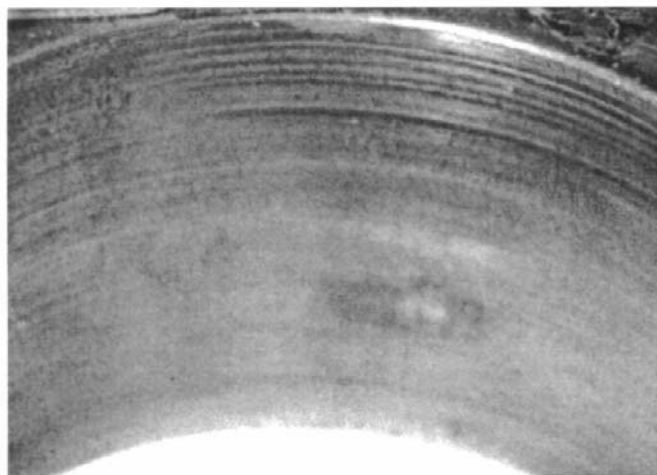


Fig.22 Amprenta de fretting datorită periferiei necirculare a butucului.

### c) Influența încărcării centrifugale

Pe o cale similară, forțele centrifugale, care apar în special în cazul elicelor, produc scăderea strângerii între elice și arborele port-elice și deci măresc tendința de alunecare la capetele asamblării (Fig.23, Fig.24, Fig.25, Fig.26). Arborele a fost considerat plin.

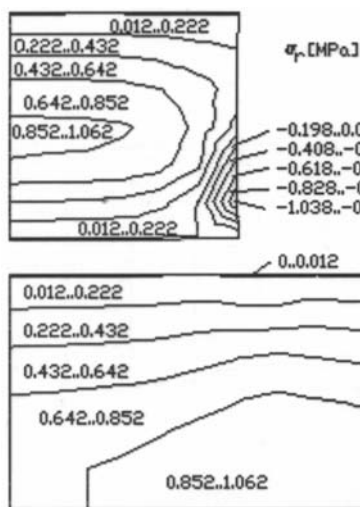


Fig.23 Distribuția tensiunilor  
radiale  $\sigma_r$  în mișcarea de rotație

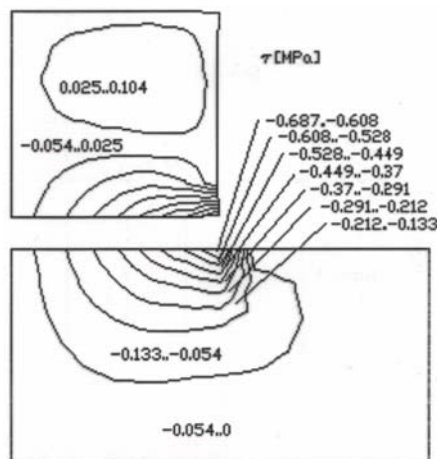


Fig.24 Distribuția tensiunilor de  
forfecare  $\tau$ , în mișcarea de rotație.

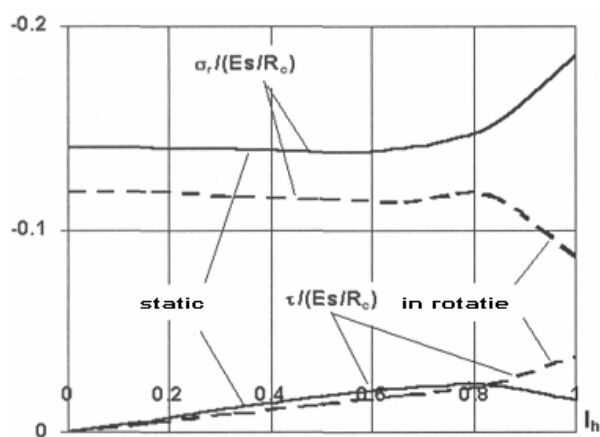


Fig. 25 Variația tensiunilor radiale și de forfecare la suprafața de contact, în mișcarea de rotație

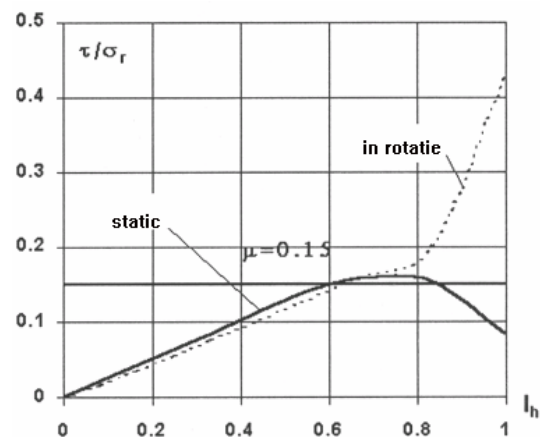


Fig. 26 Variația raportului  $\tau / \sigma_r$  la suprafața de contact, pe lungimea asamblării, în mișcarea de rotație.

#### d) Influența câmpului termic tranzitoriu

Analizând influența încălzirii exterioare a butucului (cazul cilindrilor de laminor cu tăblie fretată), a fost obținută variația parametrilor mecanici ( $\sigma_r, \tau$ ) pe durata încălzirii. La un anume timp, numit "timp critic" de încălzire, când datorită dilatării butucului și mai puțin a arborelui, strângerea în asamblare ia valori minime, caracterizat prin criteriul adimensional Fourier,  $F_0$ , tendința de alunecare în asamblare este accentuată spre capetele ei, comparativ cu asamblarea neîncălzită (Fig. 27, Fig. 28).

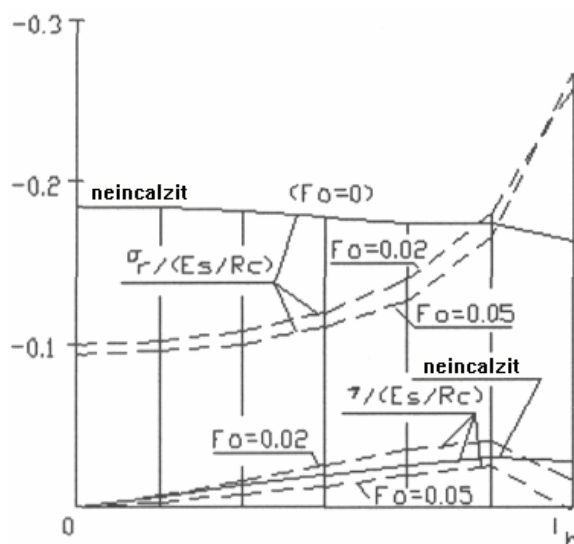


Fig. 27 Variația tensiunilor  $\sigma_r$  și  $\tau$  la suprafața de contact, cu încălzirea.

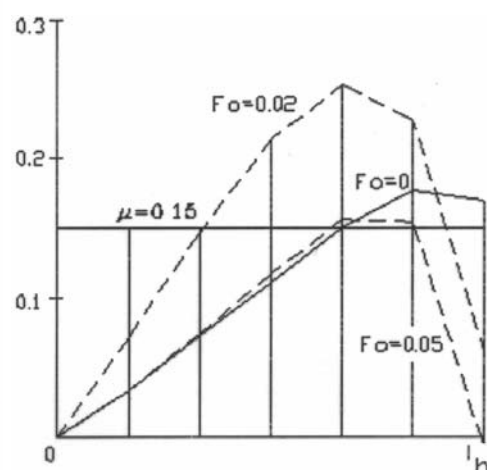


Fig. 28 Variația raportului  $\tau / \sigma_r$  la suprafața de contact, cu încălzirea ( $F_0$ ), pe lungimea asamblării.

Uzura prin fretting se poate explica prin existența următoarelor etape:

- 1) – procese de deformare a contactului;
  - inițierea și propagarea fisurilor de la suprafață;
  - formarea și ruperea legăturilor adezive;
- 2) – formarea și oxidarea particulelor de uzură;
- 3) – acțiunea abrazivă a particulelor de uzură.

Ponderea acestor etape este diferită, în funcție de amplitudinea alunecării. Astfel, la amplitudini mici ale alunecării, uzura oxidantă devine predominantă iar comportarea la uzură este mai bună. La amplitudini mari, uzura de fretting are loc astfel:

- rugozitatea suprafeței inițiale este diminuată prin deformarea plastică a fiecărei asperități;

- uzura mecanică-adezivă devine importantă;
- uzurile oxidativă și abrazivă au loc în cadrul unui regim staționar.

Fenomenul ce are loc este complex, apreciindu-se că uzura de fretting implică aderența, oxidarea, abraziunea și chiar pittingul.

Explicațiile moderne privind deteriorarea prin fretting au în vedere starea de tensiuni și deformări din zona de contact și comportamentul reologic al materialului deformat, direcție în care ne-am orientat studiile.

Pe de altă parte, oboseala de fretting se manifestă atunci când fisurile de fretting sunt inițiate în interiorul sau la marginea contactelor de fretting, propagarea acestora putând duce la reducerea drastică a duratei de viață sau chiar la rupere.

Măsura în care cele două aspecte ale deteriorării de fretting se leagă între ele nu este încă pe deplin elucidată. Pot fi făcute însă următoarele observații:

- deteriorarea suprafeței de contact și distribuția solicitării sunt similare în cele două aspecte. Factorul primar prezent în cazul oboselii de fretting și care nu este necesar pentru uzura de fretting, este tensiunea variabilă într-unul din solidele aflate în contact;

- ruperile datorate oboselii de fretting apar în zonele care prezintă deteriorări de fretting ale suprafeței, de cele mai multe ori la marginea ariei de contact sau aproape de interfețele de alunecare/nealunecare;

- inițierea și propagarea fisurii sunt importante atât în uzura cât și în oboseala de fretting, conducând la microfisuri și desprinderea de așchii de metal (în cazul uzurii) și la ruperi la oboseală (în cazul oboselii de fretting).

Oboseala de fretting pare deci să se datoreze concentrărilor locale de tensiuni asociate cu efectul de margine al zonelor în contact. Supunând la încovoiere un arbore pe care a fost montat un butuc presat, oboseala de fretting apare vizibilă mai întâi la

capătul asamblării presate printr-o racordare a capătului butucului și o adâncitură circulară pe arbore (Fig.29). Efectul ei este de a schimba distribuția inițială de presiune ca rezultat al măcinării și oxidării suprafețelor în acea zonă. Cu timpul, aria micro-alunecărilor se extinde conducând la slăbirea asamblării presate. Încărcările exterioare, capabile să producă o astfel de influență, sunt:

- concentrarea tensiunilor la capetele butucului și variația acestora ca semn datorită existenței forțelor axiale, momentelor încovoietoare sau de răsucire variabile;
- concentrarea tensiunilor în unele zone ale asamblării supusă la viteze de rotație variabile;
- concentrarea tensiunilor în unele zone ale suprafeței de contact atunci când butucul are o formă neregulată la exterior iar asamblarea este supusă la diverse sollicitări.

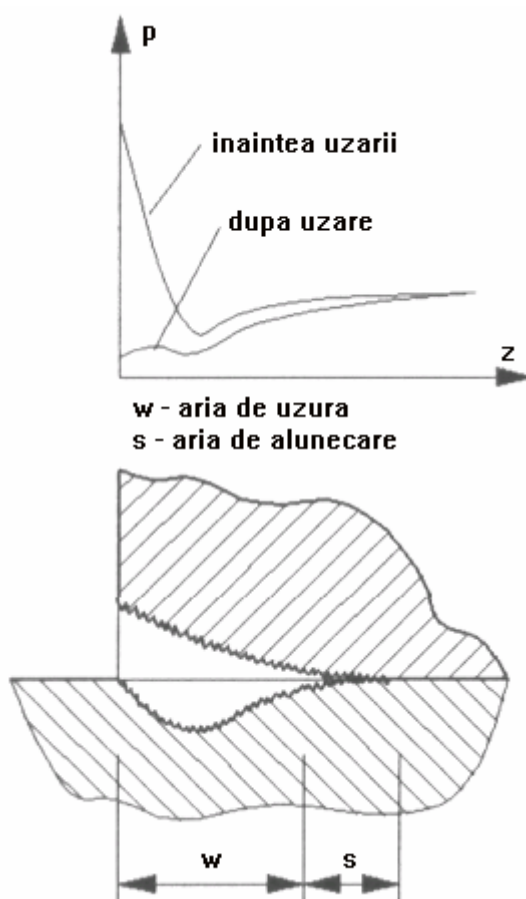


Fig.29 Evoluția oboselii de fretting la capătul asamblării.

Atât uzura cât și oboseala de fretting sunt guvernate de rata de formare al celui de al treilea corp între suprafețele inițiale de contact. Ambele se caracterizează prin pierderea de material în zona de contact, ducând la formarea de cratere în aria supusă la fretting.

Coroziunea de fretting se consideră ca fiind o deteriorare prin formarea unui strat de oxid pe suprafață sau prin acumularea particulelor oxidate în punctele de contact.

Vincent L. și colaboratorii săi consideră că uzura și oboseala de fretting au origini diferite, dar că ambele forme de deteriorare coexistă, deseori, la același contact.

În ambele cazuri, primele distrugerii apar pe capetele asamblării în zona în care se concentrează și tensiunile. În această situație, uzura superficială a materialului în zonele de alunecare sfârșește prin a provoca amorse de fisură grăbind momentul ruperii, astfel că fenomenele de oboseală de contact și cel de oboseală la rupere se cumulează producând scăderea capacității de rezistență în comparație cu a arborelui liber. În scopul reducerii tensiunilor pe capetele butucului, precum și în scopul creșterii siguranței în exploatare a asamblării, în literatură sunt prezentate rezultate ale unor experimentări asupra unor probe cu diverse forme terminale, la care am adăugat experiența proprie. Toate aceste soluții constructive au ca scop crearea unei zone inițiale de trecere progresivă de la rigiditatea mai mică a arborelui la cea mai mare din zona butucului, aceasta fiind principala cauză a apariției vârfului de presiune. În acest scop pot fi recomandate o serie de soluții constructive, cum ar fi:

- Canale de relaxare executate în butuc sau pe arbore, a căror dimensiuni au fost puse în legătură cu diametrul arborelui ( $d$ ) – Fig.30, Fig.31 și Fig.32.

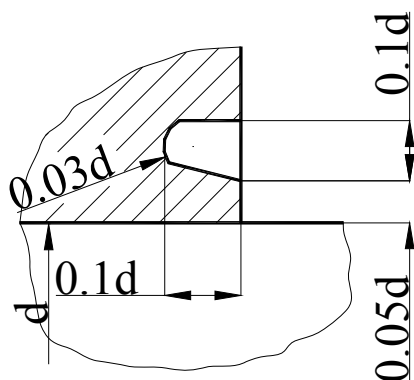


Fig.30 Canal de descărcare a tensiunilor la capătul butucului.

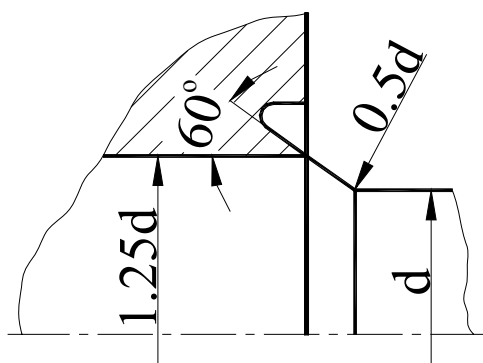


Fig.31 Canal de descărcare a tensiunilor la capătul butucului racordat către arbore

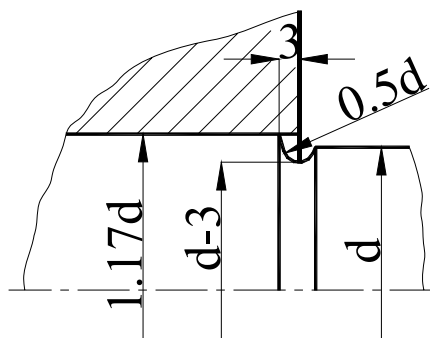


Fig.32 Canal de descărcare a tensiunilor la capătul asamblării, pe arbore.

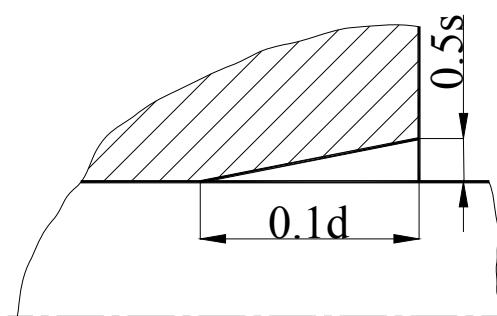


Fig.33 Teșitură la capătului butucului Pentru descărcarea tensiunii.

Dintre cele trei variante, de preferat sunt cele din figurile 30 și 31, deoarece varianta din figura 32, prin canalul practicat pe arbore introduce un concentrator de tensiune care reduce rezistența arborelui la oboseală.

- Interiorul butucului să fie prelucrat la capete cu teșituri, a căror dimensiuni sunt puse în corelație cu strângerea ( $s$ ) și cu diametrul arborelui ( $d$ ) – Fig.33.
- Butuc cu exteriorul subțiat în trepte sau continuu către capetele asamblării – Fig.34 și Fig.35.

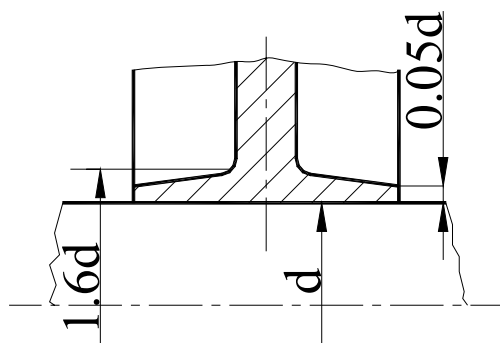


Fig.34 Butuc cu exteriorul subțiat continuu către capătul Asamblării.

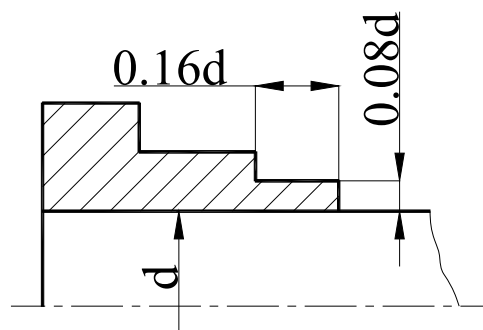


Fig.35 Butuc cu exteriorul subțiat în trepte către capătul asamblării.

- Executarea unor treceri de tranziție comune de la butuc la arbore, cu prelucrarea unui canal de descărcare pe suprafața frontala a butucului și un salt de diametru la arbore printr-o racordare – Fig.31.

Adoptând una dintre aceste soluții efectul obținut este dublu: se micșorează tensiunile inițiale, reducându-se astfel posibilitatea apariției amorselor de fisură la oboseală și se reduce uzura.

## 5. Uzura de coroziune

### 5.1. Tipuri de coroziuni

Coroziunea metalelor constă în distrugerea spontană parțială sau totală a metalelor în urma unor reacții chimice, biochimice sau electrochimice survenite sub acțiunea fizico-chimică a mediului înconjurător

În timpul exploatării, construcțiile și instalațiile sunt supuse acțiunii mediului exterior, care provoacă trecerea metalelor din stare metalică în stare ionică, această modificare fiind însoțită de micșorarea masei și de înrăutățirea proprietăților importante ale metalelor. Coroziunea nu poate fi evitată dar poate fi redusă.

Procesul de degradare a metalelor și aliajelor se datorează faptului că acestea, prelucrate sub formă de utilaje și aflate de multe ori în tensiune, se găsesc într-o stare nestabilă termodinamic, caracterizată de un nivel de energie ridicat. Ca urmare, ele prezintă tendința de a reveni la o stare stabilă, inferioară energetic, adică la starea naturală în care se găsesc în minereuri (sub formă de compuși).

Procesul de coroziune se desfășoară spontan, deoarece sistemul metal – mediu difuziune este mai puțin stabil termodinamic decât sistemul compus chimic – mediu difuziune.

Economia fiecărei țări este puternic afectată de procesele de coroziune, amploarea pierderilor provocate crescând odată cu gradul de industrializare al țării. Cantitatea de metal distrusă anual datorită coroziunii se situează între 15% și 20%. Aceste pierderi, se clasifică în pierderi directe și indirecte. Un exemplu de pierderi directe l-ar reprezenta costul unui agregat nou care înlocuiește unul distrus prin coroziune. Pierderile indirecte sunt, în general mai mari și mai greu de apreciat. În categoria pierderilor indirecte ar fi cheltuielile necesare pentru supradimensionarea utilajelor, astfel ca rezistența lor mecanică și exploatarea normală, în caz de coroziune, să fie asigurate o perioadă de timp dată. În industria chimică sau alimentară se pot considera indirecte și pierderile provocate prin impurificarea substanțelor cu produși de coroziune.

Tabelul 3 conține pierderile anuale cauzate de coroziune în câteva state industrializate. Global, în țările industrializate, costul materialelor metalice deteriorate prin coroziune se estimează la circa 50 dolari/om an.

Tabelul 3

Pierderi anuale provocate de coroziune în câteva state

|    | Țara     | Pierderi anuale (mil. dolari) |
|----|----------|-------------------------------|
| 1. | SUA      | 20.000                        |
| 2. | Anglia   | 840                           |
| 3. | Germania | 2.400                         |
| 4. | Franța   | 440                           |

Este sigur că unul din 10 muncitori din industriile extractive, metalurgice, constructoare de mașini etc. lucrează pentru acoperirea efectelor coroziunii.

Înțelegerea acestor aspecte și a semnificațiilor lor pentru economie duce, neapărat, la eforturi economice pentru găsirea și aplicarea celor mai eficiente metode de protecție anticorrosivă, pentru realizarea celor mai potrivite aliaje în condiții de exploatare date, cât și la pregătirea unui personal calificat în domeniu.

După mecanismul coroziunii se pot distinge patru tipuri de coroziuni și anume:

- Coroziunea chimică;
- Coroziunea biochimică;
- Coroziunea mecanochimică;
- Coroziunea electrochimică.

Coroziunea chimică, fără schimb de sarcini, este posibilă la toate materialele metalice și nemetalice, și este guvernată de legi ale cineticii chimice.

Coroziunea electrochimică, forma cea mai răspândită de distrugere a metalelor, apare la contactul acestora cu soluții de electroliti, însoțită de transfer de sarcină și are la bază legi ale cineticii electrolitice. Acest tip de coroziune se întâlnește și în cazul elicelor navale aflate într-un mediu purtător de ioni – apa de mare.

Coroziunea biochimică, biocoroziunea sau coroziunea micro-biologică este cauzată de activitatea metabolică a unor microorganisme care utilizează metalul ca mediu de cultură. Biocoroziunea apare de obicei la structuri metalice feroase, mai puțin la cele neferoase, aflate în contact cu ape stagnante sau implantate în organisme vii.

Coroziunea mecano-chimică, apare în condiții de exploatare industrială a utilajelor metalice, când alături de agentul difuziune concură la distrugerea metalului și tensiunea remanentă sau aplicată.

După natura solicitărilor mecanice, se pot accepta următoarele subclase:

- coroziunea sub tensiune, datorată solicitărilor statice (remanente sau induse);

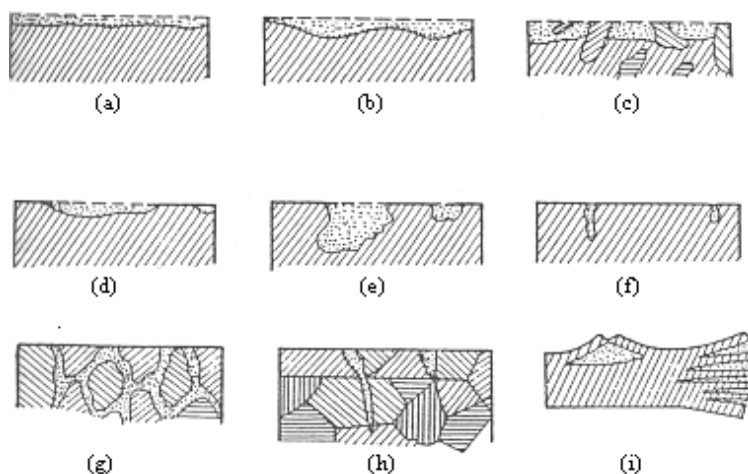
- coroziunea de oboseală, datorată solicitărilor periodice, când fenomenul de oboseală propriu-zis este activat de prezența unui anumit mediu ambiant.

Un caz tipic de coroziune sub tensiune este fretting – coroziunea care apare în cazul pieselor montate cu strângere, situație întâlnită la montarea elicei pe arborele port-elice, montarea prin presare introducând în piesele asamblate tensiuni remanente (de întindere pentru butucul elicei și de compresiune pentru arbore).

Coroziunea de oboseală se întâlnește tot la elice, când acestea intră în funcțiune, asamblarea lor presată este solicitată la încovoiere alternant – simetrică și la răsucire pulsatorie, iar procesul se desfășoară în mediu difuziune.

Defectele cele mai des sesizabile ale coroziunii sunt: alterarea suprafeței, modificarea greutateii și scăderea proprietăților de utilizare ale produsului.

Având în vedere aceste defecte, clasificarea tipurilor de coroziune se face și după distribuția atacului pe suprafața metalului (Fig.36).



**Fig.36 Tipuri de distrugere corozivă**

(a)- uniformă; (b)- neuniformă; (c)- structural selectivă; (d)- prin pete;  
difuziune- plăgi de coroziune; (f)- punctiformă; (g)- intercristalină;  
(h)- transcristalină; (i)- sub suprafață.

După acest criteriu, deosebim:

- Coroziunea generală (a și b – Fig.36);
- Coroziunea localizată (c, d, e, f, g, h și i – Fig.36).

Coroziunea este uniformă (a) când distrugerea afectează întreaga suprafață pe aceeași adâncime, iar rezistența mecanică scade proporțional cu pierderea în greutate a produsului metalic.

Coroziunea neuniformă este concentrată numai pe anumite porțiuni de suprafață, care pot fi mai mari – pete de coroziune (d și e) – sau foarte mici, de câțiva milimetri –

pittinguri (f), când metalul se distruge în adâncime. În acest caz proprietățile mecanice scad mult mai pronunțat decât în cazul pierderii în greutate, de exemplu – atacul fierului sau aluminului de către apa de mare.

După caracterul distrugerii în raport cu structura metalului, coroziunea poate fi:

- Inter cristalină (g – Fig.36);
- Transcristalină (h – Fig.36);
- Selectivă (c – Fig.36).

### **Coroziunea inter cristalină**

Metalul se corodează în profunzime de-a lungul limitelor de grăunțe, fără a suferi pierderi de greutate sensibile și uneori chiar fără a se altera vizibil suprafața. Efectele asupra proprietăților mecanice sunt însă dezastruoase, producții de coroziune intergranulară provocând „decoeziunea” materialului metalic, ceea ce poate conduce la ruperea sub cel mai mic efort. Acest tip de coroziune apare la aliajele cu structură de soluție solidă (aliaje de aluminiu, oțeluri inoxidabile, aliaje pe bază de nichel etc.).

Coroziunea transcristalină este un proces de distrugere fisurantă a metalelor, perpendicular pe direcția tensiunilor remanente interne, prezente în piesele metalice în urma prelucrării mecanice, a tratamentelor termice sau a sudurii. Acest tip de coroziune apare la aliaje de magneziu și la unele oțeluri inoxidabile.

Coroziunea selectivă constă într-o corodare preferențială a grăunților cristalini ai constituentului metalografic cel mai atacabil din aliaj. Coroziunea selectivă ca și cea de tip pitting poate avea un caracter punctiform, dar ea nu are caracterul penetrant specific pittingului, deoarece după dizolvarea în întregime a unui grăunte ea nu poate continua în același punct, de exemplu – dezincarea alamei în mediu acid sau dezaluminizarea bronzurilor.

Tipul de coroziune, caracterizat prin forma, întinderea și viteza de reacție, va fi determinat de natura metalului și a soluției agresive, de proprietățile fizice și chimice ale produselor de reacție și de condițiile în care are loc atacul (temperatură, presiune, viteză de curgere etc.). De exemplu: aluminiul se corodează în soluții apoase sub 100<sup>0</sup> C prin pitting, între 190<sup>0</sup> C și 250<sup>0</sup>C se corodează uniform, iar peste 250<sup>0</sup>C apare coroziunea inter cristalină.

## 5.2. Indici de apreciere a coroziunii

Intensitatea coroziunii poate fi apreciată pe baza variației unor proprietăți ale materialului metalic ca de exemplu: pierderea în greutate, modificarea stării suprafeței, modificarea caracteristicilor mecanice, măsurarea concentrației în mediul difuziune a unei substanțe (reactant sau produs). Aprecierea se face prin indici de coroziune, dintre care cei mai utilizați sunt indicele gravimetric și indicele de penetrație.

Indicele gravimetric reprezintă variația greutății probei  $\Delta m$  ca rezultat al coroziunii, în unitatea de timp  $t$  pentru unitatea de suprafață  $S$ :

$$V_{\text{cor}} = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

Indicele de penetrație  $P$  reprezintă adâncimea medie a penetrației produsă de coroziune în masa metalului și este dat de relația:

$$P = \frac{V_{\text{cor}}}{\rho} \quad (2)$$

unde:  $V_{\text{cor}}$  – indicele gravimetric, în  $\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$

$\rho$  - densitatea mediului, în  $\text{g/cm}^3$

Indicele de penetrație dă indicații orientative asupra oportunității utilizării unui metal sau aliaj ca material de construcție, pentru un mediu difuziune dat.

Indicele de coroziune,  $P$ , este corelat cu o scară convențională de rezistență la coroziune ce cuprinde zece grupe de rezistență (Tabelul 4).

Tabelul 4

Scara convențională de rezistență la coroziune

| Grupa de rezistență | Indice coroziune, mm/an | Grupa | Pierdere de greutate, mm/an |              |              |               |              |
|---------------------|-------------------------|-------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|                     |                         |       | Oțel carbon, fontă          | Cu și aliaje | Ni și aliaje | Al și aliaje  | Mg și aliaje |
| Perfect rezistent   | 0,001                   | 1     | 0,0009                      | 0,001        | 0,001        | 0,00012       | 0,0003       |
| Foarte rezistent    | 0,001-0,005             | 2     | 0,0009-0,0045               | 0,001-0,0051 | 0,001-0,005  | 0,0003-0,0015 | 0,0002-0,001 |
|                     | 0,005-0,010             | 3     | 0,0045-0,009                | 0,0051-0,01  | 0,005-0,001  | 0,0015-0,003  | 0,001-0,002  |
| Rezistent           | 0,01-0,05 0,05-0,10     | 4     | 0,009-0,045                 | 0,01-0,051   | 0,01-0,05    | 0,003-0,015   | 0,002-0,010  |
|                     | 0,05-0,10               | 5     | 0,045-0,09                  | 0,051-0,10   | 0,05-0,10    | 0,015-0,031   | 0,01-0,02    |
| Rezistență scăzută  | 0,10-0,5                | 6     | 0,09- 0,45                  | 0,10-0,51    | 0,10-0,50    | 0,031-0,154   | 0,02-0,10    |

|                                                                                   |        |                                                                                                                                                       |            |           |         |                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  |        | <b>Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006</b> |            |           |         |  |           |
|                                                                                   | 0,5-1  | 7                                                                                                                                                     | 0,45 – 0,9 | 0,51-1,02 | 0,5-1,0 | 0,154-0,310                                                                         | 0,1 – 0,2 |
| Puțin rezistent                                                                   | 1 – 5  | 8                                                                                                                                                     | 0,9-4,5    | 1,02-5,1  | 1 – 5   | 0,31-1,54                                                                           | 0,2 – 1   |
|                                                                                   | 5 – 10 | 9                                                                                                                                                     | 4,5-9      | 5,1-10,2  | 5 – 10  | 1,54-3,10                                                                           | 1 – 2     |
| Nerezistent                                                                       | 10     | 10                                                                                                                                                    | 9,1        | 10,2      | 10      | 3                                                                                   | 2         |

În ultimul timp, s-a emis propunerea ca la aprecierea deteriorărilor cauzate de coroziune, să se țină seama, pe lângă pierderile de masă și de modificarea proprietăților fizico-chimice ale metalelor.

Indicele de coroziune,  $R_{\tau}$ , se exprimă prin relația:

$$R_{\tau} = P_{init} - P_{\tau} \quad (3)$$

unde:  $P_{init}$  – proprietatea materialului în stare inițială;

$P_{\tau}$  - aceeași proprietate după coroziunea în decursul timpului  $\tau$ .

Astfel indicele  $R_{\tau}$  prezintă avantajul de a exprima coroziunea independent de mecanismele acesteia. Cu ajutorul acestui criteriu se pot caracteriza toate tipurile de coroziune. Determinându-l pe  $R_{\tau}$  pentru valori egale de timp se pot compara între ele diferite tipuri de coroziuni. Folosirea acestui criteriu a permis compararea coroziunii diferitelor metale în condițiile acțiunii concomitente a tensiunilor statice și ciclice, precum și a hidrogenării, de difuziune să se determine acțiunea distructivă a tensiunilor și a mediului și să se aprecieze interacțiunea acestora.

### 5.3. Coroziunea electrochimică

La elicele navale aflate în apa de mare, principalul mod de coroziune este cea electrochimică. În contact cu un electrolit, metalele se corodează printr-un proces complex de oxidare și dizolvare numit coroziune electrochimică.

Recunoașterea faptului că distrugerea metalelor prin coroziune de către faza lichidă este un proces mixt, de oxidare anodică a metalului și simultan un proces de reducere catodică, este esențială pentru înțelegerea problemei. Metalul prezintă o suprafață echipotențială unde pot exista zone care constituie sedii ale proceselor anodice și catodice care se desfășoară la același potențial.

Ca mecanism unanim acceptat, coroziunea electrochimică se produce astfel: prin contactul nemijlocit al metalului cu soluția de electrolit, o parte a ionilor din rețeaua

metalică trece în soluție, iar la suprafața metalului se formează un strat dublu electric în care metalul se încarcă negativ. Din cauza interacțiunii cinetice dintre soluție și pătura de ioni din stratul dublu, o parte a acestora se pot schimba cu alți cationi din soluție. Descărcarea aceasta este însoțită de o dizolvare a unei noi porțiuni de metal pentru a se reface echilibrul în stratul dublu electric.

Cel mai simplu sistem electrochimic, format dintr-un conductor electronic (metal) cufundat într-un conductor ionic (soluție de electrolit) poartă numele de electrod. Metalul eliberează electroni, iar ionii săi pozitivi intră în soluție, rezultând o diferență de potențial între electrod și electrolit.

Potențialul de electrod exprimă diferența de energie a electronilor, în fazele electrod-electrolit și se poate defini prin energia consumată cu transportul unității de sarcină dintr-o fază în cealaltă. Potențialul de electrod nu poate fi măsurat ca atare ci numai ca diferență de potențial față de un electrod de referință. Electrocul standard de referință este cel de hidrogen al cărui potențial în condiții normale este zero la toate temperaturile.

În funcție de valoarea potențialelor de electrod s-a stabilit seria potențialelor a electrochimice a metalelor – Tabelul 5.

Tabelul 5

Seria electrochimică (potențiale de reducere în raport cu electrocul normal de hidrogen).

| Elemente | Reacția de electrod                                                                                          | Potențialul de electrod [V] |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Litiu    | $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$                                                             | - 2,959                     |
| Rubidiu  | $\text{Rb} \rightarrow \text{Rb}^+ + \text{e}^-$                                                             | - 2,925                     |
| Potasiu  | $\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + \text{e}^-$                                                               | - 2,924                     |
| Calciu   | $\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 2,763                     |
| Sodiu    | $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$                                                             | -2,714                      |
| Magneziu | $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | -2,37                       |
| Beriliu  | $\text{Be} \rightarrow \text{Be}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | -1,85                       |
| Aluminiu | $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$                                                         | -1,69                       |
| Titan    | $\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 1,63                      |
| Zinc     | $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$<br>$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^-$ | - 0,761<br>- 0,71           |
| Crom     | $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$                                                         | - 0,50                      |
| Fier     | $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 0,44                      |
| Cadmiu   | $\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 0,42                      |
| Nichel   | $\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 0,23                      |
| Staniu   | $\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 0,14                      |
| Plumb    | $\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$                                                         | - 0,13                      |
| Fier     | $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$                                                         | - 0,045                     |
| Hidrogen | $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \frac{1}{2}(\text{H}^+ + \text{e}^-)$                                      | 0,000 referință             |

|         |                                                                           |         |                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|
| Cupru   | $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$                      | + 0,337 | elemente nobile |
| Oxigen  | $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ | + 0,401 |                 |
| Cupru   | $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{e}^-$                          | + 0,522 |                 |
| Argint  | $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$                          | + 0,797 |                 |
| Mercur  | $\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$                      | + 0,798 |                 |
| Platină | $\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$                      | + 1,20  |                 |
| Oxigen  | $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  | + 1,229 |                 |
| Aur     | $\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$                      | + 1,50  |                 |

Metalele situate înaintea hidrogenului în seria electrochimică au o tendință de oxidare (de a trece în soluție sub formă de ioni pozitivi) mai mare decât hidrogenul și ca urmare deplasează hidrogenul din soluție. Metalele situate după hidrogen (metalele nobile) au tendința de oxidare mai mică decât hidrogenul și ca urmare nu-i pot deplasa ionii din soluție.

Deci, un metal poate deplasa din soluție un alt metal, dacă primul se află înaintea celui de al doilea în seria electrolitică.

Diferențele de potențial într-un mediu în care se produce coroziunea electrochimică pot fi generate de o varietate de cauze care produc eterogenitatea metalului sau a electrolitului și care pot fi grupate în trei categorii și anume:

- diferențe de compoziție chimică între anod și catod;
- diferențe în starea de tensiuni mecanice (aplicate sau remanente) din materialul metalic;
- diferențe în compoziția electrolitului în regiunea anodică și catodică.

Conform acestui criteriu, celulele galvanice în care se produce coroziunea sunt de trei tipuri: celule de compoziție, celule de distorsiune, celule de concentrație.

a. Celulele de compoziție iau naștere atunci când o soluție apoasă vine în contact cu două materiale metalice diferite prin natura lor (cazul navelor din oțel cu elice din cunial). În aceste cazuri, metalul cu valoare negativă mai mare a potențialului de electrod, acționează ca anod și se corodează.

b. Celulele de distorsiune elastică. O diferență de potențial se poate stabili și într-un material monofazic omogen dacă acesta prezintă zone de distorsiune elastică la nivelul rețelei cristaline. Energia internă din zona distorsionată este mai mare și o astfel de zonă va funcționa ca anod. Se pot crea zone anodice prin introducerea de macro-tensiuni prin deformări plastice neuniforme, când grăunțele cristaline își modifică forma și dimensiunile, la limita dintre grăunții modificați creându-se o zonă anodică. Această

situație se întâlnește la montarea presată a elicei, când tensiunile introduse la montare au valori foarte mari la suprafețele frontale ale butucului.

c. Celule de compoziție . Diferența de potențial în acest caz se stabilește între extremitățile aceleiași bucăți de metal care vine în contact cu un electrolit cu concentrație diferită a ionilor metalici. Acest tip de coroziune electrochimică se întâlnește frecvent la echipamentul pentru industria chimică și foarte rar în alte domenii.

### 5.3. Coroziunea sub tensiune

Tensiunile mecanice statice (aplicate sau remanente) accelerează procesele de coroziune provocând o deteriorare a metalului denumită coroziune sub tensiune. Sub acțiunea tensiunilor statice se produce o deteriorare specifică numită fragilizare prin hidrogen. Aceasta este o deteriorare a materialului metalic solicitat mecanic la temperatura ambiantă, aflat sub acțiunea chimică sau electrochimică a unui mediu capabil să conducă la degajarea de hidrogen pe suprafața metalului. Fisura este rezultatul acțiunii combinate a efortului mecanic și a fragilizării metalului provocată de penetrația hidrogenului. Fisura se propagă într-un plan perpendicular pe direcția tensiunilor mecanice (Fig.37). Hidrogenul atomic degajat la suprafața metalului difuzează în metal și se acumulează sub formă de hidrogen molecular în zonele cu defecte de rețea. La o acumulare suficientă de hidrogen, incapabil să difuzeze în rețeaua cristalină a metalului, se dezvoltă presiuni ce produc fisuri locale. Fisurile provocate de presiunea internă a gazelor se propagă sub acțiunea tensiunilor mecanice aplicate sau existente ca tensiuni remanente.

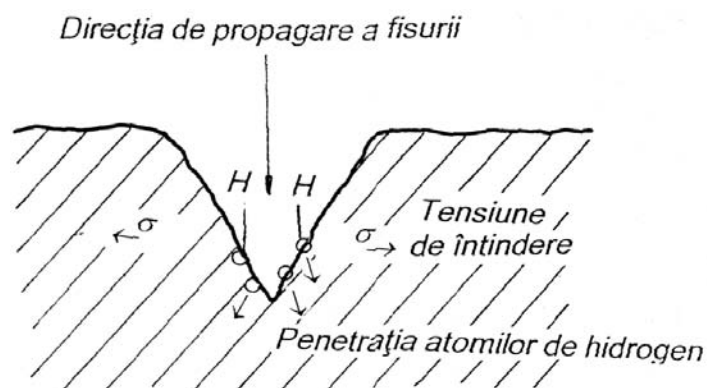


Fig.37 Mecanismul fisurării la fragilizarea cu hidrogen.

Coroziunea sub tensiune se produce întotdeauna în prezența combinată a mediului chimic difuziune și a unor tensiuni mecanice. Necesitatea existenței acțiunii

simultane este dovedită de faptul că fisurarea poate fi prevenită sau oprită prin eliminarea unui singur factor dintre aceștia.

Majoritatea aliajelor sunt susceptibile la coroziune sub tensiune atunci când sunt expuse unor medii chimice specifice (Tabelul 6).

Tabelul 6

Exemple de coroziune sub tensiune la aliaje importante tehnic.

| Aliaj                                                  | Mediu difuziune                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Aliaje de aluminiu (aliaje de mare rezistență cu Zn) | Soluție de NaCl<br>Soluție de NaCl + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>Apă de mare<br>Aer<br>Vapori de apă                                                                                                                     |
| Aliaje de magneziu                                     | Soluție de NaCl și K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> Atmosferă marină                                                                                                                                                           |
| Alame (fragilitate sezonieră)                          | Vapori de NH <sub>3</sub> și soluții amoniacale<br>Soluții de săruri de Hg<br>Amine<br>Apă                                                                                                                                    |
| Oțel carbon moale                                      | Soluție de NaOH (fragilitate caustică)<br>Soluție de NaOH – Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub><br>Soluție de nitrați: Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , NaNO <sub>3</sub> Hidrogen sulfurat (H <sub>2</sub> S)<br>Apă de mare |
| Oțeluri oxidabile înalt aliate cu crom                 | Soluție de NaCl + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>Apă de mare și sălcie<br>Soluție de H <sub>2</sub> S + NaOH<br>Soluții caustice<br>Amestec de acizi (HNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                   |
| Oțeluri inoxidabile austenitice                        | Soluții de cloruri metalice (MgCl <sub>2</sub> , ZnCl <sub>2</sub> , NaCl etc.)<br>Soluții caustice<br>Apă de mare și sălcie<br>Soluție de NaCl + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                                               |
| Nichel                                                 | Soluții concentrate de NaOH, KOH Alcalii topite                                                                                                                                                                               |
| Metal Monel (aliaj Cu – Ni)                            | Soluție de HF<br>Soluție de H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub><br>Soluții de săruri de Hg                                                                                                                                        |
| Plumb                                                  | Soluție de acetat de plumb                                                                                                                                                                                                    |
| Aliaj de titan                                         | Amestec de cloruri topite<br>Soluție de HCl și metanol<br>HNO <sub>3</sub> și fumans<br>Compuși cu clor ai hidrocarburilor                                                                                                    |

Metale pure sunt relativ imune la acest fenomen.

Cazurile de coroziune fisurantă cu frecvență mare și care se referă la aliajele de largă utilizare sunt: fragilizarea sezonieră a alamelor, fragilizarea caustică a oțelurilor, coroziunea fisurantă a oțelurilor inoxidabile.

Fragilizarea sezonieră se manifestă la alamele ecruisate expuse la acțiunea unei atmosfere ce conține amoniac chiar în concentrație slabă. Aplicarea unei recoaceri elimină susceptibilitatea alamei la acest tip de coroziune.

Fragilitatea caustică a oțelurilor moi reprezintă o cauză de distrugere a tablei din care sunt confecționate cazanele sub presiune. Coroziunea sub tensiune a oțelurilor inoxidabile austenitice se manifestă în contact cu soluții de cloruri, chiar la concentrații infime a acestora și la tensiuni foarte mici.

Mecanismul coroziunii sub tensiune presupune că zonele tensionate devin anodice în raport cu restul materialului și se corodează chiar sub acțiunea unui mediu slab difuziune formând cratere adânci de tip pitting. În prezența tensiunilor mecanice vârful craterelor acționează ca un concentrator de tensiune provocând fisuri locale ce conduc la penetrarea tot mai adâncă a craterului. Distrugerea progresează prin etape alternative de coroziune pitting și de propagare a fisurilor (Fig.38).

*Direcția de propagare a fisurii*

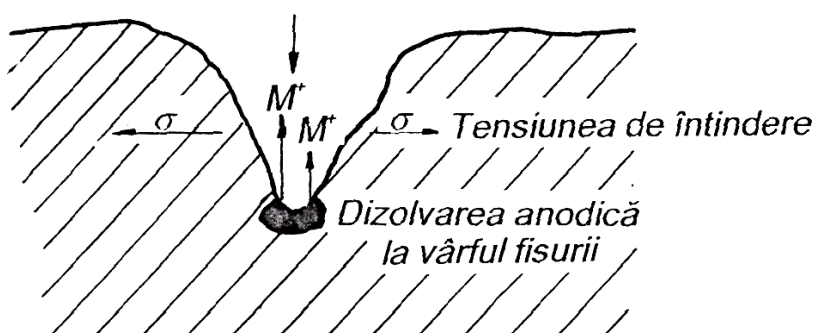


Fig.38 Mecanismul coroziunii sub tensiune.

Introducerea unor stări de compresiune în straturile superficiale ale metalului (prelucrarea cu jet de alică ș.a.) ameliorează comportarea la coroziune sub tensiune întârziind acțiunea tensiunilor de întindere.

În cazul pieselor care lucrează în medii corozive și sunt solicitate variabil are loc scăderea rezistenței la oboseală a materialului metalic din care sunt confecționate. Distrugerea numită coroziunea de oboseală, se produce prin propagarea transgranulară a unor fisuri de oboseală care se pot produce în orice metal solicitat la sarcini ciclice și aflat în contact cu un mediu difuziune. La oboseala sub coroziune, materialul nu mai prezintă o limită la oboseală bine definită. Solicitări mecanice oricât de mici pot provoca ruperea, cu condiția ca numărul de alternanțe al tensiunii aplicate să fie suficient de mare. Aspectul suprafeței de rupere produsă de oboseala sub coroziune se deosebește

de cel al ruperii la oboseală în absența coroziunii, prin faptul că prezintă denivelări în trepte. Aceste trepte se datoresc faptului că fisurile de oboseală amorstate și întreținute de coroziune nu pornesc de la o singură amorsă ci din mai multe puncte.

Un caz particular al coroziunii de oboseală îl constituie coroziunea de fretare întâlnită la asamblările presate solicitate variabil și care funcționează în mediu difuziune.

#### **5.4. Coroziunea de fretare**

Coroziunea de fretare se poate iniția în cazul a două corpuri rigide aflate în contact într-un mediu difuziune și aflate sub o sarcină normală, la care se produce o alunecare ciclică de mică amplitudine.

Coroziunea de fretare, face parte din categoria coroziunilor de oboseală și se întâlnește la asamblările presate caracterizate de o anumită valoare a strângerii, care transmit încărcări și se află în medii corozive. În aceste cazuri, se suprapun cel puțin două tipuri de uzuri: o uzură de oboseală, datorată încărcării ciclice a asamblării și o uzură de coroziune, datorată mediului activ chimic în care se află asamblarea.

Această situație se întâlnește la elicele navale, care sunt montate presat pe arborele port-elice, care sunt încărcate în timpul funcționării cu moment de răsucire variabil, iar datorită greutatei elicei capătul de arbore aflat în consolă este solicitat la încovoiere alternant-simetrică și în plus, întregul ansamblu funcționează în apa de mare, mediu puternic difuziune.

Coroziunea de fretare depinde de mai mulți factori:

- presiunea de contact;
- amplitudinea alunecărilor reciproce;
- numărul de cicli de solicitare;
- frecvența oscilațiilor;
- materialele în contact;
- mediul.

Cu cât sunt mai mari amplitudinile deplasărilor reciproce a suprafețelor în contact, cu atât este mai mare deteriorarea. În asamblările presate supuse la încovoiere, deplasarea relativă maximă apare la capetele butucului aflate în contact cu arborele, când sub momentul încovoiator capetele asamblării se deschid sau se închid, sporind sau reducând presiunea de contact.

Dacă amplitudinea deplasării rămâne constantă, la majorarea presiunii de contact uzura se mărește. Dacă însă, mărirea presiunii de contact favorizează reducerea alunecării (de exemplu la mărirea strângerii în asamblarea presată), atunci zona în care are loc procesul de distrugere, se micșorează, chiar dacă adâncimea și gradul de uzură se măresc. La asamblările presate, zona de contact cu cea mai mare presiune este la capătul butucului, unde se produc și primele deplasări relative la suprafața de contact. În timp, rezultatul deplasărilor ciclice de pe capete conduce la îndepărtarea produselor de frecare și în zona cu presiune de contact maximă, butucul se adâncește spre interior și presiunea se uniformizează (Fig.29).

În lungul asamblării, se reduc amplitudinile alunecărilor relative și mărirea și numărul petelor pe arbore se micșorează.

În figura 39 este arătat modul în care este atacat metalul arborelui la asamblarea unei elici cu arborele port-elice când elicea este confecționată din oțel sau din bronz. Se constată o mai bună comportare la uzură în cazul cuplului de materiale de naturi diferite (oțel și alamă) decât în cazul materialelor de același nume (oțel pe oțel).

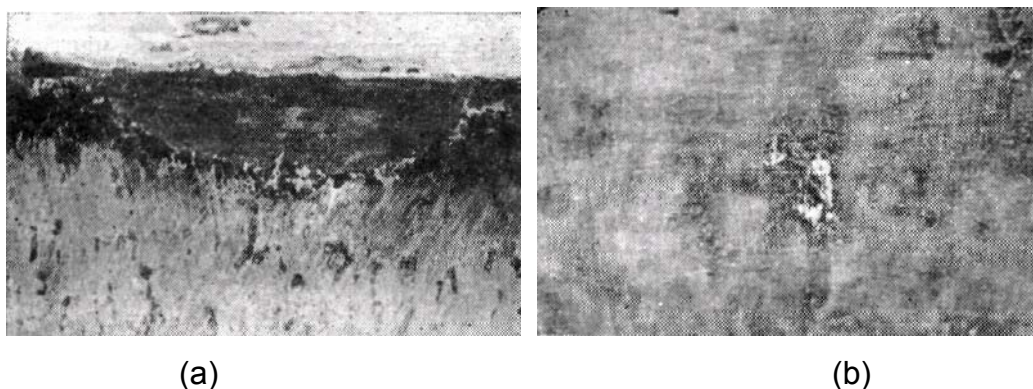


Fig.39 Coroziunea de fretare sub butuc, pe arbore:

- a) puncte de uzură pe arbore (butuc din oțel);
- b) pete de aderență pe arbore (butuc din alamă).

Fisurile de oboselă la corozivitatea de fretare, în cazul transmiterii ciclice a presiunii de contact, datorită momentului încovoiator variabil, sunt prezentate în figura 40a. În continuare aceste fisuri avansează, figura 40b, și se produce ruperea.

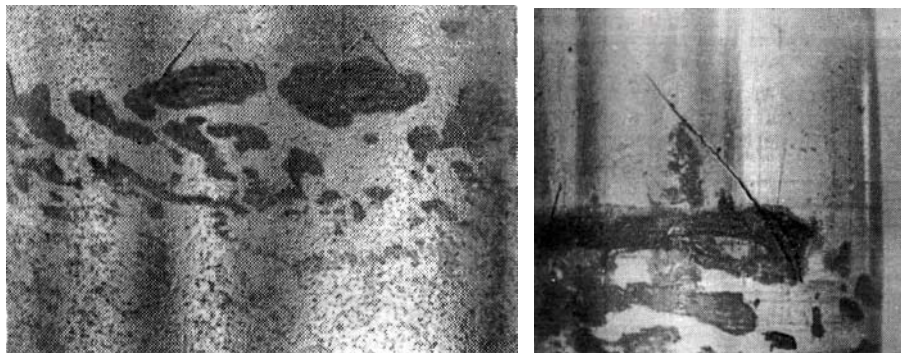


Fig.40 Fisurile de oboseală la fretare, datorate momentului încovoiator: a – inițiale; b – avansate.

Schema formării uzurii de oboseală la fretare în urma solicitării de încovoiere, la capătul butucului, este redată în figura 41.

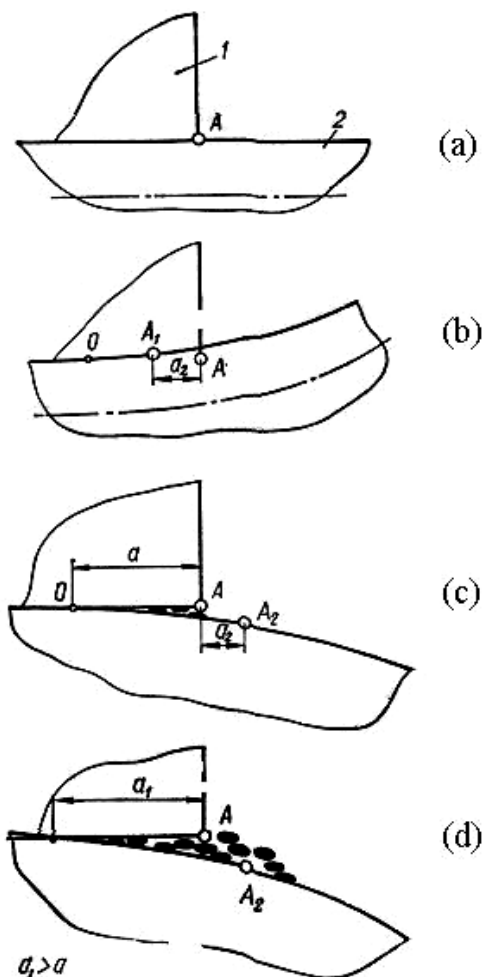


Fig.41 Schema formării uzurii de oboseală la fretare:

- a) după presare; b) la aplicarea momentului încovoiator;
- b) formarea produselor de uzură; d) evacuarea produselor de uzură.
- 1 – butuc; 2 – arbore.

În momentul presării, punctul A aflat la extremitatea butucului vine în contact cu punctul A de pe arbore (Fig.41a). La apariția momentului încovoietor, punctul A de pe arbore se deplasează pe distanța  $a_2$  în interiorul butucului, ajungând în  $A_1$  (Fig.41b). La deformația fibrei arborelui în sens contrar, datorită rotirii lui, punctul A de pe arbore se deplasează cu  $a_2$  în sens invers, ajungând în  $A_2$  (Fig.41c). Aceste deplasări într-un sens și în altul produc distrugerea suprafețelor și formarea unor produși de uzură ce vor apărea la capătul butucului (Fig.41d) de unde vor fi ușor evacuați.

Intensitatea deteriorării prin coroziune de fretare a fost apreciată de cercetători și împărțită în patru clase de uzură:

- I – produsele uzurii nu sunt vizibile;
- II – apar semne ale uzurii;
- III – uzură importantă;
- IV – uzură foarte puternică.

Cu mărirea numărului de cicli de solicitare, uzura produsă prin coroziunea de fretare se extinde, în plus în stadiul inițial intensitatea distrugerii este însemnată. Cu creșterea presiunii pe suprafața de contact, deci a strângerii, la același număr de cicli, distrugerea scade, ceea ce are ca rezultat un timp îndelungat al oxidării stratului de metal.

Predispoziția coroziunii de fretare este diferită, pentru diferite tipuri de materiale. Intensitatea uzurii, pentru diferite perechi de materiale este în funcție de presiune, frecvența oscilațiilor, durata funcționării ș.a. O concluzie asupra materialului privind nivelul de uzură prin fretare este dificil de tras.

Cât privește mediul acesta are influența arătată la paragraful de coroziune.

Dacă unii dintre acești factori pot fi influențați, cum ar fi:

- presiunea, poate fi redusă pe capetele asamblării prin forme constructive corespunzătoare (figurile 30, 31, 32, 33, 34 și 35);
  - amplitudinea alunecărilor poate fi redusă printr-o strângere mai mare;
  - alegerea materialelor în contact să fie corespunzătoare, astfel ca uzura să fie minimă;
- alții nu pot fi modificați, ca de exemplu:
- frecvența oscilațiilor care depinde de turația arborelui;
  - mediul, mai ales dacă este vorba de elice care funcționează în apa de mare.

## 5.1. Stratul superficial al materialelor

Procesele de frecare și uzură sunt procese complexe de natură fizică, chimică, metalurgică și mecanică. Aceste procese apar la contactul dinamic sau static dintre suprafețele a două corpuri solide între care poate fi inter-pus sau nu un agent lubrifiant gazos, lichid sau solid. Stratul superficial reprezintă acea parte tridimensională din material, care se întinde de la frontiera de separație fizică a părților aflate în contact, spre interiorul uneia din acele părți, până la o adâncime “d”.

Întinderea stratului superficial depinde de tipul și intensitatea solicitării extreme și se consideră că se termină în zona până la care are loc perturbația rețelei cristaline. Adâncimea ei variază de la câteva grosimi de strat atomic (la uzură prin procese chimice) și poate ajunge până la 50-100 μm în cazul proceselor de frecare uscată.

Din punct de vedere teoretic, la corpurile solide, se distinge o suprafață ideală, constituită dintr-o succesiune bidimensională de atomi și o suprafață reală caracterizată atât prin perturbări ale aranjamentului atomilor în rețea, cât și prin prezența unor atomi străini sau a unor defecte specifice. Din punct de vedere practic, interesează o zonă superficială (strat superficial) de grosime egală cu unul sau mai multe straturi atomice, în care proprietățile fizico-mecanice se deosebesc de cele din interiorul corpului solid și la care se adaugă o zonă de acțiune a tensiunilor remanente ce rezultă din solicitările externe.

Deoarece la ora actuală structura stratului superficial nu este pe deplin cunoscută, diferiți autori dau diferite scheme structurale. Astfel, unul dintre modelele acceptate de o serie de cercetători este cel prezentat în figura 42. Se remarcă o zonă rezultată imediat după prelucrarea mecanică, caracterizată printr-o structură deformată (strat deformat); o zonă cu structură nedeformată, dispusă sub stratul deformat și care face parte din materialul de bază; o zonă de natură fizico-chimică ce apare chiar în primele momente ale terminării prelucrării mecanice și care constă dintr-un strat de oxizi și un strat de molecule adsorbite urmate de un strat care înglobează o serie de impurități.

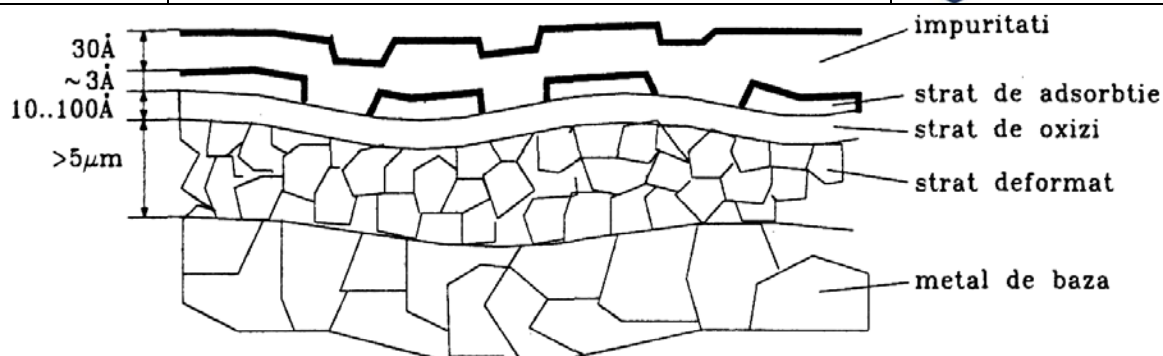


Fig.42. Structura stratului superficial după J. Caubet.

Grosimile acestor zone depind de o serie de factori intrinseci ai metalului, cât și de o serie de factori extrinseci. Astfel, grosimea straturilor de oxizi și de adsorbție depinde atât de natura metalului de bază și de mediul înconjurător (natura ambiantă, tipul și natura lubrifiantului etc.) cât și de starea de solicitare fizico-mecanică, cunoscut fiind faptul că prin deformare plastică metalul devine activ.

În figura 43 se prezintă un model mai evoluat pentru structura stratului superficial și în care se remarcă unele elemente suplimentare structurii anterioare. Astfel, apar evidențiate geometria și microgeometria suprafeței stratului superficial care joacă un rol deosebit de important în procesele de frecare și uzură, mai ales în timpul rodajului, de exemplu. De asemenea, trecerea de la zona cu structură cristalină deformată la materialul de bază nu se face brusc, ci treptat, interpunându-se o zonă cu deformare medie a grăunților cristalini.

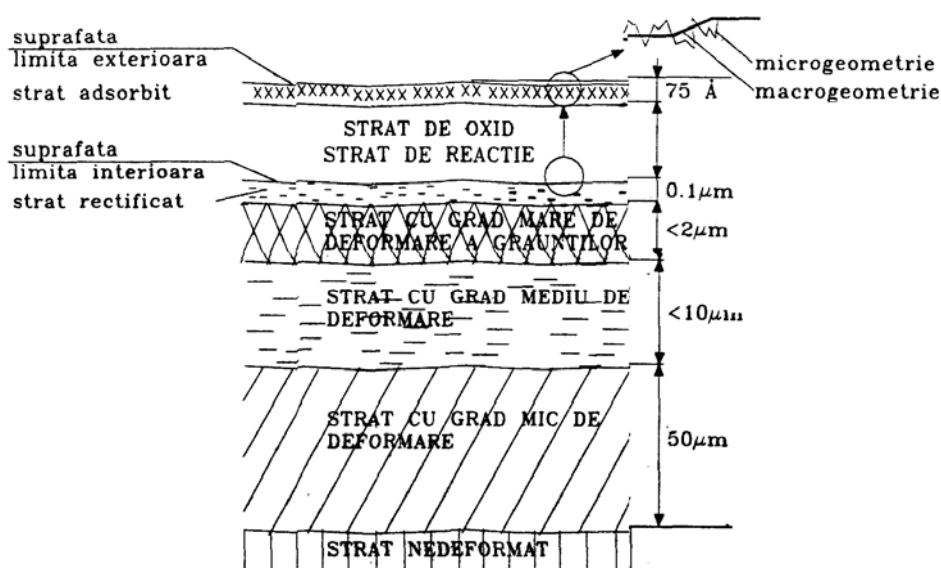


Fig.43. Structura stratului superficial după Vermeșan.

## 6.1. Caracteristicile stratului superficial

Parametrii care caracterizează stratul superficial pot fi grupați în: parametri geometrici (macrogeometrie și microgeometrie); parametri mecanici (duritate și stare de tensiuni); parametri fizico-metalurgici (compoziție chimică, structură și puritate). Acești parametri au un rol deosebit în comportarea tribosistemului în procesele distructive. Unii dintre acești parametri, ca de exemplu duritatea, starea de tensiuni și structura, pot fi modificați în mod convenabil din exterior, așa încât durata de viață a tribosistemului să poată fi modificată, în anumite limite, după dorință. În Figura 44 se prezintă o schematizare a acestor parametri.

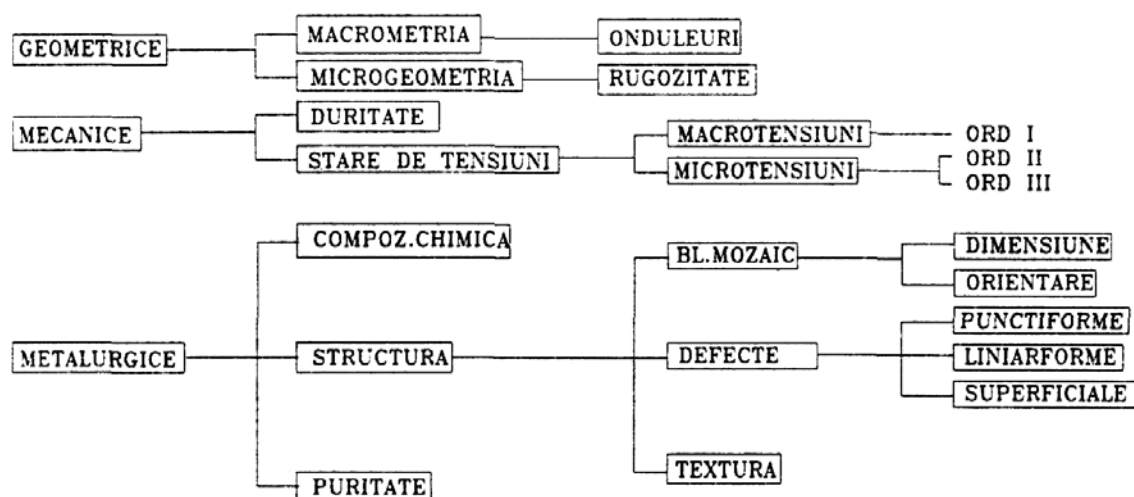


Fig.44. Parametrii stratului superficial.

Cunoașterea în orice moment a parametrilor stratului superficial, constituie una din modalitățile cele mai sigure în aprecierea și prognozarea gradului de degradare a materialului metalic supus proceselor de frecare, uzură și oboseală. Determinarea modificărilor structurale din straturile superficiale poate permite optimizarea unor tehnologii de fabricație și tratamente ale unor piese sau repere metalice.

Controlul parametrilor stratului superficial necesită, de cele mai multe ori, utilizarea unor metode fizice de investigație, care să nu afecteze structura și starea fizico-chimică a acestuia.

## 6.2. Tipuri de distrugeri ale straturilor superficiale

Din punct de vedere al tipului de solicitare, distrugerile care pot apărea în straturile superficiale se pot clasifica în două mari categorii:

- a) distrugeri datorate solicitărilor statice (tracțiune, compresiune, fluaj, coroziune);
- b) distrugeri datorate solicitărilor dinamice (frecare, oboseală) și care la rândul lor se pot clasifica în: distrugeri catastrofale (bruște) și distrugeri treptate (parametrice).

Distrugerile catastrofale apar în mod cu totul excepțional, au o frecvență foarte mică și apar prin modificarea instantanee a caracteristicilor fizico-mecanice sau metalurgice ale stratului superficial. Acest tip de distrugeri iau naștere de cele mai multe ori în timpul exploatării și în 80% din cazuri au drept cauză, fenomenul de oboseală. Ele apar în urma acumulării unui șir de factori nefavorabili și mai rar datorită unei cauze unice.

Distrugerile treptate sunt legate de fenomene de uzură, frecare și îmbătrânire care conduc la modificarea unor parametri de structură. Acest tip de distrugere are, în general, un caracter progresiv iar prognozarea apariției lui se face cel mai adesea prin metode statistice.

După caracterul lor distrugerile pot fi sub formă de: deformații elastice, deformații plastice, fisuri de oboseală la solicitări variabile sau cu șoc, rupere sau fragmentare, modificarea materialului sub aspect chimic sau electrochimic, uzura suprafețelor în mișcare relativă.

După cauză, distrugerile se pot datora: solicitărilor (constante, variabile, ciclice sau întâmplătoare); timpului de acțiune (foarte scurt, scurt, îndelungat); temperaturii mediului de lucru (joasă, înaltă, ridicată, constantă, instabilă, ciclică sau întâmplătoare); acțiunii mediului înconjurător (chimic, radiații). După loc, pot fi în volum sau miez și în stratul superficial.

## 6.3. Metode de control ale stratului superficial

Metodele de investigație sunt destul de numeroase și au la bază diverse principii fizice. O clasificare a acestor metode se poate face:

- a)- după modul de obținere a informațiilor de pe stratul superficial:

a.1) Metode directe, în care informațiile despre unii parametri ai stratului superficial se pot obține direct, fără a necesita interpretarea unor date care ascund informațiile. În cadrul acestor metode menționăm:

- examinarea vizuală direct cu ochiul liber sau cu ochiul folosind diverse aparate de mărit (lupe, microscopice optice, electronice, ionice etc.)
- examinarea cu lichide penetrante care poate fi cu contrast de culoare sau cu fluorescență;
- examinarea cu pulberi magnetice care poate fi cu pulberi colorate sau cu pulberi fluorescente.

a.2) Metode indirecte, în care informațiile se obțin în urma interpretării unor rezultate preliminare. În cadrul acestor metode, menționăm:

- examinarea cu radiații corpusculare (electroni, neutroni, ioni etc.) sau radiații electromagnetice ( $X$ ,  $\gamma$ , I.R., vizibile, U.V.) în care un loc aparte îl ocupă difractometria, interferometria Moire, holografia și spectrometria;
- examinarea cu ultrasunete;
- examinarea prin metoda emisiei acustice;
- examinarea cu curenți turbionari.

b) După modul de obținere și analiză a radiațiilor electromagnetice sau corpusculare, metodele de investigare a stratului superficial pot fi clasificate în:

b.1) Metode de emisie, în care se analizează fluzul de particule emis de către stratul superficial sub acțiunea unui câmp extern (termic, electric, electromagnetic);

b.2) Metode de sonare, la care se analizează modificările pe care le suferă fluzul incident de particule (electromagnetice sau corpusculare) care au interacționat cu suprafața corpului și au suferit procese de difracție, împrăștiere, ionizare, anihilare, rezonanță etc.

c) După tipul de informații ce se pot obține, menționăm:

c.1) Metode care dau informații referitoare la morfologia suprafeței, numite și metode de analiză „statică” sau „parametrică” (defectologie, compoziție chimică);

c.2) Metode care dau informații referitoare la procesele care pot avea loc la suprafața materialului metalic (transformări de fază, absorbție, disorbție, difuziune etc.).

Dintre metodele enumerate, la Universitatea din Galați, cel mai des utilizată a fost difractometria de radiații  $X$ , care în prezent constituie una din cele mai actuale și mai

sigure metode de determinare a caracteristicilor de structură, la nivel de rețea cristalină a straturilor superficiale.

Difractometrul care s-a utilizat în analizele structurale este de tip DRON-3. Cu ajutorul lui s-au putut obține informații asupra:

- dimensiunilor medii a blocurilor de mozaic;
- tensiunilor de ordinul I asociate unei stări plane de deformare;
- tensiunilor interne de ordinul II;
- tensiunilor interne de ordinul III, datorate deplasărilor statice ale atomilor din pozițiile lor ideale. Aceste deplasări pot fi cauzate atât de diferența dintre dimensiunile atomilor ce alcătuiesc soluția solidă, cât și de unele tratamente termice sau mecanice;
- cantitatea de austenită reziduală care există într-un oțel după călire.

În afara difractometriei de radiații X, pentru urmărirea și controlul modificărilor structurale care apar în structurile superficiale ale materialelor metalice supuse proceselor distructive de oboseală în medii corozive, se poate utiliza și metoda măsurării potențialului de electrod.

Ideia utilizării acestei metode rezultă din faptul că în timpul solicitărilor mecanice variabile (așa cum este, de exemplu, cazul oboselii în medii corozive) suprafața metalului este supusă unor procese ciclice de întindere și comprimare. Aceste procese fac ca rețeaua cristalină de la suprafața metalului să capete însușiri specifice, diferite de cele din interiorul stratului superficial. În locurile unde dislocațiile ies pe suprafața metalului, ca urmare a activității surselor Frank-Read, procesele de adsorbție, de hidrogenare și de coroziune sunt deosebit de intense. În timpul procesului de solicitare la oboseală, apar benzi de alunecare care conduc la modificări ale microreliefului suprafeței, ruperi ale peliculelor de oxizi, formări de noi pelicule.

Aceste procese fizice modifică în final activitatea chimică a suprafeței metalului și poate fi evidențiată și prin metoda măsurării potențialului de electrod în timpul solicitării.

Într-un material metalic policristalin, pot să existe discontinuități de material. În cazul în care nu există asemenea discontinuități, propagarea ultrasunetelor va fi influențată numai de defecțiunile de structură. Existența unor defecte de structură ca: dislocațiile, vacanțele, atomii interstițiali, care conduc la atenuarea fascicului ultrasonor, datorită fenomenului de împrăștiere. Pentru a pune în evidență prezența unor astfel de defecte, s-a lucrat cu fascicule ultrasonore de mică putere.

Prezența dislocațiilor în rețeaua cristalină, influențează destul de mult procesul de atenuare prin difuzia undelor ultrasonore. Astfel, dacă dislocațiile în mișcarea lor prin

cristal nu întâlnesc nici o piedică, atunci prin ieșire la suprafață lasă cale liberă propagării ultrasunetelor. Dacă dislocația întâlnește unele piedici (atomi dizolvați, alte dislocații sau vacanțe), acestea se aglomerează și se constituie în obstacole pentru unda ultrasonoră. Energia cedată de unda ultrasonoră determină o vibrație forțată a acestor dislocații. În consecință, poate avea loc eliberarea segmentului de dislocație din unul din punctele de fixare.

Pentru măsurarea atenuării ultrasunetelor în materialele supuse procesului de oboseală, s-a utilizat un aparat ultrason tip USIP 10 cu generator de unde transversale de frecvență 6MHz.

S-a utilizat și microscopia electronică de baleiaj, cu ajutorul căreia s-au efectuat analize fractografice la microscopul electronic tip JEOL-2, pe probe supuse procesului de distrugere în lipsa și în prezența unui câmp magnetic.

#### **6.4. Modificarea proprietăților stratului superficial**

Uzura suprafețelor în contact depinde în mare măsură de proprietățile stratului superficial, din acest motiv, tehnologia aplicată vizează obținerea la suprafața piesei a unor proprietăți pe care materialul de bază (miezul) nu le posedă. Aceste proprietăți se obțin prin modificări structurale sau chimico- structurale în stratul superficial al piesei sau prin depunerea unor straturi de acoperire.

Cele mai importante metode de modificare a proprietăților stratului superficial sunt:

- Modificare structurală:
  - tratamente mecanice: ecruisarea
  - tratamente termice superficiale: prin inducție, cu flacără, cu difuziune laser, cu difuziune de electroni
- Modificare chimico-structurală:
  - tratamente de difuziune;
  - tratamente de conversie;
  - implantări ionice.
- Depuneri de straturi:
  - depuneri chimice din soluții;
  - depuneri electrochimice;

- depuneri prin placare;
- depuneri prin sudare;
- depuneri prin pulverizare;
- depuneri prin imersare în metale topite;
- depuneri din faza de vapori;
- depuneri de emailuri;
- depuneri de grunduri, lacuri și vopsele.

Pentru ca piesa să aibă o comportare satisfăcătoare în exploatare este necesar ca adâncimea stratului modificat sau depus să fie corelată cu solicitările care decurg din funcționarea în anumite condiții cunoscute sau previzibile. În figura 45 este prezentată adâncimea stratului depus sau modificat prin diferite tehnologii specifice ingineriei suprafețelor.

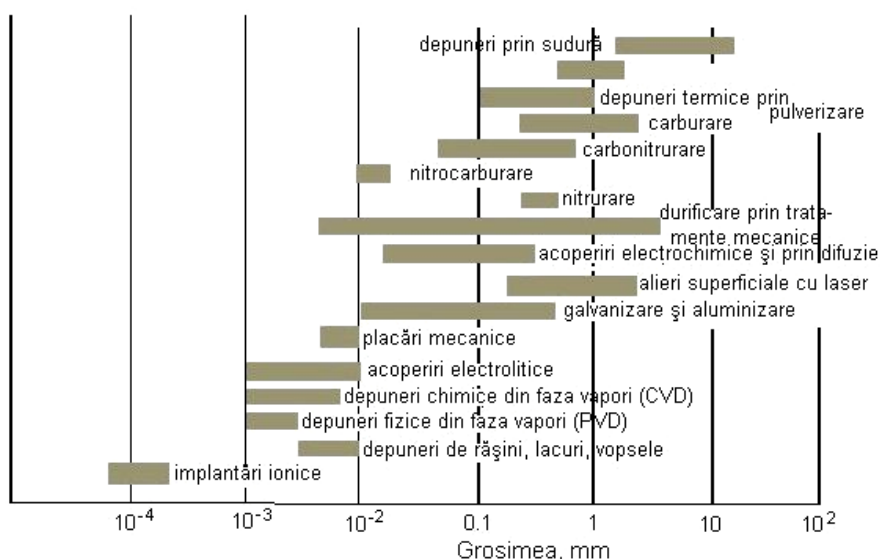


Fig.45. Grosimea orientativă a stratului modificat sau depus prin diferite tratamente termice.

Tratamentele clasice de călire și tratamentele termochimice constituie însă principalele mijloace de îmbunătățire a proprietăților superficiale ale pieselor mecanice, cu deosebire a rezistenței la uzură și la oboseală. Dezvoltarea tratamentelor termochimice, în special a celor realizate în vid și în plasmă, a condus la un control mai riguros al adâncimii și proprietăților stratului modificat, la creșterea productivității și la reducerea efectelor nocive asupra mediului și sănătății operatorilor.

Deși cunoscută de aproape un secol, depunerea termică prin pulverizare a cunoscut o adevărată revigorare în ultimii ani, odată cu perfecționarea procedeelor de

depunere cu jet de plasmă și cu flacără. Aceste procedee permit depunerea unor straturi cu proprietăți deosebite, realizate din materiale speciale, materiale ceramice și materiale compozite.

Dintre tehnologiile folosite în scopul creșterii rezistenței la coroziune, acoperirile galvanice și vopsirea sunt cele mai răspândite. Ele permit acoperirea rapidă a unor suprafețe de mari dimensiuni, la costuri reduse, ceea ce le conferă un mare avantaj.

Pentru mărirea rezistenței la coroziune și uzură de fretare, procese ce apar la asamblarea presată a elicei navale supusă la solicitări variabile și care lucrează în mediu difuziune, se recomandă tratarea termo-chimică a suprafețelor în contact (cementare, nitrurare, cianurare), acoperiri (cromare, fosfatare) sau tratamente termice (călire cu CIF). Fosfatarea suprafețelor după finisare conduce la formarea unui strat foarte subțire de fero-mangano-fosfat care oferă protecție împotriva uzurii.

V.K.Samarin, a arătat că rezistența la oboseală a materialelor metalice feromagnetice crește cu aproximativ 10% atunci când solicitările la oboseală în aer sunt efectuate în prezența unui câmp magnetic exterior care nu conduce la magnetizarea de saturație. Prezența câmpului magnetic frânează dezvoltarea liniilor de alunecare spre centrul probei iar densitatea liniilor de alunecare este mai mică.

Din studiile efectuate în unele țări dezvoltate (Franța, Germania etc.), a rezultat că tratamentele de suprafață se fac în primul rând în scopul creșterii rezistenței la coroziune. În al doilea rând, urmează protecția împotriva uzurii și pentru modificarea aspectului exterior. Pe locurile următoare se situează creșterea durității suprafeței și modificarea proprietăților tribologice. Aceasta arată cu claritate faptul că scopul principal al tehnologiilor de ingineria suprafețelor este de a asigura creșterea durabilității și îmbunătățirea proprietăților în exploatare.

Academicianul V.P.Alehin, menționa: „Succesele care se vor obține în fizica și știința materialelor vor fi legate nemijlocit de succesele ce se vor obține în domeniul fizicii suprafețelor stratului superficial”.

## 7. Concluzii

Analizând tipurile de distrugeri prin uzură la care sunt supuse elicile navale în timpul funcționării lor putem trage, în urma celor prezentate anterior, următoarele concluzii:

- Unele tipuri de uzuri pot fi diminuate, altele pot fi întârziate, iar asupra unora nu se poate interveni.

Dintre cele ce pot fi diminuate amintim coroziunea și electro-coroziunea. Ținând seama de funcționarea elicelor în apa de mare, materialul folosit pentru confecționarea lor este cunialul, care are în componența sa cupru, nichel și aluminiu, la care pierderile prin coroziune sunt mai reduse și se comportă mult mai bine ca alte materiale în apa de mare.

Deoarece cuprul se află în seria electrochimică după hidrogen, el are tendința de oxidare mai mică decât hidrogenul și ca urmare nu-i poate deplasa ionii din soluție. Pentru ca electrocoroziunea să nu se producă de pe învelișul de oțel al navei (fierul aflându-se înaintea hidrogenului – Tabelul 4), pe vas se fixează plăcuțe de zinc (care se află înaintea fierului în seria electrochimică) astfel ca transferul de ioni să se producă de la zinc.

Dintre uzurile care pot fi întârziate amintim coroziunea de fretare, care apare la contactul elicei cu arborele. Pentru realizarea acestui lucru, se urmărește reducerea presiunii la capetele suprafeței de contact cu butucul elicei prin prelucrarea în butuc sau pe arbore a unor canale de descărcare. Cu aceste prelucrări se reduce și concentratorul de tensiune, ceea ce face ca asamblarea să reziste mai bine și la frettingul prin oboseală. Distrugerea prin oboseală va fi deasemeni amânată dacă suprafețele în contact sunt foarte bine prelucrate. Frettingul prin oboseală va fi deasemeni amânat dacă amplitudinea deplasărilor reciproce a suprafețelor în contact va fi redusă, iar aceasta se poate realiza prin adoptarea unei strângeri corespunzătoare în asamblare, fără însă a se mări inutil presiunea pe suprafața de contact, deoarece în acest caz crește uzura de fretare. De aceea, stabilirea unei strângeri corecte la proiectare, cu luarea în considerare a forțelor centrifuge, a formei exterioare a butucului, a momentelor încovoietoare, a regimului termic tranzitoriu, a abaterilor de prelucrare, care modifică presiunea pe suprafața de contact, cunoașterea tensiunilor și deformațiilor care se introduc în piese la montaj, precum și controlul precis al strângerii la montajul elicei sunt foarte importante.

Asupra uzurii de cavitație a elicei însă nu se poate interveni decât în mică măsură pentru întârzierea ei prin tratamente termice clasice, prin călire cu laser sau implantări de ioni.

Eroziunea elicei datorită jetului de particule solide sau lichide ce acționează asupra ei în apa de mare în timpul marșului, nu poate fi prevăzută și diminuată, de aceea nu se poate interveni pentru evitarea ei.

- La funcționarea elicei sunt parametri ce nu pot fi modificați, cum ar fi: compoziția apei de mare, regimul de lucru (turație, moment de răsucire, temperatură ș.a.). Aceștia fac ca frecvența oscilațiilor și tensiunile din funcționare, la uzura de cavitație și de fretare, să nu poată fi modificați.

- Dintre toate tipurile de uzuri cavitația și eroziunea sub jet de particule solide și fluide rămân cele mai de temut și care nu pot fi diminuate. De aceea, trebuie găsită soluția de încărcare prin sudare a materialului elicelor navale, astfel ca uzura de cavitație să nu scoată din uz importante cantități de metal cu cost ridicat.

Fenomenele și procesele fizice care apar în procesele de frecare, uzură și oboseală a materialelor metalice, se localizează în straturile superficiale și conduc la modificări structurale la nivel de rețea cristalină. Aceste straturi superficiale, cu proprietăți diferite față de cele ale materialului de bază, au o difuziune deosebită asupra proceselor distructive mai sus amintite.

Elucidarea unor fenomene și procese fizice care însoțesc și declanșează mecanismele de distrugere ale stratului superficial în procesele de frecare și uzură vor putea permite:

- optimizarea unor procese de fabricație, de rodaj și de exploatare ale unor piese metalice;
- diagnosticarea gradului de distrugere a stratului superficial, la un moment dat;
- prognozarea comportării pieselor metalice la solicitări distructive statice sau dinamice de natură fizică, chimică sau metalurgică;
- optimizarea formei constructive și a parametrilor de montaj chiar din faza de proiectare;

aplicarea tratamentelor termice, mecanice și chimice cele mai adecvate tipului de uzură preconizat să apară în timpul funcționării în corelare cu materialele utilizate

## BIBLIOGRAFIE

1. Alliston-Greiner A.F., – 'Test methods in tribology', Proc. Of First World Tribology Congress, p 85-93, London, 1997.
2. Ao Y., Wang Q.J., Chen P. – 'Simulating the worn surface in a wear process', Wear 253, p.37-47, 2002.
3. Amell R.D., Davies P.B., Halling T.W. – 'Tribology' MacMillan Education Ltd., London, 1991.

4. Balașkii L.T. – ‚Procinosti presovâh soedinenii’ Tehnika, Kiev 1982.
5. Bauman K. – ‚Korrosionsschutz fur Metalle Grundstoffind’, 1970.
6. Bayer R.G. – ‚Mechanical wear prediction and prevention’, Marcel Decker, Inc., New York, p.280-291, 1994.
7. Bhushan B. – ‚Principles and Applications of Tribology’, Ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.
8. Bhushan B., Gupta B. – ‚Hendbook of Tribology – Materials, Coatings and Surface Treatment’, Krieger Publishing Company – Malabar, Florida, 1997.
9. Blau P., Budinski K.G. – ‚Development □n duse DIFUZIUNE standards for wear testing’, Wear 225-229, p.1159-1170, 1999.
10. Bologa O. – Teza de doctorat ‚Uzura de cavitație, Univ. din Galați, 1985.
11. Constantin V., Dragomir D. – ‚Prelucrarea optimă a capetelor asamblărilor presate în vederea reducerii concentratorilor de tensiune’, TCMM 14, E.T.București 1996, p.61-65.
12. Constantin V., Dragomir D. – ‚Asamblări presate – calcul, proiectare, tehnologie’. Ed. Evrika Brăila, 1998.
13. Constantin V., Dragomir D. – ‚About the friction connection of pressed fittings under transient thermal field’, Sheet Metal 2000, Univ. of Central England in Birmingham, p.395-404.
14. Constantin V., Dragomir D. – ‚Contributions on fretting wear study’, Rotrib’03, Galati, 2003, p.278-283.
15. Constantin V. – ‚Montaje hidrostatice – calitatea asamblării’, Ed. Fundației Univ. Dunărea de Jos Galați, 2004.
16. D’Agostino V. – ‚Fondamenti di tribologia’, vol.I, CUEN, Napoli, 1997.
17. Deleanu L., Râpă M. – ‚Elemente de tribologie’, Univ. din Galați, 2005.
18. Frangu L., Rîpă M. – ‚Artificial Neural Networks Applications in Tribology – A Survey’ NIMIA-SC2001 – 2001 NATO ASI, Crema, Italy, p 101-106, 2001.
19. Frene J. – ‚Tribologie’, Univ. de Poitiers, 1995.
20. Ghimiși Ș. – ‚Fenomenul de fretting – cercetări experimentale’, a 8-a conferință internațională ‚University’s day’, Târgu Jiu, 2002.
21. Gold P.W. – ‚Basics of Tribology’, Institut fur Maschinen-elemente der RWTH-Aachen, 2002.
22. Holmberg K. – ‚Reability aspects of tribology’, Tribology International, 34(5), p.801-808, 2001.

23. Jonhson K.L. – ,Contact mechanics and the wear of metals', Wear 190(2), p.162-170, 1995.
24. Karkoub M., Elkamel A. – ,Modelling pressure distribution in a rectangular gas bearing using neural networks' Trib. Intern., 30 (2), p 139-150, 1997.
25. Kato K. – ,Wear mecanisms', Proc. Of First Wold Tribology Congress, p.39-55, London, 1997.
26. Kraghelskii I.V., Alison V. – ,Friction, Wear, Lubrification – Tribology Handbook', vol. I, II, III, Mir Publishers, 1981.
27. Lim S.C. – ,Recent developments in wear-mechanism maps', Proc. Of First World Tribology Congress, London, p.309-320, 1997.
28. Lupu A., Constantinescu C., Drimus I. –,Inhibitori de coroziune' Ed. Tehnică, 1982.
29. Neale M., Gee M. – ,Guide to wear problems and testing for Industry', professional Engineering Publishing Limited, London and St. Edmunds, UK, 2000.
30. Neale M. – ,Tribology and the needs of industry', Proc. Of First World Tribology Congress, p.57-65, London, 1997.
31. Olaru D. –,Tribologie – Elemente de bază asupra frecării, uzării și ungerii', Institutul Politehnic Iași, 1993.
32. Onciu L. – ,Coroziunea metalelor', Ed. Stiințifică și Enciclopedică, București, 1986.
33. Oprea F., Radu T., Ionescu F. – ,Mecanisme și procese privind coroziunea materialelor metalice', Ed. Științifică Fundația Metalurgică Română, 2000.
34. Pașcovici M.D., Cicone T. - ,Elemente de tribologie', Ed. BREN, București, 2001.
35. Pavelescu D., Mușat M., Tudor A. - ,Tribologie', Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.
36. Tudor A. – ,Frecarea și uzarea materialelor', Ed. Bren, 2002
37. Tudor I. – ,Tribologie', Ed. Univ. Petrol și Gaze, Ploiești,2001.
38. Velten K., Reinicke R., Friedrich K. – ,Wear volume prediction with artificial neural networks' Trib. Intern., 33 (10), p 731-736, 2000.
39. Williams J.A. – ,Engineering Tribology', Oxford University Press, 1994.
- Zhang, Z. et al. – ,Wear Prediction of Polymer Composites using Artificial Neural Networks' in Proc. CMSE/1, p 203-206, 2001.

## CARACTERISTICI, PERFORMANȚE ALE PULBERILOR METALICE PENTRU SINTERIZAREA ALIAJELOR DE TIP CuNiAl

### CAP. II. CARACTERIZAREA PULBERILOR METALICE DESTINATE OBTINERII PRIN SINTERIZARE A ALIAJELOR CuNiAl – TEHNOMAG

Aliajele pe bază de nichel sunt materiale metalice de o importanță covârșitoare în tehnică, datorită proprietăților deosebite pe care le posedă, dintre care putem aminti: caracteristici mecanice foarte bune atât la temperaturi ridicate cât și temperaturi scăzute, refractaritate și rezistență la coroziune, proprietăți magnetice (permeabilitate magnetică variabilă sau constantă, pentru magneți permanenți), rezistență la uzură și proprietăți antifricțiune corespunzătoare, coeficient de dilatare practic nul în domeniul de temperatură 0...100 °C sau apropiat de cel al platinei și sticlei, rezistivitate electrică constantă, în intervalul 0...100 °C, mare rezistență electrică, forță termoelectromotoare ridicată etc.

În funcție de principalul element de aliere, aliajele cu bază de nichel se pot clasifica în aliaje cu: mangan, cupru, crom, fier, molibden, siliciu și beriliu. **Aliajul Ni-Cu-Al** face parte din categoria aliajelor cu bază de nichel cu cupru.

În figura 2.1 este prezentată diagramă ternară Cu-Ni-Al, în care sunt indicate punctele principalelor compoziții de aliaje. După cum se vede din diagramă, aceste aliaje sunt susceptibile la transformări în stare solidă, datorită separării fazelor intermetalice  $\theta$ ,  $(\text{Ni Al})$  și  $\beta$ ,  $(\text{NiAl}_2)$  care determină ca solubilitatea aluminiului și nichelului în cupru să se micșoreze o dată cu scăderea temperaturii. [6]

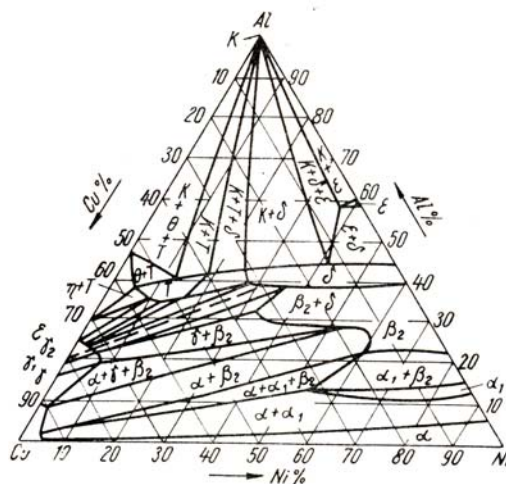


Fig. 2.1 Diagrama ternară Cu-Ni-Al [6]

Astfel, aceste aliaje sunt susceptibile la durificarea structurală prin tratament termic, care constă într-o călire la 900...1000 °C, răcire în apă și revenire la 500...600 °C, când se realizează descompunerea soluției solide  $\alpha$ , suprasaturată, cu formarea în sistem a unei structuri eterogene, cu o dispersie foarte înaintată a fazelor precipitate.

Prin aceasta se produce o creștere sensibilă a rezistenței mecanice și durtății aliajului. Cel mai mare efect se obține prin tratament termo-mecanic, adică ecruisare după călire și apoi revenire.

Un aliaj de tip cunial prelucrat la cald și la rece are după călire la 900 °C, rezistența mecanică de 25-35 kgf/mm<sup>2</sup>. Deformat la rece în stare călită și apoi revenit la 500 °C, capată rezistența de 80-90 kgf/mm<sup>2</sup> și alungirea de 5-10%. Pe scară industrială se folosesc două aliaje: cunial A și cunial B. [6]

Cunial A conține 12...15%Ni, 2,3...3%Al, restul cupru și are greutatea specifică 8,5. Aliajul fără tratament termic are  $\sigma_r = 35...38$  kgf/mm<sup>2</sup> și  $\delta = 20\%$ , iar după tratament termomecanic  $\sigma_r = 80...90$  kgf/mm<sup>2</sup>, alungire 5% și duritate în unități Brinell 260 kgf/mm<sup>2</sup>.

Cunial B conține 5,5...6,5% Ni și 1,2 ...1,8% Al, restul cupru, rezultând caracteristici mecanice relativ mici. Cunial B are  $\sigma_r = 36$  kgf/mm<sup>2</sup> și  $\delta = 28\%$ , iar duritatea Brinell după tratament termomecanic ajunge la 210 kgf/mm<sup>2</sup>. [6]

În vederea obținerii unui aliaj Cu-Ni-Al, în cadrul acestei etape, partenerul SC TEHNOMAG SA a analizat și caracterizat din punct de vedere fizic, chimic, mecanic și tehnologic elementele de aliere, precum și procesele de elaborare ale acestora.

## **2.1 NICHELUL. PROPRIETĂȚI, CARACTERISTICI, OBȚINERE.**

Nichelul se utilizează pe scară largă în industrie, atât în stare pură cât și sub formă de aliaje cu alte metale. Se caracterizează printr-o rezistență bună la coroziune în diferite medii, prin rezistență la rupere suficient de ridicată și o plasticitate mare, putându-se prelucra cu ușurință prin deformare la cald și la rece.

În natură este mai răspândit decât cuprul, dar mai puțin ca zincul. Conținutul de nichel din litosferă fiind de  $1,8 \times 10^{-2}\%$ . Forma sub care se găsește este extrem de variată, astfel metodele folosite pentru extragerea sa sunt numeroase. Minereurile cele mai importante conțin oxizi, sulfuri și silicate.

Nichelul este înrudit cu fierul, fiind un metal de tranziție din aceeași grupă a sistemului periodic, dar totodata face trecerea spre metalele stabile, respectiv cupru, cu care se aseamănă în multe privințe.

## 2.1.1 PROPRIETĂȚILE ȘI CARACTERISTICILE NICHELULUI

### **Caracteristici atomice**

Nichelul are numărul de ordine 28 și greutatea atomică 58,662 și este situat în grupa VIII, perioada a 4-a a sistemului Mendeleev. Face parte din aceeași grupă cu fierul (26) și cobaltul (27) și este urmat imediat de cupru (29). [6]

Nucleul atomic cel mai stabil are 28 protoni și 30 neutroni.

Nichelul are cinci izotopi stabili, cu abundență naturală și șase izotopi instabili, radioactivi.

Configurația electronică a atomului de nichel se caracterizează cu formula:

$1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^8 4s^2 = 28$  electroni

|        |   |   |   |   |
|--------|---|---|---|---|
| orbita | K | L | M | N |
|--------|---|---|---|---|

Substratul electronic intermediar 3d este incomplet, deoarece are numai 8 electroni în loc de 10 electroni pentru saturație. Din această situație decurg proprietățile nichelului ca metal de tranziție, între care feromagnetismul, valență variabilă etc. Totuși aceste proprietăți se manifestă mai stabil decât la alte metale de tranziție cu substraturi electronice, care au un deficit mai mare de electroni.

Sistemul de cristalizare a nichelului metalic este cubic cu fețe centrate, având parametrul  $a = 3.5167 \text{ \AA}$  la  $20^\circ\text{C}$  (rețea tip Al).

Distanța interatomică este de  $2.486 \text{ \AA}$ , iar cifra de coordonație 12.

Nichelul este feromagnetic până la temperatura de  $368^\circ\text{C}$  (punctul Curie), după care devine paramagnetic.

S-a semnalat existența unei modifiții alotropice a nichelului (Nichel  $\alpha$ ), care se obține prin condensarea vaporilor de nichel sau prin acțiunea hidrogenului și oxidului de carbon asupra nichelului, la temperatură înaltă.

Această modifiție alotropică instabilă cristalizează în sistemul hexagonal.

Ambele modifiții pot să coexiste la temperatura obișnuită. Starea alotropică stabilă este  $\beta$  și cristalizează în sistemul cubic.

La încălzire în vid peste  $250^\circ\text{C}$  starea  $\alpha$  trece în starea  $\beta$ .

În condițiile metalurgice se întâlnește numai starea alotropică  $\beta$ .

## Proprietăți fizice

Greutatea specifică la 20 °C este 8,907 g/cm<sup>3</sup>. Greutatea specifică a nichelului se modifică puțin în funcție de gradul de puritate și de cantitatea de gaze absorbite și scade cu creșterea temperaturii. [1]

Temperatura de topire a nichelului metalic este de 1455 °C.

Temperatura de fierbere la presiunea atmosferică de 2730 °C și scade cu creșterea gradului de vid la 1 907 °C, pentru p=1 mm Hg.

Căldura latentă de topire este de 73,8 cal/g, căldura latentă de vaporizare, de 1179 – 1450 cal/g, iar coeficientul de dilatare liniară este între 0 și 100 °C este de 13,3x10<sup>-6</sup>/°C.

Căldura specifică este de 0,1123 cal/g la 100 °C, de 0,1265 cal/g la 500 °C, iar în stare lichidă (1 455 °C) este de 0,1 684 cal/g °C.

Căldura specifică reală a nichelului la temperaturi înalte se poate determina cu relația:

$$C_p = 0,119 + 29,2 \times 10^{-6} T \text{ cal/g } ^\circ\text{C}.$$

Variația căldurii specifice reale în funcție de temperatură prezintă unele anomalii la 650 °C.

Căldura specifică la 20 °C este de 0,1 065 cal/ g °C.

Conductibilitatea termică ( $\lambda$ ) a nichelului pur (99,95% Ni) variază cu temperatura astfel: [1]

- la 25 °C este 0,220 cal/ cm s °C;
- la 100 °C este 0,198 cal/ cm s °C;
- la 300 °C este 0,152 cal/ cm s °C;
- la 500 °C este 0,148 cal/ cm s °C.

Conductibilitatea termică a nichelului tehnic între 20 și 100 °C este de 0,145 cal/ cm s °C.

Rezistivitatea electrică la 0 °C a nichelului pur  $\rho_0 = 0,0684 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , iar a nichelului tehnic  $\rho_{20} = 0,082\text{-}0,092 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Coeficientul de temperatură a rezistivității electrice  $\alpha = 6,9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$  între 0 și 100 °C.

Conductivitatea electrică a nichelului reprezintă 25,2% față de a cuprului standard, luat ca etalon.

Proprietățile magnetice încetează la punctul Curie de 368 °C.

Efectul elementelor de aliere asupra punctului Curie de transformare magnetică a nichelului este prezentat în figura 2.2.

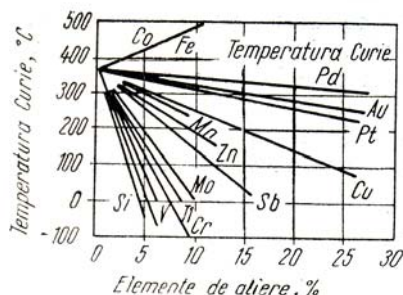


Fig. 2.2 Efectul elementelor de aliere asupra temperaturii punctului Curie al nichelului [6]

Nichelul este feromagnetic la temperatura obișnuită.

Permeabilitatea magnetică inițială este 110 și maxima 600 Gs/Oe.

### **Proprietăți mecanice și tehnologice**

Tratamentele termice aplicate nichelului și aliajelor sale au scopul de a obține proprietăți mecanice specifice, rezistențe mecanice în condiții de temperaturi foarte ridicate sau foarte coborâte și de menținere timp îndelungat a sarcinilor, refractaritate, proprietăți fizice și chimice, rezistivitate electrică mare, coeficient mic al rezistivității, permeabilitate magnetică mare, rezistență mare la coroziune și la oxidare.

În tabelul de mai jos sunt prezentate principalele caracteristici mecanice.

Modulul de elasticitate longitudinal variază în funcție de gradul de puritate între 19700 – 22000 kgf/ mm<sup>2</sup>, iar modulul de elasticitate transversal variază între 7300 – 8080 kgf/ mm<sup>2</sup>.

**Tabelul 2.1**

Caracteristici mecanice ale nichelului [6]

| Denumirea caracteristicii mecanice                | Simbolul unității de măsură    | Nichel pur | Nichel tehnic recopt | Nichel tehnic prelucrat |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|
| Limita de elasticitate                            | $\sigma_e$ kgf/mm <sup>2</sup> | 15         | -                    | -                       |
| Limita de curgere                                 | $\sigma_c$ kgf/mm <sup>2</sup> | 16,0       | 12                   | 70                      |
| Rezistența de rupere la tracțiune                 | $\sigma_r$ kgf/mm <sup>2</sup> | 32,9       | 40-45                | 75-90                   |
| Alungirea specifică                               | $\delta$ , %                   | 30         | 35-40                | 2-4                     |
| Stricțiunea                                       | $\psi$ , %                     | 45         | -                    | -                       |
| Duritatea Brinell                                 | HB                             | 110        | 70-90                | 200                     |
| Reziliența                                        | K, CU kgf/cm <sup>2</sup>      | -          | 18                   | -                       |
| Rezistența la oboseală la 10 <sup>7</sup> cicluri |                                | -          | 29                   | -                       |

Caracteristicile tehnologice mai importante sunt următoarele: [6]

- temperatura de turnare                      1 550 – 1 650°C
- temperatura de prelucrare la cald 1 140 – 1 250 °C
- temperatura de recoacere                      700 – 800 °C
- temperatura de recristalizare                300 °C
- contracția liniară la turnare                1%

### **Proprietăți chimice**

Nichelul se caracterizează prin înaltă stabilitate la coroziune. În aer, la temperatură normală, nichelul nu se oxidează. La încălzire până la 500 °C se oxidează numai la suprafață, acoperindu-se cu o peliculă subțire de NiO de culoare verzuie.

Rezistența la coroziune a nichelului în atmosferă se explică prin formarea unei pelicule compacte, foarte subțiri și rezistente, pe suprafață, de oxid de nichel (NiO).

Acidul sulfuric și clorhidric produc coroziune lentă. Chiar acidul fluorhidric, în comparație cu alte metale, îl atacă mai greu. În acid azotic diluat se dizolvă intens, dar în schimb, în acid azotic concentrat se pasivează.

Nichelul este complet stabil față de apa dulce sau de mare, de soluțiile alcaline sau alcaliile topite, de amoniac și față de multe substanțe anorganice și organice, de aceea se folosește mult în construcția aparaturii din industria chimică.

Prezența în apă a ionilor de clor sau de bioxid de carbon poate provoca coroziune punctiformă. Acizii minerali acționează puternic (azotic, clorhidric, fosforic), acizii organici mult mai greu, iar alcaliile au o influență foarte mică. Topiturile sărurilor acide produc coroziunea.

Fiind unul din metalele tehnice cu mare rezistență la coroziune, nichelul se folosește pentru acoperirea galvanică a altor metale (nichelare).

#### **2.1.2 OBȚINEREA PULBERII DE NICHEL**

De metoda de fabricație a pulberilor depinde gradul de puritate, mărimea și forma particulelor obținute, precum și proprietățile fizice, chimice și tehnologice ale acestora. În figura 2.3 este prezentat fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de nichel.

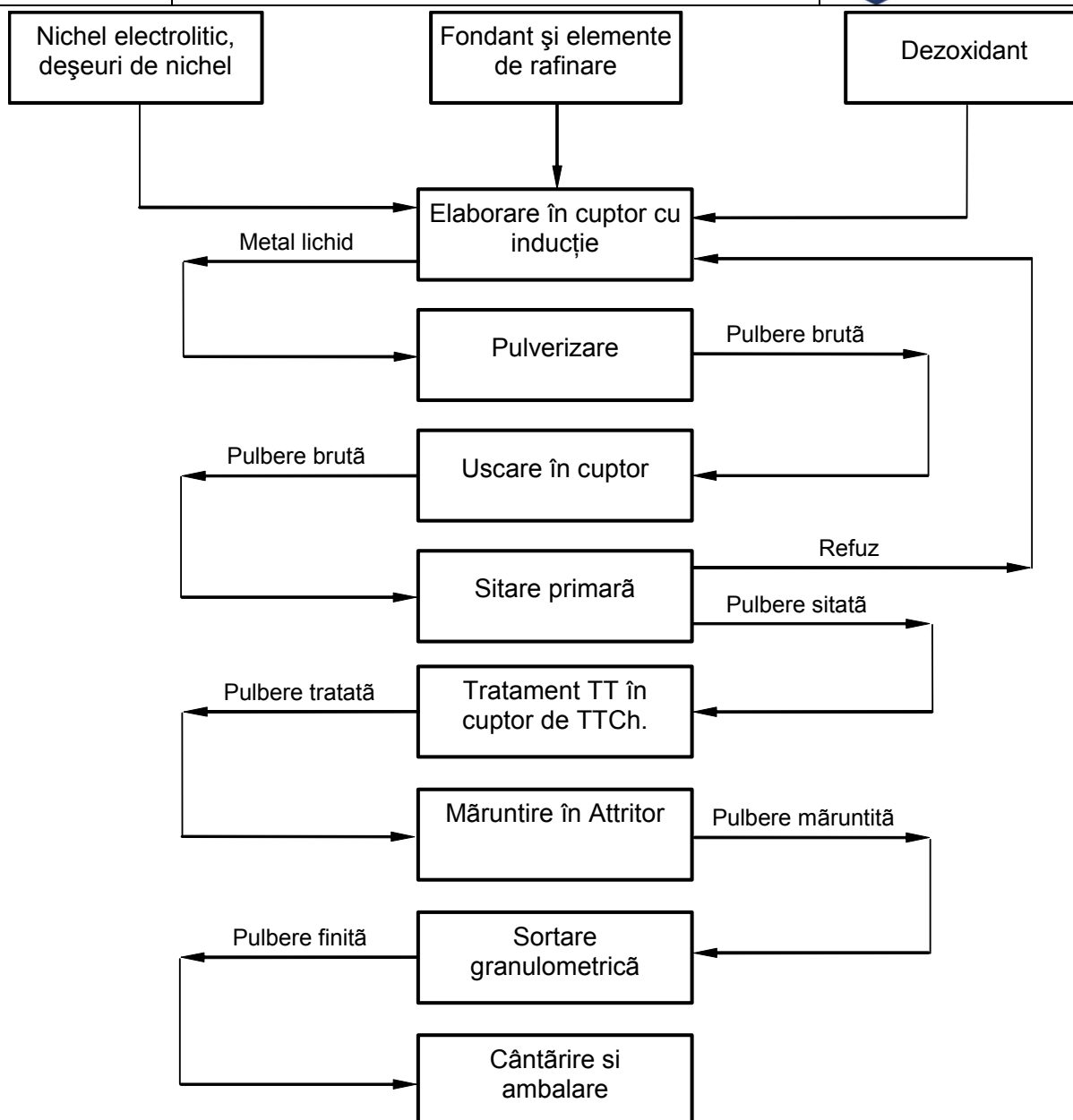


Fig. 2.3 Fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de nichel

### ***Pregătirea încărcăturii***

Înainte de introducerea în agregatul de topire, încărcătura care poate fi alcătuită din nichel electrolitic, deșeuri din producția proprie, materiale metalice din exterior, prealiaje sau feroaliaje, trebuie să fie în prealabil supuse înnobilării (uscare, spalare etc). Nichelul catodic spongios și impurificat cu electrolit nu se admite în încărcătură. Pentru îndepărtarea umidității, tabla catodică se încălzește la 400...500 °C, înainte de a fi introdusă în cuptorul de topire, sau se încarcă pe suprafața vetrei acestuia la începutul procesului de elaborare. Nu se recomandă să se introducă în baia metalică nichel catodic,

deoarece acesta este de regulă impurificat cu resturi de electrolit și saturat cu hidrogen, înrăutățind astfel proprietățile materialului metalic.

Deșeurile din producție proprie nu trebuie să se încarce în metalul topit, întrucât umiditatea absorbită la suprafața lor poate servi ca sursă de saturare cu gaze a băii metalice. Dacă deșeurile sunt introduse în cuptor la începutul topirii, umiditatea de la suprafața lor se evaporă în timpul încălzirii și astfel, saturarea cu gaze va fi redusă la minimum. Cantitatea de deșeuri introduse în încărcătură nu depășește de obicei 30%.

### **Fondanții**

Pentru elaborarea nichelului și a unora din aliajele sale, o problemă importantă este găsirea unui fondant care să îndeplinească condițiile impuse de procesul tehnologic.

La topirea în cuptoare electrice cu arc, cu căptuseală bazică sau neutră sunt utilizați fondanți oxidanți, minereuri de mangan, spărturi de sticlă, în nici un caz mangalul care provoacă saturarea băii metalice cu hidrogen și carbon. În cazul în care nu se folosește vidul sau o atmosferă neutră, pentru aliajele complexe, împotriva saturării topiturii cu gaze se întrebuintează un fondant acoperitor, având în compoziție spărturi de sticlă,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , nisip cuarțos,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  etc. Sarea de bucătărie și soda sunt adăugate pentru reducerea vâscozității iar nisipul cuarțos uscat pentru micșorarea fluidității.

Nichelul și aliajele sale prezintă o mare sensibilitate față de incluziunile oxidice și în special de sulfuri care formează compuși și eutectice, afectând proprietățile de plasticitate, refractaritate, rezistența la fluaj, coroziunea și caracteristicile magnetice și electrice. Astfel, este obligatoriu ca materialele metalice să fie supuse operațiilor de dezoxidare și desulfurare care se pot efectua atât în oala de turnare cât și în spațiul de lucru al agregatului de topire.

Dezoxidarea și desulfurarea se realizează cu mangan, siliciu, magneziu, litiu, aluminiu, titan, lantanide, zgura de protecție (40...60%  $\text{CaO}$ , 60...40%  $\text{CaF}_2$ ) și prealiaj K-Ca-Mg, feromangan etc.

Nichelul pur sau microaliat se dezoxidează cu 0,3%Mn+0,05%Si+0,05%Mg, iar constantanul, alumelul, nicromul, cromelul etc, cu magneziu în proporție de aproximativ 0,05% din greutatea încărcăturii, cu sau fără difuziune de mangan.

În prezent, pentru marea majoritate a aliajelor refractare pe bază de nichel și a celor cu proprietăți magnetice, s-a extins tehnologia de dezoxidare cu prealiaj Ni-C (1,8...2,2%C) în proporție de 0,02...0,3% din greutatea încărcăturii, cu beriliu sau prin insuflarea de hidrogen uscat. Materialele metalice elaborate în acest mod devin foarte

plastice și pot fi supuse operațiilor de deformare. Metoda a fost aplicată la dezoxidarea aliajelor tip monel unde prealiajul nichel-carbon a fost folosit în proporție de 0,3% din greutatea încărcăturii.

La elaborarea în vid procesul de dezoxidare se poate realiza:

- prin introducerea în baia metalică a carbonului sau a prealiajului Ni-C;
- folosirea dezoxidanților obișnuiți;
- insuflarea hidrogenului uscat.

Rezultatele cele mai bune sunt obținute la dezoxidarea cu carbon la presiuni joase, (fig. 2.4) putându-se exclude dezoxidanții ce dau produse de reacție solide.

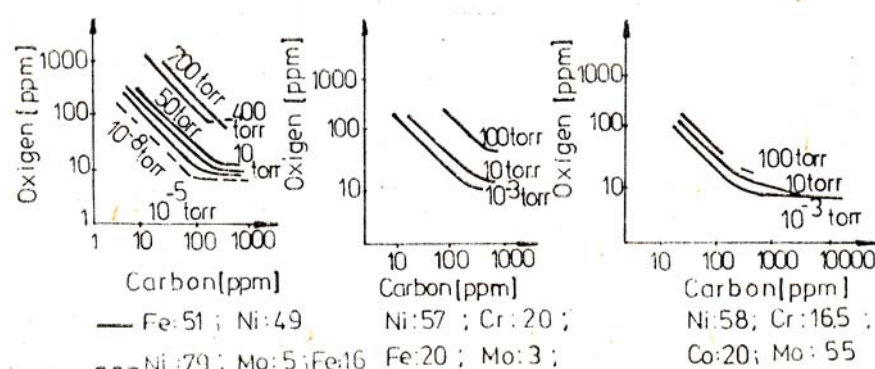


Fig. 2.4 Corelația conținuturilor de oxigen și carbon funcție de presiunea remanentă pentru diferite aliaje de nichel [1]

### **Topirea, turnarea și pulverizarea**

Numarul mare de elemente de aliere, limitarea strictă a conținutului impurităților, solicitările deosebite la care sunt supuse în timpul funcționării la utilizarea lor în domenii de vârf ale tehnicii, temperatura ridicată de topire, afinitatea chimică mare față de oxigen, azot, sulf, carbon, fosfor, au determinat perfecționarea și modernizarea permanentă a tehnologiilor de elaborare.

Pentru a obține materiale metalice de calitate și pentru a se preveni formarea incluziunilor solide și gazoase este necesară respectarea următoarelor:

- încărcătura sa fie compusă din materiale cu o puritate ridicată;
- să se aleagă corect tipul agregatului de topire;
- compoziția căptușelii spațiului de lucru;
- atmosfera;
- mediul de protecție a suprafeței băii metalice (fondant, zgură, atmosfera neutră, atmosfera puțin oxidantă, vid).

În prezent, nichelul și aliajele sale sunt elaborate într-un singur agregat în aer, sub strat de fondant sau în vid folosind cuptoarele electrice cu arc, cu inducție cu sau fără miez, cuptoare cu plasmă cu creuzet refractar din grafit sau cupru, răcit cu apă, cuptoare cu jet de electroni sau în două agregate, retopire cu arc în vid, topirea în vid, retopire sub zgură.

#### *Elaborarea în cuptoare cu inducție*

La elaboarea nichelului în cuptoarele cu inducție cu miez de oțel, o atenție deosebită trebuie acordată materialului refractar din care este confecționat canalul și vatra cuptorului, deoarece datorită temperaturii ridicate de lucru, se poate produce topirea și degradarea lui. În această situație trebuie să se supravegheze temperatura metalului în canal sau să se instaleze termoregulatorul automat pentru evitarea supraîncălzirilor, care pot provoca topirea căptușelii. În această direcție s-au luat unele măsuri privind îmbunătățirea refractarității căptușelii, prin folosirea unui material cu compoziția: 98% magnezită topită și 2% borax.

De regulă, cuptoarele cu inducție cu miez de oțel, pentru nichel și aliajele sale, erau monofazice, cu o capacitate de 100...500 kg. Datorită productivității lor mici, sub 7,5t/24 ore, în ultimul timp au început să se răspândească cuptoarele de inducție cu miez de oțel bifazice și trifazice, cu unul sau mai multe canale pe fază.

Puterea utilă a cuptoarelor bifazice, față de cele monofazice crește de 1,5 ori, la aceleași dimensiuni ale spațiului de lucru. Se îmbunătățește stabilitatea cuptorului, prin construirea riguroasă a canalelor și se poate conduce procesul de dezoxidare și desulfurare, direct în agregatul de elaborare, ceea ce permite obținerea unor materiale de calitate superioară, îmbunătățindu-se randamentul energetic.

Tot pentru topirea nichelului și aliajelor sale se mai folosesc și cuptoarele de inducție cu înaltă frecvență, fără miez de difuziune, cu o capacitate de trei tone. La o putere a generatorului în jur de 1000 Kw, cuptorul realizează o temperatură de 1550 °C, iar durata medie de elaborare a unei încărcături este de 100 minute. Productivitatea cuptorului variază între 1,7...1,8 t/ora, iar consumul specific de energie electrică este de 528...562 kWh/t.

Având în vedere faptul că nichelul și aliajele sale reacționează cu carbonul, la elaborarea lor se pot folosi spații de lucru confecționate din grafit numai în condițiile în care se depun de pe suprafața pereților interiori, un material refractar care este inert. Conform literaturii de specialitate, compoziția propusă este următoarea: magnezita cu adaos de 2% caolin și 1,5% nisip cuarțos, care se amestecă cu o soluție compusă din

50% sticlă solubilă și 50% apă. Acest material se depune pe suprafața pereților interiori care în prealabil au fost acoperiți cu un strat de sticlă solubilă.

### ***Elaborarea în cuptoare cu vid***

Proprietățile superioare ale materialelor metalice elaborate în agregate cu vid, în raport cu metodele obișnuite se datoresc faptului că se evită contactul cu oxigenul, azotul, și alte gaze nocive din atmosferă și se elimină desfășurarea reacțiilor între aceste gaze nocive din atmosferă, se elimină desfășurarea reacțiilor între aceste gaze și metale și nu apar oxizi, nitruri sau sulfuri, care constituie principalele incluziuni nemetalice solide. De asemenea, reacțiile băii metalice cu dezoxidanții care dau produse de reacție gazoase, pot fi conduse mai rapid. În felul acesta, la dezoxidarea cu hidrogen vaporii de apă pot fi evacuați datorită depresiunii existente. Evident, controlul conținutului elementelor prezente în compoziția aliajului poate fi precis determinat (determinând viteza de volatilizare pentru condițiile date) deoarece baia metalică nu este în contact cu atmosfera. În același timp, la elaborarea în vid unele elemente nocive cu o tensiune ridicată de vapori: plumb, bismut, seleniu, telur etc, pot fi eliminate ușor din topitură.

Elaborarea în vid a aliajelor pe bază de nichel prezintă următoarele avantaje:

- dezoxidarea se poate efectua pe baza următoarelor reacții:  

$$C + \frac{1}{2} O_2 = CO$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$$

$$4 Al + 3 O_2 = 2 Al_2O_3$$

$$Si + O_2 = SiO_2, \text{ reușindu-se să se elimine din topitură oxigenul;}$$
- se obține un aliaj cu compoziție uniformă și fără incluziuni de gaze;
- sunt îndepărtate impuritățile volatile, iar lingourile obținute sunt dense și cu o porozitate mică. Prin această metodă au fost elaborate numeroase aliaje, pe bază de nichel cum sunt: cromel, nicrom, copel, alumel, constantan, inconel, nimonic, nimocast, incoloy, permalloy, supermalloy etc. Totodată se constată și o serie de schimbări ale proprietăților față de elaborarea clasică (rezistanța la rupere la tracțiune, rezistența la uzură, forjabilitatea etc);
- cantitatea de incluziuni, în principal oxizi și nitruri, a fost puternic micșorată, iar gradul lor de dispersie mult mărit;
- se îmbunătățește prelucrabilitatea prin laminare a aliajelor, în special la acelea care conțin în structură nichel, aluminiu și titan;

- caracteristicile de emisie ale catozilor confecționați din metale elaborate sub vid sunt superioare, datorită înaltei purități și realizării mai precise a compoziției;
- instalațiile de vid pot fi folosite și pentru degazarea băilor de metal topit, în scopul eliminării porozităților.

Creuzetele cuptoarelor cu vid, utilizate la elaborarea nichelului și aliajelor sale au următoarele dimensiuni: 200...210 mm diametru și 300...350 mm înălțime. Depresiunea atinsă este de  $5 \cdot 10^{-3}$  mm coloană de mercur. Pentru dezoxidare, se folosește aliajul Ni-C (1.8...2.2% C), în cantitate de 0.08...0.1% din greutatea încărcăturii. Degazarea topiturii se produce menținând-o la temperatura de 1500...1700 °C, timp de 20...40 minute la o depresiune de 1...5 mm col. Hg. În funcție de puterea generatorului, durata de topire a încărcăturii este de 20...50 minute. Nichelul elaborat în cuptoarele cu vid, în condițiile de mai sus, are următoarele conținuturi de impurități: 0.001...0.002% Si; 0.002...0.003% Fe; 0.001...0.003% Mg și maximum 0.005% C. La elaborarea în cuptoare cu vid cu electrozi consumabili, se obțin lingouri cu diametru de 200 mm și înălțime de 300...400 mm, având o greutate de 70...90 kg. Durata de topire este de 35...60 minute iar conținutul de impurități: 0.001...0.003% Si; 0.004...0.007% Fe; în jur de 0.003% Cu; 0.0003% Mg și 0.0024% O<sub>2</sub>. [1]

### **Comportamentul nichelului în timpul procesului de elaborare**

În timpul procesului de elaborare o influență deosebită asupra nichelului, o au gazele prezente în atmosfera cuptorului, deoarece nichelul reacționează cu multe dintre ele. Se știe că cele mai dăunătoare sunt cele reducătoare sau atmosfera de bioxid de sulf.

### **Interacțiunea nichel oxigen**

Impuritățile care reacționează cu nichelul, cu formare de compuși chimici, sunt oxigenul, sulful, arsenul, fosforul, seleniul, telurul și stibiul. Acestea provoacă relativ fragilizarea și înrăutățirea tuturor proprietăților fizico-mecanice ale materialului.

Oxigenul rămas în nichel, datorită unei dezoxidări insuficiente, se găsește sub formă de NiO, care formează cu metalul un eutectic relativ greu fuzibil, separat atât la limitele cât și în interiorul grăunților.

Diagrama de echilibru Ni-NiO, reprezentată în figura 2.5, arată că acest eutectic se formează la 0,24% oxigen și are temperatura de topire la 1438 °C (1,1% greutate NiO). [1]

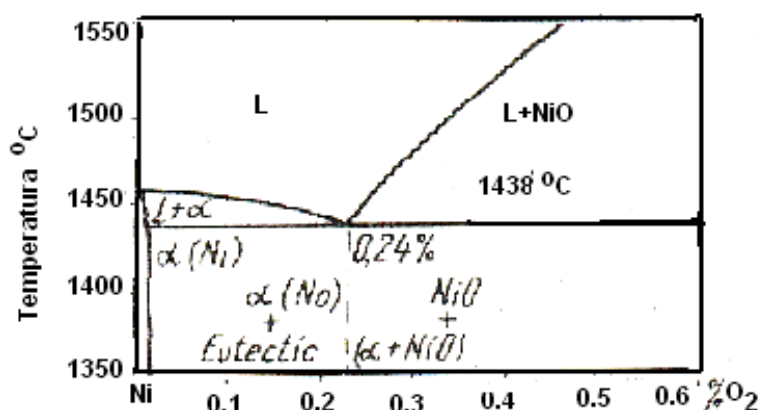


Fig. 2.5 Diagrama de echilibru Ni-NiO [1]

Oxidul de nichel (NiO) (21,42% O<sub>2</sub>) are temperatura de topire la circa 2000°C și cristalizează într-o rețea cubică simplă de tip NaCl.

Película de NiO la temperatura obișnuită are o rețea romboedrică, care devine cubică de tip NaCl la încălzire peste 200 °C.

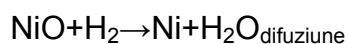
Oxizii superiori de nichel Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și NiO<sub>2</sub> nu se formează în aliajele de nichel.

Prezența unui conținut de oxigen mai mare de 0,20-0,24% înrăutățește mult plasticitatea. Prin încălzirea nichelului, care conține urme de oxizi, într-o atmosferă reducătoare, se formează fisuri intercrystaline și metalul devine foarte fragil.

Oxigenul se folosește în cantități mici (0,2%) ca element de aliere în anozii de nichel nepasivizați, pentru obținerea unor lingouri compacte. Deoarece acești anozii nu sunt supuși recoacerii, prezența oxigenului nu este dăunătoare.

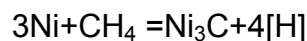
### **Interacțiunea nichel hidrogen**

Nichelul în stare lichidă poate dizolva monoxidul, care la răcire reacționează cu hidrogenul, conform reacției:[1]

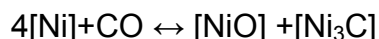


conducând la apariția în sistem a vaporilor de apă care, dacă nu sunt eliminați înainte de începutul procesului de solidificare, provoacă așa numita *boală de hidrogen* a metalului.

Dacă în atmosferă se găsesc hidrocarburi, acestea interacționează cu nichelul degajând hidrogen formând carburi, ambele dizolvându-se total sau parțial în baia metalică. [1]



Datorită capacității nichelului de a forma împreună cu carbonul combinația chimică  $\text{Ni}_3\text{C}$ , oxidul de carbon intră în reacție cu baia metalică, mai ales la temperaturi ridicate, formând oxizi și carburi: [1]



Sensul de desfășurare a acestei reacții depinde în primul rând de concentrația oxidului de carbon, deoarece atât oxidul cât și carbura se dizolvă până la saturație în baia metalică. La desfășurarea reacției în sens invers, când în topitură sunt prezente cele două combinații ( $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni}_3\text{C}$ ), se formează CO care favorizează apariția porozităților.

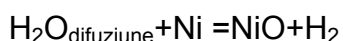
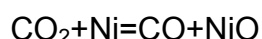
Deci, prezența oxidului de carbon în atmosfera cuptorului de topire este tot atât de dăunătoare pentru nichel, ca și prezența hidrogenului sau a hidrocarburilor.

La reacția cu oxigenul din aer, pe suprafață se formează o peliculă de oxizi. În cazul când presiunea parțială a oxigenului în gaze este mică, oxidul format difuzează în baia metalică. La o presiune parțială medie se desfășoară simultan atât procesul de formare a peliculei de oxid cât și de difuziune a acestuia în baia metalică.

Reacțiile între aliajele de nichel și oxigenul din gaze, deși au o viteză de desfășurare mult mai mică, prezintă totuși o deosebită importanță, mai ales sub aspectul pierderilor prin oxidare în special pentru elementele cu mare afinitate chimică: titan, crom, aluminiu.

Atmosfera de bioxid de carbon și vapori de apă este în cazul nichelului slab oxidantă.

Nichelul reacționează cu aceste gaze, conform reacțiilor:



formând oxidul de nichel și oxidul de carbon, în cazul bioxidului de carbon, sau hidrogenul în cazul vaporilor de apă.

Acumularea oxidului de carbon și a hidrogenului la limita grăunților cristalini provoacă distrugerea legăturilor dintre ei și conduce la fisurarea lingourilor când acestea se prelucreează prin deformare la cald (laminare, forjare, matrițare).

Atmosfera oxidantă este totuși mai puțin dăunătoare pentru nichel decât cea reducătoare, deoarece la solidificare oxidul dizolvat în baia metalică formează un eutectic cu 1,1%  $\text{NiO}$  cu temperatura de topire de  $1438^\circ\text{C}$ , având o influență mică asupra proprietăților de plasticitate și nu dăunează prea mult prelucrarea prin deformare. [1]

### **Interacțiunea nichel sulf**

Sulful reprezintă cea mai periculoasă impuritate în nichel, deoarece este practic insolubil în nichelul solid, în schimb reacționează chimic formând o sulfură de  $\text{Ni}_3\text{S}_2$ . Prezența acestor sulfuri este detectabilă chiar la un conținut de 0,003% S în nichel.

Sulfurile cu un conținut mai bogat în sulf ca  $\text{Ni}_6\text{S}_5$ ,  $\text{Ni}_7\text{S}_6$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{Ni}_3\text{S}_4$ ,  $\text{NiS}_2$  nu apar decât prin reacția directă a nichelului cu vaporii de sulf sau unele se cunosc sub formă de minerale.

În figura 2.6 se prezintă diagrama de echilibru termic nichel-sulf. La un conținut de 0,01% S, nichelul nu mai poate fi prelucrat prin presare la cald, iar fragilitatea la rece se manifestă chiar la un conținut de 0,002% S. Plasticitatea nichelului cu impuritățile de sulf poate fi restabilită prin desulfurarea cu magneziu sau mangan, care se introduc în topitură. Aceste elemente au o afinitate mai mare pentru sulf și îl fixează sub formă de sulfuri greu fuzibile ( $\text{MgS}$  și  $\text{MnS}$ ), care vor forma centre de cristalizare. După solidificarea nichelului, aceste sulfuri se separă sub formă de incluziuni globulare (asemănătoare cu sulfura de mangan în oțeluri) în interiorul grăunților de nichel, astfel încât nu influențează mult plasticitatea și mărunțește structura. [1]

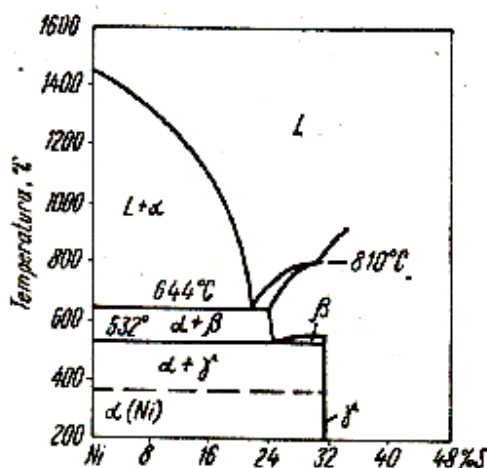
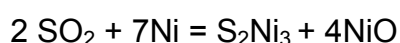


Fig. 2.6 Diagrama de echilibru Ni-S [1]

Prezența bioxidului de sulf este la fel de dăunătoare pentru nichel și aliajele sale ca și a gazelor reducătoare, deoarece conform reacției: [1]



se formează în sistem sulfură și oxidul care se dizolvă în baia metalică. La solidificare sulfura formează un eutectic Ni- $\text{Ni}_3\text{S}_2$  cu temperatura de topire de  $645^\circ\text{C}$ , care provoacă fragilitatea la roșu dacă materialele sunt deformate la cald și fragilitatea la rece în piesele turnate.

În același timp, magneziul și manganul manifestă și o acțiune dezoxidantă.

Arsenul formează  $\text{Ni}_3\text{As}$  care produce cu nichelul un eutectic ușor fuzibil la  $898^\circ\text{C}$ . De aceea, conținutul maxim admisibil de arsen este sub 0,001% As.

Fosforul formează compusul  $\text{Ni}_3\text{P}$  care dă nichelului un eutectic ușor fuzibil la  $880^\circ\text{C}$  și insolubilitate practică în stare solidă. Conținutul maxim admisibil de fosfor trebuie să fie sub 0,001%.

Compușii chimici cu nichelul, care alcătuiesc eutectice ușor fuzibile, sunt: seleniul ( $\text{NiSe}$ ), telurul ( $\text{NiTe}$ ) și stibiul ( $\text{Ni}_{15}\text{Sb}$ ), care, de aceea se limitează la 0,001%.

### **Interacțiunea nichel carbon**

Carbonul provine în nichel sau aliajele de nichel din creuzetele de grafit sau când se folosește ca dezoxidant pentru nichel. La un conținut rezidual de peste 0,1% înrăutățește maleabilitatea, datorită separării sub formă de grafit la limitele grăunților, în urma tratamentului de recoacere.

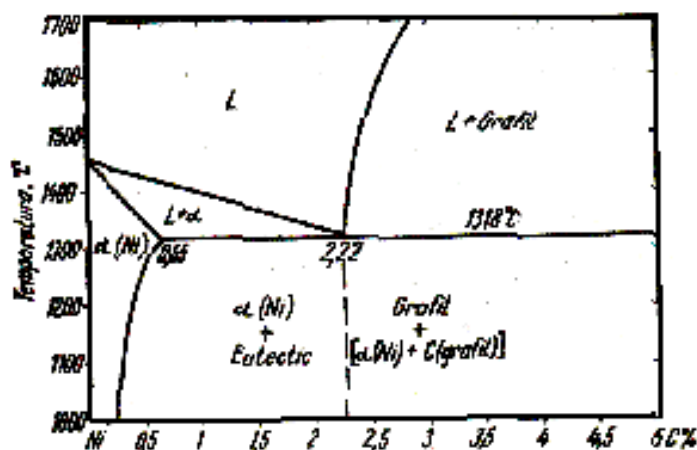


Fig. 2.7 Diagrama de echilibru Ni-C [1]

Carbura de nichel ( $\text{Ni}_3\text{C}$ ) care se formează la temperaturi înalte ( $1600^\circ\text{C}$ ) este instabilă și se disociază ușor, separând carbon sub formă de grafit, ce formează cu metalul un eutectic la 2,22% C și temperatura de topire  $1318^\circ\text{C}$ . Solubilitatea grafitului în nichel se micșorează mult prin scăderea temperaturii, după cum se observă din diagrama Ni-C prezentată în figura 2.7 (porțiunea dinspre nichel).

*Plumbul* este parțial miscibil cu nichelul în stare lichida, dar în stare solidă se separă sub formă de particule de plumb la limitele grăunților, de aceea maximum admisibil trebuie să fie de 0,1%.

*Bismutul* este, de asemenea, practic insolubil în nichel în stare solidă și se separă sub formă de bismut metalic sau compus  $\text{NiBi}_3$ , de aceea maximum admisibil este 0,001%.

*Cadmiul* formează eutectic foarte ușor fuzibil și este practic nemiscibil în nichelul solid. Conținutul maxim admisibil este de 0,001%.

*Cobaltul, fierul, siliciul și cuprul* rămân în soluție solidă și au o slabă acțiune asupra proprietăților mecanice, în schimb măresc rezistivitatea electrică, însă nu au influență dăunătoare asupra plasticității.

*Siliciul* în conținut peste 0,01% înrăutățește forjabilitatea.

### **Pulverizarea**

Pulberile de nichel, se pot obține prin mai multe metode, dar una dintre cele mai eficiente este metoda de pulverizare a aliajului lichid cu fluide sub presiune, prezentată în figura 2.8.

Astfel din cuptorul de topire 1, aliajul lichid 2 este evacuat în pâlnia de turnare 3 care are prevăzută la partea inferioară un orificiu de scurgere calibrat la diametrul “d”. Fluidul de pulverizare, direcționat prin intermediul dispozitivului de pulverizare 5 asupra jetului de aliaj, dezintegrează vâna de aliaj lichid pulverizând-o în particule fine. Turnul de pulverizare 4 care conține și apa de răcire 6 este prevăzut la partea sa inferioară cu un dispozitiv de evacuare 8 a slamului 7.

Principiul acestei metode oferă o serie de elemente care asigură o mare flexibilitate procedului, astfel încât se pot obține o multitudine de tipodimensiuni granulometrice.

Stabilirea parametrilor optimi ai pulverizării: supraîncălzirea și vâscozitatea aliajului lichid, diametrul duzei de scurgere “d”, înălțimea aliajului lichid în pâlnia de turnare “h”, presiunea, debitul și vâscozitatea agentului de pulverizare, lungimea vânei de metal “ $h_1$ ”, lungimea jetului fluidului “B”, unghiul de convergență al jetului, înălțimea de cădere a pulberii “H”, precum și construcția și geometria dispozitivului de pulverizare, constituie elementele determinante în ceea ce privește obținerea pulberilor de nichel.

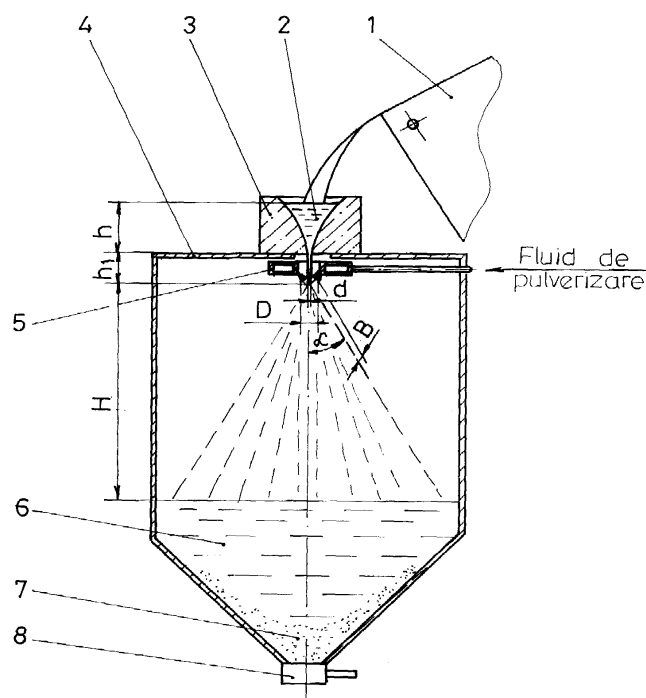


Fig. 2.8 Schema principiului de pulverizare

Parametrii de pulverizare:

- mediu protector: argon;
- temperatura de topire: 1450°C;
- presiune gaz: 20 – 25 bar;
- sistem inelar de pulverizare cu duze multiple;
- timp de topire: 50 min;
- timp de pulverizare: 15 sec;
- greutate încărcătură: 2470 grame.

## Măruntirea

Marunțirea pulberii de nichel rezultate în vederea obținerii unei granulații mai mici se poate realiza cu ajutorul unui Attritor ca cel din figura 2.9 și care prezintă următorii parametrii:

- o Diametru cuva cilindrică verticală:  $d = 100 \text{ cm}$ ;
- o Capacitate Attritor:  $700 \text{ dm}^3$  ;
- o Turația tijei verticale:  $500 \text{ rot/min}$ ;
- o Numărul de bile: variabil în funcție de materialul din care sunt confecționate bilele, diametrul acestora și densitatea lor.

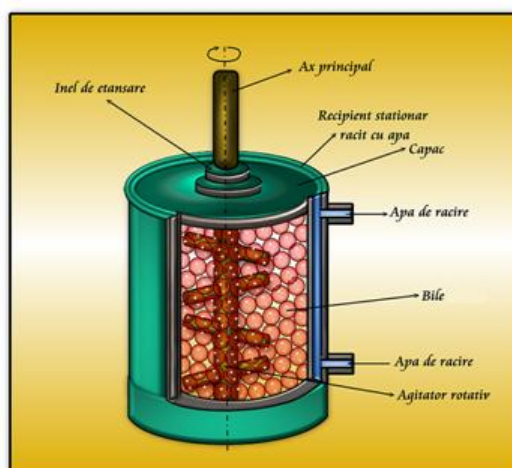


Fig. 2.9 Attritor [18]

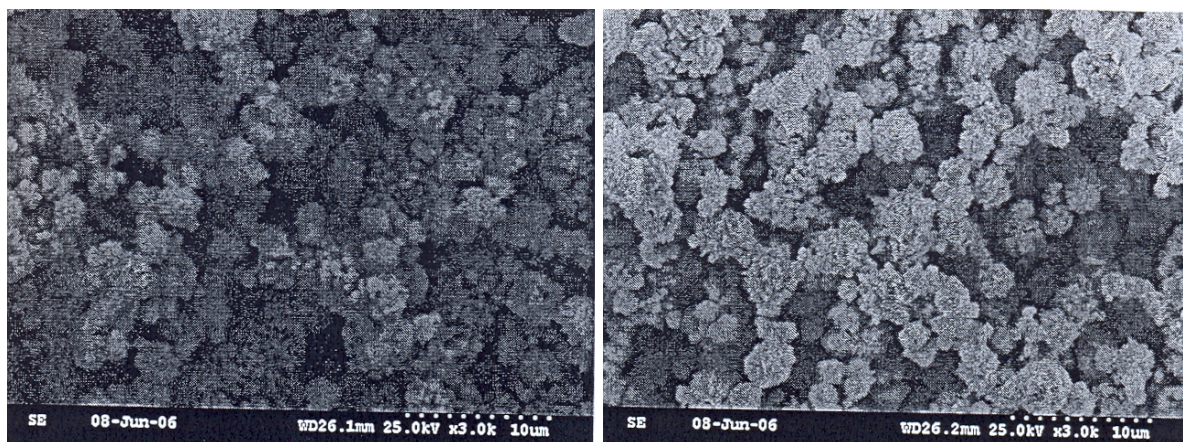
### 2.1.3 CARACTERIZAREA PULBERII DE NICHEL

În urma elaborării pulberii de nichel prin procedeul descris anterior, se dorește a se obține următoarele caracteristici fizice și chimice conform standardelor aflate în vigoare.

#### **Caracteristici fizice:**

- *Forma granulelor*

În imaginile din figurile 2.10 și 2.11 este prezentat aspectul morfologic obținut pe probele de pulbere de nichel. Imaginile din figura 2.10 a și b la o mărire (x 3000) evidențiază conglomerate de particule micronice și submicronice sub forma unor lanțuri, iar imaginile din figura 2.11 a și b la mărire mai mare (x 6000) evidențiază forma plachetară de dimensiuni 0,1-3  $\mu\text{m}$ , cu o frecvență totuși mică precum și forma poligonală a particulelor.



a b  
Fig. 2.10 Aspectul morfologic al pulberii de nichel x. 3000  
5. □. aspect general; b) conglomerat de particule.

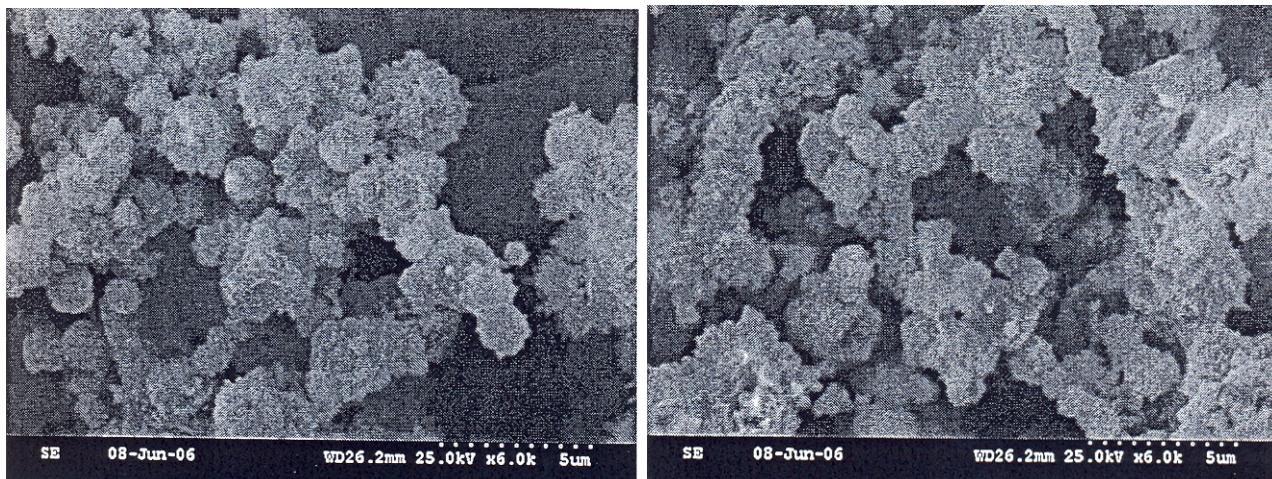


Fig. 2.11 Aspect morfologic al pulberii de nichel x. 6000

5.□. forma plachetară; b) lanțuri de particule

- *Mărimea granulelor și repartiția granulometrică*

Are o influență asupra proprietăților tehnologice ale pulberilor, asupra proprietăților semifabricatelor presate și ale produselor sinterizate finite. Repartiția granulometrică se poate exprima sub o formă tabelară sau sub formă de grafice. Determinarea acestora se face prin analiza de cernere, folosind un set de site standardizate, așezate pe un vibrator electromagnetic (fig.2.12).



Fig. 2.12 Vibrator electromagnetic

În tabelul următor sunt date dimensiunile granulei maxime și refuzul pe sita maximă a diferitelor sorturi de pulberi de nichel (Pni). S-au folosit două tipuri de site cu dimensiunea ochiurilor de 0.04 mm și 0.25 mm.

**Tabelul 2.2**

| Marca | Dimensiunea granulei max.<br>[mm] | Refuzul pe sita max.<br>[%] |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Pni 1 | 0.04                              | 1                           |
| Pni 2 | 0.04                              | 1                           |
| Pni 3 | -                                 | -                           |
| Pni 4 | 0.25                              | 3                           |
| Pni 5 | 0.25                              | 3                           |

- *Densitatea aparentă, (g/cm<sup>3</sup>) și umiditatea maximă [%]*

Densitatea aparentă s-a determinat prin raportul între masa pulberii (în grame) și volumul recipientului de 25 cm<sup>3</sup>. Umiditatea pulberii de nichel se determină prin uscarea la temperatura de 100...105 °C, în atmosferă naturală, a unei probe de 10 g, până la aducerea la masa constantă.

**Tabelul 2.3**

| Marca | Densitatea aparentă<br>[g/cm <sup>3</sup> ]<br>min | Umiditatea max.<br>[%] |
|-------|----------------------------------------------------|------------------------|
| Pni 1 | 2.9...4.0                                          | 0.2                    |
| Pni 2 | 2.0...3.3                                          | 0.2                    |
| Pni 3 | -                                                  | -                      |
| Pni 4 | 5                                                  | 0.2                    |
| Pni 5 | 5                                                  | 0.2                    |

### **Compoziția chimică**

Compoziția chimică, adică cantitatea procentuală a componentelor dintr-un aliaj sau dintr-un amestec de pulberi, respectiv cantitatea elementelor însoțitoare și a impurităților, se determină prin metodele cunoscute și în majoritate standardizate, ale chimiei analitice. Având în vedere importanța deosebit de mare a conținutului de oxigen din pulberile metalice asupra proprietăților fizico-mecanice și tehnologice ale acestora, determinarea conținutului de oxigen este analiza cea mai importantă dintre cele aplicate în metalurgia pulberilor.

Compoziția chimică, în special cantitatea de impurități reprezintă unul dintre factorii de importanță majoră în metalurgia pulberilor, aceasta nu numai pentru că influențează proprietățile produsului finit, dar afectează în același timp și procesele de prelucrare a pulberilor în forma finală.

Compactizarea depinde în mare măsură de plasticitatea și viteza de ecrusare a metalului de bază, care la randul lor, sunt strâns legate de compoziția chimică. Conținutul

în elemente de aliere și impurități are de asemenea un efect important și asupra procesului de sinterizare prin influența lor asupra vitezei de difuziune și în anumite cazuri prin formarea unei faze lichide la temperatura de sinterizare.

Efectul impurităților asupra durității particulelor și a gradului de reactivitate chimică în timpul sinterizării va fi diferit, depinzând de forma sub care se găsesc acestea. Impuritățile care produc o durificare apreciabilă a materialului sunt cât se poate de nedorite.

Cea mai frecventă impuritate care conduce la durificarea metalului este oxigenul, în special când este dispersat sub formă de oxid a metalului.

Multe materiale metalice sau nemetalice, prezintă o capacitate ridicată de absorbție a gazelor și vaporilor de apă din atmosferă. Aceasta poate conduce la acoperirea suprafeței pulberii cu un film de oxid care poate împiedica compactizarea sau sinterizarea (în special oxizii metalelor greu reductibile) sau chiar rămâne inclus în materialul sinterizat.

O altă caracteristică care influențează într-o mare măsură comportarea în timpul compactizării și sinterizării, precum și proprietățile produselor metalurgiei pulberilor, este structura grăunților cristalini și a particulelor. Această influență este determinată în principal de mărimea și orientarea grăunților cristalini, de numărul, cantitatea și distribuția diferitelor faze, incluziuni și defecte ale rețelei cristaline, care toate în ansamblu sunt strâns legate de metoda de elaborare a pulberii.

Utilizarea unor astfel de pulberi are ca rezultat două efecte mai importante:

- îmbunătățirea proprietăților mecanice,
- îmbunătățirea caracteristicilor de sinterizare în ceea ce privește cinetica și uniformitatea modificărilor dimensionale.

Astfel de particule pot crea dificultăți în timpul compactizării datorită creșterii rezistenței materialelor policristaline, acest efect probabil compensat prin îmbunătățirea ductilității majorității particulelor ca urmare a numărului mai mare de grăunți cristalini (sisteme de alunecare) orientate favorabil în raport cu starea complexă de tensiuni din compact.

O altă trăsătură distinctivă pentru multe pulberi o constituie prezența porozității din interiorul particulelor. Această caracteristică structurală poate avea o influență pronunțată asupra unei serii de alți factori, incluzând comportarea pulberii în timpul compactizării și sinterizării, în special atunci când porii conțin gaze sau lichide incluse în timpul proceselor de elaborare.

Constituția fizico – chimică este o altă trăsătură structurală a particulelor individuale de pulbere care poate influența în mare măsură procesul de compactizare și proprietățile finale ale materialelor sinterizate.

Un alt factor structural care poate influența sensibil procesele de bază ale metalurgiei pulberilor, în special compactizarea este starea rețelei cristaline a particulelor de pulbere și care depinde în principal de metoda de elaborare. Astfel pulberile obținute prin reducere incompletă a oxizilor prezintă o structură cu rețea cristalină denaturată, deformată.

În cazul pulberilor aliate defectele structurale sunt determinate, în afară de condițiile de elaborare și de compoziția chimică nestoechiometrică sau de concentrația neuniformă a componentilor în masa de bază. Imperfecțiunile structurale dispuse în rețele de defecte de tipul vacanțelor, sau dislocațiilor, constituie o caracteristică structurală semnificativă în procesele de presare și sinterizare. O astfel de structură, posibil de realizat în cazul pulberilor prin procedee mecanice sau termice însoțite de transformări de fază înrăutățește curgerea plastică și în consecință proprietățile de compactizare.

În tabelul 2.4 se poate observa analiza pulberii de nichel și a impurităților existente, precum și pierderile de hidrogen.

Tabelul 2.4

Compoziția chimică a pulberii de nichel

| Marca | Nichelul min. | Impurități [%] max |       |       |       |        |      |       |       |                  |        |       |       |         |         |                      | Mod de obținere                                |
|-------|---------------|--------------------|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|------------------|--------|-------|-------|---------|---------|----------------------|------------------------------------------------|
|       |               | Co                 | Fe    | Cu    | Mn    | Pb     | C    | S     | Si    | SiO <sub>2</sub> | Sn     | P     | As    | Cloruri | Alcalii | Pierdere de hidrogen |                                                |
| Pni 1 | 98.4          | -                  | 1.0   | 0.1   | 0.01  | 0.05   | 0.1  | 0.005 | -     | 0.02             | -      | -     | -     | 0.005   | 0.01    | 0.3                  | Prin reducerea combinațiilor de nichel         |
| Pni 2 | 99.4          | -                  | 0.1   | 0.005 | 0.01  | 0.009  | -    | -     | -     | 0.01             | -      | -     | -     | 0.005   | 0.01    | 0.3                  |                                                |
| Pni 3 | 99.7          | 0.001              | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.0003 | 0.3  | 0.001 | 0.001 | -                | 0.0003 | 0.001 | 0.001 | -       | -       | -                    | Prin descompunerea tetracarbonilului de nichel |
| Pni 4 | 99.5          | 0.5                | 0.2   | 0.08  | -     | -      | 0.02 | 0.01  | 0.03  | -                | -      | -     | -     | -       | -       | 0.2                  | Prin electroliză                               |
| Pni 5 | 99.9          | 0.2                | 0.02  | -     | -     | -      | 0.04 | 0.005 | 0.04  | -                | -      | -     | -     | -       | -       | 0.2                  |                                                |

## 2.2 CUPRUL. PROPRIETĂȚI, CARACTERISTICI, OBȚINERE.

Printre primele metale cunoscute și folosite de oameni, în stare nativă, este cuprul. Cuprul a fost cunoscut cu milenii în urmă, deși în scoarța pământului se găsește numai în proporție de 0.01%, deoarece există și în stare nativă, sub formă de pepite. În prezent s-au găsit, în unele zăcămintele de cupru, pepite în greutate de peste 300 kg.

Răspândirea cuprului în scoarța pământului este următoarea: [1]

- în litosferă:  $1 \cdot 10^{-2}\%$ ;
- în roci vulcanice:  $7 \cdot 10^{-3}\%$ ;
- în meteoriți:  $1,7 \cdot 10^{-2}\%$ ;
- în sulfuri primare: 1,09%;
- în hidrosferă:  $1 \cdot 10^{-8}\%$ .

### 2.2.1 PROPRIETĂȚILE ȘI CARACTERISTICILE CUPRULUI

Cuprul este un metal de culoare roșie caracteristică, se laminează și se prelucurează foarte ușor, atât la rece cât și la cald. Acesta posedă o înaltă conductibilitate termică, electrică și o rezistență la coroziune bună în diferite medii.

Cuprul face parte din subgrupa I-a a sistemului periodic, având numărul de ordine 29 și greutatea atomică medie 63,54. Acest element are 10 izotopi, din care 2 sunt stabili 63 și 65, cu o pondere de 30,9%, respectiv 69,1% și 8 instabili 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67, cu o perioadă de înjumătățire de 3...6 ore.

Configurația electronică a atomului de cupru se caracterizează prin următoarea

|          |        |           |                 |                       |
|----------|--------|-----------|-----------------|-----------------------|
| relație: | $1s^2$ | $2s^2p^6$ | $3s^2p^6d^{10}$ | $4s^1 = 29$ electroni |
| orbita   | K      | L         | M               | N                     |

Potențialul de ionizare este de 7,69 Ev.

Sistemul de cristalizare a cuprului metalic este de cub cu fete centrate, de tip A 1, având parametrul rețelei la temperatura obișnuită:  $a = 3,6078 \text{ \AA}$ .

Cuprul nu prezintă stări alotropice.

#### **Proprietăți fizice**

Greutatea specifică la temperatura ambiantă a cuprului este  $8.94 \text{ g/cm}^3$ .

Greutatea specifică scade odată cu creșterea temperaturii. Astfel, în stare solidă, la  $1083^\circ\text{C}$  este de  $8.32 \text{ g/cm}^3$ , iar la aceeași temperatură, însă în stare lichidă, ajunge la  $7.93 \text{ g/cm}^3$ .

Volumul atomic este de 7.09-7.11 cm<sup>3</sup>/ atom gram.

Contrația volumetrică la solidificare este de 4.92%.

Temperatura de topire a cuprului metalic  $T_t = 1083,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Temperatura de topire a cuprului scade la mărirea presiunii. La fiecare atmosferă peste presiunea normală, temperatura de topire scade cu 0,086 °C, astfel că la circa 24000 at, cuprul se poate topi la temperatura obișnuită.

Temperatura de fierbere la presiunea normală  $T_f = 2595^\circ\text{C}$ . Temperatura de fierbere scade cu creșterea gradului de vid, astfel că la un vid de  $1 \cdot 10^{-3}$  mm Hg este de 1080 °C, iar la  $5,4 \cdot 10^{-7}$  mm Hg este de 810 °C.

Căldura latentă de topire este de 50,46 cal/g, iar caldura de vaporizare de 1755 cal/g.

Căldura specifică variază, în funcție de temperatură, astfel: [1]

- la 20°C..... $c_p = 0.0919 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ;
- la 100°C..... $c_p = 0.0952 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ;
- la 800°C..... $c_p = 0.118 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ;
- la 1083°C..... $c_p = 0.1272 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  (solid).

Pentru determinarea căldurii specifice medii reale a cuprului la diferite temperaturi, se poate folosi formula:

$$C_p = 0.09 + \alpha[T-18]^{1.165}$$

Unde:

$\alpha$  =coeficient având valori de  $10.1 \cdot 10^{-6}$  (pentru căldura specifică reală) și de  $4.7 \cdot 10^{-6}$  (pentru căldura specifică medie);

T = temperatura în °C.

Căldura specifică atomică a cuprului solid, în funcție de temperatură, se poate calcula cu relațiile:

$$c_p = 5.8864 + 1.3243 \cdot 10^{-3}T \text{ (pentru cupru recopt);}$$

$$c_p = 5.9651 + 1.3149 \cdot 10^{-3}T \text{ (pentru cupru ecruisat).}$$

Entalpia cuprului solid la diferite temperaturi se află din datele tabelului următor. [1]

| Temperatura °C | 20 | 100 | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 800  | 1000 |
|----------------|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| cal/g          | -  | 6.9 | 16.5 | 26.3 | 36.3 | 46.5 | 56.9 | 78.7 | 101  |

Entalpia cuprului lichid se află din datele următoare:

| Temperatura °C | 1100 | 1200 | 1400 | 1600 |
|----------------|------|------|------|------|
| cal/g          | -    | 174  | 197  | 221  |

Coeficientul de dilatare liniară între 20° și 100°C este de  $16.47 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Dilatarea unei bare de cupru de la 0°C la 300°C se poate calcula cu relația:

$$L_T = L_0 [1 + (16.25 T + 0.00483 T^2) 10^{-6}]$$

Variația lungimii unei bare cilindrice de cupru, în funcție de temperatură, poate fi explicată cu formula:

$$L_t = L_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3)$$

unde a, b, c sunt coeficienți ( $a = 1.67 \cdot 10^{-5}$ ;  $b = 3.8 \cdot 10^{-9}$ ;  $c = 1.5 \cdot 10^{-12}$ ).

Conductibilitatea termică a cuprului reprezintă 73.2% din conductibilitatea termică a argintului și 88.8% din cea a aurului.

Rezistivitatea electrică a cuprului pur la 20°C  $\rho = 1.673 \text{ M}\omega\cdot\text{cm}$ , iar a cuprului tehnic pur  $\rho = 1.682 \text{ M}\omega\cdot\text{cm}$ .

La temperatura de 0°C rezistivitatea electrică este  $\rho = 1.55 \text{ M}\omega\cdot\text{cm}$ . Coeficientul de temperatură a rezistivității cuprului are valoarea  $4.33 \cdot 10^{-3}$ . Raportul dintre rezistivitatea electrică a cuprului lichid și solid în condiții de echilibru la temperatura de topire este de 2.09.

Prin deformare la rece conductivitatea electrică a cuprului se micșorează cu câteva procente.

### **Proprietăți chimice**

Cuprul este un metal puțin activ, deși se combină direct cu oxigenul, sulful, halogenii și alte câteva elemente. La temperatura obișnuită nu reacționează cu aerul uscat sau umed.

Aerul umed care conține bioxid de carbon acoperă cuprul cu un strat de carbonat bazic. Cuprul încălzit la temperaturi mai mari de 185°C se acoperă cu un strat de oxid cupros ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), care la temperaturi mai înalte se transformă în oxid cupric ( $\text{CuO}$ ).

Căldura de formare a  $\text{Cu}_2\text{O}$  este de 279 cal/g, iar căldura de formare a  $\text{CuO}$  este de 438 cal/g.

Cuprul se dizolvă în acid sulfuric și acid azotic, iar la cald și în amoniac. În aceste condiții, nu se dizolvă în acid clorhidric. Echivalentul electrochimic al  $\text{Cu}^{++}$  este 0.3294 mg/C, iar al  $\text{Cu}^+$  este 0.6588 mg/C.

Cupru solid permite difuziunea în mare măsură a hidrogenului prin formarea unor soluții solide interstițiale.

La temperaturi mai mari de 100 °C, pe suprafața cuprului se formează o peliculă de oxid de cupru ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) de culoare neagră. La temperaturi mai înalte, viteza de oxidare devine mai mare și pe suprafață se formează o peliculă de  $\text{CuO}$  de culoare roșiatică.

### **Proprietăți mecanice și tehnologice**

Din cauza structurii cristaline CFC, care permite multe plane de mare densitate atomică, cuprul este un metal foarte maleabil și ductil, la cald și la rece. Aceasta s-a dovedit și datorită faptului că prin laminare s-au obținut foițe de cupru cu grosimi mai mici de 2.6 microni.

Proprietățile mecanice depind de gradul de puritate a metalului, de natura impurităților prezente, de starea materialului, de temperatura de încercare etc.

În tabelul 2.5 sunt prezentate caracteristicile mecanice și tehnologice ale cuprului tehnic.

Tabelul 2.5

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale cuprului tehnic [30]

| CARACTERISTICI MECANICE                                            |              |                                  |              |                             |              |                                                    |              |                                                               |              |                                                          |              |                      |              |                                   |                  |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|-----------------------------------|------------------|
| Rezistența de rupere la tracțiune $\sigma_r$ , kgf/mm <sup>2</sup> |              | Alungirea relativă $\sigma$ %    |              | Durețea HB                  |              | Limita de curgere $\sigma_c$ , kgf/mm <sup>2</sup> |              | Limita de proporționalitate, $\sigma_r$ , kgf/mm <sup>2</sup> |              | Li mita de elasticitate $\sigma_e$ , kgf/mm <sup>2</sup> |              | Stricțiunea $\psi$ % |              | Modulul de elasticitate E, kgf/mm |                  |
| recopt                                                             | ecru-<br>sat | recopt                           | ecru-<br>sat | recopt                      | ecru-<br>sat | recopt                                             | ecru-<br>sat | recopt                                                        | ecru-<br>sat | recopr                                                   | ecru-<br>sat | recopr               | ecru-<br>sat | longi-<br>tudinal                 | trans-<br>versal |
| 17—<br>22                                                          | 42—<br>45    | 35—<br>50                        | 5—6          | 35—<br>40                   | 95—<br>110   | 7—<br>10                                           | 35—<br>38    | 1,5—<br>2                                                     | 10—<br>14    | 2,5—<br>3                                                | 10—<br>14    | 70—<br>80            | 30—<br>35    | 11 500                            | 4 240            |
| CARACTERISTICI TEHNOLOGICE                                         |              |                                  |              |                             |              |                                                    |              |                                                               |              |                                                          |              |                      |              |                                   |                  |
| Tensiunea superficială dyne/cm                                     |              | Temperatura de recristalizare °C |              | Temperatura de recoacere °C |              | Temperatura de prelucrare la cald °C               |              | Contractia la turnare %                                       |              | Temperatura de turnare °C                                |              |                      |              |                                   |                  |
| 1 103—1 130                                                        |              | 220                              |              | 400—700                     |              | 900—1 050                                          |              | 2,1                                                           |              | 1 150—1 250                                              |              |                      |              |                                   |                  |

### **Principalele impurități în cupru și acțiunea lor asupra structurii și proprietăților**

Datorită condițiilor de elaborare și prelucrare, impuritățile prezente în cupru se pot clasifica astfel:

- impurități solubile în cupru în stare solidă din care fac parte:
  - impurități foarte solubile: Ag, Au, Zn, Al, Ga, Si, Ge, Sn, Fe, Co, Ni, Mn, Pt;
  - impurități puțin solubile: Cd, In, Be, Mg, Ti, Zr, Cr, As, Sb.
- impurități practic insolubile în cupru solid și care formează eutectice ușor fuzibile: plumb, bismut, taliiu.

- impurități care formează cu cupru compuși fragili: oxigen, sulf, fosfor, seleniu, telur.

### *Impurități solubile*

Impuritățile solubile formează cu cupru soluții solide de substituție. Până la anumite limite ele nu reduc apreciabil plasticitatea, dar măresc duritatea și rezistența mecanică și au o influență asupra conductibilității termice și electrice.

Toate elementele de adaos în soluție solidă măresc duritatea cuprului metalic (fig. 2.13). Cea mai mare influență o au Zr, Cr, Ti, iar cea mai slabă Ni și Zn.

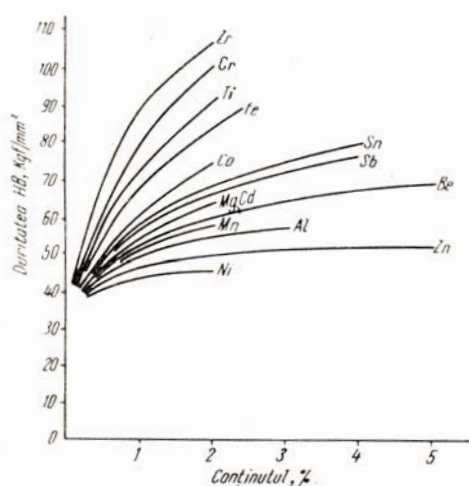


Fig. 2.13 Influența impurităților și elementelor de aliere asupra durității cuprului. [30]

Influența impurităților solide asupra conductibilității termice și electrice a cuprului se poate observa în figurile 2.14 și 2.15.

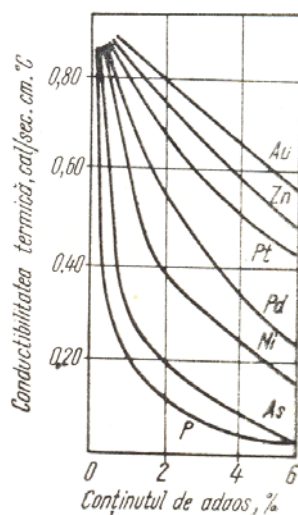


Fig. 2.14 Influența impurităților și elementelor de aliere asupra conductivității termice a cuprului [30]

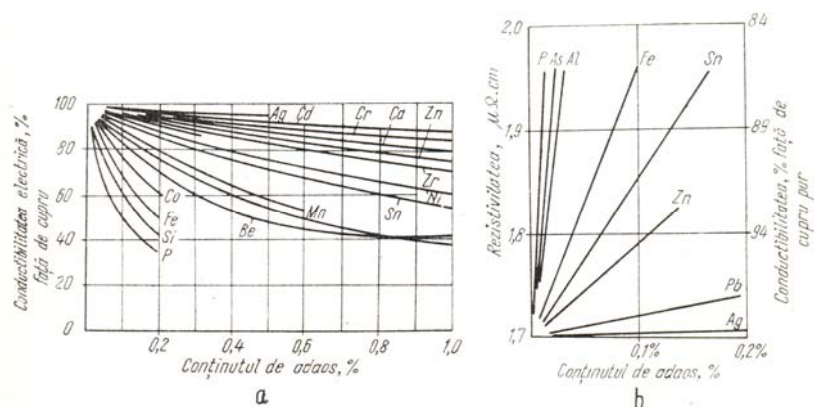


Fig. 2.15 Influența impurităților și elementelor de aliere asupra:  
5. a) conductivității electrice a cuprului; b) rezistivității electrice. [30]

Argintul (electric și termic) și aurul (termic), elemente mai bune conducătoare decât cuprul, introduse în soluția solidă micșorează conductibilitatea, datorită distorsionării rețelei cristaline a cuprului.

Zincul și nichelul (până la 0.1%) nu influențează sensibil plasticitatea, dar micșorează conductibilitatea electrică și termică.

Aluminiul, manganul și fierul, în cantități mici rămase după rafinare, au o influență mai puternică asupra proprietăților fizice și tehnologice.

Staniul micșorează plasticitatea și conductibilitatea electrică.

Siliciul îmbunătățește puțin proprietățile mecanice, dar reduce conductibilitatea electrică.

Arsenul este reținut în cupru sub formă de soluție solidă în proporție de circa 7.25%. Solubilitatea arsenului se modifică foarte puțin în funcție de temperatură, după cum se observă din diagrama Cu-As (fig. 2.16).

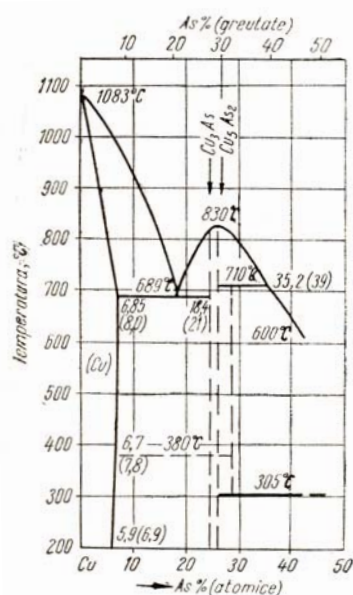


Fig. 2.16 O parte din diagrama de echilibru Cu-As [30]

Între 7.25% și 21% As aliajele constau din grăunți de soluție solidă  $\alpha$  și o masă eutectică, iar între 21 și 28% apare constituentul primar  $\beta$ .

În varietățile de cupru comercial arsenul există în cantități foarte mici. Arsenul reduce foarte mult conductivitatea electrică.

Stibiul în cantități mici, mărește tenacitatea de 250 °C ca și arsenul, dar reduce conductibilitatea electrică sau termică de aproximativ doua ori.

Prezența oxigenului anihilează acțiunea stibiului probabil datorită formării unui antimoniat de cupru, insolubil care scoate stibiul din soluția solidă.

Arsenul și stibiul, rămași în cantități mici în soluție solidă, îngreunează prelucrarea plastică și micșorează conductibilitatea. În procente mai mari pot forma faze intermetalice fragile.

### *Impurități insolubile*

Impuritățile insolubile sunt plumbul, bismutul, taliul ce formează cu cupru, eutectice ușor fuzibile, care se separă la limitele grăunților, înrăutățind prelucrabilitatea la cald. Din diagramele de echilibru termic (fig. 2.17 și 2.18), rezultă conținutul de plumb din eutectic de 99.94%, la temperatura de topire de 326°C, și conținutul de bismut din eutecticul Cu-Bi de 99.8%, la temperatura de topire de 269°C.

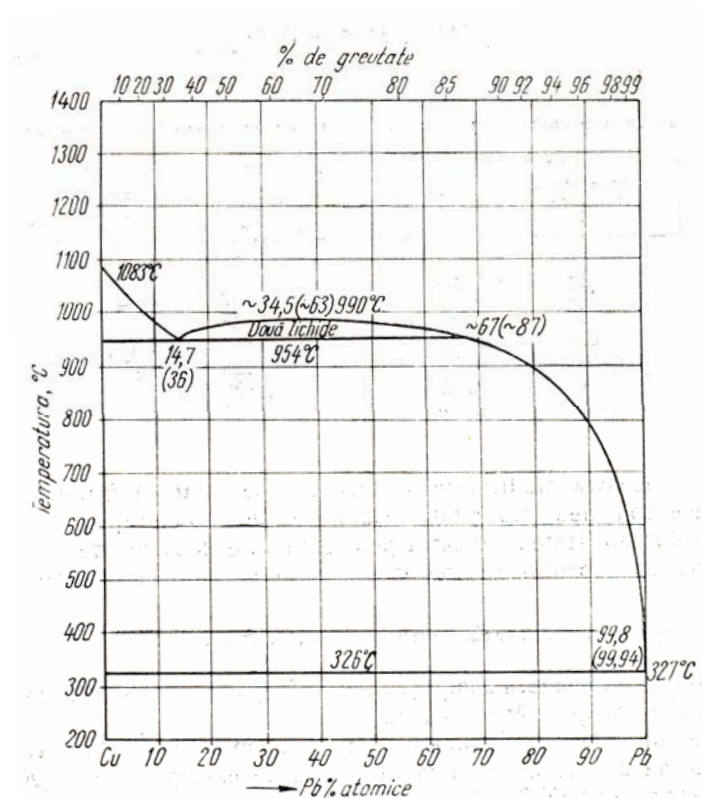


Fig. 2.17 Diagrama de echilibru Cu-Pb [30]

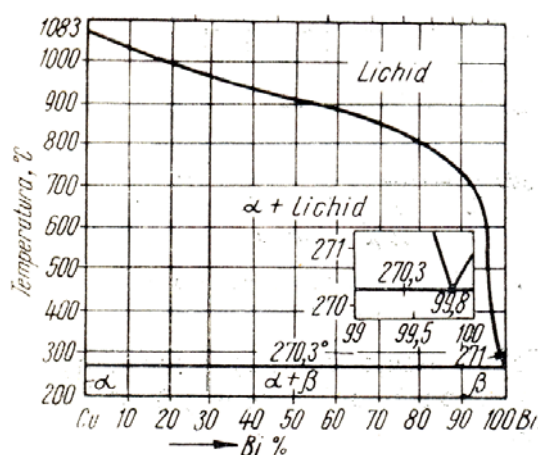


Fig. 2.18 Diagrama de echilibru Cu-Bi [30]

Sunt suficiente câteva miimi de procente din aceste elemente pentru ca să se formeze o peliculă ușor fuzibilă la limitele grăunților de cupru, care face uneori imposibilă deformarea la cald. Dacă aceste pelicule intergranulare se globulează, în cazul particulelor de plumb în masa de cupru (fig. 2.19) se îmbunătățește prelucrabilitatea prin aschiere, pe când bismutul înrăutățește prelucrabilitatea cuprului la rece și la cald, datorită fragilității eutecticului.



Fig. 2.19 Micrografia cuprului cu adaosuri de Pb (300:1) [31]

Pentru a lega plumbul și bismutul s-au dovedit eficiente următoarele adaosuri de aliere:

- pentru plumb: calciu, ceriu, zirconiu;
- pentru bismut: litiu, calciu, ceriu, magneziu, zirconiu, thoriu.

#### *Impurități care formează compuși chimici fragili*

Impuritățile care formează compuși chimici fragili au o influență considerabilă asupra structurii și proprietăților cuprului.

Sulfur, seleniul, telurul formează compuși chimici stabili în masa metalică, separați sub formă de incluziuni nemetalice, ca de exemplu:  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Se}$  și  $\text{Cu}_2\text{Te}$ . Acești compuși formează cu cuprul amestecuri mecanice, care se separă la limitele grăunților, înrăutățind toate caracteristici fizico-mecanice.

Datorită faptului că punctele eutectice de pe diagrame (fig. 2.20 și 2.21) sunt mult deplasate spre partea cuprului și miscibilitatea în stare lichidă este incompletă, baza eutecticului va fi alcătuită din cupru în care sunt intercalate incluziuni fragile de sulfură, seleniură sau telură, care înrăutățesc plasticitatea, atât la cald cât și la rece.

Fosforul trece sub formă de soluție solidă cu cuprul, iar în cantități mai mari formează compusul definit stabil  $\text{Cu}_3\text{P}$  care se topește congruent la  $1018^\circ\text{C}$ . Fosforul mărește fluiditatea, îmbunătățește sudabilitatea și unele caracteristici mecanice ale cuprului, datorită rolului de dezoxidant. Fosforul este elementul cu influența cea mai negativă asupra conductibilității termice și electrice.

Oxigenul este foarte puțin solubil în cupru în stare solidă și formează oxizi stabili  $\text{Cu}_2\text{O}$  cu temperatura de topire  $1235^\circ\text{C}$  și  $\text{CuO}$  cu temperatura de topire  $1110^\circ\text{C}$ .

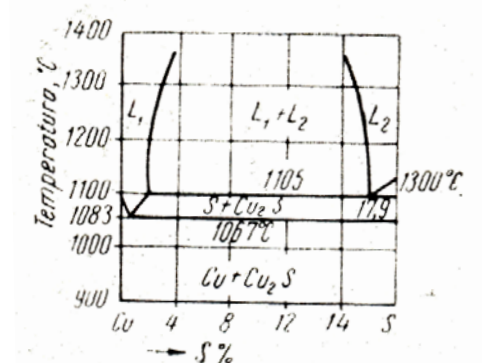


Fig. 2.20 Diagrama de echilibru Cu-S [30]

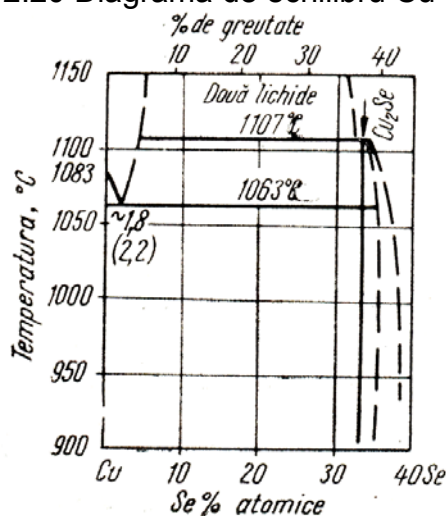


Fig. 2.21 Diagrama de echilibru Cu-Se [30]

În figura 2.22 se prezintă diagrama de echilibru cupru-oxigen. La procente mai mari de 1.5%  $O_2$ , la temperatura monotectică de  $1200^{\circ}C$ , se observă un domeniu de miscibilitate parțială în stare lichidă.

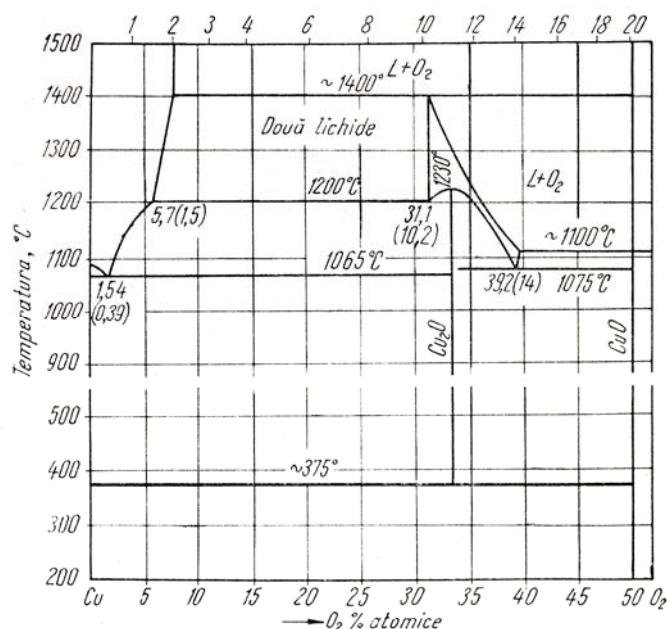


Fig. 2.22 Diagrama de echilibru cupru-oxigen [30]

Un aliaj eutectic cu 0.386%  $O_2$  constă dintr-o masă de cupru, în care sunt distribuite uniform cristale cu  $Cu_2O$ , sub formă globulară, de culoare gri-albăstrui. Când aliajul este hipoeutectic, adică are un conținut mai mic de 0.386%  $O_2$ , structura va fi alcătuită din cristale primare de cupru, înconjurate de eutectic ( $Cu+C_2O$ ), după cum se poate observa în micrografia din figura 2.23.

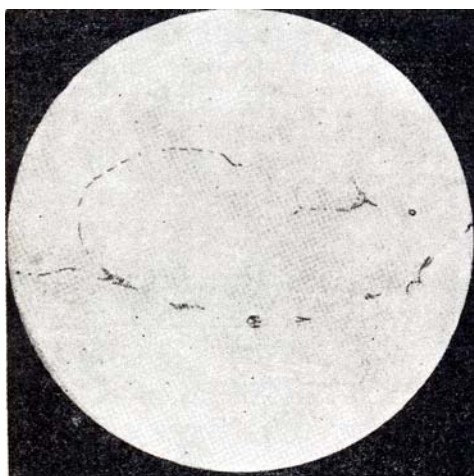


Fig. 2.23 Micrografia cuprului, neatacat cu reactivi, care conține incluziuni de  $Cu_2O$ , cu 0.006%  $O_2$  (100:1) [31]

Rafinarea cuprului se realizează prin topire oxidantă, în cuptoare cu reverber. Impuritățile se îndepărtează prin oxidare, sub formă de zgură. La oxidare se formează și oxid de cupru ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) până la 6% care corespunde cu 0.7% oxigen. Prezența oxigenului este defavorabilă, se utilizează reducerea prin persaj a oxizilor, care dacă nu se execută corespunzător, baia metalică se îmbogățește în hidrogen, care poate da naștere la sulfuri și porozități. Conținutul dăunător de hidrogen se poate aprecia după aspectul convex al suprafeței unei probe cilindrice. În mod normal suprafața trebuie să fie plană.

Având în vedere efectul dăunător al conținuturilor excesive de oxigen pentru procesul tehnologic de rafinare termică, o importanță deosebită o prezintă determinarea conținutului de oxigen din cupru. Conținutul de  $\text{Cu}_2\text{O}$  și  $\text{O}_2$  în cuprul turnat se poate aprecia prin metoda metalografică, în condițiile absenței impurităților de arsen.

În micrografia, din figura 2.24, este prezentată o probă cu 3.455 de  $\text{Cu}_2\text{O}$  și conține 0.386% oxigen în greutate, iar structura microscopică constă în proporție de 100% din eutectic ( $\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$ ). În general, după cantitatea de eutectic dintr-un aliaj hipoeutectic, determinată prin planimetrarea suprafeței, se poate determina conținutul de oxigen folosind relația:

$$\text{O}_2 = (0.386 \cdot A) / 100$$

unde A este procentul din suprafața ocupat de eutectic.

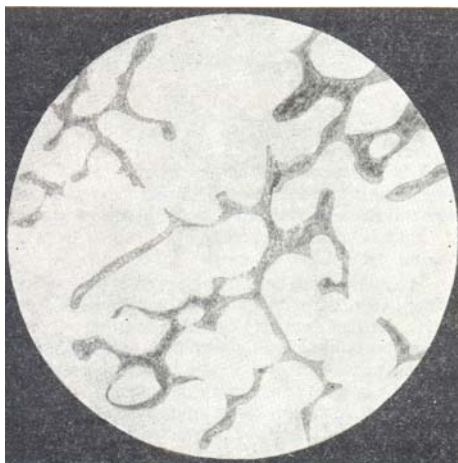


Fig. 2.24 Micrografia cuprului, neatacat cu reactivi,  
cu 0.06% $\text{O}_2$  (100:1) [31]

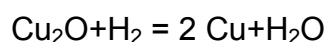
Aliajele  $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$  hipereutectice (care conțin mai mult de 0.386%  $\text{O}_2$ ) prezintă în microstructură cristale primare de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , care sunt înglobate în masa de eutectic globular (fig. 2.25).



Fig. 2.25 Micrografia cuprului cu mai mult de 0.39% oxigen [31]  
(250:1)

Conținutul de oxigen nu trebuie să depășească 0.1% deoarece se înrăutățește plasticitatea, alungirea, stricțiunea, numărul de îndoiri și sudabilitatea.

Când cuprul conține incluziuni de  $\text{Cu}_2\text{O}$  apare așa numită boală de hidrogen. Când un amestec gazos care conține hidrogen trece printr-o țevă de cupru, care nu a fost bine dezoxidată sau în cazul în care cuprul este recopt într-o atmosferă reducătoare, hidrogenul difuzează cu ușurință în metal și întâlnind incluziunile de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , produce reacția:



Vaporii de apă formați nu mai pot difuza prin cupru, astfel încât presiunea lor locală crește producând fisuri. În general sunt atacate limitele grăunților, formându-se numeroase crăpături intercristaline, care distrug materialul. La temperatura ambiantă, acest proces durează câțiva ani, dar viteza de reacție crește foarte mult prin ridicarea temperaturii, mărirea concentrației de hidrogen și a conținutului de  $\text{Cu}_2\text{O}$  în cupru. Astfel trebuie evitată orice depășire a concentrației maxime admisibile de oxigen în cupru.

Dar și dezoxidarea prea avansată produce scăderea densității cuprului și fragilitate, datorită hidrogenului. Pentru a obține cupru bine dezoxidat, dar fără densitate redusă și fragilitate, datorită hidrogenului, este indicată oprirea persajului la un conținut de oxigen de 0.05-0.1% și continuarea dezoxidării cu alte elemente cu afinitate mare față de oxigen, dar care dau produse de reacție solide, spre exemplu cu P, Ca, Si, Li, Be, Mg, Al etc.

Dacă se folosește fosfor, echilibrul se atinge pentru 0.01% oxigen și circa 0.01% fosfor. Deși această cantitate de fosfor este foarte mică și influențează favorabil caracteristicile mecanice, dar micșorează considerabil conductibilitatea electrică.

Atunci când se urmărește obținerea unei conductibilități electrice optime, se evită dezoxidarea cu cupru fosforos, folosindu-se alți dezoxidanți ca: Li, Ca, Be, Mg, în cantități bine determinate, pentru a evita rămânerea lor în exces.

### *Solubilitatea gazelor în cupru*

Cuprul poate dizolva hidrogen într-o măsură apreciabilă, în funcție de temperatură și de presiune. Izobara de solubilitate a hidrogenului în cupru, la diferite temperaturi este dată în figura 2.26.

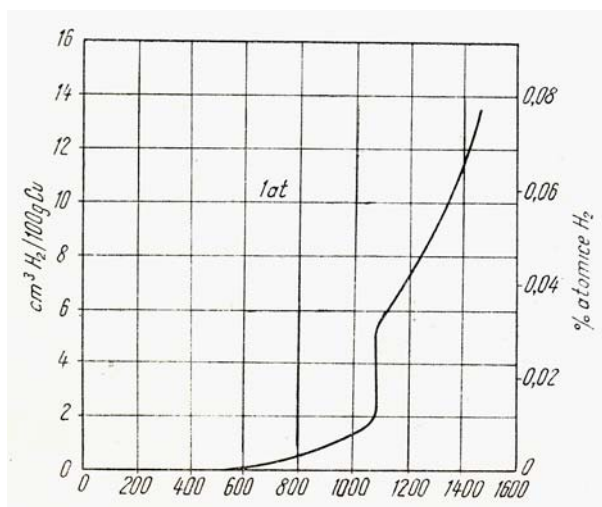


Fig. 2.26 Izobara de solubilitate a hidrogenului în cupru [1]

Solubilitatea hidrogenului este proporțională cu rădăcina pătrată a presiunii. Solubilitatea în cupru solid se explică prin formarea unei soluții solide interstițiale, deoarece diametrul atomului de hidrogen este foarte mic în raport cu cel al atomului de cupru.

Azotul este insolubil în cupru topit chiar la temperaturi de 1400°C. Cuprul nu reacționează cu azotul atmosferic, dar în schimb cu amoniacul disociat formează nitrura  $\text{Cu}_3\text{N}$ , cu difuziune de 17.8 kcal/mol.

### **Stabilitatea la coroziune a cuprului**

Cuprul recopt are o mare rezistență la coroziune în condiții atmosferice, în apă de mare și în vapori de apă supraîncălziți.

În mediu de gaze reducătoare ca hidrogen, oxid de carbon, hidrocarburi, la temperaturi înalte și în condițiile prezenței oxizilor, în cupru apare boala de hidrogen.

În mediu umed de hidrogen sulfurat și în mediu de bioxid de azot sau amoniac, cuprul se corodează intens chiar la temperatura de 25°C.

Un aspect important este cunoașterea rezistenței la coroziune în mediu de săruri anorganice. Cuprul este stabil în soluții de sulfurați și azotați de sodiu, este relativ stabil în cloruri și în soluții slabe neaerate de săruri de amoniu, puțin stabil în soluții de săruri oxidante de fier, mercur, staniu și argint, și corodat intens în soluții de săruri clorurate și puternic acide.

În acid sulfuric la concentrații mai mici de 60% și la temperatură normală, cuprul este relativ stabil. La concentrații peste 80%, la aerația soluției și ridicarea temperaturii, coroziunea se accelerează.

În acid clorhidric la concentrații sub 0.1% este relativ stabil, dar o dată cu creșterea concentrației și a temperaturii, coroziunea crește rapid și cuprul devine nefolosibil.

În acid azotic, cupru este relativ stabil numai la concentrații sub 0.1%, apoi se atacă puternic.

În soluții alcaline, cuprul este stabil, dar în soluțiile amoniacale devine instabil.

În medii agresive de clor, brom și iod, cuprul este atacat, însă, fără prezența umidității, vaporii acestor elemente acționează lent.

Sulfurul atacă puternic cuprul.

În medii de substanțe organice ca benzina, benzol, glicerina, cuprul este stabil.

Anilina și acidul acetic fierbinte atacă cuprul.

Tabelul 2.6  
Stabilitatea la coroziune a cuprului în diferite medii [1]

| Mediul corosiv            | Temperatura<br>°C | Concentrația<br>% | Pierdere în<br>greutate<br>g/m <sup>2</sup> ·h | Pătrunderea<br>coroziunii<br>mm/an | Punctajul la<br>coroziune |
|---------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Acid sulfuric             | 80                | 10                | 0,669                                          | 0,696                              | 7                         |
| Acid sulfuric             | 20                | 35                | 0,122                                          | 0,12                               | 6                         |
| Acid sulfuric             | 80                | 35                | 0,418                                          | 0,40                               | 6                         |
| Acid sulfuric             | 20                | 50                | 0,063                                          | 0,006                              | 5                         |
| Acid sulfuric             | 80                | 50                | 0,229                                          | 0,29                               | 6                         |
| Acid sulfuric             | 20                | 55                | 0,036                                          | 0,03                               | 4                         |
| Acid sulfuric             | 80                | 55                | 0,235                                          | 0,23                               | 6                         |
| Acid clorhidric           | 20                | Concentrat        | 12,5                                           | —                                  | 10                        |
| Acid azotic               | 20                | 32                | 3,683                                          | —                                  | Se distruge rapid         |
| Acid acetic               | 20                | Concentrat        | 3,3—12,5                                       | —                                  | 8—10                      |
| Sodă caustică             | 82                | 30—50             | 0,83                                           | —                                  | 7                         |
| Soluție de amoniac        | 20                | Normală           | 10,4                                           | —                                  | 10                        |
| Soluție aerată de amoniac | 20                | 26                | 1,250                                          | —                                  | Se distruge rapid         |
| Acid fosforic pur         | 20                | 42                | 0,41                                           | 0,43                               | 6                         |
| Acid fosforic tehnic      | 20                | 42                | 1,25                                           | 1,30                               | 8                         |

Viteza de coroziune, [mm/an], se poate calcula din mărimea pierderii în greutate la o coroziune uniformă, cu formula:

$$p_g = \frac{v_c \cdot \gamma}{8.76}$$

unde:  $v_c$  = viteza de coroziune, [mm/an];

$p_g$  = pierderea în greutate, [g/m<sup>2</sup>h];

$\gamma$  = greutatea specifică [g/cm<sup>3</sup>].

## 2.2.2 OBȚINEREA PULBERII DE CUPRU

### ***Elaborarea cuprului și a aliajelor pe bază de cupru***

Tehnologia elaborării cuprului și aliajelor sale se caracterizează prin particularități specifice, determinate atât de proprietățile lor fizico-mecanice variate, cât și de condițiile speciale pe care trebuie să le îndeplinească lingourile și piesele turnate. Alegerea corectă a materialelor care compun încărcătura, a atmosferei și tipului agregatului de topire, a metodelor de degazare și modificare sunt cerințe obligatorii, deoarece materialele metalice cu proprietăți superioare se obțin numai dacă se respectă prescripțiile tehnologice.

În prezent, pentru cupru și aliajele sale sunt utilizate o gamă largă de agregate de elaborare, a căror capacitate variază de la câteva kilograme, până la sute de tone. Alegerea acestora este determinată de randamentul de topire, consumul de energie, pierderile prin oxidare și volatilizare, posibilitățile de evitare a impurificării băii metalice cu incluziuni nemetalice solide sau gazoase, obținerea unor materiale metalice cu compoziții cât mai apropiate de cea optimă, condiții favorabile pentru desfășurarea operațiilor de modificare, degazare și rafinare. Astfel, turnătoriile mici de piese sunt dotate cu cuptoare cu creuzet și cuptoare electrice cu arc sau inducție, iar pentru lingouri sunt utilizate mai mult cuptoarele cu reverberație, cu capacitate mare și în special cuptoare electrice cu sau fără canal.

### ***Elaborarea în cuptoare cu creuzet***

Aceste cuptoare (fig. 2.27) sunt încălzite cu combustibil solid, lichid sau gazos, fiind fixe sau mobile. De obicei, au o capacitate de 75...200 kg. Productivitatea zilnică a cuptorului cu creuzet în care se elaborează aliajele ajunge la 4...6,5 tone. Pierderile totale ating 6-7%, iar în 24 de ore pot fi elaborate 35...40 încărcături.

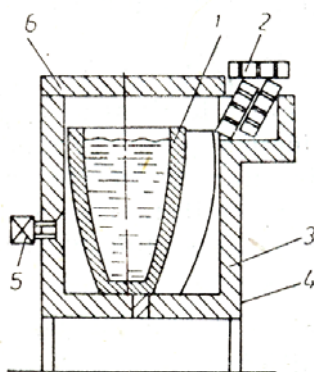


Fig. 2.27 Cuptor cu creuzet pentru elaborarea aliajelor de cupru [12]  
1- creuzet; 2- lingouri; 3-căptușeală refractară; 4-carcasa; 5-arzator (injector); 6-capac

Aceste agregate prezintă unele avantaje ca: trecerea ușoară de la elaborarea unui aliaj la altul, lipsa de contact între baia metalică și atmosferă, desfășurarea ușoară a operațiilor de rafinare și degazare, dar au și unele dezavantaje ca: productivitate scăzută și un consum ridicat de combustibil și de creuzete.

Această metodă poate fi folosită pentru obținerea a două categorii de lingouri:

- lingouri omogene, când se introduce în lingotieră deșeuri din producția proprie, peste care se toarnă aliajul topit, având aceeași compoziție chimică. Procedul a dat rezultate la obținerea bronzurilor;
- lingouri neomogene, când peste prealiajele adăugate în lingotieră, în cantități stabilite pentru obținerea aliajelor, se toarnă cupru topit.

Procedul prezintă următoarele avantaje:

- folosind o baie de cupru se pot realiza mai multe compoziții de aliaje în cantități diferite;
- calitatea pieselor turnate este mai bună, deoarece nu au loc fenomene de oxidare a componentilor cu o mare afinitate chimică (Al, Mg, Si etc), care provoacă apariția incluziunilor nemetalice solide;
- se obțin aliajele cu compoziție foarte apropiată de cea optimă;
- durata de elaborare se reduce cu aproximativ 30% când lingoul se preîncălzește la 500 °C;
- pierderile prin oxidare sunt micșorate de 2...3 ori, iar consumul de fondant este redus la jumătate.

Metoda se folosește pe cale industrială la elaborarea aliajelor de cupru cu compoziție complexă.

### ***Elaborarea în cuptoare cu reverberație***

Cuptoarele cu reverberație (fig. 2.28) sunt întâlnite în secțiile cu productivitate ridicată sau atunci când este nevoie ca între baia metalică și atmosferă să aibă loc unele procese metalurgice.

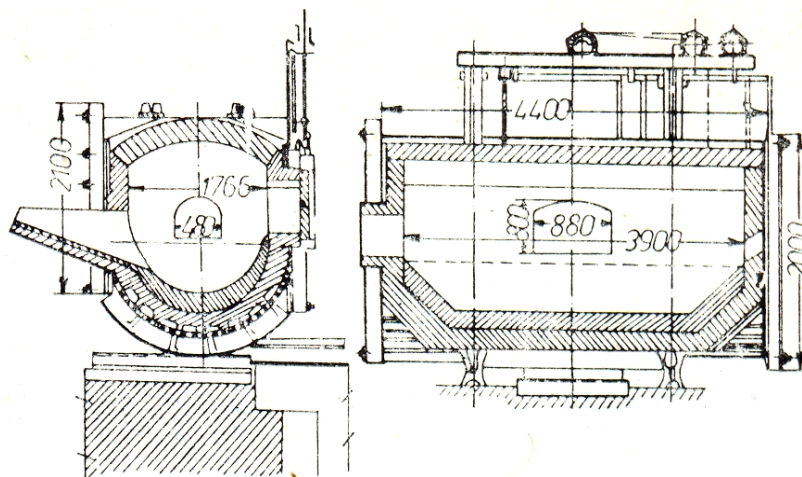


Fig. 2.28 Cuptor cu reverberație pentru elaborarea cuprului și aliajelor sale [12]

Ele se construiesc cu capacități variate, începând de la câteva sute de kilograme și ajungând la 300 tone, fiind încălzite cu combustibili solizi, lichizi și gazoși. La elaborarea cuprului se utilizează numai agregate încălzite cu combustibili lichizi sau gazoși, deoarece în cazul încălzirii cu cărbune există posibilitatea impurificării băii metalice. Unele cuptoare au vatra și pereții confecționați din cărămizi de silică, iar altele au vatra din caramizi din magnezită și pereții din cărămizi cromomagnezitice. În prezent bolțurile se fac din magnezită și prezintă o rezistență mărită față de acțiunea oxizilor bazici conținuți în zgură, oxizi care se formează în procesul de rafinare și dezoxidare.

În unele întreprinderi de elaborare a cuprului se mai folosesc și cuptoarele rotative, cu vatră înclinată, încălzite cu combustibili lichizi sau gazoși, care ajung la o capacitate de până la 30 tone, având o productivitate de 1,5 ...5 tone/oră, când încălzirea se face cu păcură.

Din cauza unor dezavantaje ca: randament termic scăzut, consum ridicat de combustibil și fondanți, pierderi mari de metale prin oxidare, volatizare și impurificarea băii metalice cu incluziuni nemetalice solide și gazoase, aceste agregate se folosesc la rafinarea termică a cuprului și la topirea deșeurilor, precum și la elaborarea bronzurilor cu staniu, bronzurilor cu aluminiu și a alamelor cu conținuturi scăzute de zinc.

### ***Elaborarea în cuptoare electrice***

În ultimele două decenii la elaborarea cuprului și a aliajelor sale s-au răspândit cuptoarele electrice cu inducție și cu arc, datorită avantajelor:

- posibilitatea concentrării unei puternice surse termice într-un spațiu mic, cu obținerea unor temperaturi foarte înalte;
- ușurința reglării regimului de temperatură, cu un grad înalt de uniformitate a încălzirii;
- posibilitatea ermeticizării spațiului de lucru;
- condiții optime pentru realizarea unor fluxuri tehnologice complet automatizate;
- îmbunătățirea condițiilor de muncă și volum redus al echipamentului.

Cuptoarele încălzite prin inducție sunt de următoarele tipuri:

- cu frecvență înaltă – cuptoare de topire cu creuzet;
- cu frecvență intermediară – cuptoare de topire cu creuzet;
- cu frecvență joasă – cuptoare de topire cu inel.

La aceste agregate durata de topire este în funcție de frecvență.

Randamentul de energie, în cazul cuptoarelor cu frecvență joasă, este mai ridicat decât în cazul celor cu frecvență intermediară, deoarece la ultimele intervine și randamentul transformatorului.

Pentru a satisface condițiile de obținere a unui material metalic de calitate, o importanță deosebită o prezintă absorbția gazelor, pierderile prin volatilizare, oxidare, precum și omogenitatea materialului obținut.

Cuptoarele cu inducție cu miez de fier și inel închis prezintă următoarele avantaje și dezavantaje, în comparație cu alte agregate de topire:

- canalele sunt separate de cuva cuptorului, astfel dimensiunile lor sunt reduse;
- în canal metalul se află sub o presiune metalostatică mare, ceea ce permite ca puterea specifică să atingă valori ca și la cuptoarele cu arc; astfel consumul de energie electrică este redus;
- circulația metalului, asigură omogenitatea aliajului și accelerează procesul topirii;
- principiul de lucru pe bază de transformator, forma constructivă și izolația termică bună asigură obținerea unui randament general până la 88%;
- simplitatea construcției, atât a instalației de elaborare cât și a utilajului auxiliar, dau productivitate înaltă și indici energetici, metalurgici și productivi foarte buni, astfel cuptorul cu inducție cu miez de fier și cu canal închis, reprezintă un agregat de

topire economic, atât din punct de vedere al cheltuielilor de investiții, cât și al celor de exploatare.

S-a constatat că cuptorul cu inducție este cel mai economic, dar ca dezavantaje se remarcă:

- temperatura redusă a zgurei, care este specifică pentru toate tipurile de cuptoare de inducție, deoarece încălzirea se face numai de la metalul lichid;
- condițiile grele de lucru ale captușelii canalului cuptorului, care fiind relativ subțire (80...70mm) se află sub o presiune statică puternică și suferă în același timp, mari scăderi de temperatură, până la 1000 °C între fețele interioare și exterioare ale pereților. Ultimul neajuns este specific cuptoarelor cu canal închis, care se folosesc pentru topirea aliajelor neferoase și mai puțin la cele feroase.

Cuptoarele de inducție cu miez, pentru topirea cuprului și a aliajelor sale se construiesc cu funcționare atât intermitentă cât și continuă. Corpul cuptorului poate avea diferite forme, cu transformatoarele montate lateral sau jos. Transformatoarele pot fi monofazice, bifazice sau trifazice, cu unul, două sau trei canale pe inductor.

Factorul de putere al acestor agregate variază de la 0.6 până la 0.8.

Cuptoarele de inducție sunt fabricate în serie, cu un singur inductor, cu o capacitate de 0.3, 0.6 și 0.75 tone, cu două inductoare, cu o capacitate de 1.2 și 2 tone și cu trei inductoare, cu capacități de 1.5 ...5 tone. Puterea transformatoarelor este cuprinsă între 75 și 1000 kVA, iar consumul de energie electrică este de 180...250 kWh/t pentru alamă și respectiv 330...370 kWh/t pentru aliajele Cu-Ni.

Alegerea căptușelii, mai ales pentru confecționarea vetrei, este unul dintre elementele de bază de care depinde durabilitatea, productivitatea și economicitatea funcționării cuptorului, iar uneori și calitatea metalului sau aliajului elaborat. Materialele refractare care s-au dovedit optime sunt: șamota, silita, corindonul.

În figura 2.28 este prezentat un cuptor de inducție, cu o capacitate de 750 kg pentru topirea alamei, cu acționare hidraulică, are un transformator monofazat, cu coloane cu jug demontabil și cu două canale. Inductorul se răcește cu apă, iar căptușeală canalului cu un ventilator. Puterea este de 300 kVA. În figura 2.29 este reprezentat cuptorul cu inducție trifazic, pentru alame, cu capacitatea de 3 tone, puterea este de 1000kVA.

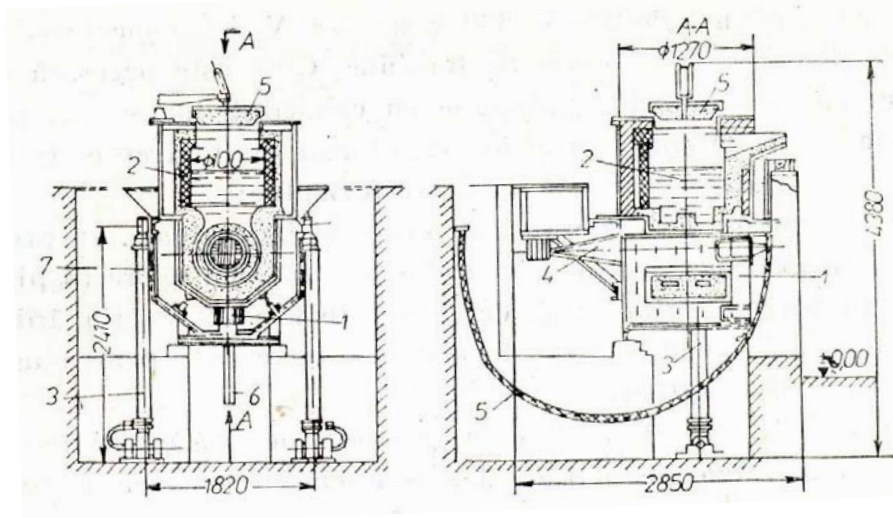


Fig. 2.28 Cuptor cu inducție [12]

1- miez, 2-baie metalică, 3-mecanism de basculare, 4-instalație de ventilare, 5- capac, 6-cablu de alimentare, 7-cadru metalic

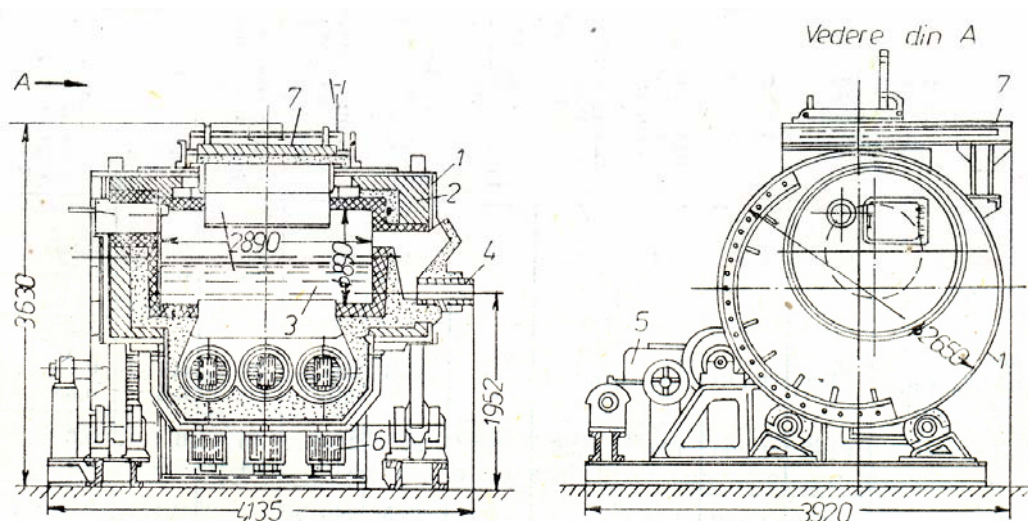


Fig. 2.29 Cuptor cu inducție cu trei canale [12]

1-carcasa cuptorului, 2-căptușeala refractară, 3- baie metalică, 4-jgheab de evacuare a topiturii, 5- mecanism de basculare, 6- miez, 7- capac.

### **Probleme generale privind turnarea aliajelor de cupru**

Aliajele de cupru se toarnă în lingouri prin procedee discontinue, semicontinue sau continue.

Prin procedeul discontinuu se toarnă lingouri rotunde și plate, în lingotiere verticale și orizontale cu sau fără răcire cu apă. Temperatura de turnare este în funcție de temperatura de topire a aliajelor, iar viteza de turnare este de 2...7 mm/s la turnarea în lingotiere orizontale și de 10...80 mm/s la turnarea în lingotiere verticale.

Datorită unei călduri latente de topire mai redusă și a unei conductibilități termice mai ridicate decât la aluminiu, cupru și aliajele de cupru se răcesc mai ușor decât aliajele de aluminiu. Astfel este necesar ca jgheabul de curgere al aliajelor în cristalizator să fie cât mai mic, să fie izolat termic foarte bine sau să se mărească temperatura de turnare.

Datorită temperaturii înalte de turnare, dispozitivele de reglare a turnării aliajelor în cristalizator se execută din materiale rezistente la temperaturi înalte (grafit, materiale ceramice).

În general nu se utilizează unsori obișnuite pentru cristalizatoare, deoarece ard suprafața acestora și nu asigură lubrifierea, poate fi utilizat uleiul de transformator și uleiul de mașini.

Turnarea lingourilor din aliaje Cu-Al se face fără adaos și fără ungere, lubrifierea făcându-se cu fulgi de grafit.

### ***Turnarea semicontinuă a cuprului și a aliajelor sale.***

Parametrii de bază care determină viteza de tragere a lingourilor din cristalizator și apariția fisurilor la cald sunt gradientul mare de temperatură pe secțiunea orizontală a lingoului și adâncimea mare a topiturii din cristalizator. Pentru scăderea temperaturii metalului la turnare se utilizează diferite medii de răcire lichide și microrăcitori.

În calitate de medii de răcire, la turnarea cuprului se pot utiliza fluxuri de silicați de bor:  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , care au și rol de protecție. Aceștia trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să aibă temperatura de topire mai mică decât a metalului sau aliajului, să protejeze metalul de oxidare și să aibă densitatea mai mică decât a metalului sau aliajului.

Utilizarea fluxurilor de răcire la turnarea aliajelor de cupru conduce la o micșorare a grăunților, permițând creșterea vitezei de turnare cu 20% la cupru.

### ***Turnarea cuprului.***

O cantitate mare se utilizează în industria electrotehnică sub formă de sârmă.

În procesul clasic obținerea sârmei traversează următoarele etape: topirea catozilor de cupru electrolitic, turnarea în bare, laminarea barelor la cald, trefilare, racire și decapare. Acest procedeu necesită investiții considerabile, consum ridicat de energie și creează probleme de recuperare a soluțiilor din băile de decapare, cu pierderi de metal. În afară de aceste dezavantaje din cauza greutatea redusă a barelor pentru sârmă, cca 150 kg, înainte de trefilare este necesară sudarea semifabricatelor.

Datorită acestor dezavantaje procedeul clasic a fost înlocuit cu o serie de procedee continue de producere metalurgică a sârmei de cupru. Cele mai importante procedee continue sunt:

- Properzi modificat (SCR – Southwire Continuous Rod);
- Hazelett;
- Dip – Forming process, procedeul de electrodepunere.

Principiul turnării prin procedeul SCR este relativ simplu, dar realizarea sa practică este foarte dificilă. Metalul lichid se toarnă printr-un jgheab pe o roată mobilă (fig. 2.30), într-un canal care reprezintă forma. După solidificare, bara obținută se extrage continuu și trece direct la un laminor la cald, firul fiind apoi bobinat. Masa unui colac este de aproximativ 5 tone.

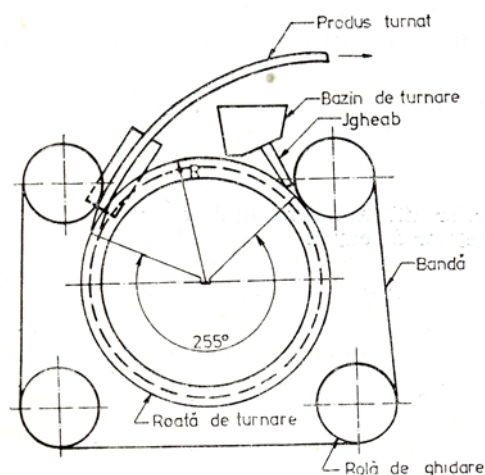


Fig. 2.30 Schema mașinii SCR de turnare [12]

Cuprul turnat prin acest procedeu conține o oarecare cantitate de oxigen sub formă de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , care îl face fragil în stare brută de turnare, deoarece se situează la limita grăunților de cupru. Frecarea între bară și formă poate conduce la apariția defectelor de turnare.

Nu este necesară protecția metalului contra oxidării în timpul turnării. Impuritățile din cupru cu oxigen sunt în mare parte oxidate și asociate cu particule de  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; în aceste condiții au efect mult mai scăzut decât în stare elementară asupra proprietăților sârmei recoapte.

Turnarea continuă pe instalația SCR conduce la obținerea unor semifabricate cu structură mai fină și cu o segregatie dendritică mai redusă, cu o densitate mai mare în

comparație cu turnarea clasică a wirebarelor, precum și proprietățile mecanice ale barelor turnate sunt mai bune decât a wirebarelor.

Procedeul Hazelett (fig. 2.31) realizează turnarea și solidificarea cuprului între două benzi paralele și mobile din oțel, aproape orizontale. Viteza de turnare este cuprinsă între 15...90 mm/sec. Metalul lichid este protejat de o atmosferă de gaz natural și prin volatilizarea unsorii de pe banda inferioară.

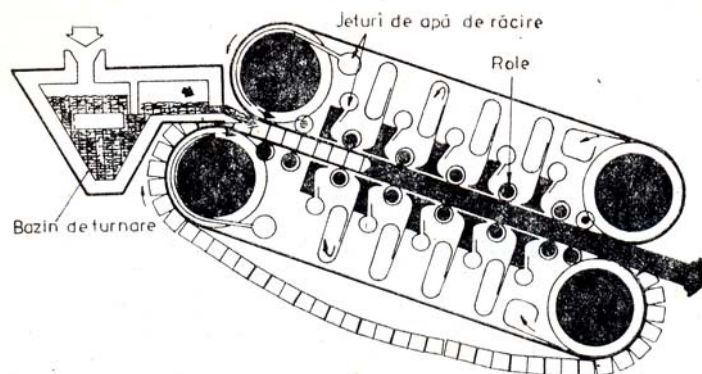


Fig. 2.31 Schema procedeului Hazelett [12]

Procedeul Dip-Forming (fig. 2.32) are la bază tragerea continuă a unui fir de cupru solid printr-un rezervor de cupru lichid, urmată de solidificarea cuprului depus pe fire, obținându-se fire cu diametrele dorite, care apoi se supun laminării la cald.

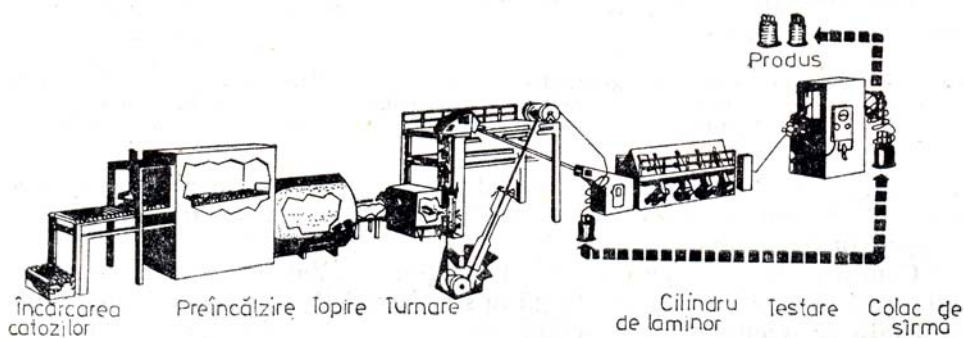


Fig. 2.32 Instalația de turnare Dip-Forming [12]

Teoretic, încălzirea unui kilogram de cupru de la temperatura obișnuită până la temperatura de topire necesită aceeași cantitate de căldură ca și cea degajată prin trecerea din stare lichidă în stare solidă a unei cantități de 2 kg cupru care se află la temperatura de topire. Prin urmare, la fiecare trecere a 100 kg de fir subțire prin baia de cupru lichid, 200 kg se solidifică pe suprafața acestor fire, deci 100 kg se recirculă continuu (fig. 2.33).

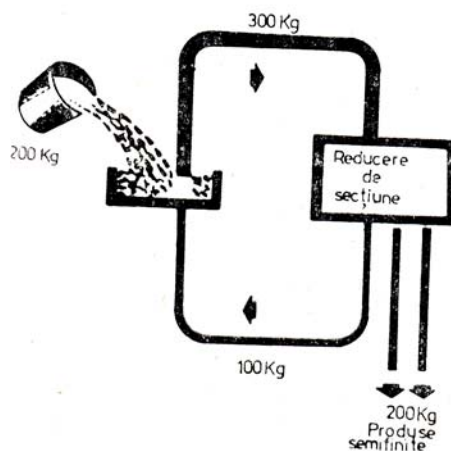


Fig. 2.33 Diagrama principiului procedurii Dip-Forming [12]

În practică nu se atinge un randament de 100%, dar se obține 280 kg de fir îmbogățit din 100 kg introdus.

Instalația este compusă din: cuptor de topire, dispozitiv de turnare și un laminor la cald.

În cuptorul de topire baia de cupru este acoperită cu un strat de cărbune de lemn și menținută într-o atmosferă de protecție (azot). Debitul de metal lichid este reglat automat pentru a se menține o adâncime fixă a băii.

### **Tratamentul termic al cuprului și al aliajelor sale**

Tratamentele termice aplicate cuprului și aliajelor sale urmăresc fie îmbunătățirea proprietăților de exploatare, mecanice și fizico-chimice, stabilitatea în timp și în diferite condiții de lucru – temperaturi joase sau înalte, medii corozive – a acestor proprietăți, fie permit și ușurează procesele tehnologice de obținere a pieselor din aceste aliaje.

Cuprului și aliajelor sale i se pot aplica următoarele tipuri de tratamente termice:

- recoaceri, care au scopul de a aduce materialul în stare de echilibru atât din punct de vedere structural, cât și al tensiunilor interne;
- călire de punere în soluție și căliri martensitice cu scopul de a obține structuri în afară de echilibru, care conferă proprietăți noi aliajelor;
- reveniri aplicate în urma călirilor: reveniri după călirea martensitică și îmbătrâniri după călirea de punere în soluție, pentru readucerea materialului spre starea de echilibru cu fixarea unei anumite asociații de proprietăți care s-au urmărit.

Obținerea pulberilor de cupru se poate face la Stația Pilot de la S.C. TEHNOMAG S.A. utilizându-se fluxul tehnologic din figura 2.34 și utilajele prezentate în figura 2.35.

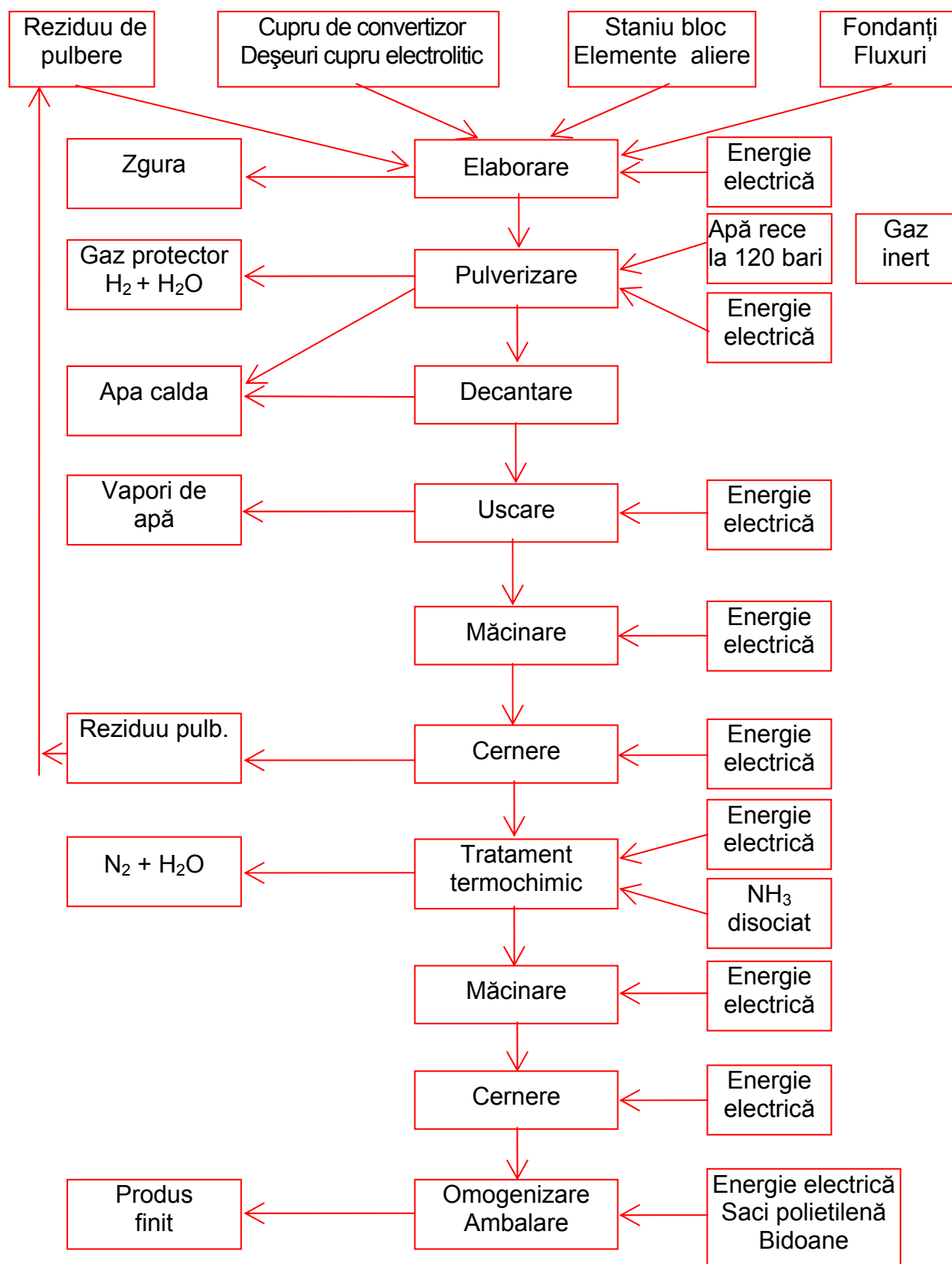


Fig. 2.34 Fluxul tehnologic privind elaborarea pulberii de cuprului

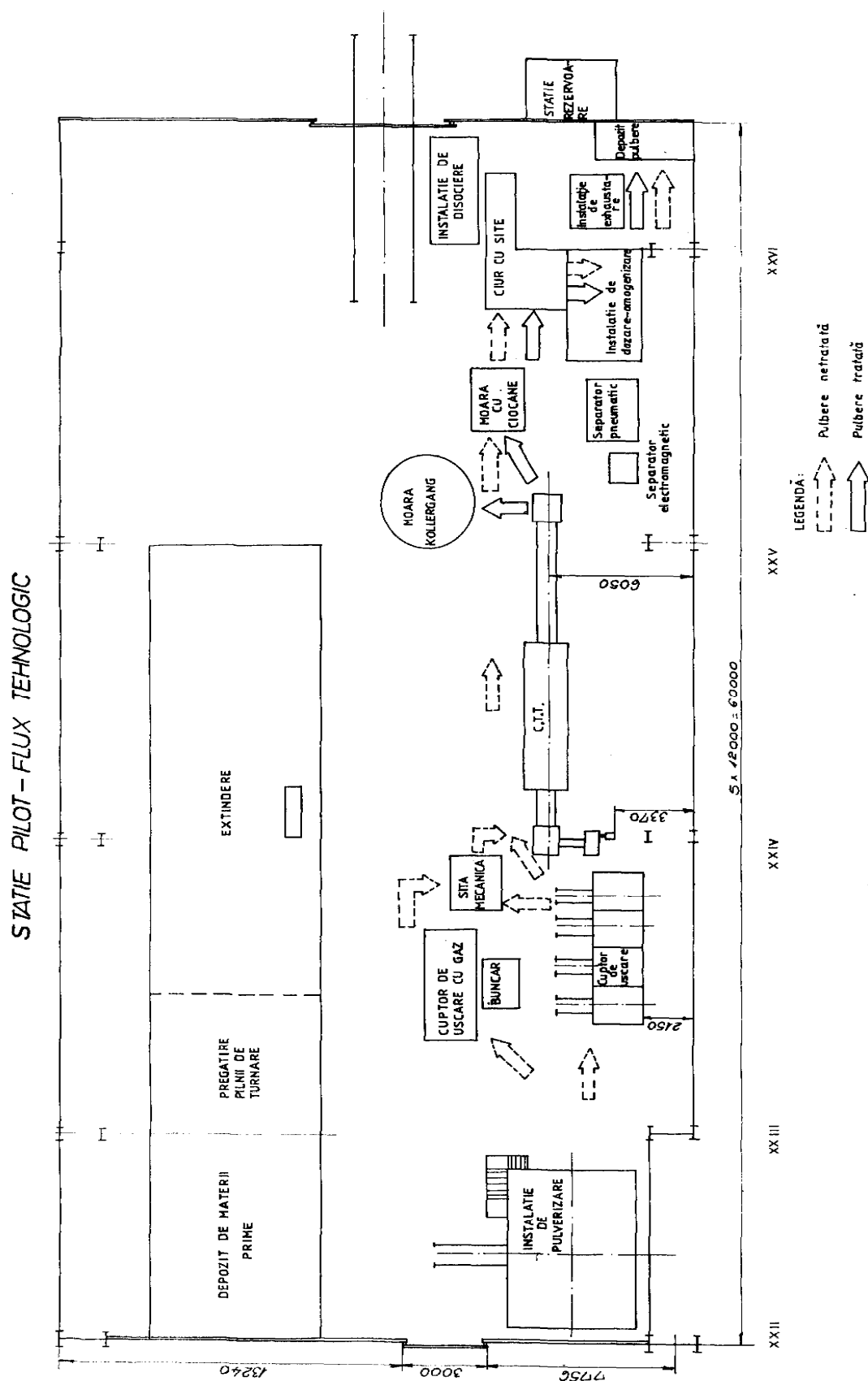


Fig. 2.35 Stația pilot – Utilajele folosite la elaborarea pulberii de cupru

## **Materii prime și materiale necesare pentru o șarjă de 250 kg**

Componența încărcăturii:

|   |                                                                     |                 |
|---|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| - | deșeu de cupru electrolitic Cu 99,95 și refuz pulbere de cupru .... | 252 kg          |
| - | cupru fosforos Cu-P9.....                                           | 1,0 kg          |
| - | sodă calcinată.....                                                 | 2,5 kg          |
| - | fluorină.....                                                       | 2,5 kg          |
| - | borax .....                                                         | 0,5 kg          |
|   | <b>Total .....</b>                                                  | <b>258,5 kg</b> |

## **Pregătirea încărcăturii**

- deșeurile de cupru electrolitic și refuzul de pulbere de cupru vor fi curățate de ulei și impurități de electrolit, iar prin încălzire se va elimina umezeala existentă în acestea;
- fluorina se va măcina la dimensiuni de max. 10 mm.

## **Elaborarea cuprului**

### **Încărcarea**

- înainte de introducerea încărcăturii în cuptorul de elaborare, creuzetul acestuia se va curăța, iar apoi se va încălzi până la roșu cu arzătoare cu gaze naturale;
- creuzetul se va încărca până la umplerea completă a acestuia, deșeurile masive de cupru se difuzează în partea centrală a acestuia.

### **Topirea**

- topirea încărcăturii se va face cât mai rapid, pentru a preveni oxidarea și gazarea băii de cupru, temperatura maximă a cuptorului va fi de 1200 °C măsurată cu pirometrul optic;
- după formarea băii de metal lichid se va introduce pentru dezoxidare 0,5 kg Cu-P9, iar pentru protecția băii – 1 kg sodă calcinată și 1 kg fluorină;
- în continuare se va face completarea încărcăturii cu deșeuri de cupru electrolitic (fără a utiliza refuzuri de pulberi de cupru – deoarece acestea conduc la gazarea băii metalice) până la obținerea a aprox. 250 kg cupru lichid;
- pe toată durata topirii deșeurilor de cupru se vor perfora și îndepărta podurile de zgură formate;

- după topirea completă a încărcăturii (250 kg) se vor introduce pentru dezoxidare 1 kg Cu-P9, iar apoi fondanți pentru rafinare și protecția băii: 2,5 kg sodă calcinată; 2,5 kg fluorină și 0,5 kg borax;
- în vederea dezoxidării și rafinării băii de cupru, aceasta se va menține la temperatura de aprox. 1200 °C, cca. 5-10 min., după care se va curăța creuzetul de zgura formată, cuprul elaborat va fi astfel pregătit pentru turnare și pulverizare.

### **Turnarea și pulverizarea**

- jgheabul de turnare va fi încălzit la 700-800 °C cu ajutorul arzătorului cu gaze naturale;
- bazinul de turnare și, în special, duza de scurgere a acestuia, se va încălzi la roșu cu arzătorul cu gaze naturale;
- pulverizarea vânei de cupru lichid se face cu argon la o presiune de min. 25 bar cu deschiderea fantei dispozitivului 40-60 μm;
- temperatura de evacuare a cuprului în bazinul de turnare va fi de cca. 1200 °C;
- durata pulverizării va fi de max. 5 min.

### **Uscarea șlamului de pulbere**

- șlamul de pulbere de cupru, după decantare, se va încălca în tăvi (aprox. 25 kg pulbere) și se va introduce în cuptorul electric de uscare;
- temperatura de uscare va fi de max. 200 °C, iar durata de menținere în cuptorul de uscare va fi de cca. 8 ore.

### **Sitarea primară**

- pulberea uscată va fi sitată pe sita mecanică cu sită având ochiuri de 0,315 mm;
- pulberea de cupru mai mare de 0,315 mm va fi considerată refuz și se va utiliza ca materie primă la elaborarea cuprului în cuptorul electric cu inducție la altă șarjă.

### **Tratament termochimic**

- tratamentul termochimic se va face doar pentru pulberea de cupru cu granulație sub 0,315 mm, temperatura de tratament termochimic va fi de 700-800 °C, conform diagramei din figura 2.36;

- pulberea de cupru va fi introdusă în tăvi (aprox. 20-25 kg) și va fi așezată pe banda transportoare a cuptorului de tratament termochimic din 500 în 500 mm;
- durata tratamentului termochimic va fi de aprox. 7,5-8 ore;
- buretele de cupru tratat va fi depozitat în containere curate.

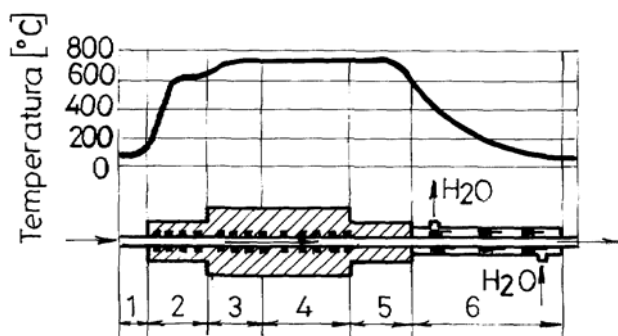


Fig. 2.36 Temperatura de tratament termochimic

### **Mărunțire în moara Kollergang**

- buretele de pulbere de cupru rezultat în urma tratamentului termochimic va fi introdus în cuva morii Kollergang în doze de aprox. 100 kg;
- timpul de măcinare a unei doze va fi de cca. 33-35 min.

### **Sortare granulometrică**

- sortarea granulometrică a pulberii de cupru măcinată se va face prin sitare pe ciurul oscilant, pe care se vor monta sitele cu dimensiunea ochiurilor corespunzătoare granulației pulberii ce se dorește separate.

### **Ambalarea**

Pulberea de cupru se va livra în două variante:

- varianta 1 – în saci de material plastic căptușiți cu saci din folie PVC, cu masa de 50 kg, închiși cu colier de plastic pentru asigurarea etanșeității corespunzătoare;
- varianta 2 – în recipiente de plastic prevăzute cu capac, căptușite în interior cu saci subțiri din folie PVC, cu masa de max. 25 kg.

### **Marcarea**

Marcarea ambalajelor se va face prin atașarea sau aplicarea unei etichete care trebuie să conțină următoarele specificații:

- marca S.C. TEHNOMAG CUG S.A.;
- denumire, tip;
- masa netă, în kg;
- data fabricației;
- semnul organului CTC.

### **Calculul analitic al șarjei de cupru PA Cu 99,1**

Cantitatea de deșeuri de cupru electrolitic necesară elaborării a 250 kg de metal lichid, ținând cont că în timpul elaborării acesta se arde (se oxidează) în proporție de cca. 1%, va fi:

$$Q_{Cu} = 1,01\% \cdot M_{Cu} = 252,5 \text{ kg}$$

unde:  $M_{Cu} = 250$  – reprezintă cantitatea de cupru ce va fi elaborată

Ca fondant, în procesul de elaborare, se va folosi o soluție formată din:

- 1% NaO sodă – se introduce la elaborare sub formă de  $Na_2CO_3$
- 1,5% fluorină
- 0,2% borax

Acest fondant, având temperatura de topire  $800^\circ C$ , se utilizează pentru formarea zgurei doar după o topire prealabilă și o mărunțire.

Cantitatea de fondant necesară la elaborare pentru formarea zgurei este de 1,0-1,5% din masa încărcăturii. Deci, în cazul de față, pentru elaborarea a 250 kg cupru vom avea nevoie de o cantitate de fondant, de tipul celui prezentat mai sus, de:

$$Q_F = 1\% \cdot Q_{Cu} = 2,5 \text{ kg}$$

Pentru dezoxidarea băii metalice se va utiliza carbura de calciu  $CaC_2$  în proporție de 0,2% din încărcătura metalică, deci necesarul de dezoxidant va fi:

$$Q_d = 0,2\% \cdot Q_{Cu} = 0,5 \text{ kg}$$

Pentru a obține o șarjă de 250 kg cupru, încărcătura va conține:

- deșeuri de cupru electrolitic ..... 252,5 kg;
- fondant – fluorină ..... 2,5 kg;
- dezoxidant – borax ..... 0,5 kg.

Total ..... 258,5 kg.

## 2.2.3 CARACTERIZAREA PULBERII DE CUPRU

În urma elaborării acestui tip de pulbere, se dorește a se obține următoarele caracteristici fizice și chimice conform normativului de standarde.

### **Caracteristici fizice**

- Forma granulelor

Pulberile de cupru dezoxidate prin tratament termochimic sunt compuse din particule de formă sferică și neregulată de culoare galben-portocaliu, mat, cu aspect metalic.



- Mărimea granulelor și repartiția granulometrică

În tabelul 2.7 se poate observa mărimea sitelor cu care s-a efectuat analiza de cernere și prin urmare repartiția granulometrică.

Tabelul 2.7

| Marca          | Numărul țesăturii de sârmă    |                  |                  |                  |                  |         |
|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
|                | <0,425<br>>0,300              | <0,300<br>>0,212 | <0,212<br>>0,150 | <0,150<br>>0,063 | <0,063<br>>0,038 | <0,038  |
|                | Repartiția granulometrică [%] |                  |                  |                  |                  |         |
| PA Cu 99,1 425 | max. 15                       | 10-30            | 10-30            | 20-40            | 10-30            | max. 15 |
| PA Cu 99,1 212 |                               | max. 15          | 10-35            | 25-50            | 10-35            | min. 10 |
| PA Cu 99,1 150 |                               |                  | max. 15          | 35-55            | 20-35            | max. 20 |
| PA Cu 99,1 063 |                               |                  |                  | max. 15          | 30-50            | max. 50 |

- Densitatea, umiditatea și capacitatea de curgere

În tabelul 2.8 sunt prezentate datele obținute în urma determinării densității aparente, conform SR EN 23923-1:1998, a umidității, conform STAS 9965-74, precum și a capacității de curgere, conform SR ISO 4490-2000.

Tabelul 2.8

| Marca         | Umiditate [%] | Densitate aparentă [g/cm <sup>3</sup> ] | Capacitate de curgere [s/50g] |
|---------------|---------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| PA Cu 99,1425 | 1             | 3,8-4,3                                 | 15-18                         |
| PA Cu 99,1212 | 1             | 3,8-4,3                                 | 15-18                         |
| PA Cu 99,1150 | 1             | 3,8-4,3                                 | 15-18                         |
| PA Cu 99,1063 | 1             | 4,1-4,4                                 | 15-18                         |

### Compoziția chimică:

Determinarea compoziției chimice s-a făcut conform standardelor STAS 1706/2-70, STAS 1706/15-71 STAS 1706/14-79, STAS 1706/4-85, iar pierderile de masă în curent de hidrogen s-au determinat conform SR EN ISO 4491-2:2000.

Tabelul 2.9

| Marca pulberii | Compoziția chimică [%] |                   |      |      |                              |                 |                  | Pierderi de masă în curent de hidrogen [%] |
|----------------|------------------------|-------------------|------|------|------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------------|
|                | Cu (min.)              | Impurități (max.) |      |      |                              |                 |                  |                                            |
|                |                        | Fe                | Zn   | P    | SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> | Alte impurități | Total impurități |                                            |
| PA Cu 99,1     | 99,1                   | 0,3               | 0,08 | 0,07 | 0,01                         | 0,11            | 0,6              | 0,15-0,60                                  |

## 2.3 ALUMINIUL. PROPRIETĂȚI, CARACTERISTICI, OBȚINERE.

Aluminiul este cel mai răspândit în scoarța terestră constituind 7.5% din litosferă, iar printre elemente ocupă locul al treilea în urma oxigenului și siliciului. Datorită activității sale chimice mari, se găsește în natură numai sub formă de compuși.

Primele încercări de separare ale aluminiului din compuși datează din anul 1810 și aparține fizicianului englez Davy, care a efectuat electroliza hidroxidului de alumină ușor umezit, dispus într-o atmosferă de hidrogen, într-o pilă Volta, folosind în calitate de anod platina, iar în calitate de catod, o sârmă de fier. În urma acestui proces s-a obținut un aliaj Al-Fe, din care încă nu s-a reușit să se difuzeze aluminiul.

Aluminiul metalic a fost obținut în stare elementară, de către Oersted în anul 1842, prin tratarea clorurii sale cu amalgamul de potasiu. Metoda a fost perfecționată în 1827, când a fost înlocuit amalgamul cu potasiu de către Saint-Claire-Deville.

La sfârșitul secolului al XIX, metoda lui Saint-Claire-Deville a fost înlocuită, fiind aplicat procedeul de extragere a aluminiului prin electroliza aluminei dizolvată în criolită topită, procedeu aplicat și în prezent în metalurgia aluminiului. [1]

### 2.3.1 PROPRIETĂȚILE ȘI CARACTERISTICILE ALUMINIULUI

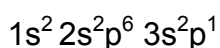
#### **Caracteristici atomice**

Aluminiul este elementul cu numărul de ordine 13 și greutatea atomică 26.974, situat în coloana a III-a și în perioada a 3-a a sistemului periodic al elementelor.

Nucleul atomic este stabil și alcătuit din 13 protoni și 14 neutroni.

Aluminiul are un singur izotop stabil ( $\text{Al}^{27}_{13}$ ) cu abundență naturală 100% și 4 izotopi radioactivi, care nu există în natură.

Configurația electronică stabilă a atomului se caracterizează cu relația:



Orbita K L M

Sistemul de cristalizare a aluminiului metalic este de cub cu fețe centrate cu parametrul  $a = 4.0413 \text{ \AA}$  la  $25^\circ\text{C}$ .

Diametrul atomic este de  $2.858 \text{ \AA}$ .

Aluminiul nu prezintă stări alotropice.

#### **Proprietăți fizice**

Greutatea specifică prezintă interes în tehnică datorită valorilor mici.

Aluminiul foarte pur la  $20^\circ\text{C}$  are  $\gamma = 2.6989 \text{ g/cm}^3$ , iar la  $25^\circ\text{C}$  are  $\gamma = 2.6978 \text{ g/cm}^3$ .

Greutatea specifică a aluminiului de 99.75% puritate, în funcție de temperatură, este prezentată în tabelul 2.10.

Tabelul 2.10 [1]

| Temperatura [ $^\circ\text{C}$ ]                  | 20    | 100  | 400  | 660 solid | 660 lichid | 700   | 900   | 1100  |
|---------------------------------------------------|-------|------|------|-----------|------------|-------|-------|-------|
| Greutatea specifică, $\gamma$ [ $\text{g/cm}^3$ ] | 2.703 | 2.69 | 2.62 | 2.55      | 2.382      | 2.371 | 2.316 | 2.262 |

Greutatea specifică a aluminiului cu diferite grade de puritate variază astfel: [1]

- aluminiu 99.996% cu  $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 2.6989 \text{ g/cm}^3$ ;
- aluminiu 99.750% cu  $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 2.703 \text{ g/cm}^3$ ;
- aluminiu 99.500% cu  $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 2.705 \text{ g/cm}^3$ ;
- aluminiu 99.000% cu  $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 2.71 \text{ g/cm}^3$ .

Greutatea specifică a aluminiului lichid, în funcție de temperatură, se poate calcula cu relația:

$$\gamma = 2.382 - 0.000273 [T - 660].$$

Contrația volumetrică la solidificare este de 6.6%.

Temperatura de topire a aluminiului pur (99.996%) este de 660.24 °C, a aluminiului tehnic (99.2%) de 657 °C, iar a aluminiului rafinat (99.9%) de 659.8 °C.

Căldura latentă de topire este de 93.96 cal/g.

Tensiunea superficială a aluminiului topit între 700-820°C este de 520 dyne/cm.

Vâscozitatea aluminiului topit este de 0.02890 poise la 700 °C și de 0.01392 poise la 800 °C.

Temperatura de fierbere la presiune normală este de 2056 °C, iar căldura latentă de vaporizare este de 2305 cal/g.

Temperatura de fierbere a aluminiului în vid de 1 mm col Hg scade până la 1603°C.

Tensiunea de vapori a aluminiului în funcție de temperatură:

- la temperatura de topire, tensiunea de vapori este de  $5.25 \cdot 10^{-7}$  mm Hg,
- la 660 °C topit este de 0.00062 mm Hg;
- la 1030 °C este de 1 mm Hg.

Presiunea de vapori se poate calcula cu relația:

$$\log p = - 14190/T^{\circ}K + 8.98$$

Căldura specifică între 0 și 100 °C,  $c_p = 0.2259$  cal/g°C.

Căldura specifică reală scade cu micșorarea temperaturii astfel:

- la 20°C  $c_p = 0.222$  cal/g;
- la 175°C  $c_p = 0.112$  cal/g;
- la 185°C  $c_p = 0.097$  cal/g;
- la 200°C  $c_p = 0.07$  cal/g.

Aluminiul are capacitatea calorică mare, în comparație cu alte metale. Conținutul caloric al unui gram de aluminiu încălzit de la 0 °C la punctul de topire, inclusiv căldura latentă de topire, este mai mare decât la alte metale, care au puncte de topire mult mai înalte, după cum se observă din tabelul:

Tabelul 2.11

Conținutul caloric pentru diferite metale [1]

| Denumirea metalului                                                         | Al     | Fe  | Cu  | Pt    | Ag   | Au   |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-------|------|------|
| Conținutul caloric la topire cal/g (încălzit de la 0°C și topire la $T_i$ ) | 256.46 | 250 | 162 | 102.4 | 85.0 | 58.0 |

Căldura de ardere este de 7389 cal/g.

Coeficientul de dilatare liniară: la 20 °C,  $\alpha = 23.8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Valorile acestui coeficient la diferite temperaturi și pentru aluminiul de diferite grade de puritate sunt date în tabelul 2.12.

Tabelul 2.12 [1]

Variația coeficientului de dilatare liniară a aluminiului în funcție de temperatură și puritate

| Intervalul de temperatură măsurat [°C] | 20-100 | 20-200 | 20-300 | 20-400 | 20-500 |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Al 99.996%                             | 23.86  | 24.58  | 25.45  | 26.49  | 27.68  |
| Al 99.95%                              | 23.8   | 24.15  | -      | -      | -      |
| Al 99.01%                              | 23.5   | 24.6   | 25.6   | -      | -      |

S-a calculat prin extrapolare că dilatarea liniară totală a aluminiului de la temperatura de -190°C (aer lichid) până la temperatura de topire de 660 °C este egală cu 2.66% din lungimea la zero absolut.

Conductivitatea termică la 20 °C este de 0.52 cal/cm s °C.

Pe măsură ce scade puritatea Al, conductivitatea termică se micșorează și crește într-o oarecare măsură cu temperatura. La 100 °C, conductivitatea termică a Al reprezintă 66.5% din conductivitatea termică a argintului. La temperatură joasă conductivitatea termică trece printr-un minimum la -125 °C, la valoarea 0.491 cal/cm s °C apoi crește din nou fiind de 0.524 la -170 °C, ca apoi să scadă rapid la temperaturi sub -230 °C.

Rezistivitatea electrică a aluminiului variază sensibil în funcție de gradul de puritate, de starea materialului (turnat, ecruisat și recopt), fiind o caracteristică foarte sensibilă, în funcție de structură și temperatură.

Rezistivitatea electrică a aluminiului 99% lichid la 657 °C este de 20.1  $\mu \Omega$  cm.

Rezistivitatea crește progresiv și cu gradul de ecruisare, dacă nu intervine influența impurităților sau interacțiunea imperfecțiunilor.

Rezistivitatea electrică a aluminiului este sensibilă și la variații de presiune. Prin comprimare multilaterală, la temperatura de 0°C, coeficientul mediu de presiune a rezistivității este de  $-3.815 \cdot 10^{-6}$ , iar la 100 °C –  $3.766 \cdot 10^{-6}$  în limitele unor presiuni până la 12000 kgf/cm<sup>2</sup>.

Conductivitatea electrică și termică a aluminiului este mult influențată de prezența impurităților. Astfel, impuritățile se pot clasifica în trei categorii:

- impurități cu efect mai redus (Cu, Fe, Si, Ni, Zn);
- impurități cu efect mediu (Cu, Ag, Mg);
- impurități cu efect considerabil (Ti, V, Cr, Mn).

Influența principalelor impurități asupra conductivității electrice și termice a aluminiului este redată în figura 2.13.

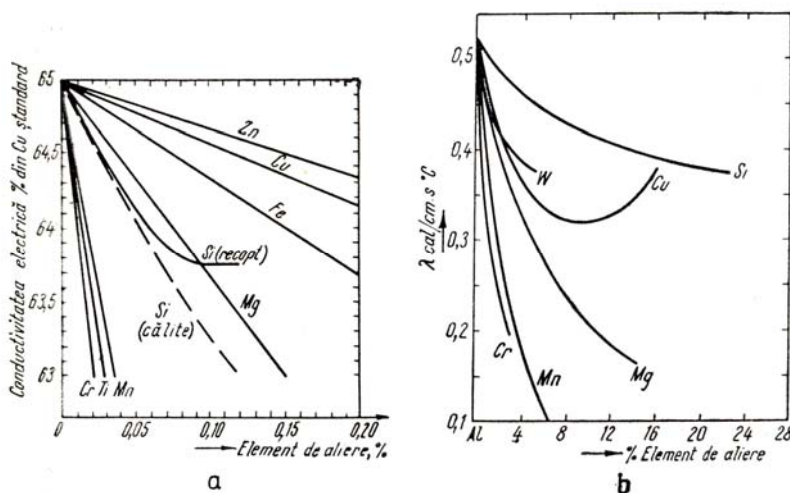


Fig. 2.13 Influența principalelor impurități asupra unor caracteristici fizice ale aluminiului

#### 6.□. conductivitatea electrică b) conductivitatea termică [15]

În limitele de solubilitate a fierului la temperatura obișnuită, scăderea conductibilității aluminiului este foarte rapidă. Limita de solubilitate a fierului în aluminiu este de 0.003% la 20 °C și poate fi redusă la 0.0015%, în prezența unor impurități ca siliciu și cupru.

Pentru conținuturi mai mari de fier, acțiunea este diferită după cum aluminul este răcit rapid sau răcit lent. Curba scăderii conductivității prezintă o scădere de panta la circa 0.2% Fe.

Siliciul are o influență destul de mare asupra conductivității electrice, mai marcate în cazul aluminiului răcit rapid, deoarece rămâne un procent mai mare de siliciu în soluția solidă.

Magneziul, cuprul, zincul, galiul au o influență mai mică decât siliciul, și scăderea conductivității poate fi considerată aproximativ liniară și oarecum independentă de tratamentul termic aplicat. Cromul, manganul, titanul, vanadiul au cea mai negativă influență asupra conductivității electrice a aluminiului.

Pentru conductoarele electrice, Ti și V pot fi eliminați prin tratarea aluminiului topit cu bor, ce reține aceste impurități sub formă de boruri, care pot fi eliminate prin decantare în cuptorul de topire.

Proprietățile magnetice sunt caracterizate prin paramagnetism cu susceptibilitatea magnetică specifică la 18 °C este de  $0.62 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ .

Proprietățile optice ale aluminiului prezintă importanță pentru tehnică. Aluminiul pur (99.996%) are reflectivitatea 90% din lumina filamentului de wolfram.

### **Caracteristici mecanice și tehnologice**

Caracteristicile mecanice ale aluminiului variază mult cu gradul de puritate, natura și conținutul impurităților, precum și cu prelucrarea plastică și termică la care a fost supus metalul (tabelul 2.14).

Tabelul 2.14 Caracteristicile mecanice ale aluminiului [14]

| Aluminiu<br>% | Starea materialului                      | $\sigma_r$<br>kgf/mm <sup>2</sup> | $\sigma_c$<br>kgf/mm <sup>2</sup> | $\delta$<br>% | KCU<br>reziliența<br>kgfm/mm <sup>2</sup> | HB |
|---------------|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----|
| 99,999        | Fir 1,5 mm<br>Recopt 113 ore<br>la 130°C | 5,2                               | —                                 | 62            | —                                         | —  |
| 99,997        | Recopt,<br>Ecruiat 1/2 tare              | 5                                 | 2                                 | 60            | —                                         | 14 |
|               | Ecruiat tare                             | 8                                 | 6                                 | 18            | —                                         | 24 |
| 99,7          | Recopt                                   | 13                                | 9                                 | 10            | —                                         | 31 |
|               | Ecruiat                                  | 8                                 | 5                                 | 40            | —                                         | 20 |
|               |                                          | 15                                | 12                                | 5—10          | 14                                        | 35 |
| 99,5          | Recopt                                   | 8                                 | 4                                 | 42            | (turnat)                                  | 20 |
|               | Ecruiat 1/2t                             | 11                                | 10                                | 14            | —                                         | 29 |
|               | Ecruiat tare                             | 18                                | 15                                | 5             | —                                         | 47 |

Temperatura de recrystalizare este cu atât mai scăzută cu cât aluminiul este mai pur și cu cât gradul de ecruisare a fost mai mare.

Caracteristicile mecanice ale aluminiului se măresc cu cât temperatura scade.

Aluminiul are următoarele caracteristici tehnologice:

- temperatură de turnare: 710 – 730 °C;
- temperatură de prelucrare la cald: 350 – 450 °C;
- temperatură de recoacere: 370 – 400 °C;
- contracția liniară: 1.7%;
- dilatare la topire: 6.55%.

### **Proprietăți chimice**

Cu toate că aluminiul este în realitate un metal foarte oxidabil, cu mare afinitate față de oxigen, el rezistă foarte bine la coroziunea atmosferică, pentru că se acoperă cu o peliculă de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foarte subțire și aderența pe suprafața metalului, care împiedică pătrunderea oxigenului în adâncime.

Toate elementele de adaos micșorează rezistența la coroziune, de aceea multe aliaje de aluminiu, cu caracteristici mecanice mari, trebuie să fie protejate prin placare cu un strat de aluminiu pur.

Pelicula de oxid anticorozivă se poate stabili prin procedee chimice sau electrochimice. Tratamentul chimic se realizează prin cufundarea piesei de aluminiu într-o

soluție de săruri de aluminiu sau o soluție de sodă fierbinte cu conținut de crom, iar electrochimic prin oxidare anodică.

La temperatura obișnuită, apa, vaporii de apă, oxidul și bioxidul de carbon uscat nu au nici o acțiune asupra aluminiului metalic. Este suficient ca aluminiul să conțină o mică cantitate de mercur, pentru ca să se acopere repede cu un strat de hidroxid amorf.

Caracterul peliculei anticorozivă de  $Al_2O_3$ , care se formează pe suprafața metalului, depinde de prezența și natura impurităților. Cu cât aluminiul este mai pur cu atât este mai rezistent la coroziune.

### **Impurități în aluminiu**

Impuritățile din aluminiul tehnic se pot clasifica astfel:

- impurități care reacționează chimic (Fe și Si);
- impurități practic insolubile în aluminiu în stare solidă care formează eutectice ușor fuzibile (Sn, Pb, Bi);
- impurități care formează compuși chimici greu fuzibili însă insolubili în aluminiu (As, Sb, Se și Te);
- impurități parțial solubile în aluminiu în stare solidă (Si, Cu, Mg, Zn);
- impurități provenite din fază gazoasă (hidrogen, oxigen, azot).

Aluminiul foarte pur cristalizează cu structură cu grăunți mari. În timp ce aluminiul tehnic deformat la rece recrystalizează la 150 °C, aluminiul rafinat prin topire zonală recrystalizează chiar la temperatura obișnuită.

### **Impurități care formează compuși chimici cu aluminiul**

Fierul este practic insolubil în aluminiu în stare solidă și reacționează chimic formând o serie de faze intermetalice, între care faza  $\theta$  ( $FeAl_3$ ) cu rețea monoclinică. Fierul formează cu aluminiul un eutectic la 655 °C și 1.8%Fe, după cum se observă în diagrama prezentată în figura 2.37.

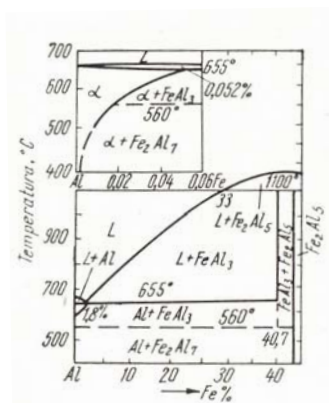


Fig. 2.37 Diagrama de echilibru Al-Fe [14]

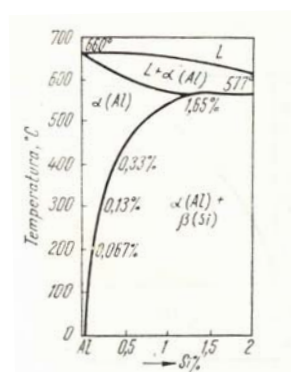


Fig. 2.38 Diagrama de echilibru Al-Si [14]

Chiar la un conținut de miimi de procent de fier în structură se va separa la limitele grăunților compusul  $\text{FeAl}_3$  acicular, fragil, care scade apreciabil plasticitatea aluminiului.

În aluminiu, fierul este o impuritate dăunătoare, deoarece înrăutățește proprietățile de turnare și caracteristicile mecanice, formând faze fragile.

Siliciul ca și fierul formează cu aluminiul o diagramă cu eutectic (fig. 2.38) însă fără faze intermetalice. Solubilitatea siliciului în aluminiu la temperatura eutectică de  $577^\circ\text{C}$  este de  $1.65\%\text{Si}$ , dar scade progresiv până la temperatura obișnuită sub  $0.05\%$ . Orice exces de siliciu va apărea în structura aluminiului sub formă de precipitări de siliciu secundar, de formă aciculară, la limitele grăunților, care produce fragilitatea aliajelor.

Influența negativă a siliciului asupra aluminiului se manifestă numai în prezența fierului.

În afara de  $\text{Al}_3\text{Fe}$  se formează fazele ternare  $\alpha$  ( $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$ ) și  $\beta$  ( $\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$ )

Influența negativă a fierului se poate remedia, în parte, prin mici adaosuri de mangan, crom, titan și alte metale, care să fixeze fierul sub formă de compuși mai greu fuzibili.

### **Impurități practic insolubile**

Staniul formează cu aluminiul un eutectic ușor fuzibil la  $228.3^\circ\text{C}$  și  $99.5\%\text{Sn}$  (fig. 2.39). Solubilitatea staniului în aluminiu la temperatura de  $640^\circ\text{C}$  este de  $0.10\%$  și ajunge sub  $0.01\%$  la  $150^\circ\text{C}$ . Din aluminiu se separă chiar la procente foarte mici eutecticul ușor fuzibil, la limitele grăunților, care reduce considerabil prelucrabilitatea aluminiului la cald.

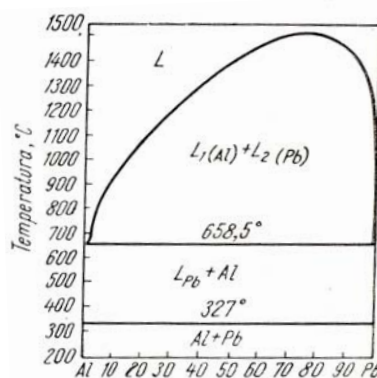
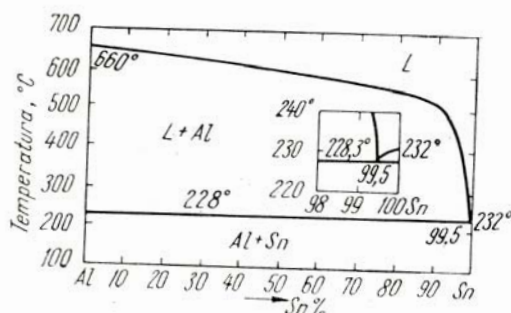


Fig. 2.39 Diagrama de echilibru Al-Sn      Fig. 2.40 Diagrama de echilibru Al-Pb [14]

Plumbul este aproape nemiscibil cu aluminiul (fig. 2.40). Solubilitatea plumbului în aluminiu la  $658^\circ\text{C}$  nu depășește  $0.2\%$  și devine apoi nulă în aluminiu solid. Plumbul aproape curat se separă din aluminiu la limitele grăunților, formează pelicule ușor fuzibile la  $326.8^\circ\text{C}$ , care anulează prelucrabilitatea aluminiului prin deformare plastică la cald.

*Bismutul* este aproape nemiscibil cu aluminiul chiar în stare lichidă, formând un monotectic la 657 °C (fig.2.41). Solubilitatea bismutului în aluminiu solid la 657 °C este mai mică de 0.2% Bi și devine nulă prin scăderea temperaturii.

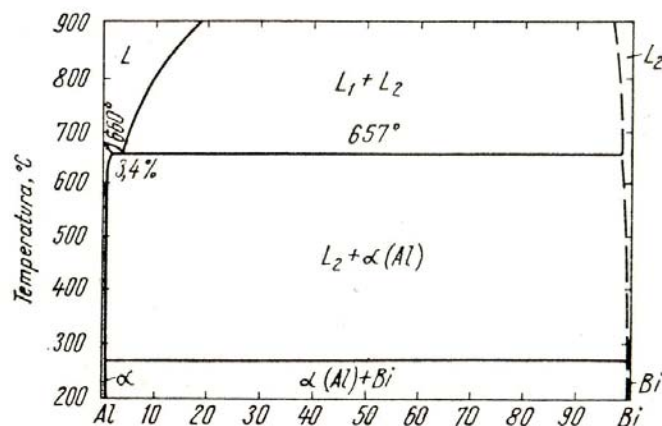


Fig.2.41 Diagrama de echilibru Al-Bi [14]

### **Impurități care formează compuși greu fuzibili**

Arsenul, stibiul, seleniul, telurul, formează cu aluminiul următorii compuși chimici:

AlAs (73.52% As) cu temperatura de topire 1500 °C;

AlSb (81.86% Sb) cu temperatura de topire 1065 °C;

Al<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> (81.45% Se) cu temperatura de topire 953 °C;

Al<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (87.65% Te) cu temperatura de topire 895 °C.

### **Impurități parțial solubile în aluminiu în stare solidă**

*Siliciul* îmbunătățește proprietățile de turnare, dar scade plasticitatea. La un conținut mai mare, mărește rezistența mecanică și proprietățile anticorozive.

*Cuprul* este solubil în aluminiu până la 5.6%, îmbunătățește caracteristicile mecanice de rezistență, prelucrabilitatea prin așchiere, dar conferă proprietăți de turnare slabe, fluiditate mică, tendință de segregare, formarea crăpăturilor la cald și scade proprietățile anticorozive.

*Magneziul* mărește rezistența mecanică și rezistența la coroziune. Influențează negativ proprietățile de turnare.

*Manganul* înrăutățește proprietățile de turnare și scade puternic conductivitatea electrică a aluminiului. Mărește rezistența la coroziune, rezistența mecanică și parțial rezistența la temperaturi înalte.

*Zincul* este mult solubil în aluminiu în stare solidă însă înrăutățește proprietățile de turnare, rezistența la temperaturi înalte și la coroziune.

*Nichelul* mărește rezistența mecanică, rezistența la coroziune și refractaritatea.

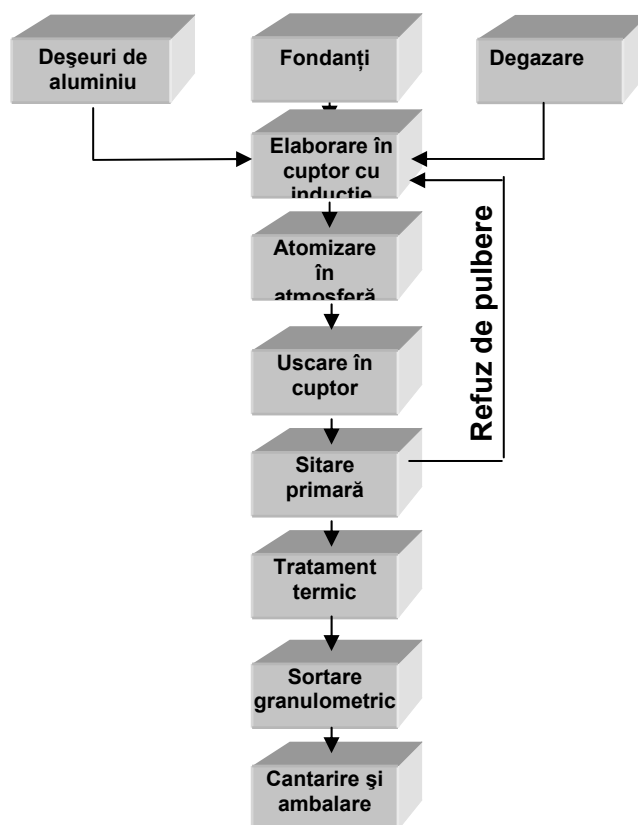
Cromul și molibdenul sunt puțini solubili în aluminiu însă măresc rezistența mecanică și stabilitatea la temperaturi ridicate.

Titanul, tantalul, zirconiu, borul, beriliul, sunt buni modifikatori care afinează structura aluminiului, dând grăunți mici. Îmbunătățesc caracteristicile mecanice, compactitatea și uniformitatea rezistenței pe secțiunea pieselor turnate.

### 2.3.2 OBȚINEREA PULBERII DE ALUMINIU

Pulberile metalice sunt în general produse pure, gradul lor de puritate, mărimea și forma particulelor fiind determinate de metoda de fabricație utilizată.

Tehnologiile de fabricație trebuie să fie simple astfel încât, compoziția chimică, granulația, densitatea aparentă, compresibilitatea și viteza de curgere să poată fi ușor obținute, cu o anumită precizie. În figura 2.42 este prezentat fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de aluminiu.



**Fig. 2.42** Fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de aluminiu

#### **Pregătirea încărcăturii**

Tehnologia elaborării aluminiului are particularități specifice, determinate nu numai de proprietățile fizico-chimice variate, ci și de condițiile diferite pe care trebuie să le

îndeplinească produsele obținute. Este foarte important să se aleagă corect materialele care compun încărcătura și tipul agregatului de topire, deoarece materiale metalice pe bază de aluminiu cu caracteristici mecanice superioare se obțin numai dacă se previne impurificarea băii metalice cu elemente nedorite în timpul topirii.

Deșeurile și rebaturile de lingouri de aluminiu precum și refuzul de pulbere de aluminiu, așchiile și deșeurile mici, având la suprafață apă, ulei, nisip, sau alte impurități, se pot utiliza în încărcătură numai după o retopire prealabilă, turnare în blocuri și analiza chimică a acestora. Înainte de încărcarea în cuptorul de topire, este indicată preîncălzirea materialelor pentru a se elimina de la suprafața lor umiditatea care reprezintă una din principalele surse de impurificare cu incluziuni nemetalice solide și gazoase iar uneori poate provoca apariția accidentelor de muncă (explozii), cauzate de interacțiunea energetică a aluminiului cu vaporii de apă și a agitării puternice a băii metalice datorită excesului de caldură apărut în sistem. [11]

### ***Fondanții***

Pentru a se obține produse de bună calitate din aluminiu nu este suficient să se cunoască numai compoziția chimică, ci trebuie să se conducă în mod rațional procesul de elaborare pentru a se evita pe cât posibil impurificarea acestora cu incluziuni nemetalice solide și gazoase.

Tehnologia folosită curent în practica industrială constă în protecția băii metalice de acțiunea gazelor oxidante și reducătoare din atmosfera agregatului prin acoperirea suprafeței acesteia cu un fondant, în compoziția căruia pot fi prezente substanțele: cloruri de potasiu, sodiu, magneziu, calciu, zinc, mangan, bariu, fluoruri de magneziu, calciu, bariu, sodiu, fluosilicați, fluortitanați, carbonați, criolită, carnalită etc.

De regulă, principalii componenți la majoritatea fondanților utilizați la elaborarea aluminiului sunt: NaCl și KCl, deoarece acestea au o stabilitate mare, permit obținerea unui amestec cu punct de topire scăzut și unghi limită de umețare mic. [12]

### ***Topirea, turnarea și atomizarea***

Pentru producerea pulberii de aluminiu, încărcătura trebuie topită, degazată, dezintegrată prin atomizare cu jeturi de gaz inert (argon) sub presiune, și în cele din urmă solidificată. Aceste etape ale procesului se pot realiza pe o instalație de elaborare a pulberilor metalice cum este cea din figura 2.43, utilizând cuptorul de topire, pâlnia sau creuzetul intermediar, dispozitivul de pulverizare și incinta sau turnul de pulverizare. Aceste grupuri constructive principale ale instalației de pulverizare sunt aranjate pe verticală, corespunzător fluxului de material, în sistem liniar. Ele sunt montate împreună cu

generatorul de curent de medie frecvență, standul de pompe de vid, ciclonul separator, panoul de comandă cu dispozitivele de reglare și control, alimentare și evacuare gaz inert, distribuție apă, într-o structură metalică de oțel sudată – platforma de susținere.

Instalația de pulverizare se caracterizează prin:

- siguranță mare în exploatare,
- flexibilitate mare a procesului,
- exploatare economică și rațională.



Fig. 2.43 Ansamblul instalației de atomizare

Pentru urmărirea procesului și pentru luarea unor decizii, instalația este prevăzută cu un echipament cuprinzând următoarele:

- vizor de sticlă pentru observarea procesului de topire și de turnare,
- vizor de sticlă pentru urmărirea nivelului apei din incinta de pulverizare,
- vizor de sticlă pentru urmărirea procesului de pulverizare din turnul de pulverizare,
- măsurarea temperaturii topiturii,
- măsurarea temperaturii creuzetului intermediar,
- măsurarea temperaturii apei din incinta de pulverizare,
- măsurarea presiunii și a debitului pe conducta de alimentare cu gaz inert,
- măsurarea presiunii gazului la ieșirea din dispozitivul de pulverizare,
- măsurarea presiunii din incinta de topire,
- măsurarea temperaturii și presiunii apei de răcire a mantalei,
- măsurarea temperaturii și presiunii apei de răcire a inductorului.

Instalația poate face față varietății mari în ceea ce privește posibilitățile de alegere a materialului, de realizare a procesului de topire și de pulverizare, de influențare a fracțiilor de pulbere obținute, prin intermediul parametrilor de lucru realizabili:

- utilizarea vidului sau gazului inert pentru elaborarea de aliaje,
- temperatură de topire de până la 1600 °C,
- temperatura creuzetului intermediar de până la 1000 °C,
- putere de topire maximă de 56 kw, la 8000 Hz,
- dispozitiv de alimentare cu gaz inert pentru topirea aliajelor cu componente având presiune ridicată de vapori,
- productivitatea de pulverizare 10 kg/min,
- dimensiuni variabile ale duzei de scurgere din creuzetul intermediar,
- dispozitive variate pentru sistemul de duze a agentului de pulverizare (gaz inert),
- parametrii gazului inert (presiune de la 0 la 60 bar), reglabili în limite largi,
- în cazul pulverizării cu apă, recomandabilă la aliajele fără risc ridicat de oxidare, pompa Womma aflată în dotare permite atingerea presiunii de 100 bar.

Instalația de pulverizare permite mărimi variabile ale șarjei, între 5 și 10 kg.

Cuptorul pentru topirea aluminiului (cuptor cu inducție) și pâlnia de turnare se află plasate în incinta clopotului care se compune dintr-o manta și un capac. Pereții sunt realizați din oțel inoxidabil, nemagnetic. Capacul clopotului este prevăzut cu un vizor de sticlă ce face posibilă observarea întregii incinte interioare și guri de vizitare care permit controlarea temperaturii în creuzet și în pâlnie, introducerii și evacuării gazului de protecție sau presurizării incintei. Mantaua este prevăzută cu guri de vizitare pentru monitorizarea procesului de elaborare. Tot pe corpul mantalei se află flanșa prin intermediul căreia se face racordul la agregatul de vid, și ștuțurile destinate intrării respectiv ieșirii apei de răcire.



Fig. 2.44 Incinta de elaborare (manta și capac)

Pentru prevenirea solidificării topiturii în creuzetul intermediar, acesta se încălzește la temperatura de 900 ... 1000 °C. Se recomandă utilizarea kanthalului ca element de încălzire al pâlniei de turnare și nu a grafitului, pentru eliminarea timpului de așteptare necesar pentru răcirea sub gaz inert a elementelor de încălzire din grafit și pentru evitarea impurificării mediului, respectiv a aliajului, cu carbon. Orificiul duzei ceramice de la partea inferioară a creuzetului, utilizate pentru dirijarea topiturii spre incinta de pulverizare, este de 6 mm.

Alimentarea cu curent a cuptorului de topire se realizează printr-o instalație de inducție cu frecvență medie, care cuprinde următoarele unități funcționale:

- generatorul de frecvență medie/grupul de alimentare,
- electronica de control,
- electronica de comandă,
- electronica de putere,
- alimentarea cu apă de răcire și
- panoul de comandă (de unde se reglează parametrii de lucru).

Dispozitivul de pulverizare (placa cu ajutaje/duze și sistemul lor de reglare) este fixat prin intermediul unei plăci culisante pe partea interioară a capacului containerului de pulverizare. Pentru reglare sau schimbare duze, această placă poate fi ușor demontată și scoasă din instalație. Pulverizarea se poate realiza folosind un număr de 12 ajutaje/duze cu secțiune circulară.

Intrucat argonul este necesar in trei puncte diferite ale instalatiei, aceasta va fi dotata cu o rampa speciala la care se vor cupla simultan trei buteli de argon (200 bar, 10 m<sup>3</sup>/butelie). O butelie va fi folosita in exclusivitate pentru pulverizare, una pentru spalarea incintei de pulverizare, iar cea de-a treia, pentru protectia clopotului.

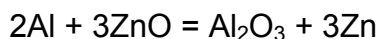
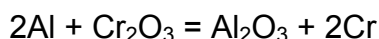
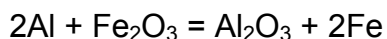
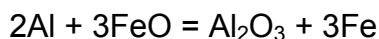
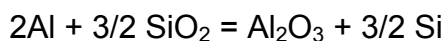
Incinta de pulverizare este prevăzută și cu o gură de acces în interior, pentru curățire (îndepărtare particule sudate de pereții interiori). Gazul utilizat la pulverizare, ce conține particule foarte fine de pulbere, este evacuat din incintă și dirijat spre recipientul de epurare de unde pulberea poate fi recuperată ulterior.

Pentru a se preveni formarea incluziunilor solide și gazoase, și pentru a se obține în final un material de calitate, o atenție deosebită trebuie acordată alegerii:

- compoziției căptușelii spațiului de lucru în agregatul de topire,
- încărcăturii,
- mediului de protecție a suprafeței băii metalice (zgură, vid, atmosferă neutră etc.).

În timpul procesului de elaborare al aluminiului, multe din gazele prezente în atmosfera cuptorului pot să reacționeze cu acesta.

La elaborarea aluminiului nu este permis să se folosească căptușeli care conțin oxizi de siliciu, fier, crom și zinc deoarece se pot produce reacții de tipul:



Oxizii obținuți rămân în stare solidă la suprafața căptușelii sau pătrund în baia metalică sub formă de incluziuni nemetalice. Metalele reduse din oxizii căptușelii trec în aliaj dacă se dizolvă în acesta. În cazul în care reacțiile se desfășoară fără să se producă modificări importante de volum, oxizii rezultați pot rămâne la suprafața căptușelii, formând un strat nou de material refractar, care nu intră în reacție cu metalul, se menține destul de bine și nu împiedică mersul procesului de elaborare.

Pulberea de aluminiu obținută va trebui uscată într-un cuptor electric urmând a fi sitată pe o sită mecanică. Granulele de pulbere care depășesc ochiurile sitei de 0.25 mm va fi considerată refuz și se va refolosi în următorul proces de elaborare.

### 2.3.3 CARACTERIZAREA PULBERII DE ALUMINIU

În urma elaborării acestui tip de pulbere, se dorește a se obține următoarele caracteristici fizice și chimice conform nomenclatorului de standarde.

#### **Caracteristici fizice:**

- *Forma granulelor*

Forma granulelor, care este determinată de metoda de fabricație a pulberii, poate fi sferică, ovoidală, poliedrică, lamelară, lenticulară, dendritică, aciculară etc. Aprecierea cantitativă a formei granulelor se poate exprima prin raportul dintre dimensiunile măsurate după cele trei direcții (coeficientii de formă). Determinarea formei granulelor se face cu lupa, cu microscopul metalografic sau cu cel electronic.

Pulberile din aluminiu sunt formate din granule de formă sferică neregulată, de culoare alb-cenușiu cu aspect metalic, caracteristic procedurii de obținere.

Pulberile din aluminiu trebuie să nu conțină impurități mecanice sau aglomerări.

- *Mărimea granulelor și repartitia granulometrică*

Are influență asupra proprietăților tehnologice ale pulberilor, asupra proprietăților semifabricatelor presate și ale produselor sinterizate finite. Repartiția granulometrică se poate exprima sub o formă tabelară sau sub formă de grafice. Determinarea acestora se face prin analiza de cernere folosind un set de site standardizate, așezate pe un vibrator electromagnetic.

În tabelul următor sunt date valorile maxime a ponderii fracțiunii granulometrice [%] în funcție de numărul țesăturii de sârmă a diferitelor sorturi de pulberi de aluminiu (PA).

Tabelul 2.15

| Marca   | Numărul țesăturii de sârmă [mm], conform STAS 1077-67    |               |               |               |                |                  |        |
|---------|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|--------|
|         | >0.25                                                    | <0.25<br>>0.2 | <0.2<br>>0.16 | <0.16<br>>0.1 | <0.1<br>>0.071 | <0.071<br>>0.063 | <0.063 |
|         | Valoarea maximă a ponderii fracțiunii granulometrice [%] |               |               |               |                |                  |        |
| PA 025  | 98                                                       | 2             | -             | -             | -              | -                | -      |
| PA 02   | -                                                        | 98            | 2             | -             | -              | -                | -      |
| PA 016  | -                                                        | -             | 94            | 6             | -              | -                | -      |
| PA 01   | -                                                        | -             | -             | 92            | 8              | -                | -      |
| PA 0071 | -                                                        | -             | -             | -             | 92             | 8                | -      |
| PA 0063 | -                                                        | -             | -             | -             | -              | 90               | 10     |
| PA 0    | -                                                        | -             | -             | -             | -              | -                | 100    |

- **Densitatea aparentă, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )**

Densitatea aparentă este, conform standardului SR EN 23923-1/98, următoarea:

Tabelul 2.16

| Marca   | Densitatea aparentă [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]<br>min |
|---------|-------------------------------------------------------|
| PA 025  | 1.0                                                   |
| PA 02   | 1.0                                                   |
| PA 016  | 1.0                                                   |
| PA 01   | 1.0                                                   |
| PA 0071 | 1.0                                                   |
| PA 0063 | 1.2                                                   |
| PA 0    | 1.2                                                   |

### **Compoziția chimică**

Compoziția chimică, adică cantitatea procentuală a componentelor dintr-un aliaj sau dintr-un amestec de pulberi, respectiv cantitatea elementelor însoțitoare și a impurităților, se determină prin metodele cunoscute și în majoritate standardizate, ale chimiei analitice. Având în vedere importanța deosebit de mare a conținutului de oxigen din pulberile

metalice asupra proprietăților fizico-mecanice și tehnologice ale acestora, determinarea conținutului de oxigen este analiza cea mai importantă dintre cele aplicate în metalurgia pulberilor.

Compoziția chimică, în special cantitatea de impurități reprezintă unul dintre factorii de importanță majoră în metalurgia pulberilor, aceasta nu numai pentru ca influențează proprietățile produsului finit, dar afectează în același timp și procesele de prelucrare a pulberilor în formă finală.

În tabelul 2.17 se poate observa analiza pulberii de aluminiu obținută prin atomizare precum și prezența unor impurități de Fe, Si, Cu, Zn, și cantitatea umidității și a conținutului de grăsimi.

Tabelul 2.17

Compoziția chimică a pulberii de aluminiu

| Marca   | Aluminiu activ [%]<br>min | Impurități [%] max |      |      |      |                               |                       |
|---------|---------------------------|--------------------|------|------|------|-------------------------------|-----------------------|
|         |                           | Fe                 | Si   | Cu   | Zn   | H <sub>2</sub> O<br>umiditate | Conținutul de grăsimi |
| PA 025  | 97.0                      | 0.50               | 0.30 | 0.02 | 0.05 | 0.1                           | urme                  |
| PA 02   | 97.0                      | 0.75               | 0.20 | 0.02 | 0.05 | 0.1                           | urme                  |
| PA 016  | 96.0                      | 0.5                | 0.20 | 0.03 | 0.05 | 0.08                          | urme                  |
| PA 01   | 95.6                      | 0.5                | 0.20 | 0.03 | 0.05 | 0.08                          | urme                  |
| PA 0071 | 95.0                      | 0.5                | 0.30 | 0.03 | 0.05 | 0.08                          | urme                  |
| PA 0063 | 93.0                      | 0.8                | 0.30 | 0.03 | 0.05 | 0.09                          | urme                  |
| PA 0    | 92.0                      | 0.8                | 0.30 | 0.03 | 0.05 | 0.5                           | urme                  |

## BIBLIOGRAFIE

1. M.Ienciu, P.Moldovan, N Panait, s.a., Elaborarea si turnarea aliajelor neferoase, Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 1982
2. Palfalvi s.a., Tehnologia materialelor, EDP Bucuresti, 1985.
3. Domsa s.a., Tehnologia fabricarii pieselor din pulberi metalice, ET Bucuresti, 1966.
4. M. Cojocaru, Producerea si procesarea pulberilor metalice, Ed. MATRIX ROM, Bucuresti, 1997.
5. R. Muresan, - Metalurgia Pulberilor, Editura U.T.Pres, Cluj-Napoca, 2005.
6. S. Gadea, M. Protopopescu, - Aliaje neferoase, Editura Tehnica, Bucuresti, 1965.
7. Vida-Simiti, - Proprietati Tehnologice in Metalurgia Pulberilor, Editura Enciclopedica, Bucuresti, 1999.

8. T. Surdeanu, M. Pernes, *Piese sinterizate din pulberi metalice*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1984.
9. J. White, K. Mingard, I. Hughes, *Aluminium alloys with unique property combinations by spray casting*, Powder Metallurgy, vol 37, no 2, pag 129-132, 1994.
10. M. Bibu, *Metalografia aliajelor feroase si neferoase*, Editura Universitatii Lucian Blaga, Sibiu, 2000
11. G. Zirbo, E. Nagy, E. Riti-Mihoc, *Aliaje de aluminiu pentru turnatorie*, Editura Dacia, 1998.
12. M. Ienciu, P. Moldovan, N. Panait, s.a., *Elaborarea si turnarea aliajelor neferoase speciale*, Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 1985
13. Institutul roman de standardizare, *Culegere de standarde comentate. Pulberi metalice*, Bucuresti 1994
14. Hatch, J.E., *Aluminium: Properties and Physical Metallurgy*, ASM Metals Park, OH, 1984
15. Simensen, C. I., Lauritzen, J.L., *Aluminium*, Nr.2, 1980
16. \*\*\*A III-a conferinta nationala de metalurgia pulberilor, Cluj-Napoca, 1988
17. V. Nicolae, *Tehnologia metalelor*, Litografia IPCI Cluj-Napoca, vol.II, 1978.
18. \*\*\* - Depend on union process attritors –MPR ,48/11,1993,13
19. Benghekov, G.I., Zlobin, G.P.- *Novel method of powder compaction*, World Conference On Powder Metallurgy Proceedings, vol. 2, , London, July, 1990.
20. S. Berkovits, *Progrese în pulverizarea din fază lichidă a metalelor cu afinitate chimică ridicată față de oxigen*, A treia conferință națională de metalurgie, Cluj-Napoca, 1983,
21. C.A. Calow, C.R. Tottle, *The measurement and form of porosity in the loose sintering of copper compacts*, Powder Metallurgy, vol.8, no.15 (1965), p.1-19
22. M. Burger, E.v. Berg, S.H. Cho, A. Schatz, *Fragmentation processes in gas and water atomization plants for process optimization purposes. I. Discussion of the main fragmentation processes*, Powder Metallurgy International, vol.21, no.6, (1989), p.10-14
23. R.I.L. Howells, G.R. Dunstan, C. Moore, *Production of gas atomised metal powders and their major industrial uses*, Powder Metallurgy, 31 (1988), p.259-266
24. Gh. Amza, G.M. Dumitru, V.O. Rîndașu, *Tehnologia materialelor*, vol.1, Editura Tehnică, București, (1997)
25. T. Surdeanu, M. Perneș, *Piese sinterizate din pulberi metalice*, Editura Tehnică, București, (1984)

26. I.E. Anderson, B.B. Rath, *Rapid solidification of copper-based alloys*, Materials Science and Technology Division, Washington DC 20375 – 5000, USA, (1997)
27. M. Bibu, *Metalografia aliajelor feroase și neferoase*, Editura Universității “Lucian Blaga”, Sibiu, (2000)
28. \*\*\* *New Perspectives in Powder Metallurgy. Fundamentals, Methods and Applications*, Vol. 7, Copper Base Powder Metallurgy, Published by Metal Powder Industries Federation Princeton, New Jersey 08540 USA, ISBN 0-918404-47-9, (1980).
29. S. Șontea, M. Mangra, C. Dumitru, D. Tărăță, Gh. Văduvoiu, P. Herscovici, D. Mazilu, I. Pascu, *Metalurgia pulberilor. Tehnologii de lucru și aplicații*, Ed. Universitaria, Craiova, ISBN 973-9271-80-7, (1999).
30. *Characteristics and Properties of copper and copper alloy P/M materials*, Technical reports, Powder Metallurgy (1999), [www.copper.org](http://www.copper.org)
31. *Copper & copper alloy microstructures*, Technical reports, Powder Metallurgy (1999), [www.copper.org](http://www.copper.org)
32. K. Rzesnitzek, W.A. Kaysser, G. Petzow, *Atomization of Cu-alloys*, PM'90 World Conference on Powder Metallurgy, 2-6 July, 1990, London, vol.2, p.7-10.
33. M. Dombroski, A. Lawley, D. Apelian, *Sintered properties of copper compacts*, J. Powder Metallurgy, vol.28, no.1, (1992), p.27-39.

## **STUDII ASUPRA PARAMETRILOR CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESELE DE OMOGENIZARE LA FABRICAȚIA SEMIFABRICATELOR DEFORMABILE DE TIP CuNiAl**

### **CAP. III. EFECTUL PARAMETRILOR DE REGIM ASUPRA PROCESELOR DE OMOGENIZARE LA FABRICAREA SEMIFABRICATELOR DEFORMABILE DE TIP CuNiAl – SUDOTIM**

#### **3.1 EFECTUL PARAMETRILOR DE REGIM ASUPRA PROCESELOR DE OMOGENIZARE LA FABRICAREA SEMIFABRICATELOR DEFORMABILE DE TIP CuNiAl**

##### **3.1.1 TEHNOLOGII DE OMOGENIZARE ALE AMESTECURILOR PULVERULENTE**

Preomogenizare – operația de amestecare a materiilor prime pulverulente în stare uscată, în vederea obținerii unei repartitii uniforme a acestora.

Preomogenizare se face în trei situații, anume:

- dacă masa specifică a materiilor din rețeta de produs prezintă o împrăștiere mare care nu permite o omogenizare corespunzătoare
- dacă granulația materialului pulverulent se încadrează într-un ecart larg.
- dacă participarea procentuală a unui material, în rețeta de produs, este mult diferită de participarea celorlalte materiale.

Omogenizarea – operația de amestecare a materiilor prime pulverulente în stare uscată, în vederea obținerii unei repartitii uniforme a acestora în semifabricatele deformabile de tip CuNiAl.

##### **3.1.1.1 PREOMOGENIZAREA**

În cazurile mai sus menționate specifice și situației de față, este nevoie să se execute și o operație de preomogenizare. Aceasta operație se face în mod curent, într-un omogenizator cu tambur rotativ figura 1 .



Figura 1 Omogenizator cu tambur rotativ

Parametri de regim pentru preomogenizarea în tamburul rotativ sunt:

- greutatea totală a încărcăturii
- dimensiunile corpurilor de omogenizare
- puterea sistemului de acționare a omogenizatorului
- turația tamburului

**Greutatea totală a încărcăturii** se determină cu ajutorul relației:

$$G = \frac{N}{C\sqrt{D}} \quad [\text{KN}]$$

în care:

C – este un coeficient de putere depinzând de gradul de umplere al omogenizatorului și de turația acestuia. Este utilizat în situația în care pentru omogenizare sunt folosite corpuri de omogenizare de tipul bilelor fiind indicat în tabelul următor. Dacă nu sunt utilizate bile valoarea lui C este 1.

N – este puterea de antrenare a omogenizatorului, [KW].

G – este greutatea totală a încărcăturii, [KN].

| Corpuri de omogenizare | Gradul de umplere, % |      |      |      |      |
|------------------------|----------------------|------|------|------|------|
|                        | 10                   | 20   | 30   | 40   | 50   |
| Pietre de silex        | 0,95                 | 0,89 | 0,79 | 0,68 | 0,56 |
| Bile mari de oțel,     | 0,86                 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,51 |
| Bile mici de oțel      | 0,83                 | 0,76 | 0,68 | 0,59 | 0,49 |
| Cilindri de oțel       | 0,80                 | 0,74 | 0,66 | 0,57 | 0,43 |

Valorile coeficientului C este dat în tabelul pentru turația n.

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad [\text{rot/min}]$$

și pentru căptușeala netedă a omogenizatorului. Pentru căptușeli în trepte, valorile coeficientului C se măresc cu 10%.

Pentru alte turații decât cele corespunzătoare relației

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}}$$

valoarea lui C se modifică aproximativ proporțional cu turația.

La determinarea gradului de umplere a omogenizatorului se poate admite că materialul supus procesului de omogenizare umple golurile dintre corpurile de omogenizare vărsate.

Porozitatea încărcăturii cu bile este  $\varepsilon = 0,40$ , iar pentru încărcături cu bare  $\varepsilon = 0,17 - 0,20$ .

### **Dimensiunile corpurilor de omogenizare**

Din numeroasele formule date în literatura tehnică se va reține cea indicată de Bond :

$$d_{\max} = 20,17 \cdot \sqrt{\frac{A_{80}}{K}} \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{Bn}\rho}{X\sqrt{D}}} \text{ [mm]}$$

în care:

$A_{80}$  – dimensiunea materialului de alimentare, caracterizată prin dimensiunea ochiului sitei prin care trece 80% din material.

$K$  – parametru egal cu 350 pentru măcinarea umedă și cu 335 pentru măcinarea uscată.

$K_{Bn}$  – indice enrgetic.

$\rho$  - densitatea materialului supus mărunțirii.

$X$  – turația relativ egală cu raportul  $n/n_{cr}$ , în %.

$D$  – diametrul util al omogenizatorului, [m].

O altă formulă de calcul a diametrului bilei este dată de Bombled :

$$d_{bila} = \frac{93 \cdot A_{80}}{\sqrt[3]{B \cdot D}} \text{ [mm]}$$

în care B reprezintă coeficientul de omogenizabilitate.

Consumul specific de corpurile de omogenizare depinde de natura materialului supus măcinării, de finețea de omogenizare și de calitatea încărcăturii.

### **Puterea sistemului de acționare a omogenizatorului cu tambur rotativ**

În vederea determinării puterii necesare pentru acționarea omogenizatoarelor cu tambur rotativ, în literatura de specialitate sunt indicate metode de calcul care diferă în anumite privințe și conduc la rezultate care, de asemenea, sunt întrucâtva diferite.

Puterea necesară pentru acționarea unui omogenizator cu tambur rotativ, în condiții normale de exploatare, cuprinde, în esență, trei componente principale (celelalte presupunând consumuri neglijabile):

- puterea necesară pentru ridicarea materialului pe peretele omogenizatorului în timpul rotației sale ( $N_1$ );
- puterea necesară pentru învingerea frecării în lagărele fusurilor rolor de reazem raportată la inelele de rulare ( $N_2$ );
- puterea necesară pentru învingerea frecării de rostogolire între bandaje și role raportată la inelele de rulare ( $N_3$ ).

Puterea totală necesară acționării omogenizatoarelor cu tambur rotativ se poate deci calcula cu relația:

$$N \cong N_1 + N_2 + N_3 \quad (1)$$

Pentru  $N_1$  se poate scrie expresia :

$$N_1 = \frac{M_1 \omega}{1000 \eta} \quad [\text{Kw}] \quad (2)$$

în care:

- $M_1$  este momentul de ridicare a materialului pe peretele omogenizatorului în timpul rotirii sale.
- $\omega$  este viteza unghiulară a cuptorului;
- $\eta$  este randamentul global al transmisiei de la coroana dințată fixată pe corpul omogenizatorului până la cuplajul motorului.

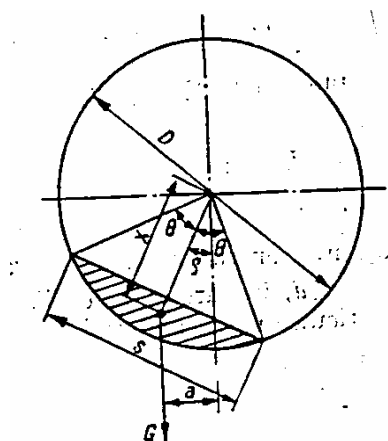


Figura 2

Momentul  $M_1$  se calculează ținând seama de fig.2 cu relația:

$$M_1 = \frac{(D \cdot \sin \theta)^3 L \cdot \gamma_v \cdot \sin \rho}{12} \quad (3)$$

Înlocuind în relația (2)  $M_1$  din relația de mai sus și în funcție de turația cuptorului se obține:

$$N_1 = \frac{(D \sin \theta)^3}{12 \cdot 9551 n} L \gamma_v \sin \rho \quad [\text{Kw}] \quad (4)$$

în care:  $D$  este diametrul util al cuptorului în m;

$\theta$  este jumătatea unghiului la centru al segmentului de cerc format de materialul aflat în cuptor;

$\gamma_v$  este greutatea volumică a materialului aflat în cuptor, în  $\text{N/m}^3$ ;

$L$  este lungimea utilă a cuptorului, în m;

$n$  este turația cuptorului, în rot/min;

$\rho$  este unghiul de ridicare a materialului considerat egal cu unghiul de taluz dinamic.

Considerând  $\varphi = 35^\circ$ ,  $\gamma_v = 12000 \text{ N/m}^3$  și  $\eta = 0,90$  (este cuprins de regulă între 0,85 și 0,90) rezultă:

$$N_1 = 0,067 (D \cdot \sin \theta)^3 L \cdot n \quad [\text{Kw}] \quad (4')$$

Relația astfel obținută nu diferă decât foarte puțin de cea dată de Boganov:

$$N_1 = 0,06875 (D \cdot \sin \theta)^3 L \cdot n \quad [\text{Kw}] \quad (4'')$$

Puterea  $M_2$  necesară învingerii frecării în lagărele fusurilor rotelor de reazem se calculează cu relația:

$$N_2 = \frac{M_2 \omega}{1000 \eta} \quad (5)$$

unde  $M_2$  este momentul învingerii frecării în lagăre, celelalte notații având semnificațiile arătate mai sus.

Pentru  $M_2$  se scrie:

$$M_2 = \frac{Q}{\cos \beta} \cdot \frac{f (d_B - d_F)}{2 d_R} \quad (6)$$

în care:  $Q$  este greutatea totală a părții rotitoare a omogenizatorului, cuprinzând corpul, căptușeala refractară, bandajele, coroana dințată și materialul aflat în omogenizator, în  $H$ ;

$\beta$  – unghiul de așezare a rolor de reazem, figura 3, de obicei  $30^\circ$ ;

$d_B$  – diametrul inelului de rulare (bandajului), fig.3;

$d_r$  – diametrul rolei de reazem, fig.3;

$d_F$  – diametrul fusului rolei de reazem, fig.3;

$f$  – coeficientul de frecare în lagărul rolor

( $f = 0,02$  pentru lagăre de alunecare cu ulei;

$f = 0,01$  pentru lagăre de rostogolire;

$f = 0,06$  pentru lagăre de alunecare cu unsoare).

Ținând seama de toate acestea și considerând  $\eta = 0,9$  :

$$N_2 = 0,58 \cdot 10^{-4} (Q / \cos \beta) \cdot n f (d_B \cdot d_F) / d_R \quad [\text{Kw}] \quad (7)$$

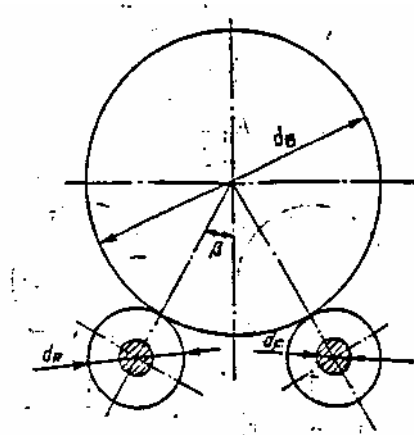


Figura 3

În SUA este indicată o relație foarte asemănătoare:

$$N_2 = 0,607 \cdot 10^{-4} \cdot Q_v \cdot d_B \cdot d_F \cdot n \cdot f / d_R \quad [\text{Kw}] \quad (8)$$

unde  $Q_v = Q / \cos \beta$ , și  $\beta = 30^\circ$ .

Pentru puterea necesară învingerii frecării de rostogolire între bandaje și role ( $N_3$ ) se indică relația:

$$N_3 = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot Q / \cos \beta \cdot (d_B + d_r) n / d_R \quad [\text{Kw}] \quad (9)$$

Se constată că în puterea necesară pentru acționarea omogenizatoarelor rotative, calculată cu ajutorul relației (1), suma ( $N_1 + N_2$ ) reprezintă peste 95%. Pentru a ține seama de deformațiile omogenizatorului la pornire, de modul de exploatare, de influența

proceselor care au loc în omogenizator asupra mișcării omogenizatoarelor, valorii puterii necesare de acționare a omogenizatoarelor cu cuptor rotativ – calculată cu relația (1), i se aplică un factor de multiplicare (de exploatare) cuprins între 1,25 și 1,40 (valoarea acestuia fiind mai mare pentru cuptoare de dimensiuni mai mari).

În relația (1), prin intermediul mărimii  $N_1$ , se ține seama de existența sau inexistența dispozitivelor interioare de intensificare a schimbului caloric; pe această cale însă, nu este evidențiată influența tipului de dispozitive utilizate; în acest scop, adeseori sunt utilizate relații globale de natură empirică. O astfel de relație este:

$$N = 0,25D^3 \cdot L \cdot n \cdot y_n \cdot \psi \cdot K_1 \text{ [Kw]} \quad (10)$$

în care:  $\Psi$  este coeficientul de umplere al cuptorului;

$K_1$  este coeficientul care caracterizează influența dispozitivelor interioare.

### Turația tamburului

Asupra încărcăturii ajunsă într-un punct oarecare A (fig.4) a traiectoriei sale circulare, acționează forța centrifugă  $C$  în direcția radială și forța gravitațională  $G$  în direcția verticală în jos.

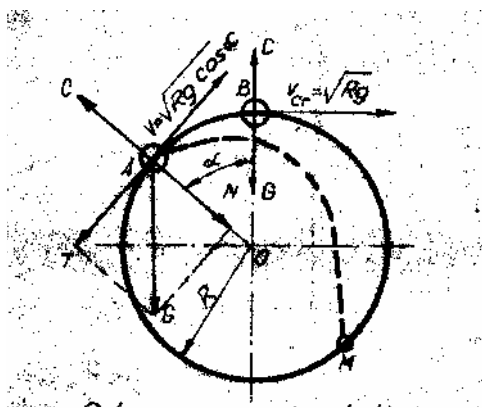


Figura 4 Schema de circulație a încărcăturii în omogenizator.

Dacă se înseamnă cu  $\alpha$  unghiul format din axa verticală cu raza OA, se constată că încărcătura va rămâne apărută de cătușeală atâta timp cât forța centrifugă este egală sau mai mare decât componenta radială a forței gravitaționale.

$$C \geq N \quad \text{sau} \quad \frac{mV^2}{R} \geq G \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Din ecuația (1) rezultă, cu  $G = mg$  :

$$v^2 = Rg \cos \alpha \quad (2)$$

sau introducând în ecuația (2) :

$$v = \frac{\pi R n}{30}$$

se obține turația :

$$n = 30 \frac{\sqrt{\cos \alpha}}{\sqrt{R}} \cdot \frac{\sqrt{g}}{\pi} \quad [\text{rot/min}] \quad (3)$$

Turația critică este atinsă când încărcătura ajunge în punctul B, unde

$\alpha = 0$ . În acest caz valoarea ei va fi dată de relația :

$$n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{R}} \quad [\text{rot/min}] \quad (4)$$

Prin R s-a indicat raza traiectoriei circulare a încărcăturii. Dacă se înseamnă cu  $R_1$  raza interioară a căptușelii omogenizatorului, adică

$2R_1 = D =$  diametrul util al omogenizatorului și cu  $r_B =$  raza încărcăturii, relația (4) se clasifică astfel:

$$n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{R_1 - r_B}} \quad (6)$$

dar în mod practic se poate neglija  $r_B$  și se poate exprima turația critică prin relația:

$$n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{R_1}} \quad [\text{rot/min}] \quad (7)$$

sau

$$n_{cr} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad [\text{rot/min}] \quad (8)$$

Combinând relațiile (3) și (7) se va obține:

$$n = n_{cr} \sqrt{\cos \alpha} \quad [\text{rot/min}] \quad (9)$$

Turația critică astfel obținută, se referă numai la primul strat de încărcătură, iar pentru întreaga încărcătură ea se poate deduce în modul următor:

La atingerea vitezei critice pentru întreaga încărcătură (fig.5) și la un grad de umplere a omogenizatorului  $\xi$  (raportul dintre volumul ocupat de încărcătură și volumul util al omogenizatorului) se obține următoarea egalitate:

$$R_e^2 \cdot L \cdot \xi = L \cdot (R_e^2 - R_i^2) \cdot \pi = L R_e^2 (1 - m^2) \pi \quad (10)$$

în care:  $R_e$  este raza utilă a omogenizatorului;

$R_i$  este raza interioară a încărcăturii;

$L$  este lungimea utilă a omogenizatorului;

$$m = \frac{R_e}{R_i}$$

și din care rezultă:  $m = \sqrt{1 - \xi}$  (11)

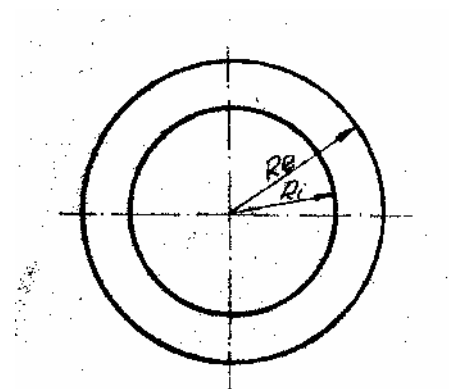


Fig.5 Omogenizator cu turația critică a întregii încărcături.

Turația critică a stratului interior se obține din relația (7).

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{R_i}} = \frac{30}{\sqrt{m \cdot R_e}} = \frac{30}{\sqrt{1 - \xi} \sqrt{R_e}} = \frac{n_{cr}}{\sqrt{1 - \xi}} \quad (12)$$

Astfel rezultă:

| $\xi, [\%]$ | $n_{cr}, [\%]$ |
|-------------|----------------|
| 30          | 110            |
| 40          | 114            |
| 50          | 119            |

### 3.1.1.2 OMOGENIZAREA

Operația de omogenizare a materialelor pulverulente în cazul de față a amestecului de cupru, aluminiu, nichel și fier se poate executa într-o gamă relativ largă de utilaje. În cele ce urmează sunt prezentate câteva dintre acestea cu avantajele și dezavantajele aferente.

Omogenizarea în malaxor de tip Kolergang, figura 6.



Figura 6 Malaxor de tip Kolergang

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față pluguri și role bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului de tip Kolergang rezultă din faptul că timpul de omogenizare se poate regla iar aglomerarea materialului de omogenizat este împiedicată de presiunea pe care o dezvoltă presiunea de omogenizate de tip rolă. Dezavantajul constă în aceea că omogenizarea este însoțită și de măcinare a amestecului pulverulent care contribuie la modificarea rețetei granulometrice.

Omogenizarea în omogenizatorul cu plug și șicane prezentat în figura 7



Figura 7 Omogenizator cu plug și șicane

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față pluguri bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului cu plug și șicane rezultă din faptul că timpii de omogenizare se poate regla. Dezavantajul constă în aceea că permite separarea pe fracții de masă, în cazul căderii libere a materialului în incintă, situație întâlnită pentru omogenizarea la viteze a materialului de omogenizat mai mici decât viteza critică.

Omogenizatoarea în omogenizator cu talere și pieptene ,figura 8.



Figura 8 Omogenizator cu talere și pieptene

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare, în cazul de față taler și pieptene, bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului cu taler și piptene rezultă din faptul că timpul de omogenizare se poate regla iar aglomerarea materialului de omogenizat este împiedicată de piptene care sparge masa aglomerată. Dezavantajul constă în aceea că omogenizarea este însoțită și de degajări de praf metalic în mediul ambiant.

Omogenizarea în omogenizatorul cu cuvă și paletă, figura 9



Figura 9 Omogenizator cu paletă

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față paleta bine determinate. Corpul de omogenizare execută simultan două mișcări, o mișcare de rotație în jurul axei și o mișcare pe o traiectorie elicoidală a axei de rotație. Avantajele utilizării malaxorului cu paletă rezultă din faptul că timpii de omogenizare se pot, regla iar aglomerarea materialului de omogenizat este împiedicată de configurația geometrică a paletelor. Dezavantajul constă în aceea că între corpul de omogenizare și peretele cuvei pentru material, datorită spațiului existent pot să apară aglomerări de amestec și în final material neomogenizat și rețete de produs neconforme cu prescripțiile.

Omogenizarea în omogenizatorul cu melci, figura 10.



Figura 10 Omogenizator cu melci

Omogenizarea în omogenizatorul cu tambur și șicane, figura 11



Figura 11 Omogenizator cu tambur și șicane

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față, tamburul cu șicane ce execută o mișcare de rotație în jurul unui ax înclinat, bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului cu tamburi și șicane rezultă din faptul că timpii de omogenizare se pot regla, iar aglomerarea materialului de omogenizat este împiedicată de configurația geometrică a șicanelor. Dezavantajul constă în degajări de praf metalic în mediul ambiant.

Omogenizarea în omogenizatorul cu bile și cuvă în mișcare elicoidală, figura 12



Figura 12 Omogenizator cu bile și cuvă în mișcare elicoidală

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față, bile în cuvă, ce execută o mișcare de rotație pe o traiectorie elicoidală, bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului cu bile și cuvă, rezultă din faptul că timpii de omogenizare se pot regla. Dezavantajul constă în aceea că omogenizarea este însoțită și de măcinare a amestecului pulverulent care contribuie la modificarea rețetei granulometrice.

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare, în cazul de față doi melci care se rotesc în sens invers, bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului cu melci rezultă din faptul că timpul și temperatura de omogenizare se pot regla iar aglomerarea materialului de omogenizat este împiedicată de configurația geometrică a melcilor. Dezavantajul constă în aceea că între corpul de omogenizare și peretele cuvei, datorită spațiului existent pot să apară aglomerări de amestec și în final material neomogenizat și rețete de produs neconforme cu prescripțiile.

Omogenizarea în omogenizatorul planetar, figura 13



Figura 13 Omogenizator planetar

Acest utilaj este caracterizat prin masă de omogenizare, putere a instalației de acționare și turație a corpurilor de omogenizare în cazul de față, cuve cu bile care execută o mișcare planetară de rotație în jurul unui ax, bine determinate. Avantajele utilizării malaxorului planetar rezultă din faptul că timpii de omogenizare se pot regla. Dezavantajul constă în aceea că omogenizarea este însoțită și de măcinare a amestecului pulverulent care contribuie la modificarea rețetei granulometrice.

### 3.1.2 TEHNOLOGIE DE DETERMINARE ȘI CONTROL A OMOGENITĂȚII AMESTECURILOR

Amestecul pulverulent din învelișul electrozilor, miezului sârmelor tubulare sau fluxurilor pentru sudare are diferiți componenți ( mică, alb de titan, rutil, marmură, feromangan, wolastonit, feldspat, celuloză, etc.) care influențează caracteristicile la sudare . Omogenitatea amestecului pulverulent are un rol important pentru calitatea materialelor de sudare.

Omogenitatea amestecului pulverulent se poate determina prin analize chimice, gravimetrice sau raze X. Fiecare din aceste metode prezintă avantaje și dezavantaje, care sunt evidențiate prin cercetările întreprinse pe diferite amestecuri pulverulente.

#### A Metoda chimica

A fost aplicata la amestecul pulverulent al fluxului aglomerat pentru lipire [5]. Materiile prime dozate au fost introduse in omogenizator, iar la intervale de timp prestabilite, s-au prelevat din centrul cuvei probe de amestec, dupa care s-a continuat omogenizarea. Probele au fost supuse analizei chimice umede specifice fiecarui compus chimic oxidic, dupa ce, in prealabil s-au efectuat dezagregarea alcalina, topirea si solubilizarea.

Rezultatele obținute sunt redată în figura 14.

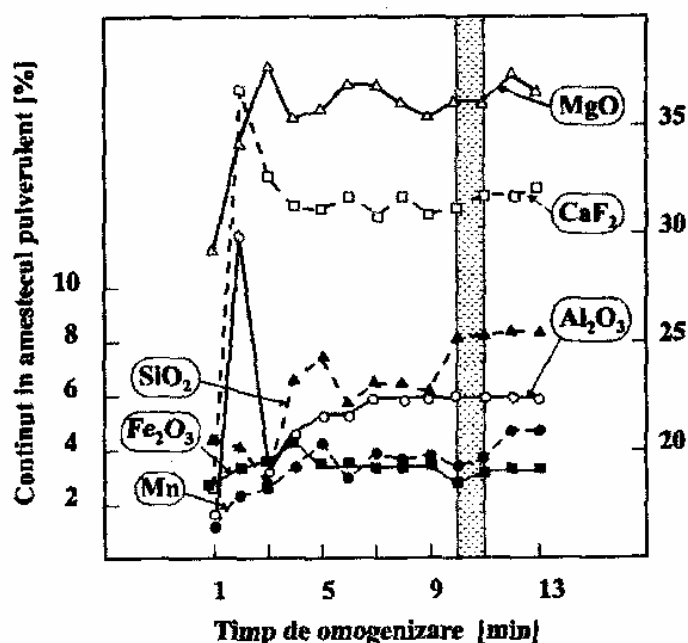


Figura 14 Variația compoziției chimice

Omogenitatea amestecului a fost apreciată după numărul și mărimea diferențelor între conținuturile în aceiași componente, la timpi succesivi de omogenizare. Astfel, la timpi de sub 7 minute amestecul are neomogenități mari. În continuare omogenitatea se ameliorează treptat, atinge optimul în 10..11 minute, după care se deteriorează din nou.

Metoda chimică este laborioasă (durează săptămâni), pretinde personal cu calificare superioară și atât de costisitoare, încât descurajează explorarea mai multor locuri de prelevare a probelor, deci nici nu oferă siguranța estimării directe a omogenizării. O variantă simplificată este cea a aprecierii PH pe probe.

## **B Metoda gravimetrică**

A fost aplicată la amestecul pulverulent analizat anterior prin metoda chimică [5]. Materiile prime dozate au fost introduse în omogenizator, iar la intervale de timp prestabilite, s-au prelevat probe de amestec, din aceiași 5 locuri uniform distribuite în interiorul cuvei, după care s-a continuat omogenizarea. La fiecare probă s-a determinat densitatea gravimetrică a granulelor de pulbere, iar la fiecare set de câte 5 valori pentru fiecare timp de omogenizare s-au calculat abaterile medii pătratice  $s_u^2$ .

Rezultatele sunt reprezentate în figura 15. Omogenizarea optimă s-a atins în zona de extrem a curbei, tot în intervalul găsit prin metoda chimică, între 10..11 minute.

Metoda gravimetrică duce la evaluarea directă a omogenizării, este simplă (durează cca ½ ore), nu pretinde decât personal cu calificare medie și este ieftină. Determinările sunt însă meticuloase, iar rezultatele sunt afectate de incertitudinea substituiri substanțelor cu densități apropiate.

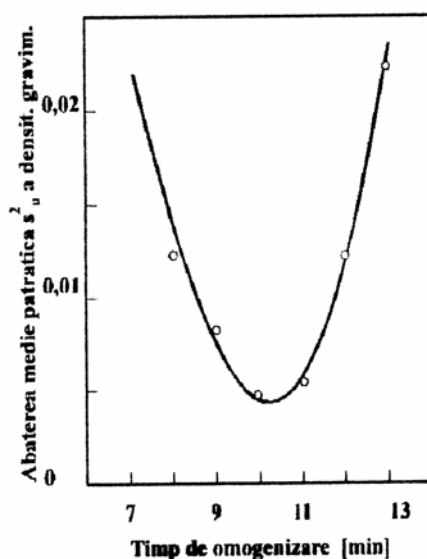


Figura 15 Variația densității gravimetrice

## C Metoda cu raze X

A fost aplicată la amestecul pulverulent de la învelișul electrozilor pentru sudare Timtit [6].

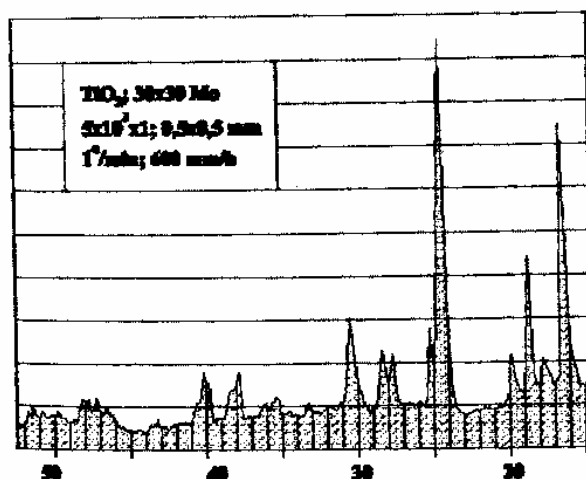


Figura 16 Spectrul caracteristic pentru albul de titan

Metoda se bazează pe identificarea fiecărei substanțe din învelișul de electrod prin spectrul de raze X caracteristic. Difracția cu raze X a fost efectuată cu un aparat echipat cu un suport pentru analiza pulberilor, folosind radiația  $K_{\alpha}$  a molibdenului.

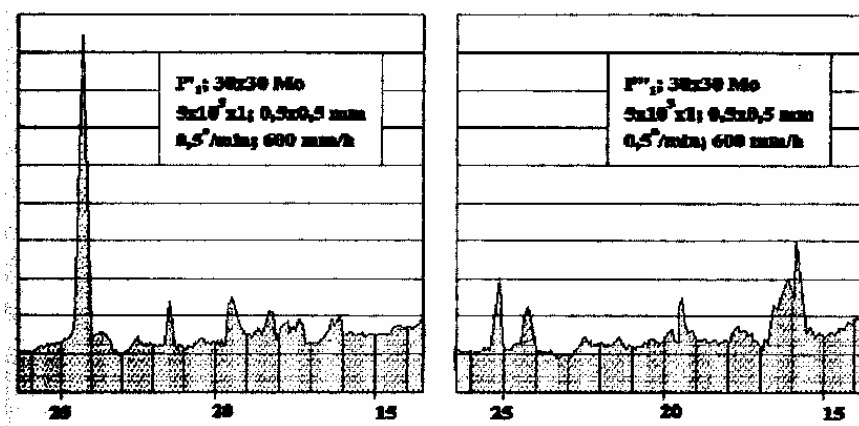
La început s-a considerat că volumul critic de material necesar de investigat este materializat de învelișul topit pe adâncimea craterului format la sudare. În funcție de adâncimea craterului, diametrul sărmei și grosimea învelișului, volumul critic poate varia între cca. 8 și 500 mm<sup>3</sup>. Prin încercări s-a stabilit volumul efectiv de cca. 40 mm<sup>2</sup> pentru analiza cu raze X. Apoi s-a ales criteriul de evaluare a obținerii omogenității optime. Un criteriu cantitativ, pe lângă gradul de subiectivitate discutabil introdus, ar fi fost afectat și erorile de măsurare. De aceea s-a preferat un criteriu calitativ. În acest scop s-a introdus noțiunea de parametru de omogenitate  $K_0$ : suma diferențelor absolute între ariile spectrelor obținute de la mai multe probe de amestec, luate din locuri diferite, pentru același tip de omogenizare. Evoluția în timp a parametrului  $K_0$  permite aprecierea timpului optim de optimizare a amestecului pulverulent.

Inițial s-au analizat cu raze X toți componenții din înveliș, pentru a cunoaște aspectul spectrelor individuale. În figurile 16 se prezintă spre exemplificare, spectrul de difracție pentru albul de titan. Se observă că spectru are o arie specifică și linii de difracție dispuse la anumite unghiuri. S-a constatat că toate substanțele analizate au parte

principală a spectrului în intervalul 20 ( $14^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). De aceea difracția tuturor probelor de amestec s-a efectuat în acest domeniu unghiular.

Când toate substanțele sunt în amestec, fiecare din ele va da o participare în spectru de difracție comun, funcție de natura și de cantitatea lor și de asemenea funcție de natura și cantitățile celorlalte substanțe. Mărimea care caracterizează spectrul comun de difracție, în cazul existenței tuturor liniilor acestuia, e aria spectrului.

Un factor perturbator e texturarea, deși probele de analiză sunt obținute prin presarea identică a amestecului pulverulent în suporti de cuarț amorf. Astfel pe aceeași probă selectată prin alte metode ca fiind omogenă, se obține spectre de difracție ca în figurile 17 și 18, pentru două zone diferite decalate cu un unghi  $\theta$  arbitrar, în urma rotirii probei în jurul unui ax perpendicular pe suprafața ei.

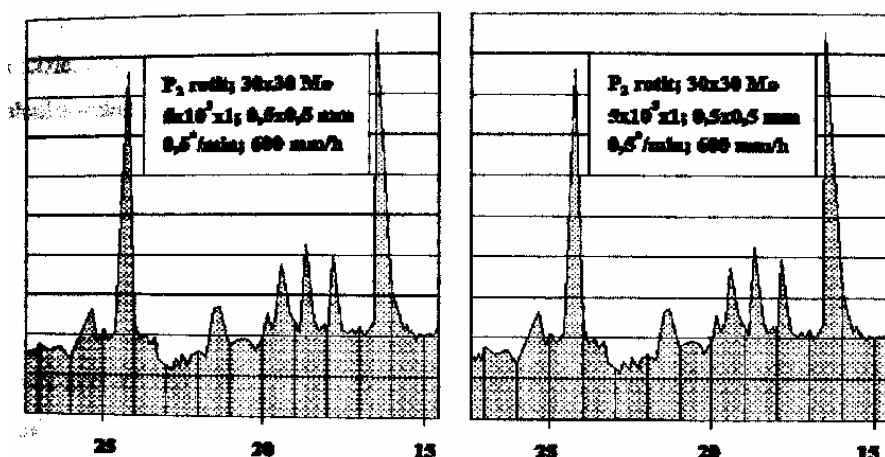


Figurile 17 și 18 Spectre caracteristice pentru două zone fixe decalate între ele cu un unghi  $\theta$  arbitrar

Rotirea probei rezolvă atât înlăturarea efectului textură, cât și investigarea mai precisă a probei. Având în vedere dimensiunea maximă a fantelor de intrare și de ieșire a radiației X și adâncimea de pătrundere a radiației în material, se poate investiga un volum de cca.  $40 \text{ mm}^3$  (un cilindru cu diametrul maxim de 12 mm și cu înălțimea de 0,35 mm) care se încadrează în volumul critic pentru evaluarea omogenității. Dispunerea facilitează investigarea identică a tuturor punctelor probei.

În figurile 19 și 20 sunt exemple reprezentative de spectre caracteristice pentru timpul optim de omogenizare, efectuate pe două probe prelevate din locuri diferite și examinate apoi la rotire complexă. Se observă identitatea de linii a acestora și o oarecare diferență de arii.

Cu ajutorul unui program de calcul, s-a determinat aria spectrelor și s-au însumat diferențele absolute ale acestor arii, luate două câte două, obținându-se valoarea parametrului de omogenizare  $K_0$ , pentru fiecare timp de amestec.



Figurile 19 și 20 Spectrul la omogenizarea optimă pe probele 1 și 2 rotite complet

Rezultatele experimentale ale parametrilor de omogenizare, în funcție de timp, sunt date în tabelul următor și reprezentate grafic în figura 21. Extremul graficului este la cca. 12 minute, deci acesta este timpul optim de omogenizare al amestecului pulverulent pentru învelișul electrozilor Timtit.

| Timp [min] | $K_0$ |
|------------|-------|
| 4          | 515   |
| 6          | 347   |
| 8          | 253   |
| 10         | 147   |
| 12         | 109   |
| 14         | 163   |
| 16         | 323   |
| 18         | 547   |

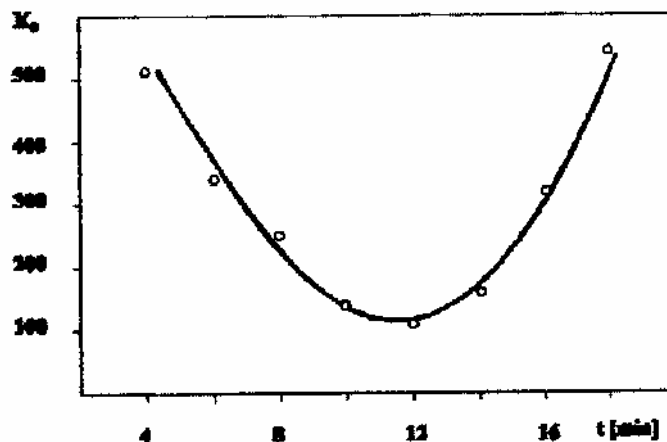


Figura 21 Variația parametrilor de omogenizare

Față de metodele precedente, analiza difractometrică are un grad mai avansat de precizie, este mai reproductibilă și mai rapidă, iar rezultatele obținute se pot prelucra cu ajutorul calculatorului.

### 3.1.3 CARACTERISTICI DEFINITORII ALE MATERIALELOR PENTRU PROCESELE DE OMOGENIZARE

În procesele de fabricare a vergelelor din componența electrozilor pentru sudare și încărcare prin sudare, operația de omogenizare prezintă o importanță deosebită deoarece este elementul de bază al constanței calitative a produsului. Această operație se aplică materiilor pulverulente, ce intră în constituția semifabricatului sinterizat (în participații conforme cu rețeta de produs), a liantul (cupru) în stare pulverulentă și amestecului dintre masa de sinterizare și plastifiantul utilizat .

În cele ce urmează sunt prezentate cele mai importante proprietăți ale materialelor care concură la obținerea unui nivel calitativ al omogenității satisfăcătoare fabricației vergelelor de electrozi, pe baza principiilor din metalurgia pulberilor.

#### 3.1.3.1 CARACTERISTICILE ELEMENTELOR DIN COMPONENTA METALULUI DEPUȘ

Compoziția chimică a depunerilor de tipul **bronzurilor CuNiAl, cu cca. 9%Al; 5%Ni și 5%Fe** și adausuri de mangan, realizate prin sudare cu electrozi înveliți, în cazul alierii complexe prin vergea și înveliș, depinde în principal de trei factori de bază, și anume:

- compoziția chimică a vergelei
- participarea elementelor de aliere în înveliș
- coeficientul de ardere și transferul trecerea elementelor de aliere prin arcul electric

Acești factori sunt influențați în mod esențial de caracteristicile fizico – chimice ale elementelor participante, în entitatea electrod învelit printru sudare cu arcul electric.

Caracteristicile cuprului, aluminiului, nichelului și manganului și influențele acestor materiale asupra omului, sunt prezentate în cele ce urmează.

#### Cuprul

Cuprul, metal de culoare roșiatică , care cristalizează în octaedri regulați, are greutatea atomică 63,54 și greutatea specifică 8,9 g/cm<sup>3</sup>. Se topește la 1083°C, fierbe la

2310°C. Este unul dintre metalele cele mai ductile și mai maleabile ; de asemenea este foarte bun conducător de căldură și electricitate.

Cuprul nu este alterat nici de oxigen, nici de aerul uscat. Formează săruri monovalente și bivalente. În aerul umed, mai ales ușor acid, se acoperă cu un strat subțire de hidrocarbonat de cupru, care apără metalul de alterări profunde.

Cuprul se găsește în mod normal, în organismul uman, întregul corp conține aproximativ 100 – 150 mg .

În general cuprul pur este mai puțin toxic decât sărurile sale. La om, sulfatul de cupru (  $\text{SO}_4\text{Cu}$  ) este periculos la concentrații foarte mici ( 60-120mg), iar concentrația de 0,6- 1g este puternic toxică, provocând dureri abdominale, vărsături, diaree, hematurie, convulsii, uneori moarte. Au fost semnalate icter tranzitoriu prin lezare hepatică și necroze tubulare acute.

În industrie, cuprul metalic nu pare să reprezinte un risc important.

Efectele acute cele mai frecvente sunt reprezentate de „febra de fum”.

Unele simptome, ca dispnee, gust metalic în gură, câteodată greață și vărsături sunt observate în atelierele sau laboratoarele unde se lucrează cu praf sau aerosoli conținând cupru, dar autorii atribuie adeseori aceste simptome altor substanțe prezente concomitent în aerul respirat.

În ceea ce privește intoxicarea industrială cronică cu cupru, aceasta a constituit o dispută științifică îndelungată; s-a susținut că muncitorii expuși la cupru prezintă o intoxicație cronică, manifestată prin colorarea în verzui sau decolorarea pielii a părului și a dinților; alți autori nu constată la muncitorii expuși nici o modificare patologică.

Inhalarea de pulberi sau fumuri ale unor săruri de cupru poate duce la congestia mucoasei nazale, ulcerarea și eventual perforarea septului nazal uneori congestia faringiană.

Concentrația maximă admisă pentru cupru sub formă de praf este de  $1\text{ mg} / \text{m}^3$ , iar sub formă de fumuri de  $0,1\text{ mg} / \text{m}^3$  aer.

Pentru prevenirea febrei de fum se va avea în vedere transportul mecanizat, evitarea contactului prelungit cu aerosolii metalici. De asemenea se vor instala ventilații eficiente locale prin exhaustare, în locurile de producere a aerosolilor de cupru. Se recomandă o strictă supraveghere a măsurilor de igienă individuală (pentru a împiedica pătrunderea în tracul digestiv a cuprului și a sărurilor sale).

## Aluminiu

Proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale diferitelor sorturi de aluminiu sunt influențate de prezenta impurităților. Cele mai frecvente impurități din aluminiu sunt fierul și siliciul, elemente care se pot găsi până la 0,5-0,6% fiecare. Fierul este practic insolubil în aluminiu, formând cu acesta eutecticul Al-Al<sub>3</sub>Fe care conține doar 7% Al<sub>3</sub>Fe (1,7%Fe). Ca urmare aluminiul impurificat cu fier prezintă un aspect microscopic format din cristale poliedrice de aluminiu și precipitate aciculare de Al<sub>3</sub>Fe. Eutecticul din sistemul Al-Si se formează la 11,7% Si și este alcătuit din soluție solidă  $\alpha$  și siliciu. Dacă în același timp sunt prezente simultan fierul și siliciul, se formează două faze noi: faza  $\alpha$ (Fe<sub>3</sub>SiAl<sub>3</sub>) și faza  $\beta$  (FeSiAl<sub>5</sub>), care nu există în aliaje binare. Acești compusi, situați în mod obișnuit la limitele cristalelor de aluminiu micșorează mult plasticitatea acestuia.

Aluminiul face parte din grupa IIIA a sistemului periodic al elementelor, are un singur izotop stabil <sup>27</sup>Al și cinci izotopi radioactivi (<sup>24</sup>Al, <sup>25</sup>Al, <sup>26</sup>Al, <sup>28</sup>Al) cu perioadele de înjumătățire cuprinse între 2,10 s și 94 s.

Aluminiul se caracterizează prin plasticitate foarte mare, rezistență mecanică mică, conductibilitate electrică și termică ridicată și rezistență mare la coroziune în aer, apă și acizi organici.

Principalele proprietăți ale aluminiului care influențează defavorabil sudabilitatea sunt:

- conductibilitatea termică ridicată; deci și temperatura de topire a aluminiului este redusă (650°C) totuși, datorită conductibilității de calbură și preîncălzirea întregii piese la temperaturii ridicate;

- coeficientul mare de dilatare al aluminiului care determină probucerea de tensiuni permanente și deformări mari;

- la încălzire, aluminiul nu-și schimbă culoarea din care cauză la sudare nu se poate aprecia vizual gradul de încălzire; dificultatea se mărește, deoarece aluminiul se topește în mod brusc;

- fragilitatea aluminiului la temperaturi înalte; deformarea și fisurarea peretilor se preîntâmpină prin fixarea piesei pe suporturi cât mai exact;

- în stare lichidă, aluminiul absoarbe cu ușurință oxigenul, reduce rezistența îmbinării;

-oxidul de aluminiu având punctul de topire ridicat ( $2050^{\circ}\text{C}$ ) formează o pojghită solidă care împiedică sudarea; îndepărtarea oxidului se poate realiza pe cale chimică prin utilizarea unor fluxuri care formează cu oxidul o zgură ușor fluzibilă și care protejează metalul topit.

## Nichelul

Este un metal alb argintiu cu o strălucire caracteristică. Greutatea sa atomică este de 58,69, greutatea specifică de 8,88, temperatura de topire 1455 grade, temperatura de fierbere 2900 grade.

Dintre compușii nichelului trebuie menționat pentru importanța sa în toxicologia industrială, nichelcarbonului ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ), un lichid greu, incolor, instabil, cu miros de funingine, care se descompune rapid la temperatura corpului și care sub acțiunea agenților oxidanți eliberează monoxid de carbon, formând sarea corespunzătoare a metalului. Greutatea sa specifică este de 1,38, temperatura de fierbere 43 grade.

Nichelul metalic și sărurile sale solubile au produs rareori efecte toxice generale la om; din punct de vedere industrial sunt importante dermatitele pe care le provoacă.

Nichelcarbonul are atât acțiune iritantă cât și carcinogenă.

Experiențele făcute pe animale cu săruri de nichel administrate în doze mari per os au dus la iritații gastro-intestinale acute, vărsături și diaree. Pe cale subcutanată sau intravenoasă se pot produce gastroenterite, simptome nervoase, ca tremor, mișcări coreice și paralizie finală, moartea survenind prin stop cardiac. Unii autori atribuie toxicitatea nichelului la animale inhibării unor sisteme enzimatice ca fosfataza (Ohlmeyer – 1947). În mod experimental, Hueper a obținut tumori prin administrarea inhalatorie de nichel metalic sub formă de pulbere. În ceea ce privește nichelcarbonul, valoarea D.L 50 pentru șobolani și iepuri cu expunere de jumătate de oră STD 0,4 și 0,3-1,2 mg / l. Diferența dintre specii este mare, doza letală crescând puternic odată cu dimensiunile animalului. Simptomele intoxicației acute sunt în primele 24 de ore nespecifice și ușoare, chiar când este vorba de intoxicație mortală. Cele mai marcate modificări se găsesc în plămâni; congestie severă și edem pulmonar sau pneumonie extinsă interstițială. În ficat se găsesc modificări degenerative, mergând până la o necroză în jurul venei centrale; rinichii și pancreasul prezintă de asemenea un grad de degenerare.

În ceea ce privește efectul carcinogen, se consideră (Doll 1959) că riscul de moarte prin cancer pulmonar în industria în care se lucrează cu nichelcarbonil este de 5 ori mai mare decât la restul populației. Carcinoamele pulmonare sunt în general scoamoase. O altă localizare a cancerului provocat de nichelcarbonil este la nivelul nasului (risc de 50 de ori mai mare printre muncitorii respectivi decât în mod normal).

Concentrația maximă admisă pentru nichel (compuși solubili este de 0,5 mg/m cub). Concentrația maximă pentru nichelcarbonil este de 0,005 mg / m cub.

## Fierul

Metal, de culoare albă-cenușie, ductil și maleabil, cu greutatea atomică de 55,85, densitatea de 7,90, temperatura de topire 1527 grade și temperatura de fierbere 3235 grade. Fierul se poate combina direct cu toți metaloizii cu excepția azotului. În aerul umed se transformă lent în rugină.

Proprietățile sale fizice sunt modificate foarte mult când este amestecat cu cantități foarte mici de alte substanțe, în special carbon.

Metalurgia fierului se bazează pe reducerea oxizilor de fier prin oxidul de carbon.

Este întrebuințat în primul rând pentru obținerea oțelurilor, fontelor și diferitelor aliaje cu o largă utilizare industrială.

Nu se cunosc cazuri de intoxicație cronică datorită pătrunderii fierului *per os*. Experiențele pe animale de laborator nu au arătat vreo nocivitate a preparatelor de fier, chiar în doze ridicate. Accidente toxice acute au fost semnalate de Frobes (1947), survenind în urma ingerării unor doze mari la sugari și copiii mici care au înghițit sulfat de fier sau alte preparate medicamentoase.

Concentrația maximă admisibilă pentru oxidul feric ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) este de 15 mg / m cub de aer.

## Manganul

Manganul (Mn) este foarte răspândit în natură, mai ales în rocile silicoase, însoțind fierul; formează 0,08 % din învelișul Pământului și 0,1 % din greutatea scoarței.

Minereurile de mangan cele mai importante sunt oxizii: (piroluzita –  $\text{MnO}_2$ , braunita –  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , hausmanita –  $\text{Mn}_2\text{O}_4$ , manganita și psilomelanele); carbonații (rodoprozit –  $\text{MnCO}_3$ ); silicații (rodonitul –  $\text{MnSiO}_3$  și tefroitul –  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ ).

Manganul este un metal alb-murdar, de culoare asemănătoare fierului, relativ sfărâmicos. În contact cu aerul se oxidează, pierzându-și luciul; are greutatea moleculară de 7,5; punctul de topire 1250 grade; punct fierbere 1900 grade; are valențe multiple. Manganul pur poate fi obținut din oxizi de mangan, prin procedee aluminotermice sau prin electroliză. Manganul descompune apa la temperatura obișnuită, este ușor atacat de acizii diluați.

Utilizarea principală a manganului este în siderurgie, la formarea de aliaje fero-manganice pentru oțeluri cu duritate mare și rezistență la șoc. Se mai utilizează în industria electrotehnică pentru rezistențe electrice; în industria chimică, la fabricarea bateriilor uscate, ca depolarizant, ca oxidant într-o serie de sinteze organice, ca agent de desulfurare în siderurgie și industria chimică la fabricarea depozitelor de protecție contra oxidului de carbon, în industria farmaceutică. La sudura electrică, ca element component al glazurii electrolizelor de sudură. În industria sticlei, textilă și ceramicii, unii compuși se utilizează ca coloranți.

Ca microelement, manganul este un constituent indispensabil al țesuturilor, participând la o serie de procese fermentative și în sinteza și metabolismul unor vitamine (B1, C și E).

În concentrații mari, însă, manganul prezintă o toxicitate marcată în special pentru sistemul vascular și nervos, determinând o patologie complexă și uneori deosebit de gravă.

Acțiunea toxică a manganului se datorește inhibiției sau blocării complete a sistemelor fermentative oxidoreductoare.

Manganul exercită acțiunea toxică în special asupra sistemului nervos, producând un sindrom cerebelo-extrapiramidal asemănător bolii Parkinson. Inhalarea îndelungată a pulberilor, în afara fenomenelor neurologice, determină și modificări pulmonare.

Experimental, utilizând căi de administrare și compuși diferiți de mangan, au fost reproduse aceste aspecte patologice.

Histologic s-au pus în evidență leziuni degenerative, vasculare și perivasculare, în special ale sistemului nervos, în nucleul lenticular și caudat; leziuni de hepatită cu necroză și început de ciroză; pulmonar, infiltrații mononucleare peribronșice, alveolică, degenerescență hidropică și fibroză. Leziunile sistemului nervos sunt mai marcate în substanța cenușie.

Cercetările din ultimii ani cu privire la patogenia manganismului au adus contribuții importante la cunoașterea bolii și profilaxia ei. În lumina acestor date, instalarea

tulburărilor neurologice specifice, manifeste, este precedată de o simptomatologie funcțională asteno-vegetativă, condiționată de acțiunea manganului asupra sistemului nervos central, periferic și a glandelor endocrine.

În stadiul de debut al bolii este prezentă următoarea simptomatologie: astenie fizică și diminuarea capacității de muncă, cefalee, dureri difuze, mai frecvent în membre, parastezii, tulburări de somn, depresiune psihică, tulburări de memorie;

Aplicarea măsurilor tehnice de combatere a pulberilor și vaporilor de mangan trebuie să fie asociată cu o bună instruire și verificare a cunoștințelor de igienă și protecția muncii de către muncitori și cu o muncă intensă de educație sanitară pentru convingerea lor de importanța acestor măsuri, în păstrarea sănătății și în profilaxia îmbolnăvirilor profesionale prin mangan.

Examenenele clinice la angajare vor fi completate cu examene de laborator, hemograma completată, teste de disproteinemie sau proteinograma, sumar de urină cu determinarea calitativă a pigmentilor biliari, radiografie pulmonară și probe funcționale respiratorii.

### 3.1.3.2 CERCETĂRI PENTRU STABILIREA STRUCTURII GRANULOMETRICE

Calitatea semifabricatului, bară sinterizată, depinde în mare măsură de pregătirea corectă a componentelor pulverulente, care intră în compoziția rețetei de produs. Caracteristicile de deformare plastică a semifabricatului, bară sinterizată, se asigură prin alegerea rațională a compoziției granulometrice a materiilor prime pulverulente, prin asigurarea unei plasticități optime a acesteia precum și printr-un conținut redus de impurități granulometrice.

În cadrul cercetărilor s-au studiat prescripțiile granulometrice ale pulberilor și feroaliajelor de la furnizorii de profil. Datele sunt prezentate în tabelul 2

Tabelul 2 Caracteristicile materiilor prime metalice.

| Denumirea pulberii metalice | Reziduu pe sită, % |           |           |             |           |          |              |
|-----------------------------|--------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|--------------|
|                             | 400 $\mu$          | 315 $\mu$ | 200 $\mu$ | 160 $\mu$   | 100 $\mu$ | 63 $\mu$ | sub 63 $\mu$ |
| Aluminiu metalic            | 0                  | max. 3    | max.20    | între 25-50 |           |          | 10-30        |
| Feromangan                  | 0                  | max. 5    | min.10    |             |           |          | 5-15         |

|                   |   |          |        |  |       |
|-------------------|---|----------|--------|--|-------|
| Fier              | 0 | max. 0,5 | min. 3 |  | 15-20 |
| Bronz de aluminiu | 0 | max. 3   | min.10 |  | 20-25 |
| Mangan metalic    | 0 | max. 5   | min.10 |  | 5-10  |
| Bronz CuNiAl      | 0 | max. 3   | min.10 |  | 15-25 |
| Cupru             | 0 | max. 3   | min.10 |  | 15-25 |

Din cele prezentate mai sus rezultă faptul că structura granulometrică a amestecului pulverulent, cu materiale livrate de furnizorii consacrați este constantă, deci fără posibilități de reglare a acesteia. Producătorii de materiale sinterizate, sunt în această situație obligați să aprovizioneze o parte din materiile prime, în stare pulverulentă și o altă parte sub formă de bulgări. Materialele în bulgări ( bronz CuNiAl sau bronz de aluminiu) sunt măcinate astfel încât în combinație cu materialele aprovizionate în stare pulverulentă să asigure structura granulometrică optimă pentru realizarea semifabricatului pentru sinterizat, forjat și trefilat.

### 3.2. CONCLUZII

Cercetările și experimentările efectuate au evidențiat următoarele:

- tehnologiile de omogenizare și utilajele cunoscute în prezent sunt caracterizate prin avantaje și dezavantaje, fapt ce evidențiază necesitatea unor cercetări experimentale pentru elaborarea și optimizarea tehnologiei de omogenizare a amestecului pulverulent, dozat conform rețetei de produs, pentru fabricarea vergelelor din alcătuirea electrozilor înveliți pentru sudare, din bronz CuNiAl
- caracteristicile considerate definitorii pentru procesele de omogenizare , anume densitatea materialelor in amestec si structura granulometrica a acestora, sunt orientative deoarece în practică aceste materiale se folosesc în stare măcintă cu un grad de porozitate influențat de structura granulometrică a materialului pulverulent.
- metodele de apreciere a omogenității amestecurilor pulverulente cunoscute pana in prezent, sunt relativ greoaie, fapt ce motiveaza elaboratorii cercetarii sa recomande utilizarea procedeului granulometric.

## BIBLIOGRAFIE

1. Voiculescu, I. s.a, Realizarea unei familii de vergele învelite, ecologice pentru brazare cu aliaje de Contract: 2023/2004 – 2006
2. Andeaș, E., Principiile și posibilitățile concasării prin lovire (traducere din limba germană), București, IDT, 1966, p.47 – 52.
3. Beilich, E. Cuptoare și aliaje în industria silicaților , voll, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1973, p.227 – 248.
4. Panaitescu, R. Optimizarea fabricației de fluxuri aglomerate pentru sudare în vederea creșterii nivelului de calitate. Raport de cercetare, contract 828c, Timasud, Timisoara, 1990-1992
5. V.Budău, M.Liță, R.Panaitescu Cercetarea omogenității învelișului electrozilor pentru sudare prin analiză difractometrică cu raze X în Realizări și perspective în domeniul de sudării și încercării materialelor, ISIM Timișoara, vol.2 p 300-304, 1992

## **CERCETĂRI PRIVIND IMPERFECTIUNI LA ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE**

### **CAP. IV. IMPERFECTIUNI CARE APAR ÎN PROCESELE DE ÎNCĂRCARE – SUDARE LA ALIAJE NEFEROASE – UPB**

#### **4.1. ASPECTE GENERALE**

##### **4.1.1. Introducere**

Cele mai vechi examinări nedistructive sunt cele optico-vizuale. Din cele mai vechi timpuri omul a verificat execuția unui obiect prin examinare atentă cu ochiul liber sau, mai târziu, cu un instrument optic.

Se consideră că primele încercări nedistructive au fost aplicate pentru detectarea fisurilor de suprafață ale șinelor de cale ferată sau ale unor componente de tren.

Radiația X a fost descoperită în 1895 de către fizicianul Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) care a fost profesor la “Wuerzburg University” din Germania. La scurt timp după această descoperire Roentgen a realizat prima radiografie industrială.

Alte metode de examinare, bazate pe proprietățile ultrasunetelor sau pe proprietățile curenților turbionari au fost create și aplicate în timpul celui de-al doilea război mondial. La început, aplicarea acestora viza doar detectarea defectelor, după care a urmat etapa în care detectarea defectelor s-a asociat cu verificarea acceptabilității acestora și luarea deciziei admis/respins.

Prin anii '70, două elemente au condus la schimbarea opticii specialiștilor privind inspecția calității prin metode nedistructive. În primul rând, dezvoltarea tehnicilor de detectare a permis semnalarea defectelor din ce în ce mai mici, ceea ce însemna respingerea unui număr tot mai mare de produse în controlul automat. În al doilea rând, a apărut și s-a extins rapid disciplina intitulată mecanica ruperii care permitea predicția comportării produselor cu defecte în exploatare. Mecanica ruperii a dezvoltat o serie de metode de estimare a modului de propagare a fisurilor sau altor tipuri de defecte și sub acțiunea unor solicitări ciclice, oboseală. Cu ajutorul acestor instrumente a devenit posibilă acceptarea unor structuri care conțineau defecte dacă dimensiunile, forma și modul de evoluție a acestora erau cunoscute.

Aceste elemente au stat la baza noii filozofii de proiectare denumită „damage tolerant designs”. Piese care au defecte pot fi utilizate atât timp cât se poate stabili că defectele

respective nu se vor dezvolta în timpul utilizării până la o dimensiune critică care să conducă la o rupere sau distrugere.

În prezent a devenit necesară analiza cantitativă a defectelor, obținerea de informații referitoare la mărimea și forma defectelor, informații care să constituie date de intrare în calculele de mecanica ruperii astfel încât să se poată estima durata de viață a produsului. Analiza cantitativă a fost strict impusă în domenii de vârf cum ar fi cel militar și nuclear. În aceste domenii s-au dezvoltat o serie de programe de cercetare pentru predicția duratei de viață a produselor ceea ce a condus la apariția unei noi discipline: “evaluarea nedistructivă”.

#### **4.1.2. Metode de încercare și evaluare nedistructivă**

Încercările nedistructive (Nondestructive Testing – NDT) joacă un rol deosebit de important în ceea ce privește siguranța ca piesele unei structuri își vor îndeplini funcțiile un interval de timp predeterminat. Specialiștii din domeniul încercărilor nedistructive au creat și implementează încercări prin care caracterizează materiale sau detectează, localizează și măsoară defecte. Testele se aplică în așa fel încât produsul încercat să nu fie afectat, ceea ce definește de fapt încercările nedistructive. Întrucât încercările nedistructive nu afectează în nici un fel integritatea produsului testat utilizarea lor este foarte utilă în controlul calității produsului care urmează a fi utilizat.

Deși uneori noțiunile de evaluare și încercare sunt utilizate ca sinonime, din punct de vedere tehnic, prin evaluare nedistructivă (Nondestructive Evaluation – NDE) se înțelege în primul rând măsurarea și descrierea unui defect, stabilirea formei și poziției acestuia, determinarea caracteristicilor unui material, proprietăților fizice sau magnetice etc.

Numărul de metode de control nedistructiv este foarte mare și în continuă creștere. Cercetătorii continuă să găsească noi căi de aplicare ale fizicii și altor discipline științifice pentru a dezvolta metode de încercare nedistructivă tot mai bune, cu o sensibilitate cât mai mare și cu erori de măsurare cât mai mici. Cu toate acestea, doar opt metode sunt larg răspândite în industrie: examinare optico-vizuală (Visual and Optical Testing – VT), lichide penetrante (Penetrant Testing – PT), pulberi magnetice (Magnetic Particle Testing – MT), curenți turbionari (Eddy Current Testing – ET), radiații penetrante (Radiography

Testing – RT), ultrasunete (Ultrasonic Testing – UT), emisie acustică (Acoustic Emission – AE) și controlul etanșeității (Leak Testing – LT).

### **Metode speciale de control nedistructiv**

Metodele speciale de control nedistructiv, de regula, sunt folosite pentru a determina integritatea materialelor. Numeroase tehnologii moderne (radio-astronomia, masurarea tensiunii si curentului si determinarea compozitiei) sunt nedistructive, dar nu ofera prea multe informatii despre proprietatile materialului. Incercarile nedistructive sunt legate in mod practic de performantele obiectului incercat, cat de mare trebuie sa fie partea testata si cand este nevoie sa fie reverificata.

Investigarea unor materiale implica luarea unor esantioane pentru testare, ceea ce este inherent distructiv. Ideea de functionare ulterioara este relevanta pentru calitatea prepararii probelor. Luarea de probe este control nedistructiv daca probele testate sunt reintroduse in functiune. Controlul nedistructiv nu se limiteaza la detectarea fisurilor. Alte discontinuitati, inclusiv porozitati, subtiri de perete prin coroziune si alte clase de discontinuitati, delaminari pot fi puse în evidență prin aplicarea uneia dintre metodele prezentate.

Ceea ce aceste metode au in comun este faptul ca ele au aparut cand metodele clasice au fost depasite: emisie acustica, unde electromagnetice, pulberi magnetice, lichide penetrante, radiografiera, ultrasunete si control vizual. Aceste metode la care se adauga termografierea in infrarosu si incercarea radiografica cu neutroni (neutronografie) sunt reprezentate in Nivelul III de calificare a personalului, dat de ASNT. Principalele metode sunt reprezentate de comisii in ASNT si cele mai multe de subcomitete in societati cum ar fi DIFUZIUNE, SAE, ISO si societati de control nedistructiv din alte țări ca Franta, Germania, Japonia, UK.

Tensiunile sunt masurate prin metode optice, incluzand imagistica Moire, holografie si alte forme de interferometrie, la fel de bune ca invelisurile fotoelastice si controlul prin difractia neutronilor.

Concluziile despre integritatea pieselor pot fi trase dupa capacitatea de a retine sau emite caldura. Aceasta informatie este de baza pentru termografierea in infrarosu.

Identificarea aliajelor este o ramura a controlului nedistructiv, dar uneori nu este considerat acest lucru pentru ca nu sunt determinate discontinuitati.

Cu toate ca identificarea si clasificarea nedistructiva a aliajelor este folosita de 50 de ani, caracterizarea metalelor a inceput sa primeasca o atentie deosebita in anii 1980. Devine clar ca identificarea aliajelor este ca orice alta metoda, nedistructiva. Diferentele de material din punct de vedere chimic si a caracteristicilor de material care afecteaza durata de functionare a componentei, in multe cazuri sunt mai sigure decat o fisurare puternica. Identificarea aliajelor nu este de fapt o metoda ci o familie de metode, incluzand metode electronice, magnetice, chimice si cu radiatii. Unele metode de identificare a aliajelor includ degradari minore ale suprafetei, cum ar fi coroziune sau polizare.

**Tabelul 4.1.**

**Aplicații ale diferitelor metode de testare nedistructivă**

| Metoda                 |                                        | Scopul testarii         |                               |                             |                                        |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
|                        |                                        | Identificarea aliajelor | Detectarea discontinuitatilor | Caracterizarea materialului | Masurarea tensiunilor si deformatiilor |
| Acustica               | Holografie acustica                    | nu                      | da <sup>A</sup>               | nu                          | nu                                     |
|                        | Acustografie                           | nu                      | da                            | nu                          | nu                                     |
|                        | Control acoustoultrasonic              | nu                      | nu                            | da                          | da <sup>B</sup>                        |
|                        | Tehnici fotoacustice                   | nu                      | da                            | da                          | nu                                     |
|                        | Palpare                                | nu                      | da                            | da                          | nu                                     |
|                        | Analiza vibratiilor                    | nu                      | da <sup>C</sup>               | nu                          | da <sup>C</sup>                        |
| Electrica si magnetica | Metoda Barkhausen                      | nu                      | nu                            | nu                          | da <sup>B</sup>                        |
|                        | Curenti turbionari                     | da                      | da <sup>D</sup>               | da <sup>E</sup>             | nu                                     |
|                        | Magnetooptica                          | nu                      | nu                            | nu                          | da <sup>B</sup>                        |
|                        | Rezonanta magnetica                    | nu                      | da                            | nu                          | nu                                     |
|                        | Invelis fotoelastic                    | nu                      | nu                            | nu                          | da                                     |
|                        | Rezistivitate                          | da                      | nu                            | da <sup>E</sup>             | nu                                     |
|                        | Tensiunile induc anizotropii magnetice | nu                      | nu                            | da                          | da <sup>B</sup>                        |
|                        | Termoelectricitate                     | da                      | nu                            | nu                          | nu                                     |
|                        | Triboelectricitate                     | da                      | nu                            | nu                          | nu                                     |
| Optica                 | Interferometrie holografica            | nu                      | da                            | nu                          | da                                     |
|                        | Urma LASER                             | nu                      | nu                            | nu                          | da                                     |
|                        | Interferometria Moire                  | nu                      | da                            | nu                          | da                                     |
|                        | Imagistica Moire                       | nu                      | nu                            | nu                          | da                                     |
|                        | Triangulatia                           | nu                      | da                            | nu                          | da                                     |

|          |                                      |    |    |                   |    |
|----------|--------------------------------------|----|----|-------------------|----|
| Radiatii | Spectroscopia Emisiilor optice       | da | nu | nu                | nu |
|          | Controlul scanteii                   | da | nu | nu                | nu |
|          | Control termic si infrarosu          | da | da | da <sup>B,F</sup> | nu |
|          | Spectroscopie fluorescenta cu raze X | da | nu | nu                | nu |
| Altele   | Control chimic                       | da | nu | nu                | nu |
|          | Grila                                | nu | nu | nu                | da |
|          | Difractia neutronilor                | nu | nu | nu                | da |
|          |                                      | nu | nu | nu                | da |

- A. – precizeaza marimea si pozitia defectelor.
- B. – masoara tensiunile.
- C. – analiza vibratiilor, poate ajuta la determinarea starii materialului, dar in plus controlul trebuie sa confirme prezenta defectelor si deformatiilor.
- D. – curentii turbionari sunt folositi in special pentru a detecta discontinuitati (control electromagnetic), dar in cazul de fata aceasta metoda este trecuta ca o metoda speciala deoarece este folosita la identificarea aliajelor.
- E. – de exemplu, cazul duritatii.
- F. – rezistenta termica, conductivitatea termica, difuzia termica, emisia, conductibilitatea, absorbtia.

De fapt, diferitele materiale care emit radiatii electromagnetice la diferite frecvente constituie baza pentru metodele cu rezonanta magnetica si termografiere in infrarosu. Caracteristicile electromagnetice ale materialelor pot fi folosite în cazul diferitelor tehnici de punere in evidenta a tensiunilor.

#### 4.1.3. Dependenta dintre proprietatile materialului si comportarea acestuia

Discontinuitatile de material nu sunt reprezentate numai de lipsa de material sau goluri cum ar fi porii si fisurile. Interfata dintre doua materiale diferite care este practic o discontinuitate, poate deveni locul unde se poate produce o ruperea. În urma solicitărilor la presiune si temperatură, un material se poate contracta sau alungi la diferite cote sau grade de contractie.

Acest mecanism crează determina exfolierea suprafetelor placate, desprinderi de straturi, fisuri. Asa cum s-a precizat, cateva metode speciale (fotoelasticitatea, imagistica Moire, holografia si altele) sunt folosite la masurarea tensiunilor. Tensiunile pot conduce la oboseală si eventuale ruperi. Tensiunile si deformatiile sunt dependente unele de altele intr-un mod descris în mecanica solidului.

Relatia dintre tensiunile si deformatiile din material este un lucru important in descrierea si interpretarea controalelor nedistructive, in special utilizarea metodelor speciale.

#### **4.1.4. Aspecte calitative privind principalele metode de control nedistructiv**

Aproape orice caracteristica perceptuta vizual pata fi asistata de ochiul uman sau de ochiul uman cu un ajutor optic. Ochul poate avea acuratetea de a detecta marimea, forma, culoarea, adincimea, luminozitatea, contrastul si granulatia materialului. Citeva ramuri industriale au folosit deja importanta acestui tip de inspectie respectind cerintele caracteristice si dimensionale ale standardelor in vigoare.

In industrie, dimensiunea sudurii, conturul, lungimea si inspectia suprafetelor discontinue sunt operatiuni de rutina. Societatea Americana de Sudura (AWS) a emis Standardul Structurilor Sudate (AWS D 1.1) in anul 1977 folosit de inspectorii certificati in domeniul sudării.

Controlul cu lichide penetrante rosii si fluorescente foloseste abilitatea vizuala a inspectorului de a identifica defectele suprafetei. Controlul cu pulberi magnetice tinde sa foloseasca aceleasi tehnici din categoria controlului cu lichide penetrante fluorescente , asemanator controlul cu radiatii penetrante lasa la atitudinea inspectorului controlul optico-vizual al radigrafiei pe film sau camera video.

Recent, inspectia cu ajutorul microscopului s-a extins in mai multe domenii, acum fiind posibilă captarea si mărirea imaginii controlate.

O multitudine de echipamente de verificare pot fi folosite pentru a verifica conditiile de control. Initial controlul cu lichide penetrante (L.P.) se verifica prin plasarea unui penetrant nou langa un penetrant folosit pe o hartie indicator pentru a putea fi comparati. Acum controlul cu LP fluorescente implica folosirea fotofluorometriei pentru a determina stralucirea materialului penetrant. Multe din cerintele referitoare la LP indica schimbarea penetrantului când capacitatea de penetrare scade sub 10% deoarece ochiul uman percepe o schimbare de aproximativ 15% a capacitatii de penetrare.

Deoarece luminozitatea are un efect hotarator in controlul cu LP intensitatea luminii normale sau a luminii ultraviolete este controlată cu un etalon de intensitate pentru a se asigura luminozitatea necesară in zona supusa controlului. Controlul in condiții normale se

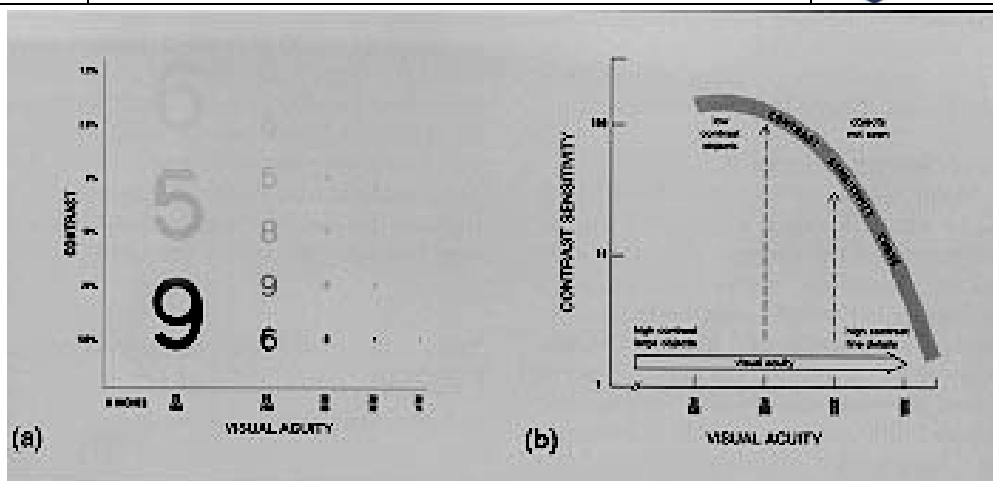
realizeaza in limita unei intensitati luminoase de 50-100 cd sau lumina normala de ambient. Controlul de detaliu poate necesita o intensitate de peste  $2 \cdot 1000$  lx adica folosirea unui bec de 100 W cu filament din Wolfram. Controlul la lumina violeta (UV) foloseste becuri de intensitate foarte mare prevazute cu un filtru. Acestea produc lumina UV cu o lungime de unda de ordinul a 365 nm. Intensitatea luminozitatii acestor becuri este de ordinul a 800-1200 micro W minim, depinzand de cerintele stipulate in standard.

Radiografierea este o metoda uzuala de control folosita la verificarea produselor de diferite forme complexe, conceputa sa evidentieze defecte sau crapaturi cu dimensiuni sub 1%. Orientarea si structura materialului analizat influeteaza gradul de detectabilitate a defectului.

Defectele de culoare gri deschis pe un fond gri duc la formarea unui contrast, in acest mod realizandu-se detectarea lor. Indicatorii de calitate, denumiti si penetrametri sunt plasati pe suprafata filmului sau incastrati intr-un suport nemetalic subtire si plasati la o distanta mica sub film, in vecinatatea zonei in care va fi plasat produsul examinat. Indicatorii sunt realizati pentru a evidentia defecte cu dimensiuni 1-2%. Astfel, unele indicatoare sunt realizate practicand gauri de diametre: 1T, 2T sau 4T unde suportul gaurit are grosimea T, indicatorul fiind realizat in trepte. Imaginile din radiografie situate in vecinatatea indicatorului, in functie de imaginile gaurilor de diametru T care pot fi distinse pe indicator, certifica calitatea radiografiei si permit interpretarea rezultatelor.

Testarile din prezent masoara sensibilitatea vizuala la un nivel foarte mare al contrastului, un nivel care nu este intalnit in metodele de control OV. Capacitatea de recunoastere la contrast mic poate fi masurata repede si repetat folosind tabele de sensibilitate vizuala la contrast mic.

Obiectele mari pot fi distinse la un nivel mic al contrastului fata de obiectele mici, astfel limita intre obiectele distinse de o persoana si cele nedistinse este definita de o curba prezentata in Fig. 4.1.



**Fig. 4. 1. Indicator de contrast.**

a) Obiectele mari sunt distinse la un nivel al contrastului foarte mic, fata de obiectele mici. In acest grafic contrastul scade catre limita superioara a graficului. Langa axa X numerele sunt definite de un contrast mare. In zona unde numerele cu contrast mic dispar este limita intre obiectele distinse si cele nedistincte.

b) Acesta limita este denumita Curba de sensibilitate la contrast. Limita din partea dreapta a graficului este zona de sensibilitate la contrast mare, iar limita superioara a curbei poate fi asimilata ca fiind sensibilitatea vizuala la 1-2% din sensibilitatea maxima.

În concluzie, cea mai veche și mai simplă metodă de control a fisurilor deschise la suprafață, ca și a altor defecte de suprafață, este controlul vizual, adică controlul prin examinare directă. In cazul accesului dificil în zona de controlat sau în situația unor pretenții deosebit de ridicate privind recunoașterea defectelor, se pot folosi mijloace optice ajutătoare ca lupa, endoscopul și camera video. La folosirea tehnicii video este posibilă, în anumite limite, automatizarea. Printr-o iluminare ce mărește contrastul, prin îndepărtarea țunderului și curățirea suprafeței înainte de control, ca și prin utilizarea mijloacelor speciale de decapare, detectibilitatea vizuală a fisurilor poate fi substanțial îmbunătățită.

Exigențele impuse controlului și evaluării caracteristicilor materialelor utilizate în condiții tot mai dificile: temperatură joasă sau înaltă, presiune, tensiuni etc au condus la dezvoltarea domeniului și extinderea aplicării altor metode de investigare, cum ar fi ultrasunetele.

In comparație cu examinările bazate pe proprietățile radiațiilor penetrante, care sunt costisitoare și necesită măsuri de protecție complicate, capacitatea de penetrare mare și implicit posibilitatea de a examina produse cu grosime sau lungime mare au determinat succesul ultrasunetelor în defectoscopia nedistructivă tehnică și medicală.

## 4.2. EXAMINAREA ULTRASONICĂ

### 4.2.1. Particularități și domeniul de aplicare

Examinarea cu ultrasunete prezintă, în raport cu alte metode de examinare, următoarele avantaje:

- controlul cu ultrasunete pune în evidență aproape toate tipurile de discontinuități tri sau bidimensionale;
- nu necesită măsuri speciale de protecție nici pentru operator și nici sub aspect ecologic;
- rezultatele controlului se obțin imediat, adică în timp real;
- sensibilitatea metodei este la nivelul de 0,5 mm pentru defecte tridimensionale; defectele bidimensionale foarte fine cu dimensiuni oricât de mici ca deschidere, care au totuși două dimensiuni comparabile cu lungimea de undă US pot fi detectate mult mai bine decât prin control radiografic;
- probabilitatea de detectare a discontinuităților, la grosimi de material mai mari de 20-30 mm este superioară defectoscopiei cu radiații;
- detectarea defectelor situate la adâncime mare în materiale metalice omogene (peste 10 m lungime produse laminate sau forjate);
- localizarea defectelor în raport cu suprafața de examinare; posibilități de estimare a formei defectelor;
- măsurarea defectelor cu o bună aproximare, în 2D și în unele cazuri, în 3D;
- măsurarea grosimilor de pereți atunci când produsului examinat este accesibil pe o singură suprafață: cazane, conducte, țevi etc.;
- determinări de constante elastice ale materialelor;
- echipament portabil cu greutate minimă în jur de 300 g, ceea ce permite examinarea ușoară în condiții de șantier sau pe teren;
- posibilitatea de automatizare a examinării;
- integrarea în sisteme IT;
- din punct de vedere economic, controlul US este mai ieftin decât controlul cu radiații.

Principalele limite în controlul US sunt:

- în cele mai multe cazuri necesitatea contactului dintre palpator și piesa examinată;
- pasul mic de control, timp mare de examinare;
- necesitatea utilizării unui material de cuplare;
- dificultăți la examinarea materialelor cu granulație mare sau a celor eterogene;
- operațiile de control și interpretarea rezultatelor sunt complexe ceea ce impune un nivel ridicat de calificare competență și conștiinciozitate din partea personalului operator.

Utilizarea controlului US cuprinde în principal următoarele domenii:

- \* table și benzi, țagle și bare rotunde laminate;
- \* șine de cale ferată și tramvai;
- \* țevi sudate sau nesudate;
- \* îmbinări sudate cap la cap prin topire și prin presiune;
- \* componente pentru autovehicule, piese pentru avioane și rachete;
- \* instalații din domeniul energetic;
- \* componente pentru industria nucleară;
- \* butelii de gaz și tuburi pentru proiectile;
- \* valțuri și conducte; determinarea caracteristicilor unor materiale metalice;
- \* materiale placate;
- \* arbori și axe, poansoane, matrițe;
- \* în condiții speciale, materiale nemetalice: beton, compozite etc.

Produsele laminate, forjate și în mod special cele turnate din oțeluri inoxidabile austenitice precum și oțelurile refractare, bogat aliate cu crom, nichel sau mangan, unele aliaje neferoase cum ar fi alamele și bronzurile se pot controla US numai în anumite cazuri particulare, în funcție de compoziția chimică efectivă, structură și dimensiunea caracteristicăunților cristalini. În general, materialele mai sus enumerate se controlează greu cu ultrasunete având un coeficient de atenuare mare. Pentru a mări puterea de penetrare este necesar să se folosească unde cu lungime de undă mai mare, astfel încât să fie mult mai mare decât dimensiunea grăunților cristalini.

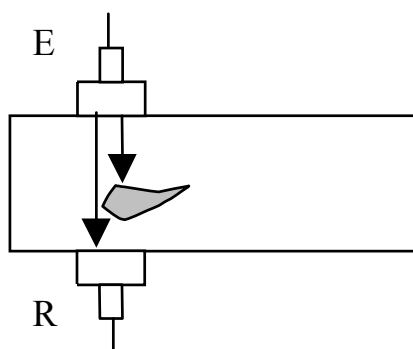
#### 4.2.2. Alegerea metodei de examinare

Stabilirea metodei și a tehnicilor de examinare se face în funcție de natura defectelor posibile, specifice materialului și tehnologiei de prelucrare, de forma geometrică și dimensiunile produsului examinat și de accesibilitatea suprafețelor din punctul de vedere al examinării.

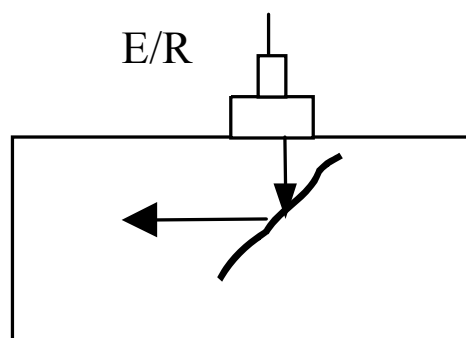
De multe ori, în practică, se folosesc mai multe metode sau tehnici de examinare combinate (metoda impulsului reflectat combinată cu metoda transmisiei etc.)

Principalele criterii care stau la baza alegerii metodei de examinare sunt:

- ☞ **Defectele cu suprafața neregulată, sferică sau plană**, orientate paralel sau înclinat față de suprafața palpată (retasuri, incluziuni de zgură, incluziuni de gaze etc.) se detectează fie prin metoda cu impuls transmis, fie prin metoda cu impuls reflectat, folosind tehnica de examinare cu incidență normală, unde longitudinale (fig.4.2).
- ☞ **Defectele plane**, orientate perpendicular pe suprafața palpată sau înclinat puțin față de normala la această suprafață (fisuri termice sau fisuri de oboseală) se detectează fie prin metoda cu impuls transmis, fie prin metoda cu impuls reflectat, folosind tehnica de examinare cu incidență înclinată (unde transversale), respectiv palpatoare de  $35^{\circ} - 45^{\circ}$  pentru piese masive și palpatoare de  $60^{\circ} - 80^{\circ}$  pentru piese subțiri (fig.4.3.).

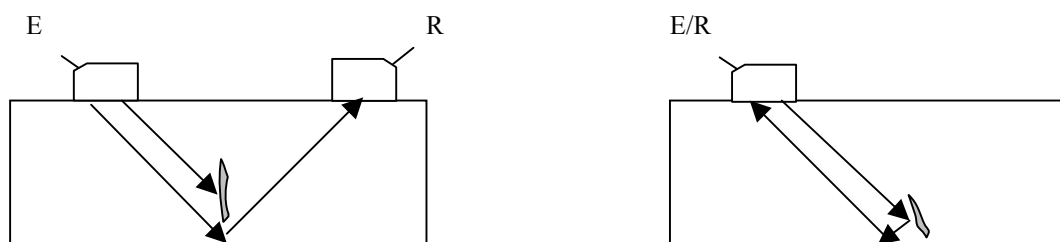


a. metoda cu impuls transmis



b. metoda cu impuls reflectat

**Fig. 4.2. Detectarea defectelor paralele sau înclinate față de suprafața palpată, prin tehnica de examinare cu incidență normală**

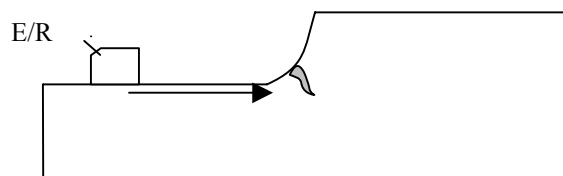


*a. metoda cu impuls transmis*

*b. metoda cu impuls reflectat*

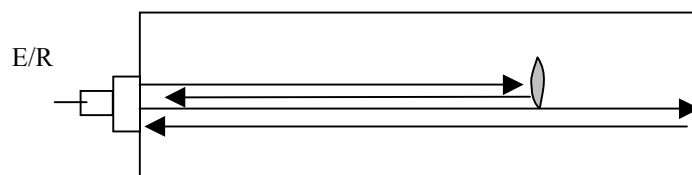
**Fig. 4.3.** Detectarea defectelor perpendiculare sau înclinate puțin față de suprafața de palpare, prin tehnica de examinare cu incidență înclinată

☞ Defectele superficiale ale pieselor prelucrate, cu suprafața curată, în special în cazul unor piese mici de formă complicată, se detectează ușor prin metoda cu impuls reflectat, folosind unde de suprafață (fig.4.4).



**Fig. 4.4.** Detectarea defectelor superficiale prin metoda cu impuls reflectat, folosind unde de suprafață

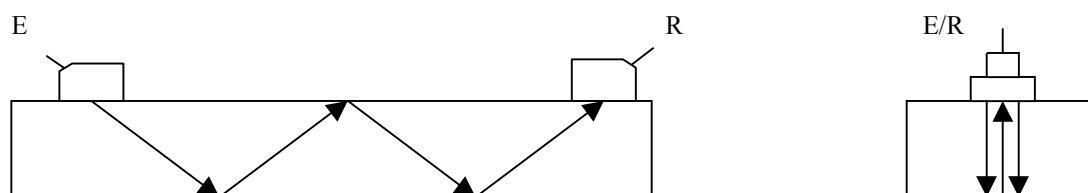
☞ Piese de grosime mare, de formă simplă, se examinează, de preferință prin metoda cu impuls reflectat, folosind tehnica de examinare cu incidență normală (unde longitudinale) – fig.4.5.



**Fig. 4.5.** Detectarea defectelor în piese de grosimi mari, de formă simplă prin tehnica de examinare cu incidență normală, metoda cu impuls reflectat

☞ Piese de grosime mijlocie, cu suprafețele paralele (table groase, tuburi cu pereți groși) se controlează fie prin metoda cu impuls transmis, folosind tehnica de

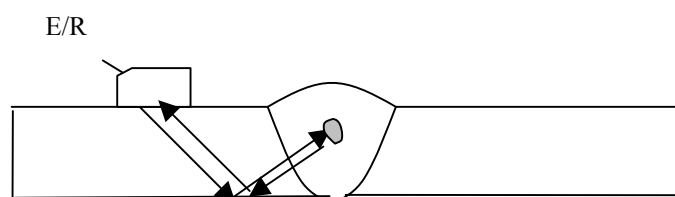
examinare cu reflexii repetate (unde transversale), fie prin metoda cu impuls reflectat, folosind tehnica de examinare cu ecouri repetate (unde longitudinale) – fig.4.6.



*a. tehnica de examinare prin reflexii repetate, metoda cu impuls transmis      b. Tehnica de examinare cu ecouri repetate, metoda cu impuls reflectat*

**Fig. 4.6. Detectarea defectelor în piese de grosimi medii**

Imbinările sudate cap la cap și de colț se controlează, de regulă, prin metoda cu impuls reflectat, folosind tehnica de examinare cu incidență înclinată (unde transversale) – fig. 4.7.



**Fig. 4.7. Detectarea defectelor în imbinările sudate prin tehnica de examinare cu incidență înclinată, metoda cu impuls reflectat**

Datorită faptului că diferitele tipuri de unde au viteze de propagare diferite în material, în momentul în care sunt reflectate de o discontinuitate, produc același ecou de defect deplasat față de axa timpului (pe ecranul tubului catodic) ceea ce conduce la dificultăți de interpretare. Din acest motiv este important să se cunoască corelația care există între unghiul de incidență și diferitele tipuri de unde ultrasonore.

Observații cu caracter general:

- Ecoul provenit de la un defect este cu atât mai clar cu cât frecvența undelor este mai mare (senzitivitatea crește cu frecvența).
- La frecvențe mari pot fi detectate defecte mici. Mărimea defectului minim detectabil este de ordinul de mărime al lungimii de undă ( $\lambda = c / f$ ).

- Creșterea frecvenței conduce la apariția semnalelor provenite de la limitele de grăunți, suprafețe de segregatie, care pot masca ecourile de defect.
- Creșterea frecvenței conduce la creșterea atenuării datorită, în principal dispersiei în structura granulară a materialului.

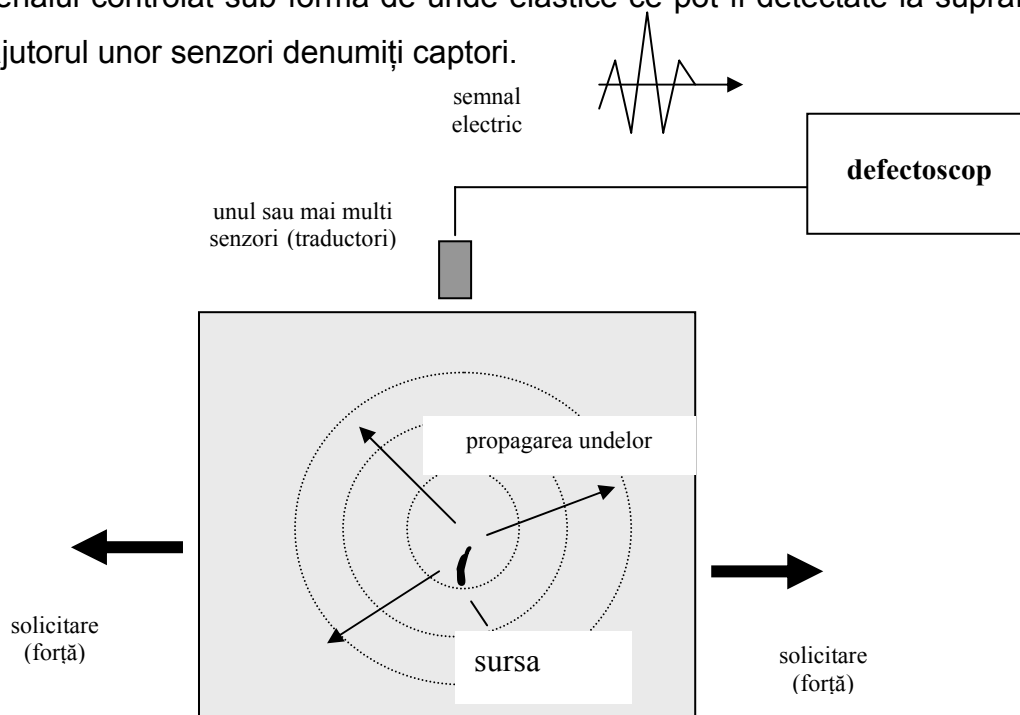
În general, frecvențele optime sunt alese în funcție de granulație și de starea suprafețelor și anume: cu cât granulația este mai mică și suprafețele sunt mai bine prelucrate cu atât frecvențele sunt mai ridicate (până la 16 MHz) și cu cât granulația este mai mare și suprafețele sunt mai puțin prelucrate, cu atât frecvențele sunt mai mici (până la 0,25 MHz).

### 4.3. CONTROLUL PRIN EMISIE ACUSTICĂ

#### 4.3.1. Principiul metodei

Produsul examinat este supus unei solicitări (figura 4.8), de exemplu de tracțiune. Fisura existentă în interiorul produsului este o sursă de emisie acustică, fie datorită microfrecărilor care se produc între suprafețele fisurii, fie datorită creșterii și propagării acesteia.

Semnalul acustic produs ca urmare a eliberării rapide de energie se propagă prin materialul controlat sub formă de unde elastice ce pot fi detectate la suprafața produsului cu ajutorul unor senzori denumiți captori.



**Fig. 4.8.** Schema de principiu a controlului prin analiza emisie acustice.

Examinarea prin analiza emisiei acustice (EA) s-a extins foarte repede ocupând în prezent un loc bine precizat printre alte metode de încercări nedistructive. Principalele domenii de utilizare sunt: monitorizarea integrității structurilor, semnalarea pierderilor prin neetanșeități, detectarea fisurilor incipiente sau chiar în momentul apariției acestora, caracterizarea comportării materialelor.

EA diferă față de alte metode de control prin următoarele două particularități:

- energia detectată provine din interiorul materialului, nu este introdusă din afară, prin echipamentul de control (ca la controlul cu ultrasunete sau radiații penetrante)
- metoda permite analiza proceselor în dinamica lor, asociată cu degradarea integrității structurale.

În comparație cu alte metode de control nedistructiv EA, prezintă în principal, următoarele avantaje:

- examinarea poate fi făcută în regim dinamic, cu produsul în funcțiune;
- pot fi controlate obiecte în chiar timpul fabricării lor;
- analiza emisiei acustice poate fi utilizată pentru supravegherea continuă a funcționării unor instalații sub presiune și prevenirea unor catastrofe (explozii, scurgeri toxice etc) prin detectarea defectelor în momentul apariției lor;
- controlul produsului este global (nu este nevoie să se scaneze întreaga suprafață a obiectului);
- detectarea defectelor se face cu o sensibilitate ridicată;
- localizarea defectului poate fi făcută în timp și în spațiu;
- se poate evidenția evoluția unui defect sau a unei modificări de fază sau structură;
- controlul se poate face de la distanță fără condiții speciale de accesibilitate la structură;
- pot fi controlate materiale eterogene sau cu structuri complicate, metalice, plastice, ceramică, sticlă, compozite etc.;
- rezultatele examinării nu sunt afectate de mărimea și orientarea defectului, de geometria obiectului controlat;

Particularitățile negative, care limitează domeniul de utilizare, sunt:

- interpretare complicată a rezultatelor din cauza interferențelor cu semnale acustice provenite din surse parazite;
- dificultăți de descriere a tipului de defect;

- dificultăți de măsurare și stabilire a formei defectelor;
- emisia acustică este generată ca urmare a existenței unei solicitări mecanice;
- metoda este la granița dintre controlul distructiv și cel nedistructiv deoarece, în multe situații, este detectat numai momentul creșterii unei fisuri;
- costul relativ ridicat al echipamentului și al softurilor necesare pentru interpretarea rezultatelor și localizarea defectelor.

Principalul dezavantaj al controlului prin emisie acustică este acela că semnalul este alcătuit dintr-un număr foarte mare de componente de frecvențe diferite, fiecare având amplitudini și faze inițiale diferite. Din aceste motive, decodificarea, în scopul identificării surselor care au produs emisia este extrem de dificilă.

#### 4.3.2. Aplicații

- **Depistarea propagării unei fisuri** – în timpul aplicării unei sarcini monoton crescătoare sau în cazul aplicării unei sarcini ciclice. Detectarea timpurie a propagării fisurii este importantă pentru prevenirea unui defect catastrofal, mai ales în cazul structurilor metalice supuse unei încărcări ciclice.
- **Fisurarea** se produce fie în timpul aplicării unei sarcini monoton crescătoare și, în acest caz, se observă fisurări ductile sau prin fragilizare, fie prin aplicarea unei sarcini ciclice, în acest caz fisurarea producându-se prin oboseală. Mecanismele de fisurare sunt multiple și complicate. Într-o probă fisurată, observarea EA este legată de deformarea plastică a materialului la vârful fisurii datorită unei creșteri a nivelului tensiunii dincolo de limita de curgere. EA este foarte utilă pentru detectarea începerii propagării fisurii în materialele oboseite și îmbătrânite din cauza condițiilor de lucru.
- **Ruperea** – în cazul în care solicitarea depășește o anumită tensiune, maxim admisă, propagarea fisurii conduce la ruperea materialului sau structurii solicitate. Experimental s-a stabilit că EA are loc în punctul de sfârșit al liniarității pe curba deplasare-sarcină, precum și în punctul în care încep deformările și contracțiile plastice la vârful fisurii. În general, mecanismele macroscopice ale emisiei acustice prevalează în raport cu sursele microscopice de EA.
- **Deformarea cristalelor** – deplasarea dislocațiilor. Dintre imperfecțiunile rețelelor cristaline ale materialelor metalice, cele mai importante din punctul de vedere al comportării acestora sub acțiunea unei solicitări mecanice, sunt dislocațiile – anomalii

de dispunere a unor plane cristaline (dislocații marginale, dislocații elicoidale). Dislocațiile apar în cristalele reale în timpul solidificării și răcirii ulterioare, ca o consecință a distorsiunilor locale ale rețelei, determinate de contactul grăuntelui în timpul creșterii sale, cu diferite obstacole: alți grăunți, incluziuni, pereții recipientului sau ca efect al acumulării la un loc a unui număr mare de vacanțe (atomi lipsă în nodurile rețelei cristaline). Prezența unei dislocații într-un cristal provoacă deformarea elastică a rețelei cristaline din vecinătatea dislocației. O rețea cristalină cu dislocații are o energie mai mare decât aceeași rețea fără dislocații. Din această cauză dislocațiile se pot deplasa cu ușurință prin cristale producând deformarea plastică.

- **Microruperea prin clivaj** – alunecarea straturilor. Microruperea prin clivaj este un mecanism de rupere în materiale aflate sub temperatura de tranziție ductil-fragil. Multe materiale ceramice, metale refractare și oțeluri feritice se distrug în acest mod la temperatura ambiantă. În materialele compozite în care fibrele ceramice, whiskers-urile sau particulele sunt încorporate în scopul ranforsării unei matrici ductile, deteriorarea apare frecvent ca urmare a clivajului.

Microfisurarea prin clivaj apare în plane cristalografice specifice. La solicitări reduse, microfisurile de clivaj se propagă cel mult până la limita grăunților cristalini datorită probabilității mici ca planele de alunecare ale grăunților adiacenți să fie orientate optim în raport cu direcția de solicitare.

- **Microruperea intergranulară** – la limitele de grăunți. În multe aliaje folosite în tehnică, limitele grăunților cristalini reprezintă o zonă slabă care se deteriorează înaintea grăunților propriu-ziși. Această lipsă de rezistență este asociată frecvent cu segregarea compușilor chimici fragili la interfața sau cu formarea fazelor fragile la limita grăunților. După germinarea unei fisuri intergranulare propagarea acesteia se poate produce rapid pe distanțe considerabile.

Ruperea intergranulară manifestată în sisteme fragile este adesea o sursă importantă de emisie acustică detectabilă. Viteza de fisurare este apropiată de cea de la clivaj în timp ce intensitatea emisiei acustice este de 20..100 de ori mai mare față de cea posibilă la clivaj.

- **Microruperea particulelor, incluziunilor** – ruperea unor incluziuni și precipitate fragile la temperatura ambiantă. Generarea EA de către acești constituenți microstructurali

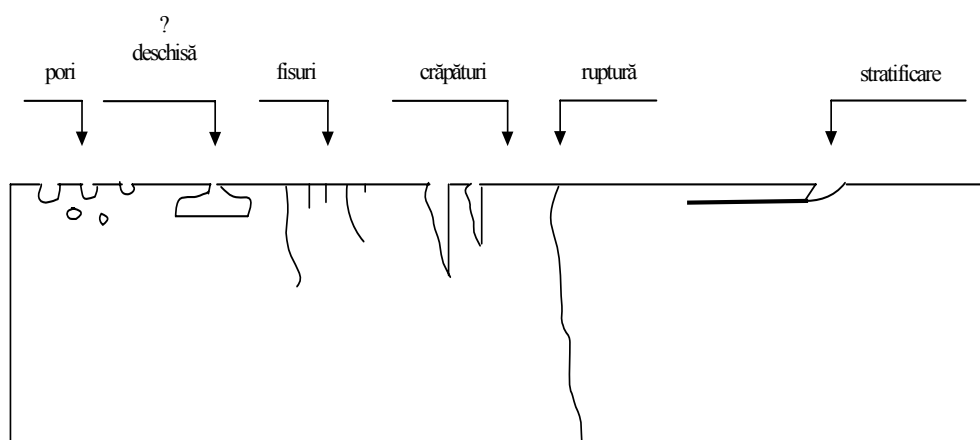
depinde de proprietățile intrinseci ale incluziunilor respective, de rezistența interfețelor și de dimensiunile particulelor.

- **Schimbări microscopice de fază.** Transformări în stare solidă. Transformarea în stare solidă determină aproape întotdeauna dezvoltarea unor tensiuni interne datorate densității, diferențelor de contracție termică între diferite faze ale aliajului. În mod obișnuit, sursele potențiale de EA în cazul transformării în stare solidă includ dezvoltarea câmpului de tensiuni, a microruperilor, microplasticității și alte mecanisme prin care câmpul de tensiuni se relaxează. De exemplu, transformarea fără difuziune a austenitei în martensită este ușor detectabilă. La începutul transformărilor martensitice s-au observat semnale intense de emisie acustică ceea ce permite măsurarea temperaturii punctului martensitic superior.

#### 4.4. EXAMINAREA CU LICHIDE PENETRANTE

##### 4.4.1. Noțiuni generale

Metoda se bazează pe capacitatea unor lichide de a pătrunde în cavități mici sau în fisuri. Se utilizează substanțe colorate sau fluorescente care pătrund în imperfecțiuni și le pun ulterior în evidență prin absorbție pe fondul diferit colorat al piesei. Principalele tipuri de discontinuități care pot fi puse în evidență cu ajutorul acestei metode sunt prezentate în fig. 4.9 iar reglementările standardelor privind alegerea parametrilor de lucru aferenți tipurilor de defecte sunt prezentate în tabelul 4.2.



**Fig. 4.9.** Discontinuități de suprafață detectabile.

**Tabelul 4.2.**

**Recomandarile standardelor privind alegerea tipurilor de penetranți**

| Material               | Produsul controlat  | Tipul defectelor | Timpul de penetrare în minute (valori medii pentru temperaturi de 16 ... 32 ° C) |                                          |
|------------------------|---------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                        |                     |                  | Penetranți solubili în apă                                                       | Penetranți solubili în solvenți organici |
| Aliaje                 | Piese turnate       | cute, pori       | 10                                                                               | 5                                        |
| Cu-Zn și               | Piese forjate sau   | suprapuneri      | 30                                                                               | 10                                       |
| Cu-Sn (alame și bronz) | extrudate           | pori,            |                                                                                  |                                          |
|                        | Îmbinări sudate sau | nepătrunderi     | 15                                                                               | 10                                       |
|                        | lipite              | fisuri           | 30                                                                               | 10                                       |

Fisurarea cusăturii sudate în aliajele de aluminiu este datorată coeficientului de expansiune termică ridicat, volumului mare de metal topit și domeniului larg de solidificare. Un rol activ în cadrul procesului de fisurare îl joacă elementele de aliere, mecanismele responsabile de fisurarea cusăturii fiind clasificate în două categorii: **fisurarea la solidificare**, care apare în cusătura sudată, fisura fiind plasată în centrul acesteia sau ramificată din craterul de solidificare finală și **fisurarea prin film lichid**, care se produce în ZIT și poate sau nu să fie depistată imediat după sudare.

#### **4.5. TIPURI DE IMPERFECTIUNI LA SUDARE. CLASIFICARE, CAUZE DE APARIȚIE ȘI REMEDII APLICABILE**

##### **4.5.1. Fisuri**

##### **4.5.1.1. Fisuri apărute la solidificare**

Fisurarea la solidificare se produce în condițiile existenței unor valori ridicate ale contracțiilor la solidificare (tensiuni reziduale, bridări, volume de material care se solidifică treptat). Sensitivitatea față de fisurarea la cald este influențată de acțiunea combinată a unor factori de natură mecanică, termică și metalurgică.

Utilizarea unei valori ridicate a energiei liniare la sudare, în condițiile unor valori ridicate ale curentului electric și scăzute ale vitezei de sudare, determină favorizarea

fenomenului de fisurare. De aceea, procedee care permit introducerea unei cantități minime de energie pe unitatea de lungime, cum este sudarea cu fascicul de electroni, reduc sensibilitatea spre fisurare a cusăturii.

O metodă care permite diminuarea tendinței de fisurare la cald a aliajelor CuNiAl este controlarea compoziției chimice a cusăturii prin alegerea unui material de adaos adecvat, care nu prezintă înclinare spre fisurarea la cald.

#### **4.5.1.2. Fisuri prin film lichid**

Acestea se produc pe limitele de grăunte, ca urmare a formării unui film subțire de material lichid la încălzirea pentru sudare. Aceste filme lichide se produc în prezența unor eutectici sau constituenți ușor fuzibili și apar, de regulă în ZIT, în vecinătatea liniei de fuziune. Formarea acestor compuși în aliajele CuNiAl este posibilă datorită diversității compoziției chimice și cantității suficiente de elemente de aliere care tind să formeze eutectici. În timpul sudării, aceste faze devin lichide înaintea altor zone de material învecinate și nu pot prelua tensiunile mecanice care apar datorită dilatărilor și contracțiilor materialului încălzit. Ca urmare, apar fisuri intergranulare, în zonele în care au existat formațiuni topite parțial, uneori urmărind conturul liniei de fuziune.

Compoziția chimică a materialului de adaos poate influența comportarea la sudare. Astfel, materialele de adaos care prezintă temperaturi de solidificare scăzute determină o mai mică susceptibilitate la fisurarea prin film lichid, chiar în condițiile unei stări de tensiuni ridicate la acele temperaturi.

#### **4.5.1.2. Fisuri la rece**

Fisurile la rece sunt denumite cele care apar după solidificarea cusăturii sau în timpul exploatării structurii sudate. Cauzele care determină apariția acestora sunt legate în special de trei factori favorizanți:

- prezența unei structuri fragile, predispuse la fisurare;
- prezența hidrogenului dizolvat în rețeaua metalică peste limita de solubilitate;
- existența unei stări de tensiuni mecanice.

În cazul aliajelor CuNiAl, sunt cunoscute efectele dăunătoare ale hidrogenului dizolvat în rețeaua metalică a cuprului, unde produce “boala de hidrogen”, manifestată prin formarea unor vapori de apă la presiune ridicată ce pot genera fisurare sau fragilizare.

#### 4.5.2. Pori

O problemă majoră care apare la sudarea aliajelor CuNiAl este formarea porilor la solidificare datorită dizolvării hidrogenului în baia de metal lichid.

**Hidrogenul** prezintă o solubilitate apreciabilă în metalul lichid și o solubilitate scăzută în materialul solid. Acesta este absorbit de baia de metal lichid în timpul sudării, iar la solidificare formează pori datorită scăderii solubilității cu temperatura.

Bulele de hidrogen pot fi evacuate sau redistribuite în timpul solidificării datorită curenților de convecție din baia de metal topit, în funcție de viteza de sudare și echilibrul presiunilor parțiale ale gazului în metal și în mediul arcului electric. O valoare scăzută a vitezei de sudare permite obținerea unei proporții mai mari de hidrogen eliminat, înaintea frontului de cristalizare.

Poziția de sudare poate, de asemenea, ajuta procesul de eliminare a hidrogenului. În general, poziția de sudare vertical – ascendentă determină formarea unei cantități minime de pori, datorită faptului că frontul de solidificare permite evacuarea ușoară a gazului. Din contră, sudarea peste cap determină apariția unui mare număr de pori, datorită acțiunii nefavorabile a forțelor ascensionale asupra bulelor de hidrogen.

Sursele de hidrogen în zona de sudare sunt: materialul de baza, materialul de adaos, gazul de protecție. Hidrogenul din materialul de bază poate fi atribuit impurităților prezente pe suprafețele rostului: lubrifianți, hidrocarbonați sau oxizi hidratați, sau poate fi prezent în matricea metalică datorită procedeelelor de elaborare (turnare, metalurgia pulberilor). Pregătirea suprafețelor la sudarea aliajelor CuNiAl este, din această cauză, o garanție a calității sudurii.

În materialul de adaos hidrogenul provine din: filme de lubrifianți sau oxizi hidratați, rezultate în urma elaborării sau procesării (trăfilare, stocare, roluire). Prezența hidrogenului în gazul de protecție se poate datora excesului de umiditate sau perturbării perdelei de gaz la sudare datorită unor curenți de aer, debitului insuficient sau vitezei de sudare prea mari. În acest sens, se impune determinarea punctului de rouă al gazului la  $-50^{\circ}\text{C}$ , ca o garanție a calității acestuia. În cazul sudării cu electrozi înveliți, este necesară uscarea acestora înainte de sudare și păstrarea în etuve încălzite pe tot timpul derulării operației de sudare.

La sudarea în mediu de gaze protectoare, atât sârma electrod, materialul de bază cât și gazul de protecție pot fi surse potențiale de hidrogen care să determine apariția

porozității în cusătură. În cazul componentelor obținute prin turnare, hidrogenul remanent dizolvat cu ocazia elaborării poate difuza și cauza apariția de pori la sudare.

Ca urmare, sunt necesare măsuri stricte pentru eliminare, pe cât posibil a surselor de hidrogen la sudare. Aceste măsuri încep cu asigurarea unei curățenii deosebite a materialului de bază (polizare cu perii de sârmă din oțel inoxidabil, decapare și degresare), eliminarea surselor de umiditate din învelișul electrozilor prin calcinare sau utilizarea unor sisteme de încălzire și uscare a gazului la sudarea în medii de gaze protectoare, alegerea parametrilor tehnologici ai regimului de sudare care să ofere cele mai bune condiții de îndepărtare a peliculei de oxizi.

Dacă se acumulează o cantitate suficientă de hidrogen în spațiul interdendritic lichid se produce suprasaturarea acestuia și apar condiții favorabile nucleerii porilor. Pentru ca porii formați din moleculele de hidrogen să crească este necesar ca procesul de nucleere să se desfășoare la o valoare a presiunii mai mare decât cea atmosferică.

Este astfel necesară, curățirea mecanică și chimică a componentelor de sudat. Grosimea stratului de metal care trebuie îndepărtat înainte de sudare de pe flancurile rostului se consideră a fi de minim 0,05 mm. De aceea, în practică se obișnuiește a se poliza suprafețele rostului, îndepărtând cel puțin 0,25 mm de pe o parte și de alta a acestuia, iar zonele învecinate cusăturii se curăță pe o distanță cuprinsă între 25 și 50 mm față de axa cusăturii.

Se recomandă, totodată, ca sudarea să se facă la interval de câteva ore față de momentul polizării mecanice, și nu înainte de a degresa zona de sudat. Un alt factor care afectează calitatea sudurii este gazul de protecție, de obicei inert (argon, heliu sau amestecuri între ele, tab. 4.3).

**Oxigenul** este foarte reactiv față de aluminiul și cuprul din aliajele CuNiAl, formând oxizi foarte stabili, cu temperaturi de topire ridicate. Prezența stratului de oxid poate reduce adâncimea de pătrundere a cordonului de sudură, producând lipsă de topire.

Oxidul de aluminiu nu se topește decât parțial în arcul electric, de aceea pot apărea incluziuni de oxid în cusătură care afectează caracteristicile mecanice ale acesteia.

Oxidul de aluminiu este, totodată, izolator electric, fiind necesară fragmentarea sa la sudare pentru a se asigura arderea corectă a arcului electric și a se evita apariția unor defecte în sudură. Acest lucru se poate realiza prin utilizarea polarității inverse (polul + pe electrod și polul – pe piesă) când stratul de oxid este bombardat de ionii grei care vin dinspre electrod, ușurând astfel emisia electronică și stabilitatea arcului.

Pentru îndepărtarea peliculei de oxid se recomandă curățirea mecanică cu perii curate din sârmă de oțel inoxidabil urmată de decapare cu fluxuri (cloruri sau fluoruri). După sudare, excesul de decapant trebuie imediat îndepărtat, pentru evitarea apariției amorselor de coroziune.

Curățirea materialului de bază înainte de sudare, de o parte și de alta a rostului îmbinării, folosind metode mecanice (de preferință), este esențială pentru a micșora riscul obținerii unei cusături necorespunzătoare.

**Tabelul 4.3**

**Aprecierea efectelor gazelor de protecție cu sau fără aditivi la sudare [1]**

| Caracteristici ale arcului și cusăturii | Gaze de protecție |                   |               |                           |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------|
|                                         | Argon             | Argon + 0,03 % NO | Ar/He (70/30) | Ar/He (70/30) + 0,03 % NO |
| Stabilitatea arcului                    | +                 | ++                | +             | ++                        |
| Controlul pătrunderii                   | +                 | ++                | +             | ++                        |
| Topirea materialului de bază            | +                 | +                 | ++            | ++                        |
| Șanțuri marginale reduse ale cusăturii  | +                 | ++                | +             | ++                        |
| Cantitate de stropi scăzută             | ++                | ++                | ++            | ++                        |
| Aspectul (luciu) cusăturii              | ++                | ++                | +             | ++                        |
| Regularitatea suprafeței cusăturii      | ++                | ++                | +             | ++                        |
| Total (+)                               | 10                | 13                | 9             | 14                        |

Legendă: ++ excelent; + bine

#### 4.5.3. Modificări structurale

Degradarea ZIT-ului este cauzată de modificările microstructurale asociate temperaturilor înalte de menținere în timpul sudării. Principala caracteristică a acestei zone este dizolvarea precipitatelor stabile la temperaturi scăzute sau creșterea dimensiunilor precipitatelor stabile la temperaturi înalte, gradul de degradare fiind dependent de temperatura și timpul de menținere.

O metodă comună pentru aprecierea nivelului de degradare este măsurarea durtății și a lățimii zonei de influență termică.

La temperaturile înalte de menținere, precipitatele se dizolvă în matricea metalică sub formă de soluție solidă, iar la răcire pot ieși din soluție sub forma unor faze secundare

de durificare. Acestea contribuie, într-o oarecare măsură, la creșterea durității în zonele învecinate liniei de fuziune.

Datorită transformărilor metalurgice care apar în ZIT, aliajele CuNiAl sunt dependente de valoarea temperaturii atinse în îmbinare la sudare, efectul energiei liniare la sudare și preîncălzirea având efecte preponderente asupra lățimii și gradului de degradare a ZIT –ului. În acest sens, limitarea efectelor negative poate fi obținută prin depuneri multistrat, cu energii liniare cât mai scăzute, evitarea preîncălzirii și controlul riguros al temperaturii între straturi. Cele mai bune rezultate se obțin prin asigurarea unei temperaturi între straturi de maxim 65 °C și utilizarea unor energii liniare sub 550 J/cm.

Rezistența de curgere și duritatea a aliajelor CuNiAl cresc cu creșterea conținutului de Al peste 10%. Totodată, caracteristicile de plasticitate cresc până la 6% apoi scad. Aceste tendințe pot fi recunoscute prin analiza structurală a depunerii sudate., prin aceea că faza alfa devine mai rezistentă decât faza fragilă gama, cu creșterea conținutului de Al.

Este posibilă și diminuarea plasticității și tenacității prin formarea fazelor eutectoide  $\alpha + \gamma_2$ , concomitent cu deteriorarea caracteristicilor fizice la viteze mici de răcire (0,5 °C/min).

Efectul vitezei de răcire este important în cazul aliajelor CuNiAl. Chiar la conținuturi ridicate de Ni și Fe, care asigură caracteristici mecanice foarte bune, se manifestă tendința de fragilizare în urma de răcirii lente, datorită transformării  $\beta \Rightarrow \alpha + \gamma_2$ . În cazul unor viteze mari de răcire, faza  $\beta$  se transformă în  $\beta'$  sau  $\alpha'$ . Ca urmare, rezistența mecanică și duritatea cresc în timp ce alungirea și reziliența scad.

#### **4.5.4. Dilatările și contracțiile la sudare**

Conductivitatea termică a aliajelor CuNiAl este ridicată. Deși temperatura de topire a este relativ scăzută ( $\cong 1100$  °C), datorită coeficientului de difuzivitate termică mare, condițiile formării cusăturii sunt diferite de cele ale oțelurilor. Căldura produsă în arcul electric este rapid transferată materialului de bază, rezultând deformații însemnate. Ca urmare, este necesară prescrierea unor regimuri de sudare cu energii liniare mari, viteze de sudare moderate și utilizarea procedeelor de sudare cu energie concentrată.

Conductivitatea termică ridicată a aliajului face ca acesta să fie foarte sensibil la fluctuațiile aleatoare din arcul electric. De aceea, este necesară prescrierea unui regim de

lucru stabilizat, utilizând pe cât posibil, procedee automate sau sisteme mecanizate de sudare.

Bridarea trebuie corelată cu depunerea alternativă a cordoanelor de sudură pentru a limita la maximum apariția deformațiilor la sudare. Zonele de capăt ale cordonului de sudură sunt, de regulă, sediul unor defecte precum cratere, fisuri, pori. De aceea, se recomandă, fie terminarea cordonului pe plăcuțe tehnologice care sunt ulterior utilizate la testarea caracteristicilor cusăturii, fie depunerea unui cordon transversal, care să determine apariția unor tensiuni de comprimare peste cusătură.

#### **4.5.5. Formarea peliculei de oxid**

Filmul de oxid care se formează cu viteze foarte mari la suprafața componentelor din aliaje CuNiAl creează probleme la sudare. Oxidul, care este izolator electric, trebuie îndepărtat în timpul sudării pentru asigurarea unor caracteristici corespunzătoare ale arcului electric și evitarea apariției defectelor în cusătură.

Aceasta se poate realiza alegând polaritatea inversă (polul + la electrod și polul – la piesa de sudat), la care are loc bombardarea peliculei de oxid cu ioni grei, spargerea sa și arderea continuă a arcului.

#### **4.5.6. Colorarea cusăturii sudate**

Colorarea este importantă în aplicațiile în care există prescripții legate de aspectul estetic. Culoarea finală a depunerii sudate depinde de compoziția chimică obținută prin amestecul dintre materialul de bază și cel de adaos. Pentru obținerea unei culori identice, compoziția chimică a materialului de adaos trebuie să fie identică cu cea a materialului de bază. Acest lucru poate fi obținut în cazul aliajelor netratate termic, dar este practic imposibil de atins la aliajele tratate termic, datorită sensibilității la fisurare. De aceea, în acest caz, materialele de adaos au compoziție chimică diferită de cea a materialului de bază.

#### 4.6. CLASIFICAREA ȘI SIMOLIZAREA IMPERFEȚIUNILOR ÎMBINĂRILOR SUDATE PRIN TOPIRE

**Defectele** îmbinărilor sudate – în prezent denumite **imperfecțiuni** conform SR EN ISO 6520-1:1998, constatate cu ajutorul controalelor defectoscopice, sunt prezentate succint pentru aplicația lucrării, respectiv lucrări de recondiționare prin sudare a elicelor navale.

Astfel, **imperfecțiune** este considerată orice abatere în raport cu îmbinarea sudată ideală, conform EN ISO 6520, iar **defect** este o imperfecțiune neacceptabilă.

Clasificarea și simbolizarea acestora se realizează conform următoarelor 6 clase principale (tab. 4.4):

- 1 – Fisuri
- 2 – Cavități
- 3 – Incluziuni solide
- 4 – Lipsă de topire și de pătrundere
- 5 – Imperfecțiuni ale formei și imperfecțiuni dimensionale
- 6 – Alte imperfecțiuni

**Tabelul 4.4**  
**Clasificarea imperfecțiunilor**

| Număr de referință      | Denumire             | Explicații                                                                                          | Localizare                                                                                            |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Grupa 1 – Fisuri</b> |                      |                                                                                                     |                                                                                                       |
| 100                     | Fisură               |                                                                                                     |                                                                                                       |
| 1001                    | Microfisură          | Vizibilă doar la microscop                                                                          |                                                                                                       |
| <b>101</b>              | Fisură longitudinală | Fisură a cărei direcție principală de extindere este aproximativ paralelă cu axa sudurii            | 1011 – Cusătură<br>1012 – Zona de trecere<br>1013 – Zona influențată termic<br>1014 – Metalul de bază |
| <b>102</b>              | Fisură transversală  | Fisură a cărei direcție principală de extindere este aproximativ perpendiculară față de axa sudurii | 1021 – Cusătură<br>1023 – Zona influențată termic<br>1024 – Metalul de bază                           |
| <b>103</b>              | Fisuri radiale       | Grup de fisuri inițiate radial din același punct.                                                   | 1031 – Cusătură<br>1033 – Zona influențată termic<br>1034 – Metalul de bază                           |
| <b>104</b>              | Fisuri în crater     | Fisură situată într-un crater de sfârșit de sudură                                                  | 1045 – Longitudinală<br>1046 – Transversală<br>1047 – În stea                                         |
| <b>105</b>              | Rețea de fisuri      | Ansamblu de fisuri grupate, cu                                                                      | 1051 – Cusătură                                                                                       |

|                                                                                                                                                                   |                               |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                               | <b>Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006</b>       |                                                                                                                                                                                                                              |    |
|                                                                                                                                                                   |                               | orientare aleatoare                                                                                                                                         | 1053 – Zona influențată termic<br>1054 – Metalul de bază                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 106                                                                                                                                                               | Fisuri ramificate             | Ansamblu de fisuri legate între ele, cu originea într-o fisură comună și care sun distincte de o rețea de fisuri marmorate (105) și de fisuri radiale (103) | 1061 – Cusătură<br>1063 – Zona influențată termic<br>1064 – Metalul de bază                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Grupa 2. Cavități</b>                                                                                                                                          |                               |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 200                                                                                                                                                               | Cavitate                      |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 201                                                                                                                                                               | Suflură                       | Cavitate formată de gaze încorporate în sudură                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2011                                                                                                                                                              | Por                           | Sufură de formă practic sferică                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2012                                                                                                                                                              | Porozitate                    | Pori uniform distribuiți în sudură.                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2013                                                                                                                                                              | Cuib de sufluri               | Grup de sufluri repartizate sub o formă oarecare                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2014                                                                                                                                                              | Sufluri aliniate              | Sufluri distribuite în lungul unei drepte paralele cu axa sudurii                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2015                                                                                                                                                              | Suflură alungită              | Suflură nesferoidală apreciabilă, a cărei dimensiune principală este aproximativ paralelă cu axa sudurii                                                    |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2016                                                                                                                                                              | Suflură vermiculară           | Suflură în formă de galerie de vierme, în sudură, ca rezultat al degajării gazelor.                                                                         | Forma și poziția acestor sufluri sunt determinate de modul de solidificare și de originea gazelor. Suflurile sunt de regulă grupate și dispuse în formă de schelet de pește. Unele dintre ele pot ieși la suprafața sudurii. |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2017                                                                                                                                                              | Por de supafață               | Suflură care iese la suprafața sudurii                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 202                                                                                                                                                               | Retasură                      |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2021                                                                                                                                                              | Retasură interdendritică      | Retasură de formă alungită care se produce între dendrite în cursul răcirii și în care se poate afla inclus gaz.                                            | De regulă, perpendiculară pe suprafața exterioară a sudurii.                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2024                                                                                                                                                              | Retasură de crater            | Retasură plasată la sfârșitul unei treceri, neeliminată înainte sau în timpul executării trecerii următoare.                                                |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2025                                                                                                                                                              | Retasură de crater deschisă   | Retasură de crater deschisă care reduce secțiunea transversală a sudurii.                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 203                                                                                                                                                               | Microretasură                 | Vizibilă doar la microscop                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2031                                                                                                                                                              | Microretasură interdendritică | Microretasură de formă alungită care se formează între dendrite pe parcursul răcirii, urmând limita de grăunte                                              |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2032                                                                                                                                                              | Microretasură transgranulară  | Microretasură de formă alungită care se formează la intersecția grăunților pe parcursul                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                        |                                             |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                        |                                             | solidificării                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                               |
| <b>Grupa 3. Incluziuni solide</b>                                      |                                             |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
| 300                                                                    | Incluziune solidă                           |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
| 301                                                                    | Incluziune de zgură                         | Reziduu de zgură inclus în sudură.                                                                                                                                                            | 3011 – aliniate<br>3012 – izolate<br>3014 – în cuib                                                                                           |
| 302                                                                    | Incluziune de flux                          | Flux inclus în sudură                                                                                                                                                                         | 3021 – aliniate<br>3022 – izolate<br>3034 – în cuib                                                                                           |
| 303                                                                    | Incluziune de oxid                          | Oxid metalic inclus în sudură în decursul solidificării                                                                                                                                       | 3031 – aliniate<br>3032 – izolate<br>3033 – în cuib                                                                                           |
| 3034                                                                   | Peliculă de oxid                            | Peliculă de oxizi metalici, formată în anumite cazuri și în special în cel al aliajelor cu aluminiu, datorată acțiunii combinate a unei protecții neadecvate și a turbulenței băii de sudare. |                                                                                                                                               |
| 304                                                                    | Incluziune metalică                         | Peliculă de metal străin inclusă în sudură                                                                                                                                                    | 3041 – wolfram<br>3042 – cupru<br>3043 – alt metal                                                                                            |
| <b>Grupa 4. Lipsă de topire și de pătrundere</b>                       |                                             |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
| 400                                                                    | Lipsă de topire și de pătrundere            |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
| 401                                                                    | Lipsă de topire (topire incompletă)         | Lipsa unei legături între metalul depus și metalul de bază sau între două straturi succesive de metal depus.                                                                                  | 4011 – lipsă de topire a marginilor metalului de sudat<br>4012 – lipsă de topire între straturi<br>4013 – lipsă de topire la rădăcina sudurii |
| 402                                                                    | Lipsă de pătrundere (pătrundere incompletă) | Diferența între pătrunderea reală și pătrunderea nominală                                                                                                                                     |                                                                                                                                               |
| 4021                                                                   | Pătrundere incompletă la rădăcină           | Una sau ambele margini ale rădăcinii nu sunt topite                                                                                                                                           |                                                                                                                                               |
| <b>Grupa 5. Imperfecțiuni ale formei și imperfecțiuni dimensionale</b> |                                             |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |
| 500                                                                    | Formă defectuoasă                           | Formă imperfectă a suprafețelor exterioare ale sudurii sau geometrie defectuoasă a îmbinării                                                                                                  |                                                                                                                                               |
| 501                                                                    | Crestătură                                  | Riz neregulat la nivelul liniei de racordare a sudurii, situat fie în metalul de bază, fie în metalul depus                                                                                   |                                                                                                                                               |
| 5011                                                                   | Crestătură continuă                         | Crestătură de lungime importantă, fără întrerupere                                                                                                                                            |                                                                                                                                               |
| 5012                                                                   | Crestătură intermitentă                     | Crestătură de lungime redusă care apare cu intermitență în                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |

|                                    |                                |                                                                                                                                               |                                                                                                    |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                | lungul sudurii                                                                                                                                |                                                                                                    |
| 5013                               | Crestătură la rădăcină         | Crestătură vizibilă pe fiecare față a trecerii de la rădăcină                                                                                 |                                                                                                    |
| 5014                               | Crestătură între rânduri       | Crestătură pe direcția longitudinală a sudurii, plasată între rânduri                                                                         |                                                                                                    |
| 5015                               | Crestătură locală intermitentă | Crestătură de lungime redusă, amplasată neregulat, pe lungimea sau pe suprafața rândurilor de sudură.                                         |                                                                                                    |
| 502                                | Îngroșare excesivă             | Exces al grosimii metalului depus la suprafața unei suduri.                                                                                   |                                                                                                    |
| 503                                | Convexitate excesivă           | Exces al grosimii metalului depus la suprafața unei suduri de colț.                                                                           |                                                                                                    |
| 504                                | Exces pătrundere de            | Exces de metal care produce o protuberanță la rădăcina unei suduri                                                                            | 5041 – exces de pătrundere local<br>5042 – exces de pătrundere continu<br>5043 – Pătrundere totală |
| 505                                | Defect racordare de            | Unghi prea mic între planul tangent la suprafața metalului de bază și planul tangent la suprafața sudurii, care trece prin linia de racordare |                                                                                                    |
| 506                                | Scurgere metal de              | Exces de metal depus care acoperă suprafața metalului de bază, fără legătură intimă cu acesta.                                                | 5061 – scurgere de metal la ultima trecere<br>5062 – scurgere de metal la rădăcină                 |
| 509                                | Supratopire                    | Scurgere a metalului depus datorită unei topiri excesive.                                                                                     |                                                                                                    |
| 510                                | Străpungere                    | Căderea băii topite care conduce la perforarea sudurii                                                                                        |                                                                                                    |
| 511                                | Subțiere                       | Insuficiență locală sau continuă de metal depus, conducând la un profil al sudurii redus în raport cu profilul corect.                        |                                                                                                    |
| 514                                | Suprafață neregulată           | Neregularitate excesivă a suprafeței                                                                                                          |                                                                                                    |
| 515                                | Retasură la rădăcină           | Adâncitură la rădăcina unei suduri cap la cap datorită contracției la solidificare                                                            |                                                                                                    |
| 516                                | Porozitate la rădăcină         | Formațiune spongioasă la rădăcina sudurii provocată de fierberea metalului topit în momentul solidificării acestuia.                          |                                                                                                    |
| 520                                | Deformare excesivă             | Abatere dimensională datorată retasurii și deformării sudurii                                                                                 |                                                                                                    |
| <b>Grupa 6. Alte imperfecțiuni</b> |                                |                                                                                                                                               |                                                                                                    |
| 600                                | Alte imperfecțiuni             |                                                                                                                                               |                                                                                                    |
| 601                                | Arsură                         | Deteriorare locală și superficială a metalului de bază, ca rezultat                                                                           |                                                                                                    |

|                                                                                   |                                                                                                                                                       |                                                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006</b> |                                                                                                                    |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                       | al amorsării unui arc electric în vecinătatea sudurii.                                                             |                                                                                     |
| <b>602</b>                                                                        | Strop                                                                                                                                                 | Strop de metal topit proiectat în timpul sudării și care aderă pe metalul de bază sau pe sudura deja solidificată. |                                                                                     |
| <b>613</b>                                                                        | Suprafață arsă                                                                                                                                        | Oxidare puternică a suprafeței în zona de sudare.                                                                  |                                                                                     |

## Bibliografie

1. Ionelia Voiculescu – Sudarea aluminiului și a aliajelor sale, Editura PRINTECH, 2003, București, ISBN 973-652-933-9;
2. Nakashima Propeller Co., LTD – Engineering documentation for manufacturing propellers – Nickel Aluminium Bronze, contract No. 02-268-60070.
3. Alexandrina Mihai – Tehnici și metode de control.
4. EN ISO 6520-1/1998 – Sudare și procedee conexe. Clasificarea imperfecțiunilor geometrice din îmbinările sudate ale materialelor metalice. Partea 1. Sudarea prin topire.
5. STAS 8299 – 78, Clasificarea și simbolizarea defectelor îmbinărilor sudate prin topire pe baza radiografiilor.
6. SR EN ISO 6520-1:1998 – Clasificarea imperfecțiunilor geometrice din îmbinările sudate ale materialelor metalice. Partea 1: Sudarea prin topire.

## **ANALIZA TEHNICO-ECONOMICĂ A PROIECTULUI**

### **CAP. V. JUSTIFICAREA FEZABILITĂȚII PROIECTULUI – ICEPRONAV**

#### **6.3. Tema studiului**

Fundamentarea tehnică și economică a posibilităților de aplicare a rezultatelor proiectului de cercetare lucrării.

Proiectul de cercetare științifică **”CERCETĂRI FUNDAMENTALE ȘI APLICATIVE PRIVIND REALIZAREA BRONZURILOR CuNiAl DESTINATE RECONDIȚIONARII ELICELOR NAVALE–ELNAV”** este propus spre realizare în cadrul Programului CERCETARE DE EXCELENȚĂ de un consorțiu inter-regional alcătuit din cercetători de la două universități de prestigiu –UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI și UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI, un IMM-cercetare-producție SUDOTIM TIMIȘOARA și două institute de cercetare ROR-TEHNOMAG CLUJ precum și ICEPRONAV GALAȚI, cu scopul de a realiza un nou tip de material de adaos și tehnologiile de fabricare utilizare a acestuia. Proiectul se înscrie în MODULUL 1 – Proiecte de cercetare – dezvoltare complexe, Tip proiect P-CD, se încadrează în aria tematică S&T – 4.2 – Materiale (Materials) (conform PC7) și platforma tehnologică la nivel european PT4 – Materiale și tehnologii avansate (Advanced engineering materials and technologies), conform pachetului de informații al Programului CEEX.

În conformitate cu scopul Programului CEEX, proiectul își propune realizarea colaborării între unități și instituții de cercetare pentru pregătirea participării la Programul Cadru de cercetare PC7 al UE și crearea unor consorții cu competență științifică și tehnică recunoscută. După cerințele obiectivelor Programului CEEX, cei cinci participanți în consorțiu acționează solidar pentru crearea unei rețele de cercetare în domeniul științei materialelor prin parteneriat de lungă durată, care vizează: dezvoltarea cercetării fundamentale, transferul cercetării fundamentale în cercetare aplicativă și apoi, implementarea în producție, creșterea capacității de acumulare de cunoștințe și experiență, dezvoltarea resurselor umane și promovarea participării la programe științifice europene și internaționale.

Din punct de vedere tehnico – științific, prin proiect, Consorțiul propune o noutate în domeniul materialelor pentru sudare, respectiv realizarea unor vergele și electrozi din

materiale nedeformabile, de tip CuNiAl, prin procedee specifice metalurgiei pulberilor (elaborare, sinterizare, forjare, trefilare). Ca element de noutate, prin prezentul proiect se crează premisele fabricării bronzurilor CuNiAl prin metalurgia pulberilor, procedeu care permite obținerea semifabricatelor vergea. Aceste vergele, prin sudare, asigura depunerea unor materiale cu performanțe mecanice similare cu cele din componența elicelor navale. Algoritmul de desfășurare a proiectului impune derularea într-o succesiune logică a unor cercetări fundamentale, aplicative și de transfer tehnologic privind caracterizarea și procedeele de obținere a materialelor pentru încărcare, obținerea electrozilor CuNiAl, caracterizarea comportării la sudare a electrozilor, proiectarea și optimizarea tehnologiilor de încărcare adecvate, transferul tehnologic al rezultatelor cercetării către partenerii direct implicați respectiv, promovarea și diseminarea pe scară largă, la nivel național și internațional, prin mijloace specifice, a acestora. Partenerii consorțiului își propun, de asemenea, ca modalități de aplicare și valorificare, omologarea și lansarea pe piață internă și externă a noului produs și a tehnologiei de depunere utilizând noul tip de electrod.

#### **6.4. Cadrul juridic**

Iesirea la Marea Neagră și cei peste 1.000 km pe care Dunărea îi străbate pe teritoriul românesc au făcut ca istoria construcțiilor de nave să înceapă în urmă cu peste 160 de ani.

Din informațiile pe care le deținem, prima navă maritimă construită în România, atestată documentar, este „Marița”, o navă din lemn lansată în septembrie 1834, la Giurgiu, de un atelier de construcții aflat pe un amplasament diferit de cel al actualului șantier. Proprietarul navei se numea Alexandru Vilara. Nava era destinată transportului de cereale între Constanța și Constantinopol.

Istoria multor șantiere navale actuale începe în același secol sub forma unor ateliere de construcții de nave: Brăila – 1832, Sulina și Galați – 1857, Turnu Severin – 1859, Constanța – 1893, Giurgiu – 1897.

Cele mai noi șantiere românești sunt cele de la Mangalia și Tulcea, construite în jurul anului 1970. De altfel, în anii '70 a fost și ultima perioadă de mari investiții și modernizări în industria navală.

## Capacități

- 12 șantiere navale de construcții și reparații.
  - o 5 șantiere navale la Marea Neagră;
  - o 7 șantiere navale pe Dunare.
- 4 fabrici principale de echipamente, din care:
  - o 2 fabrici de echipamente de punte, etc.;
  - o 1 fabrica de elice navale (diametru max. 9,5 m);
  - o 1 fabrica de motoare navale cu puteri până la 20.000 C. P.

Capacitatea, pusă în funcțiune în anii 70, este de 265 mii tone corp/an, din care 168 mii tone corp/an (70%) pentru nave maritime.

Având în vedere și preocupările dezvoltării porturilor de agrement și turism în majoritatea orașelor Dunărene, se dezvoltă și producția de ambarcațiuni, care va avea nevoie de întreținere și implicit nevoie de reparații.

Având în vedere că elicele propulsoarelor sunt elemente care se uzează în timp cu modificarea performanțelor navelor, precum și asupra caracteristicilor tehnico funcționale, pentru a micșora impactul asupra mediului, este necesar încurajarea reparării și aducerea în parametri normali a acestora pentru a le lungi durata de viață și a micșora consumul de carburant poluant. Consumul de materiale și energie pentru remedierea unei elice este incomparabil mai mic decât producerea uneia noi, motiv pentru care prezentul proiect, privind remedierea propulsoarelor vine în întâmpinarea acestei situații.

## 5.7. Prezentarea situației actuale

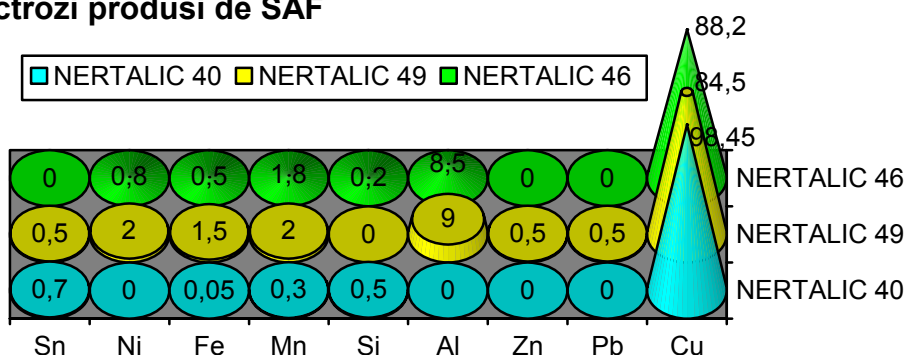
### 6.4.1. Orientări, priorități, direcții, obiective cunoscute, stadiul existent

Prin prezentul proiect de cercetare științifică se preconizează realizarea unui nou tip de material de încărcare prin sudare (bronzuri CuNiAl) de tip compozit, prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor și a ingineriei de proces, caracterizate prin aceea că, în urma depunerii prin sudare rezultă straturi deosebit de rezistente la uzura de cavitație, eroziune, coroziune și oboseală. Aceste noi materiale presupun elaborarea unor noi tehnologii de încărcare prin sudare și recondiționare a elicelor navale, prin procese ecologice de productivitate ridicată.

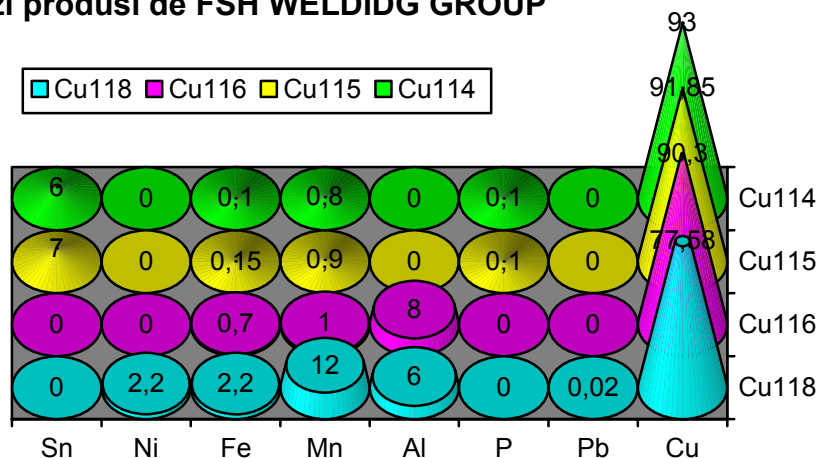
Obiectivele urmărite în momentul de față, atât de colectivele de cercetare cât și de firmele producătoare de astfel de materiale (care sunt un număr mic la nivel mondial), sunt cele de realizare a unor depuneri performante constituite din bronzuri CuNiAl, în corelație cu condițiile de solicitare și bine conturate în matrici metalice adecvate, astfel încât să se asigure suprafețelor încărcate cu o buna rezistență la uzură.

În momentul actual se fabrică electrozi înveliți pentru încărcarea prin sudare electrică manuală de tip Cu-Sn 6, Cu-Al 8 sau CuNiAl, cu învelișuri obținute prin imersie sau încărcate pe vergele turnate, strunjite și rectificate bucată cu bucată, cu performanțe de duritate și rezistență la rupere, relativ scăzute, în raport cu cerințele tehnologice. Preocupări similare există în străinătate la FRO – Italia, SELECTARC – Franța, ESAB – Suedia, CASTOLIN – Elveția etc.

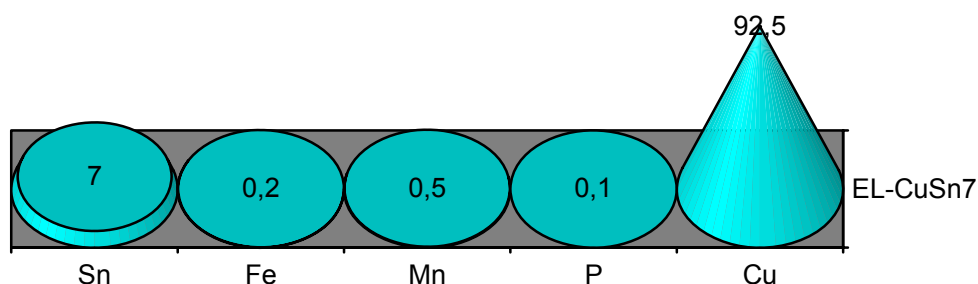
### Electrozi produși de SAF



### Electrozi produși de FSH WELDIDG GROUP



### Electrozi produși de ESAB



Fabricarea prin tehnologiile clasice a electrozilor din bronzuri CuNiAl este imposibil de realizat deoarece acestea sunt nedeformabile, iar firmele specializate din întreaga lume nu produc vergelele cu precizie dimensională ridicată. Pe plan național și internațional se produce bronz de tip CuNiAl nedeformabil, utilizat pentru obținerea de piese turnate monobloc – elici navale, de dimensiuni mari, dificil de manipulat în procesul tehnologic. Soluția promovată prin prezentul proiect face posibilă realizarea, prin metalurgia pulberilor, a unor vergele compozite CuNiAl, la precizii de minim 0,08 mm față de diametrul acestora.

Pornind de la acest concept modern de execuție, bazat pe cercetări fundamentale din metalurgia pulberilor, membrii Consorțiului vor obține un nou material care permite deformarea plastică ulterioară, pentru realizarea semifabricatelor de tip vergea prin forjare și trefilare. Elementul de noutate în domeniul metalurgiei pulberilor pentru realizarea acestor bronzuri este metoda originală de omogenizare a amestecurilor din bronz de CuNiAl, utilizând ca liant pentru sinterizare cuprul, sau un alt material adecvat acestui scop, cu temperatura de topire scăzută. Vergelele obținute vor fi destinate fabricației de electrozi înveliți pentru realizarea straturilor antiuzură și de corecție în procesele de fabricare și de reparație a elicelor.

Direcțiile principale urmărite prin aplicarea tehnologiei ecologice de sudare (încărcare) cu productivitate ridicată sunt următoarele: ecologizarea proceselor de realizare a depunerilor antiuzură, creșterea siguranței în exploatare și a disponibilității elicelor navale prin realizarea și a unei variante de electrozi înveliți acoperiți cu un strat izolator pentru sudare sub apă.

**Domeniile principale de utilizare** a acestor tipuri de materiale sunt:

recondiționarea elicelor navale care prezintă defecte la prelucrarea prin turnare cu aliaj CuNiAl;

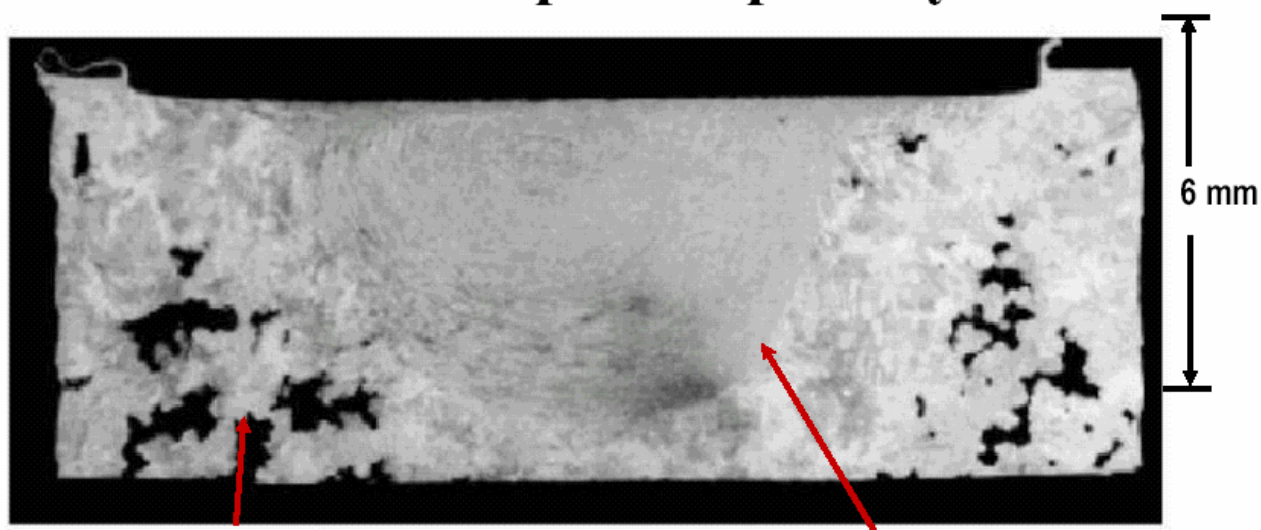


fig.1 defecte de turnare

recondiționarea elicelor navale uzate în doc uscat sau în doc umed (în imersie).



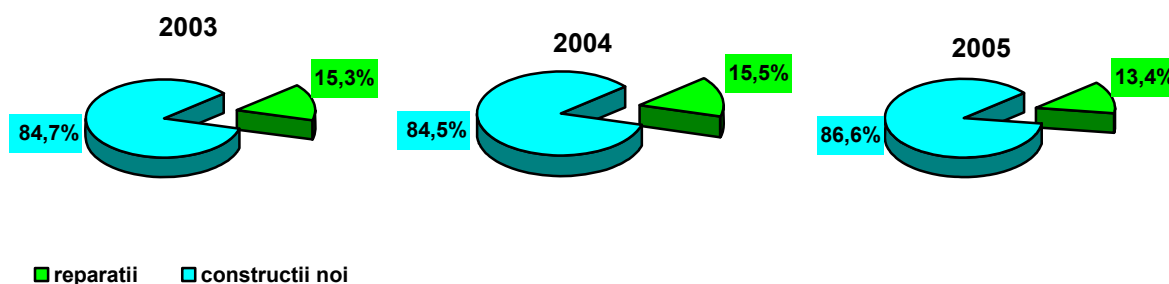
a)elice uzata care se preteaza pentru reparatie



b)repararea eliciei in imersie

fig.2

Potrivit datelor Consiliul Concurentei, reparatiile de nave reprezinta, in medie, 13,4% din totalul activitatilor desfasurate in anul 2005, in scadere fata de anul 2004, cand s-a inregistrat o pondere de 15,5% si fata de anul 2003 de 15,3%.



### 5.7.1. REZULTATE PRECONIZATE ȘI MODALITĂȚI DE APLICARE

**Rezultatele** preconizate ale activității de cercetare sunt următoarele:

- obținerea pulberilor de bronz de tip CuNiAl cu conținut redus de hidrogen și oxigen prin metalurgia pulberilor;
- obținerea prin sinterizare, forjare, trefilare a sârmelor;
- realizarea electrozilor din bronzuri CuNiAl cu înveliș dezoxidant criolitic prin tehnici clasice ale științei și ingineriei materialelor;
- elaborarea tehnologiei ecologice de încărcare prin sudare cu materiale realizate prin metalurgia pulberilor, caracterizate prin porozități și discontinuități scăzute, cu diferite conținuturi de lianți;
- realizarea straturilor antiuzură prin sudare specifică tehnologiei construcțiilor de mașini;
- optimizarea pe criterii de eficiență a straturilor antiuzură în scopul obținerii de materiale rezistente la cavitație.

Modalitățile de aplicare și valorificare constau în omologarea și lansarea pe piața concurențială a noului produs – electrodul și realizarea tehnologiei de recondiționare prin sudare a elicelor navale din CuAlNi în doc uscat și în doc umed.

### 5.7.2. UNITĂȚI C-D CU PREOCUPĂRI ÎN DOMENIU

Datorită complexității proceselor de elaborare și prelucrare a materialelor antiuzură, numărul firmelor implicate în cercetare și producție în acest domeniu este relativ restrâns. La nivelul facultăților de Știința și ingineria materialelor din cadrul Universităților Tehnice din București, Cluj, Brașov, Iași există preocupări în domeniul producerii materialelor compozite și a bronzurilor cu staniu, insuficient promovate ca soluție tehnică. De asemenea, preocupări în sensul menționat anterior există și în cadrul unor centre de cercetare de la SINTEROM Cluj, CEFIN, IMNR București etc.

### 5.7.3. POTENȚIALI UTILIZATORI

Potențialii utilizatori ai acestor noi materiale (electrozi înveliți din bronzuri de tip CuNiAl) și tehnologii de recondiționare sunt:

- turnătoriile de elici navale – pentru recondiționarea elicelor navale care prezintă defecte la prelucrarea prin turnare cu aliaj CuNiAl;
- șantiere navale specializate în lucrări de reparații – pentru recondiționarea elicelor navale uzate în doc uscat sau în doc umed (în imersie)
- mici întreprinzători particulari – pentru reconditionarea elicelor existente pentru ambarcatiunile de agrement.

### 5.8. Direcții de investiții privind implementarea proiectului

În cadrul lucrării se propune utilizarea unui procedeu eficient din punct de vedere energetic, încărcarea prin sudare cu electrozi înveliți, care nu necesită investiții suplimentare în echipamente specializate. Acest procedeu este caracterizat prin băi topite relativ reci, cu temperaturi și energii optimizate asemănătoare sudurilor prin difuziune, cu extindere redusă a diluției. Temperaturile la care este supus amestecul *mecanic* (particule solide, zguri, gaze etc.) la trecerea prin arcul electric, se optimizează prin alegerea compoziției învelișului, astfel încât să nu se depășească temperaturile de vaporizare și oxidare ale elementelor componente și să se reducă gradul de poluare prin fumuri acide. Soluția propusă permite utilizarea, în procesul de încărcare prin sudare, a unor electrozi înveliți cu grosimi mari și a unor energii liniare la sudare puțin concentrate, care asigură diminuarea efectului de topire. Prin alegerea grosimii și compoziției învelișului, a dimensiunii și naturii baghetei metalice, se asigură realizarea unor rânduri late de sudură și a unei diluții extrem de mici.

Directiile de investitie vor fi structurate in modul urmator:

In linia de preparare a amestecurilor de dozare și de obținere a semifabricatelor sinterizate (la S.C. SUDOTIM SRL Timișoara, S.C. TEHNOMAG S.A. Cluj);

In linia tehnologică de învelire prin extruziune a vergelelor din bronzuri cu CuNiAl (la S.C. SUDOTIM SRL Timișoara);

In laboratoare de analiză și caracterizare a pulberilor de miez (la S.C. SUDOTIM SRL Timișoara, S.C. TEHNOMAG S.A. Cluj);

În laboratoare de analiză metalografică, microscopie electronică și determinarea compoziției chimice (la Universitatea DUNAREA DE JOS Galați, Universitatea Politehnică din București – CEMS, S.C. SUDOTIM SRL Timișoara, S.C. TEHNOMAG S.A. Cluj, ICEPRONAV Galați);

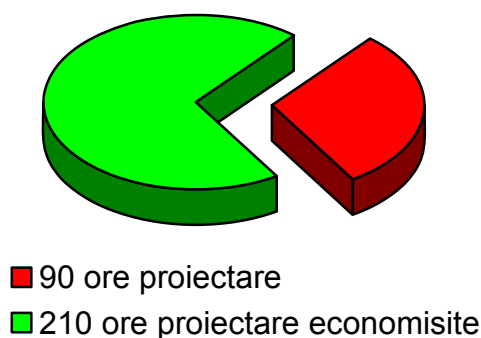
În laboratoare de încercări mecanice și tribologice (la Universitatea DUNAREA DE JOS Galați, Universitatea Politehnică din București – CEMS, S.C. SUDOTIM SRL Timișoara, S.C. TEHNOMAG S.A. Cluj, ICEPRONAV Galați);

### 5.9. Justificarea soluției adoptate

Principalele beneficii, care constituie fundamentul finanțării proiectului de către MEC, se regăsesc la beneficiarii cofinanțatori SUDOTIM TIMIȘOARA și ICEPRONAV GALATI și ceilalți membri ai consorțiului care au dreptul de unici distribuitori în zona de activitate.

Rezultatele proiectului și anume, electrozii și procedeele de încărcare ecologică sunt destinate noului concept, terotehnic, de proiectare, realizare și întreținere eficientă a utilajelor, prin tehnologii informatice. Astfel, la producătorul de electrozi SUDOTIM TIMIȘOARA se înregistrează în proiectare:

Spor de productivitate în proiectare de cca. 70 %, adică la 300 ore an, o valoare de cca. 210 ore, care valoric reprezintă: 4,75 Euro/ora (cercetator) x 210 ore = 997,8 Euro. La o producție de cca. 8 proiecte/an rezultă o economie de 7980 Euro/an;



Posibilități de fabricație diversificată, prin metalurgia pulberilor, a unei game largi de semifabricate deformabile, în condiții ecologice de pregătire a fabricației, cu economii de manoperă de minim 50 % pe produs și anume: (4 operatori în 3 luni) 1776 ore x 50 % = spor 888 ore om/ produs. Valoric, sporul se exprima astfel: 888 ore x 1,6 Euro/oră x 7 produse/an = 9945 Euro/an;

Sporuri de producție de cca. 50 %, materializate în cca. 5000 kg electrozi în plus la un preț de 20 Euro/kg și un profit de 10 %. Rezultatul anual în profit este de:

$$2 \text{ Euro} \times 5000 \text{ kg} = 10.000 \text{ Euro/an.}$$

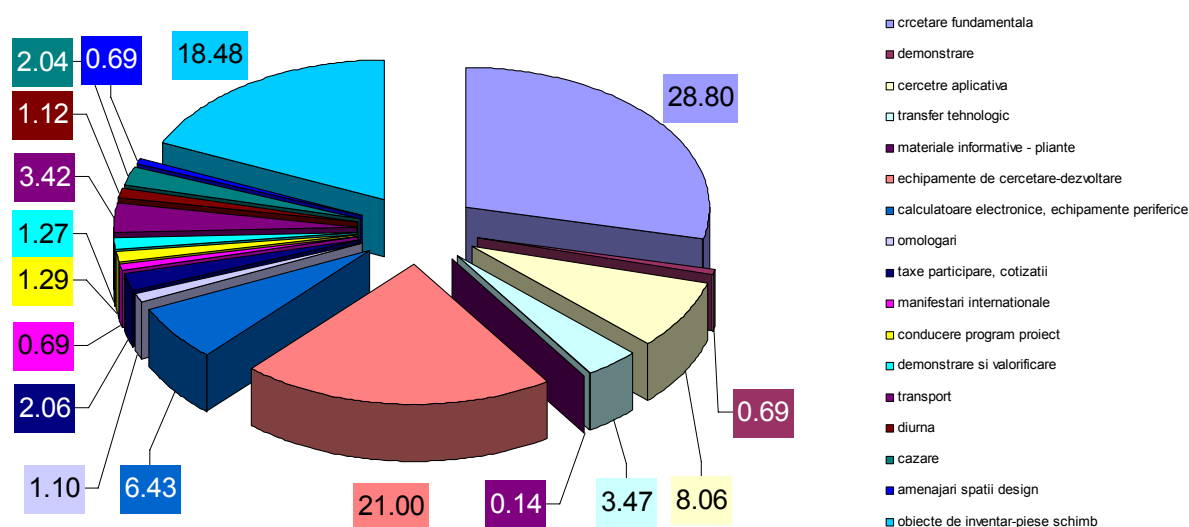
La fabricantul de elice navale și la reparatori, efectele economice se manifestă în faza de proiectare tehnologică asistată de calculator, prin sporuri de productivitate de cca. 65 %, în valoare de:

$$120 \text{ ore an} \times 4,75 \text{ Euro/oră} \times 10 \text{ produse/an} = 5.700 \text{ Euro/an.}$$

La beneficiarul reparațiilor în imersie, beneficiul se manifestă în economie de ore de staționare vapor.

## 5.10. Evaluarea investiției

Bugetul proiectului este structurat după cum se observă în diagrama mai de jos.



## 5.7. Analiza de senzitivitate a proiectului

### 5.7.1. MODALITĂȚILE DE DISEMINARE ȘI POTENȚIALI BENEFICIARI

Diseminarea rezultatelor proiectului se va face astfel:

- în interiorul parteneriatului prin – mese rotunde, întruniri, reuniuni, module de pregătire ale personalului, editarea de materiale scrise, pliante, CD-ROM ;

- în afara parteneriatului prin – tipărirea de pliante, postere, prezentarea rezultatelor pe pagina web, CD-uri de prezentare, realizarea de baze de date, portal de informare tehnologică.

Modalitățile de diseminare ale rezultatelor cercetării sunt următoarele:

- pregătirea documentației pentru programul inter-sectorial al MEC – portal pentru servicii de informare tehnologică;
- informarea factorilor locali, din domeniul industriilor de vîrf privind oportunitățile oferite de proiectul de cercetare;
- tipărirea de pliante și postere privind performanțele produselor și tehnologiilor realizate și prezentarea sau distribuirea lor la diferite manifestări științifice sau tehnice;
- acțiuni de mediatizare a realizărilor tehnice ale partenerilor productivi prin interviuri la posturi locale de radio sau articole publicate în presa locală;
- organizarea de mese rotunde cu potențiali beneficiari;
- publicarea de articole în reviste de specialitate;
- prezentarea de lucrări la sesiuni de comunicări științifice naționale sau internaționale.

## **5.8. Asigurarea surselor de finantare a proiectului**

### **5.8.1. NECESARUL DE RESURSE UMANE, MATERIALE ȘI FINANCIARE**

Pentru realizarea activităților necesare derulării proiectului echipa de management a consorțiului a considerat că trebuie implicați, pentru cercetare fundamentală și aplicativă, cadre didactice din învățământul superior tehnic, creatori de școală în domeniul științei materialelor, cercetători, doctoranzi, ingineri și personal tehnic din unități de cercetare, ingineri din unități cu profil productiv, tineri cercetători și studenți.

Pe lângă specialiștii recunoscuți în domeniu, toate instituțiile din consorțiu cooperează tineri cercetători și studenți pentru susținerea activității sale specifice, pentru asigurarea schimbului de experiență și armonizarea colectivelor de cercetare, procedură regăsită în documentele anexate proiectului tehnic.

Fiecărei etape a proiectului îi sunt alocate resursele umane, materiale și financiare în conformitate cu activitățile prevăzute prin OG 57/2002, completată și aprobată prin Legea 324/8.07.2003 și HG 48/1998, OMCT nr. 17/1998, HG 1579/2002, HG 327/2003. Pentru încadrarea în obiectivele programului național de cercetare, consorțiul distribuie fondurile totale planificate, în valoare totală de 1290000 lei, astfel:

550.000 lei pentru cercetare fundamentală în scopul acumulării de noi cunoștințe în domeniul proiectului și creșterea competențelor echipelor de cercetare, 690.000 lei pentru cercetare aplicativă și transfer tehnologic, iar 50.000 pentru activități de promovare - diseminare;

40 % din fondurile de cercetare, adică cca. 500000 lei sunt destinate dezvoltării bazei de cercetare, în scopul facilitării dezvoltării și corelării activităților CDI desfășurate în cadrul comunității S/T;

3,8 % din fondurile de cercetare (50.000 lei) sunt alocate activităților de promovare și diseminare a rezultatelor proiectului, în scopul optimizării difuzării și schimbului de cunoștințe în cadrul comunității S/T și al specialiștilor din domeniul materialelor.

Nivelul costurilor, pe categorii de cheltuieli, se regăsește, detaliat în Planul de realizare al proiectului.

### **5.8.2. MODUL DE ALOCARE ȘI UTILIZARE A RESURSELOR**

Resursele umane, materiale și financiare (de la buget și co-finanțare) sunt alocate în concordanță cu obiectivele proiectului și în conformitate cu etapele/ fazele de realizare propuse:

- 200.000 lei (buget) pentru Etapa I - Cercetări fundamentale privind caracterizarea și obținerea materialelor antiuzură;
- 305.000 lei (200.000 – buget + 105.000 co-finanțare) pentru Etapa II - Cercetări fundamentale și aplicative privind obținerea semifabricatelor deformabile și a electrozilor înveliți de tip CuNiAl;
- 380.000 lei (290.000 – buget + 90.000 co-finanțare) pentru Etapa III - Cercetări fundamentale și aplicative privind comportarea la sudare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl;

- 495.000 lei (400.000 – buget + 95.000 co-finanțare) pentru Etapa IV - Transferul tehnologic al rezultatelor cercetării privind depunerea antiuzură cu electrozi înveliți cu miez compozit;
- 240.000 lei (200.000 – buget + 105.000 co-finanțare) pentru Etapa V - Omologarea materialului și a tehnologiei. Prezentarea funcționalității și utilității. Promovarea proiectului și diseminarea rezultatelor cercetării.