

IOAN CARCEA

COSTEL ROMAN

ALIAJE NEFEROASE

-Aplicații practice-

Cuprins

Introducere		3
Lucrarea nr.1	Alegerea încărcăturii și calcule metalurgice	11
Lucrarea nr.2	Calculul încărcăturii la topirea și alierea aliajelor neferoase	23
Lucrarea nr.3	Elaborarea prealiajelor din sistemul cupru-aluminiu	40
Lucrarea nr.4	Tratarea topiturilor metalice cu fluxuri sau fondanți	52
Lucrarea nr.5	Mecanismul și cinetica oxidării metalelor lichide	64
Lucrarea nr.6	Dezoxidarea topiturilor metalice	84
Lucrarea nr.7	Interacțiunea topiturilor metalice cu hidrogenul și determinarea conținutului de hidrogen din aliajele lichide	99
Lucrarea nr.8	Cinetica degazării topiturilor metalice prin barbotare cu gaze inerte	113
Lucrarea nr.9	Degazarea topiturilor metalice în atmosfere depresurizate	129
Lucrarea nr.10	Rafinarea prin filtrarea de suprafață a topiturilor metalice neferoase	148
Lucrarea nr.11	Filtrarea internă a topiturilor metalice neferoase	156
Lucrarea nr.12	Modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor aluminiu – siliciu eutectice	167
Lucrarea nr.13	Modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor aluminiu – siliciu hipereutectice	186
Lucrarea nr.14	Modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor magneziului	198
Lucrarea nr.15	Modificarea prin metode fizico – chimice a bronzurilor cu aluminiu	218
Lucrarea nr.16	Modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor cu eutectice ușor fuzibile	232
Lucrarea nr.17	Modificarea prin metode fizice a aliajelor aluminiu – siliciu	246
Lucrarea nr.18	Modelarea procesului de solidificare	266
Lucrarea nr.19	Determinarea unghiului de contact dintre aliajul de matrice și materialul de ramforsare	274
Lucrarea nr.20	Determinarea tensiunii superficiale a metalelor și aliajelor lichide prin metoda picăturii imobile	289
Lucrarea nr.21	Procesarea materialelor compozite cu particule și	

	matricea din aliaje de aluminiu	302
Lucrarea nr.22	Noțiuni de asigurare a securității muncii în laborator	318
Anexe		330
Bibliografie		363

INTRODUCERE

Metalele și aliajele neferoase reprezintă una dintre cele mai importante grupe de materiale utilizate de om din cele mai vechi timpuri și cu perspective de creștere a importanței lor în viitor. În afara materialelor neferoase clasice, unele domenii de vârf ale tehnicii, precum: tehnica aerospațială, tehnica nucleară, electrotehnica, electronica, energetica etc., solicită materiale și aliaje cu proprietăți deosebite precum: supraconductibilitate, superplasticitate, refractaritate, rezistență mărită la coroziune, memoria formei, rezistențe mecanice de excepție, magnetism, rezistivitate etc. Pentru a fabrica produsele metalurgice solicitate de noile industrii sunt necesare tehnologii și instalații moderne, precum și specialiști cu o înaltă pregătire teoretică și practică.

Metalele și aliajele neferoase reprezintă o categorie importantă de materiale ce sunt utilizate în multe domenii ale tehnicii datorită unor caracteristici specifice ca: rezistența la acțiunea corozivă a anumitor medii, proprietăți deosebite de plasticitate, elasticitate și prelucrabilitate, variație sau constanță dimensională, capacitate de amortizare a șocurilor etc.

Caracteristicile structurale și electronice specifice metalelor se datorează faptului că atomii sunt legați între ei de către electronii de valență care sunt repartizați pe benzi energetice și nu mai aparțin fiecărui atom în parte. Proprietățile care pot face diferența dintre metale și celelalte elemente sau compuși chimici sunt de natură:

- fizică – metalele au: luci metalic, opacitate, plasticitate, elasticitate, conductivitate termică și electrică etc.

- chimică – oxizii metalelor au caracter bazic;

- tehnologică – metalele au valori specifice pentru: duritate, rezistența de rupere la tracțiune, tenacitate, rezistența la uzare, rezistența la coroziune, maleabilitate, ductilitate etc.

Datorită realizărilor tehnice din domeniul semiconductorilor și al supraconductibilității s-a stabilit că rezistivitatea electrică a oricărei substanțe este influențată de temperatură. Metalele se caracterizează prin valoarea pozitivă a coeficientului de temperatură al rezistivității electrice, ceea ce înseamnă că la creșterea temperaturii conductivitatea lor electrică scade.

Din cele 91 de metale 23 sunt plasate în grupele principale, iar celelalte 68 în grupele secundare ale sistemului periodic. Deoarece structura electronică influențează decisiv proprietățile, deci și însușirile specifice, metalele se pot împărți în două grupe mari:

a. Metale cu straturile electronice intermediare saturate cu electroni, care fac parte din grupele principale ale sistemului periodic:

- metalele blocului „S” care pierd ușor electronii de pe stratul s, sunt cele care fac parte din grupa I – metalele alcaline (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) și grupa a-II-a – metalele alcalino-pământoase (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra);

- metalele blocului „P” care pierd ușor electronii de pe stratul p, sunt cele care fac parte din grupa a III-a (Al, Ga, In, Tl,), grupa a IV-a (Sn, Pb) și grupa a V-a (Bi).

b. Metale cu straturile electronice intermediare nesaturate cu electroni, aflate în grupele secundare ale sistemului periodic, cunoscute sub

denumirea de elementele blocului „d” sau de metale de tranziție, au structura ultimului strat electronic ocupat $(n-1) \cdot d^{1-10} \cdot n \cdot s^{1-2}$, în care

$n = 4, 5, 6, 7$. Acestea se pot grupa astfel:

- metalele grupei I b (Cu, Ag, Au), au cele mai pronunțate caracteristici metalice și conductivitatea termică și electrică cea mai mare;

- metalele grupei II b (Zn, Cd, Hg) sunt ușor fuzibile și ușor volatile;

- metalele grupei III b (Sc, Y, La, Ac) sunt numeroase și foarte diferite deoarece aici intră elementele blocului „f” denumite metalele pământurilor rare, din care fac parte cele 14 lantanide (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), precum și cele 14 elemente radioactive din seria de tranziție internă a actinidelor (Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr);

- metalele grupei IV b (Ti, Zr, Hf) au proprietăți deosebite, temperatură mare de topire și formează oxizi refractari și foarte stabili;

- metalele grupei V b (V, Nb, Ta) au temperaturi înalte de topire și vaporizare, precum și o stabilitate chimică deosebit de ridicată;

- metalele grupei VI b (Cr, Mo, W) sunt alb – cenușii, strălucitoare, cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat, au temperaturi de topire foarte ridicate și sunt cele mai puțin volatile;

- metalele grupei VII b (Mn, Tc, Re) sunt foarte diferite ca răspândire (Mn este uzual, iar Tc și Re sunt rare și recent descoperite) și proprietăți (Mn are temperatura de topire de 1220°C și se oxidează ușor, iar Tc și Re care se topesc la 2700°C, respectiv 3175°C, sunt foarte refractare și stabile din punct de vedere chimic);

- metalele grupei VIII b sunt cuprinse în trei coloane, dar proprietățile sunt mai apropiate pe orizontală și din acest motiv ele se împart în două familii distincte: * familia fierului (Fe, Co, Ni) este constituită din metale tipice care au proprietăți fizico-mecanice, chimice și tehnologice deosebite și au largi aplicații în tehnică, mai ales sub formă de aliaje cu rezistență mecanică deosebită, magnetice, nemagnetice, antiacide, refractare, rezistente la coroziune, superplastice, cu memorie, moi sau cu duritate mare; * familia metalelor platinice (Ru, Rh, Pd și Os, Ir, Pt) conține elemente cu reactivitate foarte redusă care se pot găsi în stare nativă în scoarța terestră; ele sunt metale rare, refractare, inactice din punct de vedere chimic, cu utilizări speciale și costuri de fabricație foarte mari.

Datorită caracterului spațial al legăturii metalice, ionii metalici formează rețele cristaline de maximă compactitate ceea ce face ca majoritatea metalelor să cristalizeze în unul din cele trei sisteme: cubic centrat, cubic compact, hexagonal compact. Fenomenul de polimorfism este rar întâlnit la metale, mai ales în domeniul unor temperaturi rezonabile. Principalele exemple în acest sens sunt:

- Sn α , cristalizat în sistemul cubic tip diamant, trece la temperaturi mai mari de 13,2°C în Sn β care cristalizează în sistemul cubic;

- Calciul prezintă trei stări alotropice: Ca α - cub cu fețe centrate, Ca β - hexagonal și Ca γ - cub centrat;

- Stronțiul are trei stări alotropice: cubic cu fețe centrate, cubic centrat, hexagonal;

- Scandiul poate cristaliza în cubic cu fețe centrate sau în hexagonal;

- $Ti\alpha$ și $Zr\alpha$ cristalizate în sistem hexagonal trec la temperaturi mai mari de $882^{\circ}C$, respectiv $862^{\circ}C$, în $Ti\beta$ și $Zr\beta$ care au rețeaua cub centrat;

- Hafniul poate cristaliza în hexagonal sau cub cu volum centrat, manganul în sistemul cubic și tetragonal, fierul în cubic cu volum centrat sau cubic cu fețe centrate, cobaltul în hexagonal compact sau cub cu fețe centrate, wolframul în cub centrat sau cub cu fețe centrate.

În funcție de utilitatea lor tehnică metalele se pot clasifica în:

-metale uzuale: Fe, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Al, Mg, Ti etc.

-metale rare: Y, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Pt, Ru, Rh, Pd, Ga, In, Tl etc.

iar metalele uzuale se împart în:

-fierul (împreună cu aliajele sale) și

-metalele neferoase.

Din cele 90 metale neferoase cunoscute până în prezent:

- 61 sunt naturale și au o stabilitate totală a atomului,

- 13 sunt natural radioactive, au instabilitate a nucleului atomic și se obțin prin dezintegrarea altor elemente,

- 16 sunt artificiale fiind obținute prin sinteză.

Din punct de vedere a răspândirii se remarcă faptul că primele 15 elemente amplasate în partea de sus a sistemului periodic și care au numere de ordine mici, reprezintă 99,48% din scoarța terestră. Metalele neferoase care au cea mai mare pondere în litosferă sunt: Al – 7,51% ; Ca – 3,39% ; Na – 2,64% ; Mg – 1,94% ; Ti -0,58%.

O parte din metalele neferoase au fost cunoscute și folosite de oameni cu mii de ani în urmă, dar abia în secolul XX s-au înregistrat creșteri spectaculoase ale producției de metale și aliaje neferoase.

Un aliaj conține două sau mai multe elemente chimice dintre care cel puțin unul este metal. Aliajele conțin un metal de bază, elemente de aliere principale și elemente de aliere secundare.

După *numărul elementelor de aliere* aliajele sunt: binare, ternare, cuaternare sau complexe.

Aliajele neferoase se grupează după *conținutul elementelor de aliere* în:

- slab aliate, până la 3% elemente de aliere;
- mediu aliate, până la 10% elemente de aliere;
- înalt aliate, peste 10% elemente de aliere.

După *tehnologiile de prelucrare și destinație*, aliajele neferoase se clasifică în:

- aliaje de turnătorie, utilizate la turnarea pieselor care apoi se tratează termic;
- aliaje deformabile, obținute sub formă de lingouri sau semifabricate care apoi se prelucrează prin laminare, forjare, extruziune etc. și tratamente termice;
- prealiaje, folosite ca aliaje intermediare la elaborare.

Aliajele neferoase sunt caracterizate prin: simbol, compoziție nominală, compoziție admisibilă și compoziție reală.

Simbolul sau *marca* aliajului exprimă o indicație sumară asupra naturii și conținutului principalilor componenți ai aliajului. Simbolizarea aliajelor neferoase este cuprinsă în standardele românești după normele europene, SR EN, pe grupe de aliaje. De exemplu, Standardul Român SR EN 1780-2:1998 prezintă sistemul de simbolizare bazat pe simboluri chimice a lingourilor de aluminiu nealiat și aliat pentru retopire, a

prealiajelor și a pieselor turnate. Conform acestui standard, un aliaj cu baza aluminiu se simbolizează prin prefixul **EN** urmat de un spațiu, apoi litera **A**, care reprezintă aluminiu, urmată de o literă care reprezintă tipul produsului (**B**-lingouri de aluminiu nealiat sau aliat pentru retopire, **C**- piese turnate, **M**- prealiaje), o liniuță, apoi simbolul **Al**, urmat printr-un spațiu liber de simbolurile elementelor de aliere și de numere care exprimă procente de masă al elementelor de aliere (**EN AB-Al Si5Cu3**)

Compoziția nominală exprimă compoziția chimică medie a aliajului, corespunzătoare simbolizării acestuia în standarde. De exemplu, conform SR ISO 1190-1: 1993:

- CuNi18Zn27 este aliaj de cupru care conține 18% Ni, 27%Zn;
- CuSn9Zn5T–aliaj de cupru(bronz) pentru turnătorie cu 9%Sn, 5%Zn;
- CuAl9Fe5Ni5 – aliaj de cupru(bronz) cu 9% Al, 5% Fe, 5% Ni;
- CuZn38Pb2Mn2 –aliaj de cupru(alamă) cu 38% Zn, 2% Pb, 2% Mn;
- ATSi10Cu3MgFe – aliaj de aluminiu turnat, cu 10% Si, 3% Cu și cantități mici de Mg și Fe (dar nu ca impurități);
- Y-Sn83 – aliaj antifricțiune care conține 83% Sn.

Compoziția admisibilă indică limitele între care poate fi cuprinsă compoziția aliajului obținut. De exemplu, la aliajul CuSn3Zn9 limitele admisibile sunt 1,5÷3,5%Sn, 7,5÷10,0%Zn %, rest Cu.

Compoziția reală este dată de analiza chimică a aliajului elaborat. Rezultatele de analiză chimică încadrează aliajul la marca prevăzută în standard, după cum valorile analizei chimice pentru fiecare element de aliere corespund intervalului de valori din compoziția admisibilă a aliajului

din standard. De exemplu, dacă avem un aliaj cu baza cupru care conform analizei chimice conține 2,8%Sn și 9,4%Zn, acesta se încadrează la marca CuSn3Zn9.

Pregătirea practică a viitorilor specialiști în domeniul elaborării și turnării prin procedee și tehnologii noi de tratare în stare lichidă pentru rafinarea avansată a metalelor și aliajelor neferoase este o componentă esențială a întregului proces de pregătire integrată a învățământului cu cercetarea și producția.

Prezentul îndrumar servește la însușirea de către studenți a unor deprinderi practice de manevrare a aparaturii, a utilajelor și instalațiilor specifice elaborării și turnării metalelor și aliajelor neferoase.

Îndrumarul de laborator se adresează studenților de la Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor, secțiile Ingineria Procesării Materialelor și Ingineria Materialelor, dar poate fi util și altor categorii de specialiști care studiază sau produc aliaje neferoase.

Lucrarea 1

ALEGEREA ÎNCĂRCĂTURII ȘI CALCULE METALURGICE

1. Alegerea încărcăturii

La alcătuirea încărcăturii în vederea elaborării unui aliaj se utilizează acele materiale care permit obținerea unui produs de calitate în condiții de eficiență economică maximă.

Variantele de alcătuire a încărcăturii pentru elaborarea aliajelor neferoase sunt:

- încărcătură formată numai din metale primare;
- încărcătură formată din metale primare și prealiaje;
- încărcătură formată din metale primare și deșeuri proprii sau colectate;
- încărcătură formată numai din deșeuri;
- încărcătură formată din metale primare, prealiaje și deșeuri.

În practică se utilizează ultima variantă de compunere a încărcăturii deoarece introducerea metalelor primare și a prealiajelor asigură condițiile de obținere a unor aliaje de calitate, iar introducerea deșeurilor proprii sau a celor colectate conduce la reducerea costului acestora. La recepționarea deșeurilor colectate se are în vedere sortarea pe grupe după compoziția chimică. Dacă nu este posibil, acestea se vor topi, se vor turna în blocuri și se va efectua analiza chimică a acestora. În funcție de puritatea lor, este posibilă utilizarea într-o anumită proporție a metalelor secundare.

Pentru turnarea lingourilor se consumă mai multe metale primare, iar pentru turnarea pieselor, de obicei, se folosesc într-o proporție mai ridicată deșeurile proprii sau cele colectate.

2. Calculul încărcăturii

Calculul încărcăturii se face de obicei pentru 100 kg de aliaj elaborat, iar în final cantitatea de elemente componente ale încărcăturii se obține prin multiplicarea corespunzătoare cantității de aliaj dorit. Diversitatea tipurilor de cuptoare și a numărului mare de mărci de aliaje neferoase complică întrucâtva calculul încărcăturii. Pentru calculul încărcăturii trebuie să se cunoască următoarele date:

- compoziția chimică a aliajului care trebuie elaborat;
- compoziția chimică a materialelor din încărcătură;
- cantitatea de aliaj ce trebuie elaborat;
- pierderile de metal pe durata elaborării;

La efectuarea calculului încărcăturii este necesar să:

- a. stabilim compoziția chimică medie pe baza compoziției chimice admisibile dată în standarde pentru marca respectivă;
- b. stabilim arderile specifice în funcție de următorii parametri:
 - tipul aliajului elaborat și caracteristicile elementului chimic considerat, conform Tabelului 1;
 - tipul constructiv al cuptorului (cu vatră, cu creuzet etc.) și modul de încălzire (electric cu inducție sau rezistori, cu flacără etc.), conform Tabelului 2;
 - caracteristicile încărcăturii metalice, conform Tabelului 2.

Tabelul 1. Pierderi prin oxidare la elaborarea unor aliaje neferoase, în % masice

Nr. crt	Elementul	Aliajul elaborat cu baza de:			
		Cu (alame și bronzuri)	Al	Mg	Pb
1	Cu	1-1,5	0,5-1,5	-	0,5
2	Al	2-3	1-5	2-3	-
3	Zn	2-5	1-3	2	-
4	Si	4-8	1-10	1-10	-
5	Mn	2-3	0,5-2	10	-
6	Sn	1,5	-	-	0,5-1
7	Ni	1,2	0,5-1	-	5-15
8	Pb	1-2	-	-	0,5-1
9	Be	10-15	-	10-20	-
10	Mg	-	2-4	3-5	-
11	Ti	10-30	10-20	-	-
12	Zr	3-10	-	3-5	-
13	Ca	-	-	-	2-10
14	Sb	-	-	-	0,5

Pentru fiecare element chimic în parte se adoptă o ardere medie ceea ce permite calculul necesarului de element chimic pur, avându-se în vedere că în încărcătură cantitățile introduse trebuie să asigure compoziția chimică medie a băii și totodată să suplinească și pierderile nerecuperabile.

Pierderile de metal la elaborare reprezintă diferența dintre greutatea încărcăturii și greutatea aliajului obținut și constau din pierderi prin evaporare, ardere (oxidare) și reacția cu creuzetul.

Conținutul unui element în încărcătură se determină ținând cont de pierderile prin ardere, după următorul raționament:

$$\langle Me \rangle - \frac{a_{Me}}{100} \langle Me \rangle = [Me] \Rightarrow \langle Me \rangle = \frac{100 \cdot [Me]}{100 - a_{Me}}, \quad [\%]$$

unde: $\langle Me \rangle$ - conținutul de element Me ce se găsește în încărcătură, [%];

$[Me]$ - conținutul de element Me din aliajul elaborat, [%];

a_{Me} - pierderea medie de element Me în timpul elaborării, [%].

Pentru efectuarea calculului încărcăturii se au în vedere următoarele:

- stabilirea compoziției chimice medii sau optime a aliajului elaborat;
- stabilirea pierderilor de elemente din încărcătură pe perioada elaborării, datorită oxidării, evaporării sau unor reacții cu creuzetul;
- stabilirea cantității necesare din fiecare sortiment ce alcătuiește încărcătura.

Tabelul 2. Pierderile prin oxidare în funcție de tipul agregatului de elaborare și compactitatea încărcăturii (în% masice)

Nr. crt	Elementul	Compactitatea încărcăturii: C-compactă, neoxidată N- necompactă, oxidată	Tipul agregatului de elaborare		Aliajele la care se constată cele mai mari pierderi cu baza de:
			Cuptor cu creuzet	Cuptor cu vatră	
1	Al	C	0,5-1,0	2-3	Al, Cu, Ni
		N	2-3	3-5	
2	Mg	C	1-5	1-10	Cu
		N	2-10	2-20	
3	Cu	C	0,5-1,5	1,0-1,5	Cu
		N	1,0-1,5	1-3	
4	Ni	C	0,5-1,0	0,5-1,5	Pierderi constante indiferent de tipul aliajului
		N	1,0-1,5	1-2	
	Si,Mn	C	1-3	1-5	Cu
		N	2-3	5-10	
	Be	C	2-7	5-10	Al, Mg
		N	5-10	7-20	
	Ti	C	1,0-1,5	2-5	Al, Cu
		N	2-5	5-30	
	Zn	C	1-3	2-10	Cu
		N	1-5	3-20	
	Sn	C	0,5-1,5	1,0-1,5	Pierderi constante indiferent de tipul aliajului
		N	1,0-1,5	1-3	
	Pb	C	0,5-1,0	1-2	Pierderi constante indiferent de tipul aliajului
		N	1-2	1-3	
	Cd,P	C	10-30	30-40	Cu
		N	30-50	30-70	

Pe baza elementelor de încărcătură de care dispunem se stabilește pentru fiecare element chimic component al aliajului sub ce formă se

introduce în încărcătură: metal primar, metal secundar, aliaj secundar, prealiaj, deșeu propriu, deșeu din colectări etc.

Cantitățile de element component pur se majorează în funcție de pierderile prin oxidare, evaporare etc., în funcție de concentrația lui în componentul încărcăturii sau de puritatea acestuia și în final se înmulțește cu coeficientul de multiplicare k , stabilit inițial. Suma maselor componentelor încărcăturii metalice trebuie să fie superioară cantității necesare de aliaj elaborat cu valorile obținute prin însumarea mărimilor arderii medii adoptate și a celor rezultate din gradul de puritate al componentilor încărcăturii.

3. Calcule metalurgice - aplicații

În continuare se prezintă câteva probleme legate de elaborarea aliajelor neferoase.

Problema 1.

Ce cantitate de căldură este necesară pentru încălzirea, topirea și supraîncălzirea cu 50°C peste temperatura de topire a unei cantități de 1 kg de aluminiu, 1 kg de cupru, 1 kg de fier și 1 kg de plumb?

Se cunosc:

- temperaturile de topire a metalelor respective, $T_{\text{tAl}}=660^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{tCu}}=1083^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{tFe}}=1536^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{tPb}}=327^{\circ}\text{C}$;
- căldurile specifice în stare solidă la presiune constantă, $c_{\text{psAl}}=976 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{psCu}}=385 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{psFe}}=477 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{psPb}}=129 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$;
- căldurile latente de topire ale metalelor respective, $L_{\text{Al}}=387500 \text{ J/kg}$, $L_{\text{Cu}}=204400 \text{ J/kg}$, $L_{\text{Fe}}=274300 \text{ J/kg}$, $L_{\text{Pb}}=23800 \text{ J/kg}$;
- temperatura mediului ambiant, T_{a} , este 20°C ;

- căldurile specifice în stare lichidă la presiune constantă, c_{pl} , ale metalelor menționate se consideră că sunt cu 10% mai mari decât cele în stare solidă.

Rezolvare:

Cantitatea totală de căldură, Q , necesară încălzirii, topirii și supraîncălzirii unei cantități m de metal este:

$$Q = Q_{inc.} + Q_{top.} + Q_{supr.},$$

$$\text{unde: } Q_{inc.} = m \cdot c_{ps}(T_t - T_a);$$

$$Q_{top.} = m \cdot L_t;$$

$$Q_{supr.} = m \cdot c_{pl}(T_s - T_t);$$

$$T_s = T_t + 50.$$

$$\text{Deci: } Q = m[c_{ps}(T_t - T_a) + L_t + c_{pl}(T_s - T_t)]$$

Înlocuind valorile specifice fiecărui metal, obținem:

$$Q_{Al} = 1[976(660-20) + 387\,500 + 1,1 \cdot 976 \cdot 50] = 1\,065\,820 \text{ J}$$

$$Q_{Cu} = 1[385(1\,083-20) + 204\,400 + 1,1 \cdot 385 \cdot 50] = 634\,830 \text{ J}$$

$$Q_{Fe} = 1[477(1\,536-20) + 274\,300 + 1,1 \cdot 477 \cdot 50] = 1\,023\,667 \text{ J}$$

$$Q_{Pb} = 1[129(327-20) + 23\,800 + 1,1 \cdot 129 \cdot 50] = 70\,498 \text{ J}$$

Din calcule se observă că pentru încălzirea, topirea și supraîncălzirea unui kilogram de aluminiu se consumă o cantitate mai mare de căldură decât pentru celelalte metale luate în calcul. Această cantitate de căldură depinde de proprietățile termofizice specifice fiecărui metal.

Problema 2.

Să se calculeze încărcătura metalică pentru obținerea a 600 kg bronz cu 8%Sn, 12%Pb și Cu rest. Elaborarea se face într-un cuptor cu inducție de

întă frecvență, cu următoarele pierderi prin arderea metalelor: $a_{Sn}=1,5\%$, $a_{Pb}=1,2\%$ și $a_{Cu}=1,0\%$.

Calculule se fac pentru 100 kg bronz elaborat care va conține 8 kg Sn, 12 kg Pb și 80 kg Cu. Pentru compensarea pierderilor prin oxidare, încărcătura va conține:

$$\langle Sn \rangle - \frac{1,5}{100} \langle Sn \rangle = [Sn] \Rightarrow \langle Sn \rangle = \frac{8 \times 100}{100 - 1,5} = 8,122 kg$$

$$\langle Pb \rangle - \frac{1,2}{100} \langle Pb \rangle = [Pb] \Rightarrow \langle Pb \rangle = \frac{12 \times 100}{100 - 1,2} = 12,146 kg$$

$$\langle Cu \rangle - \frac{1}{100} \langle Cu \rangle = [Cu] \Rightarrow \langle Cu \rangle = \frac{80 \times 100}{100 - 1,0} = 80,808 kg$$

Pentru elaborarea a 600 kg de bronz se înmulțește necesarul de metale cu factorul de multiplicare $k = 6$:

$$8,122 \times 6 = 48,732 \text{ kg Sn};$$

$$12,146 \times 6 = 72,876 \text{ kg Pb};$$

$$80,808 \times 6 = 484,848 \text{ kg Cu}.$$

Masa totală a încărcăturii este: 606,486 kg

Problema 3.

Să se calculeze necesarul de materiale metalice pentru elaborarea a 5 kg alamă CuZn35Mn2FeAlNi, într-un cuptor electric cu inducție cu creuzet, din următoarele materiale:

- catozi de cupru electrolitic cu 99,96%Cu;
- prealiaj Cu-Mn, cu 35%Mn;
- prealiaj Cu-Fe, cu 15%Fe;
- prealiaj Cu-Al, cu 65% Al;

- prealiaj Cu-Ni, cu 65% Ni;
- plumb tehnic, cu 99,92%Pb;
- deșeuri proprii, cu următoarea compoziție chimică: 54%Cu; 0,1%Pb; 1%Mn; 1%Fe; 1%Ni; 1%Al; 41,9%Zn.

Conform standardelor în vigoare compoziția chimică admisibilă a alamei ce trebuie elaborată, este cuprinsă în limitele: 54 – 60%Cu; 0,1 – 1,0%Pb; 1,0 – 3,0%Mn; 1,0 – 2,0%Fe; 0,1 – 2,0%Ni; 0,1 – 2,0%Al; rest Zn. Compoziția chimică medie, care se va lua în calcul va fi: 57%Cu; 0,5%Pb; 2%Mn; 1%Fe; 1%Ni; 1%Al; 37,5%Zn.

Se adoptă următoarele pierderi medii: 1%Cu; 2%Al; 4%Zn; 2%Mn; 1%Ni; 2%Pb; 2%Fe. După efectuarea analizei chimice pe spectrometru se vede dacă pierderile au fost estimate corect.

Necesarul de elemente chimice din încărcătură se determină astfel:

$$Cu = \frac{100Cu}{100 - a_{Cu}} = \frac{5700}{100 - 1} = 57,576\% ;$$

$$Zn = \frac{100Zn}{100 - a_{Zn}} = \frac{3750}{100 - 4} = 39,063\% ;$$

$$Pb = \frac{100Pb}{100 - a_{Pb}} = \frac{50}{100 - 2} = 0,510\% ;$$

$$Mn = \frac{100Mn}{100 - a_{Mn}} = \frac{200}{100 - 2} = 2,041\% ;$$

$$Fe = \frac{100Fe}{100 - a_{Fe}} = \frac{100}{100 - 2} = 1,020\% ;$$

$$Ni = \frac{100Ni}{100 - a_{Ni}} = \frac{100}{100 - 1} = 1,010\% ;$$

$$Al = \frac{100Al}{100 - a_{Al}} = \frac{100}{100 - 2} = 1,020\%$$

Masa totală a încărcăturii în funcție de pierderile înregistrate în timpul elaborării este de 102,239% din care 2,239% reprezintă pierderile.

Elementele necesare asigurării compoziției chimice vor fi aduse astfel:

- cele 39,062% Zn vor fi aduse în totalitate de deșeurile proprii;
- o parte din necesarul din celelalte elemente va fi adus de deșeurile proprii, iar diferența va fi adusă de prealiaje;
- necesarul de 57,576% Cu este asigurat de deșeurile proprii, de prealiaje, precum și de catozii de cupru electrolitic cu puritatea de 99,96% Cu;
- necesarul de 0,510% Pb este asigurat de deșeurile proprii și plumbul primar cu puritatea de 99,92% Pb.

Dacă pentru ușurință facem calculele raportate la 100 kg de aliaj, atunci pentru asigurarea necesarului de 39,062% Zn vor fi utilizate

$$X_{deșeu} = \frac{39,063}{41,9} \cdot 100 = 93,228 \text{ kg deșeuri proprii.}$$

Aceste deșeuri mai aduc în încărcătură:

$$Cu_{deșeu} = 93,228 \frac{54}{100} = 50,344 \text{ kg ;}$$

$$Pb_{deșeu} = 93,228 \frac{0,1}{100} = 0,093 \text{ kg ;}$$

$$Mn_{deșeu} = 93,228 \frac{1}{100} = 0,932 \text{ kg ;}$$

$$Fe_{deșeu} = 93,228 \frac{1}{100} = 0,932 \text{ kg ;}$$

$$Ni_{deșeu} = 93,228 \frac{1}{100} = 0,932 \text{ kg} ;$$

$$Al_{deșeu} = 93,228 \frac{1}{100} = 0,932 \text{ kg} .$$

Cantitatea totală de elemente aduse de deșeurile proprii este:
39,063kg Zn + 50,344 kg Cu + 0,093 kg Pb + 0,932 kg Mn + 0,932 kg Fe +
0,932 kg Ni + 0,932 kg Al = 93,228 kg.

Necesarul de prealiaje este:

CuMn35: 2,041 kg Mn necesar - 0,932 kg Mn din deșeurile proprii
= 1,109 kg Mn din prealiaj; necesar $1,109 \times 100/35 = 3,16$ kg prealiaj
CuMn35;

CuFe15: 1,020 kg Fe necesar - 0,932 kg Fe din deșeurile proprii
= 0,088 kg Fe din prealiaj; necesar $0,088 \times 100/15 = 0,587$ kg prealiaj
CuFe15;

CuNi65: 1,010 kg Ni necesar - 0,932 kg Ni din deșeurile proprii
= 0,078 kg Ni din prealiaj; necesar $0,078 \times 100/65 = 0,12$ kg prealiaj
CuNi65;

CuAl65: 1,020 kg Al necesar - 0,932 kg Al din deșeurile proprii
= 0,078 kg Al din prealiaj; necesar $0,078 \times 100/65 = 0,12$ kg prealiaj
CuAl65.

Prealiajele aduc diferența necesară de: Mn, Fe, Ni, Al precum și
cantitatea de cupru de: $3,16 \times 65/100 + 0,587 \times 85/100 + 0,12 \times 35/100 =$
 $2,054 + 0,499 + 0,042 + 0,042 = 2,637$ kg Cu.

Diferența dintre cupru necesar și cel adus de deșeurile proprii plus
prealiaje este de: $57,576 - (50,344 + 2,637) = 4,595$ kg Cu și va fi asigurată

de catozii de cupru care vor avea masa de: $4,595 \times 100/99,96 = 4,597$ kg catozi de cupru.

Diferența dintre plumbul necesar și cel adus de deșeurile proprii este: $0,510$ kg Pb necesar - $0,093$ kg Pb din deșeurile proprii = $0,417$ kg Pb și va fi asigurată de plumbul tehnic care va avea masa de: $0,417 \times 100/99,92 = 0,417$ kg plumb tehnic.

Componența finală a încărcăturii metalice pentru elaborarea în cuptorul cu inducție cu creuzet a 5 kg alamă CuZn35Mn2AlNi este:

- catozi de cupru electrolitic: $4,597 \times 0,05 = 0,230$ kg;
- prealiaj CuMn35: $3,160 \times 0,05 = 0,158$ kg;
- prealiaj CuFe15: $0,587 \times 0,05 = 0,030$ kg;
- prealiaj CuNi65: $0,12 \times 0,05 = 0,006$ kg;
- prealiaj CuAl65: $0,12 \times 0,05 = 0,006$ kg;
- plumb tehnic: $0,417 \times 0,05 = 0,021$ kg;
- deșeuri proprii: $93,228 \times 0,05 = 4,661$ kg.

Total încărcătură:5,112 kg

Problema 4.

Se dă un bronz de compoziție 90% Cu și 10% Al în procente de greutate. Ținând seama de diagrama de echilibru Cu-Al care este trasată cu concentrațiile exprimate în procente atomice și de analiza metalografică, care utilizează procente volumice, să se exprime compoziția bronzului considerat în procente atomice, X_A și X_B , și respectiv volumice, V_A și V_B .

Notăm cu:

- G_A, G_B procentele de greutate a componentului A, respectiv B;
- M_A, M_B greutatea atomică a componentului A, respectiv B;

- X_A, X_B procentele atomice a componentului A, respectiv B;
- d_A, d_B densitatea componentului A, respectiv B;
- V_A, V_B procentele volumice a componentului A, respectiv B.

$$G_A = G_{Cu} = 90\%; \quad G_B = G_{Al} = 10\%;$$

$$M_A = M_{Cu} = 63,4; \quad M_B = M_{Al} = 27;$$

$$d_A = d_{Cu} = 8,96 \text{ g/cm}^3; \quad d_B = d_{Al} = 2,7 \text{ g/cm}^3;$$

$$X_A = \frac{100}{1 + \frac{G_B \cdot M_A}{G_A \cdot M_B}} \Rightarrow X_{Cu} = \frac{100}{1 + \frac{10 \cdot 63,4}{90 \cdot 27}} = 79,3\%$$

$$X_B = \frac{100}{1 + \frac{G_A \cdot M_B}{G_B \cdot M_A}} \Rightarrow X_{Al} = \frac{100}{1 + \frac{90 \cdot 27}{10 \cdot 63,4}} = 20,7\%$$

$$V_A = \frac{100}{1 + \frac{G_B \cdot d_A}{G_A \cdot d_B}} \Rightarrow V_{Cu} = \frac{100}{1 + \frac{10 \cdot 8,96}{90 \cdot 2,7}} = 73,1\%$$

$$V_B = \frac{100}{1 + \frac{G_A \cdot d_B}{G_B \cdot d_A}} \Rightarrow V_{Al} = \frac{100}{1 + \frac{90 \cdot 2,7}{10 \cdot 8,96}} = 26,9\%$$

Lucrarea 2

CALCULUL ÎNCĂRCĂTURII LA TOPIREA ȘI ALIEREA ALIAJELOR NEFEROASE

1. Considerații generale

După caracterul lor, pierderile de metale și aliaje la topire și turnare pot fi împărțite în două categorii:

1. Pierderi cu zgurile (în special prin oxidarea metalelor), cu fluxurile utilizate, în învelișurile de protecție, în căptușeala refractară a cuptorului sau a creuzetului, cu scoarțe, stropi de metal etc.

2. Pierderi prin evaporare, volatilizare etc. Aceste pierderi reprezintă diferența între cantitatea de metal (aliaj) încărcată în cuptor și cantitatea produselor obținute în final.

Datorită diferențelor existente între proprietățile fizico-chimice ale metalelor care intră în structura aliajelor, pierderile de metale la topire și turnare diferă uneori destul de mult. Mărimea pierderilor de metale variază în primul rând cu temperatura procesului de topire și aliere. La calculul și elaborarea șarjei trebuie să se țină seama de corecțiile datorate pierderilor prin oxidare (ardere), a pierderilor prin evaporare și a altor pierderi. Aceasta este important în special pentru încărcătura în structura căreia intră componente cu afinitate mare față de oxigen sau/și cu volatilitate ridicată.

La calculul șarjei, care la topire necesită dezoxidarea băii metalice, trebuie să se țină seama de corecția datorată cantității de metal care s-a introdus în șarjă odată cu dezoxidantul.

Analiza și studiul pierderilor de metale la topire și turnare arată că acestea depind de următorii factori:

- afinitatea metalelor și aliajelor față de oxigen (entalpia liberă de formare a oxizilor);
- densitatea metalelor și aliajelor: cu cât este mai mică densitatea cu atât este mai probabilă oxidarea și volatilizarea acestora;
- raportul dintre temperatura de încălzire a metalului în timpul topirii și turnării și temperatura de fierbere a acestuia - cu cât aceasta este mai mare cu atât evaporarea este mai intensă;
- durata de topire și turnare (durata încălzirii, a supraîncălzirii) - cu cât aceasta este mai mare cu atât pierderile prin oxidare și vaporizare sunt mai mari;
- condițiile tehnologice la topirea și turnarea metalelor și aliajelor.

Diferiți autori care au studiat influența separată a acestor factori asupra mărimii pierderilor de metale și aliaje neferoase, la topirea în cuptoare cu creuzet cu rezistoare și în cuptoare cu inducție, au tratat în mod diferit problema pierderilor de metale. În acest context trebuie luate în considerare lucrările lui Pilling și Bedworth, care au propus o teorie a intensității oxidării metalelor la topire funcție de rezistența peliculei de oxid de la suprafața băii metalice și de raportul dintre densitatea metalului și densitatea oxidului său, la o temperatură dată, numit coeficientul Pilling-Bedworth.

Principiul acestei teorii constă în faptul că pentru metale cu coeficientul Pilling-Bedworth mai mare decât unitatea, suprafața topiturii se acoperă cu o peliculă rezistentă de oxid care împiedică oxidarea ulterioară a acesteia și în aceste condiții procesul de oxidare are loc numai ca rezultat al

difuziei gazelor în topitură. În acest caz, masa metalului oxidat este direct proporțională cu mărimea peliculei de oxid și se supune legii parabolice:

$$w^2 = k\tau \quad (1)$$

unde: w este masa oxidului; τ - timpul; k - coeficientul Pilling-Bedworth.

În cazul în care coeficientul Pilling-Bedworth este mai mic decât unitatea, iar pelicula de oxid nu acoperă întreaga suprafață a topiturii, oxigenul pătrunde în baia metalică prin fisurile din peliculă, viteza de difuzie nefiind un factor determinant. În acest caz, corelația dintre cantitatea de metal oxidat și timp este liniară:

$$w = k\tau \quad (2)$$

Teoria Pilling-Bedworth oferă indicații privind intensitatea oxidării metalelor la topire și mărimea pierderilor acestora. Totuși, așa cum arată autorii acestei teorii, nu toate metalele se supun acesteia, astfel încât este foarte dificilă stabilirea pierderilor de metale la elaborarea aliajelor mai ales că nu se cunosc densitățile oxizilor în stare lichidă.

2. Stabilirea legăturii calitative și cantitative dintre mărimea pierderilor de metale și proprietățile termofizice ale topiturilor

Analiza datelor experimentale și statistice asupra pierderilor de metale și aliaje la topire și turnare permite stabilirea legăturii dintre mărimea pierderilor minime de metale pentru o serie de metale neferoase și suma corespunzătoare a coeficienților acestora.

Această dependență poate fi exprimată prin următoarea relație:

$$Y_t = K_t A_{t_{total}} \tau \quad (3)$$

unde: Y_t - pierderea de metale la topire și turnare, la o temperatură dată în % din încărcătură;

$A_{t_{total}}$ - coeficient total care reprezintă suma dintre două rapoarte: raportul între căldura de formare a oxizilor (Q - kJ/mol oxigen) și densitatea metalelor la temperatura de topire (γ_t , g/cm³) și raportul între temperatura de încălzire a metalului ($t_i = t_{top} + t_{supra\text{încalzire}}$) și temperatura sa de fierbere (t_f , °C):

$$A_{t_{total}} = \sum (A_{t_1} + A_{t_2}) = \sum \left(\frac{Q}{\gamma_t} + \frac{t_i}{t_f} \right); \quad (4)$$

τ - durata topirii în h;

K_t - coeficient care ia în considerare supraîncălzirea metalului peste temperatura de topire.

Pentru unele metale, valorile caracteristicilor metalelor necesare pentru calculul pierderilor la topire și turnare sunt date în Tabelele 1 și 2.

Tabelul 1. Valorile caracteristicilor Q , t_{top} , t_f și γ_t pentru calculul coeficienților A_{t_1} , A_{t_2} , $A_{t_{total}}$

Metal	Q, KJ/mol O ₂	t_{top} , °C	t_f , °C	γ_t , g/cm ³	Temperat ura, °C
0	1	2	3	4	5
Aluminiu	1674,7	660,1	2400	2,548 2,385 2,373 2,345 2,263 2,201 2,139 2,108	20 660 700 800 1000 1200 1400 1500
				$\rho_l = 2,369 - 3,11 \times 10^{-4} (T - T_{top})$	

0	1	2	3	4	5
Argint	30,6	960	2180	9,665 9,346 9,31 9,22 9,13 9,04 8,95 8,67 $\rho_l = 9,346-9,067 \times 10^{-4}(T-T_{top})$	20 960 1000 1100 1200 1300 1400 1700
Arsen	653,77	subli- mează	se volatili- zează		
Aur	-18	1063	2660	18,31 17,36 17,27 17,10 16,95	20 1063 1100 1200 1300
Beriliu	599,1	1280	2450	1,808 1,690 1,676 1,665 1,641 1,618 $\rho_l = 1,690-11,62 \times 10^{-4}(T-T_{top})$	20 1280 1400 1500 1700 1900
Bismut	577,8	271	1530	9,68 10,07 9,90 9,65 9,41 9,18	20 271 400 600 800 1000
Bor	1281,6	2030	2550	2,18 2,08	20 2077
Cadmiu	255,8	320,9	767	8,33 7,92 7,76	20 400 500
Calciu	634,3	850	1440	1,406 1,362 1,318	802 850 900
Ceriu	1820,4	804	2000		
Cobalt	239,1	1492	2900	8,104 7,992 7,984 7,767 $\rho_l = 7,992-10,86 \times 10^{-4}(T-T_{top})$	20 1490 1500 1700

0	1	2	3	4	5
Crom	1130,4	1900	2600	6,46 6	1875 1950
Cupru	167,5	1083	2580	8,35 8,03 8,02 7,94 7,86 7,78 7,70	20 1083 1100 1200 1300 1400 1500
Fier	264,6	1539	2900	7,287 7,014 6,958 6,790 6,623 6,456 $\rho_l = 7,014 - 8,36 \times 10^{-4}(T - T_{top})$	20 1539 1600 1800 2000 2200
Lantan	1867,3	920	4200		
Litiu	596,6	180	1330		
Magneziu	601,6	650	1105	1,637 1,590 1,576 1,524 1,497 1,470 $\rho_l = 1,590 - 2,65 \times 10^{-4}(T - T_{top})$	20 650 700 900 1000 1100
Mangan	385,2	1250	1962	5,84 5,65 5,51	1440 1350 1550
Molibden		2620	4600	9,35	2607
Natriu	421,6	97,8	883		
Nichel	240,7	1453	2900	8,26 7,905 7,853 7,621 7,390 7,158 $\rho_l = 7,905 - 11,59 \times 10^{-4}(T - T_{top})$	20 1454 1500 1700 1900 2100
Niobiu	408,2	2420	5100	7,83	2468
Platină	-172,9	1773	4389	20,16 18,91 18,745 18,675 18,605	20 1769 1825 1850 1875

0	1	2	3	4	5
Plumb	219,4	327	1750	11,079 10,678 10,582 10,320 9,792 9,528 9,265 8,870 $\rho_l = 10,678 - 13,17 \times 10^{-4}(T - T_{top})$	20 327 400 600 1000 1200 1400 1700
Siliciu	908,5	1410	2480	2,286 2,525 2,510 2,493 2,476 2,458 2,441	20 1410 1450 1500 1550 1600 1650
Staniu	286,4	231,9	2600	7,160 7,000 6,997 6,774 6,652 6,530	20 232 400 600 800 1000
Stibiu	699,2	630,5	1440	6,535 6,465 6,423 6,361 6,301 6,244 6,186	20 630 700 800 900 1000 1100
Stronțiu	604,6	770	1460		
Titan	944,1	1680	3300	4,11 4,10 3,96 3,82 $\rho_l = 4,11 - 7,02 \times 10^{-4}(T - T_{top})$	1680 1700 1900 2100
Vanadiu	1230,9	1920	3400	5,55 5,734	1920 1935
Zinc	348,3	419,5	907	6,845 6,577 6,485 6,373 6,265	20 419 500 600 700
Zirconiu	1086,5	1850	4400	5,8 6,06	1850 1835
Wolfram	842,0	3380	5700	17,5	3380

Observații:

1. Pentru simplificarea calculului, valorile pentru Q , γ_t și t_{top} s-au rotunjit deoarece nu influențează precizia calculului pierderii de metale.
2. Valorile intermediare pentru γ_t pot fi calculate prin aplicarea metodei de interpolare sau a metodei grafice.

Tabelul 2. Valorile coeficientului K_t în funcție de temperatura de supraîncălzire a metalelor

$t_{sup\ ra\i ncd}$ grade	K_t	$t_{sup\ ra\i ncd}$ grade	K_t	$t_{sup\ ra\i ncd}$ grade	K_t	$t_{sup\ ra\i ncd}$ grade	K_t
0	0,00473	110	0,01580	210	0,02686	310	0,04884
10	0,00684	120	0,01686	220	0,02826	320	0,05212
20	0,00781	130	0,01786	230	0,02999	330	0,05572
30	0,00884	140	0,01886	240	0,03191	340	0,06078
40	0,00984	150	0,01980	250	0,03379	350	0,06478
50	0,01080	160	0,02090	260	0,03599	360	0,06998
60	0,01156	170	0,02206	270	0,03819	370	0,07598
70	0,01245	180	0,02330	280	0,04039	380	0,08251
80	0,01330	190	0,02435	290	0,04279	390	0,09118
90	0,01410	200	0,02550	300	0,04610	400	0,01030
100	0,01500						

În Figura 1 este prezentată dependența pierderilor de metale la elaborarea aliajelor neferoase funcție de coeficienții dați în Tabelele 1 și 2.

În general datele teoretice, conform nomogramei, concordă cu datele practice la elaborarea aliajelor neferoase. În unele cazuri însă, este posibil să existe neconcordanțe între pierderile calculate și cele practice la topirea metalelor și aliajelor. Cauzele pot fi următoarele: procedeele defectuoase de topire și turnare, nerespectarea tehnologiei, imprecizia analizei componentelor încărcăturii sau a produselor turnate etc.

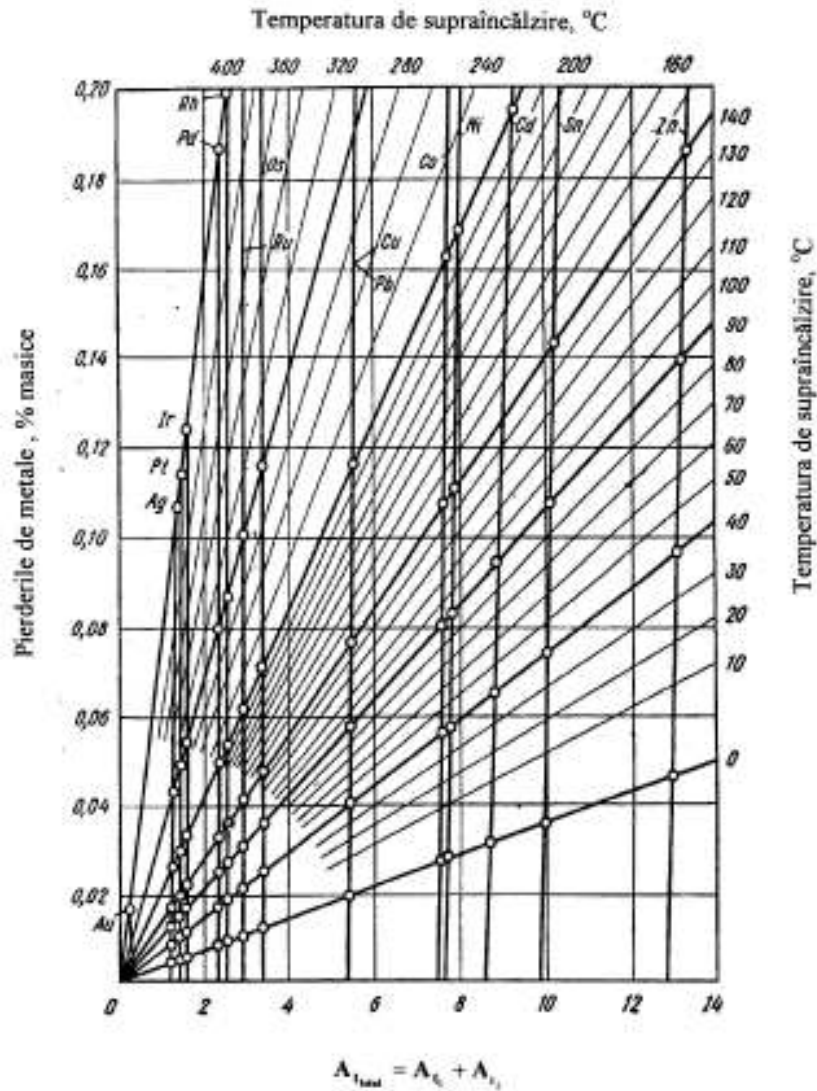


Figura 1. Nomogramele pierderilor la topire și turnare pentru unele metale, funcție de temperatura de supraîncălzire și de coeficientul A_{total}

3. Metode de calcul a șarjei

Pentru calculul șarjei este necesar să se cunoască: destinația șarjei, conținutul metalului de bază, a elementelor de aliere și a impurităților, caracteristicile materialelor care intră în șarjă, compoziția deșeurilor care intră în șarjă.

Cele mai scumpe componente ale șarjelor sunt metalele primare și prealiajele care se limitează la minimum pentru a obține totuși aliaje de bună calitate.

Cantitatea produselor reciclate de la prelucrarea metalelor și aliajelor, care intră în șarjă se determină pe baza calității producției anuale de aliaje obținute din diferite materiale.

În cazuri izolate, îndeosebi dacă aliajul turnat nu trebuie să aibă o compoziție exactă, șarja poate fi constituită numai din produse reciclate.

Totuși, fabricarea produselor turnate din materiale reciclate prin retopiri succesive fără împrăștierea metalelor inițiale nu se recomandă deoarece conduce la creșterea impurităților din metale și aliaje (Figura 2), astfel că în final aliajele obținute nu vor satisface cerințele date.

La turnarea metalelor și aliajelor neferoase se pot aplica următoarele variante de calcul de șarjă:

- a). șarjă constituită exclusiv din metale (primare, primare și reciclate sau numai reciclate);
- b). șarjă din metale și aliaje, metale și prealiaje sau din metale și aliaje împreună cu prealiaje;
- c). șarjă numai din aliaje sau numai din aliaje și prealiaje.

Calculul șarjei include în general 3 calcule succesive: șarjă conform producției anuale, șarjă după conținutul componentelor și șarjă după conținutul de impurități.

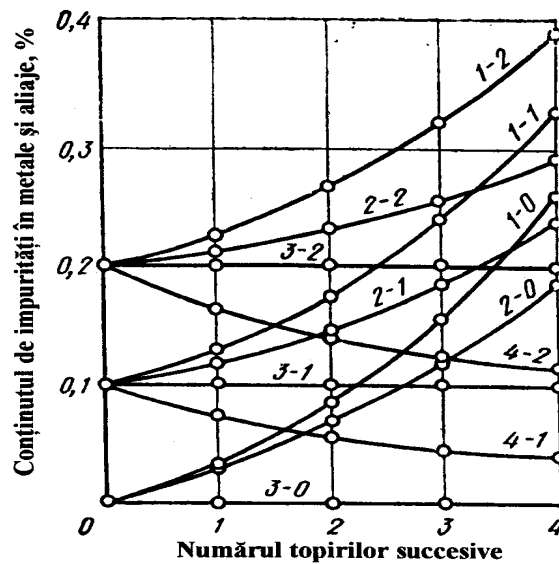


Figura 2. Dependenta acumulării de impurități în metalele și aliajele cu diferite conținuturi inițiale de impurități, de numărul de retopiri succesive și cantitatea de metale primare adăugate:

- de la 1-0 până la 1-2 - retopiri repetate fără adăugare de metale primare;
- de la 2-0 până la 2-2 - retopiri repetate cu adăugare de metale primare în cantități mai mici decât pierderile la topire și turnare;
- de la 3-0 până la 3-2 - retopiri repetate cu adăugare de metale primare în cantități egale cu pierderile la topire și turnare;
- de la 4-1 până la 4-2 - retopiri repetate cu adăugare de metale primare în cantități ce depășesc pierderile la topire și turnare.

Calculul șarjei conform producției anuale

Calculul șarjei (S) conform producției anuale de produse turnate se calculează cu formula:

$$S = G_{p.f} E_{m.f}^{k.g} = 100 G_{p.f} / G_{m.f}^{p.e} \quad (5)$$

unde: $G_{p.f}$ este cantitatea anuală de produse ale ultimei faze de producție, în kg;

$E_{m.f}^{k.g}$ - coeficient de încărcare cu produse anuale pe întreg ciclul de procesare, în fracții unitare;

$G_{m.f}^{p.e}$ - producția anuală pe întreg ciclul de procesare, în %.

Calculul șarjei după conținutul componentelor

1. Cantitatea componentei necunoscute introduse în șarjă sub formă de metal (primar, primar și reciclat sau numai reciclat) cu luarea în considerare a pierderilor la topire și turnare, în kg, se calculează cu relația:

$$\begin{aligned} X_M &= X - X_{L_1} - X_{L_2} - \dots - X_{L_n} - X_p = \\ &= \frac{SC_x}{100} \left(1 + \frac{Y_x - Y_s}{100} \right) - \frac{L_1 C_{x_1}}{100} \left(1 + \frac{Y_{x_1} - Y_{L_1}}{100} \right) - \\ &- \frac{L_2 C_{x_2}}{100} \left(1 + \frac{Y_{x_2} - Y_{L_2}}{100} \right) - \dots - \frac{L_n C_{x_n}}{100} \left(1 + \frac{Y_{x_n} - Y_{L_n}}{100} \right) - \frac{PC_{x_p}}{100} \end{aligned} \quad (6)$$

2. Cantitatea totală de componente necunoscute care intră în structura producției anuale (sub formă de metal, cu dezoxidantul, cu prealiajele și aliajele) ținând seama de pierderile de metale la topire și turnare, în kg:

$$X = \frac{SC_x}{100} \left(1 + \frac{Y_x - Y_s}{100} \right) \quad (7)$$

3. Cantitatea componentelor necunoscute introduse în șarjă cu aliajul și cu prealiajele 1, 2, ..., n (al doilea, al treilea ș.a.m.d. inclusiv până la

penultimul termen al părții din dreapta a formulei (6)), cu luarea în considerare a corecției deșeurilor de la turnare și topire, în kg:

$$X_{L_{1,2,\dots,n}} = \frac{L_{1,2,\dots,n} C_{x_{1,2,\dots,n}}}{100} \left(1 + \frac{Y_{x_{1,2,\dots,n}} - Y_{L_{1,2,\dots,n}}}{100} \right) \quad (8)$$

4. Cantitatea de componente necunoscute introduse în șarjă cu dezoxidanții, în kg:

$$X_p = \frac{PC_{x_p}}{100} \quad (9)$$

5. Cantitatea necesară de aliaj și prealiaj 1, 2, ..., n, cu care intră în șarjă componenta necunoscută, în kg:

$$L_{1,2,\dots,n} = \frac{100 X_{L_{1,2,\dots,n}}}{C_{x_{1,2,\dots,n}} \left(1 + \frac{Y_{x_{1,2,\dots,n}} - Y_{L_{1,2,\dots,n}}}{100} \right)} \quad (10)$$

unde: S este cantitatea totală de șarjă cu luarea în considerare a pierderilor la topire și turnare pentru producția anuală de produse, în kg;

P - cantitatea de dezoxidant care intră în șarjă pentru producția anuală de produse, în kg;

C_x - conținutul nominal de componente necunoscute în aliaj pentru care se alcătuieste șarja (corespunzător standardelor sau condițiilor tehnice ale aliajului dat), în %;

$C_{x_1}, C_{x_2}, \dots, C_{x_n}$ - conținutul efectiv al componentei necunoscute în aliaje și prealiajele 1, 2, ..., n, cu care intră în șarjă, în %;

C_{x_p} - conținutul efectiv de component necunoscut în dezoxidant cu care intră în șarjă, în %;

Y_x - pierderile la topirea și turnarea componentei necunoscute din aliaj – calculate după formula (3) sau luate din nomograma din Figura 1, în %;

$Y_{x_1}, Y_{x_2}, \dots, Y_{x_n}$ - pierderi ale componentei necunoscute la topire și turnare în aliaje și ale prealiajului 1, 2, ..., n, care intră în șarjă (calculate sau luate analog cu Y_x), în %;

Y_s - pierderile totale ale șarjei la topire și turnare, în(%), calculate pornind de la pierderile componentelor aliajului pentru care se realizează șarja și pierderile componentei de dezoxidare care intră în șarjă ca dezoxidant după formula:

$$Y_s = \frac{Y_a C_a + Y_b C_b + \dots + Y_n C_n + C_p C_{p,e}}{100} \quad (11)$$

unde: Y_a, Y_b, \dots, Y_n - pierderi la topirea și turnarea componentelor aliajului pentru care se realizează șarjele (calculate sau luate analog lui Y_x), în %;

C_a, C_b, \dots, C_n - conținutul nominal de componente în aliajul pentru care se realizează șarja (corespunzător standardelor sau condițiilor tehnice ale aliajului dat), în %;

C_p - cantitatea dată de dezoxidant care intră în cantitatea totală de șarjă pentru producția anuală de produse, în % din masa șarjei;

$C_{p,e}$ - conținutul efectiv de element de dezoxidare în dezoxidant, în %;

$Y_{L_1}, Y_{L_2}, \dots, Y_{L_n}$ - pierderi de aliaje și prealiaje 1, 2, ..., n, la topire și turnare cu care intră în șarjă componentele necunoscute, în %, calculate cu formula:

$$Y_L = \frac{Y_{a_1} C_{a_1} + Y_{b_1} C_{b_1} + \dots + Y_{n_1} C_{n_1}}{100} \quad (12)$$

unde: Y_L - pierderi de aliaj sau prealiaj la topire și turnare cu care intră în șarjă componenta necunoscută, în %;

$Y_{a_1}, Y_{b_1}, \dots, Y_{n_1}$ - pierderi de componente în aliaj sau prealiaj care intră în șarjă la topire sau turnare (calculat sau luat analog lui Y_x), în %;

$C_{a_1}, C_{b_1}, \dots, C_{n_1}$ - conținutul efectiv de componente în aliaj sau prealiaj care intră în șarjă, în %.

Calculul șarjei din metale cu utilizarea și fără utilizarea dezoxidanților

1. Se determină cantitatea totală a fiecăreia din componentele care intră în șarjă și în compoziția aliajului pentru care se calculează șarja după formula (7).

2. Se determină conținutul de dezoxidanți în % din masa șarjei.

3. Se determină cantitatea fiecărui component al șarjei sub formă de metale conform relației (6).

4. În final se efectuează calculul de bilanț pe componenți.

Calculul șarjei din metale și aliaje, metale și prealiaje, metale și aliaje împreună cu prealiaje și cu utilizarea sau fără utilizarea dezoxidanților

1. Se determină cantitatea totală a fiecăreia din componentele șarjei cu luarea în considerare a pierderilor la topire și turnare după formula (7).

2. Se determină cantitatea de dezoxidant necesar pentru dezoxidarea șarjei, cantitatea de elemente de dezoxidare care intră în dezoxidant și cantitatea fiecăreia din componentele care intră în șarjă cu dezoxidantul.

3. Se determină după formula (10) cantitatea fiecărui prealiaj care intră în șarjă.

4. Se determină după formula (6) cantitatea necesară de componente care intră în șarjă sub formă de metale.

5. După formula (8) se determină cantitatea totală a fiecărui component care se introduce în șarjă sub formă de prealiaje și aliaje.

6. În încheierea calculului se stabilește bilanțul șarjei după structura sa și după componente.

Calculul șarjei din aliaje cu utilizarea sau fără utilizarea dezoxidanților speciali

1. Se determină cantitatea totală a fiecăreia din componentele șarjei cu luarea în considerare a pierderilor de metale conform relației (7).

2. Se determină cantitatea de dezoxidant necesar pentru dezoxidarea șarjei, cantitatea elementelor din dezoxidant și cantitatea fiecăreia din componentele care intră în șarjă cu dezoxidantul.

3. Se determină după formula (6) cantitatea de deșeuri care intră în șarjă.

4. Se determină după formula (8) cantitatea fiecărui component care se introduce în șarjă cu deșeurile de aliaj.

5. În încheierea calculului se stabilește bilanțul șarjei după componente.

Calculul șarjei după conținutul de impurități

Calculul șarjei după conținutul de impurități pentru toate tipurile de șarje se realizează după una din următoarele relații:

$$P_p = \frac{S_1 P_1 + S_2 P_2 + \dots + S_n P_n}{S \left(1 - \frac{Y_s}{100}\right)} \leq P_d \quad (13)$$

sau:

$$P_p = \frac{P_1 C_1 + P_2 C_2 + \dots + P_n C_n}{100 - Y_s} \leq P_d \quad (14)$$

unde: P_p - conținutul total calculat de impurități sau conținutul tuturor impurităților din producția anuală pentru care se calculează șarja, în %;

P_d - conținutul total admisibil, după standarde sau norme interne, a impurităților în producția anuală pentru care se calculează șarja, în %;

S_1, S_2, \dots, S_n - cantitatea necesară calculată pentru prima, a doua și a.m.d. până la a n-a șarjă (se ia din bilanțul șarjei după componente), în kg;

P_1, P_2, \dots, P_n - conținutul efectiv de impurități determinate sau a tuturor impurităților corespunzător cu prima, a doua, ..., a n-a componentă a șarjei, în %;

C_1, C_2, \dots, C_n - conținutul calculat în șarjă corespunzător cu prima, a doua, ..., a n-a componentă (se ia din bilanțul șarjei după componente), în %;

S - cantitatea totală necesară a șarjei cu luarea în considerare a pierderilor de la topire și turnare pentru producția anuală dată, în kg;

Y_m - pierderile totale de metale la topirea și turnarea șarjei - determinate cu formula (11), în %.

În cadrul lucrării se vor efectua calcule teoretice la elaborarea unor mărci de aliaje, pe bază de Al, Mg, Cu, Ni, Zn, Sn, Pb.

Lucrarea 3

ELABORAREA PREALIAJELOR DIN SISTEMUL CUPRU-ALUMINIU

1. Considerații teoretice

Prealiajele din sistemul cupru-aluminiu cu aplicații la elaborarea aliajelor neferoase ce conțin aceste elemente sunt:

- prealiaj cupru-aluminiu, cu 50%Cu și 50%Al;
- prealiaj aluminiu-cupru-nichel, cu 50%Al, 40%Cu și 10% Ni;
- prealiaj aluminiu-cupru-fier, cu 50%Al, 40%Cu și 10%Fe;

Necesitatea pregătirii prealabile a acestora este impusă de cerința de a obține un aliaj cu compoziția prescrisă, un interval redus de timp pentru elaborare, supraîncălzirii minime ale băii metalice, arderi mici de metal prin oxidare și volatilizare, solubilizarea unei cantități minime de gaze etc.

Pierderile prin oxidare a elementelor de aliere sunt determinate în primul rând de oxidabilitatea acestora, dar în condiții reale depind nemijlocit de condițiile de elaborare care constau din prezența unei atmosfere mai mult sau mai puțin oxidante, a unei suprafețe de contact metal-atmosferă mai mari sau mai mici, a realizării unui anumit grad de supraîncălzire și a desfășurării procesului de elaborare într-un anumit interval de timp. Pentru a evita înregistrarea unei pierderi mari de metal și deci modificarea compoziției chimice a aliajului este necesar ca alierea să se facă într-un timp cât mai scurt și la o supraîncălzire minimă.

În cazul elementelor prezente în prealiajele menționate, se remarcă marea afinitate față de oxigen a aluminiului și apoi cea a fierului, dar și oxidarea semnificativă a cuprului și chiar a nichelului la temperaturile superioare de elaborare. Pierderile prin evaporare în cazul sistemelor menționate sunt nesemnificative pentru condițiile normale de elaborare. Spre deosebire de cazul în care metalele de aliere au o temperatură de topire inferioară componentului de bază și dizolvarea se realizează ușor, în situațiile inverse când elementele de aliere au temperatură superioară de topire față de elementul de bază, dizolvarea se realizează greu și necesită supraîncălziri mari pentru timpi îndelungați. Pentru cazul alierii cu Ni și Cu a aluminiului, diferența dintre temperaturile lor de topire este de aproape 800°C și respectiv peste 400°C ($T_{\text{Al}}=660^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{Cu}}=1083^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{Ni}}=1453^{\circ}\text{C}$) fiind necesare supraîncălziri excesive și o prelungire deosebit de lungă a duratei de elaborare. În consecință, se înregistrează pierderi mari prin oxidare și solubilizarea unei cantități mari de gaze în aliaj. Utilizarea prealiajelor elimină toate aceste neajunsuri.

În toate cazurile, prealiajele conțin un procent mult mai mare de elemente de aliere decât cel necesar în aliajul final, astfel că o cantitate mică de prealiaj este suficientă pentru a asigura obținerea compoziției chimice a aliajului.

Se consideră ca fiind optimă compoziția prealiajului care are temperatura de topire inferioară sau cel mult egală cu cea a metalului de bază. În plus se va avea în vedere realizarea calculului de șarjă și posibilitatea de sfărmară în bucăți a prealiajului.

Elaborarea prealiajelor menționate se realizează prin metoda topirii

directe, care constă în topirea cuprului și dizolvarea celorlalte elemente în baia metalică dezoxidată în prealabil. Dizolvarea elementelor în cupru lichid se realizează prin reacția interfazică solid-lichid și apoi difuzia prin stratul adiacent interfeței, viteza procesului fiind dată de relația:

$$\frac{dn_b}{dt} = k_c \frac{S}{V} (n_s - n_b) = \frac{k_i \frac{D}{\delta}}{k_i + \frac{D}{\delta}} \frac{S}{V} (n_s - n_b) \quad (1)$$

în care: k_c - constanta vitezei de dizolvare, cm/s;
 S - aria interfazică, cm²;
 V - volumul de lichid, cm³;
 n_s - concentrația elementului în cupru topit, la saturație, mol/cm³;
 n_b - concentrația momentană a elementului dizolvat în baia metalică, mol/cm³;
 t - durata dizolvării, s;
 k_i - constanta vitezei de reacție interfazică, cm/s;
 D - coeficientul de interdifuzie în lichid, cm²/s;
 δ - grosimea efectivă a stratului de difuzie, cm;

În cazul real al menținerii constante a densității topiturii, ecuația devine:

$$V = k_c \frac{\rho}{100} (c_s - c_b) \quad (2)$$

în care: ρ - densitatea topiturii, g/cm³;
 c_s și c_b - concentrațiile elementului în cupru la saturație și la momentul dat, %;

V - viteza de dizolvare a elementului în cupru, $\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a elabora câteva mărci de prealiaje din sistemul cupru – aluminiu și de a determina caracteristicile fizico – mecanice și tehnologice ale acestora, înainte și după degazare.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind elaborarea prealiajelor din sistemul cupru – aluminiu sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de elaborare a prealiajelor cupru-aluminiu sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Elaborarea prealiajelor cupru-aluminiu se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 1.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei,

transportării și turnării prealiajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);



Figura 1. **Schema instalației de laborator**

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice; prealiajele cupru-aluminiu se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale aliajelor elaborate și degazate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind elaborarea prealiajelor cupru-aluminiu sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Cu, Al, Ni, Fe, Mn etc.
- strunjituri de fier;
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- cupru fosforos(CuP₉, CuP₁₁ sau CuP₁₃);
- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%Nacl + 10%KCl + 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);
- fluxuri de protecție a băilor metalice pe bază de cupru și aluminiu;
- degazanți: C₂Cl₆ , BCl₃ , KCl , MnCl₂ , ZnCl₂ , azot gazos;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Elaborarea prealiajelor cupru-aluminiu” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea fonanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g prealiaj Cu-Al, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare din laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 1-3% la Al, 1-2% la Cu, 0,5-2% la Fe și 0,5-1% la Ni;
- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g prealiaj Cu-Al;
- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fonanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;
- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.
- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice ale prealiajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;
- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de cupru și de deșeuri proprii;
- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura

creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție(mangal și sticlă pisată) sau de fondant universal, iar imediat după topire se adaugă restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de 1150⁰C se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie și se face dezoxidarea cu cupru fosforos, după care se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura;

- se face alierea treptată cu aluminiu și cu elementele secundare de aliere;

- atât înainte cât și după degazarea și rafinarea cu cloruri (MnCl₂) sau azot, la temperatura de 700⁰C, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice și tehnologice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de prealiaj;

- se pregătesc șlifuri metalografice din epruvetele prelevate înainte și după degazare, pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurii;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice ale prealiajelor elaborate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$,

alungirea A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din prealiajele elaborate.

3.4. Particularități ale elaborării

a) Elaborarea prealiajului Cu-Al

Există două modalități distincte de elaborare.

Dacă aluminiu solid se adaugă în baia de cupru dezoxidat se impune ca acesta să reprezinte 2/3 din cantitatea necesară de cupru, restul de 1/3 adăugându-se împreună cu aluminiu. Se evită astfel supraîncălzirile locale de 200-300°C datorate degajării mari de căldură (pentru un prealiaj Cu-Al cu 50% Al) la formarea compușilor intermetalici.

A doua modalitate prevede topirea separată a cuprului și a 2/3 din cantitatea de aluminiu necesară și apoi turnarea cuprului în jet subțire în aluminiu topit cu adăugarea gradată a restului de aluminiu.

Dezoxidarea băii de cupru se impune în ambele cazuri, deoarece aluminiu este un dezoxidant puternic care conduce la formarea aluminei ce rămâne în suspensie în topitură sub formă de incluziuni solide.



La turnarea în lingotieră, prealiajul are temperatura de 670-700°C.

b) Elaborarea prealiajului aluminiu-cupru-nichel

După elaborarea separată, prealiajul binar cupru-nichel, obținut prin adăugarea treptată a nichelului în baia de cupru dezoxidat, se toarnă peste aluminiu topit într-un creuzet separat. Temperatura în acest caz este 720-750°C.

c) Elaborarea prealiajului aluminiu-cupru-fier

Prealiajul binar obținut prin adăugarea treptată a strunjiturilor de fier în cupru dezoxidat se toarnă peste baia de aluminiu topit într-un creuzet separat. Prealiajul ternar obținut se degazează cu clorură de zinc sau cu azot și se toarnă în lingotieră la temperatura de 730-760°C.

4. Calculul încărcăturii

La elaborarea din metale tehnic pure, calculul încărcăturii este relativ simplu. Exemplificarea se face pe o cantitate de 100g prealiaj, fiind multiplicată corespunzător.

Se consideră pierderile prin ardere de 1-3% la Al, 1-2% la Cu, 0,5-2% la Fe și 0,5-1%Ni. Pierderile prin ardere calculate se adaugă la cantitățile necesare de metal.

Pentru exemplificare se ia cazul CuAl 50(50% Al și 50% Cu) la care pierderile prin ardere se iau de 1% pentru cupru și 3% pentru aluminiu, iar pentru elaborarea prealiajelor Al50Cu40Ni10 și Al50Cu40Fe10 se consideră că pierderile sunt de 1% atât la nichel cât și la fier.

La 99g.Cu rămas în prealiaj.....1g pierderi

La 50g.Cu rămas în prealiaj.....x, g

$$x = 50 \cdot \frac{1}{99} = 0,5gCu \text{ pierderi}$$

În cazul aluminiului:

$$y = 50 \cdot \frac{3}{97} = 1,55gAl \text{ pierderi}$$

Cantitățile de cupru și aluminiu ca elemente pure, sunt:

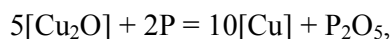
Cu=50+0,5 = 50,5g și Al = 50+1,55=51,55g

Deoarece puritatea tehnologică este de 99,99% la cupru și de 99,7% la aluminiu, șarja va fi alcătuită din:

$$Cu = \frac{50,5}{0,999} \cong 50,555g$$

$$Al = \frac{51,55}{0,997} \cong 51,705g$$

Cantitatea necesară de fosfor se calculează cu aproximație din relația:



masa atomică a fosforului, $M_p=30,973$

Se consideră conținutul de 0,1% oxigen în cuprul supus dezoxidării. După posibilități, se va lucra cu un prealiaj Cu-P cu 9; 11 sau 13% P. Cu datele obținute se alcătuiește fișa de încărcare.

Tabelul 1. Fișa de încărcare

Tipul prealiajului	Cantitatea obținută	Cantitatea de materiale încărcate, în g					Total
		Cu	Al	Ni	Fe	Prealiaj CuP	
Cu50Al50							
Al50Cu40Ni10							
Al50Cu40Fe10							

5. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale prealiajelor cupru-aluminiu nedegazate și degazate. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în prealiajele nedegazate și în cele degazate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de prealiaje nedegazate cât și din epruvetele de prealiaje degazate și se analizează

comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor prealiajelor elaborate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale prealiajelor elaborate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din prealiajele elaborate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de degazare și rafinare, iar rezultatele obținute la punctul e sunt centralizate în Tabelul 2.

Tabelul 2. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tip prealiaj	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]	
		nedegazat	degazat	nedegazat	degazat	nedegazat	degazat
1.							
2.							
3.							

Lucrarea 4

TRATAREA TOPITURILOR METALICE CU FLUXURI SAU FONDANȚI

1. Considerații generale

Majoritatea aliajelor neferoase se elaborează cu participarea unui strat solid sau lichid, format din săruri individuale, amestecuri de săruri sau alte substanțe care poartă denumirea de *fondanți sau fluxuri*. Cele care au numai rol de acoperire sau de protecție și care micșorează sau elimină interacțiunea topiturii cu gazele din atmosfera agregatului de elaborare se numesc fluxuri. Fondanții interacționează cu topitura, și în afara rolului de protecție ei asigură fie rafinarea sau purificarea topiturii de incluziuni și gaze, fie modificarea structurii de turnare.

În funcție de scopul și natura lor, fondanții sau fluxurile pot fi:

- de acoperire, când trebuie să reducă sau să evite complet interacțiunea topiturii cu atmosfera cuptorului;
- de curățire a băii metalice și de separare a scoarțelor (drossurilor);
- de rafinare, când trebuie să participe efectiv la purificarea băii metalice de impurități, gaze și incluziuni;
- de modificare, când trebuie să contribuie la obținerea unei structuri omogene și compacte, cu grăunți de dimensiuni mici;
- de oxidare, atunci când rafinarea se face prin oxidare;
- de dezoxidare, atunci când trebuie eliminat oxigenul și oxizii din baia metalică;
- de degazare, atunci când se urmărește reducerea conținutului de gaze din topitura metalică.

În afara acestor tipuri individuale se găsesc și fondanți universali, care pot fi utilizați în același timp ca protectori, rafinatori și modificatori.

În apropierea temperaturii de topire fondanții se caracterizează prin:

- dimensiunile și cantitatea relativă a cationilor și anionilor din rețea;
- caracterul legăturilor dintre aceștia;
- polarizarea și tendința de formare a grupărilor complexe de ioni.

Marea majoritate a fluxurilor și fondanților sunt alcătuite din amestecuri de săruri care trebuie să îndeplinească următoarele funcții:

- să formeze compuși ușor fuzibili, cu fluiditate mare la temperatura de lucru;

- să se descompună la temperatura de lucru, generând anioni capabili să reacționeze cu impuritățile din baia metalică, cu formarea unor compuși cu densitate diferită de a topiturii metalice și insolubili în aceasta, capabili să se separe din lichid;

- să absoarbă sau să aglomereze produșii rezultați din reacția fondantului cu topitura metalică.

În general, alegerea componentelor unui fondant și a compoziției acestuia depinde de temperatura de lucru, de starea fizică de utilizare (solid sau lichid), de reactivitatea dorită și de compoziția aliajului.

La elaborarea aliajelor neferoase se utilizează în special fondanți și fluxuri formați din cloruri și fluoruri ale metalelor alcaline și alcalino-pământoase. Acestea se caracterizează prin temperaturi de topire relativ ridicate, datorită legăturii puternice dintre ionii rețelei cristaline a sării în stare solidă și printr-o conductibilitate electrică bună. Conductibilitatea sărurilor este determinată de transportul curentului electric, în principal de

cationii mobili de dimensiuni mici, iar viscozitatea este dependentă de anionii voluminoși.

Un rol esențial îl joacă proprietățile superficiale ale fondanților și fluxurilor: tensiunea superficială, tensiunea interfazică și fenomenele de umectare. Cu cât tensiunea superficială este mai mică cu atât umectarea este mai bună și fluxurile protejează mai bine topitura metalică. La evacuare, umectarea topiturii de către fondant trebuie să fie minimă pentru a preveni impurificarea. Tensiunea interfazică fondant – incluziune trebuie să fie minimă pentru a favoriza umectarea acestora de către fondant și eliminarea lor la suprafață.

Fondanții se pot achiziționa în stare gata preparată sau se pot obține prin amestecarea mecanică a componentelor. Mai jos, în Tabelul 1, sunt prezentați principalii fondanți utilizați la elaborarea unor aliaje ale cuprului și ale aluminiului. În tabel sunt date sărurile utilizate și proporția acestora în funcție de aliajul care se elaborează și în funcție de destinația lor, precum și cantitățile folosite în raport cu masa topiturii.

Fondanții utilizați la topirea și tratarea în stare lichidă a metalelor și aliajelor neferoase trebuie să aibă o serie de proprietăți chimice, fizice și electrice care să le permită să exercite un rol determinant asupra calității produsului metalic final. Din punct de vedere chimic fluxurile trebuie să fie pasive față de gazele din atmosfera agregatului de topire, față de căptușeala acestuia și față de topitura metalică, în schimb fondanții trebuie să interacționeze cu baia metalică cu scopul îmbunătățirii calității aliajului elaborat. Proprietățile fizice sunt hotărâtoare în alegerea și utilizarea celui mai adecvat tip de flux sau fondant și în dimensionarea agregatului principal de elaborare.

Tabelul 1. Fondanți utilizați la elaborarea unor aliaje neferoase

Denumirea aliajului	Fondant de acoperire		Fondant de rafinare	
	Cantitate [%]	Compoziție	Cantitate [%]	Compoziție
Bronzuri cu staniu	10-15 mm pe suprafața topiturii	50% Na ₂ CO ₃ + 50% CaF ₂	2-3	40%Na ₂ CO ₃ + 40%CaF ₂ + 20%Na ₂ B ₄ O ₇
		50%Na ₂ CO ₃ + 50% sticlă pisată		95%Na ₂ B ₄ O ₇ + 5%Mg (pulbere)
		20%Na ₂ CO ₃ + 40% CaF ₂ + 40% nisip cuarțos	1,5-2	
		Mangal uscat		
		CaC ₂		
		Mg ₃ B ₂		
		95%Na ₂ B ₄ O ₇ + 5%Mg (pulbere)		
50%CaF ₂ + 50%MgF ₂	50%CaF ₂ + 50%MgF ₂			
Bronzuri cu aluminiu	10-15 mm pe suprafața topiturii	30%Na ₂ B ₄ O ₇ + 70% sticlă pisată	2-3	40%NaCl + 60%Na ₂ AlF ₆
		50%Na ₂ CO ₃ + 50% sticlă pisată		40%NaF + 30%Na ₂ CO ₃ + 30%Na ₂ SO ₃
		Mangal		
		Nisip cuarțos		
Alame	10-15 mm pe suprafața topiturii	65% nisip cuarțos + 35% Na ₂ CO ₃	2-3	50%CaF ₂ + 50%MgF ₂
		Mangal uscat		
		Sticlă pisată		
		Nisip cuarțos		
Aliaje de aluminiu	10 – 15 mm pe suprafața topiturii	50%KCl + 40%Na ₃ AlF ₆ + 10%CaF ₂	0,4-0,5	50%ZnCl ₂ + 50%NaCl
			0,1-0,2	C ₂ Cl ₆
			2-3	60%Na ₃ AlF ₆ + 25%KCl + 15%NaCl
		100%MgCl ₂ ·KCl	1,5-2	100%Na ₂ B ₄ O ₇
		50%NaCl + 50%KCl	2-3	50%CaF ₂ + 50%NaF
				50%MgF ₂ + 50%NaF
		65%NaCl + 35%NaF		
		60%Na ₂ AlF ₆ + 40%NaF		

În Tabelul 2 sunt prezentate principalele caracteristici fizico – chimice ale sărurilor care intră în componența fluxurilor și a fonduților. Se observă că toate sărurile prezentate au temperatură de topire mai mică decât temperatura de elaborare a aliajelor cuprului, dar mai mare decât temperatura utilizată la elaborarea aliajelor aluminiului. Aceasta este una din cauzele folosirii unor amestecuri de săruri ce formează eutectice mai ușor fuzibile.

Tabelul 2. Caracteristici ale unor săruri componente ale fluxurilor și fonduților

Compus	Temp. topire °C	Temp. fierbere °C	Tensiunea superficială (σ) dyne/cm (1×10^{-3} N/m)	Densitatea (ρ) g/cm ³	Conductivitatea electrică Ω^{-1} cm ⁻¹	Vâscozitatea (η) cP
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
NaCl	801	1413	171,5-0,0719 t * (810...970°C)	2,1393-0,5430x10 ⁻³ T ** (1080...1290°C)	-2,4975+8,0431x10 ⁻³ T -2,2227x10 ⁻⁶ T ² (1080...1290°C)	81,9007 -0,1855T+1,4278x10 ⁻³ T ² -3,700x10 ⁻⁸ T ³
KCl	776	1500	160,4-0,0770 t (780...970°C)	2,1359-0,5831x10 ⁻³ T (1060...1200°C)	-3,99+9,021x10 ⁻³ T -3,00x10 ⁻⁶ T ² (1060...1200°C)	55,5632 -0,1278T+9,9958x10 ⁻⁵ T ² -2,620x10 ⁻⁸ T ³
ZnCl ₂	262	1412	54,4-0,00199 t (300...550°C) 63,6-0,0190 t (550...700°C)	2,7831-4,48x10 ⁻⁴ T (590...960°C)	0,4234-1,5376x10 ⁻³ T +1,3939x10 ⁻⁶ T ² (593,3...672,5°C)	5,3419.10 ⁷ exp(-24343/RT)
Mg Cl ₂	712		74,0-0,010 t (720...930°C)	1,976-0,302x10 ⁻³ T (1000...1240°C)	-0,6049+1,352x10 ⁻³ T +0,2911x10 ⁻⁶ T ² (1000...1240°C)	263,7exp(-4363/RT)
NaF	980	1700	267,2-0,082 t (1000...1080°C)	2,655-0,54x10 ⁻³ T (1270...1420°C)	1,4605+2,7374x10 ⁻³ T (1270...1420°C)	344,7exp(-2964/RT)
KF	880	1500	176,2-0,0108 t -0,333x10 ⁻⁴ t ² (920...1300°C)	2,6464-0,6515x10 ⁻³ T (1130...1290°C)	9,2728x10 ⁻² +3,0628x10 ⁻³ T (1130...1290°C)	480,27exp(-3354,9/RT)
ZnF ₂	872	-	-	-	-3,75+6,0x10 ⁻³ T (1150...1200°C)	-
MgF ₂	1396	2239	-	3,235-5,24x10 ⁻⁴ T (1650...2100°C)	-	-
Na ₃ AlF ₆	1000	-	262,0-0,128 t (1000...1080°C)	2,083 la 1010 °C 2,014 la 1107°C	2,69 la 1010 °C 2,99 la 1161 °C	2,55 la 1028 °C 1,57 la 1170 °C

* t - temperatura, în °C ; ** T - temperatura, în K.

Din Tabelul 2 constatăm că densitățile amestecurilor de astfel de săruri sunt

mai mici decât densitatea topiturilor de aliaje de aluminiu și cu atât mai mult a aliajelor cuprului.

Conform relațiilor din Tabelul 2, la creșterea temperaturii, tensiunea superficială și viscozitatea se micșorează, iar conductivitatea electrică crește.

Un rol esențial îl au proprietățile superficiale ale fluxurilor și fondanților, care includ atât tensiunile superficiale și interfazice, cât și fenomenele de umectare. Cu cât tensiunea superficială a fluxului este mai mică, cu atât acesta umectează mai bine pelicula de oxizi și deci protejează mai bine aliajul de atmosfera cuptorului. În același timp, capacitatea de umectare a fondantului față de topitura metalică trebuie să fie minimă la evacuarea aliajului din agregat pentru a se asigura o separare cât mai bună a acestuia față de topitura metalică.

Tensiunea interfazică la limita de separare fondant - incluziuni nemetalice trebuie să aibă o valoare redusă, pentru a se realiza o umectare bună de către fondant a particulelor solide de incluziuni (de exemplu Al_2O_3 , MgO , MgAl_2O_4) care urmează a fi eliminate din topitura metalică.

Componentii de bază ai fondanților pentru aliajele neferoase uzuale sunt: NaCl , KCl , Na_3AlF_6 , MgCl_2 (care formează eutectice ușor fuzibile - figura 1), precum și alte substanțe ca boraxul, acidul boric, sticla sau mangalul.

Fluxurile conțin uneori săruri foarte higroscopice, care impun eliminarea apei prin uscare la 110...120 °C un timp îndelungat sau prin retopire. Proprietățile chimice și electrofizice ale amestecurilor care formează fluxurile și fondanții de la elaborarea aliajelor neferoase, prezintă

o importanță deosebită pentru practica tehnologică și în momentul de față este necesară cunoașterea și utilizarea lor eficientă.

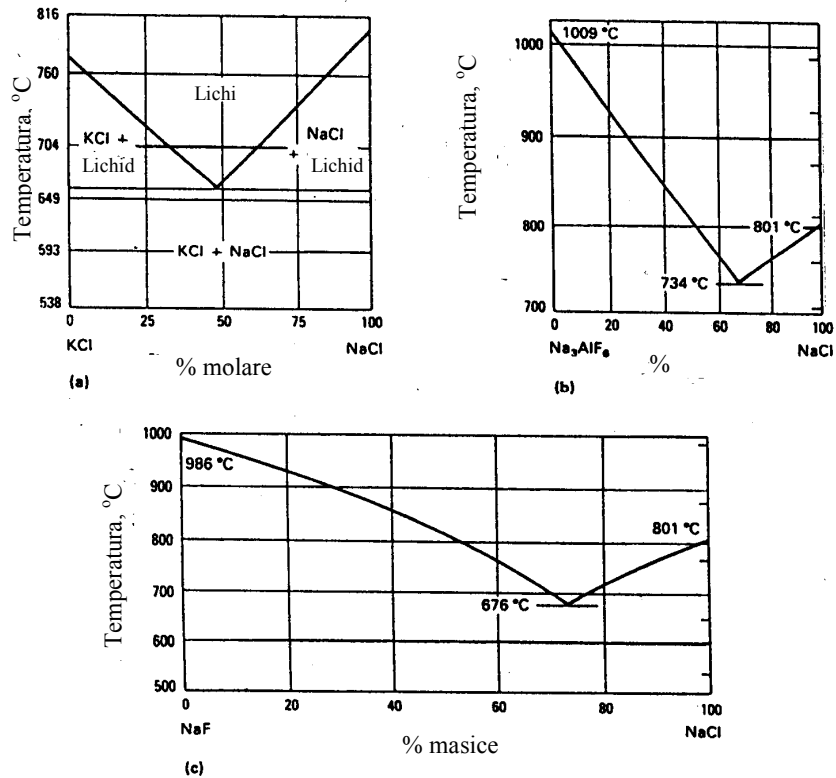


Figura 1. Unele diagrame de fază utile pentru studiul fluxurilor și al fondanților
a) KCl – NaCl; b) Na₃AlF₆ – NaCl; c) NaF – NaCl.

2. Scopul lucrării

Lucrarea de față are două scopuri:

- Determinarea influenței utilizării fluxurilor de protecție asupra pierderilor prin ardere la topirea aliajelor;
- Eliminarea impurităților metalice din topituri la tratarea cu fondanți.

În vederea atingerii scopurilor propuse, se va evidenția efectul prezenței și absenței fluxurilor de protecție la elaborarea unui aliaj Al – Si și, de asemenea se vor studia posibilitățile de eliminare a impurităților alcaline și alcalino-pământoase la tratarea unui aliaj de aluminiu deformabil cu fondanți de rafinare.

3. Tehnica experimentală

În cadrul lucrării se va studia tratarea cu fluxuri și fondanți a unor topituri pe bază de aluminiu și anume tratarea aliajelor lichide Al – Si și a aliajelor de aluminiu deformabile.

Scopul tratării cu fluxuri a topiturilor metalice este de a preveni pierderile de metal de orice fel (pierderi mecanice, pierderi prin oxidare, etc.), iar tratarea cu fondanți se face pentru obținerea unor aliaje de bună calitate, fără impurități metalice, nemetalice sau de natură gazoasă.

Tabelul 3. Caracteristici ale aliajelor de aluminiu

Metal sau aliaj	Temperatura de topire, °C	Interval de cristalizare
Aluminiu	660,1	-
Cupru	1083	-
Magneziu	650	-
Siliciu	1410	-
Aliajele Al-Cu	-	610...535
Aliajele Al-Si	-	610...526
Aliajele Al-Mg	-	615...500

Principalele aliaje neferoase de turnătorie, folosite în mod uzual, sunt cele din sistemul Al – Si. Acest fapt se datorează în principal caracteristicilor fizico – mecanice și tribologice pe care le prezintă, precum și datorită costurilor relativ scăzute de obținere. Unele caracteristici tehnologice ale acestor materiale sunt prezentate în Tabelul 3.

În cadrul lucrării de laborator se va elabora, în două creuzete separate, un aliaj de turnătorie de tipul ATSi10Mg, din următoarele materiale de încărcare: aluminiu primar (99,99%), siliciu tehnic pur și magneziu metalic. Pentru protecția topiturilor se vor folosi două tipuri de fluxuri.

Elaborarea aliajului de turnătorie ATSi10Mg se face respectând următoarele etape:

- se introduce inițial în creuzet aluminiul metalic;
- după topirea aluminiului se introduce siliciul;
- după solubilizarea siliciului, care durează destul de mult, se va face microalierea cu magneziu;
- după omogenizarea topitunii, aceasta se va turna în cochile preîncălzite la aproximativ 300 – 400°C.

Pentru protecția aliajelor de aluminiu de turnătorie se pot folosi fluxuri cu diferite compoziții (vezi Tabelul 4). Alegerea compoziției fluxului se face în funcție de compoziția chimică a aliajului elaborat. Cantitatea de flux folosită diferă de la caz la caz. În condiții industriale, în funcție de calitatea fluxului, protecția băii metalice se face cu o cantitate de 0,2 – 0,5 % din cantitatea șarjei. În laborator, pentru că se lucrează cu cantități mici, pentru o reală protecție a băii metalice se va folosi o cantitate de flux mult mai mare (2 – 5 % din cantitatea șarjei). În Tabelul 4 sunt prezentate mai multe compoziții de fluxuri și fondanți utilizate la elaborarea aliajelor de aluminiu. Se observă că, în funcție de componența fluxului sau al fondantului, principalii parametri de elaborare diferă.

Pentru o bună protecție a băii metalice (pentru evitarea oxidării), compoziția fluxului trebuie aleasă cu mare grijă.

Tabel 4. Fluxuri și fondanți folosiți la elaborarea aliajelor Al-Si

Nr. crt.	Compoziția fluxului [%]				γ [g/cm ³]	T _{topire} [°C]	T _{modificare} [°C]	T _{folosire} [°C]
	KCl	NaCl	Na ₃ AlF ₆	NaF				
1	47	30	23	-	1,6	700	-	-
2	-	25	15	60	1,7	850	800-820	780-860
3	-	45	15	40	1,8	750	750-780	740-760
4	10	50	10	30	1,68	710	720-740	700-740
5	35-50	50-40	15	10	-	-	-	-
6	-	33	-	67	-	-	800-820	-
7	13	62	-	25	-	-	725-740	-

Observații: 1 – flux de acoperire; 2, 3, 4 – fondant universal de rafinare + modificare; 5 – flux de acoperire și protecție, la retopirea deșeurilor și șpanului; 6,7 – fondant de modificare.

În cazul elaborării aliajului de turnătorie ATSi10Mg, se vor alege două compoziții diferite de fluxuri – având în vedere caracteristicile acestor amestecuri de săruri (Tabelul 5).

Tabel 5. Proprietăți fizico-chimice pentru unele compoziții de fluxuri și fondanți

Nr. Crt.	Compoziția fluxului sau fondantului, [%]				θ_{NO-F}^{Me} [°]	T _{top} [°C]	σ_{Me-F} [N/m]
	NaCl	KCl	NaF	KF			
1	50	50	-	-	53	720	0,542
2	48	48	4	-	30	710	0,376
3	46	46	8	-	18	720	0,345
4	44	44	12	-	9,6	660	0,350
5	42	42	16	-	6,3	660	0,345
6	47,25	47,25	-	5,5	37	660	0,410
7	45	45	-	10	32	-	-
8	42,25	42,25	-	15,5	28	-	-
9	40	40	-	20	24	-	-

Compozițiile alese pentru lucrarea practică sunt: a) fluxul: NaCl – 50%, KCl – 50% și b) fondantul: NaCl – 42%, KCl – 42%, NaF – 16%.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Elaborarea aliajului ATSi10Mg se face într-un cuptor de laborator precum cel prezentat în Figura 2.

După elaborarea aliajului din materialele de încărcare prezentate mai sus, topitura se va turna într-o cochilă metalică preîncălzită la 300 – 400°C. În continuare se vor calcula cantitatea de aliaj obținut, cantitatea de oxid și pierderile mecanice inerente. Datele astfel obținute se vor introduce într-un tabel centralizator – Tabelul 6.



Figura 2. Schema instalației de laborator

Pe baza datelor trecute în Tabelul 6 se vor trage concluzii cu privire la influența folosirii fluxurilor și a fondanților asupra cineticii alierii aliajelor

și mecanismele prin care se pot minimaliza pierderile mecanice și pierderile prin oxidare.

Tabelul 6. Rezultatele experimentale obținute la elaborarea aliajului AlSi10Mg

Șarja	Material de încărcare, [g]	Fondant(Flux) [g]	Aliaj, [g]	Oxizi, [g]	Pierderi, [g]	Timp de elaborare, [h]
1.						
...n.						

Lucrarea 5.

MECANISMUL SI CINETICA OXIDARII METALELOR LICHIDE

1. Considerații generale

Procesele eterogene de oxidare a metalelor, a căror cinetică urmează a fi prezentată în această lucrare, se referă nu numai la interacțiunea chimică dintre metale și oxigen ci și la interacțiunea cu alți agenți oxidanți.

Formarea ca și dezvoltarea peliculelor superficiale de oxid sunt guvernate de legile reacțiilor chimice și de legile conductivității și ale transferului de masă.

Având în vedere structura peliculelor oxidice și faptul că mobilitatea unor ioni este cu atât mai mare cu cât raza lor este mai mică și sarcina mai mare, se poate presupune că prin pelicula de oxid se vor deplasa mai ușor ioni mici ($r_{Al^{3+}} = 0,5 \text{ \AA}$) și electroni liberi decât atomii metalului ($r_{atAl} = 1,29 \text{ \AA}$). În mod asemănător prin pelicula de oxid se vor deplasa mai ușor atomii, respectiv moleculele oxidantului ($r_{O_2} = 0,8 \text{ \AA}$) și mai greu anionii – care au raza mai mare ($r_{O^{2-}} = 1,4 \text{ \AA}$).

Numai studiile cinetice nu permit o analiză amănunțită a procesului de oxidare, nici a factorilor de care acesta depinde. De aceea pentru cunoașterea procesului este necesar un studiu al difuziei participanților la reacția de oxidare, respectiv al migrației elementelor în interiorul fazelor solide sau lichide, precum și traversarea uneia dintre suprafețele de separație.

1.1. Mecanismul oxidării metalelor și aliajelor

Formarea și creșterea stratului de oxid se poate ușor compara cu funcționarea unui element galvanic. Din cauza conductivității mai mici a mediilor în cauză – gaze, oxizi – mecanismul electrochimic pare mai puțin evident, ceea ce explică păstrarea termenului de oxidare chimică. Pentru ca oxidul să se formeze, trebuie să aibă loc atât ionizarea atomului de metal cât și a moleculei de oxigen. Ionizarea metalului are loc, foarte probabil, la suprafața metal-oxid și aceasta poate fi ușor asimilată anodului unui element galvanic deoarece reacția:



este o reacție de oxidare.

Interfața oxid-aer, pe care probabil are loc reacția de reducere:



poate fi asimilată catodului elementului galvanic. Stratul de oxid care desparte cei doi electrozi are rol de electrolit.

Wagner admite că transportul de material la traversarea stratului de oxid trebuie să aibă loc sub formă de ioni și electroni, pe de o parte sub influența unui gradient de concentrație datorat unei variații de compoziție a oxidului de la interfața metal-oxid la interfața oxid-gaz, iar pe de altă parte, sub influența unui gradient de potențial electric datorat diferențelor de concentrație de schimb, în particular la interfață.

În cazul unui strat relativ gros de oxid, gradientul de potențial este mic și singurul care intervine este gradientul de concentrație. Se presupune că procesul de difuzie este ușurat considerabil de imperfecțiunile existente în rețeaua de oxid.

Când un metal este în contact cu oxigenul, produsul de reacție este un oxid care, dacă nu este volatil, formează un strat superficial. Grosimea, una din proprietățile importante ale peliculelor de oxid, variază în limite largi, de la câțiva angstromi până la un micron. Stratul de oxid poate proteja sau nu metalul de oxidarea ulterioară.

O peliculă stabilă și aderentă la suprafața metalului pe care s-a format, de o anumită grosime, poate frâna într-o anumită măsură dezvoltarea procesului de oxidare.

Caracterul protector al unei pelicule se manifestă când cantitatea de oxid rezultat în urma oxidării este mai mare decât cantitatea de metal distrus. Astfel, caracterul protector sau neprotector conferit de pelicula de oxid depinde de valoarea raportului:

$$\frac{V_{ox}}{V_M} = \frac{M_{ox} \cdot \rho_M}{n \cdot \rho_{ox} \cdot M_M} \quad (3)$$

în care: V_{ox} este volumul unei molecule-gram de oxid;

V_M - volumul unui atom-gram de metal;

M_{ox} - masa moleculară a oxidului;

ρ_{ox} - densitatea oxidului;

M_M - masa atomică a metalului;

ρ_M - densitatea metalului;

n - numărul de atomi de metal în molecula de oxid.

După valoarea raportului $\frac{V_{ox}}{V_M}$, numit și coeficient de expansiune,

metalele se pot clasifica în:

- metale la care $\frac{V_{ox}}{V_M} < 1$; în acest caz, pelicula de oxid este poroasă, discontinuă și deci nu posedă însușiri protectoare, metalul distrugându-se prin oxidare;
- metale la care $\frac{V_{ox}}{V_M} > 1$; în acest caz, pelicula este în general continuă și aderentă, iar procesul de coroziune este frânat.

Formarea peliculelor compacte, aderente pe suprafața metalului este însoțită, în marea majoritate a cazurilor, de o mărire de volum. De aceea, în peliculă apar tensiuni, care pe de o parte comprimă pelicula, iar pe de altă parte tind să o despartă de pe suprafața metalului. Astfel, se explică proprietățile slab protectoare ale peliculelor de coroziune pentru care raportul $\frac{V_{ox}}{V_M} \gg 1$, cum este cazul wolframului.

Practic se constată că proprietățile protectoare (Tabelul 1) sunt prezente, când

$$1 < \frac{V_{ox}}{V_M} < 2,5.$$

Formarea ca și dezvoltarea peliculelor superficiale de oxid sunt rezultate ale fenomenelor cristalochimice și ale fenomenelor de conductivitate electronică și transfer de masă.

Se presupune că fixarea oxigenului la suprafața metalului în vederea formării oxidului ar avea loc în mai multe stadii:

- adsorbția fizică rapidă, a oxigenului molecular;
- adsorbția chimică (chemosorbția) a oxigenului atomic, cu formarea unor monostraturi parțiale sau complete;

- reacții cristalo-chimice de oxidare, de formare și dezvoltare a stratului de oxid.

Tabelul 1. Valori ale coeficientului de expansiune la câteva metale

Nr. crt.	Metalul	Oxidul	$\frac{V_{ox}}{V_M}$
1.	Na	Na ₂ O	0,57
2.	K	K ₂ O	0,41
3.	Li	Li ₂ O	0,60
4.	Ca	CaO	0,64
5.	Ba	BaO	0,74
6.	Mg	MgO	0,79
7.	Al	Al ₂ O ₃	1,214
8.	Zn	ZnO	1,57
9.	Fe	Fe ₂ O ₃	2,16
10.	Cu	Cu ₂ O	1,71
11.	Ni	NiO	1,60
12.	Cr	Cr ₂ O ₃	2,03
13.	W	WO ₃	3,59

Procesul de adsorbție are ca rezultat scăderea energiei libere superficiale. În procesul de adsorbție pe o suprafață, moleculele sau atomii de gaz își micșorează gradele de libertate și implicit scade entropia. Scăderea simultană atât a energiei libere, cât și a entropiei va implica scăderea entalpiei libere ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) și astfel, adsorbția este în mod normal un proces exoterm.

În considerarea fenomenului de adsorbție pe o suprafață este necesar să se facă distincție între adsorbția fizică și cea chimică.

Adsorbția fizică a gazului pe o suprafață solidă reprezintă procesul de acumulare a moleculelor de gaz pe acea suprafață. În reacția dintre metal și gaz, adsorbția este procesul inițial.

În medie, există aproximativ 10^{15} centri de adsorbție/cm² pe o suprafață metalică curată. Din teoria cinetică a gazului se poate estima că un monostrat de gaz adsorbit se va forma în aproximativ 2 secunde la o presiune de 10^{-6} torr la temperatura camerei. Cum viteza de fixare a moleculelor de gaz este proporțională cu presiunea gazului, sunt necesare presiuni scăzute (mai mici de 10^{-6} torr) pentru a preveni contaminarea suprafețelor curate. La adsorbția fizică, forțele de legătură dintre moleculele de oxigen și suprafața metalului sunt analoage forțelor Van der Waals și caracterizate prin lipsa de orientare.

La adsorbția chimică, oxigenul adsorbit și atomii din suprafața expusă formează legături chimice. Astfel, chemosorbția implică un transfer de electroni.

Chemosorbția depinde de orientarea cristalografică a atomilor metalici de la suprafață, de imperfecțiunile de suprafață, și se presupune că are loc pe anumite porțiuni "active" ale suprafeței. Chemosorbția este considerată, în general, a avea loc doar până la formarea unui monostrat de gaz adsorbit, în timp ce adsorbția fizică poate avea loc pe toate suprafețele și poate avea ca rezultat formarea de straturi multimoleculare.

Nu este posibil să se facă o distincție clară între adsorbția fizică și cea chimică. Un criteriu obișnuit de diferențiere constă între cele două călduri de adsorbție, care este de aproximativ 10 kcal/mol la adsorbția fizică și de 100 kcal/mol la adsorbția chimică. Totuși s-au găsit valori ale celor

două călduri de adsorbție apropiate, astfel încât și în acest caz este dificil să se separe cele două procese.

Din cele prezentate rezultă că prima etapă a reacției metal-oxigen este adsorbția gazului pe suprafața metalului. De cele mai multe ori atomii de oxigen adsorbiți formează o structură bidimensională.

În urma reacției metalului cu oxigenul, filmul de oxigen chemoabsorbit se transformă într-un strat de oxid. Astfel, formarea oxidului inițial are loc după ce suprafața s-a acoperit complet cu oxigen chemoabsorbit.

Pentru o temperatură și o presiune a oxigenului date, se pot distinge trei etape succesive în procesul germinativ al oxidului:

- perioada de incubație până la apariția germenilor;
- creșterea laterală (bidimensională) până la acoperirea completă a suprafeței;
- dezvoltarea în grosime a stratului bidimensional.

O trăsătură importantă a formării oxidului inițial este germinarea unor nuclee izolate de oxid în locuri total întâmplătoare pe suprafață, însă este posibilă apariția lor pe imperfecțiuni de suprafață sau atomi de impurități. S-a sugerat că dislocațiile, defectele de suprafață, impuritățile, etc., pot servi ca locuri de germinare. După formarea nucleelor de oxizi, oxidarea continuă prin creșterea germenilor individuali până când întreaga suprafață este acoperită de oxid.

Se consideră că oxigenul adsorbit pe suprafața metalică este un factor limitator de viteză. Oxigenul adsorbit difuzează spre nucleii care astfel cresc, cauzând simultan o sărăcire în oxigen în zona înconjurătoare fiecărui nucleu, zonă în care alți nuclei nu se pot forma. Mărimea acestor

zone și deci densitatea de particule este guvernată de suplinirea oxigenului adsorbit (presiune de oxigen și temperatură) și de viteza de migrare pe suprafață (temperatură și orientare).

Ca regulă generală și în concordanță cu teoria generală a germinării, formarea particulelor de oxid devine importantă la temperaturi înalte și presiuni parțiale ale oxigenului scăzute.

Când un oxid poros, neprotector, se formează la temperaturi înalte, are loc un proces limitator de viteză la interfața metal-oxid; atunci stadiul de germinare și de creștere a oxidului poate fi determinat de viteză.

Formarea stratului inițial de oxid determină separarea reactanților primari. Creșterea ulterioară a stratului va depinde atât de reacțiile de suprafață la interfețele metal-oxid și oxid-oxigen, cât și de transferul de metal prin oxid. Pe măsură ce pelicula de oxid se îngroașă, procesele de difuzie devin preponderente, transferul reactanților spre suprafața de reacție având loc cu viteze din ce în ce mai mici.

1.2. Cinetica oxidării metalelor și aliajelor

Comportarea metalelor și aliajelor în majoritatea mediilor industriale (în stare solidă) sau la elaborare (în stare lichidă) depinde de solubilitatea, structura, grosimea și aderența compușilor solizi care se formează în timpul proceselor de oxidare.

Importanța acestor produși solizi de reacție se datorează faptului că ei pot forma, în mod frecvent, bariere cinetice care izolează metalul de mediul în care se află și controlează viteza de reacție.

Cum creșterea stratului de oxid implică două stadii principale – reacții de suprafață la interfața metal-oxid și oxid-oxigen și transportul de

material prin oxid – viteza de creștere va fi controlată de stadiul care se desfășoară cu viteza mai mică.

Dacă stratul este suficient de subțire, reacțiile de suprafață sunt cele care controlează viteza. Într-adevăr, în timpul stadiului inițial al formării oxidului, stadiul doi este absent. Dacă stratul este gros, se distinge stadiul doi ca proces determinant de viteză. În acest stadiu se atinge echilibrul reacțiilor de suprafață.

În stadiul inițial (etapa cristalo-chimică), viteza procesului va fi:

$$\frac{dy}{dt} = K_c \cdot C_e \quad (4)$$

iar în stadiul doi (etapa de difuzie), viteza va fi exprimată prin relația:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{D(C_0 - C_e)}{y} \quad (5)$$

în care: C_0 este concentrația oxigenului la suprafața de separare oxid-oxigen;

C_e – concentrația oxigenului la suprafața de separare oxid-metal;

K_c – constanta de viteză a reacției;

D – coeficientul de difuzie;

y – grosimea stratului de oxid;

t – timpul.

În regim staționar, întreaga cantitate de oxigen care ajunge prin difuzie la suprafața metalului va reacționa și deci:

$$K_c \cdot C_e = \frac{D(C_0 - C_e)}{y} \quad (6)$$

Combinându-se relațiile (4) și (6) se elimină C_e și se obține:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K_c \cdot D \cdot C_0}{K_c \cdot y + D} \quad (7)$$

Rezolvând ecuațiile diferențiale și înmulțind cu $\frac{2}{K_c \cdot D}$ se obține în

final relația:

$$\frac{y^2}{D} + \frac{2y}{K_c} = 2C_0 \cdot t + C \quad (8)$$

sau:

$$A + B = 2C_0 \cdot t + C \quad (9)$$

în care:

$$A = \frac{y^2}{D} \text{ și } B = \frac{2y}{K_c} \quad (10)$$

y reprezentând fie o variație de masă (Δg), fie volumul (în cm^3) de oxigen adsorbit în cursul reacției, fie variația grosimii peliculei.

Când $A \ll B$, în urma simplificărilor, se obține *legea liniară* de oxidare:

$$\frac{dy}{dt} = K \text{ sau } Y = K \cdot t + C \quad (11)$$

Legea liniară este specifică metalelor alcaline și alcalino-pământoase, la care coeficientul de expansiune este subunitar, și nu formează pelicule protectoare. Pelicula se distruge în permanență, astfel încât nu poate atinge grosimea necesară realizării protecției. În acest caz echilibrul difuziei se atinge ușor, iar una dintre reacțiile la interfața metal-oxid sau oxid-oxigen determină viteza întregului proces.

În cazul în care $A > B$, funcționează *legea parabolică* de oxidare, care are forma:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K}{y} \text{ sau } y^2 = K_2 \cdot t + C_p \quad (12)$$

Legea a fost stabilită experimental de Tamann și apoi de Pilling și Bedworth. Această lege este valabilă în cazul metalelor, care datorită valenței variabile formează mai mulți oxizi.

Constanta K_2 se poate determina experimental sau se poate calcula din valorile fizico-chimice caracteristice reacțiilor ce formează în final oxidul.

Teoria lui Wagner a legii parabolice a oxidării ia în considerare variația concentrației vacanțelor cationice (U_c), variație care determină un flux de vacanțe cationice, J_c (numărul de vacanțe cationice care traversează unitatea de suprafață în unitatea de timp) și care poate fi exprimată prin relația:

$$J_c = -D_c \frac{dn_c}{dx} - n_c \cdot v_p \cdot F \quad (13)$$

cât și variația golurilor pozitive n pe stratul de oxid, variație care determină un flux al golurilor pozitive J_p exprimat prin relația:

$$J_p = -D_p \frac{dn_p}{dx} + n_p \cdot v_p \cdot F \quad (14)$$

în care:

x este distanța de la suprafața metalului (grosimea stratului de oxid);

n_c – numărul de vacanțe cationice;

n_p – numărul de goluri pozitive;

v_c, v_p – mobilitatea cationilor și a golurilor;

D_c, D_p – coeficienții de difuzie pentru cationi și goluri pozitive;

F – câmpul electrostatic din oxid.

Dacă sistemul este la echilibru, trebuie ca $J_c = J_p = 0$ și câmpul este neglijat, cu excepția regiunilor din apropierea interfețelor. Totuși, dacă

stratul de oxid este suficient de gros, se poate presupune că în oxid se păstrează neutralitatea electrică, astfel $n_c = n_p = n$.

În cazul oxidării, fluxul de vacanțe cationice este egal cu fluxul golurilor pozitive ($J_c = J_p = J$). Eliminându-se F din ecuațiile (13) și (14) și folosindu-se relația lui Einstein, $\frac{v}{D} = \frac{e}{KT}$, se poate scrie:

$$J = -2 \left(\frac{KT}{e} \right) v_c \frac{dn}{dx} \quad (15)$$

iar, prin integrare rezultă relația:

$$J_x = -2 \left(\frac{KT}{e} \right) v_c (n_x - n_0) \quad (16)$$

în care x este grosimea stratului de oxid.

Tamann și Koster au descoperit, prin transpunerea grafică a datelor, legea logaritmică a oxidării:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K}{t} \quad (17)$$

$$y = K_e \ln t + C \quad (18)$$

În cele mai multe cazuri, viteza reacției de oxidare se supune simultan mai multor legi. Aceasta înseamnă că oxidarea are loc după mai multe mecanisme, unul care este predominant în stadiul inițial, iar altul, după un interval de timp. O altă explicație este schimbarea mecanismului oxidării ca urmare a schimbării naturii oxidului. De exemplu, dacă în stadiul inițial al oxidării la temperatură joasă viteza de reacție poate să fie caracterizată cu ajutorul unei ecuații logaritmice, ca urmare a transferului de ioni sub acțiunea câmpului electric, în final, scăderea vitezei de reacție va fi dată de difuzia termică a ionilor – variație parabolică. În acest caz, procesul

de oxidare poate fi exprimat printr-o ecuație care reprezintă suma celor două efecte:

$$y = K_e \ln(t + t_0) + K_p t^{\frac{1}{2}} + C \quad (19)$$

Perioada de tranziție între cele două efecte poate fi exprimată printr-o ecuație care caracterizează procesul de oxidare într-un interval limitat de timp, având forma:

$$y^m = K_m \cdot t + C_m \quad (20)$$

La temperaturi înalte, oxidarea de tip parabolic se poate combina cu cea de tip liniar. Viteza de reacție în primul stadiu al procesului este limitată de procesele care au loc la suprafață (oxidarea liniară), iar în timp, preponderent devine mecanismul oxidării datorată difuziei (oxidare parabolică). Ecuația care descrie un astfel de mecanism devine:

$$y^2 = K_{lin} y + K_p \cdot t + C \quad (21)$$

sau

$$y = K_p \frac{t}{y} + K_{lin} \quad (22)$$

Sunt situații în care, în anumite sisteme, oxidarea are loc în prima perioadă urmând legea de variație parabolică, apoi cea liniară. O astfel de situație apare când crusta compactă de oxid, asociată după o lege de variație parabolică, se transformă cu viteză liniară într-un strat exterior poros care nu prezintă posibilitatea de protecție. El reprezintă de fapt o barieră pentru procesul de difuzie și se epuizează prin procese de sublimare.

Expresia matematică a unui astfel de mecanism de oxidare (parabolic - liniar) va fi:

$$y = \frac{K_p}{K_{lin}} \ln \frac{K_p}{K_p - K_{lin}(y - K_{lin}t)} \quad (23)$$

în care y este cantitatea de metal oxidată în timpul t .

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a dezvolta capacitățile tehnice ale studenților în ceea ce privește aprecierea din punct de vedere teoretic și practic a mecanismului și cineticii de oxidare a metalelor în stare lichidă.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind mecanismul și cinetica oxidării topiturilor metalice sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

Pentru determinarea legii de oxidare a unor aliaje neferoase în stare lichidă și influența diferitelor elemente de aliere asupra oxidării materialelor metalice în stare lichidă, aspect de importanță majoră în stabilirea tehnologiei de elaborare a aliajelor neferoase, se poate folosi metoda măsurării creșterilor în greutate a unor probe de aliaj în stare lichidă.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator privind mecanismul și cinetica oxidării topiturilor metalice sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) Instalația de laborator, prezentată în Figura 1, este alcătuită dintr-o balanță (1) montată pe un stativ termoizolant deasupra unui cuptor electric cu rezistență (2).

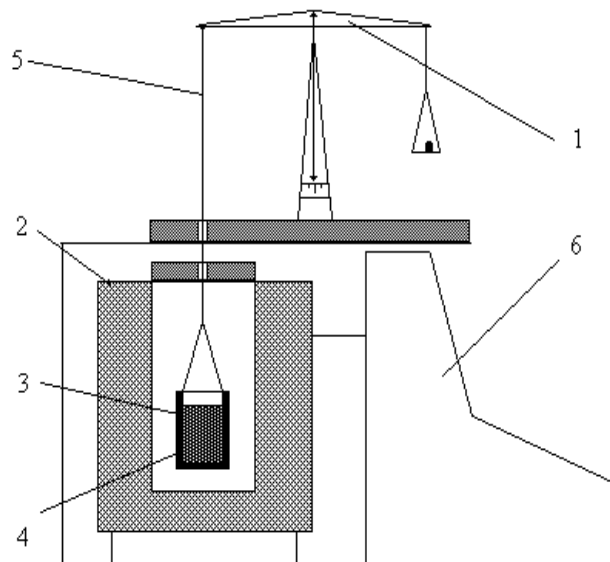


Figura 1. **Instalație experimentală pentru determinarea cineticii oxidării aliajelor în stare lichidă:** 1) balanță; 2) cuptor electric; 3) creuzet; 4) topitură; 5) fir de platină sau inox; 6) panou de comandă

De unul din talerele balanței, prin intermediul unui fir de platină sau inox (5) este suspendat, în interiorul cuptorului, un creuzet (3) din alumina sinterizată în interiorul căruia se găsește topitura metalică (4) care urmează să fie studiată. Parametrii de lucru sunt menținuți în domeniul valorilor prescrise prin intermediul panoului de comandă (6).

Se încarcă în creuzet metalele sau aliajele care urmează a fi studiate. După topire se echilibrează balanța și se măsoară la anumite intervale de timp creșterea în greutate a probei din cuptor.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării metalelor sau aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale bronzurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind mecanismul și cinetica oxidării topiturilor metalice sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Ni, Mg, Zn, Pb, Sn etc.
- prealiaje;

- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%NaCl + 10%KCl + 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);
- fluxuri de protecție a băilor metalice;
- degazanți: argon, azot gazos, C₂Cl₆ , BCl₃ , KCl , MnCl₂ , ZnCl₂;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Mecanismul și cinetica oxidării metalelor lichide” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitarea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru topirea a 1000 g metal sau aliaj, luându-se în considerare că pentru condițiile de topire în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt cele prezentate în lucrarea nr.1;
- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare topirii unei șarje de 1000 g metal sau aliaj;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale metalelor sau aliajelor supuse procesului de oxidare în stare lichidă, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- se încarcă în creuzet metalele sau aliajele care urmează a fi studiate, iar după topire se toarnă un set de probe pentru analiza gradului de oxidare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se echilibrează balanța și se măsoară la anumite intervale de timp creșterea în greutate a probei din cuptor;

- la sfârșitul perioadei de experimentare se toarnă un set de probe pentru analiza gradului de oxidare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de metal sau aliaj mai mult sau mai puțin oxidat;

- se pregătesc șlifuri metalografice din epruvetele de metal sau aliaj mai mult sau mai puțin oxidat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografii digitale ale structurilor metalelor sau aliajelor mai mult sau mai puțin oxidate;
- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale metalelor și aliajelor mai mult sau mai puțin oxidate;
- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din metalele sau aliajele mai mult sau mai puțin oxidate.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Rezultatele obținute se trec în Tabelul 2 și cu ajutorul acestora se trasează curba $y = f(t)$.

Tabelul 2. **Datele experimentale privind creșterea în greutate**

Creșteri în greutate, y, [g]										
Timpul, t, [s]										

După alura curbei $y = f(t)$ se pot trage unele concluzii asupra mecanismului procesului de oxidare (lege lineară, parabolică, logaritmică sau un proces mai complex care cuprinde mai multe stadii). În funcție de aceste observații se testează legile prezentate mai sus și se determină constanta sau constantele de viteză pentru legea de oxidare care corespunde datelor experimentale.

În continuare se va studia influența diferitelor elemente de aliere asupra oxidării în stare lichidă a metalelor.

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale metalelor și aliajelor mai mult sau mai puțin oxidate. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de metale sau aliaje mai mult sau mai puțin oxidate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice din epruvetele de metale sau aliaje mai mult sau mai puțin oxidate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor metalelor sau aliajelor mai mult sau mai puțin oxidate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale metalelor sau aliajelor mai mult sau mai puțin oxidate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din metalele sau aliajele mai mult sau mai puțin oxidate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a influenței procesului de oxidare, iar rezultatele obținute la punctul e vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. **Proprietățile mecanice ale metalelor sau aliajelor oxidate**

Nr. crt.	Tipul de aliaj	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		Alungirea %	
		neoxidat	oxidat	neoxidat	oxidat	neoxidat	oxidat	neoxidat	oxidat
1.									
2.									
3.									
4.									

Lucrarea 6

DEZOXIDAREA TOPITURILOR METALICE

1. Considerații generale

Din punct de vedere al comportamentului față de oxigen metalele se împart în trei grupe:

- a. metale ce nu dizolvă oxigen în stare solidă sau lichidă;
- b. metale ce dizolvă cantități mari de oxigen în stare lichidă;
- c. metale ce nu dizolvă și nici nu interacționează cu oxigenul.

Metalele ce nu dizolvă oxigen nici în stare solidă și nici în stare lichidă: Al, Mg, Zn, Pb, Sn, Cd etc. formează doar pelicule superficiale de oxizi. Dacă pelicula superficială de oxizi este compactă și impermeabilă ca în cazul aluminiului, zincului, staniului etc., atunci metalul în stare solidă sau lichidă este protejat de oxidarea în profunzime. Aceste metale și unele din aliajele lor pot fi elaborate în atmosfere oxidante fără măsuri speciale de protecție. Astfel, alierea aluminiului cu Zn, Cu, Mn nu modifică semnificativ oxidarea, în timp ce adaosurile de Ca, Na, Mg măresc mult viteza de oxidare ca urmare a formării unor pelicule superficiale poroase de $MgO \cdot Al_2O_3$, $3CaO \cdot Al_2O_3$, $Na_2O \cdot Al_2O_3$.

Metalele ce dizolvă o cantitate mare de oxigen în stare lichidă: Cu, Ni, Ag, Ti, Zr, V, Nb, Ta, Mo, W, Th, U etc. formează soluții de forma $Me \cdot Me_mO_n$. La solidificare pot avea loc transformări eutectice sau peritectice, cristalizarea sau descompunerea soluțiilor solide. Dacă dizolvarea oxigenului într-un metal lichid (Me_1) se exprimă cu reacția:

$$\frac{1}{2}O_2 = \% / O / Me_1 \quad (1)$$

iar într-un aliaj lichid binar (Me₁-Me₂) cu reacția:

$$\frac{1}{2}O_2 = \%[O]_{Me_1-Me_2} \quad (2)$$

atunci constantele de echilibru sunt:

$$K_s = \frac{a_o}{\sqrt{P_{O_2}}} = \gamma O_{(Me_1)} \cdot \%[O]_{Me_1} \quad (3)$$

respectiv:

$$K_c = \frac{a_o}{\sqrt{P_{O_2}}} = \gamma O_{(Me_1-Me_2)} \cdot \%[O]_{Me_1-Me_2} \quad (4)$$

Considerând aceeași stare de referință pentru dizolvarea oxigenului în metale și aliaje lichide la diluție infinită în Me₁ pur: K_s = K_c și

$$\gamma O_{(Me_1-Me_2)} = \frac{\%[O]_{Me_1}}{\%[O]_{Me_1-Me_2}} \quad (5)$$

în care:

a_o este activitatea oxigenului; P_{O_2} - presiunea parțială a oxigenului; γ_o - coeficientul de activitate al oxigenului; $\% [O]$ - procente atomice de oxigen.

Cunoscând coeficientul de activitate al oxigenului într-un sistem dat, la presiune și temperatură constante, se poate determina conținutul de oxigen din aliajele lichide sau cantitatea de dezoxidant pentru a ajunge la un anumit conținut remanent în oxigen.

La elaborarea acestor aliaje se iau măsuri de protecție contra oxidării ce constau în acoperirea băii cu fluxuri, elaborarea în vid sau în

atmosferă controlată. La unele aliaje există o corelație directă între conținutul de oxigen și cel de hidrogen.

Metalele ce constituie componentele de bază ale aliajelor de mare utilitate se caracterizează printr-o capacitate mare de interacțiune cu oxigenul (ex.: Al, Mg, Ti, Zr, Nb etc.), sau pot dizolva cantități mari de oxigen (ex.: Ni, Cu, Ti, Zr, Mo, W, Nb etc.). Dacă în cazul aluminiului se formează o peliculă ce împiedică oxidarea în profunzime, la alte metale oxidarea nu este limitată de formarea oxidilor. Astfel, peliculele de MgO sunt poroase și permeabile pentru oxigen la temperatura de elaborare, iar prin cele de TiO₂ și ZrO₂ are loc difuzia atomilor metalului către suprafață și a oxigenului spre interior.

Elaborarea aliajelor ce conțin elemente cu afinitate mare față de oxigen, deci care formează oxizi cu o mare stabilitate, nu se poate realiza într-o atmosferă oxidantă. Astfel, la elaborarea aliajelor pe bază de: Ti, Zr, Nb, Ta etc., se formează oxizi foarte stabili, imposibil de descompus chiar la un tratament ulterior în vid. Oxizii pot forma pelicule ce se separă la limita grăunților, înrăutățind proprietățile de deformare plastică, sau formează eutectice cu metalul de bază.

Solubilitatea oxigenului până la anumite valori maxime poate avea o influență favorabilă asupra proprietăților și în special asupra rezistențelor mecanice. Astfel, oxigenul poate fi considerat element de aliere în titan dacă conținutul său nu depășește 0,2%.

Interacțiunea metalelor cu oxigenul se desfășoară cu viteză mare la temperaturile înalte de elaborare, iar protecția cu fluxuri și fondanți nu poate preveni în totalitate acest proces.

Dezoxidarea topiturilor neferoase, care dizolvă oxigen se realizează,

în principal, prin precipitare, conform reacției:



în care: R este dezoxidantul.

Pentru desfășurarea acestei reacții și obținerea unor produse metalurgice de calitate sunt necesare următoarele condiții:

a) afinitatea față de oxigen a dezoxidantului R trebuie să fie mai mare decât a metalului Me, respectiv variația entalpiei libere de formare a oxidului RO trebuie să fie mai mare în valoare absolută decât variația entalpiei libere de formare a oxidului metalic MeO, adică $|\Delta G_{\text{RO}}| > |\Delta G_{\text{MeO}}|$;

b) dezoxidantul nu trebuie să influențeze negativ proprietățile metalului sau aliajului (conductivitatea electrică și termică, plasticitatea, alungirea, deformabilitatea etc.) nici chiar la concentrații foarte scăzute;

c) produsele reacțiilor de dezoxidare (RO sau alți compuși oxidici) trebuie să fie instabile în baia metalică și să se separe ușor din aceasta ceea ce înseamnă că cel mai ușor se vor elimina produsele gazoase, apoi cele lichide și foarte greu cele solide;

d) dizolvarea și difuzia dezoxidantului în topitură trebuie să se realizeze ușor și cu viteză mare;

e) dezoxidantul trebuie să fie ieftin, accesibil, ușor de păstrat, manipulat și porționat.

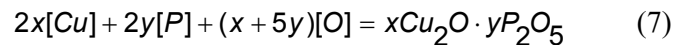
Prin dezoxidarea topiturii se evită apariția oxizilor fragili la limita grăunțillor, lucru care conduce la scăderea plasticității și a rezistenței mecanice a metalelor și aliajelor.

Alegerea dezoxidantului se face în funcție de o serie de considerente de ordin practic: conținutul inițial de oxigen în topitură, temperatura

topiturii, unele proprietăți fizice ale metalelor (conductivitate electrică), proprietățile mecanice și tehnologice ale produselor turnate, etc.

Dezoxidarea topiturilor de cupru sau de aliaje ale acestuia se poate realiza cu: P, C, B, Li, Mg, Ca, La, CaB₆, etc. Pentru aplicații industriale, ca dezoxidant pentru cupru și aliajele lui se utilizează fosforul, iar pentru aliajele destinate industriei electrotehnice se recomandă litiu, magneziu sau CaB₆ care reduc, mai puțin decât fosforul, conductivitatea electrică a cuprului.

Dezoxidarea cu fosfor, introdus sub formă de prealiaj Cu-P, denumit cupru fosforos, cu un conținut de 7 ; 9 ; 11 sau 13% P, are loc conform reacției:



a cărei constantă de echilibru este:

$$K = \frac{a_{(x\text{Cu}_2\text{O} \cdot y\text{P}_2\text{O}_5)}}{a_{\text{Cu}}^{2x} \cdot a_{\text{P}}^{2y} \cdot a_{\text{O}}^{(x+5y)}} \quad (8)$$

Deoarece activitatea cuprului în băile de cupru este: $a_{\text{Cu}} = 1$, iar activitățile fosforului și ale oxigenului, a_{P} și a_{O} , la concentrații mici se supun legii Henry, conform căreia acestea sunt proporționale cu fracțiile molare [P] și [O], rezultă:

$$K' = \frac{a_{(x\text{Cu}_2\text{O} \cdot y\text{P}_2\text{O}_5)}}{[\text{P}]^{2y} \cdot [\text{O}]^{(x+5y)}} \quad (9)$$

Dacă se consideră că zgura are compoziția chimică constantă, atunci activitatea acesteia poate fi considerată egală cu unitatea și se poate scrie:

$$K'' = \frac{1}{[P]^{2y} \cdot [O]^{(x+5y)}} \quad (10)$$

sau

$$[P] \cdot [O]^{\frac{x+5y}{2y}} = \text{const.} \quad (11)$$

Conform acestei relații, raportul dintre conținuturile din topitură, la echilibru ale oxigenului și fosforului, [O] și [P], depinde de compoziția zgurii. Astfel, zgurile care conțin:

- P_2O_5 - au $x = 0$ și $y = 1$ - deci: $[P][O]^{2,5} = \text{const.}$;

- $2Cu_2O \cdot P_2O_5$ - au $x = 2$ și $y = 1$ - deci: $[P] \cdot [O]^{3,5} = \text{const.}$;

- $Cu_2O \cdot P_2O_5$ - au $x = 1$ și $y = 1$ - deci: $[P] \cdot [O]^3 = \text{const.}$

Variația acestui produs funcție de temperatură este exprimată prin relația:

$$\log[P] \cdot [O]^{2,5} = 0,01177T - 25,18 \quad (12)$$

La $1200^\circ C$ se determină $K_p = [P] \cdot [a_o]^{3,5} = 2,15 \times 10^{-10}$

Aceste date arată că cel mai posibil produs al dezoxidării cuprului cu fosfor este $2Cu_2O \cdot P_2O_5$.

La temperatura de $1200^\circ C$, calculele arată că valorile parametrilor termodinamici de interacțiune ternară în sistemul ternar Cu-O-P sunt:

- la un conținut de 0,01% P, $\varepsilon_O^P = -184,8$ și $e_O^P = -1,65$;

- la un conținut de 0,1% P, $\varepsilon_O^P = -171,9$ și $e_O^P = -1,54$.

Aceste date sunt utile pentru calculele termodinamice la echilibrul reacției de dezoxidare a cuprului cu fosfor.

Fosforul este un dezoxidant efectiv atât pentru cupru cât și pentru alame, bronzuri cu staniu și bronzuri cu plumb.

Reacția principală care se desfășoară în timpul procesului de dezoxidare a cuprului cu fosfor, este următoarea:



iar constanta de echilibru este dată de relația:

$$K = \frac{a_{2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5}}{a_{\text{Cu}}^2 \cdot a_{\text{O}}^{\frac{7}{2}} \cdot a_{\text{P}}} \quad (14)$$

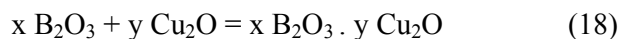
$$K = \frac{1}{[\text{Cu}]^2 \cdot [\text{O}]^{\frac{7}{2}} \cdot [\text{P}]} \cdot \frac{1}{\gamma_{\text{O}}^{\frac{7}{2}} \cdot \gamma_{\text{P}}} \quad (15)$$

Raportul concentrațiilor la echilibru este dat de relația:

$$C = K \cdot \gamma_{\text{O}}^{\frac{7}{2}} \cdot \gamma_{\text{P}} \quad (16)$$

Borul are o influență pozitivă asupra proprietăților de turnare ale cuprului și nu micșorează conductivitatea termică și nici electroconductivitatea acestuia.

Dezoxidarea cu bor sub formă de prealiaj Cu-B sau CaB_6 se realizează conform reacției:



La 1473 K, constanta de echilibru a reacției (17) are valoarea:

$$K_{\text{B}} = [\% \text{B}]^2 \cdot [\text{a}_{\text{O}}]^3 = 1,15 \times 10^{-25} \quad (19)$$

La 1473 K:

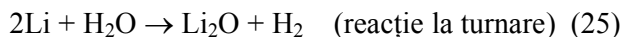
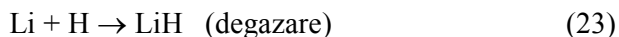
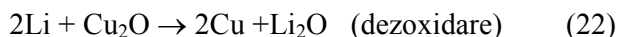
$$\log[\text{a}_{\text{O}}] = -8,31 - 0,672 \log[\% \text{B}] \quad (20)$$

Dependența de temperatură a reacției de dezoxidare cu bor este:

$$\log K_B = -53300 / T + 11,3 \quad , \quad T = 1373 \dots 1573 \text{ K} \quad (21)$$

Dezoxidarea cu litiu are avantajul că litiul acționează și ca un degazant deoarece reacționează ușor atât cu oxigenul cât și cu hidrogenul.

Deoarece litiul este un metal foarte reactiv în aer, pentru dezoxidare se utilizează cartușe din cupru cu litiu, care se păstrează în locuri uscate. Înainte de introducerea în topitură cartușele se preîncălzesc la 105°C. Principalele reacții de dezoxidare și degazare a cuprului cu litiu sunt următoarele:



Reacția (22) se poate scrie și sub forma:



Variația cu temperatura a entalpiei libere și a constantei de echilibru sunt date de ecuațiile:

$$\Delta G_T^0 = -1004 + 0,328T \quad [\text{kJ/mol}] \quad (27)$$

și

$$\log K_{[\text{O}]} = -109642 / T + 35,83 \quad (28)$$

Parametrul de interacțiune $e_{\text{O}}^{\text{Li}} = -10 \dots -3000$. Chiar dacă $e_{\text{O}}^{\text{Li}} = -10$, litiul acționează ca un dezoxidant eficient pentru cupru și la o concentrație de litiu $[\text{Li}] \approx 0,1\%$, conținutul de echilibru de oxigen scade până la valoarea de $[\text{O}] \approx 10^{-6}\%$.

Litiul se dizolvă ușor în cupru, iar Li_2O este insolubil în acesta. Oxidul și hidroxidul de litiu se separă de topitura metalică datorită densităților scăzute în raport cu aceasta.

Dacă litiul se adaugă în exces, poate reacționa cu umiditatea din aer în timpul turnării, generând hidrogen care poate produce regazarea topiturii.

2. Scopul lucrării

Lucrarea își propune să stabilească corelația dintre conținutul de oxigen și de dezoxidant la dezoxidarea cuprului sau a aliajelor lui.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind dezoxidarea cuprului sau a aliajelor lui sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de dezoxidare a cuprului sau a aliajelor lui sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Dezoxidarea cuprului se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 1.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării

topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării cuprului sau aliajelor sale (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

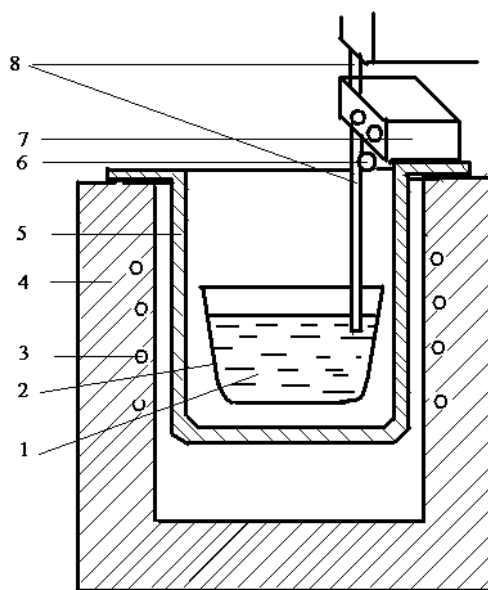


Figura 1. **Schema instalației de laborator folosită la dezoxidarea cuprului**: 1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) incinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitarea topiturii.

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice; cuprul sau aliajele sale se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale aliajelorlor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind dezoxidarea cuprului sau a aliajelor lui sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Cu, Sn, Pb, Zn, Al, Ni, Fe, Mn etc.
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- cupru fosforos(CuP₉, CuP₁₁ sau CuP₁₃);
- litiu metalic introdus sub formă de cartușe din cupru umplute cu litiu;
- bor sub formă de prealiaj Cu-B sau CaB₆;
- fluxuri de protecție a băilor metalice pe bază de cupru;
- degazanți: C₂Cl₆, BCl₃, KCl, MnCl₂, ZnCl₂, azot gazos;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Dezoxidarea topiturilor metalice” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează,

se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;

- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.

- se face calculul încărcăturii pentru topirea a 1000 g metal sau aliaj;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare topirii unei șarje de 1000 g;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de cupru și de deșeuri proprii;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- la temperatura de 1200⁰C se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie și se face dezoxidarea cu cupru fosforos, după care se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura;

- atât înainte cât și după dezoxidare se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice și tehnologice;
- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii;
- se pregătesc șlifuri metalografice din epruvetele prelevate înainte și după dezoxidare, pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;
- se fac fotografiile digitale ale structurii;
- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice ale metalului sau aliajelor dezoxidate;

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Cuprul sau aliajul de cupru se topește și se supraîncălzește la 1200°C, după care se introduce dezoxidantul sub formă de preliaje sau metale și se amestecă în topitură cu o bară de grafit.

Cantitatea de dezoxidant este calculată astfel:

- 1) cantitatea stoechiometrică, conform reacției (13);
- 2) exces de 50%;
- 3) exces de 100%;
- 4) exces de 150%;
- 5) exces de 200%;
- 6) exces de 250%;
- 7) exces de 300%;
- 8) exces de 350%;
- 9) exces de 400%.

După fiecare dezoxidare se curăță zgura de la suprafața topiturii iar cuprul dezoxidat se toarnă în cochila metalică preîncălzită la 400°C. Din barele turnate se prelevează eșantioane care sunt supuse analizei

microscopice pentru determinarea conținutului de oxigen precum și șpan sau probe pentru determinarea conținutului de dezoxidant.

Datele experimentale se centralizează în Tabelul 1.

Tabelul 1. **Datele experimentale obținute la dezoxidarea cuprului**

Proba numărul	Conținutul de O ₂ inițial, % masice	Conținutul de dezoxidant, g	Conținutul final de [O], ppm	Conținutul final de dezoxidant [R], ppm
1.		Stoichiometric		
2.		exces 50 %		
3.		exces 100 %		
4.		exces 150 %		
5.		exces 200 %		
6.		exces 250 %		
7.		exces 300 %		
8.		exces 350 %		
9.		exces 400 %		

Din datele prezentate în tabelul de mai sus se reprezintă grafic gradul de dezoxidare în funcție de cantitatea și conținutul de dezoxidant.

Gradul de dezoxidare este dat de relația:

$$\eta_d = \frac{[O]_i - [O]_f}{[O]_i} 100, \% \quad (29)$$

în care [O]_i și [O]_f sunt conținuturile de oxigen inițial respectiv final (după dezoxidare).

Aplicațiile lucrării constau în:

1. prezentarea eficienței dezoxidării cuprului cu principalii 3 dezoxidanți: fosfor, bor sau litiu și compararea sub formă de date tabelate și

grafice a concentrației reziduale a oxigenului funcție de conținutul de dezoxidant.

2. producerea de sârme cu caracteristici măsurabile (lungime, diametru) din probele de cupru nedeoxodate și dezoxodate și determinarea rezistivității electrice, după care se va reprezenta grafic conductivitatea electrică, în funcție de conținutul rezidual de dezoxidant, $\rho = f(R)$, comparându-se influența diferiților dezoxidanți asupra rezistivității electrice a cuprului.

Lucrarea 7

INTERACȚIUNEA TOPITURILOR METALICE CU HIDROGENUL SI DETERMINAREA CONTINUTULUI DE HIDROGEN IN ALIAJE LICHIDE

1. Introducere

Hidrogenul este un gaz care difuzează în topiturile metalice (metale sau aliaje) la temperatura obișnuită. El reprezintă peste 70% din cantitatea totală de gaze care se dizolvă în majoritatea topiturilor metalice neferoase.

Din acest motiv, lucrarea de față are ca scop stabilirea condițiilor în care are loc dizolvarea hidrogenului în topiturile metalice, precum și stabilirea unor metode de determinare a conținutului de hidrogen din topituri.

Principalele metale care, la elaborarea în cuptoare deschise, formează cu hidrogenul soluții sunt: Cu, Al, Fe, Co, Ni, Mg, Ag, Pt, etc. Solubilitatea hidrogenului în aceste metale se mărește cu creșterea temperaturii, atât în stare solidă, cât și în stare lichidă. Dependența solubilității gazelor de temperatură și de presiunea de vapori a metalului este prezentată în Figura 1.

Hidrogenul care se află în atmosfera cuptoarelor de elaborare poate fi în stare moleculară, sau poate să disocieze în atomi la suprafața băii metalice. Procesul de disociere are loc la temperaturi ridicate (peste 1700⁰C) cu absorbția unei cantități mari de căldură. Ca urmare, la temperaturile obișnuite de elaborare (sub 1300⁰C), cantitatea de hidrogen atomic este redusă. Practic aliajele neferoase nu se saturează cu hidrogenul care se află în stare moleculară în atmosfera cuptoarelor de elaborare.

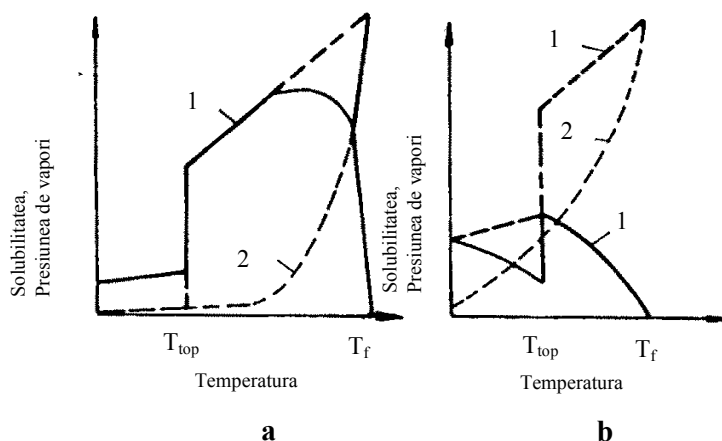


Figura 1. **Dependența solubilității gazelor de temperatura și presiunea de vapori:** a) metale cu temperatura de topire ridicată; b) metale cu temperatura de topire joasă; 1 – solubilitatea; 2 – presiunea de vapori; (T_{top} – temperatura de topire; T_f – temperatura de fierbere)

Sursa principală de hidrogen atomic o reprezintă umiditatea (din capușeala umedă a cuptorului, din hidroxizi, din materialele încălzirii), care prin disociere la suprafața băii metalice conduce la saturarea cu hidrogen a aliajelor.

Prin interacțiunea umidității cu topitura se formează oxizi și hidrogen atomic. Conform reacției:



hidrogenul format se dizolvă în aliajul lichid, iar oxidul MeO impurifică topitura favorizând în același timp saturarea acesteia cu gaze.

Fazele dizolvării hidrogenului în topiturile metalice sunt următoarele:

- transportul moleculelor de hidrogen din faza gazoasă la interfața gaz – metal;

- reacția chimică la interfața metal – gaz, constând din adsorbția și disocierea moleculelor de hidrogen;
- transportul atomilor de hidrogen de la interfața gaz – metal în baia metalică.

Pentru a atinge echilibrul în sistemul topitură metalică – hidrogen este necesar un anumit interval de timp. Acesta poate fi determinat de interacțiunea topitură – gaz. Astfel, în cazul topiturilor pe bază de aliaje de aluminiu, starea de saturație a topiturii cu hidrogen se poate atinge după un număr mare de ore, față de sistemul Al – H₂ în care echilibrul se stabilește numai după 16 minute (la 800⁰C) și respectiv 1 minut (la 1000⁰C).

Această durată mare de stabilire a echilibrului topitură – hidrogen se explică prin viteza de difuzie redusă a hidrogenului prin stratul de oxid de aluminiu (Al₂O₃) format la suprafața topiturii.

Dependența solubilității hidrogenului de presiune se exprimă prin relația:

$$S = k\sqrt{p} \quad (2)$$

unde: S este solubilitatea hidrogenului, în cm³/100g topitură;

k – coeficient de proporționalitate;

p – presiunea parțială a hidrogenului.

Calculul solubilității hidrogenului în topiturile pure (metale) este bazat pe reacția:



pentru care:

$$\Delta G_T^0 = -4,576T \log \frac{[\%H]f_H}{\{p_{H_2,atm}\}^{1/2}} \quad (4)$$

în care: ΔG_T^0 - variația entalpiei libere de dizolvare a hidrogenului în metalul pur lichid ($Me_{(l)}$); f_H - coeficientul de activitate al hidrogenului în condițiile soluției cu diluție infinită a hidrogenului în metalul pur lichid, la concentrația exprimată în procente masice.

Dizolvarea hidrogenului în topituri binare $Me - X_j$ are loc conform reacției:



Constanta de echilibru a procesului este:

$$K_p = a_H^{X_j} / p_{H_2}^{1/2} = f_H^{X_j} [H]_{Me - X_j} / p_{H_2}^{1/2} \quad (6)$$

unde: $f_H^{X_j}$ este coeficientul de activitate al hidrogenului în topitura $Me - X_j$ la temperatură și presiune constantă; $[H]_{Me - X_j}$ - solubilitatea hidrogenului în topitura binară $Me - X_j$.

Coeficientul de activitate $f_H^{X_j}$ se calculează conform relației:

$$f_H^{X_j} = [H]_{Me} / [H]_{Me - X_j} \quad (7)$$

în care: $[H]_{Me}$ este solubilitatea hidrogenului în metalul lichid pur.

Influența unui al treilea component X_3 dizolvat în Me (ca și influența componentului al patrulea X_4 ș.a.m.d.) asupra activității celui de-al doilea component (în cazul nostru hidrogenul) se poate estima cu ajutorul parametrului termodinamic de interacțiune ternară $\varepsilon_H^{X_j}$:

$$\varepsilon_H^{X_j} = \left| \frac{\partial \ln f_H^{X_j}}{\partial N_{X_j}} \right|_{N_{X_j} \rightarrow 0, T} \quad (8)$$

unde: N_{X_j} este fracția molară a elementului de aliere X_j .

Pentru scopuri practice concentrația se poate exprima în procente de greutate (masice), iar logaritmul natural se poate înlocui cu cel zecimal. În aceste condiții parametrul termodinamic de interacțiune ternară se exprimă prin relația:

$$e_H^{X_j} = \left| \frac{\partial \log f_H^{X_j}}{\partial C_{X_j}} \right|_{C_{X_j} \rightarrow 0, T} \quad (9)$$

în care: C_{X_j} este concentrația masică a elementului de aliere.

Parametrii termodinamici $\varepsilon_H^{X_j}$ și $e_H^{X_j}$ sunt legați prin relația:

$$\varepsilon_H^{X_j} = 230(M_{X_j} / M_{Me})e_H^{X_j} + (M_{Me} - M_{X_j}) / M_{Me} \quad (10)$$

unde: M_{Me} și M_{X_j} sunt masele moleculare ale metalului – solvent, respectiv ale elementelor de aliere X_j .

Solubilitatea hidrogenului în topituri metalice multicomponente se poate determina cu relația:

$$\log[H]_{AM} = \log[H]_{Me} - \sum e_H^{X_j} X_j \quad (11)$$

unde: $[H]_{AM}$ - solubilitatea hidrogenului în aliaje multicomponente (la $p_{H_2} = 0,101$ MPa), $\text{cm}^3 / 100$ g; $[H]_{Me}$ - solubilitatea hidrogenului în metalul solvent Me la temperatura dată și la $p_{H_2} = 0,101$ MPa, $\text{cm}^3 / 100$

g; $e_H^{X_j}$ - parametru de interacțiune ternară la temperatura dată și la $p_{H_2} = 0,101$ MPa; X_j - conținutul în elemente de aliere, % masice.

Influența diferitelor elemente de aliere a aluminiului și respectiv a cuprului asupra solubilității hidrogenului în aceste aliaje este prezentată în Figurile 2 și 3.

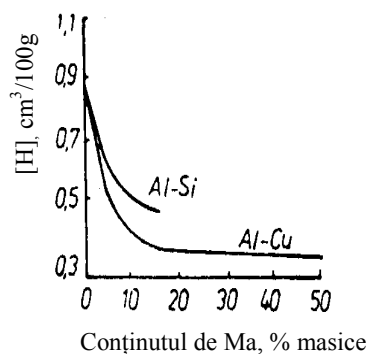


Figura 2. Influența unor elemente de aliere asupra solubilității hidrogenului în aluminiu
Ma – elemente de aliere

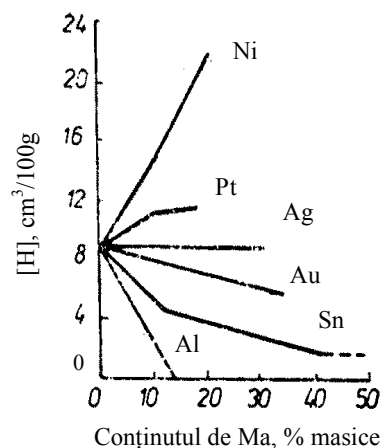


Figura 3. Influența unor elemente de aliere asupra solubilității hidrogenului în cupru
Ma – elemente de aliere

3. Instalații pentru determinarea conținutului de hidrogen din topiturile de aluminiu

Primele teste pentru determinare conținutului de hidrogen din topiturile pe bază de aluminiu au fost cele bazate pe testul Straube – Pfeiffer (S – P), în care conținutul de hidrogen a fost apreciat prin măsurarea densității probei metalice solidificată în condiții de presiune redusă. Testul reprezintă măsurarea directă a conținutului de hidrogen, valoarea obținută

fiind influențată atât de conținutul de hidrogen cât și de conținutul de impurități din probă. Necesitatea determinării numai a conținutului de hidrogen a condus însă la dezvoltarea unor noi tehnici.

Ransley și Talbot au dezvoltat o tehnică de analiză cantitativă în laborator, numită **“tehnica Ransley”** sau **“extracția rapidă”** sau **“subfuziune în vid” (VSF)**. Această metodă constă în încălzirea unei probe luate din topitură la o temperatură sub temperatura solidus, în vid înaintat. Se măsoară astfel volumul de hidrogen gazos degajat.

Dezavantajele tehnicii VSF și necesitatea dezvoltării unei noi metode capabile să determine rapid conținutul de hidrogen a determinat dezvoltarea unei noi tehnici, **“Telegas”**, tehnică cunoscută și sub denumirea de **“tehnica recirculării în inel închis” (CLR)**.

Principiul tehnicii Telegas constă în trecerea unui volum de gaz purtător în topitură în care hidrogenul să poată difuza. Azotul poate fi un astfel de gaz purtător de hidrogen. Schema de principiu a aparatului Telegas este prezentată în Figura 4.

Astfel la barbotarea azotului, după un anumit timp, hidrogenul dizolvat în topitură poate ajunge în echilibru cu hidrogenul gazos conținut înăuntrul bulelor de azot conform reacției:



Concentrația hidrogenului în soluție este funcție de solubilitatea lui în topitură și de presiunea parțială, și este dată de relația:

$$G = k S_0 (P_i / 760)^{1/2} \quad (13)$$

unde: P_i este presiunea internă de echilibru a hidrogenului, în mm Hg;
 S_0 solubilitatea hidrogenului la 760 mm Hg și la o temperatură dată;
 k – constantă ce depinde de compoziția materialului.

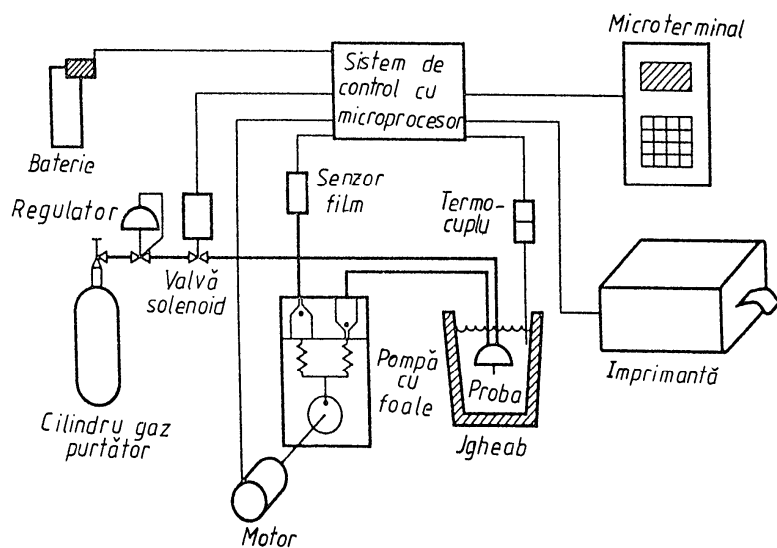


Figura 4. Schema diagramă a aparatului Telegas

Aparatul Telegas măsoară presiunea internă P_i . Conductivitatea termică a hidrogenului este mai mare decât cea a azotului cu două ordine de mărime. Astfel, conductivitatea termică a gazului purtător depinde foarte mult de concentrația de hidrogen și dacă conținutul de hidrogen al azotului purtător poate fi măsurat, acesta poate reda direct conținutul de hidrogen dizolvat în topitură. În aparatul Telegas aceasta se poate realiza prin folosirea catarametrului (detector termic), care este sensibil la modificările conductivității termice, precum și a unui circuit Wheatstone.

Automatizarea măsurării concentrației hidrogenului în topitură cu aparatul Telegas conduce la obținerea pe calculator a unui tabel centralizator cum este cel de mai jos.

Tabelul 1. Centralizator de date

Presiunea internă de echilibru a hidrogenului, P_i , mmHg							
Concentrația hidrogenului în soluție, $\text{cm}^3/100\text{g}$							

Metoda prezintă însă unele dezavantaje. Cel mai important dezavantaj îl reprezintă obținerea probelor care sunt scumpe, fragile și adesea se rup la numai câteva imersări în topitură. În plus, instalația este voluminoasă și citirile pot fi eronate. Aceste dezavantaje au fost însă înlăturate în ultima vreme de către firma Alcoa (USA).

O variantă a tehnicii Telegas este metoda NCF, respectiv “metoda fusiunii azotului purtător”. Aceasta reprezintă o variantă a subfusiunii în vid, unde proba solidă este încălzită deasupra punctului de topire și hidrogenul gazos este transportat de gazul purtător și măsurat cu ajutorul unui catarometru (detector al conductivității termice). Această tehnică este numită “tehnica LECO” (serii RH).

Instalația pentru determinarea hidrogenului LECO RH-3 realizează o analiză completă în numai 20 minute. În această metodă, o probă cilindrică plasată într-un creuzet de grafit este topită într-un curent de azot. Hidrogenul din topitură este transportat în sensul curentului de gaz și măsurat de catarometru prin variațiile conductivității termice ale gazului purtător. Schema de principiu a instalației este prezentată în Figura 5.

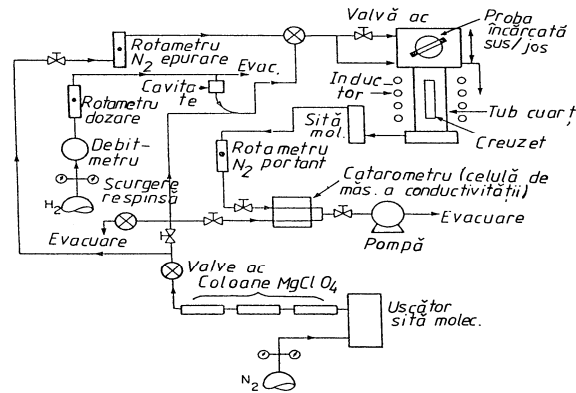


Figura 5. Schema aparatului LECO RH-3

Schema instalației de laborator, folosită în lucrările practice pentru determinarea conținutului de hidrogen din aliajele lichide, prin metoda primei bule gazoase este prezentată în Figura 6.

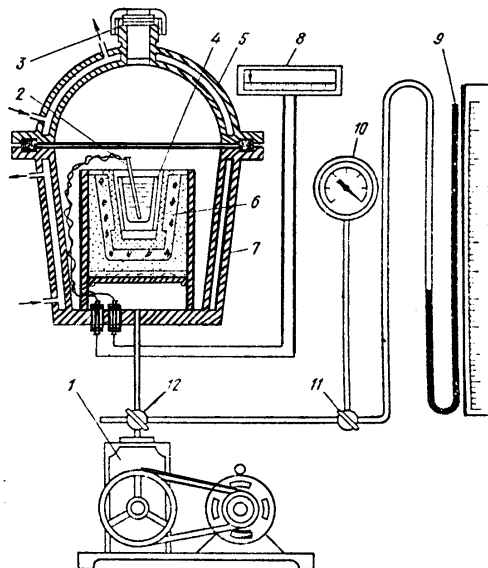


Figura 6. Schema instalației pentru determinarea conținutului de hidrogen folosită în lucrările practice de laborator: 1) pompa de vid; 2) termocuplu; 3) orificiu vizitare; 4) creuzet cu metal topit; 5) capacul instalației de vidare; 6) cuptor electric cu rezistori; 7) corpul instalației de vidare; 8) înregistrator de temperatură; 9) manometru cu Hg cu scala 0 – 200 mmHg; 10) manometru mecanic cu scala 0 – 760 mmHg; 11) robinet cu trei căi; 12) robinet cu trei căi.

4. Determinarea conținutului de hidrogen

Instalații și materiale

S-a construit o instalație care lucrează după legea lui Sievert pentru a măsura conținutul de hidrogen din Al. Acuratețea măsurătorilor și precizia lor în acest experiment depind de factori ca:

- volumul spațiului nefolosit în bula de referință;
- greutatea probei de aluminiu;
- proprietățile gazului de referință.

Un creuzet de nitrat de bor cu dimensiunile ϕ 64x64 mm a fost instalat în vasul de absorbție. Alegerea materialului creuzetului s-a bazat pe: stabilitate chimică; termostabilitate; preț de cost.

Pentru a topi proba s-a folosit un sistem de încălzire prin inducție deoarece acesta prezintă avantaje certe asupra sistemului de încălzire cu rezistențe cum ar fi un control mult mai precis al temperaturii și un efect de absorbție accelerat datorită agitării prin inducție. Probele au fost preparate să se potrivească exact în creuzet.

Procesul de măsurare

Înainte de încălzire, vasul de absorbție și colectorul au fost vidate până la 10^3 Pa pentru a preveni oxidarea suprafeței de Al în timpul încălzirii. Proba a fost topită, temperatura a fost controlată până la valoarea prescrisă 800°C pentru o durată de degazare de 30 minute. Este foarte important să se atingă o valoare de cel puțin 10^3 Pa înainte de măsurare deoarece gradul de umectare reprezintă un factor critic pentru acuratețea măsurării.

Temperatura topiturii se va regla după degazare la o valoare determinată și se va menține la acest nivel timp de 5 minute pentru a se

stabiliza. Gazul de referință va fi admis în biureta de gaz și în colectorul dintre vasul de absorbție și coloana cu mercur (Figura 7) la o presiune precizată, iar apoi va fi introdus în vasul de absorbție. Volumul din spațiul liber va fi calibrat din căderea de presiune, iar variațiile de volum ale spațiului ocupat din calibrarea gazului.

Temperatura topiturii va fi coborâtă până la o anumită valoare datorită schimbului de căldură dintre gazul introdus și topitura caldă, va fi menținută la această temperatură cel puțin 10 minute durată aproximativ egală cu timpul maxim de absorbție al gazului de referință și întregul proces va fi repetat folosind gazul solubil pentru a fi măsurat.

Solubilitatea gazului solubil poate fi calculată din diferența dintre volumul gazului solubil rămas în vasul de absorbție sub aceeași presiune.

Vor fi realizate trei seturi cu diferite combinații ale gazului de referință și ale gazului solubil și diferite temperaturi așa cum se indică în Tabelul 2.

Tabelul 2. **Rezultatele experimentale pentru cele trei încercări**

Experiment	Gaz de referință	Gaz solubil	Temperatură topire °C
1	Ar	H ₂	700 - 900
2	He	H ₂	700 - 800
3	Ar	H ₂	700 - 800

Rezultate și discuții

Solubilitatea hidrogenului măsurată în experiment



pentru care constanta de echilibru este:

$$K_{H_2}^{Ar} = \frac{[H]_{Al}^{Ar}}{\sqrt{P_{H_2}}} \quad (15)$$

unde: P_{H_2} este presiunea parțială în hidrogenul dizolvat în aluminiu lichid;

$[H]$ - conținutul de hidrogen în aluminiu lichid;

$[H]_{Al}^{Ar}$ - constanta de echilibru.

Valorile solubilității hidrogenului la o atmosferă pot fi obținute trasând graficul solubilității în funcție de presiune.

Dependența temperaturii de solubilitatea hidrogenului poate fi obținută prin aplicarea unei presiunii parțiale de 1 atm. și poate fi aplicată legea vant Hoff izobară:

$$\left[\frac{d(\log K_{H_2}^{Ar})}{d(1/T)} \right]_P = -\frac{\Delta H^\bullet}{R} \quad (16)$$

unde: ΔH este entalpia standard a soluției de hidrogen în aluminiu topit;

T este temperatura în grade Kelvin.

$K_{H_2}^{Ar}$ și $K_{H_2}^{0,Ar}$ și S și S^o sunt valorile constantei de echilibru și a entalpiei la momentul respectiv și la echilibru, la 1 atm și 973 K.

Ecuția este:

$$\frac{K_{H_2}^{Ar}}{K_{H_2}^{0,Ar}} = \frac{S}{S^o} \quad (17)$$

Integrând ecuația 3 și introducând-o în 4 obținem:

$$\log S = -\frac{\Delta H^\bullet}{RT} + C \quad (18)$$

unde: C este constanta de integrare și entalpia este considerată independentă de temperatură.

Valorile lui C și ale entalpiei pot fi obținute din graficul $\log S$ în funcție de reciproca temperaturii de topire.

Lucrarea 8

CINETICA DEGAZARII TOPITURILOR METALICE PRIN BARBOTARE CU GAZE INERTE

1. Considerații generale

Procesul de eliminare a gazelor dizolvate din topiturile metalice poartă numele de degazare. Procesul de degazare se poate realiza prin:

- barbotarea topiturii cu gaze inerte;
- barbotarea topiturii cu gaze active;
- barbotarea topiturii cu amestecuri de gaze inerte și active;
- tratarea topiturilor metalice cu ultrasunete și/sau vibrații;
- tratarea topiturilor metalice în vid (atmosfera depresurizate);
- tratarea topiturilor metalice cu fonanți de degazare solizi, etc..

În cazul degazării prin barbotare, însuflarea gazului în topitură se poate face:

a) cu ajutorul unei lănci, protejate sau nu cu material refractar, prevăzută la capătul imersat în topitură cu o piesă refractară de porozitate controlată, pentru a dispersa gazul în bule cât mai mici;

b) printr-un dop poros amplasat la fundul oalelor de turnare ceea ce permite barbotarea de la începutul deversării aliajului în oală fără riscuri de împrăscare în exterior, agitatea mai puternică a aliajului și afectarea unui volum maxim de aliaj de către bulele de gaz.

Principalele efecte ale barbotării cu gaze inerte sunt:

- omogenizarea termică a băii metalice ca urmare a agitării produse de trecerea gazului;

- omogenizarea chimică a topiturii datorită intensificării proceselor de transfer de masă;
- degazarea prin difuzia gazelor nedorite din topitură în bulele gazului insuflat și eliminarea acestora în atmosferă;
- rafinarea de incluziuni nemetalice ca urmare a creșterii vitezei ascensionale a acestora în urma ciocnirii și măririi diametrului lor și a efectului procesului de flotație;
- intensificarea proceselor fizico-chimice și reducerea duratei de desfășurare a acestora ca urmare a creșterii vitezei de transfer de masă.

Din punct de vedere termodinamic, degazarea topiturilor metalice poate fi explicată pe baza unei relații de forma:

$$\ln[G] = -\frac{\Delta G^{\circ}}{RT} + \ln \sqrt{p_{G_2}} - \ln f_{G_2} \quad (1)$$

în care: ΔG° este variația entalpiei libere;

[G] - solubilitatea gazului dizolvat în topitură;

R - constanta generală a gazelor perfecte;

T – temperatura, în Kelvin;

p_{G_2} - presiunea gazului din atmosfera agregatului de elaborare;

f_{G_2} - coeficientul de activitate al gazului.

Conform acestei relații, reducerea concentrației gazului dăunător dizolvat în topitură se poate realiza prin:

1) creșterea temperaturii T a topiturii, efectul maxim se înregistrează la temperatura de fierbere;

2) scăderea presiunii parțiale a gazului (p_{G_2}) din atmosfera agregatului de elaborare;

3) reducerea coeficientului de activitate al gazului, f_{G_2} , prin legarea acestuia în compuși solizi (hidruri, nitruri).

În practică, în general, se utilizează metode bazate pe scăderea presiunii gazului dizolvat în topitură.

După cum s-a arătat, topiturile metalice neferoase absorb cantități destul de mari de gaze, în special hidrogen. Solubilitatea hidrogenului (și a azotului) în topiturile neferoase este funcție de temperatură și scade rapid la solidificare. La scăderea temperaturii solubilitatea gazelor se reduce, atomii expulzați se unesc și formează molecule, iar acestea dau naștere la bulele de gaz care în timpul solidificării conduc la formarea porozității în produsele turnate.

Gazele de barbotare colectează hidrogenul din topitură datorită gradientului de concentrație a hidrogenului în bulele de gaze insuflate și în baia metalică. Hidrogenul difuzează în bulele gazoase insuflate în topitură care apoi se ridică la suprafața acesteia.

Procesul de degazare a topiturilor neferoase prin barbotarea gazelor inerte față de topitură (de exemplu N_2 , Ar, He) se bazează pe capacitatea bulelor acestor gaze de a absorbi hidrogenul dizolvat în baia metalică prin adsorbția hidrogenului atomic la suprafața bulelor, formarea moleculelor de hidrogen și difuzia acestora în bulele de gaze inerte.

Neajunsurile esențiale ale acestui procedeu sunt cele legate de calitatea deosebită a materialelor refractare și de uzura avansată a acestora, de purificarea gazului insuflat și de răcirea topiturii în timpul tratamentului.

Presiunea de insuflare a gazului în baia de aliaj lichid, p_i , trebuie să respecte relația:

$$p_i > p_1 + p_2 + \frac{2\sigma}{r} + g\rho_m h_m + g\rho_z h_z \quad (2)$$

în care:

p_1 - pierderea de presiune în sistemul de transport al gazului;

p_2 - pierderea de presiune în dopul poros;

σ - tensiunea interfazică lichid-gaz;

r - raza bulelor de gaz;

$g\rho_m h_m$ - presiunea metalostatică a coloanei de metal;

$g\rho_z h_z$ - presiunea exercitată de coloana de zgură;

ρ_m și ρ_z - densitatea metalului, respectiv a zgurei;

h_m și h_z - înălțimea coloanei de metal, respectiv de zgură;

g - accelerația gravitațională.

Puterea dezvoltată la barbotarea topiturii de către gazul inert este:

$$P = 11,58Q \left[1 - \frac{T_1}{T_2} + \lg \frac{P_1}{P_2} \right] \quad (3)$$

în care:

P – puterea;

Q - debitul de gaz barbotat;

T_1 - temperatura gazului la intrarea în topitură;

T_2 - temperatura gazului la ieșirea din baie;

P_1 - presiunea gazului la intrarea în topitură;

P_2 - presiunea gazului deasupra topiturii.

Procesul de formare a bulelor, diametrul și frecvența de formare a lor se determină din condiția de echilibru a forțelor ce acționează asupra unei bule.

$$\frac{\pi}{6} d_b^3 \cdot g(\rho_m - \rho_g) = \pi d_o \sigma \quad (4)$$

în care:

d_b - diametrul bulei de gaz;

d_o - diametrul orificiului de evacuare a gazului;

ρ_m, ρ_g - densitățile metalului, respectiv gazului.

Relația este valabilă pentru viteze mici ale gazului, când numărul Reynolds în orificiu este mai mic de 500 și arată că diametrul bulelor este independent de viteza gazului, fiind funcție de rădăcina cubică a diametrului orificiului și de natura topiturii și gazului. Frecvența de formare a bulelor, în acest caz, este funcție de debitul volumetric de gaz și de diametrul orificiului, iar dacă bulele sunt de același diametru se poate scrie:

$$\sigma = \frac{6Q_g}{d_b^3} \quad (5)$$

La viteze mari ale gazului, la care numărul lui Reynolds în orificiu este cuprins între 500 și 2100, în afara forțelor lui Arhimede și cele datorate tensiunii superficiale mai apar forțe de inerție și de mișcare a lichidului în procesul de creștere a bulelor. Pentru acest caz se poate accepta o relație empirică de determinare a frecvenței maxime de formare a bulelor:

$$\sigma_{\max} = 6,7 \cdot v^{0,13} \cdot d_o^{0,43} \quad (6)$$

în care:

σ_{\max} - frecvența maximă de formare a bulelor, în bule/s;

v - viteza volumetrică a gazului, în cm^3/s ;

d_o - diametrul orificiului, în cm .

Diametrul mediu al bulelor se determină din relația:

$$d_b = 0,286 \cdot d_o^{0,5} \cdot N_{\text{Re},o}^{0,33} \quad (7)$$

în care $N_{\text{Re},o}$ este numărul lui Reynolds în orificiu.

Variația cantității de hidrogen în topitură la barbotare este:

$$d[H] = dG \left[\frac{p_{H_2}}{p - p_{H_2}} \right] \quad (8)$$

în care: $[H]$ - cantitatea de hidrogen dizolvat în topitură;

G - cantitatea de gaz inert insuflat;

p_{H_2} - presiunea parțială a hidrogenului în bulele de gaz insuflat;

p - presiunea totală în bulele de gaze.

În condiții de echilibru în sistemul Me-G, concentrația hidrogenului în baia metalică se calculează cu relația Sieverts:

$$[H] = K_{H_2} \sqrt{p_{H_2}} \quad (9)$$

în care K_{H_2} este constanta de solubilitate a hidrogenului.

Exprimând $[H]$ prin concentrația în greutate și combinând relațiile de mai sus, rezultă că volumul V_G de gaz barbotat necesar pentru scăderea concentrației hidrogenului în topitură de la $[H]$ la $[H_0]$ este:

$$V_G = (0,224 / M_G) [p K_{H_2}^2 (1/[H] - 1/[H_0]) + ([H] - [H_0])] \quad (10)$$

unde: p - presiunea gazului insuflat;

M_G - masa moleculară a gazului insuflat;

0,224 - coeficientul de transformare, în m³/kg;

[H], [H₀] - concentrațiile hidrogenului în topitură înainte de barbotare și respectiv după aceasta.

Din punct de vedere cinetic, procesul de degazare a topiturilor prin barbotare cu gaze inerte este descris de relația:

$$d[H]/dt = -K[H]^2 \quad (11)$$

În urma integrării se obține:

$$1/[H] - 1/[H_0] = Kt \quad (12)$$

Coeficientul K depinde de temperatură, mărimea suprafeței de contact dintre gazul insuflat și topitură, precum și de alți factori:

$$K = k_H \frac{V}{M} \quad (13)$$

unde: k_H este constanta de solubilitate;

V - debitul de gaz inert, m³/s;

M- cantitatea de topitură, kg.

Cu relațiile de mai sus se poate calcula cantitatea minimă teoretică de gaz inert necesar a fi insuflat în topiturile metalice, pentru eliminarea hidrogenului. Dar, datorită factorilor cinetici, cantitatea de gaz inert necesară este mult mai mare.

Atât aria suprafeței de contact dintre bulele de gaz inert și topitură cât și constanta de solubilitate k_H se măresc la scăderea dimensiunii bulelor de gaz inert, deci procesul de eliminare a hidrogenului va fi favorizat de bulele de gaz cu dimensiuni mici.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a dezvolta aptitudinile tehnice ale studenților în vederea aprecierii din punct de vedere teoretic și practic a posibilităților de gazare și degazare a aliajelor, precum și deprinderea de determinare a gradului de gazare, respectiv de degazare.

Lucrarea de față își propune eliminarea incluziunilor gazoase dintr-un material metalic prin barbotarea băii metalice cu un gaz inert (Ar). Pentru realizarea acestui obiectiv trebuie, în prima fază, să stabilim porozitatea aliajului studiat, calculând densitatea probelor.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind cinetica degazării topiturilor metalice prin barbotare cu gaze inerte sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

Pentru calculul densității probelor se folosește metoda cântăririi hidrostatice. Aceasta constă în determinarea pierderii aparente de greutate a unui solid, cântărit întâi în aer, apoi scufundat într-un lichid.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator privind cinetica degazării topiturilor metalice prin barbotarea cu gaze inerte sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) Cuptorul folosit în laborator este prezentat în Figura 1. Debitul de alimentare a gazelor de barbotare în baia metalică se reglează cu un debitmetru. Se dorește obținerea unor bule cu dimensiuni cât mai mici, obținându-se astfel o suprafață foarte mare de reacție (probabilitatea ca

incluziunile gazoase să fie întâlnite și eliminate de către gazele barbotate crește foarte mult).

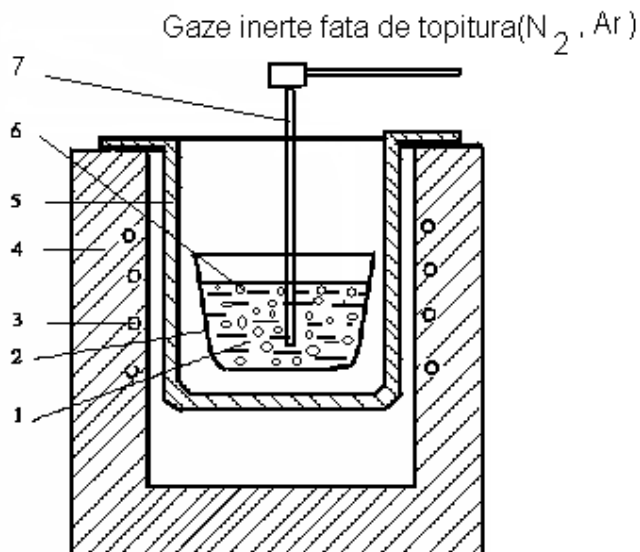


Figura 1. **Instalația de laborator folosită la barbotarea băii metalice cu gaze inerte:**
1) topitură; 2) creuzet; 3) rezistor; 4) căptușeală refractară; 5) incintă de lucru;
6) bule de gaz;; 7) lance de insuflare a gazelor

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale aliajelor elaborate și degazate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind cinetica degazării topiturilor metalice prin barbotarea cu gaze inerte sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Ni, Mg etc.
- prealiaje;
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%NaCl + 10%KCl

+ 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);

- fluxuri de protecție a băilor metalice;
- degazanți: argon, azot gazos, C₂Cl₆, BCl₃, KCl, MnCl₂, ZnCl₂;
- vopsele refractare, chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Cinetica degazării topiturilor metalice prin barbotare cu gaze inerte” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt cele prezentate în lucrarea nr.1:
- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj;
- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;
- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înainte evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a metalelor primare sau secundare calculate;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înainte atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant universal, iar imediat după topire se adaugă restul de metale primare care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la atingerea temperaturii de turnare se toarnă un set de probe pentru analiza gradului de gazare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- la o temperatură de supraîncălzire de 70 – 100⁰C peste temperature de topire se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se aplică metoda de degazare și rafinare prin barbotare cu un gaz inert: argon sau azot;

- după degazare și rafinare, la temperatura corespunzătoare de evacuare, se toarnă un set de probe pentru aprecierea gradului de degazare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj gazat, respectiv degazat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaj gazat, cât și din epruvetele de aliaj degazat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;
- se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor gazate și a celor degazate;
- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor gazate și a celor degazate;
- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele gazate și din cele degazate.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Formula pentru calculul densității solidului, d_s , este:

$$d_s = \frac{G_o}{G_o - G_l} d_l \quad (14)$$

unde: d_l – densitatea lichidului;
 G_o , G_l – greutatea adevărate (reduse) ale solidului în vid și scufundat în lichid.

Calculul porozității se face cu relația:

$$p = \frac{d_o - d_s}{d_o} 100 \quad (15)$$

unde: d_o – densitatea teoretică (pentru aliajul studiat);
 d_s – densitatea reală a solidului.

După cântărirea probelor se vor calcula valorile densității solidului (d_s) și porozitatea (p). Valorile astfel obținute se vor trece într-un tabel precum cel de mai jos (Tabelul 1).

Tabelul 1. Caracteristicile materialelor de încărcare.

Nr. probă	Durata de barbotare, t, [min]	Greutatea în aer, G_0 , [g]	Greutatea în apă, G_1 , [g]	Densitatea, d_s , [g/cm ³]	Porozitatea, [%]
1.					
2.					
3.					

În cazul în care conținutul de hidrogen dizolvat în baia metalică este calculat sub formă de porozitate, formula folosită pentru calculul randamentului degazării este următoarea:

$$\eta_d = \frac{p_i - p_f}{p_i} 100 \quad [\%], \quad (16)$$

unde: p_i și p_f sunt conținuturile inițiale, respectiv finale de hidrogen în topitură, %.

Calculul porozității finale a materialului procesat se face la fel ca cel pentru materialele de încărcare. Datele obținute după calcul se vor trece în Tabelul 2. Se va face o comparație între porozitatea aliajului studiat, înainte și după tratarea lui.

Tabelul 2. Datele centralizate privind materialul de încărcare și aliajul obținut.

Nr. șarjă	Porozitatea inițială, p_i , %	Porozitatea finală, p_f , %	Randamentul de degazare, η_d , %
1.			
2.			
3.			

La barbotarea argonului, eficiența degazării se calculează cu relația:

$$\eta_d = \frac{H_i - H_f}{H_i} 100 \quad [\%], \quad (17)$$

unde: H_i și H_f sunt conținuturile inițiale, respectiv finale de hidrogen în topitură, în % sau ppm, care se determină ca în lucrarea 6.

La degazarea topiturilor de aluminiu se va determina coeficientul de utilizare al gazului inert, care caracterizează eficiența degazării în regim de barbotare cu bule gazoase:

$$\eta = \frac{pK_H^2 ([H]_1 - [H]_2)}{100V[H]_1[H]_2} \quad (18)$$

unde: p este presiunea atmosferică;

$[H]_1$ și $[H]_2$ - conținuturile de hidrogen în topitură înainte și după barbotare, $\text{cm}^3/100\text{g}$;

K_H - constanta de solubilitate a H_2 la $p_{\text{H}_2} = 0,101 \text{ MPa}$ ($K_H = 6,2 \cdot 10^4 \text{ kgm}^3/\text{ppm} \cdot \text{s}$ pentru aliaje de aluminiu lichide).

Se vor trage concluzii cu privire la factorii care influențează fenomenul de eliminare a gazelor din topitură, făcând mai multe experimentări la diferite temperaturi, debite, diferite durate de barbotare aplicate la diferite aliaje.

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale aliajelor gazate și degazate. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaje gazate, respectiv degazate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaje gazate cât și din epruvetele de aliaje degazate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor gazate, respectiv degazate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor gazate, respectiv degazate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele gazate, respectiv degazate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de degazare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența degazării asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. **Proprietățile mecanice ale aliajelor gazate, respectiv degazate**

Nr. crt.	Tipul de aliaj	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]	
		Gazat	Degazat	Gazat	Degazat	Gazat	Degazat
1.							
2.							
3.							

Lucrarea 9

DEGAZAREA TOPITURILOR METALICE ÎN ATMOSFERE DEPRESURIZATE

1. Considerații generale

La micșorarea avansată a presiunii atmosferei din incinta agregatelor de elaborare caracteristicile acesteia se apropie mai mult de cele ale gazului perfect, la care interacțiunile dintre molecule, date de forțele gravitaționale, coulombiene și moleculare, sunt nule.

În condiții reale, la gradele de depresurizare atinse în instalațiile industriale și chiar și în cele de laborator, mai există încă multe molecule ale elementelor din care este constituită atmosfera de lucru a acestora. Se consideră că la o depresiune de $1,33 \times 10^{-4}$ Pa mai există încă circa $3,25 \times 10^{10}$ molecule/cm³.

Atmosferele depresurizate sunt considerate atmosfere de protecție care împiedică sau limitează interacțiunea metalelor cu gazele din incinta agregatelor de elaborare. Neutralitatea acestora este dată de concentrația foarte scăzută a gazelor active: O₂, H₂, N₂, vapori de apă, CO₂, SO₂, C_mH_n etc. Presiunile parțiale ale gazelor active componente sunt de mii și zeci de mii de ori mai scăzute față de presiunea globală a atmosferei vidate. Astfel, reducerea presiunii aerului de la $1,01 \times 10^5$ Pa la 10^{-4} Pa determină reducerea presiunii parțiale a oxigenului de la 2×10^4 Pa la 2×10^{-4} Pa.

Depresurizarea atmosferelor din agregatele de elaborare deplasează echilibrele reacțiilor chimice în sensul micșorării concentrațiilor chimice ale elementelor și compușilor ce se transformă în faza gazoasă. Acest lucru determină amplificarea proceselor de degazare, de disociere a compușilor chimici

și de distilare, precum și micșorarea temperaturii de vaporizare și mărirea vitezei de evaporare.

În concluzie, depresurizarea incintelor de topire, elaborare sau tratare la temperaturi înalte a metalelor și aliajelor, determină:

- protecția metalelor și a aliajelor de acțiunea gazelor active;
- deplasarea de la stânga la dreapta a echilibrului reacțiilor chimice, în sensul formării componenților gazoși;
- dezoxidarea topiturilor metalice;
- deplasarea echilibrului de fază în cazul proceselor de evaporare și vaporizare;
- degazarea topiturilor metalice și a zgurelor.

Degazarea în atmosfere depresurizate, sau degazarea în vid, cum este cunoscută în limbajul tehnic uzual, se realizează prin scăderea presiunii deasupra aliajului lichid și deci prin crearea condițiilor de formare și ieșire la suprafață a bulelor de gaze dizolvate în topitură. Tratamentul de degazare în vid este utilizat la elaborarea aliajelor aluminiului, cuprului, nichelului, titanului, zirconului, molibdenului, a aliajelor nobile, a superaliajelor etc.

Domeniile de vacuumare realizate de unele agregate de vid, cele de măsurare de către diferite instrumente de măsură și procesele metalurgice care se desfășoară în aceste domenii sunt prezentate în Figura 1.

Conversia unităților de măsură pentru presiune este dată în Tabelul 1.

Tabelul 1. **Relații de conversie a unităților de presiune**

	Pa	Bar	Torr	At	Atm
N/m² (Pa)	1	10 ⁵	7,5.10 ⁻³	1,1.10 ⁻⁵	9,8.10 ⁻⁶
Bar (daN/cm²)	10 ⁻⁵	1	7,5.10 ²	1,01	9,8.10 ⁻¹
Torr (mmHg)	1,333.10 ⁻²	1,33.10 ⁻³	1	1,35	1,35.10 ⁻²
Atmosferă tehnică (at) kg/cm²	9,81.10 ⁴	9,8.10 ⁻¹	7,35.10 ²	1	9,6.10 ⁻¹
Atmosferă fizică (atm)	1,01.10 ⁵	1,01	7,6.10 ²	1,03	1

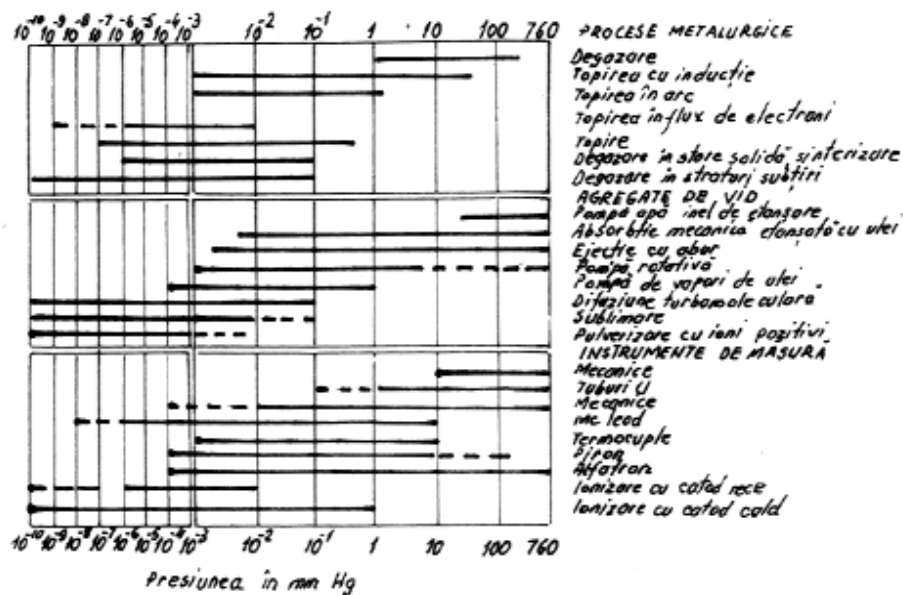


Figura 1. Domeniile de depresurizare ale instalațiilor de realizare și măsurare a vidului, precum și ale diverselor procese metalurgice.

Elaborarea metalelor și aliajelor în vid este una din puținele soluții ce răspund cerințelor actuale de materiale cu proprietăți superioare pentru domeniile comune, ca industria construcțiilor de mașini, de utilaj chimic, de automobile și tractoare, navală, dar în special pentru domenii de vârf ca electronica, aeronautica, tehnica nucleară și spațială.

La topire și turnare, metalele și aliajele pot interacționa cu hidrogenul, oxigenul, azotul, vaporii de apă, oxidul și dioxidul de carbon, hidrocarburile etc. formând soluții, compuși chimici și amestecuri mecanice. În condiții reale de elaborare gazele complexe se descompun, în metal solubilizându-se gazele: H_2 , O_2 , N_2 , care, în general, înrăutățesc calitatea metalului. Solubilitatea gazelor crește cu temperatura, deci la răcire ele devin suprasaturate în metal și formează pori în piesele turnate. Soluțiile și compușii chimici ce se formează între metal și gaze

determină durificarea, reducerea plasticității și uneori formarea de pelicule de compuși (incluziuni) la limita grăunților, ce vor compromite toate caracteristicile fizico-mecanice.

Dacă procesele de dizolvare (solubilizare) a gazelor în metale sunt condiționate de adsorbția lor la suprafața metalului și difuzia în masă, procesele de degazare în vid se desfășoară exact în sens contrar.

Exceptând domeniul presiunilor înalte și al sistemelor cu solubilitate mare, influența presiunii parțiale a gazelor asupra solubilității lor este dată de legea lui Henry.

$$[S] = KP^n \quad (1)$$

în care:

S - solubilitatea gazului;

K - constantă de solubilitate ce depinde de natura metalului și a gazului;

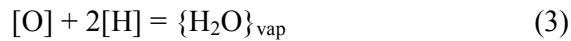
$n = \frac{1}{2}$ pentru cazul dizolvării în stare atomică.

Deci pentru gazele amintite: H₂, N₂, O₂, care se dizolvă sub formă atomică, este valabilă legea lui Sieverts:

$$S = K\sqrt{P} \quad (2)$$

La topirea în atmosferă vidată, ca urmare a scăderii presiunii sistemului și implicit a presiunilor parțiale ale gazelor, se va reduce semnificativ și solubilitatea lor în baia metalică. Spre deosebire de hidrogen și azot, care au solubilități ridicate în metale, oxigenul are o solubilitate scăzută și formează oxizi cu majoritatea metalelor. Oxizii precipită în topitură și, dacă coagulează sub formă de pelicule și aglomerări mari, coboară toate caracteristicile aliajului. Dezoxidarea

aliajelor este favorizată de prezența hidrogenului și a carbonului, care la temperatura de elaborare formează produși de reacție gazoși ce părăsesc topitura.

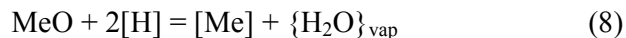


Conform legii acțiunii maselor:

$$[O] \cdot [H]^2 = K_{H_2O} \cdot p_{H_2O_{vap}} \quad (5)$$

$$[O] \cdot [C] = K_{CO} \cdot p_{CO} \quad (6)$$

Deci prin tratarea în vid, când presiunea parțială a $H_2O_{(vap)}$ și CO scade, se creează condiții de dehidrogenare și decarburare a aliajelor. Sunt posibile reacții de reducere a oxizilor existenți în baie și la interfața baie-zgură.



La tratarea metalelor și aliajelor lichide în atmosfere depresurizate, datorită scăderii presiunii parțiale a gazelor dizolvate la interfață, se intensifică procesele de eliminare a acestora, conform reacției:



Elementele cu tensiune mare de vapori la temperaturile de elaborare, supraîncălzire și turnare, în timpul tratamentelor în atmosfere depresurizate vor trece într-o proporție avansată în stare de vapori, conform relației:



Rafinarea de impurități metalice prin vaporizarea acestora în vid este o tehnică cu aplicații industriale utilizată, de exemplu, pentru eliminarea zincului și a magneziului din aliajele cuprului și nichelului, sau pentru eliminarea sodiului și a calciului din aliajele aluminiului.

Un efect de rafinare important are loc la deplasarea ascensională a bulelor de gaze prin metalele și aliajele lichide depresurizate când se accelerează procesul de flotare la suprafața a particulelor solide de impurități nemetalice.

Eliminarea în atmosfera depresurizată a gazelor dizolvate în topiturile metalice care formează pelicule compacte de oxizi (de exemplu Al), în condițiile germinării omogene a bulelor, este determinată de procesele de transfer de masă și de conținutul de oxigen din atmosfera agregatului. Peliculele de oxizi împiedică degajarea bulelor de gaze, intensitatea procesului de degazare fiind determinată nemijlocit de viteza de difuzie a gazului în topitură.

În condiții tehnice reale, formarea bulelor de gaze în topiturile metalice depinde numai de nucleerea eterogenă pe suprafața pereților formelor (cristalizoarelor) sau a particulelor solide care se află în suspensie în topitură. Energia necesară nucleerii eterogene se micșorează pe măsura reducerii umectării acestor materiale de către topitura metalică.

Importanța nucleerii eterogene pe suprafețe solide neumectate reiese din faptul că dacă nucleerea omogenă nu poate avea loc decât la presiuni de suprasaturare de peste 30.800 bari, în sistemele în care unghiul de umectare este de cca 160° nucleerea eterogenă a bulelor de gaz pe suprafețele solide se poate realiza la o presiune de suprasaturare de numai 1600 bari. În topiturile metalice reale apariția bulelor de gaz corespunde condițiilor germinării eterogene, adică la presiuni de suprasaturare mult mai mici decât cele estimate teoretic.

Mecanismul formării bulelor pe fisuri și goluri este prezentat în Figura 2.

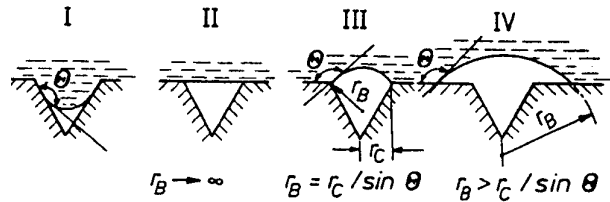


Figura 2. Nucleerea eterogenă a bulelor pe fisuri și goluri, pentru un unghi de umectare $\theta > 90^\circ$

Dacă presiunea interioară din bula de gaz (p_B) atinge valoarea sumei dintre presiunea atmosferică și presiunea metalostatică a coloanei de metal aflată deasupra acesteia ($p_A + p_M$), atunci presiunea capilară (p_K) este singurul factor de care depinde formarea bulelor de gaz în timpul răcirii topiturii.

Deoarece în etapa I presiunea capilară are valori negative nucleul bulei gazoase se va forma deja la baza fisurii înainte ca presiunea interioară (p_B) să egaleze presiunea exterioară ($p_A + p_M$). Dacă (p_B) crește și continuă să se apropie de suma ($p_A + p_M$) atunci nucleul se poate extinde până se ajunge la situația corespunzătoare etapei a II-a.

În etapa a II-a raza nucleului bulei, r_B , este infinită și presiunea capilară este egală cu zero.

Etapa a III-a, la care se ajunge dacă prin suprasaturare este îndeplinită condiția ($p_B > p_A + p_M$), este etapa critică. Datorită condițiilor geometrice bula de gaz ajunge la ieșirea din fisură, situație când presiunea capilară atinge valoarea maximă:

$$p_K = \frac{2\sigma}{r_B} = \frac{2\sigma \sin \theta}{r_c} \quad (11)$$

în care r_c este jumătate din lățimea fisurii la ieșire, iar $r_B = r_c / \sin \theta$.

În funcție de nivelul presiunii de suprasaturare în topitură, nucleul bulei poate reveni la etapa I sau se dezvoltă spre etapa a IV-a.

În etapa a IV-a, când pragul presiunii capilare este depășit, r_B crește și deci bula se mărește urmând ca apoi presiunea capilară să scadă continuu. Practic nu există o limită a creșterii bulei. Dacă r_B devine foarte mare, bula se poate desprinde și poate să urce în topitură, iar în locul ei o nouă bulă de gaze se poate forma prin același mecanism.

Pentru un unghi de contact θ mai mic de 90° modelul germinării și creșterii bulei gazoase este prezentat în Figura 3.

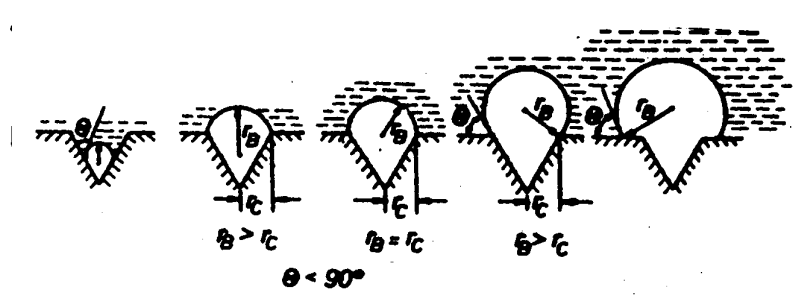


Figura 3. Nucleerea eterogenă a bulelor pe fisuri și goluri pentru un unghi de umectare $\theta < 90^\circ$

În cadrul modelului prezentat, pentru cazul când $\theta < 90^\circ$, nucleerea poate avea loc ușor la baza cavitației. Procesul poate fi inhibat la ieșirea bulei din microcavitate dacă presiunea în bula de gaz nu respectă inegalitatea:

$$p_B > p_A + p_M + \frac{2\sigma \sin \theta}{r_c} \quad (12)$$

situație în care raza bulei trebuie să depășească valoarea critică pentru a se îndeplini criteriul de creștere și bula să se poată desprinde.

În timpul degazării în vid, echilibrul în sistemul fază gazoasă/metal se deplasează în sensul desfășurării următoarelor reacții de dehidrogenare :



Se consideră că hidrogenul ajunge la suprafața de separație de unde se elimină, prin: difuzie, sau în condiții speciale prin convecție și prin formarea, creșterea și ascensiunea bulelor gazoase.

Schematic, cinetica eliminării gazelor din topituri este prezentată în Figura 4.

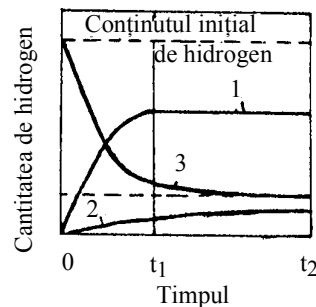


Figura 4. **Schema de degazare în vid a topiturilor metalice:**
 1. cantitatea de hidrogen eliminată prin formarea bulelor;
 2. cantitatea de hidrogen eliminată prin difuzie;
 3. cantitatea totală de hidrogen eliminată.

De la momentul zero și până la momentul t_1 eliminarea hidrogenului se realizează atât prin difuzie cât și prin formarea bulelor și în consecință conținutul de hidrogen și presiunea parțială a acestuia în topitură scade. Pentru un nivel h

de adâncime a băii metalice se poate stabili momentul la care presiunea parțială de echilibru a hidrogenului (p_{H_2}) în topitură devine egală cu presiunea exterioară:

$$p_{H_2} = p_A + \rho gh + \frac{2\sigma}{r} \quad (16)$$

Formarea și creșterea bulelor de hidrogen la momentul t_1 încetează. Momentul t_1 corespunde concentrației limită de hidrogen:

$$C_1 = k \sqrt{p_{rem} + \frac{2\sigma}{r}} \quad (17)$$

în care p_{rem} este presiunea remanentă a gazelor deasupra topiturii metalice.

Până la momentul t_2 hidrogenul din metal se îndepărtează numai prin difuzie sau convecție. În momentul t_2 , concentrația hidrogenului atinge valoarea de echilibru, iar dehidrogenarea încetează.

Împărțirea procesului de degazare în etape separate, stabilirea mecanismului de desfășurare a acestor etape și clarificarea condițiilor care limitează eliminarea hidrogenului, poate să ne permită să accelerăm procesul de dehidrogenare.

Procesul de degazare poate fi descompus într-o serie de etape cinetice succesive. În cazul eliminării hidrogenului prin degajarea bulelor până în momentul t_1 , aceste etape sunt:

1. formarea germenului bulei;
2. transferul de masă al hidrogenului spre suprafețele de separare gaz/metal formate în interiorul băii;
3. trecerea atomilor de gaz peste limita de separație și acumularea lor în stratul adsorbit de la suprafața metalului, cu formarea ulterioară a moleculelor de hidrogen;
4. difuzia moleculelor de hidrogen din stratul adsorbit în interiorul bulei;

5. eliminarea hidrogenului din baie prin ascensiunea bulelor gazoase.

În perioada eliminării hidrogenului prin difuzie, transferul de masă al hidrogenului se realizează în direcția perpendiculară pe suprafața băii. Îndepărtarea moleculelor de hidrogen de la suprafața metalului are loc ca urmare a difuziei accelerate în condițiile vidului.

Analizând etapele cinetice ale procesului de degazare prezentate mai sus, se poate afirma că atât în cazul degazării prin bule cât și în cazul degazării prin difuzie se pot deosebi 3 etape de bază legate de transferul de masă al hidrogenului:

- **transferul de masă al hidrogenului în metalul lichid;**
- **transferul hidrogenului prin interfața metal lichid/fază gazoasă;**
- **transferul de masă al hidrogenului în faza gazoasă.**

Viteza de degazare a topiturii metalice crește la mărirea suprafeței de contact dintre aceasta și atmosfera depresurizată, la mărirea coeficientului de transfer de masă și la reducerea înălțimii coloanei de metal.

Industrial, aliajele uzuale se degazează în oale de turnare introduse în incinte depresurizate (aliaje de aluminiu, oțeluri etc.), sau în cuptoare cu inducție carcasate și depresurizate (aliajele cuprului, aliajele nichelului, aliajele aluminiului etc.), iar aliajele speciale și superaliajele (aliajele titanului, zirconului, nichelului, molibdenului, niobiului, cobaltului etc.) se degazează în instalații complexe de topire și turnare cum sunt cuptoarele cu arc în vid, instalațiile de topire și rafinare în flux de electroni, instalațiile de topire în jet de plasmă etc.

Topiturile de aluminiu și de aliaje ale aluminiului se degazează atât în secțiile de turnare a pieselor cât și în secțiile de turnare a aliajelor deformabile. Tratamentele la care topiturile de aluminiu sunt menținute 20 – 100 minute la o

presiune remanentă de 6,6 mbar pot reduce conținutul de hidrogen până la 0,1...0,15 cm³ / 100 g. Metodele utilizate sunt degazarea în cuptoare cu cameră de vid sau în oale vidate.

La tratarea dinamică în vid, topitura metalică este transvazată din cuptorul de topire în cuptorul cu vid printr-un canal corespunzător, ca urmare a depresiunii create în cuptorul de tratare. Jetul de topitură se dispersează sub formă de picături metalice, numărul și dimensiunea acestora depinzând de temperatură, viteza de difuzie a hidrogenului în topitură și de forma orificiului tubului de legătură. Degazarea dinamică în vid, la care se pot obține randamente de dehidrogenare de 75%, este mult mai eficientă decât degazarea statică.

2. Scopul lucrării

Lucrarea se realizează cu scopul de a dezvolta aptitudinile tehnice ale studenților pentru aprecierea teoretică și practică a posibilităților de degazare în atmosfere depresurizate a topiturilor metalice, precum și de formare a deprinderilor de determinare a gradului de degazare. Lucrarea își propune să realizeze eliminarea incluziunilor gazoase din aliajele lichide prin tratarea statică a băii metalice în atmosfere depresurizate.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind degazarea topiturilor metalice în atmosfere depresurizate sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale corespunzătoare și tehnologii de lucru adecvate.

Pentru realizarea acestui obiectiv mai întâi trebuie, să stabilim porozitatea aliajului analizat prin calcularea densității probelor. La calculul densității probelor se folosește metoda cântăririi hidrostatice care constă în determinarea pierderii

aparente de greutate a unui solid, cântărit întâi în aer, apoi scufundat într-un lichid. Cântărirea probelor se face cu o balanță analitică modificată prin îndepărtarea unui taler și înlocuirea lui cu o sârmă subțire de care este atârnat solidul.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator privind degazarea topiturilor metalice prin tratarea statică în atmosfere depresurizate sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) Instalația folosită în laborator, prezentată în figura 5, utilizează un cuptor de topire și menținere dotat cu o instalație complexă de obținere a unui vid înaintat sau a unei atmosfere de protecție.

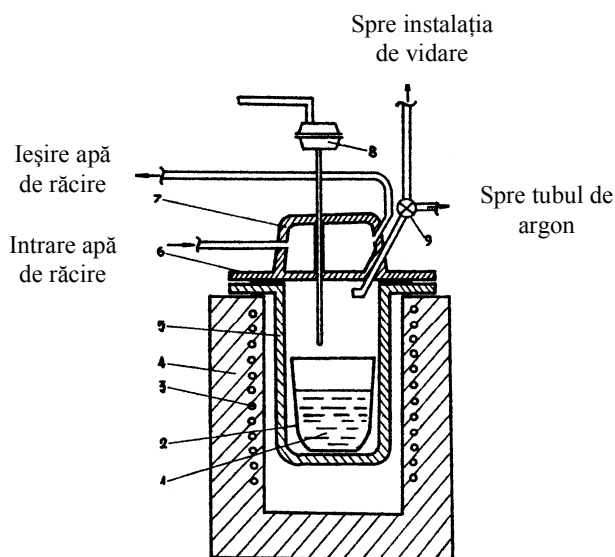


Figura 5. Schema instalației de vidare folosită în laborator:

1 – topitură; 2 – creuzet; 3 – rezistor; 4 – cătușeală refractară; 5 – incintă de vidare; 6 – capac de etanșare; 7 – instalație de răcire; 8 – termocuplu; 9 – robinet vidare-protecție.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale aliajelor elaborate și degazate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind degazarea topiturilor metalice prin tratarea acestora în atmosfere depresurizate sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Ni, Mg etc.
- prealiaje;
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- fluxuri de protecție a băilor metalice;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Degazarea topiturilor metalice în atmosfere depresurizate” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează și se curăță;
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj;
- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj;
- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;
- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.
- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;
- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a metalelor primare sau secundare calculate;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;
- la atingerea temperaturii de turnare se toarnă un set de probe pentru analiza gradului de gazare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;
- la o temperatură de supraîncălzire de 70 – 100⁰C peste temperatura de topire se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se face degazarea în atmosfere depresurizate;
- după degazare și rafinare, la temperatura corespunzătoare de evacuare, se toarnă un set de probe pentru aprecierea gradului de degazare, precum și pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;
- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj gazat, respectiv degazat;
- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaj gazat, cât și din epruvetele de aliaj degazat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;
- se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor gazate și a celor degazate;
- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor gazate și a celor degazate;
- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele gazate și din cele degazate.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Formula pentru calculul densității solidului, d_s , este:

$$d_s = \frac{G_o}{G_o - G_l} d_l \quad (18)$$

unde: d_l – densitatea lichidului;

G_o , G_l – greutatea adevărate (reduse) ale solidului în vid și scufundat în lichid.

Calculul porozității se face cu relația:

$$p = \frac{d_o - d_s}{d_o} 100 \quad (19)$$

unde: d_o – densitatea teoretică (pentru aliajul studiat);

d_s – densitatea reală a solidului.

După cântărirea probelor se vor calcula valorile densității solidului (d_s) și porozitatea (p). Valorile astfel obținute se vor trece într-un tabel precum cel de mai jos (Tabelul 2).

Tabelul 2. Caracteristici ale aliajelor elaborate fără tratamentul de degazare în atmosfere depresurizate.

Nr. Probă	Greutatea în aer, G_o , [g]	Greutatea în apă, G_l , [g]	Densitatea, d_s , [g/cm ³]	Porozitatea, [%]
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

În cazul în care conținutul de hidrogen dizolvat în baia metalică este calculat sub formă de porozitate, formula folosită pentru calculul randamentului degazării este următoarea:

$$\eta_d = \frac{p_i - p_f}{p_i} 100 \quad [\%], \quad (20)$$

unde: p_i și p_f sunt conținuturile inițiale, respectiv finale (după degazare) de hidrogen în topitură, %.

Calculul porozității finale a materialului degazat se face la fel ca cel pentru aliajul inițial nedegazat. Datele obținute după calcul se vor trece în Tabelul 3. Se va face o comparație între porozitatea aliajului studiat, înainte și după tratarea lui în atmosfere depresurizate.

Tabelul 3. **Rezultatele degazării în vid a topiturii metalice**

Nr. probă	Durata de degazare, T, [min]	Presiunea remanentă, [mmHg]	Porozitatea inițială, p_i , [%]	Porozitatea finală, p_f , [%]	Randament de degazare, η , [%]
1.	5				
2.	5				
3.	10				
4.	10				
5.	15				
6.	15				

Se va face o comparație între porozitatea aliajului studiat înainte și după tratarea lui în cuptorul cu instalație de vidare. Se vor trage concluzii cu privire la factorii care influențează fenomenul de eliminare a gazelor din material, făcând mai multe experimentări la diferite temperaturi, presiuni remanente, diferite durate de menținere și cu diferite aliaje.

Știind porozitatea inițială și porozitatea finală se pot trasa grafice din care să rezulte influența duratei de degazare și a presiunii remanente asupra procesului de eliminare a gazelor din aliajul procesat.

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale aliajelor gazate și degazate. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

- a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaje gazate, respectiv degazate;
- b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaje gazate cât și din epruvetele de aliaje degazate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;
- c) se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor gazate, respectiv degazate;
- d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor gazate, respectiv degazate;
- e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele gazate, respectiv degazate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de degazare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența degazării asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 4.

Tabelul 4. Proprietățile mecanice ale aliajelor gazate, respectiv degazate

Nr. crt.	Tipul de aliaj	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		Alungirea, [%]	
		gazat	degazat	gazat	degazat	gazat	degazat	gazat	degazat
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea 10

RAFINAREA PRIN FILTRAREA DE SUPRAFAȚĂ A TOPITURILOR METALICE NEFEROASE

1. Considerații generale

În funcție de condițiile tehnologice de elaborare topiturile de metale și aliaje neferoase conțin proporții mai mari sau mai reduse de impurități metalice, incluziuni nemetalice sau gaze. Întotdeauna acestea înrăutățesc proprietățile fizice, chimice și tehnologice ale produselor metalurgice, iar eliminarea lor este obligatorie până la încadrarea în limitele maxime admisibile. Una dintre metodele cele mai ușoare și eficiente de rafinare a topiturilor metalice este filtrarea continuă sau discontinuă, în instalații speciale sau în forma de turnare.

Funcție de modul de realizare, filtrarea se poate efectua pe filtre inerte sau pe filtre active. Filtrele inerte permit reținerea mecanică a particulelor de incluziuni nemetalice de dimensiuni mai mari decât cele ale canalelor elementului de filtrare executat dintr-un material refractar. Din punct de vedere geometric, materialele utilizate pentru filtrare se găsesc sub formă de granule, fibre, tuburi, plăci, iar din punct de vedere chimic din alumina, zircon, mullit, carbură de siliciu, corund, magnezit, șamot etc.

Funcție de mecanismul și locul de reținere, filtrarea se poate realiza la suprafața filtrului și/sau în interiorul filtrului.

Filtrarea de suprafață are loc atunci când incluziunile au cel puțin aceleași dimensiuni ca și porii filtrului prin care curge aliajul. Incluziunile reținute la suprafața filtrului sub acțiunea căldurii și a forțelor de compresiune sinterizează, constituind un nou mediu de blocare pentru

celelalte incluziuni. După un timp este posibilă blocarea trecerii în continuare a aliajului, așa cum se vede în Figura 1.

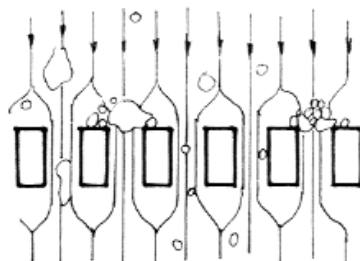


Figura 1. **Schema de principiu a filtrării de suprafață**

Filtrarea de suprafață se realizează pe filtre de tip fagure, obținute prin extrudarea materialelor ceramice.

În Figura 2. este prezentată o instalație de rafinare-degazare prin aplicarea vidului dedesubtul plăcii filtrante.

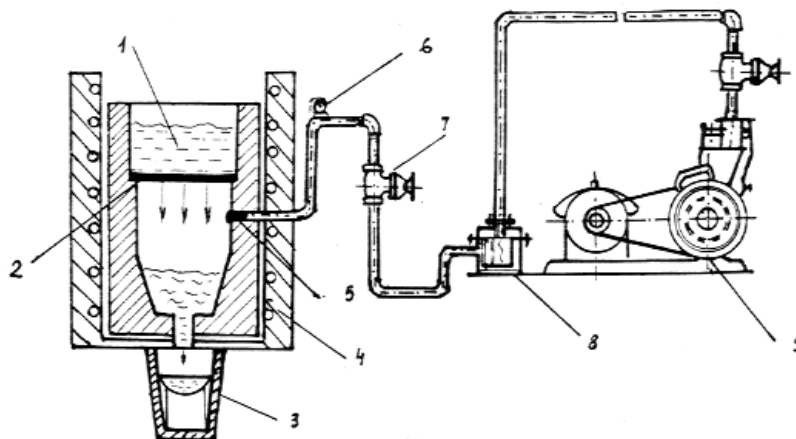


Figura 2. **Instalație de filtrare în vid**

1 - aliaj lichid impurificat; 2 - element filtrant; 3 - cochilă cu aliaj filtrat; 4 - cuptor electric cu rezistență; 5 - disc poros; 6 - manovacuumetru; 7 - ventil de vid; 8 - filtrul sistemului de vidare; 9 - pompă de vid.

În cazul filtrării de suprafață, debitul de aliaj lichid se determină cu expresia:

$$Q = \frac{\Delta p}{\frac{\eta_m}{A\varepsilon} \left(\frac{f\alpha V}{A} + r \right)} \quad (1)$$

în care: Δp - căderea de presiune pe grosimea filtrului;

A - suprafața superioară a filtrului;

f - fracția de incluziuni reținute din unitatea de volum de aliaj;

α - rezistența specifică a filtrului;

r - rezistența la filtrare.

Pentru cazul prezentat în Figura 1. debitul de aliaj lichid filtrat va fi cu atât mai mare cu cât depresiunea la partea inferioară a plăcii filtrante este mai avansată.

Rafinarea aliajelor lichide prin filtrare este un proces de transport care decurge în două etape:

1. transportul particulelor de incluziuni la suprafața filtrului, de către topitură ;
2. captarea incluziunilor în porii filtrului sau pe filtru.

Tipurile de filtre utilizate în practică pentru filtrarea topiturilor metalice sunt: filtre cu strat adânc, filtre spumă ceramică, filtre cu particule îmbinate, site metalice sau site din fibră de sticlă. Suprafața acestor filtre în secțiune poate avea forme diferite, cele mai reprezentative fiind redată în figurile de mai jos.

Filtrele spumă ceramică - CFF (ceramic foam filter) cele mai utilizate sunt fabricate din amestecuri de materiale refractare: Al_2O_3 , ZrO_2 ,

mullit ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) având porozitatea de cca. 75% , dimensiunile porilor fiind măsurate în ppi (pori per inch).

Pentru determinarea eficienței filtrelor spumă ceramică, un parametru important îl prezintă porozitatea, definită ca fiind raportul dintre volumul total al porilor și volumul total al materialului filtrant:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V}$$

unde: V_p – este volumul total al porilor;

V - volumul total al materialului filtrant.



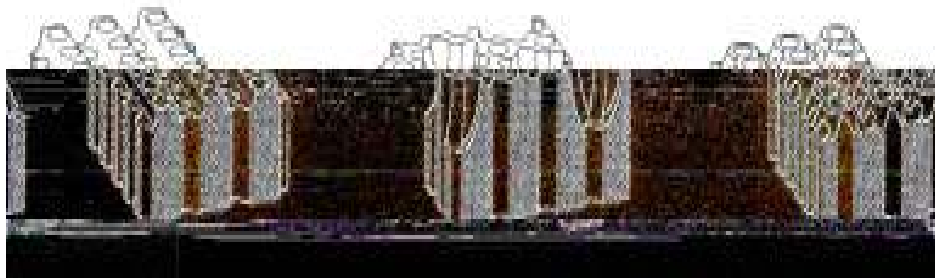
Suprafață plană



Suprafață ondulată



Suprafață trapezoidală



Suprafață cu proeminente

Suprafață tip fagure

Suprafață cu profil in forma de“8”

Figura 3. **Suprafața activă a diverselor tipuri de filtre utilizate la filtrarea de suprafață**

2. Scopul lucrării

În aliajele neferoase sunt prezente o serie de macro și microincluziuni nemetalice (oxizi, carburi, boruri, etc.) sub formă de pelicule oxidice sau de zgură. Aceste incluziuni au efect dăunător asupra proprietăților produselor turnate, constituind surse pentru apariția defectelor și conducând la fisurarea materialelor în timpul deformării plastice sau în timpul exploatării.

Dacă aceste particule nemetalice sunt eliminate, crește fluiditatea topiturii, scade porozitatea internă a produselor turnate, crește rezistența mecanică, ductilitatea și rezistența la oboseală a aliajelor și de asemenea se îmbunătățește prelucrabilitatea prin așchiere și finisarea suprafețelor.

Scopul lucrării este de a elimina prin filtrare aceste incluziuni și de a stabili eficiența procesului de filtrare prin plăci poroase.

Procesele de captare a incluziunilor pe stratul filtrant se bazează pe:

- sedimentare, datorită diferenței dintre densitatea incluziunilor și cea a lichidului metalic;
- inerție, când particulele mai grele decât fluidul deviază de la traiectoria metalului lichid și sunt captate pe mediul filtrant;
- interceptie directă, prin ciocnire cu pereții convergenți și porii filtrului;
- difuzie prin mișcare browniană spre zonele insuficient irigate de suspensia fluid-solid.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind rafinarea prin filtrare de suprafață a topiturilor metalice neferoase sunt necesare instalații

specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Schema instalației de laborator

Pentru filtrarea topiturilor metalice se folosește o instalație de laborator ca cea prezentată în Figura 4.

Principial, funcționarea acestei instalații se bazează pe transportul incluziunilor nemetalice la suprafața plăcii filtrante și apoi reținerea acestor particule la suprafața superioară a filtrului. Pentru a stimula curgerea suspensiei (aliaj lichid și incluziuni solide) se creează o depresiune sub placa filtrantă cu ajutorul unei pompe de vid.

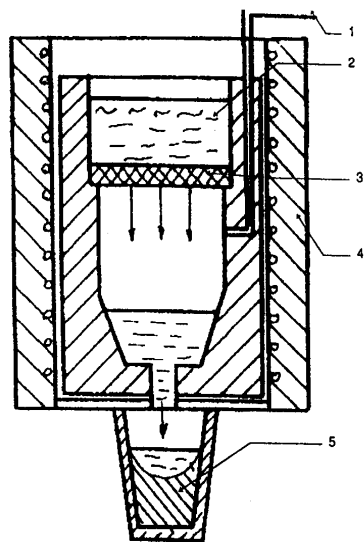


Figura 4. Instalația experimentală de laborator pentru rafinarea prin filtrare de suprafață :

- 1-tub pentru vidare,
- 2-aliaj topit impurificat;
- 3-placă filtrantă;
- 4-cuptor electric cu rezistoare;
- 5-creuzet cu topitură filtrată

3.2 Materii prime și materiale auxiliare utilizate

- aluminiu și aliaje de aluminiu
- zinc și aliaje de zinc

- fluxuri de protecție
- filtre ceramice cu caracteristicile date în Tabelul de mai jos:

Tabelul 1. Caracteristici ale filtrelor utilizate

Porozitatea (%)	Dimensiunea medie a porilor (μm)	Grosimea filtrului (mm)	Numărul de pori per inch (ppi)
85~90	2,150	30-100	20-30

3.2. Modul de lucru și prelucrarea rezultatelor

Aliajul în cantitate de 250-300g se topește și se impurifică intenționat cu carbură de siliciu sau alumină (cu dimensiunile în domeniul 3...200 μm) în diferite proporții. Aliajul se topește sub un strat de flux de protecție la temperatura de elaborare (de exemplu aliajele de aluminiu la 750⁰C). Filtrarea este urmată de curgerea directă a topiturii într-o formă metalică unde se solidifică.

Tipul de filtru utilizat pentru lucrarea de laborator: filtru tip spumă ceramică – CFF (ceramic foam filter) cu 30 ppi sau 20 ppi.

Măsurarea și controlul automat al temperaturii se realizează cu ajutorul unui termocuplu Pt-PtRh 10 sau Chromel - Alumel și a unui sistem de reglare automat SRA-1.

Viteza de filtrare se calculează prin măsurarea cantității de topitură ce a trecut prin filtru într-un anumit interval de timp, cu ajutorul relației:

$$v = Q / A \cdot \rho_l \quad (2)$$

unde: v – este viteza de filtrare, în cm;

Q – este debitul de aliaj, în g;

A – aria filtrului, în cm^2 ;

ρ_1 - densitatea topiturii, în g/cm^3 .

Eficiența filtrării se calculează cu ajutorul relației:

$$\eta = [(C_I - C_F) / C_I] \cdot 10, \quad \text{în \%} \quad (3)$$

unde: C_I – este concentrația particulelor de incluziuni solide înainte de filtrare; C_F – este concentrația particulelor de incluziuni solide după filtrare.

4. Interpretarea rezultatelor

Rezultatele experimentale obținute se introduc în tabelul de mai jos:

Tabelul 2. **Rezultate experimentale**

Marca aliajului	Concentrația incluziunilor (SiC sau TiB ₂)		Eficiența filtrării (η), %	Viteza topiturii, cm/s
	C_I	C_F		
1				
2				
3				
4				
5				

Se construiesc grafice ale eficienței filtrării pentru diferite mărci de aliaje neferoase $\eta=f(v)$, efectuându-se analize comparative.

Lucrarea nr. 11

FILTRAREA INTERNĂ A TOPITURILOR METALICE NEFEROASE

1. Considerații generale

Rafinarea prin filtrare este una dintre cele mai eficiente metode de eliminare a incluziunilor nemetalice și în anumite situații chiar și a impurităților metalice și a gazelor. Îndepărtarea incluziunilor nemetalice cu diametrul mai mic decât cel al porilor filtrelor se poate face doar dacă are loc un proces de filtrare internă, iar impuritățile metalice și gazele nu pot fi reținute decât în filtrele active.

Filtrarea internă se realizează atunci când incluziunile au dimensiuni mai mici decât cele ale orificiilor filtrului, depunerea acestora realizându-se pe pereții canalelor, indiferent de dimensiunea lor. Sunt utilizate filtre multicelulare din spumă ceramică cu porozitate de 75-90 %. Principiul de funcționare a unui filtru realizat din spumă ceramică este prezentat în Figura 1.



Figura 1. Schema de principiu a filtrării interioare.

Filtrarea presupune transportul particulelor de incluziuni în interiorul filtrului și apoi reținerea incluziunilor. Deplasarea incluziunilor în interiorul filtrului este consecința forțelor datorate curgerii aliajului lichid, a efectului hidrodinamic, când acestea se află sub influența a doi curenți de lichid ce se deplasează cu viteze diferite, a forțelor ascensionale, ce imprimă particulelor viteza:

$$v_a = \frac{d_i^2}{18\eta m} (\rho_m - \rho_i)g \quad (1)$$

a forțelor inerțiale:

$$F_i = \frac{\pi d_i^3}{3} (\rho_m - \rho_i) \frac{u_m^2}{d_g} \quad (2)$$

și a mișcării browniene caracterizate de raportul:

$$\frac{\bar{X}}{d_g} = \frac{2D_B \Delta t}{u_m \Delta t} \quad (3)$$

în care, conform ecuației Stokes-Einstein,

$$D_B = \frac{TK}{3\pi \eta_m d_i} \quad (4)$$

în care:

d_i, d_g - diametrul incluziunii, respectiv al granulei filtrului;

ρ_m, ρ_i - densitatea metalului lichid, respectiv a incluziunii;

$u_m = u_a/\varepsilon$ - viteza medie de curgere prin filtru;

u_a - viteza aliajului;

ε - porozitatea filtrului;

\bar{X} - drumul mediu parcurs de incluziune;

Δt - interval de timp în care incluziunea parcurge distanța \bar{X} ;

η_m - viscozitatea metalului lichid;

T - temperatura metalului lichid;

K - constanta lui Boltzmann;

D_B - difuzivitatea.

Reținerea incluziunilor în interiorul filtrului se realizează prin:

- intercepta directă ca urmare a lovirii suprafeței filtrului;
- depunerea sub efectul greutatei proprii;
- efectul inerției particulelor de densitate mare la schimbarea

trajectoriei de curgere a aliajului;

- frecarea dintre incluziuni și pereții filtrului;
- apariția forțelor Van der Waals;
- forțe de tensiune superficială.

Variația energiei libere la reținerea incluziunilor în filtru este:

$$\Delta G = \sigma_{i-f} - \sigma_{m-f} - \sigma_{m-i} \quad (5)$$

în care σ_{i-f} , σ_{m-f} , σ_{m-i} reprezintă tensiunile interfazice incluziune-filtru, metal-filtru, respectiv metal-incluziune.

Dar,

$$\sigma_{i-f} = \sigma_{i-g} + \sigma_{f-g} \quad (6)$$

în care σ_{i-g} și σ_{f-g} sunt tensiunile interfazice incluziune-gaz și filtru-gaz.

Reținerea incluziunilor se produce atunci când:

$$\sigma_{i-g} + \sigma_{f-g} < \sigma_{m-f} + \sigma_{m-i} \quad (7)$$

Dacă se notează cu σ volumul de incluziuni reținute pe unitatea de volum a filtrului și cu τ timpul, atunci viteza de captare a incluziunilor este:

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = KC \quad (8)$$

în care:

K - parametru cinetic;

C - concentrația de incluziuni din topitură.

Parametrul cinetic K este funcție de concentrația de incluziuni captate, de proprietățile fizice ale topiturii, de viteza de curgere, de forma și dimensiunile incluziunilor.

$$K = K_o \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_m} \right) \quad (9)$$

în care:

K_o - coeficientul parametrului cinetic;

σ_m - capacitatea de reținere a incluziunilor de către stratul filtrant.

Din bilanțul masic al incluziunilor se determină soluția ecuației generale a filtrării:

$$\frac{C}{C_1} = \frac{e^{\frac{C_1}{\sigma_m} \varepsilon_i \phi (\theta - \eta)}}{e^{\phi \eta} + e^{\frac{C_1}{\sigma_m} \varepsilon_i \phi (\theta - \eta)} - 1} \quad (10)$$

în care indicele “i” se referă la condițiile inițiale, iar φ, θ și η sunt parametri adimensionali, ce se pot determina din:

$$\theta = \frac{tu_m}{\varepsilon_i L}; \quad \eta = \frac{Z}{L}; \quad \phi = \frac{K_o L}{u_m} \quad (11)$$

în care:

ε_i - porozitatea inițială a stratului filtrant;

t - durata;

u_m - viteza medie de alimentare cu aliaj lichid;

L - grosimea stratului filtrant;

Z - distanța de la partea superioară a filtrului.

În stadiul inițial $\frac{\sigma}{\sigma_m} \rightarrow 0$ și deci expresia $\frac{C_i}{\sigma_m} \varepsilon_i \phi(\theta - \eta) \rightarrow 0$.

Ecuția (10) devine:

$$\frac{C_f}{C_i} = e^{-\phi\eta} = e^{-\frac{K_o L}{u_m}} \quad (12)$$

în care:

C_i - concentrația inițială de incluziuni;

C_f - concentrația în incluziuni a aliajului filtrat.

Randamentul sau eficiența operației de filtrare, η , este:

$$\eta = \frac{C_i - C_f}{C_i} = 1 - e^{-\frac{K_o L}{u_m}} \quad (13)$$

Dar $\frac{K_o}{u_m} = \lambda$ este coeficientul de filtrare și atunci:

$$\eta = 1 - e^{-\lambda L} \quad (14)$$

Din cele de mai sus rezultă că eficiența filtrării este influențată de valoarea parametrului cinetic K și este cu atât mai mare cu cât viteza de trecere a metalului lichid prin filtru este mai mică și grosimea filtrului este mai mare.

Determinarea conținutului de incluziuni se face cu relația:

$$C = \frac{S_i}{rS} \cdot 100, \% \quad (15)$$

în care:

S_i - aria suprafeței incluziunilor;

S - aria suprafeței totale;

r - raportul dintre densitatea aliajului și a incluziunilor.

Dacă din ecuațiile (13) și (15) se calculează eficiența filtrării, atunci coeficientul de filtrare se determină cu relația:

$$\lambda = -\frac{1}{L} \ln(1 - E) \quad (16)$$

În ultimii ani, literatura de specialitate menționează tendința de efectuare în flux continuu a operațiilor de filtrare, precum și de tratare complexă a topiturilor metalice, când, simultan cu filtrarea, se efectuează degazarea și modificarea.

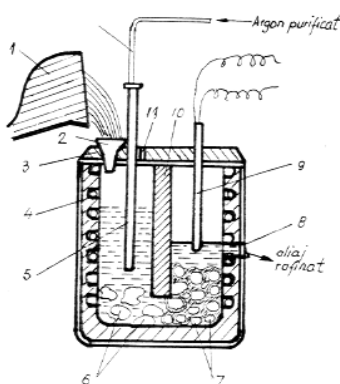


Figura 2. Instalație de filtrare-degazare continuă a aliajelor:

1 - cuptor basculant de turnare; 2 - pâlnie de turnare; 3 - capac de marinită; 4 - cuptor electric; 5 - tub de grafit poros; 6 - burete de titan; 7 - bile de aluminiă; 8 - orificiu de curgere; 9 - termocuplu Pt-PtRh; 10 - perete despărțitor de marinită; 11 - orificiu de evacuare a gazelor; 12 - conductă de oțel inoxidabil.

O astfel de unitate de rafinare-degazare continuă a topiturilor metalice este prezentată în Figura 2., în care degazarea în ceea ce privește hidrogenul se realizează prin filtrare în burete de titan și barbotare cu argon, iar reținerea incluziunilor nemetalice se face prin filtrare într-un strat de bile din aluminiă acoperite cu fondanți.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a elimina incluziunile nemetalice solide de tipul oxizilor, carburilor, nitrurilor, borurilor etc. din topiturile neferoase prin utilizarea unui filtru de interior tip “strat adânc”, care poate fi un filtru inert sau un filtru activ.

Filtrele de tip “strat adânc” sunt realizate prin împachetarea în “strat” a unor bile de Al_2O_3 (filtre inerte) sau bile acoperite cu fluxuri (filtre active).

Pentru descrierea filtrării interne în strat adânc se pot utiliza două tipuri de modele matematice:

- *modelul parametric sau funcțional* – bazat pe mecanica curgerii fluidelor prin medii poroase. Prin acest model se pot realiza corelațiile dintre mediul filtrant și variabilele operaționale, cum ar fi: presiunea de filtrare și viteza de curgere a topiturii.
- *modelul cinetic* – are în vedere expresia vitezei procesului fiind utilizat pentru prezicerea performanțelor filtrării

Filtrele tip strat adânc se caracterizează prin următorii parametri:

Tabelul 1. **Caracteristicile filtrului**

Adâncimea filtrului	Mărimea porilor	Concentrația particulei
30 cm	3-6 mesh (1,5 mm)	20 ppm - 50ppm

Particulele cu dimensiuni mai mici decât deschiderile și porii mediului filtrant sunt captate de acesta. Căderea de presiune pe filtru crește liniar. Pentru menținerea debitului constant căderea de presiune trebuie să crească în timpul filtrării. Concentrația de particule reținute scade de la intrarea în filtru la suprafața de ieșire.

Depunerea incluziunilor pe grăunții mediului filtrant se realizează prin difuzie, interceptare directă, prin acțiunea forțelor de gravitație și de suprafață precum și prin sedimentare.

Locurile de retenție a incluziunilor nemetalice sunt prezentate în Figura 3.

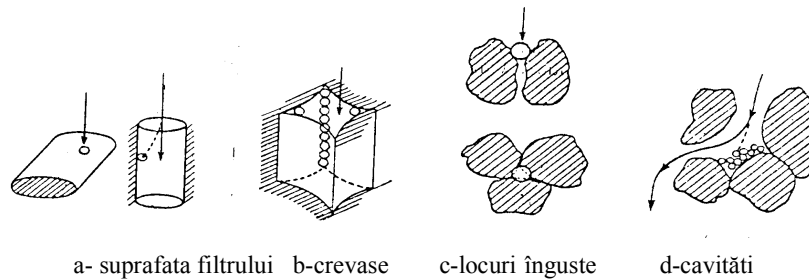


Figura 3. Locuri de retenție a incluziunilor nemetalice

Pe lângă studiile convenționale care includ: calculul eficienței filtrării , se vor face calcule pe bază hidrodinamică, experimente prin filtrare după difuzia incluziunilor, precum și studiul reținerii incluziunilor din topitură. Volumul particulelor de incluziuni antrenate de topitură este:

$$V_{ps} = \Omega \cdot \Delta_z \cdot \varepsilon \cdot y \quad (17)$$

unde:

$\Omega \cdot \Delta_z$ este volumul elementului de mediu poros, în m^3 ;

ε - porozitatea stratului sau volumul ocupat de suspensie pe unitatea de volum a filtrului, în m^3/m^3 ;

y -fracția volumică de particule în suspensie , adică volumul de particule pe unitatea de volum de suspensie.

Volumul de particule reținute (captate) de materialul filtrant se calculează cu ajutorul relației:

$$V_{pr} = \Omega \cdot \Delta_z \cdot \sigma \quad (18)$$

unde:

σ - este capacitatea de retenție a filtrului, adică volumul de particule reținute de unitatea de volum a filtrului.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind rafinarea prin filtrare internă a topiturilor metalice neferoase sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Schema instalației

În această lucrare se va folosi o instalație de filtrare experimentală cu filtre tip pat adânc cu ajutorul căreia se va studia eficiența filtrării și procesul de reținere al incluziunilor dintr-o topitură de aluminiu cu conținut de incluziuni nemetalice cunoscut.

Instalația este prezentată în figura de mai jos.

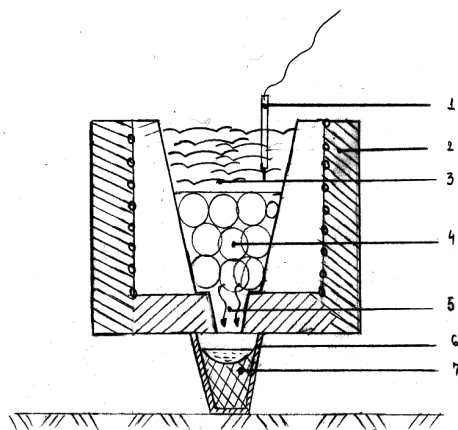


Figura 4. Instalația experimentală de laborator:

- 1- termocuplu;
- 2- cuptor electric cu rezistoare;
- 3- topitura metalică impură;
- 4- strat filtrant (bile de alumina);
- 5- orificiu de curgere a topiturii;
- 6- formă metalică;
- 7- aliaj filtrat.

Instalația experimentală constă într-un cuptor de topire care cuprinde filtrul de tip strat adânc.

Stratul filtrant este compus din alumină tabulară și bile din alumină sinterizată (cu diametrul de 19 mm), având înălțimea de 50 mm.

3.2. Modul de lucru

Modul de lucru experimental cuprinde următoarele etape: cântărirea a 300 g de aliaj, topirea acestuia și apoi introducerea carburii de siliciu sau a trioxidului de aluminiu, ca incluziuni cu dimensiuni cuprinse între 30-100 μm .

Temperatura de lucru pentru topirea aliajului este măsurată cu ajutorul unui termocuplu de imersie.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

În cazul filtrării interne prin filtre de tip strat adânc se calculează viteza de filtrare în funcție de cantitatea de topitură trecută prin filtru, într-o perioadă de timp determinată:

$$u_m = \frac{Q}{A \cdot \rho_l}, \text{ cm / s} \quad (19)$$

unde: Q- debitul de aliaj, în g / s;

A – aria filtrului, în cm^2 ;

ρ_l – densitatea topiturii, în g/cm^3 .

Ca și în cazul filtrării de suprafață cu filtre ceramice eficiența filtrării (η) se calculează cu relația:

$$\eta = \frac{C_{li} - C_F}{C_{li}} \cdot 100, [\%] \quad (20)$$

unde: C_I – concentrația particulelor de incluziuni nemetalice înainte de filtrare

C_F – concentrația particulelor de incluziuni nemetalice după filtrare

Eficiența filtrării este influențată de o serie de factori dintre care amintim: natura topiturii metalice, cantitatea de incluziuni, dimensiunile incluziunilor, forma și distribuția incluziunilor nemetalice.

Calculul eficienței filtrării se realizează cu ajutorul relației:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{K_0 \cdot L}{u_m}\right) \quad (21)$$

în care: K_0 - constantă;

L - grosimea stratului filtrant.

După experimente, filtrul tip strat adânc se va secționa și se va șlefui suprafața lui pentru a se observa incluziunile nemetalice, în vederea caracterizării microstructurale prin microscopie optică și electronică.

Rezultatele se vor trece în tabelul de mai jos.

Tabelul 2. **Rezultate experimentale**

Debit volumic de aliaj lichid (Q) cm ³ /sec	Viteza topiturii (u_m) cm/sec	Conținutul de SiC		Eficiența filtrării (η)
		Inițial(C_I)	Final (C_F)	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Lucrarea 12

MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE A ALIAJELOR ALUMINIU – SILICIU EUTECTICE

1. Considerații generale

Cele mai importante aliaje ale aluminiului sunt aliajele aluminiu-siliciu, care se folosesc foarte mult în turnătorii deoarece au proprietăți de turnare și caracteristici tehnologice superioare în comparație cu alte aliaje de aluminiu. Aliajele binare, cunoscute și sub denumirea de siluminuri, au caracteristici mecanice satisfăcătoare, sunt impermeabile la lichide și gaze, sunt insensibile față de fisurile la cald, se sudează bine oxiacetilenic și au rezistența la coroziune mai bună decât cea a aluminiului datorită formării unei pelicule protectoare de $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Aliajele binare Al-Si, conform diagramei de echilibru din Figura 1, nu sunt practic durificabile prin tratament termic.

Diagrama de echilibru prezentată în Figura 1 arată domeniul de existență al acestor aliaje care sunt de tipul aliajelor complet miscibile în stare lichidă și parțial miscibile în stare solidă, fără să formeze compuși intermetalici. Se observă din diagramă că la temperatura de 577°C și concentrația de 11,7% Si se formează eutecticul care poate cristaliza sub formă de lamele, de ace fine, sau sub formă globulară după efectuarea modificării. Soluția solidă α , care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate, indică o solubilitate maximă de 1,65%Si în aluminiu la temperatura de 577°C și de numai 0,005%Si la 20°C .

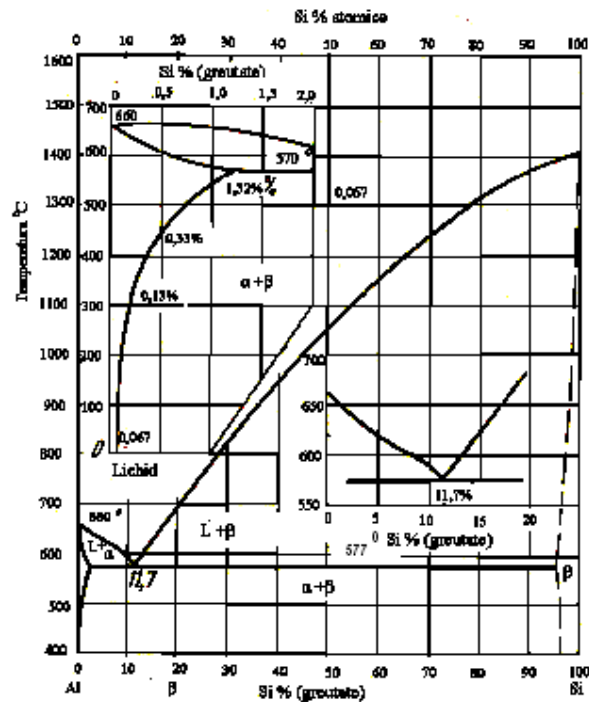


Figura 1. Diagrama de echilibru a sistemului Al-Si.

Aliajele aluminiu - siliciu hipoeutectice, cu structură $\alpha +$ eutectic, au conținutul de siliciu mai mic de 11,7%Si, iar aliajele hipereutectice, cu structură $\beta +$ eutectic, au conținutul de siliciu mai mare de 11,7% Si. La aliajele hipereutectice, în condițiile unei răcirii lente, separă Si primar sub forma unor cristale mari, colțuroase, care imprimă duritate și fragilitate.

Aliajele eutectice (cca. 12% Si), turnate în forme metalice din fontă cenușie și miezuri din oțel carbon sau oțeluri refractare, au o foarte bună rezistență la coroziune și sunt superioare celor hipoeutectice din punct de vedere a fluidității și compactității.

Siluminurile folosite în industrie conțin 3-13% Si și pentru îmbunătățirea unor proprietăți ale lor se introduc mici adaosuri de magneziu, cupru, mangan și alte elemente. După cum se știe, odată cu apariția eutecticului acicular sau cu separarea siliciului primar, la conținuturi de 12-13 % Si, aliajul devine fragil și proprietățile se înrăutățesc.

Eutecticul Al – Si cristalizat normal conține cristale cenușii de siliciu sub formă de lamele incluse dezordonat în matricea de soluție solidă. La siluminurile elaborate din metale pure cristalele de siliciu apar în soluția solidă α sub formă de ace. În cazul în care conținutul de fosfor din silumin este mai ridicat decât cel normal de 0,00015%, eutecticul cristalizează anormal ceea ce conduce la o îmbunătățire a caracteristicilor mecanice. Uneori siliciul poate cristaliza sub forma unor structuri tranzitorii de tip radial sau chiar dendritic.

Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale siluminurilor se obține la modificarea structurii de turnare prin introducerea înainte de turnare a unor adaosuri mici de elemente modificatoare: sodiu, potasiu, calciu, litiu, stronțiu, stibiu, fosfor, sulf, bor, titan, zirconiu etc.

Câteva caracteristici ale unor elemente ce pot influența germinarea și creșterea siliciului din siluminuri sunt redate în Tabelul 1.

În stare nemodificată siliciul conduce faza de aluminiu și prin urmare formează plăci mari și continue. În prezența sodiului morfologia la interfață se modifică astfel încât aluminiul acoperă siliciul ceea ce determină renucleerea constantă a siliciului. Sodiul reduce tensiunea superficială a aluminiului, iar o energie interfacială Al/lichid favorizează creșterea siliciului pe aluminiu. Sodiul reduce viteza de difuzie a siliciului în lichid limitând astfel creșterea germenilor și a grăunților.

O modificare bună se realizează cu adaosuri de 0,01 – 0,20%Na, sub formă metalică sau de săruri (NaF; NaCl), introduse la temperaturi de 775 – 790°C. Adaosuri mai mari de 0,20%Na conduc la apariția fenomenului de supramodificare cu formarea eutecticului ternar Al- Si- Na care micșorează proprietățile materialului. Modificarea cu sodiu este temporară, adică se pierde prin retopire, în schimb stronțiu și stibiu asigură modificarea permanentă a siluminurilor. La modificarea siluminurilor punctul eutectic se deplasează de la 11,7%Si la 13%Si, iar temperatura de topire coboară de la 577°C la 554°C, conform Figurii 2. În urma modificării se micșorează fluiditatea și crește tendința de formare a microretasurilor de contracție și a suflurilor.

Tabelul 1. Caracteristicile elementelor modificatoare ale siliciului la aliajele Al-Si

Element	Raport raze atomice*	Temperatura de topire, °C	Presiunea de vapori, Pa	Entalpia liberă de formare a oxidului, (ΔG) la 1000 K, kJ/mol	Capacitatea de modificare
Ba	1,85	725	5,07	- 482	Moderată
Ca	1,68	839	26,30	- 509	Slabă
Sr	1,84	769	101,30	- 480	Moderată-0,01-0,02%, efect semipermanent
Na	1,58	98	2×10^4	- 367	Foarte bună la 0,1%
Ce	1,56	798	10^{-11}	- 497	Bună la peste 2%
Al	1,22	660	$5,4 \times 10^{-6}$	- 457	
Si	1,00	1410	9×10^{-12}	- 354	

* raportul dintre raza atomică a elementului și raza atomică a siliciului.

Pentru a obține un eutectic cu structură globulară, adaosul de sodiu trebuie să fie de peste 0,0088% Na, iar eutecticele cu structură radială se obțin la adaosuri de cca, 0,006% Na. Din diagrama din Figura 4 rezultă că modificarea normală se obține când conținutul de sodiu variază în limitele 0,01-0,02% Na. Dacă conținutul de sodiu este mai mare decât 0,2%, în aliaj

se formează eutecticul ternar (Al-Si-NaAlSi) și compușii ternari $\text{NaAlSi}_{1,25}$ sau $\text{NaAlSi}_{1,33}$ care micșorează caracteristicile mecanice ale materialului metalic.

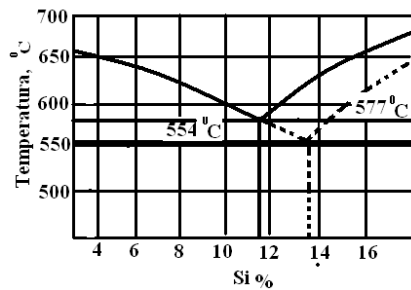


Figura 2. Influența sodiului asupra echilibrului termic al aliajului Al-Si

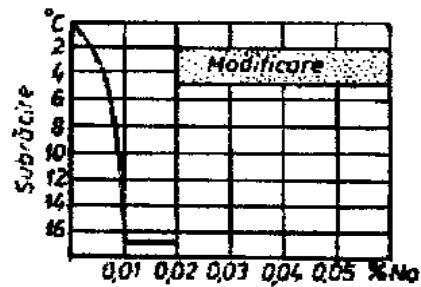


Figura 3. Influența adaosului de sodiu asupra subrăcirii și structurii eutecticului Al-Si

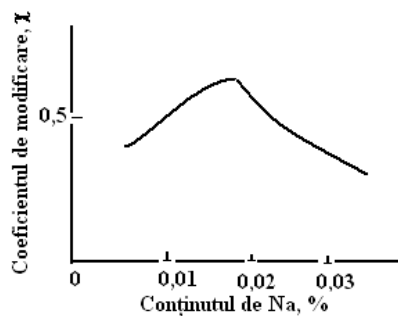


Figura 4. Coeficientul de modificare al aliajelor binare Al-Si în funcție de conținutul de sodiu

Inițial pentru modificarea siluminurilor s-a întrebuințat sodiu; de câțva timp, pentru modificarea aliajelor Al-Si (hipoeutectice și eutectice) s-a impus procedeul de modificare cu stronțiu sau stibiu, ca înlocuitori ai sodiului.

Față de sodiu, stronțiu are avantajul de a fi mai puțin reactiv, adaosul lui în aliajele lichide fiind mai ușor de realizat iar efectul de modificare fiind semipermanent.

Stronțiul se poate introduce în aliajele Al-Si sub următoarele forme:

- săruri (SrCl_2 , SrF_2 , SrBr_2);
- amestecuri de săruri ($\text{SrCl}_2+\text{MgCl}_2$, $\text{SrCl}_2 + \text{SrF}_2$);
- aliaje intermediare (prealiaje) de tipul AlSr_{10} , $\text{AlSi}_{16}\text{Sr}_{10}$, AlSr_{54} .

Efectul de modificare al stronțiului se menține cca. 4...5 h după turnare sau după 2 – 3 retopiri, iar uneori s-a constatat menținerea efectului chiar 18 h spre deosebire de modificarea cu sodiu când același efect se constată pentru numai 30...40 min. și o singură turnare. Este de subliniat faptul că modificarea cu stronțiu nu influențează forma și dimensiunile compusului intermetalic complex cu conținut de fier $\text{Al}_6(\text{MnSiFe})$ de formă schelet.

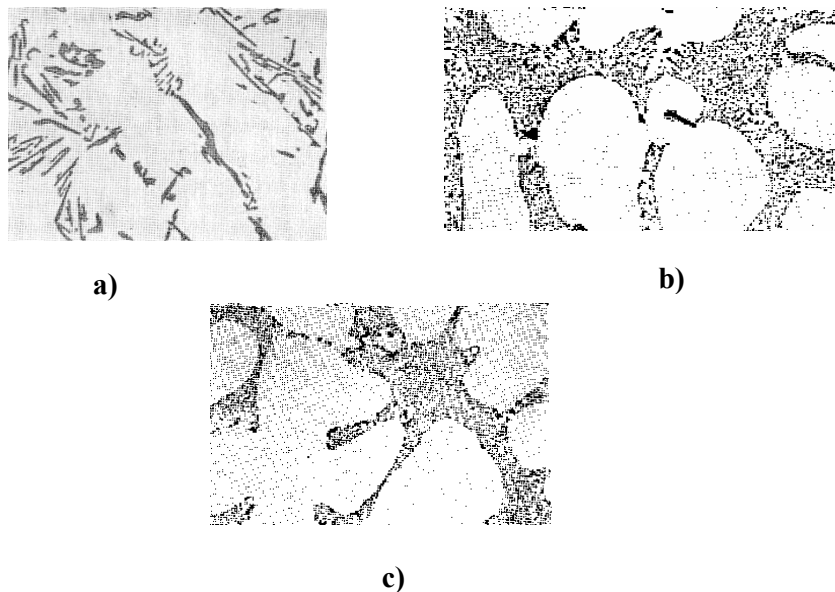


Figura 5. **Influența stronțiului asupra microstructurii aliajului AlSi9,5 – x 270**
a) conținut de 0,0013%Sr ; b) conținut de 0,0035%Sr ; c) conținut de 0,0095%Sr.

Adaosurile de 0,001 – 0,020%Sr conduc la obținerea unei modificări moderate și cu efect semipermanent, așa cum se vede în Figura 5. La un conținut de stronțiu în aliaj mai mare de 0,1%Sr se modifică forma cristalelor de siliciu din eutectic de la compact rotundă la forma aciculară, limitele coloniilor eutectice se măresc, iar în structura eutecticului apar faze noi cu conținut de stronțiu sub formă de cristale regulate de culoare neagră. Odată cu apariția acestor faze în structură scad proprietățile mecanice ale aliajului și în special plasticitatea. Dimensiunile acestor faze sunt de 10 - 20 μm și judecând după forma cristalelor, acestea pot fi: Al₂SrSi₂, Al₄Sr sau SrSi₂. Printr-o analiză microrentgenospectrală sau la microsonda electronică se poate pune în evidență existența în aceste cristale a aluminiului, a siliciului și a stronțiului, așa cum se vede în Tabelul 2.

Tabelul 2. **Conținutul de aluminiu, siliciu și stronțiu în cristalele apărute în aliajele binare Al-Si după modificarea cu stronțiu**

Locul analizei structurii	Conținutul, în %		
	Al	Si	Sr
Soluție solidă α (III)	95 – 97	1 – 2	1 – 2
Eutectic Al-Si (I, IV)	84 – 86	12 – 14	1 – 2
Compus intermetalic (II)	30 – 32	15 – 17	50 – 55

În limitele de precizie ale metodei se poate identifica compusul intermetalic cu formula SrAl₂Si₂; conținutul calculat de Al, Si și Sr al acestei faze este 32,16 %Al; 15,84%Si; respectiv 52 %Sr.

S-a stabilit că siliciul modificat cu stronțiu este imperfect din punct de vedere cristalografic și are multe plane perechi cu suprafață rugoasă. Spre deosebire de siliciul nemodificat acesta se exfoliază și se ramifică formând o structură fibroasă cu plane-perechi în zig-zag.

Prezența stronțului în eutecticul Al-Si și în soluția solidă α permite să se descrie mecanismul modificării. Temperatura eutecticului modificat cu stronțiu este de 568°C. Eutecticul ternar cu 12,5% Si, cristalizează în jur de 567...568°C.

Efectele termice la cristalizarea soluției solide α și a eutecticului binar Al-Si sunt deplasate în domeniul temperaturilor mult mai joase 576...573°C și 572...570°C. Deci, adaosul de stronțiu (la fel ca și sodiu) modifică mult proprietățile siluminului lichid în perioada de precristalizare. În aceste condiții se modifică raportul dintre clasterii de siliciu de diferite tipuri și siliciul eutectic cristalizează după alt tip morfologic.

La o menținere îndelungată, timp de 40 – 60 minute, la temperaturi mai mari de 750°C, la suprafața siluminurilor modificate cu stronțiu apar straturi de oxizi foarte eterogene, cu noduli de SrO neprotectori care pot favoriza penetrarea hidrogenului în baia metalică.

Stronțiul se utilizează în calitate de modificador și pentru siluminurile cu cupru (Al-Si-Cu), care conțin ca elemente de aliere Mg, Mn, Ti - aliaje utilizate pentru turnarea pieselor ce lucrează la temperaturi ridicate.

Stibiul, introdus în siluminuri în proporție de 0,12 – 0,25%, formează compusul chimic AlSb care determină obținerea unui eutectic lamelar fin spre deosebire de eutecticul Al – Si fibros obținut la modificarea cu sodiu sau stronțiu. Stibiul realizează o modificare permanentă ce se menține în timp și la retopiri repetate, iar aliajele modificate cu Sb sunt mai puțin susceptibile la procesul de gazare decât cele modificate cu sodiu sau stronțiu.

Adaosuri mici de 0,02 – 0,05% Sb anulează efectul modificador al sodiului sau al stronțului ca urmare a formării unor compuși chimici precum: Na_3Sb , Na_3SbO_3 , $\text{Mg}_2\text{Sb}_2\text{Sr}$, Sb_2Sr_2 . Spre deosebire de sodiu și stronțiu, care favorizează apariția porozităților de contracție din zona rețelilor de alimentare ca urmare a provocării discontinuității frontului de solidificare eutectic, stibiul nu are influență negativă asupra densității. Dacă la turnarea în forme metalice permanente, efectul modificador al celor trei elemente este asemănător, la turnarea în forme din amestec cu nisip unde apar condiții dificile de răcire, se constată că stibiul are efect modificador superior sodiului sau stronțului.

În siluminurile în care se fac adaosuri mari de sodiu și mai mici de stibiu, structura se modifică numai cu sodiu, iar în cele care conțin mai mult stibiu și foarte puțin sodiu se obține o structură lamelară fină, fără siliciu primar, corespunzătoare modificării cu stibiu. Așa cum se vede în Figura 6.a. între cele două domenii de concentrații există o zonă mediană în care efectele modificatoare ale celor două elemente se anulează reciproc.

În cazul prezenței simultane a stibiului și a stronțului, siluminurile se modifică specific unuia sau altuia dintre acestea, ca și când celălalt element nu ar exista, fără prezența unei zone intermediare corespunzătoare structurii granulare, așa cum se vede în Figura 6.b.

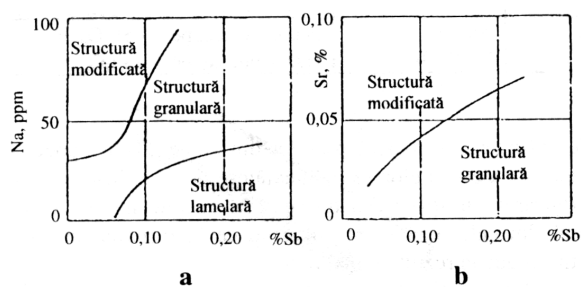


Figura 6. Domeniile de modificare a structurii siluminurilor în condițiile prezenței simultane a: a – stibiului și sodiului; b – stibiului și stronțului.

O modificare excelentă a aliajelor Al – Si eutectice se obține la tratarea simultană a topiturilor cu stibiu, titan și bor, care formează compuși chimici greu fuzibili care servesc ca germeni pentru formarea dendritelor de aluminiu care constituie scheletul grăunților. Astfel, adaosuri de 0,2% Sb + 0,2% Ti + 0,02% B sau 0,03% Sb + 0,2% Ti + 0,04% B au un efect modificador foarte important și permanent asupra eutecticelor Al – Si.

Oxizii de stibiu care apar pe suprafața siluminurilor modificate formează straturi omogene și compacte care protejează topitura de gazarea cu hidrogen. În aceleași condiții de elaborare aliajele modificate cu stibiu sunt mult mai compacte decât cele tratate cu stronțiu, care manifestă o puternică tendință de a forma porozități.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a siluminurilor eutectice prin diferite metode fizico – chimice și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestor aliaje.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizico–chimice a structurii de turnare a siluminurilor eutectice sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a aliajelor Al – Si eutectice sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Modificarea siluminurilor eutectice se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 7.

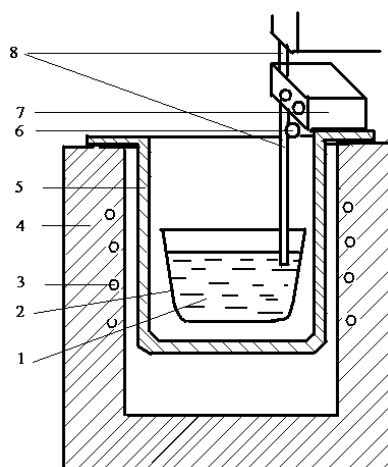


Figura 6. **Schema instalației de laborator folosită la modificarea aliajelor**

1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) încinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitare topituri.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topituri, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare

unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele aluminiu – siliciu eutectice, modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale siluminurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparate de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor Al – Si eutectice sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Mg etc.
- siliciu și stibiu tehnic pure;
- prealiaje: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, AlSr10, AlSi14Sr10, AlSr90 etc.
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;

- modificatori: sodiu metalic; stronțiu metalic; prealiaje Al – Sr; stibiu; fondanți modificatori preparați în laborator (66%NaF + 34%NaCl); fondanți modificatori produși de firme specializate (ALSIM, ALSIM BLOC, COVERAL, PERNA BLOCK N, NUCLEANT).

- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%NaCl + 10%KCl + 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);

- fluxuri de protecție a băilor metalice pe bază de aluminiu;
- degazanți: C₂Cl₆ , BCl₃ , KCl , MnCl₂ , ZnCl₂ , azot gazos;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Modificarea prin metode fizico-chimice a aliajelor aluminiu–siliciu eutectice” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;

- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitarea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.

- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj Al – Si eutectic, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în

laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 1,5% la Al și de 2,0% la Si;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare,

necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj Al – Si eutectic;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a aluminiului primar sau secundar calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încărcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant universal, iar imediat după topire se adaugă restul de aluminiu care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de $730 - 750^{\circ}\text{C}$ se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a aliajului

Al – Si eutectic prin una din următoarele metode:

a) modificarea cu sodiu metalic;

b) modificarea cu stronțiu;

c) modificarea cu stibiu;

d) modificarea cu fondanți;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaj modificat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

Operațiile tehnologice specifice fiecărei metode de modificare sunt:

a) Modificarea cu sodiu metalic, care are temperatura de topire de $98^\circ C$ și temperatura de fierbere de $892^\circ C$, se realizează prin introducerea a $0,1\% Na$, din masa siluminului eutectic lichid, până la fundul creuzetului, cu ajutorul unui clopot metalic special. Adăosul de $0,1\% Na$ este necesar deoarece acesta are temperatura de topire joasă și presiunea mare de vapori la temperatura de modificare ($2 \times 10^4 Pa$). Aceasta conduce la o dispersie rapidă a sodiului în topitură, dar și la creșterea pierderilor prin evaporare. Totodată pierderile de sodiu prin oxidare sunt semnificative deoarece acesta formează oxizi cu entalpie liberă mai mare în valoare absolută decât cea a oxizilor de aluminiu. Deoarece sodiul este puțin solubil în aluminiul solid și prezintă un gol mare de miscibilitate la concentrații scăzute, se manifestă o creștere însemnată a concentrației acestuia la frontul de creștere și pierderi relativ reduse. Sodiul se dizolvă și dispersează rapid în topitură, având un efect modifier important timp de 20 – 25 minute, după care efectul modifier scade rapid.

Sodiul este utilizat de mult timp la modificarea siluminurilor pentru fabricația pieselor de frânare, a chiulaselor și a diverselor piese cu geometrie complicată.

b) Modificarea cu stronțiu constă în introducerea acestuia în proporție de $0,05\%$ din masa siluminului eutectic lichid, sub formă metalică,

sau mai frecvent sub formă de prealiaj $AlSr_{10}$, $AlSi_{14}Sr_{10}$, $AlSr_{90}$, cu ajutorul unui clopot care să permită dizolvarea în straturile adânci ale băii metalice. În ultimul timp se preferă ca modificarea să se facă cu bare (sârme) subțiri de prealiaj cu stronțiu pentru a asigura o dizolvare rapidă a acestuia în silumin. Stronțiul, care are temperatura de topire de $768^{\circ}C$ și temperatura de fierbere de $1380^{\circ}C$, se dizolvă rapid în topitură, se oxidează slab, are un efect modificator mai slab decât cel al sodiului, dar mai rezistent în timp, menținându-se chiar și după 2 – 3 retopiri. Stronțiul nu produce supramodificarea, dar la conținuturi mai mari de 0,05% poate forma compusul chimic Al_2SrSi_2 care înrăutățește caracteristicile mecanice.

Stronțiul este utilizat pentru modificarea siluminurilor turnate în chiulase, care sunt solicitate puternic la alungire și rupere. Un inconvenient de care trebuie să se țină seama este acela că în zonele de alimentare piesele prezintă porozități.

c) Modificarea cu stibiu, care se topește la $630^{\circ}C$ și fierbe la $1380^{\circ}C$, constă în introducerea acestuia, cu ajutorul unui clopot metalic, sub formă elementară, la temperatura de $720 - 750^{\circ}C$, în proporție de 0,10 – 0,25% din masa topiturii de silumin. În prezența stibiului modificarea cu sodiu sau cu stronțiu este foarte dificilă, iar la conținuturi mari de Sb este practice imposibilă. Din acest motiv în practica industrială este necesar să se evite amestecarea deșeurilor obișnuite cu cele care conțin Sb sau se aplică tratamente cu fondanți speciali pentru eliminarea acestuia.

Stibiul se folosește la finisarea siluminurilor utilizate pentru turnarea la presiune joasă a roților deoarece asigură modificarea structurii în condițiile unei degazări avansate.

d) Modificarea cu fonanți care conțin în diferite proporții fluoră de sodiu, clorură de sodiu, clorură de potasiu, criolit, adăugați pe topitură sau imersați la fundul acesteia, la temperatura de 770 – 800°C. Modificarea cu fondant ALSIM (COVERAL) se face atunci când se urmărește obținerea unei modificări de scurtă durată, de 20 – 60 minute. La 720 – 740°C, din cantitatea de 0,6 – 1,0% fondant, o parte se presară pe suprafața topiturii, iar o parte este introdusă în baie cu ajutorul unui clopot metalic, agitându-se baia timp de 5 minute. Pentru menținerea efectului modificador o perioadă mai mare de timp se folosește fondantul ALSIM BLOC (PERNA BLOCK N). Și în acest caz fondantul în proporție de 0,6 – 1,0% se adaugă pe suprafața topiturii sau este imersat în aceasta cu ajutorul unui clopot.

Controlul imediat al efectului modificării se poate face prin ruperea unei bare de aliaj de 20 x 20 x 100 – 150 mm turnată după 5 minute de la modificare. Modificarea este eficientă dacă bara se îndoaie suficient de mult înainte de rupere, iar structura este fină, fără defecte și cu aspect mat. Structurile grosolane și strălucitoare indică o modificare imperfectă.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale siluminurilor nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate cu diferiți modificali. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografii digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea nr. 13.

**MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE
A ALIAJELOR ALUMINIU – SILICIU
HIPEREUTECTICE**

1. Considerații generale

Modificarea reprezintă o metodă de tratament a topiturilor metalice, aplicată înainte de turnare în vederea finisării structuri și îmbunătățirea proprietăților tehnologice sau a caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor.

Modificarea se realizează natural, prin solidificare rapidă, dar necesită un agent de modificare la viteze mici de răcire, corespunzătoare turnării în amestecuri de formare.

Aliajele de turnătorie din sistemul Al-Si în care siliciul este principalul element de aliere, se pot clasifica în siluminuri hipoeutectice ($Si < 11,7\%$), eutectice ($Si = 11,7\%$) și hipereutectice ($Si > 11,7\%$). Siluminurile hipoeutectice și siluminurile hipereutectice sunt aliaje bifazice. Conform Figurii 1, aliajele hipoeutectice conțin ss α pe bază de aluminiu (matrice) și un eutectic (ss $\alpha + Si$), iar cele hipereutectice sunt compuse dintr-o fază primară de siliciu și eutectic (ss $\alpha + Si$). În ambele cazuri morfologia siliciului constituie obiectul modificării.

În aliajele hipoeutectice siliciul din eutectic se solidifică sub formă aciculară sau sub formă de plăci.

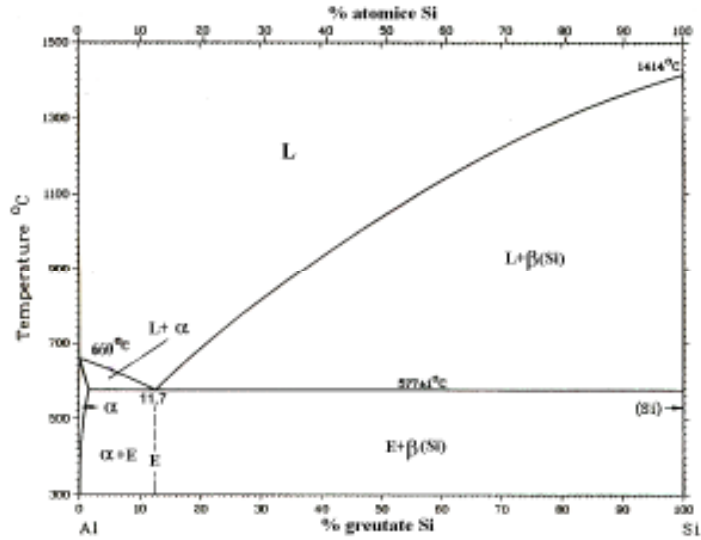


Figura 1. Diagrama de fază binară Al-Si

Influența deosebită pe care o are procesul de modificare asupra caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor Al – Si, în raport cu conținutul de siliciu, este prezentată în Figura 2.

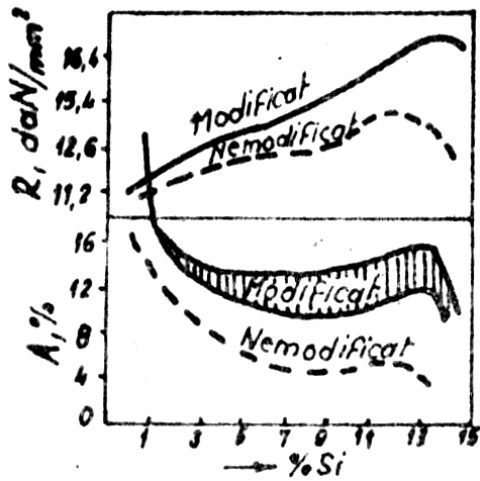


Figura 2. Influența conținutului de siliciu asupra caracteristicilor mecanice ale siluminurilor nemodificate și a celor modificate.

În aliajele hipereutectice siliciul primar se prezintă sub formă de blocuri și plăci mari, așa cum se vede în Figura 3.

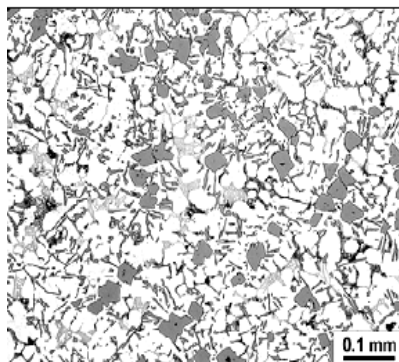


Figura 3. **Microstructura siluminului hipereutectic cu cristale primare de siliciu în masa eutectică**

Aceste morfologii ale siliciului sunt nefavorabile proprietăților mecanice, mărind fragilitatea aliajelor și micșorând prelucrabilitatea prin așchiere. În plus, în multe cazuri se constată o asociere a acestor morfologii cu o porozitate a aliajelor turnate. Ca urmare, modificatorii se introduc deliberat în topitură pentru a rotunji faza cu siliciu (eutecticul în aliajele hipoeutectice și siliciul primar în aliajele hipereutectice) care este astfel mai coerentă cu matricea. Prin modificare, microretaturile sunt mai dispersate în timpul solidificării, ceea ce conduce la o îmbunătățire sensibilă a proprietăților mecanice și a prelucrabilității prin așchiere a materialului.

Modificarea siliciului primar din aliajele hipereutectice Al-Si se realizează cu fosfor introdus în proporție de 0,02-0,025% P, din masa topiturii, sub formă de prealiaje Cu-P sau Al-Cu-P. Teoretic procesul este un fenomen de nucleere care influențează numai dimensiunea și forma siliciului primar.

Fosforul formează cu aluminiul compusul chimic greu fuzibil AlP, care are temperatura de topire mai mare de 1000°C , ce dă naștere unui precipitat de fosfură submicroscopic ale cărui caracteristici cristalografice sunt similare siliciului și permit nucleerea cristalelor primare de siliciu, mai ușor. Modificarea cu fosfor este influențată de asemenea de temperatura de turnare, temperatura formei, compoziția topiturii și turbulența acesteia. Modificarea se poate realiza și cu alte elemente: magneziu, wolfram, sulf, lantan, reniu, etc.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a siluminurilor hipereitectice prin diferite metode fizico – chimice și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestor aliaje. Pentru aceasta se va utiliza un aliaj Al – Si hipereitectic, cu proprietăți superioare, recomandat pentru fabricația de pistoane, care pe lângă aluminiu mai conține: 15 – 20% Si; 5 – 9% Cu; 0,8 – 1,2% Mg; 0,8 – 1,2% Fe; 5 – 9% Ni; 0,1 – 0,6% P;

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a siluminurilor hipereitectice sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a aliajelor Al – Si hipereutectice sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet la care eventual se poate asigura o atmosferă neutră de protecție. Modificarea siluminurilor eutectice se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 4.

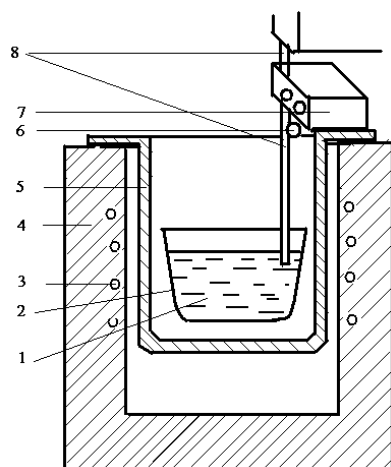


Figura 4. **Schema instalației de laborator folosită la modificarea aliajelor**
1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) incinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitarea topiturii.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare

unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele aluminiu – siliciu hipereutectice, modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale siluminurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor Al – Si hipereutectice sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare (Al, Cu, Ni, Mg) și siliciu tehnic pur;

- prealiaje: Al-Si (15 – 50% Si + 85 – 50% Al); Al-Cu-Ni(10% Ni + 40% Cu + 50% Al), Al-Ni (20% Ni + 80% Al); Al-Mg (10% Mg + 90% Al); Al-Fe (10% Fe + 90% Al);

Cu-P (13% P + 87% Cu);

- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- modificatori: cupru fosforos sau 20% fosfor roșu +70% KCl + 10% K_2ZrF_6 sau fosfor și sulf ;
- fondanți universali preparați în laborator 60%NaF + 25%NaCl + 15% Na_3AlF_6 cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850^0C ; 40%NaF + 45%NaCl + 15% Na_3AlF_6 cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730^0C ; 30%NaF + 50%NaCl + 10%KCl + 10% Na_3AlF_6 cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715^0C);
- fluxuri de protecție pentru băile metalice pe bază de aluminiu;
- degazanți: C_2Cl_6 , BCl_3 , KCl , $MnCl_2$, $ZnCl_2$, azot gazos;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Modificarea prin metode fizico- chimice a aliajelor aluminiu – siliciu hipereutectice” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj Al – Si hipereutectic, cu următoarea compoziție chimică: 15 – 20% Si; 5 – 9% Cu; 0,8 – 1,2% Mg; 0,8 – 1,2% Fe; 5 – 9% Ni; 0,1 – 0,6% P; rest Al, luându-se

în considerare că pentru condițiile de elaborare din laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de: 1,5% la Al; de 2,0% la Si; de 1,0% la Cu; de 1,0% la Ni; de 1,0% la Fe; de 4,0% la P și de 3,0% la Mg.

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj AlSi17Cu7Ni7MgFe (se pot folosi prealiaje Al – Si cu 25% Si, prealiaje Al – Cu – Ni cu 10% Ni și 40% Cu, prealiaje Al – Mg cu 10% Mg, prealiaje Cu – P cu 13% P, prealiaje Al – Ni cu 20% Ni);

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a aluminiului primar sau secundar calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant

universal, iar imediat după topire se adaugă restul de aluminiu care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de $730 - 750^{\circ}\text{C}$ se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a aliajului AlSi17Cu7Ni7MgFe prin una din următoarele metode:

a) modificarea cu cupru fosforos, constă în introducerea la $780 - 820^{\circ}\text{C}$ a unei cantități de cupru fosforos (CuP_9 ; CuP_{11} ; CuP_{13} ; CuP_{15}) corespunzătoare proporției de $0,05 - 0,10\% \text{P}$ din masa topiturii de silumin hipereutectic; după imersarea prealiajului, topitura se agită ușor până în profunzime, timp de $3 - 5$ minute, după care se trage zgura și se iau probele de verificare a efectului modificării;

b) modificarea cu săruri, constituite din 20% fosfor roșu + 70% KCl + 10% K_2ZrF_6 , constă în introducerea acestora, la $780 - 820^{\circ}\text{C}$, într-o proporție de $1,5 - 2,0\%$ din masa topiturii, cu ajutorul unui clopot metalic; după imersarea fondantului, topitura se agită ușor până în profunzime, timp de $3 - 5$ minute, după care se trage zgura și se iau probele de verificare a efectului modificării;

c) modificarea cu un amestec de fosfor și sulf constă în introducerea, la $780 - 820^{\circ}\text{C}$, a unui amestec de $0,05\% \text{P}$ și $0,05 - 0,08\% \text{S}$, raportat la

masa topituri, cu ajutorul unui clopot metalic; după imersarea amestecului de fosfor și sulf, topitura se agită ușor până în profunzime, timp de 3 – 5 minute, după care se trage zgura și se iau probele de verificare a efectului modificării;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de 700 – 720⁰C, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaj modificat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Microstructura aliajelor de aluminiu, atunci când sunt prezente faze intermetalice, se poate pune în evidență chiar fără atac sau datorită atacului slab produs de alcalinitatea suspensiei de alumină folosită la lustruirea umedă, care mai conține urme de hidroxid de sodiu.

În general, soluțiile de 1-10% hidroxid de sodiu în apă sunt folosite ca reactiv de atac pentru multe aliaje de aluminiu.

Un alt reactiv general, mult utilizat, este soluția de 0,5 cm³ acid fluorhidric 40% în 100 cm³ apă.

Pentru identificarea fazelor intermetalice din aliajele de aluminiu complexe se folosesc reactivi specifici, care sunt indicați în tabelul următor.

Tabelul 2. Reactivii specifici compuşilor care apar la aliajele Al-Si

Faza inter-metalică	Fără atac	0,5% HF 15s; 20°C	1% NaOH 15s; 50°C	10% NaOH 5s; 70°C	25% HNO ₃ 40s; 70°C	20% H ₂ SO ₄ 30s; 70°C	0,5%HF; 1,5% HCl 2,5% HNO ₃ ; 15s; 20°C
Si	cenuşiu	-	-	-	-	-	-
Al ₂ Cu	alb-roz în relief	-	-	colorat închis	colorat în arămiu	-	-
Al ₃ Fe	cenuşiu	-	-	colorat în cafeniu închis	-	Dizolvat	-
Al ₃ Mg ₂	Alb- gălbui	puţin atacat	-	-	Se dizolvă	se dizolvă	puţin atacat
Al ₃ Ni	cenuşiu deschis	colorat închis	colorat în cafeniu	colorat în cafeniu- albăstrui	-	-	colorat intens
Al ₆ Mn	cenuşiu deschis	puţin atacat	colorat în cafeniu deschis	colorat în cafeniu închis	-	-	-

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale siluminurilor nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate cu diferiți modificatori. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea nr. 14.

MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE A ALIAJELOR MAGNEZIULUI

1.Considerații generale

Structura primară de turnare și în consecință și caracteristicile fizico-mecanice ale metalelor și aliajelor sunt influențate de o multitudine de factori greu de controlat în condiții normale de turnare și solidificare. Din acest motiv pot apărea diferențe semnificative de proprietăți între produse similare sau chiar în secțiunile aceluiși reper. Structura cristalină de turnare depinde de:

- compoziția chimică a aliajelor monofazice și eutectice, precum și de coeficienții de repartiție și transfer de masă ai elementelor de aliere;
- condițiile termice ale sistemului de turnare, în principal, de temperatura inițială a aliajului și a formei, precum și de proprietățile termofizice ale acestora;
- condițiile germinării și creșterii fazei solide din lichid.

Proprietățile aliajelor sunt strict legate de finețea structurală, deci sunt direct influențate de formarea și creșterea germenilor de cristalizare. Germinarea omogenă, fără schimbarea compoziției chimice și fără vreo influență a impurităților, care are loc numai la atingerea valorii subrăcirii critice de $\Delta T_{crit} = 0,2 T_{top}$, când germenele are raza mai mare decât cea critică (de 10^{-9} cm), nu poate asigura o densitate satisfăcătoare de germeni în unitatea de volum. Din acest motiv se vor lua măsuri de stimulare a germinării eterogene pe suprafața acelor impurități care sunt umectate de

aliaj atât în stare lichidă cât și în stare solidă. În acest caz germinarea are loc la subrăcirii mai mici, iar numărul germeilor de cristalizare este mult mai mare, așa cum se întâmplă la modificarea aliajelor de aluminiu cu Ti și B, sau a aliajelor de magneziu cu C.

O altă metodă de creștere a numărului de germeni de cristalizare o reprezintă germinarea dinamică care constă în fragmentarea dendritelor în creștere sub acțiunea vibrațiilor, ultrasunetelor, agitării mecanice, în câmp magnetic sau prin injectare de gaze.

Deoarece condițiile termice variază foarte mult în timpul solidificării, fiind influențată atât germinarea cât și viteza și modul de creștere a cristalelor, vor apărea zone structurale complet diferite în aliajele turnate. Astfel, în secțiunea unei piese cu pereți groși sau a unui lingou se formează trei zone structurale diferite:

- zona externă, de margine, conține un strat subțire de cristale echiaxiale formate printr-o germinare eterogenă, în special pe pereții formeii;
- zona centrală, de mijloc, conține cristale echiaxiale mari;
- zona intermediară (dintre celelalte două zone) conține cristale columnare dezvoltate uniaxial pe direcția de transmitere a căldurii, deci perpendicular pe pereții piesei.

Apariția celor trei zone structurale în pereții pieselor turnate este o consecință a solidificării succesive, când frontul de solidificare continuu, de origine exogenă, se deplasează succesiv de la suprafața de contact aliaj-formă spre axa termică.

Atât la metale cât și la aliajele eutectice, dar mai ales la aliajele cu zonă bifazică – când există în diferite proporții atât cristale solide cât și fază

lichidă – structura cristalină de turnare este determinată de viteza de formare a fazei solide.

Pentru obținerea structurilor cu granulație fină, a omogenității chimice și structurale, precum și a unei construcții interne corespunzătoare a cristalelor formate se impun măsuri speciale de influențare a procesului de germinare și de creștere a fazei solide.

Acest proces este denumit *modificare* și constă în schimbarea artificială a condițiilor de germinare, de cristalizare și de solidificare, astfel încât să se obțină creșterea dispersiei prin majorarea numărului de grăunți cristalini și micșorarea dimensiunii acestora, dar și o schimbare a structurii interne și a neomogenității la nivelul lor. Modificarea ca metodă de tratament a topiturilor metalice înainte de turnare este necesară la turnarea pieselor cu pereți groși, a celor turnate în amestec de formare, sau în general vorbind acolo unde se întâlnesc viteze mici de răcire. Unele aliaje neferoase manifestă o mare tendință de transcristalizare, de creștere exagerată a cristalelor într-o anumită direcție, mai ales la îmbinarea pereților groși, sau de formare a micro și macrosegregațiilor, ceea ce face absolut necesară aplicarea unei metode de modificare în stare lichidă. Modificarea structurii de turnare din fază lichidă este cu atât mai necesară la aliajele neferoase cu cât tratamentele termice în stare solidă sunt mai puțin eficiente. Dacă la aliajele fierului prin tratament termic se pot obține schimbări majore de structură și de proprietăți, la majoritatea aliajelor neferoase acest lucru nu este posibil sau efectul este mult mai puțin important.

Din acest motiv trebuie luate măsuri de răcire rapidă a topiturii de aliaje neferoase pentru ca fluctuațiile energetice să conducă la apariția de

zone subrăcite intens unde germinarea și cristalizarea să decurgă cu viteză mare, sau aplicarea tratamentelor fizico-chimice și fizice de modificare.

Tratamentele fizico-chimice de modificare constau în introducerea de elemente greu fuzibile ce pot forma germeni de cristalizare, adăugarea înainte de turnare a unor particule metalice solide ce absorb căldura și accelerează procesul de solidificare sau microalierea cu elemente superficial active ce se adsorb pe suprafața cristalelor și frânează creșterea acestora.

Germinarea eterogenă are loc pe suprafețele solide ale unor impurități existente în lichid sau introduse intenționat pentru a favoriza nucleerea. Particula poate deveni suport de germinare numai dacă atât metalul lichid cât și cel solid umectează suprafața acesteia și interacționează cu ea. Cu cât umectarea particulei suport de către metal este mai bună cu atât energia de activare a germinării va fi mai mică. Dacă într-un sistem solid-lichid-gaz există echilibrul:

$$\sigma_{SL} = \sigma_{SG} + \sigma_{LG}\cos\theta \quad (1)$$

în care: σ_{SL} , σ_{SG} , σ_{LG} sunt tensiunile interfazice, iar θ este unghiul de umectare, atunci prin extrapolare se poate scrie:

$$\sigma_{PL} = \sigma_{PS} + \sigma_{SL}\cos\theta \quad (2)$$

în care: σ_{PL} – este tensiunea interfazică particulă-metal lichid;

σ_{PS} – tensiunea interfazică particulă-metal solid;

σ_{SL} – tensiunea interfazică solid-metal lichid;

θ – unghiul de contact între cele trei faze.

În Figura 1 este prezentată formarea germenului de metal solid pe suprafața unei particule solide precum și tensiunile ce guvernează formarea și creșterea acestuia.

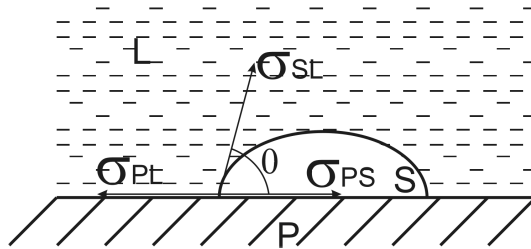


Figura 1. Germinarea solidului metalic pe suprafața particulei suport

Energia de activare necesară formării unui germene metalic pe o suprafață suport este mai mică decât cea necesară germinării omogene cu un factor Φ a cărui variație funcție de θ este prezentată în Figura 2.

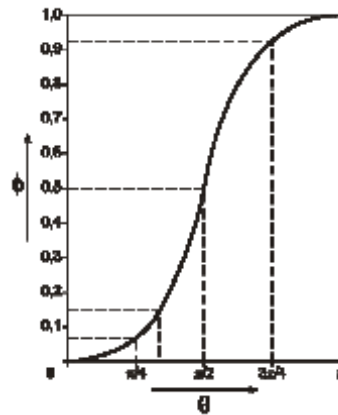


Figura 2. Variația factorului Φ din ecuația 3 funcție de unghiul de contact θ

$$E_{a\ et} = \Phi E_{a\ om} \quad (3)$$

Rezultă că la $\theta = 0$ germinarea are loc instantaneu la temperatura de solidificare, fără a fi necesară subrăcirea, iar la $\theta = \pi$ particula nu poate constitui un catalizator al procesului de germinare fiind necesare subrăciri egale cu cele de la germinarea omogenă.

Valoarea unghiului θ va fi cu atât mai mică, iar viteza de germinare eterogenă cu atât mai mare cu cât rețeaua cristalină a particulei suport este

mai apropiată de cea a aliajului care se solidifică, deci cu cât cele două faze solide sunt coerente din punct de vedere structural. Particula suport poate cataliza procesul de nucleere dacă are capacitatea de a ordona atomii la interfața solid-lichid. O interacțiune puternică între suportul solid și aliajul lichid va determina o densitate mare de atomi în apropierea suprafeței de separație ceea ce va cataliza procesul de germinare. Interacțiunea slabă determină o densitate mică de atomi la interfață ceea ce va îngreuna procesul de germinare.

În concluzie, pentru creșterea numărului de germeni și a vitezei de nucleere se vor introduce în topitură substanțe modificatoare care creează o suspensie de particule solide foarte fine ce pot servi ca suport pentru germinare. Pentru modificarea aliajelor cei mai utilizați modificatori sunt metalele greu fuzibile, sau compuși ai acestora, ce formează o suspensie solidă fină cu o rețea cristalină identică sau asemănătoare cu a fazei ce urmează să cristalizeze pe ele. Exemple edificatoare ale modificării structurii de turnare ca urmare a germinării eterogene cu viteză mare sunt cele legate de tratarea aliajelor de aluminiu cu bor și titan sau a aliajelor de magneziu cu materiale ce conțin carbon.

Procesele de modificare se pot clasifica după modul de manifestare și consecințele structurale asupra grăunților cristalini, precum și după natura constituentului structural modificat.

Metodele de finisare a granulației aliajelor de magneziu sunt prezentate sintetic în Tabelul 1. După cum se observă din tabel, pentru aliajele de magneziu se pot utiliza un număr mare de nucleați, iar

mecanismul predominant este nucleerea pe metale sau compuși care îndeplinesc cerințele de substrat de nucleere.

Tabelul 1. Metode de finisare a granulației aliajelor pe bază de magneziu

Metal sau aliaj	Finisor sau proces	Gradul de finisare	Mecanism probabil	Elemente care participă la finisare	Remarci
Mg	Al, Zn, metale rare, Th, Si, Ca, Zr	mediu	gradient de concentrație
Mg-Al, Mg-Al-Zn-Mn	Inoculare carbon. Supraîncălzire.	însemnat însemnat	Nucleere pe carbură. Nucleere pe Al-Mn (Fe)	Be, Zr, Ti	...
Mg-Al-Mn-(Zn)	FeCl ₃	însemnat	Nucleere pe compusi Fe-Al-Mn și carbon	Zr, Be	Necesită mangan
Mg-Zn(Re-Mn)	FeCl ₃ Fe-Zn NH ₄ Cl	foarte însemnat	Nucleere pe compusi ai Fe	Al, Si, Th	Fe-Zn necesită Mn ≤ 1%
Mg-Mn	Ca + N ₂ Zr	mediu ; crește cu scăderea %Mn	... Nucleere pe Zr sau pe Mg îmbogățit în Zr	... Al, Si, Fe, H, Sn, Sb, Co, Ni, Mn	...

Datorită proprietăților speciale pe care le au: densitate mică $\rho = 1,75 - 1,85 \text{ kg/dm}^3$; rezistența la rupere la tracțiune $R_m = 20 - 30 \text{ daN/mm}^2$; duritatea 50 – 65 HB ; alungirea $A = 6 - 20\%$; aliajele magneziului sunt folosite în diferite domenii ale tehnicii, dar cu precădere în industria aerospațială, navală și de autovehicule. Rezistența specifică, care reprezintă raportul dintre rezistența mecanică și greutatea specifică, a aliajelor magneziului este superioară aliajelor aluminiului și a fontelor. Extinderea relativ redusă a acestor aliaje se datorează unor inconveniente precum: oxidabilitatea ridicată și chiar posibilitatea de autoaprindere la temperaturi mai mari de 600⁰C, rezistență redusă la coroziune, sensibilitate

mare față de concentrarea eforturilor (efect de crestătură), proprietăți de turnare slabe, tendință mare de transcristalizare la solidificare etc.

Atât aliajele pentru turnătorii cât și cele pentru deformare plastică fac parte din sistemele: Mg – Al; Mg – Zn; Mg – Mn. Zonele de interes din diagramele de echilibru ale acestor sisteme sunt prezentate în Figura 3.

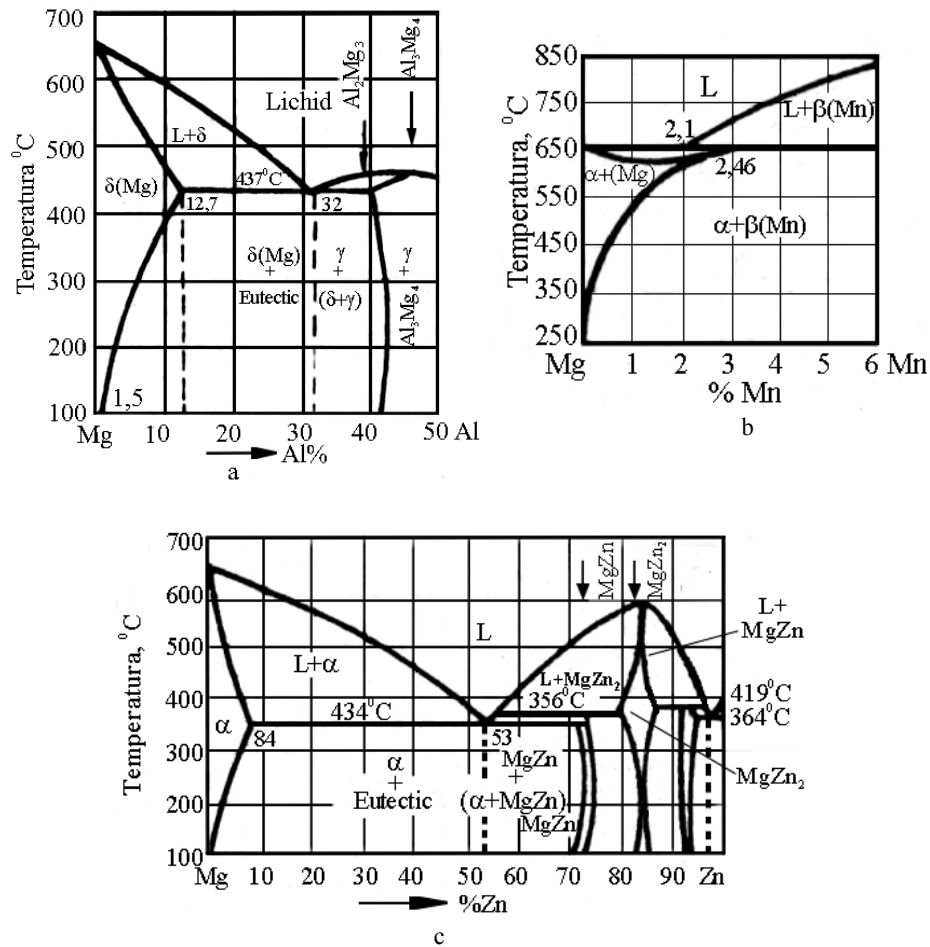


Figura 3. Diagramele binare de echilibru a principalelor sisteme de aliaje ale magneziului : a) diagrama Mg – Al; b) diagrama Mg – Zn; c) diagrama Mg – Mn

Aluminiul în proporție de până la 10% îmbunătățește proprietățile de turnare ca urmare a creșterii fluidității și a scăderii contracției, îmbunătățește proprietățile mecanice și rezistența la coroziune, la oxidare și la autoaprindere.

Zincul înrăutățește proprietățile de turnare prin scăderea fluidității și mărirea tendinței de a forma crăpături la cald și microretasuri, în schimb îmbunătățește proprietățile mecanice și anticorozive.

Manganul îmbunătățește rezistența și alungirea aliajelor de magneziu, mărește rezistența la coroziune și compactitatea, în schimb înrăutățește proprietățile de turnare și în primul rând fluiditatea.

Aliajele magneziului cu rezistență ridicată sunt destinate la solicitări mecanice îndelungate la temperaturi mai mici de 150⁰C. Cele mai bune proprietăți le au aliajele în care elementul principal de aliere formează cu magneziul un domeniu mare de soluție solidă la temperaturi ridicate și a căror solubilitate scade semnificativ la reducerea temperaturii ceea ce permite aplicarea tratamentului termic de călire și îmbătrânire. Cele mai răspândite aliaje de turnătorie cu rezistență ridicată aparțin sistemelor: Mg – Al – Zn și Mg – Zn – Zr.

Cele mai bune caracteristici mecanice le au aliajele modificate din sistemele de mai sus care au elementul de aliere principal la limita de solubilitate.

În sistemul ternar Mg – Al – Zn izotermele solubilității aluminiului și zincului în magneziu, precum și secțiunea izotermică prin diagrama ternară la 25⁰C sunt prezentate în Figura 4.

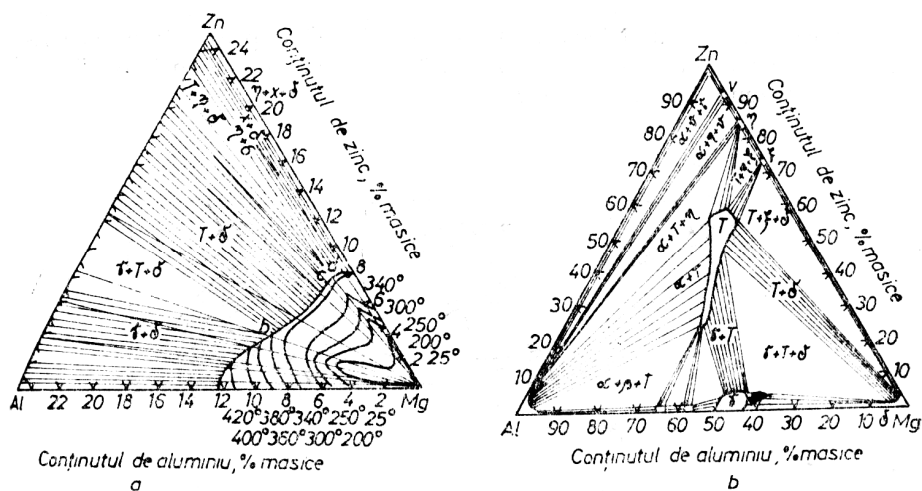


Figura 4. Izotermele solubilității aluminiului și zincului în magneziu (a) și secțiunea izotermică prin diagrama Mg – Al – Zn la 25°C (b)

Se constată că la adaosuri relativ reduse de zinc, solubilitatea aluminiului și zincului în magneziu crește la orice temperatură. Solubilitatea maximă a aluminiului și zincului în magneziu corespunde soluțiilor solide care se formează în domeniile $\delta + \gamma + T$ și $\delta + \xi + T$ la transformări invariante. Scăderea temperaturii conduce la o micșorare pronunțată a solubilității comune celor două elemente. Domeniul soluției solide pe bază de magneziu se învecinează cu domeniile trifazice $\gamma + T + \delta$ și $T + \delta + \xi$. În afară de fazele prezentate în diagramă, din cercetări metalografice și la microsonda electronică s-a constatat existența a încă unui compus intermetalic ternar care are compoziția: $20\%Al + 40\%Zn + 40\%Mg$ și care se formează din reacția peritectică dintre lichid și cristalele fazelor $Mg_{17}Al_{12}$ și $T(Mg_{32}(Al, Zn)_{49})$ la temperatura de $393^{\circ}C$.

Aliajele Mg – Al – Zn se pot trata termic prin călire sau călire și îmbătrânire. Efectul maxim al călirii se constată la aliajele cu peste 7% (Al+Zn). Aliajele cu 1 – 4%Zn au rezistența mecanică cea mai ridicată. Limita de curgere se mărește la creșterea conținutului de zinc, în special după tratamentul termic.

Alierea cu peste 1%Zn conduce la creșterea tendinței aliajelor spre formarea microporozităților și a fisurilor la cald.

În aliajele Mg – Al – Zn se adaugă 0,1 – 0,5%Mn pentru creșterea rezistenței la coroziune. Pentru micșorarea gradului de oxidare se recomandă adaosuri de 0,002% Be la turnarea gravitațională și de 0,01% la turnarea sub presiune. Adaosuri mai mari de beriliu conduc la obținerea unei structuri cu grăunți mari.

Impurități precum: Fe, Ni, Cu, Si micșorează rezistența la coroziune, iar Zr la peste 0,002% are efect antimodificator.

Aliajele turnate au structura constituită din soluția solidă δ izomorfă cu magneziu în care apar incluziuni de compus $Mg_{17}Al_{12}$ separați de obicei la limita grăunților. Proporția de fază $Mg_{17}Al_{12}$ se mărește la creșterea conținutului de aluminiu. La creșterea conținutului de Zn poate să apară și faza ternară $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată prin diferite metode fizico – chimice și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestor aliaje.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizico–chimice a structurii de turnare a aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Modificarea aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată se realizează în creuzetul de carburund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 5.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare

unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

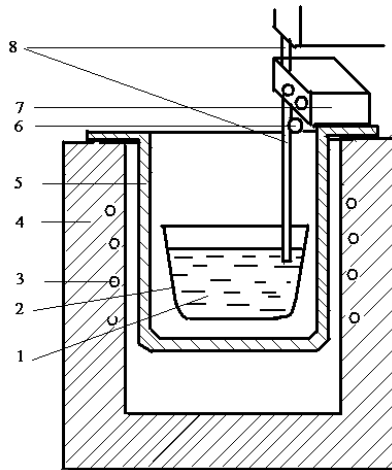


Figura 5. **Schema instalației de laborator folosită la modificarea aliajelor :** 1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) incinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitarea topiturii.

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată, modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale aliajelor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Mg, Al, Zn, Mn, Zr etc.
- prealiaje: Mg – Al, Al-Mg, Al – Mg – Mn, Mg – Mn, Mg – Zn, Zn- - Al etc.
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- modificatori: cocs, negru de fum, mangal, grafit praf, gaz metan, cretă, magnezită, praf de marmură, fontă cenușie, prealiaj Zn – Fe, FeCl₃, NH₄Cl; fondanți modificatori preparați în laborator; fondanți modificatori produși de firme specializate.
- fondanți de protecție preparați în laborator [13 %CaF₂ + 32%MgF₂ + 40%AlF₃ + 15%B₂O₃; (33 ÷ 40)%MgCl₂ + (25 ÷ 36)%KCl + (15 ÷ 20)%CaF₂];
- fondanți de rafinare preparați în laborator [(20 ÷ 35) %MgCl₂ + (16 ÷ 29) %KCl + (8 ÷ 12)% BaCl₂ + (14 ÷ 23)% CaF₂ + (14 ÷ 23)% MgF₂ + (0,5 ÷ 0,8) %B₂O₃); (24 ÷ 33)% MgCl₂ + (24 ÷ 33)% KCl + (2 ÷ 7)% BaCl₂ + (6 ÷ 14)% CaF₂ + (6 ÷ 14)% MgF₂ + (16 ÷ 23) % alți componenți];
- fondanți de protecție și rafinare a băilor metalice pe bază de magneziu, preparați în laborator [(38 ÷ 46)%MgCl₂ + (32 ÷ 40)%KCl + (5 ÷ 8)%BaCl₂ + 10%CaCl₂; (38 ÷ 46)%MgCl₂ + (32 ÷ 40)%KCl +

$(5 \div 8)\%BaCl_2 + (3 \div 5)\%CaF_2; (25 \div 42)\%MgCl_2 + (20 \div 36)\%KCl +$
 $(4 \div 8)\%BaCl_2 + (1 \div 10)\%CaF_2 + (3 \div 11)\%MgF_2 + (3 \div 14)\%AlF_3 +$
 $1,8\%B_2O_3];$

- degazanți: hexacloretan, azot gazos, argon;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Modificarea prin metode fizico- chimice a aliajelor magneziului” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;

- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondușilor, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.

- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj Mg – Al – Zn sau Mg – Zn - Zr, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de: 3,0% la Mg; 1,5% la Al; 1,0% la Zn; 2,0% la Zr; 2,0% la Mn; 1,0% la Fe;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj Mg - Al – Zn sau Mg – Zn - Zr;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fonduși sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a magneziului calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de fondant de protecție sau de fondant de protecție și rafinare, care reprezintă 2,0 – 2,3% din masa încăcăturii, iar imediat după topire se adaugă restul de magneziu care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de fondant;

- aluminiul și zincul, de preferat sub formă de prealiaje, sunt adăugate în topitură la temperatura de 720 – 760⁰C;

- zirconiul sub formă de prealiaje ternare Mg – Zn – Zr [cu (6 ÷ 8)%Zn, (20 ÷ 25)%Zr, rest Mg], sau binare Mg – Zr [cu (15 ÷ 20)%Zr], preîncălzite la 300 – 400⁰C, se adaugă în topitură, în porții, la 820⁰C;

- la temperatura de $730 - 750^{\circ}\text{C}$ se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată prin una din următoarele metode:

a) modificarea prin supraîncălzirea topiturii până la $875 - 925^{\circ}\text{C}$;

b) tratarea topiturii cu substanțe care conțin carbon;

c) tratarea topiturii cu compuși ai clorului;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaje de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate, cât și din epruvetele de aliaje modificate pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate și modificate;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate și modificate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată modificate și nemodificate.

Operațiile tehnologice specifice fiecărei metode de modificare sunt:

a) Modificarea constă în supraîncălzirea topiturii la $875 - 925^{\circ}C$ și menținerea la această temperatură timp de 10 – 15 minute, iar apoi răcirea la temperatura de turnare și efectuarea acesteia. Încălzirea la temperaturi mai mari de $1000^{\circ}C$ și răcirea lentă la temperatura de turnare conduce la obținerea unei structuri cu grăunți mari. Efectul modifier se înregistrează doar dacă aliajul supus supraîncălzirii conține 0,02 – 0,03%Fe și 0,2%Mn, ceea ce înseamnă că în afară de menținerea fazei $Mg_{17}Al_{12}$ un rol însemnat în germinarea cristalizării îl are fierul și manganul.

b) Modificarea cu carbon, valabilă doar pentru aliajele magneziului care conțin aluminiu, se explică prin formarea carburii Al_4C_3 care cristalizează în sistem hexagonal, cu distanța între atomii de aluminiu de $3,33\text{Å}$, la fel ca și magneziu la care distanța dintre atomi este de $3,20\text{Å}$. Cel mai utilizat material modifier este magnezita, care însă poate conduce la impurificarea aliajului. Din acest motiv se preferă tratarea cu cretă sau marmură praf, care se adaogă în proporție de 0,5 – 0,6% din masa încărcăturii. Prafurile modificatoare uscate se împachetează și se introduc la

fundul băii cu ajutorul unui clopot, la 760 – 780⁰C. Modificarea se consideră încheiată la 8 – 10 minute după degajarea bulelor de CO₂ formate prin descompunerea carbonatului de calciu. O modificare bună se obține prin introducerea în topitură a 0,4% fontă cenușie, sub formă de șpan, la temperatura de 800 – 820⁰C și menținerea timp de 5 minute.

c) Modificarea cu cloruri constă în tratarea topiturilor de magneziu cu FeCl₃, introdusă în proporție de 0,5% la 750 – 780⁰C. La această temperatură clorura ferică reacționează cu magneziul și eliberează particule fine și disperse de fier, ce vor juca rolul de germeni de cristalizare. După terminarea reacției, temperatura se ridică la cca. 800⁰C, obținându-se reducerea consumului de energie cu cca. 20%, a timpului de modificare cu 25% și creșterea durabilității creuzetelor cu 30%.

Controlul imediat al efectului modificării se poate face prin ruperea unei bare turnate de 20 x 20 x (100 ÷ 150) mm după 5 minute de la modificare. Modificarea este eficientă dacă bara se îndoaie suficient de mult înainte de rupere, iar structura este fină, fără defecte și cu aspect mat. Structurile grosolane și strălucitoare indică o modificare imperfectă.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate cu diferiți modificatori. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaje de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate și modificate;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată nemodificate și modificate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele de magneziu pentru turnătorie cu rezistență mecanică ridicată modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 2.

Tabelul 2. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, $[daN/mm^2]$		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea 15

MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE A BRONZURILOR CU ALUMINIU

1. Considerații generale

Aliajele cuprului cu aluminiu, binare sau aliate secundar și cu alte elemente, reprezintă cea mai valoroasă grupă de bronzuri speciale deoarece caracteristicile lor mecanice sunt comparabile cu ale aliajelor molibdenului, wolframului, nichelului, cobaltului, titanului și a unor oțeluri speciale înalt aliate. Bronzurile cu aluminiu au o foarte bună rezistență la coroziune datorită formării peliculei compacte și impermeabile de Al_2O_3 , chiar și în condiții agresive cum ar fi: hidrogen sulfurat, bioxid de sulf, cloruri, acizi minerali sau organici, apa de mare etc. Aliajele Cu-Al sunt aliaje binare cu miscibilitate totală în stare lichidă și solubilitate parțială în stare solidă, a căror structură se poate aprecia pe baza diagramei de echilibru termic.

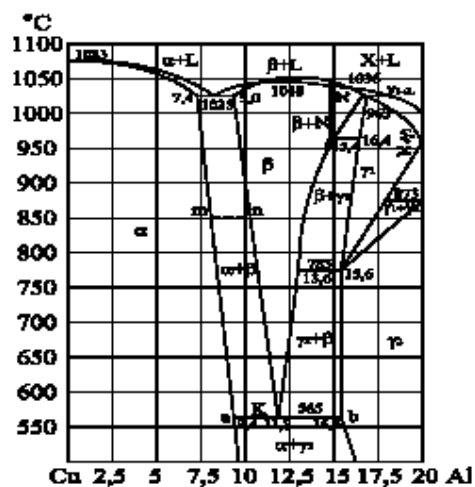


Figura 1. Diagrama de echilibru termic Cu-Al

Diagrama cuprinde domenii peritectice, eutectice și eutectoide în care se găsesc următoarele trei faze de interes practic:

- Faza α este o soluție solidă izomorfă cu cupru care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate și al cărui domeniu variază cu temperatura;

- Faza β este o soluție solidă intermediară formată pe baza compusului intermetalic Cu_3Al care cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat și care la 565°C se descompune eutectoid în α și γ_2 ;

- Faza γ_2 este o soluție solidă intermediară formată pe baza compusului intermetalic $\text{Cu}_{32}\text{Al}_{19}$ ce cristalizează în sistemul cubic complex și care provine din transformarea fazei γ_1 , stabilă la temperaturi ridicate.

Aliajele cu până la 5% Al vor avea o structură constituită din soluție solidă α , și vor prezenta o bună plasticitate și alungire ridicată, în schimb valori modeste pentru rezistența la tracțiune și duritate.

Aliajele cu 7-10% Al, vor avea o structură formată din soluție solidă β până la temperatura de cca. 850°C când începe să se separe faza α , iar faza β se va descompune după o transformare eutectoidă. Din cauza prezenței eutectoidului ($\alpha + \gamma_2$) aliajul capătă caracteristici mecanice superioare în ceea ce privește rezistența și duritatea.

La aliajele cu peste 12% Al, va crește cantitatea de eutectoid ($\alpha + \gamma_2$) dar și faza γ , ceea ce determină o scădere a rezistenței la tracțiune și o creștere a durității.

Adaosurile diferitelor elemente în bronzurile cu aluminiu aduc o îmbunătățire a proprietăților acestora.

Fierul determină finisarea structurii, mărește rezistența la tracțiune și duritatea însă micșorează fluiditatea .

Manganul are o acțiune favorabilă numai în prezența fierului îmbunătățind caracteristicile mecanice.

Nichelul, în afara îmbunătățirii caracteristicilor mecanice, produce o creștere a proprietăților anticorozive și antifricțiune precum și mărirea rezistenței la temperaturi înalte.

Sunt o serie de elemente chimice care au o acțiune negativă asupra bronzurilor cu aluminiu, cum ar fi: *staniul*, *plumbul*, *siliciul*, *stibiul*, *fosforul*.

Rezistența mecanică la tracțiune este direct proporțională cu cantitatea de eutectoid ($\alpha+\gamma_2$). Dacă structura bronzurilor cu aluminiu este constituită din fază α (până la 5-6% Al), rezistența mecanică are valori modeste (20-25 daN/mm²); ea înregistrează un salt important (până la 50-60 daN/mm²) dacă structura este constituită din fazele $\beta+(\alpha+\gamma_2) + \alpha$ (9-11% Al). La creșterea conținutului de Al (peste 12%), rezistența mecanică scade ca urmare a creșterii proporției de fază dură și fragilă β .

Duritatea acestor aliaje crește pe măsură ce se mărește conținutul de fază β în structură, atingând valori maxime de 350-400 HB.

Alungirea bronzurilor cu aluminiu crește proporțional cu conținutul de fază α , putând ajunge la valori maxime (de cca. 30%) la aliajele cu structura $\beta + \alpha$.

Adaosurile de fier, până la 5%, conduc la creșterea rezistenței mecanice la tracțiune, a durității și a rezistenței la temperaturi înalte, însă micșorează fluiditatea.

Manganul are o acțiune favorabilă în prezența fierului, el singur nu afinează structura, și rolul său constă în durificarea prin aliere a soluției

solide. Are o influență favorabilă asupra rezistenței la tracțiune și a durității precum și asupra proprietăților de antifricțiune a acestor bronzuri.

Nichelul reprezintă cel mai prețios element de aliere al bronzurilor cu aluminiu, deoarece ameliorează toate proprietățile mecanice și tehnologice: rezistența mecanică, duritatea, plasticitatea, rezistența la coroziune, reduce fragilitatea etc. Adăosuri de 5%Ni și 5%Fe determină formarea de noi faze intermetalice precum: FeAl_3 , NiAl_3 , FeNiAl_9 , care conduc la îmbunătățirea semnificativă a proprietăților mecanice prin aplicarea tratamentelor termice. Bronzurile cu aluminiu complexe au rezistența mecanică maximă în domeniul structural [$\alpha + \beta + (\alpha + \gamma_2)$], plasticitatea este maximă pentru structura $\alpha + \beta$, iar duritatea (de până la 400 daN/mm^2) pentru structura β .

Proprietățile mecanice ale bronzurilor cu aluminiu pot fi mult îmbunătățite pe calea introducerii în aliaj a microadaosurilor (sutimi și miimi de procente) de vanadiu, titan, bor etc.

Aliajele Cu-Al se caracterizează printr-un interval foarte mic de solidificare, fluiditate bună, tendință redusă de formare a microretasurilor, însă au o contracție mare la solidificare (1,8-2,2% contracție liniară), absorb gaze (hidrogen), formează incluziuni de oxizi care se aglomerează la limita grăunților și determină fisurarea. La răcirea înceată a pieselor turnate apare defectul denumit autorecoacere care constă în separarea fazei fragile γ_2 sub forma unei rețele la limita grăunților.

Bronzurile cu aluminiu au o tendință ridicată pentru transcristalizare, care se manifestă prin apariția în structura pieselor turnate răcite lent a cristalelor columnare dezvoltate pe întreaga secțiune a peretelui piesei

turnate. Pentru obținerea structurilor cu granulație fină, a omogenității chimice și structurale, precum și a unei construcții interne corespunzătoare a cristalelor formate se impun măsuri speciale de influențare a procesului de germinare și de creștere a fazei solide.

Acest proces este denumit *modificare* și constă în schimbarea artificială a condițiilor de germinare, de cristalizare și de solidificare, astfel încât să se obțină creșterea dispersiei prin majorarea numărului de grăunți cristalini și micșorarea dimensiunii acestora, dar și o schimbare a structurii interne și a neomogenității la nivelul lor. Modificarea ca metodă de tratament a topiturilor metalice înainte de turnare este necesară la turnarea pieselor cu pereți groși, a celor turnate în amestec de formare, sau în general vorbind acolo unde se întâlnesc viteze mici de răcire. Unele aliaje neferoase manifestă o mare tendință de transcristalizare, de creștere exagerată a cristalelor într-o anumită direcție, mai ales la îmbinarea pereților groși, sau de formare a micro și macrosegregațiilor, ceea ce face absolut necesară aplicarea unei metode de modificare în stare lichidă.

Tratamentele fizico-chimice de modificare constau în introducerea de elemente greu fuzibile ce pot forma germeni de cristalizare, adăugarea înainte de turnare a unor particule metalice solide ce absorb căldura și accelerează procesul de solidificare sau microalierea cu elemente superficial active ce se adsorb pe suprafața cristalelor și frânează creșterea acestora.

Pentru creșterea numărului de germeni și a vitezei de nucleere se vor introduce în topitură substanțe modificatoare care creează o suspensie de particule solide foarte fine ce pot servi ca suport pentru germinare. Pentru modificarea aliajelor cei mai utilizați modificatori sunt metalele greu fuzibile, sau compuși ai acestora, ce formează o suspensie solidă fină cu o

rețea cristalină identică sau asemănătoare cu a fazei ce urmează să cristalizeze pe ele. Datorită germinării eterogene rapide modificatorii de grupa I îmbunătățesc atât microstructura prin obținerea unei granulații fine, cât și macrostructura prin limitarea creșterii cristalelor columnare. Acești modificatori inoculează germinarea eterogenă și restrâng zona cristalelor columnare dezvoltate.

Pentru ca particulele solide ale modificatorului sau ale compusului chimic format de acesta să poată deveni inoculanți ai germinării eterogene este necesar ca acestea să fie umectate de către topitură, iar din punct de vedere cristalografic să prezinte izomorfism sau cel puțin pseudoizomorfism cu rețeaua cristalină a aliajului.

Elementele care formează compuși ale căror particule acționează ca inoculanți ai germinării eterogene trebuie să întrunească următoarele condiții:

- să formeze compuși definiți cel puțin cu unul din componentii aliajului, iar compusul format să fie mai greu fuzibil decât aliajul supus modificării;

- compusul definit, greu fuzibil, trebuie să se formeze între elementul modificador și componentul de bază al aliajului, pentru o distribuție mai uniformă în topitură;

- formarea compusului greu fuzibil să aibă loc la concentrații foarte mici ale modificadorului în sistem, iar pentru o dispersare bună se recomandă introducerea modificadorului sub forma unui prealiaj cu metalul de bază al aliajului.

Exemple edificatoare ale modificării structurii de turnare ca urmare a germinării eterogene cu viteză mare sunt cele legate de tratarea aliajelor

cupru - aluminiu cu bor, titan, zirconiu, vanadiu etc. Eficacitatea modificării crește la introducerea combinată a elementelor modificatoare, când se formează boruri greu fuzibile ce joacă rolul de germeni de cristalizare.

În Figura 2 și în Figura 3 sunt redată influențele diferitelor adaosuri de elemente modificatoare asupra caracteristicilor structurale și mecanice ale bronzului cu 10%Al, 3%Fe și 1,5%Mn.

Elementele modificatoare se introduc în topitura metalică fie sub formă de prealiaj, fie sub forma unor compuși chimici complecși (săruri, cloruri, fluoruri, fondanți) care se descompun la temperaturile ridicate de la suprafața metalului lichid și eliberează elementul activ.

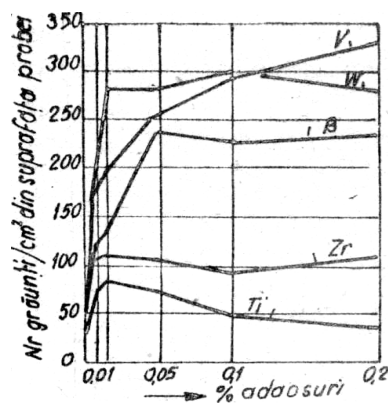


Figura 2. Influența adaosurilor de elemente modificatoare asupra fineții structurii bronzului cu aluminiu.

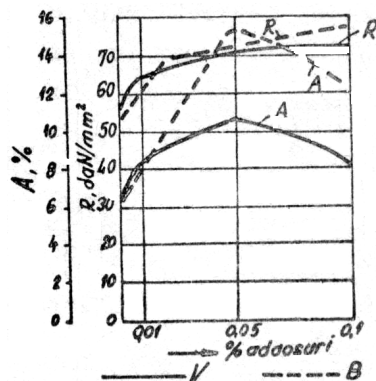


Figura 3. Influența adaosurilor de elemente modificatoare asupra caracteristicilor mecanice ale bronzului cu aluminiu.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a bronzurilor cu aluminiu prin diferite metode fizico – chimice și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestor aliaje.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizico–chimice a structurii de turnare a bronzurilor cu aluminiu sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a aliajelor Cu - Al sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Modificarea bronzurilor cu aluminiu se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 4.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare

unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

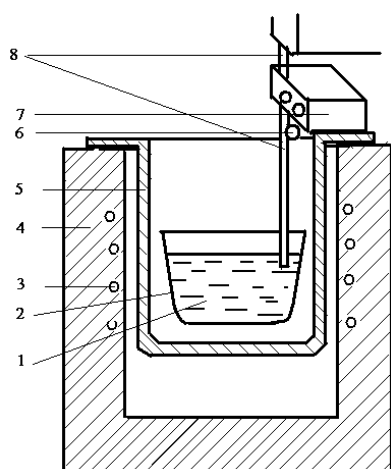


Figura 4. Schema instalației de laborator folosită la modificarea aliajelor: 1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) incinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitarea topiturii.

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; bronzurile cu aluminiu, modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale bronzurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a aliajelor Cu - Al sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Cu, Al, Fe, Ni etc.

- prealiaje: Cu – Al₍₅₀₎, Al - Cu₍₃₀₎, Cu – Ni_(15 – 33), Al₍₇₀₎- Cu₍₂₀₎- Fe₍₁₀₎, Cu – Mn₍₂₀₎, Al – Ti₍₁₀₎ etc.

- deșeuri proprii de la elaborările precedente;

- modificatori: prealiaj Cu – Ti, prealiaj Cu – Zr, prealiaj Cu – B, fondanți modificatori preparați în laborator (borax calcinat + hexafluortitanatul de potasiu + hexafluorzirconatul de potasiu);

- fondanți preparați în laborator (mangal + NaCl, spărturi de sticlă + (2 – 3)% MnSO₄, Na₂B₄O₇ + NaCl, Na₂B₄O₇ + Na₂CO₃, Na₂CO₃ + KOH, 38% NaCl + 62% CaF₂, Na₃AlF₆ + ZnCl₂, sticlă + borax, KF + Na₃AlF₆, NaF + KF + AlF₃ etc. sau cumpărați de la firme specializate: CUPRAL, ALBRAL 2.3;

- fluxuri de protecție a băilor metalice de cupru – aliminiu: mangal, praf de cocs, negru de fum, spărturi de electrozi sau creuzete din grafit, grafit + șamot etc.

- degazanți: MnCl₂ , FeCl₃ , azot gazos;

- vopsele refractare;

- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Modificarea prin metode fizico- chimice a bronzurilor cu aluminiu” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondaților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 5000 g aliaj CuAl9T sau CuAl10Fe3T, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 1% la Cu, 2% la Al și de 1% la Fe;
- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 5000 g aliaj CuAl9T, sau CuAl10Fe3T;
- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondați sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;
- se verifică funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.
- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a cuprului primar sau secundar calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încărcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant, iar imediat după topire se adaugă restul de cupru care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de 1150 - 1200⁰C se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de 1160 - 1180⁰C, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a bronzului cu aluminiu prin una din următoarele metode:

a) modificarea cu prealiaje: Cu – Ti, Cu – Zr, Cu - B;

b) modificarea cu amestecuri de săruri: borax calcinat + hexafluortitanatul de potasiu + hexafluorzirconatul de potasiu;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de 1160 – 1180⁰C, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;
- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de bronz nemodificat, cât și din epruvetele de aliaj modificat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;
- se fac fotografiile digitale ale structurilor bronzurilor nemodificate și modificate;
- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale bronzurilor nemodificate și modificate;
- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din bronzurile modificate și nemodificate.

Controlul imediat al efectului modificării se poate face prin ruperea unei bare turnate de 20 x 20 x (100÷150) mm după 5 minute de la modificare. Modificarea este eficientă dacă bara se îndoaie suficient de mult înainte de rupere, iar structura este fină, fără defecte și cu aspect mat. Structurile grosolane și strălucitoare indică o modificare imperfectă.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale bronzurilor nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate cu diferiți modificatori. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

- a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;
- b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de bronz nemodificat, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;
- c) se fac fotografii digitale ale structurilor bronzurilor nemodificate și modificate;
- d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale bronzurilor nemodificate și modificate;
- e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din bronzurile modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{p0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, [daN/mm ²]		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea 16

MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE A ALIAJELOR CU EUTECTICE UȘOR FUZIBILE

1. Considerații generale

Modificarea reprezintă o metodă de tratament a topiturilor metalice înainte de turnare, care asigură obținerea unei structuri eutectice fine ce determină îmbunătățirea proprietăților de turnare și a caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor.

După ponderea pe care o au în structura cristalină a aliajului, modul de repartizare și influența asupra proprietăților fizico-mecanice și tehnologice, eutecticele se pot împărți în două grupe:

- eutectice formate între componenții de bază ai aliajului și unele impurități metalice sau compuși chimici ai acestora;
- eutectice ce se formează între componenții de bază ai aliajelor și reprezintă constituentul majoritar al acestora.

Eutecticele ce se formează între componenții de bază ai aliajului și unele impurități metalice, au caracteristici total diferite de cele ale aliajului și dacă la solidificare se separă pelicular la limita grăunților pot compromite proprietățile globale ale produsului. Cele mai frecvente, dar și cele mai dăunătoare, sunt situațiile când eutecticul care se distribuie, sub forma unor rețele continue, în jurul dendritelor primare are temperatura de topire mai joasă decât temperaturile de deformare plastică la cald sau de tratament termic. În cazul unei astfel de distribuții foarte dăunătoare sunt și eutecticele cu fragilitate ridicată sau cele care au rezistențele mecanice semnificativ mai scăzute decât ale aliajului.

Efectul negativ asupra proprietăților de deformare plastică la rece, dar mai ales la cald, precum și asupra caracteristicilor fizico-mecanice, este foarte important chiar și la concentrații extrem de scăzute ale impurității, dacă aceasta este insolubilă în aliaj.

Cele mai cunoscute cazuri de *eutectice ușor fuzibile* formate între componentii aliajului și impurități sunt:

- cuprul și aliajele cuprului formează eutectice ușor fuzibile cu plumbul și bismutul, ceea ce influențează nefavorabil proprietățile de deformare plastică. Astfel, la peste 0,02%Bi, cuprul fisurează la deformarea la cald, iar la conținuturi de peste 0,05%Bi acesta devine casant și la rece. Deoarece eutecticul Cu-Pb nu este fragil, deformarea la rece a aliajelor impurificate cu Pb este nesemnificativ diminuată, în schimb deformarea la cald este imposibilă la conținuturi mai mari de 0,02% Pb.

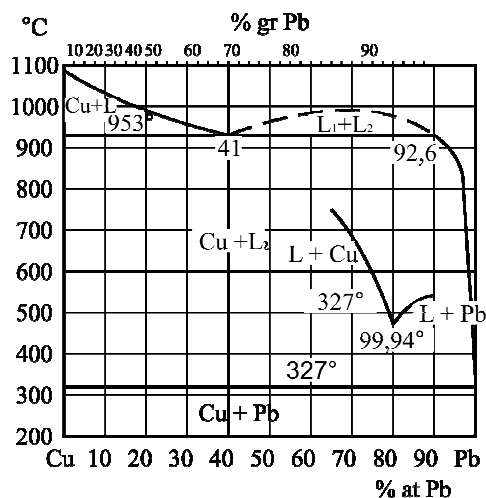


Figura1. Diagrama de echilibru a sistemului Cu- Pb

Din diagramele de echilibru prezentate în Figurile 1 și 2 se vede că atât plumbul cât și bismutul sunt insolubile în cupru în stare solidă și

formează eutectice ușor fuzibile cu 99,94%Pb și $T_{top} = 326^{\circ}\text{C}$, respectiv cu 99,8%Bi și $T_{top}=270,3^{\circ}\text{C}$, chiar și la concentrații extrem de scăzute ale acestor impurități.

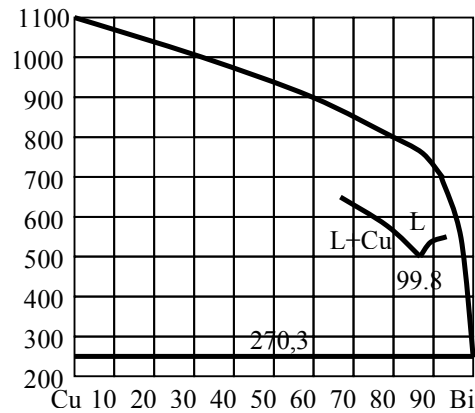


Figura 2. Diagrama de echilibru a sistemului Cu-Bi

Deoarece decoeziunea dendritelor este maximă atunci când pelicula de eutectic le îmbracă complet, ceea ce se întâmplă la sutimi și miimi de procent de impuritate, trebuie fie să limităm conținutul acestora în cupru la max. 0,005% Pb și max. 0,002% Bi, fie să aplicăm tratamente de modificare din stare lichidă.

- nichelul formează cu plumbul, bismutul și seleniul eutectice ușor fuzibile chiar și la concentrații foarte scăzute ale acestora. Deoarece aceste impurități sunt insolubile în nichelul solid, efectul nefavorabil asupra proprietăților de prelucrabilitate prin deformare este sesizabil la concentrații mai mari de 0,002-0,003%.

- zincul care conține mai mult de 0,002%Sn formează cu acesta eutectice ușor fuzibile ce se separă la limita grăunților și provoacă apariția fisurilor la deformarea plastică la cald.

- cromul nu solubilizează în stare solidă: plumb, bismut, cadmiu, bariu, mercur, litiu etc. și formează cu acestea eutectice ușor fuzibile care măresc fragilitatea și înrăutățesc prelucrarea prin deformare plastică.

Cele mai reprezentative cazuri de eutectice ușor fuzibile sau cu fragilitate ridicată formate între componentii aliajului și compușii chimici ai acestora sunt:

- eutecticul Ni-Ni₃S₂, la 20,01% sulf și $T_{top} = 645^{\circ}\text{C}$, se întâlnește în aliajele nichelului chiar și la 0,005%S, datorită solubilității sulfului de 0,02% la temperatura eutectică și a insolubilității totale la 535°C. Eutecticul are temperatura de topire cu 808°C mai mică decât cea a nichelului, este insolubil, se depune la limita grăunților cristalini și provoacă fragilitate la roșu în cazul prelucrării prin deformare plastică. S-a constatat că un conținut mai mare de 0,005% sulf coboară brusc plasticitatea nichelului și nu permite prelucrarea prin deformare plastică la cald.

- eutecticul Ni-Ni₃P are temperatura de topire de 880°C, deci mai mică decât temperatura de deformare plastică la cald și din acest motiv fosforul nu se utilizează ca dezoxidant la elaborarea aliajelor nichelului.

- eutecticul Cu-Cu₂S care conține 0,77% S și are temperatura de topire de 1067°C este fragil și produce defecte în produsele deformate la cald sau la rece. Sulfura cuproasă care în cuprul lichid are solubilitate maximă de 1,5%, la 1105°C, este total insolubilă în cuprul solid și se separă sub forma unor pelicule la limita grăunților chiar și la concentrații mici de sulf.

1.1. Modificarea eutecticelor ușor fuzibile din aliajele cuprului.

Cercetările au evidențiat faptul că la un conținut de 0,01 – 0,02%Bi cuprul nu mai poate fi prelucrat la cald, iar la un conținut de 0,04 – 0,05%Bi

acesta nu mai poate fi deformat nici la rece. Influența negativă a bismutului asupra caracteristicilor mecanice ale cuprului și ale alamelor α este prezentată în Figura 3, unde se vede că diminuarea caracteristicilor mecanice este semnificativă în zona concentrațiilor mici de bismut și este cu mult mai redusă la conținuturi mai mari ale acestuia.

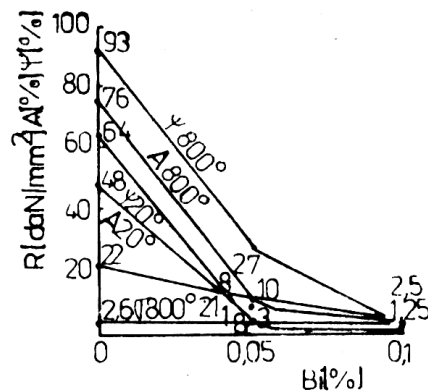


Figura3. Influența bismutului asupra caracteristicilor mecanice ale cuprului și ale alamelor α .

Cercetările au evidențiat că în cazul conținuturilor mici, de cca. 0,05%Pb în cupru și în alamele α se formează inserții foarte fine de eutectic sub formă de rețea la limita grăunților, ceea ce conduce la slăbirea legăturilor și apariția fisurilor la deformarea plastică la cald. Influența plumbului asupra caracteristicilor mecanice ale cuprului, la diferite temperaturi, este prezentată în Figura 4. Se constată că la conținuturi mici de plumb plasticitatea cuprului, la temperatura mediului ambiant, este doar ușor diminuată. La încălzire plasticitatea scade brusc și atinge minimul la 0,05%Pb.

Influența negativă a plumbului asupra caracteristicilor cuprului și a alamelor este amplificată de prezența altor impurități. Astfel, dacă alamele

cu 0,05%Pb sunt impurificate cu 0,05%Sb alungirea relativă se reduce de la 37% la 7%, iar gătuirea relativă se micșorează de la 50% la 6%.

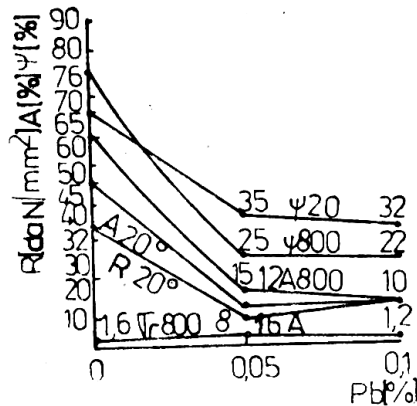


Figura 4. Influența plumbului asupra caracteristicilor mecanice ale cuprului la diferite temperaturi

Influența negativă a acestor metale este anulată prin modificare, operație care constă în tratarea topiturilor cu elemente care reacționează cu plumbul și bismutul pentru a forma compuși greu fuzibili, ce se vor distribui uniform în structura materialului metalic. Elementele de adaos trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să formeze compuși chimici cu plumbul și bismutul;
- să aibă o solubilitate cât mai mică în cupru sau în aliajele sale și să nu reacționeze cu ceilalți componenți ai aliajului;
- compușii chimici formați să aibă temperatura de topire mai mare decât temperatura de prelucrare la cald a cuprului sau a aliajelor sale;

Modificarea eutecticelor ușor fuzibile Cu-Bi din aliajele cuprului se recomandă să se realizeze cu litiu, calciu, ceriu, zirconiu, magneziu, iar a eutecticelor ușor fuzibile Cu-Pb cu ceriu, zirconiu și calciu. Adaosurile modificatoare formează cu bismutul și plumbul combinații chimice greu fuzibile fragmentate care nu sunt dăunătoare. Compușii formați (Tabelul 1)

trebuie să aibă temperaturi ridicate de topire, cel puțin mai mari ca temperatura prelucrării la cald a aliajelor de cupru și trebuie să se distribuie uniform la limita grăunților. Adaosurile nu trebuie să formeze compuși cu componenții aliajului și să nu aibă o solubilitate mare în cupru.

Adaosurile se introduc în topitură sub formă de prealiaje din sistemele: Cu-Ce, Cu-Zr, Cu-Ca, Cu-Mg, Cu-Li etc.

Tablul 1. Temperaturile de topire ale compușilor formați în urma modificării eutecticelor ușor fuzibile ale aliajelor cuprului.

Element modificare	Compus	Temperatura de topire, °C	Element modificare	Compus	Temperatura de topire, °C
Ca	Ca ₂ Pb	1110	Ca	BiCa	567
	CaPb	950		Bi ₂ Ca	928
	CaPb ₃				
Ce	Ce ₂ Pb	1200	Ce	Bi ₂ Ce	883
	CePb	1160		BiCe	1525
	CePb ₂	1140		Bi ₃ Ce ₄	1630
					BiCe ₃
Zr	Zr _x Pb _y	2000	Li	BiLi ₃	1145
	Zr ₃ Bi _x	2200	Mg	Bi ₂ Mg ₃	715

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a cuprului și a alamelor cu structură α impurificate cu plumb și bismut, prin diferite metode fizico – chimice și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestora.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizico–chimice a structurii de turnare a cuprului sau a alamelor α sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizico – chimice a structurii de turnare a cuprului sau a alamelor α sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Modificarea cuprului sau a alamelor α se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, prezentat în Figura 5.

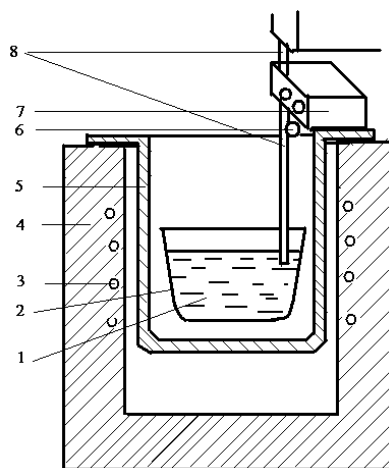


Figura 5. Schema instalației de laborator folosită la modificarea aliajelor:
1) topitură; 2) creuzet; 3) inductor; 4) căptușeală refractară; 5) incinta de lucru; 6) tub de ghidare; 7) alimentator; 8) bară refractară pentru agitare topiturii.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare

unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; cuprul sau alamele α , modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale cuprului sau ale alamelor α elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizico – chimice a cuprului sau a alamelor α sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Cu, Zn, Pb, Bi, Mn, Al, Fe, Ni etc.

- prealiaje: Cu - Ce, Cu - Zr, Cu - Ca, Cu - Mg, Cu - Li, Cu - Sb, Cu - Al, Cu - Ni, Cu - Mn, Cu - P etc.

- deșeuri proprii de la elaborările precedente;

- modificatori: prealiaj Cu – Ce, prealiaj Cu – Zr, prealiaj Cu – Ca, prealiaj Cu – Mg, prealiaj Cu – Li;

- fondanți preparați în laborator (mangal + NaCl, spărturi de sticlă + (2 – 3)% MnSO₄, Na₂B₄O₇ + NaCl, Na₂B₄O₇ + Na₂CO₃, Na₂CO₃ + KOH, 38% NaCl + 62% CaF₂, Na₃AlF₆ + ZnCl₂, sticlă + borax, 25%Na₂O + 65%SiO₂ + 10%NaCl etc. sau cumpărați de la firme specializate: CUPRIT, REXIL;

- fluxuri de protecție a băilor metalice de cupru sau alame: mangal, praf de cocs, negru de fum, spărturi de electrozi sau creuzete din grafit, grafit + șamot, spărturi de sticlă etc;

- degazanți: azot gazos, argon;

- vopsele refractare;

- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “MODIFICAREA PRIN METODE FIZICO – CHIMICE A ALIAJELOR CU EUTECTICE UȘOR FUZIBILE” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;

- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitatea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc;

- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 5000 g cupru sau alamă CuZn₃₂T, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 1,0% la Cu; 3,0%

la Ca; 3,0% la Mg; 3,0% la Ce; 3,0% la Li; 1,5% la Al; 1,5% la Zn; 2,0% la Zr; 2,0% la Mn; 1,0% la Fe;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 5000 g cupru sau alamă CuZn_{32}T ;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se verifică funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a cuprului primar sau secundar calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant, iar imediat după topire se adaugă restul de cupru care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de 1150 - 1200⁰C se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura,

după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de 1160 - 1180⁰C, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a cuprului sau a alamei CuZn₃₂T prin tratarea cu prealiaje: Cu – Ce, Cu – Zr, Cu – Ca, Cu – Mg, Cu – Li;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de 1160 – 1180⁰C, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de cupru sau alamă nemodificate, cât și din epruvetele de aliaj modificat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor cuprului sau ale alamelor nemodificate și modificate;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale cuprului sau alamelor nemodificate și modificate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea

A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din cupru sau alame modificate și nemodificate.

Controlul imediat al efectului modificării se poate face prin ruperea unei bare turnate de aliaj de 20 x 20 x (100 ÷ 150) mm după 5 minute de la modificare. Modificarea este eficientă dacă bara se îndoaie suficient de mult înainte de rupere, iar structura este fină, fără defecte și cu aspect mat. Structurile grosolane și strălucitoare indică o modificare imperfectă.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale cuprului sau alamelor nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate cu diferiți modificatori. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

- a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;
- b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele nemodificate, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;
- c) se fac fotografiile digitale ale structurilor nemodificate și modificate;
- d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale cuprului sau alamelor nemodificate și modificate;
- e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$,

alungirea A[%], duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din probele modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m; R_{0,2} și A vor fi centralizate în Tabelul 2.

Tabelul 2. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, [daN/mm ²]		R _m , [MPa]		R _{p0,2} , [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Lucrarea 17

MODIFICAREA PRIN METODE FIZICE A ALIAJELOR ALUMINIU – SILICIU

1. Considerații generale

Modificarea prin metode fizice se bazează pe fragmentarea dendritelor ca urmare a acțiunii unor forțe induse din exterior și transformarea acestor fragmente în noi germeni de cristalizare. Principalele metode sunt: vibrarea topiturii sau tratarea acesteia cu ultrasunete, agitarea electromagnetică și retopirea dendritelor prin agitare.

La aplicarea de vibrații armonice topiturilor metalice, energia punctelor materiale, respectiv a germenilor de cristalizare aflați în suspensie, va fi egală cu suma dintre energia cinetică și energia potențială a acestor puncte. Rezultă deci că energia germenilor de cristalizare este mai mare în cazul solidificării sub acțiunea undelor, decât în condițiile cristalizării statice. Sub acțiunea stării de vibrație, particulele mediului execută oscilații în jurul unei poziții de echilibru. Aceste oscilații se fac cu o viteză u , variabilă în timp, deci $u = f(t)$, ce este diferită de viteza de propagare a oscilațiilor în mediu. O oscilație cu elongația: $\Psi(t) = a \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$ va determina o oscilație a particulelor atinse de frontul de undă cu viteza u .

$$u = \omega a \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1)$$

Energia cinetică W_c a tuturor particulelor aflate în volumul unitar va fi:

$$W_c = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 \cdot a^2 \cdot \cos^2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (2)$$

Energia cinetică a particulelor din volumul V , de masă m și densitate $\rho = m/v$, va fi:

$$W_c = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \cdot a^2 \cdot \cos^2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3)$$

Valoarea medie a energiei cinetice este dată de valoarea medie a mărimii $\cos \left(t - \frac{x}{v} \right)$, adică $\frac{\sqrt{2}}{2}$ și este:

$$W_c = \frac{1}{4} \rho \omega^2 \cdot a^2 \quad (4)$$

Energia potențială medie este egală cu energia cinetică medie și deci energia medie din volumul unitar este:

$$W_t = W_c + W_p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \cdot a^2 \quad (5)$$

Dar $\omega = 2\pi\sigma$ și atunci:

$$W_t = \rho \pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot a^2 \quad (6)$$

Rezultă că pentru mărirea energiei germenilor de cristalizare se poate acționa asupra frecvenței și amplitudinii oscilațiilor la care este supusă topitura.

La creșterea amplitudinii, forța de inerție și energia de impact se măresc, iar procesul de fragmentare devine mai pronunțat. Amplitudinile recomandate sunt de ordinul zecimilor de milimetru pentru vibrații de joasă frecvență. La amplitudini mai mari apar fenomene de rarefiere a materialului turnat.

Atât în condițiile nucleerii neomogene, cât și în timpul dezvoltării germenilor de cristalizare, apar presiuni care acționează asupra ramurilor dendritice în curs de formare, determinând fragmentarea acestora. Presiunea exercitată de undele a căror direcție de propagare formează unghiul de incidență θ cu o anumită suprafață este dată de relația lui L. Brillouin:

$$P = \omega \left[\cos^2 \left(\theta + \frac{\rho}{v} \frac{du}{dp} \right) \right] \quad (7)$$

Conform ultimei relații, presiunea exercitată asupra dendritelor în formare este proporțională cu energia de vibrație și direcția de propagare a undelor. Pentru fragmentarea dendritelor sunt necesare energii mari precum și orientarea frontului de unde perpendicular pe axele dendritice. Fragmentele dendritice desprinse devin la rândul lor noi germeni de cristalizare. Numărul germenilor de cristalizare va crește exponențial cu timpul, generându-se sub acțiunea vibrațiilor o structură mult mai fină în comparație cu cea rezultată în condiții obișnuite.

Ruperea zonelor proeminente din frontul de solidificare intensifică schimbul de căldură convectiv și conductiv și micșorează timpul de trecere al materialului lichid în stare solidă, efectul fiind mai puternic la materialele cu tendință mare de transcristalizare și cu rezistență mecanică scăzută. La mărirea zonei bifazice lichid-solid, ce depinde de intervalul de solidificare și de gradientul de temperatură pe secțiunea peretelui piesei, suprafața frontului de solidificare devine din ce în ce mai neregulată și mai fragilă și procesul de producere a fragmentelor de fază solidă se intensifică. Deși procesele de transfer termic și de masă se intensifică în condițiile vibrației, la mărirea timpului de vibrație, cercetătorii japonezi de la Universitatea din Tokyo consideră că influența deosebită asupra fineții structurii cristaline o

are perioada de vibrare până la sfârșitul turnării și nu până la solidificarea completă. Aceasta pare să confirme teoria separației și a multiplicării cristalelor lansată de Atsumi Ohno în 1984 în Japonia.

Experiența folosirii practice a vibrațiilor la turnare demonstrează că folosind această metodă se pot elimina sau reduce considerabil defectele ce apar frecvent, ca: porozitatea datorată gazelor, neomogenitatea chimică, neomogenitatea structurală, crăpăturile la cald etc.

O aplicație deosebit de importantă a inducției electromagnetice este tratarea prin agitare a topiturilor metalice. Utilizarea câmpurilor magnetice pentru agitarea unui volum de metal lichid în timpul solidificării este cel mai bun exemplu al prelucrării electromagnetice a materialelor lichide.

Pentru elucidarea mecanismelor ce stau la baza antrenării metalului topit sub influența câmpului electromagnetic se apelează la două modele de antrenare, unul referitor la o baie de mare adâncime antrenată prin efectul câmpului unui inductor plasat sub ea și al doilea model, specific aplicației de agitare electromagnetică la turnarea continuă a semifabricatelor.

Dinamica unui lichid incompresibil, caracterizat de densitatea ρ și de viscozitatea ν , sub acțiunea unei forțe electromagnetice de densitate \vec{f} , este exprimată prin ecuația Navier-Stokes:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \text{grad} \vec{v}) = \rho \nu \Delta \vec{v} - \text{grad} P + \vec{f} \quad (8)$$

în care:

\vec{v} - vectorul vitezei; P - presiunea locală; Δ - operatorul Laplace.

În regim de curgere staționar și în ipoteza că viteza este orientată după direcția de deplasare a undei câmpului progresiv, $\vec{v}(v(z),0,0)$ proiecția ecuației Navier-Stokes pe axele 0x, 0z dă ecuațiile:

$$\rho v \frac{d^2 v}{dz^2} - \frac{\partial P}{\partial x} + f_x = 0 \quad (9)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + f_z = 0 \quad (10)$$

Din analiza ecuației 10 rezultă:

$$P = f_z(z)dz + P_1(x) \quad (11)$$

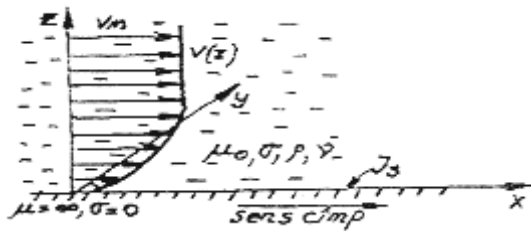
Înlocuirea expresiei (11) în ecuația (9) impune ca $P_1(x)$ să fie de forma $P_1(x) = P_0(x) + P_1$, în care P_0 și P_1 sunt constante. Deci ecuația (9) devine:

$$\rho v \frac{d^2 v}{dz^2} = P_0 - f_x \quad (12)$$

unde $P_0 = \frac{\partial P}{\partial x}$ este gradientul longitudinal al presiunii statice în fluid.

Pentru un model simplu de antrenare electromagnetică, semispațială, a unui lichid electroconductor ca cel prezentat în Figura 1, pentru antrenare în plan orizontal $P_0 = 0$, iar condițiile la limită pentru $v(x)$ sunt:

$$v(0)=0 \quad \text{și} \quad \left. \frac{dv}{dz} \right|_{z \rightarrow \infty} = 0 \quad (13)$$



Figural. Reprezentarea antrenării electromagnetice în semispațiu

Dacă forța:

$$f_x = \frac{1}{2} \alpha \mu J_{sm}^2 \frac{\varepsilon^{-\frac{2z}{\delta_p}}}{\sqrt{1 + \sigma^2}} \quad (14)$$

o exprimăm sub forma:

$$f_x = f_{xm} \cdot e^{-\frac{2z}{\delta_p}} \quad (15)$$

în care:

f_{xm} - valoarea forței f_x la suprafața $z = 0$ a semispațiului;

J_{sm} - strat de curent la suprafața miezului magnetic;

$\varepsilon = \frac{\omega \mu \sigma}{\alpha^2}$ - numărul Reynolds magnetic;

δ_p - adâncimea de pătrundere a câmpului progresiv;

$\alpha = \frac{\pi}{\tau}$, τ - semiperioada;

μ - permeabilitatea magnetică;

σ - conductivitatea electrică,

și după înlocuirea în ecuația (12) integrând în condițiile limită (13) se obține:

$$v_{(z)} = \frac{f_{xm} \delta_p^2}{4\rho\sigma} \left(1 - e^{-\frac{2z}{\delta_p}} \right) \quad (16)$$

Valoarea maximă a vitezei de antrenare a semispațiului este:

$$v_m = \lim_{z \rightarrow \infty} v_{(z)} = \frac{f_{xm} \delta_p^2}{4\rho\sigma} \quad (17)$$

și se atinge la distanța de $(1,5-2) \cdot \delta_p$ de la suprafața semispațiului.

Prin urmare, viteza de antrenare a metalului lichid pentru semispațiul considerat este proporțională cu pătratul stratului de curent, J_{sm} și prin intermediul mărimilor α , ε și δ_p depinde de pasul polar τ al inductorului și de frecvența câmpului. Totodată, viteza v_m este cu atât mai mare cu cât pătrunderea câmpului este mai profundă, adică cu cât δ_p are valori mai mari.

Metalul este antrenat prin efectul forțelor electromagnetice pe o distanță de ordinul adâncimii de pătrundere, în rest curgerea este rezultatul antrenării prin efectul forțelor de viscozitate.

Modelul din Figura 2 este corespunzător curgerii miezului lichid al unui semifabricat, ca în cazul turnării continue, supus agitării electromagnetice în câmpul progresiv al unui inductor liniar.

În acest caz, condițiile de determinare a constantelor de integrare ale ecuației (12) și ale necunoscutei P_0 sunt:

$$v_{(0)}=0, v_{(b)}=0 \text{ și } \int_0^b v_{(z)} dz = 0 \quad (18)$$

Metalul lichid este antrenat în sensul câmpului în zona din vecinătatea inductorului și curge în contracurent în partea opusă. Soluția ecuației (12) în condițiile limită (18) evidențiază că, pentru un strat de curent J_{sm} și dimensiuni geometrice date, există un set de valori optime ale

pasului polar τ al inductorului și frecvenței de alimentare pentru care viteza v_m este maximă. La valori mici ale pasului polar, câmpul inductor este slab în zona lichidă, iar pentru valori prea mari variația forței electromagnetice pe grosimea miezului lichid este redusă, ceea ce nu favorizează curgerea în contracurent a lichidului.

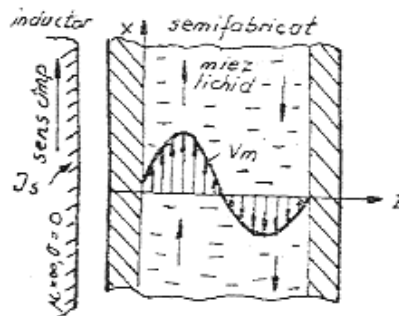


Figura 2. Modelul antrenării electromagnetice a unui semifabricat de tip lingou în câmpul progresiv al unui inductor liniar

Agitarea este maximă dacă forța f_x are valori mari în planul $x = 0$ și minime în zona $z > b/2$. La frecvențe prea mari ale câmpului atenuarea lui în peretele solid al semifabricatului este puternică, iar dacă frecvența este prea mică, forța electromagnetă, ce este proporțională cu frecvența, are valori reduse.

Mișcarea metalului lichid în procesul de solidificare, sub acțiunea câmpului electromagnetic, conduce la ruperea vârfurilor dendritelor crescute sau la topirea lor superficială. Fragmentele de dendrite rupte, ce nu se retopesc în aliajul lichid, măresc numărul germinilor de cristalizare și contribuie la formarea unei structuri mai fine.

Agitarea electromagnetică a topiturilor metalice are efect favorizant asupra eliminării incluziunilor nemetalice ca urmare a creșterii dimensiunii

lor în urma ciocnirii și coalescenței. În afara efectului de eliminare, agitarea influențează forma și dimensiunile incluziunilor, determinând rotunjirea și finisarea suprafeței celor ce nu se supun procesului de coalescență și rămân încorporate în metal.

Rezultate deosebite s-au înregistrat la agitarea electromagnetică a topiturilor metalice tratate în vid. Omogenizarea termică și chimică și intensificarea proceselor de transfer de masă reduc durata tratamentului, pierderile de metal prin vaporizare, consumul de energie sau căderea de temperatură.

Firma suedeză ASEA construiește cuptoare electrice cu arc echipate cu agitatoare trifazate de inducție ce asigură o viteză de circulație a aliajului de 0,5-1,5 m/s. Inductoarele au pas polar mare, $\tau = 1-1,5$ m, și sunt alimentate la frecvențe reduse, $f = 0,2-1,5$ Hz, astfel că pătrunderea câmpului electromagnetic în baie să fie cât mai profundă și antrenarea metalului să se realizeze în întregime. Agitarea electromagnetică accelerează transferul de masă în cazul proceselor de aliere, ceea ce va reduce timpul necesar omogenizării compoziției chimice. Se poate asigura totodată transportul bucăților metalice solide de la periferie în baie, ceea ce va mări viteza de topire precum și deplasarea masei lichide către ușa de vizitare pentru o mai bună evacuare a zgurei. Deosebit de interesantă este utilizarea inducției electromagnetice la elaborarea aliajelor din metale nemiscibile sau cu miscibilitate scăzută, la care agitarea în câmp magnetic progresiv vertical realizează omogenizarea chimică.

Aplicații practice industriale de mare importanță s-au înregistrat în domeniul turnării continue a metalelor și aliajelor. Cercetările au dovedit creșterea radială a cristalelor de formă dendritică, apariția în zona centrală a

lingoului a unor porozități de tip retasă și o segregatie radială a elementelor. Perfecționarea tehnologiei de turnare continuă impune agitarea electromagnetică în faza de solidificare, ceea ce va determina mișcarea convectivă a metalului topit în fața frontului de solidificare., ruperea dendritelor și eliminarea supraîncălzirilor reziduale. Agitarea se poate realiza în câmp învârtitor, când se creează o mișcare de rotație a metalului lichid în jurul axei, sau în câmp progresiv, când mișcarea metalului topit este de tip “reverse-flow”, adică într-un sens în vecinătatea frontului și în sens contrar în axă. Se consideră că omogenizarea axială în câmp progresiv este mai bună și tendința de segregare mai redusă.

Cele mai importante aliaje ale aluminiului sunt aliajele aluminiu-siliciu, care se folosesc foarte mult în turnătorii deoarece au proprietăți de turnare și caracteristici tehnologice superioare în comparație cu alte aliaje de aluminiu. Aliajele binare, cunoscute și sub denumirea de siluminuri, au caracteristici mecanice satisfăcătoare, sunt impermeabile la lichide și gaze, sunt insensibile față de fisurile la cald, se sudează bine oxiacetilenic și au rezistența la coroziune mai bună decât cea a aluminiului datorită formării unei pelicule protectoare de $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Aliajele binare Al-Si, conform diagramei de echilibru din Figura 3, nu sunt practic durificabile prin tratament termic.

Diagrama de echilibru prezentată în Figura 3 arată domeniul de existență al acestor aliaje care sunt de tipul aliajelor complet miscibile în stare lichidă și parțial miscibile în stare solidă, fără să formeze compuși intermetalici. Se observă din diagramă că la temperatura de 577°C și concentrația de 11,7% Si se formează eutecticul care poate cristaliza sub formă de lamele, de ace fine, sau sub formă globulară după efectuarea

modificării. Soluția solidă α , care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate, indică o solubilitate maximă de 1,65%Si în aluminiu la temperatura de 577⁰C și de numai 0,005%Si la 20⁰C.

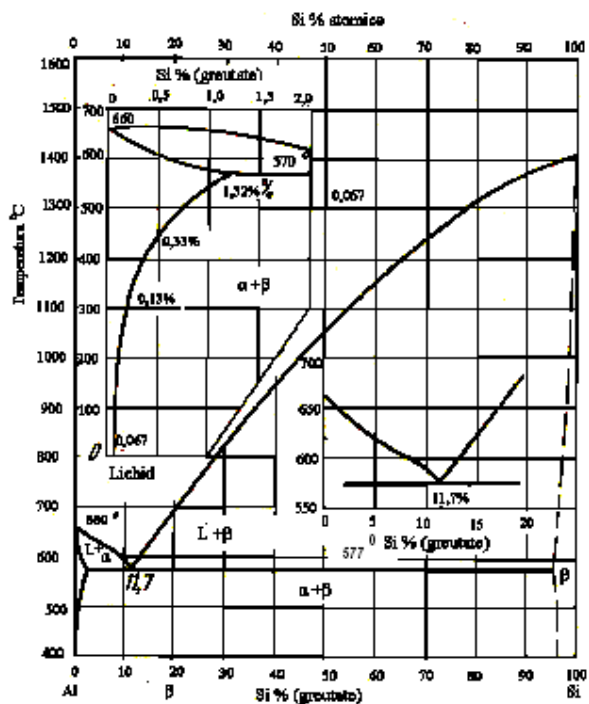


Figura 3. Diagrama de echilibru a sistemului Al-Si.

Aliajele aluminiu - siliciu hipoeutectice, cu structură α + eutectic, au conținutul de siliciu mai mic de 11,7%Si, iar aliajele hipereutectice, cu structură β + eutectic, au conținutul de siliciu mai mare de 11,7% Si. La aliajele hipereutectice, în condițiile unei răcirii lente, separă Si primar sub forma unor cristale mari, colțuroase, care imprimă duritate și fragilitate.

Aliajele eutectice (cca. 12% Si), turnate în forme metalice din fontă cenușie și miezuri din oțel carbon sau oțeluri refractare, au o foarte bună

rezistență la coroziune și sunt superioare celor hipoeutectice din punct de vedere a fluidității și compactității.

Siluminurile folosite în industrie conțin 3-13% Si și pentru îmbunătățirea unor proprietăți ale lor se introduc mici adaosuri de magneziu, cupru, mangan și alte elemente. După cum se știe, odată cu apariția eutecticului acicular sau cu separarea siliciului primar, la conținuturi de 12-13 % Si, aliajul devine fragil și proprietățile se înrăutățesc.

Eutecticul Al – Si cristalizat normal conține cristale cenușii de siliciu sub formă de lamele incluse dezordonat în matricea de soluție solidă. La siluminurile elaborate din metale pure cristalele de siliciu apar în soluția solidă α sub formă de ace. În cazul în care conținutul de fosfor din silumin este mai ridicat decât cel normal de 0,00015%, eutecticul cristalizează anormal ceea ce conduce la o îmbunătățire a caracteristicilor mecanice. Uneori siliciul poate cristaliza sub forma unor structuri tranzitorii de tip radial sau chiar dendritic.

Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale siluminurilor se obține la modificarea structurii de turnare prin tratarea fizică a topiturii cu ultrasunete sau agitare electromagnetică.

2. Scopul lucrării

Scopul lucrării este de a efectua modificarea structurii de turnare a diferitelor tipuri de siluminuri prin tratarea fizică cu ultrasunete sau tratarea prin agitare electromagnetică topiturilor în curs de solidificare și de a analiza efectul modificării asupra structurii și caracteristicilor fizico – mecanice ale acestor aliaje.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind modificarea prin metode fizice a structurii de turnare a siluminurilor sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de modificare prin metode fizice a structurii de turnare a aliajelor Al eutectice sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) cuptor de încălzire și topire cu creuzet care eventual poate asigura atmosfere neutre de protecție. Modificarea siluminurilor se realizează în creuzetul de carborund al cuptorului electric cu încălzire prin inducție electromagnetică prezentat în Figura 4, în instalația de solidificare în câmp vibrator prezentată în Figura 5, sau în instalația de solidificare sub agitare electromagnetică prezentată în Figura 6.

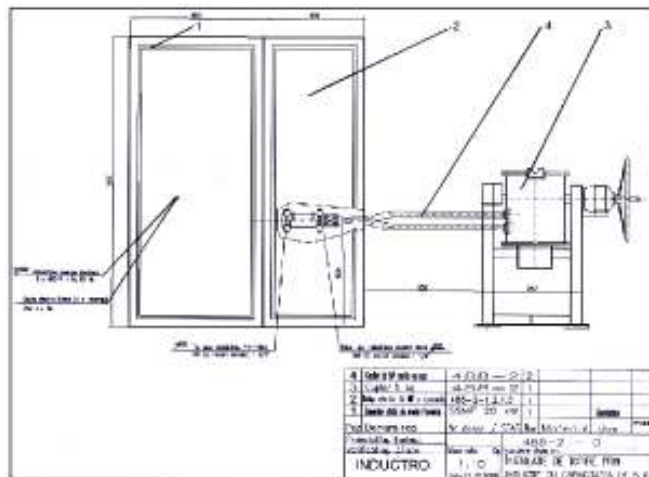


Figura 4. Cuptor de încălzire prin inducție: 1- generator static de medie frecvență; 2- dulap electric de MF și comandă; 3- cuptor de 5 kg; 4- cabluri de MF răcite cu apă

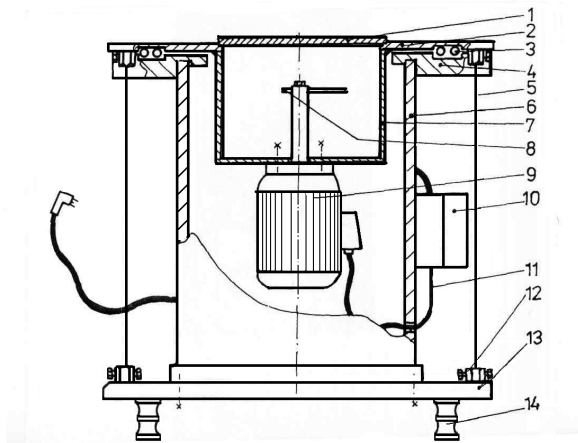


Figura 5. **Schema instalației de solidificare a aliajelor în câmp vibrator:**
 1-capac de protecție; 2-masă vibratoare; 3-bile; 4-ghidaj; 5-cabluri; 6-corp vibrator; 7-carcasă excentric; 8-excentric; 9-motor; 10-contactor; 11-cablu alimentare; 12-șuruburi prindere cabluri; 13-placă de bază; 14-picioare susținere.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării aliajelor (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; aliajele aluminiu – siliciu, modificate și nemodificate, se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale siluminurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

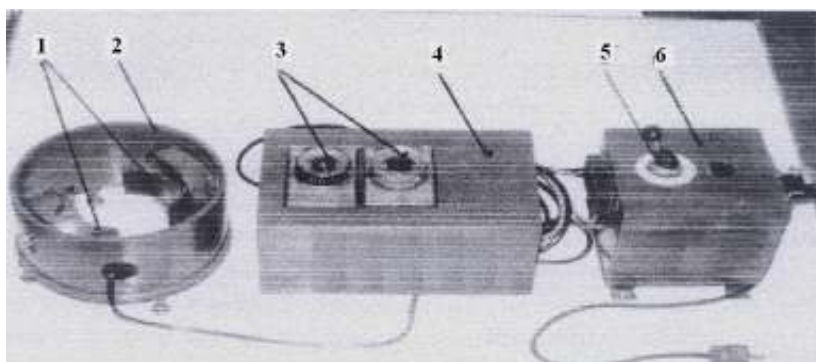


Figura 5. **Schema instalației de solidificare a aliajelor sub influența agitației electromagnetice:** 1- polii inductori ai electromagnetului ; 2- carcasă cilindrică metalică ; 3- releu de temporizare ; 4- schimbător de polaritate ; 5- priză reglabilă ; 6- transformator de putere.

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind modificarea prin metode fizice a aliajelor Al – Si sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Mg etc.

- siliciu tehnic pur;
- prealiaje: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg etc.
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%Nacl + 10%KCl + 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);
- fluxuri de protecție a băilor metalice pe bază de aluminiu;
- degazanți: C₂Cl₆ , BCl₃ , KCl , MnCl₂ , ZnCl₂ , azot gazos, argon;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Modificarea prin metode fizice a aliajelor aluminiu – siliciu ” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitarea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g aliaj Al – Si, luându-se în considerare că pentru condițiile de elaborare în laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 1,5% la Al și de 2,0% la Si;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare elaborării unei șarje de 1000 g aliaj Al – Si;
- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;
- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.
- se verifică funcționarea instalației de solidificare în camp vibrator sau a celei de solidificare sub influența agitării electromagnetice;
- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor elaborate, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea cuptorului;
- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a aluminiului primar sau secundar calculat;
- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;
- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant universal, iar imediat după topire se adaugă restul de aluminiu care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;
- la temperatura de 730 – 750⁰C se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se înclină creuzetul ușor și se îndepărtează zgura, după care se

aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de modificare aplicat;

- se efectuează modificarea structurii primare de turnare a aliajului Al – Si elaborat, prin una din următoarele metode:

- a) modificarea sub influența câmpului electromagnetic produs de cuptorul electric cu încălzire prin inducție electromagnetică;

- b) modificarea în instalația de solidificare în câmp vibrator;

- c) modificarea în instalația de solidificare sub influența câmpului electromagnetic;

- după 5 – 10 minute de la modificare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico – mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și aliaj modificat;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaj modificat pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

Controlul imediat al efectului modificării se poate face prin ruperea unei bare de aliaj de 20 x 20 x 100 – 150 mm turnată după 5 minute de la modificare. Modificarea este eficientă dacă bara se îndoaie suficient de mult înainte de rupere, iar structura este fină, fără defecte și cu aspect mat. Structurile grosolane și strălucitoare indică o modificare imperfectă.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale siluminurilor nemodificate cu cele ale acelorași aliaje modificate prin una din metodele prezentate mai sus. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

- a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj nemodificat și în cele ale aliajelor modificate;
- b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de silumin nemodificat, cât și din epruvetele de aliaje modificate și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;
- c) se fac fotografii digitale ale structurilor siluminurilor nemodificate și modificate;
- d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale siluminurilor nemodificate și modificate;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din siluminurile modificate și nemodificate.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de modificare, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența modificatorilor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 3.

Tabelul 3. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. crt.	Tipul de modif.	Duritate HB, [daN/mm ²]		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]		A [%]	
		nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.	nemodif.	modif.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

Lucrarea 18

MODELAREA PROCESULUI DE SOLIDIFICARE

1. Considerații generale asupra solidificării pieselor turnate

La trecerea aliajului din stare lichidă în stare solidă au loc două procese: cristalizarea și solidificarea.

Cristalizarea reprezintă formarea cristalelor izolate și a zonelor cristaline pe secțiunea peretelui piesei.

Solidificarea este procesul legat de dinamica creșterii fazei solide în detrimentul fazei lichide până la dispariția completă a celei din urmă. Deci solidificarea este procesul de trecere a aliajului (la scară microscopică) din stare lichidă în stare solidă datorită răcirii lui, fără a se lua în considerare formarea microstructurii.

Din punctul de vedere al modului de creștere a zonei în curs de solidificare, procesul poate fi:

- solidificare succesivă (exogenă) când suprafața stratului solidificat (frontul de solidificare) se deplasează succesiv de la suprafața de contact aliaj-formă spre axa termică;
- solidificare în volum (endogenă) când frontul de solidificare nu este continuu și nu se deplasează succesiv spre axa termică, adică faza solidă apare în anumite zone ale fazei lichide din interiorul peretelui piesei turnate.

Din punct de vedere al vitezei de creștere a zonei solidificate, procesele de solidificare pot fi:

- solidificare continuă;
- solidificare discontinuă (intermitentă).

Din punct de vedere al structurii zonei în curs de solidificare, procesul poate fi împărțit în:

- solidificare fără zonă bifazică, atunci când faza lichidă vine în contact direct cu faza solidă;
- solidificare cu zonă bifazică, atunci când între zona solidificată și zona lichidă se interpune cu zona bifazică (cristalite solide și faza lichidă).

2. Scopul lucrării

Lucrarea are în vedere însușirea de către studenți a cunoștințelor și a deprinderilor necesare determinării câmpurilor termice din piesele turnate în vederea proiectării tehnologiei de turnare cu consumuri minime de material și energie. De asemenea, rezultatele unei astfel de experiment pot fi folosite pentru verificarea unor modele de simulare a solidificării.

3. Materiale și aparatură

Pentru realizarea lucrării sunt necesare următoarele:

- model piesă turnată;
- amestec de formare;
- rame și SDV-uri pentru formare;
- cuptor de elaborare cu încălzire prin inducție, capacitate 0,5 dm³;
- materii prime și auxiliare pentru elaborare aliaj: lingou aluminiu puritate tehnică, deșeuri aliaje AlSi, AlMg, fondanți de protecție, dezoxidare și degazare;
- sistem de măsurare și înregistrare temperatură cu 12 canale, termocuple.

4. Modul de desfășurare a lucrării

Elaborarea aliajului se realizează într-un cuptor de topire cu încălzire prin inducție cu frecvența de 1000 Hz și creuzet din carborund (Figura 1).



Figura 1. Cuptor cu încălzire prin inducție utilizat pentru elaborarea aliajului turnat.

Încărcătura este constituită din:

- lingou de aluminiu de puritate tehnica;
- lingou de aliaj ATSi12;
- deșeu aliaj AlMg10.

După efectuarea calcului șarjei, în cuptor se introduc deșeurile proprii și deșeurile de aluminiu.

După încălzire, dar înainte de a apare faza lichidă, se adaugă fondant de protecție și dezoxidare cu conținut de NaCl, KCl, NaF, Na_3AlF_6 în proporție de 1% din încărcătură, produs de S.C. BENTOFLEX S.A. Satu Mare, sub denumirea de flux I-2. În baia formată se vor adăuga cantitățile calculate de silumin ATSi12 și feromangan. După prelevarea unei probe și efectuarea analizei chimice rapide, utilizând un spectometru, se vor introduce în baia metalică adaosurile de ajustare a compoziției chimice cu

deșeuri curate de aliaj AlMg10 și lingou de aluminiu tehnic. Simultan cu acestea se vor adăuga și fondanții de degazare și anume 0,5% Degazal.

Înainte de turnare se supraîncălzește baia metalică la 750°C , se îndepărtează zgura, se prelevează proba finală pentru analiza chimică și se deversează aliajul necesar turnării unei piese într-o oală de mână căptușită cu material refractar.

După îndepărtarea ultimelor resturi de zgură de pe suprafața aliajului din oala de turnare, se va turna aliajul lichid prin deversare gravitațională în pâlnia de turnare de la o înălțime cât mai mică, micșorând astfel și durata turnării.

Înainte de turnare se vor monta în formă termocuplele sistemului de măsurare și achiziție fiind folosite doar 9 canale de înregistrare secvențială a temperaturii din 5 în 5 secunde.

La experimente se vor utiliza nouă termocuple amplasate în cavitatea forme conform Figurii 2.

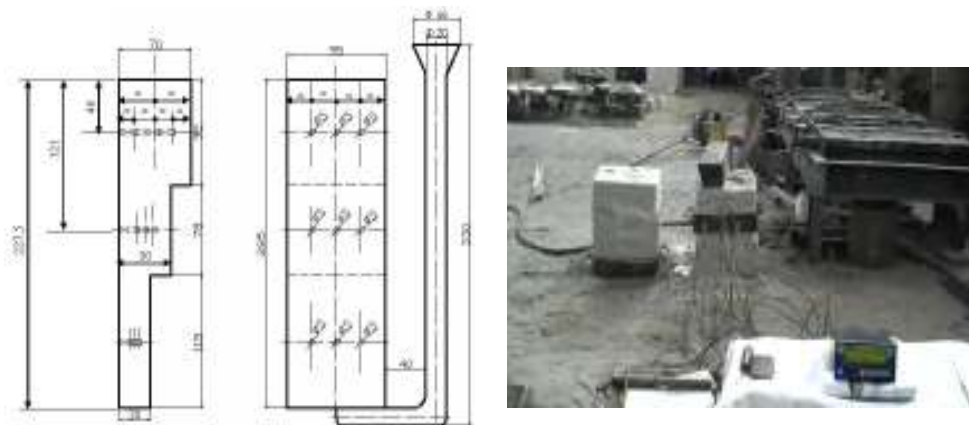


Figura 2. Modul de amplasare a termocuplelor în piesa analizată

5. Date experimentale și interpretări

Procesul de solidificare va fi analizat folosind curbele de răcire experimentale în punctele arătate mai sus și prin vizualizarea macroretasurilor existente în volumul piesei prin secționarea acesteia în zonele de interes.

Datele experimentale înregistrate vor fi transferate pe un calculator personal după care vor fi analizate și prelucrate în vederea trasării curbelor de răcire în fiecare punct considerat din interiorul piesei. Se vor analiza comparativ curbele de răcire în diferite puncte ale piesei turnate. Folosind valorile temperaturii la aceeași timp față de momentul demarării turnării piesei se poate vizualiza grafic câmpul termic în piesa turnată.

Curbele de răcire vor fi similare celor arătate în Figura 3.

Pentru vizualizarea macroretasurilor piesa turnată va fi secționată după plane ce includ și punctele în care s-a măsurat temperatura. În funcție de tehnologia de turnare adoptată poziția macroretasurilor se poate modifica, după cum se poate observa în Figura 4.

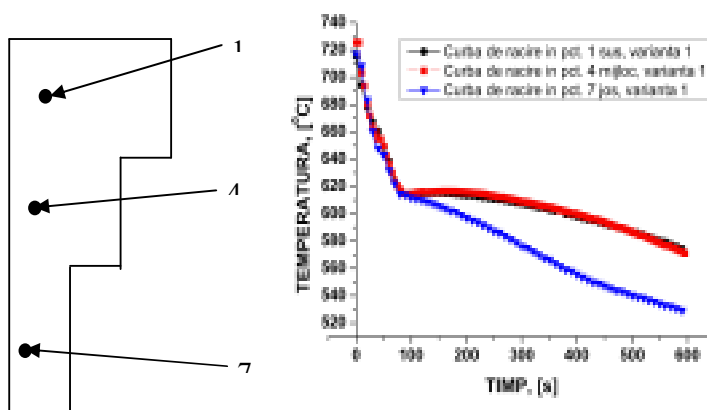


Figura 3. Curbe de răcire în diferite puncte ale piesei turnate.

6. Mod de lucru și ordinea operațiilor pentru efectuarea lucrării

a. Se face calculul șarjei pentru un aliaj ATNSi7Mg și se pregătește materia primă prin debitare mecanică la dimensiuni adecvate cuptorului de elaborare în cantitățile obținute prin calcul.

b. Se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de metal sau zgură rămase de la topirile anterioare; se controlează funcționarea instalațiilor de încălzire, absorbție a gazelor, de măsurare a temperaturii.



a)



b)



c)



d)

Figura 4. Poziția și dimensiunile macroretasurilor în funcție de poziția de turnare a piesei: a și b) varianta 1; c și d) varianta 2.

c. Se pregătesc oala de turnare, modelele și formele necesare pentru efectuarea lucrării.

d. Se montează termocuplele conform desenului de mai sus și se verifică funcționarea sistemului de măsurare și înregistrare a temperaturii; se fac eventualele corecții de programare a sistemului, dacă acest lucru este necesar.

e. Se încarcă șarja în cuptor și se elaborează aliajul conform operațiilor descrise la punctul 4.

f. Se toarnă gravitațional aliajul lichid în forma deja pregătită, având sistemul de măsurare și înregistrare în stare de funcționare.

g. Se urmărește pe aparatul sistemului evoluția temperaturii în masa piesei turnate; măsurarea și înregistrarea se oprește după ce temperatura atinge valoarea de 400°C în toate punctele de măsurare.

h. Se transferă datele experimentale la un calculator personal pe care există instalat programul de prelucrare a valorilor temperaturii. Se extrag valorile temperaturii corespunzătoare fiecărui punct în funcție de timp și se salvează în fișiere de date ce pot fi prelucrate ulterior cu programe de calcul tabelar și reprezentări grafice (de ex. EXCEL).

i. Se reprezintă grafic curbele de răcire corespunzătoare fiecărui punct; se reprezintă grafic distribuția temperaturii la diferite momente de timp în diverse secțiuni ale piesei ce conțin punctele în care s-a efectuat măsurarea temperaturii.

j. După răcirea și dezbaterea piesei din formă, aceasta se va secționa prin procedee mecanice în vederea vizualizării zonelor cu macro și microretasuri.

7. Interpretarea rezultatelor și conținutul referatului

a. Se vor trasa curbele de răcire și graficele de distribuție a temperaturii la diverse momente de timp.

b. Se vor lua imagini fotografice ale macro și microretasurilor existente în piesa turnată.

c. Folosind curbele de răcire, graficele de distribuție a temperaturii la diferite momente de timp și poziția macro și microretasurilor vor fi formulate concluzii privind evoluția câmpului de temperatură în piesa turnată și măsuri de îmbunătățire a tehnologiei de formare-turnare în vederea evitării defectelor de turnare datorate solidificării.

Lucrarea nr. 19

DETERMINAREA UNGHIULUI DE CONTACT DINTRE ALIAJUL DE MATRICE ȘI MATERIALUL DE RAMFORSARE

1. Considerații generale

Fenomenele superficiale de adsorbție ce au loc între topiturile metalice și corpurile solide cu care vin în contact au mare importanță în procesele de elaborare, rafinare, turnare și în special în cele de fabricație a materialelor compozite. În cazul adsorbției fizice peliculele formate la suprafața solidului au aceeași compoziție cu cea a masei de lichid, iar în cazul chemosorbției ele au compoziția diferită de a celor două faze. În funcție de tipul de adsorbție lichidele sunt fixate pe suprafața solidului prin legături fizice sau de valență. Uneori la suprafața lichidului pot avea loc reacții cu formare de compuși chimici ce trec în faza lichidă.

Dacă contactul dintre suprafața solidă și topitura metalică se face în prezența unei faze gazoase la limita de separație dintre cele trei faze: lichid (L), solid (S) și gaz (G), se stabilește un echilibru între tensiunile interfaciale conform relației lui Young:

$$\sigma_{SL} = \sigma_{SG} - \sigma_{LG} \cos\theta \quad (1)$$

în care, conform Figurii 1, mărimile σ_{SL} , σ_{SG} și σ_{LG} sunt tensiunile interfazice la limitele solid - lichid, solid - gaz și lichid - gaz, iar θ este unghiul de contact, definit ca unghiul format de tangentele la suprafața de contact lichid-gaz și lichid-solid.

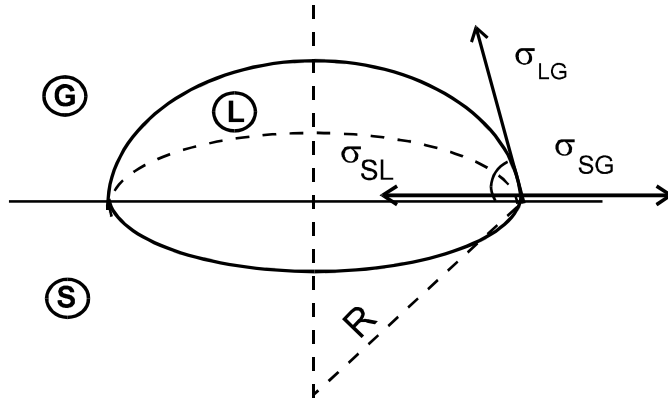


Figura 1. **Reprezentarea schematică a tensiunilor interfazice și a unghiului de contact pentru condițiile de echilibru ale unui sistem format din trei faze.**

Cazurile limită, neîntâlnite în condiții practice, corespund pentru:

- a) $\theta = 0^\circ$ și $\cos\theta = 1$, adică $\sigma_{SL} = \sigma_{SG} - \sigma_{LG}$, când lichidul va uda complet solidul;
- b) $\theta = \pi$ și $\cos\theta = -1$, adică $\sigma_{SL} = \sigma_{SG} + \sigma_{LG}$, când lichidul se strânge sub forma unei sfere și nu udă de loc solidul.

În realitate, $0^\circ < \theta < \pi$, deci $-1 < \cos\theta < 1$, adică $-1 < \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LG}} < 1$ corespunzător unei umectări sau neumectări parțiale.

Dacă pentru $\theta = 0^\circ$, $\sigma_{SL} = \sigma_{SG} - \sigma_{LG}$, atunci între 0° și $\pi/2$ este valabilă relația:

$$\sigma_{LG}(1 - \cos\theta) > 0 \quad (2)$$

corespunzătoare umectării parțiale, iar dacă $\theta = \pi$, $\sigma_{SL} = \sigma_{SG} + \sigma_{LG}$, atunci între $\pi/2$ și π este valabilă relația:

$$\sigma_{LG}(1 + \cos\theta) > 0 \quad (3)$$

corespunzătoare neumectării parțiale.

Fenomenele de umectare au o mare importanță în cazul contactului dintre metalul lichid și suprafața solidă a: creuzetelor, formelor de turnare, cocsului, componentelor solide încorporate în matricea metalică a materialelor compozite. Ascensiunea capilară a metalului lichid în porii particulelor sau fibrelor ce ranforsează matricea metalică, precum și în spațiile reduse ce apar între acestea, depinde de valoarea unghiului de contact conform relației:

$$h = \frac{2 \sigma_{LG}}{r \rho g} \cos\theta + \frac{V}{\pi r^2} \quad (4)$$

în care: r - este raza capilarului;

ρ - densitatea lichidului;

g - accelerația gravitațională;

V - volumul stratului de lichid format în afara meniscului capilar.

În sistemele metal lichid-ceramică la care $\theta = \pi/2$, $\cos\theta = 0$, iar volumul de lichid existent în afara meniscului este $V = 0$, rezultă că $h = 0$.

Dacă $0^\circ < \theta < \pi/2$, $h > 0$ și are loc o ascensiune a lichidului în capilar, iar dacă $\pi/2 < \theta < \pi$, atunci $h < 0$, ceea ce fizic se manifestă printr-o expulzare a lichidului pătruns sub influența unei forțe suplimentare într-un capilar.

Dacă presiunea capilară este dată de relația (5)

$$\Delta p = \frac{2 \sigma_{LG} \cos\theta}{r} \quad (5)$$

atunci viteza cu care se deplasează un metal lichid prin porii unui corp ceramic se calculează cu relația lui Darcy

$$v = K \frac{2 \sigma_{LG} \cos\theta}{\eta r \delta} \quad (6)$$

în care: K - este coeficientul de filtrare;

η - vâscozitatea dinamică a fluidului;

δ - grosimea stratului umectat.

Viteza de deplasare a metalului lichid prin porii corpurilor ceramice este direct proporțională cu cosinusul unghiului de contact. Ea scade pe măsura creșterii unghiului θ , devine nulă la $\theta = \pi/2$ și este negativă dacă unghiul de contact este mai mare de $\pi/2$. Dacă relația lui Young o scriem sub forma:

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LG}}$$

rezultă că udarea va fi cu atât mai bună cu cât σ_{SL} și σ_{LG} vor fi mai mici.

Reducerea tensiunilor interfazice, deci îmbunătățirea udării ceramicii de către metale se poate realiza prin alierea cu elemente superficial active sau prin tratarea suprafețelor fazei ceramice.

Lucrul mecanic de adeziune a metalului lichid pe suprafața ceramicii, exprimat conform relației lui Dupré:

$$W_a = \sigma_{SG} + \sigma_{LG} - \sigma_{SL} \quad (7)$$

sau funcție de unghiul de contact:

$$W_a = \sigma_{LG}(1 + \cos\theta) \quad (8)$$

este cu atât mai mare cu cât unghiul de contact este mai mic. Deci și în această exprimare unghiul de contact este o măsură a udării ceramicii de către metalul lichid.

Conform ecuației (8) lucrul mecanic de adeziune poate fi calculat ușor dacă experimental se determină tensiunea superficială σ_{LG} și unghiul de contact θ .

Condiția pentru umectarea sub vid este:

$$W_a > \sigma_{LG}$$

ceea ce înseamnă că energia legăturilor create de-a lungul interfeței trebuie să depășească tensiunea superficială a lichidului. Această condiție este greu de realizat în sistemele metal - ceramică deoarece tensiunea superficială a metalelor lichide este de ordinul a 1 J/m^2 față de cea a lichidelor ordinare care este de 10^{-2} J/m^2 .

Capacitatea de împrăștiere a lichidului pe suprafața solidului este dată de coeficientul de etalare:

$$S = \sigma_{SG} - \sigma_{SL} - \sigma_{LG} = \sigma_{LG}(\cos\theta - 1) \quad (9)$$

a cărui valoare tinde la zero atunci când θ tinde la zero. Pe măsura creșterii unghiului de contact, valoarea negativă a coeficientului S devine mai mare corespunzător cazurilor de neudare.

În sistemele metal-ceramică, în general, $S < -1$ ceea ce corespunde situației când topitura se strânge pe suprafața ceramică solidă. Explicația este că atomii metalici de la interfață sunt atrași mai puternic de către atomii metalici din interiorul topiturii decât de moleculele sau ionii existenți în ceramică.

Udarea este influențată și de natura suprafeței ceramicii, care în general prezintă o rugozitate mărită. Până la atingerea echilibrului chiar și unghiul de contact se poate modifica, funcție de orientarea geometrică a unor porțiuni din suprafața fazei ceramice, așa cum se observă în Figura 2.

Între valoarea de echilibru și cea reală a udabilității există o diferență ca urmare a faptului că lichidul etalează treptat suprafața solidului, fenomen ce poartă numele de histerezis de udare. Acesta se datorează frecării dintre lichid și suprafața solidului și adeziunii gazului la această suprafață. Lichidul trebuie să îndeparteze inițial moleculele de gaz și apoi să etaleze solidul.

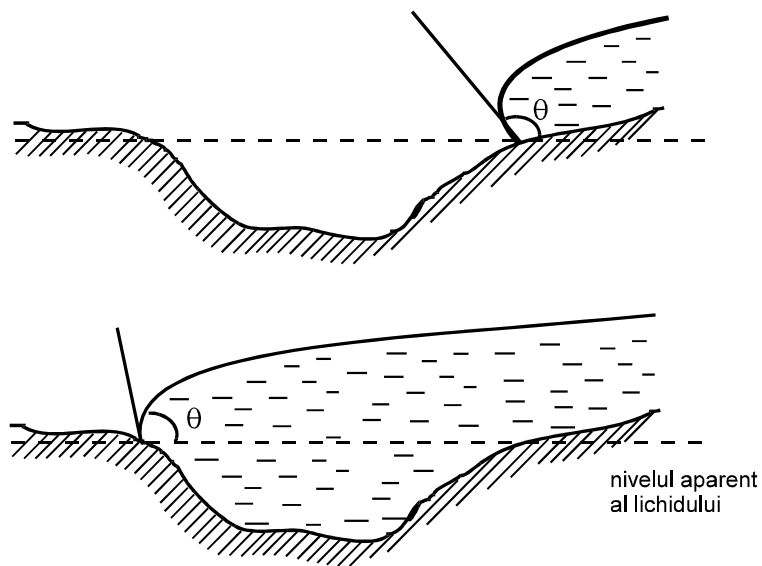


Figura 2. Variația unghiului de contact funcție de orientarea geometrică a unor porțiuni din suprafața fazei ceramice

Bikerman propune introducerea unui factor de rugozitate ψ care modifica ecuația (1) sub forma:

$$\psi(\sigma_{SG} - \sigma_{SL}) = \sigma_{LG} \cos\theta \quad (10)$$

ecuația (8) în :

$$W = \frac{\sigma_{LG}}{\psi} (1 + \cos\theta) \quad (11)$$

iar ecuația (9) astfel:

$$S = \frac{\sigma_{LG}}{\psi} (\cos\theta - 1) \quad (12)$$

Factorul $\psi = 1,0$ - pentru suprafețele perfect netede și

$\psi = 2,2$ - pentru suprafețele rugoase.

Unghiul de contact dintre topiturile metalice și ceramică depinde atât de natura ceramicii cât și de natura și concentrația unor elemente de aliere. Experimental s-a constatat că Al udă mai bine termoantracitul, cocsul de cracare sau cocsul de piroliză a petrolului, decât grafitul. Acest lucru este confirmat și de faptul că la interfață se formează o cantitate mai mare de carbură de Al în primele 3 cazuri decât în ultimul. Unghiul de contact al Al-ului cu produsele carbonice, la alierea în proporție de 5% cu alte elemente, se reduce cu 22% pentru Si, cu 18% pentru Fe și cu 45% pentru Na. Totodată, formarea carbunii de Al la interfață reduce unghiul de contact cu circa 40%.

Unghiul de contact crește când la suprafața lichidului se adsorb substanțe ce hidrofiliază suprafața și scade atunci când hidrofiliază suprafața. Valoarea unghiului de contact se modifică funcție de cantitatea de substanță superficial activă adsorbită. În cazul sistemelor liofobe sub formă de suspensii, acestea nu sunt stabile existând tendința de unire a particulelor între ele și de a forma prin coalescență agregate de dimensiuni mari. Cu cât stratul de lichid este mai strâns legat de suprafața corpului, cu atât granulele se vor uni mai greu.

În Figura 3 se poate vedea cum se modifică valoarea unghiului de contact dintre topiturile de aluminiu și produsele carbonice din grafit în prezența unor elemente de aliere sau impurități.

Variația unghiului de contact al aluminiului topit cu produsele carbonice impregnate cu diferite substanțe este prezentă în Figura 4.

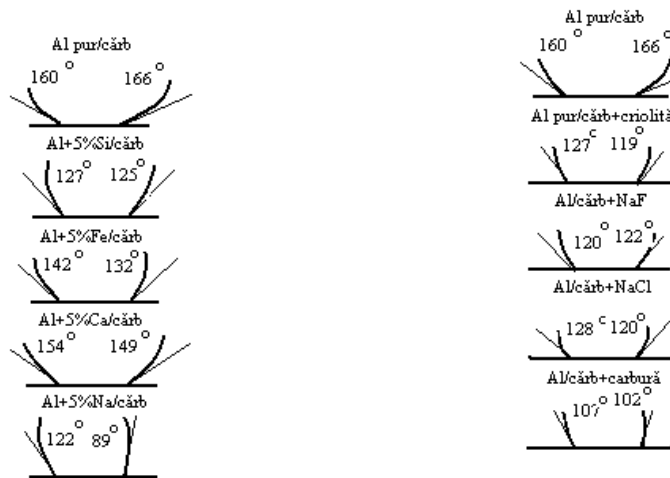


Figura 3. Influența unor elemente de aliere asupra unghiului de contact dintre topiturile de aluminiu și produsele carbonice solide

Figura 4. Influența unor substanțe aflate la suprafața cărbunelui asupra unghiului de contact pe care topitura de aluminiu o face cu acesta

Metodele de măsurare a unghiului de contact se aleg în funcție de dotarea tehnică a laboratorului și de acuratețea de măsurare impusă.

Măsurarea directă a unghiului de contact se realizează într-un cuptor prevăzut cu un vizor prin care se poate filma o picătură de metal topit așezată pe o placă orizontală, confecționată din materialul cu care metalul trebuie să fie în contact. Deoarece filmarea picăturii în incinta cuptorului

este dificilă, se va măsura unghiul de contact după solidificarea picăturii, acceptându-se în acest caz o abatere de 10 - 20% față de valoarea reală.

O altă metodă de măsurare a unghiului de contact, este cea care constă în introducerea înclinat în lichid a unei plăci confecționate din materialul solid cercetat. Prin modificarea unghiului sub care se introduce placa se poate găsi o poziție în care lichidul nu se curbează pe una din plăcile solide. Această poziție dă unghiul de contact.

2. Scopul lucrării

Determinarea experimentală a unghiului de contact dintre diverse aliaje de Al topite și suportul constituit din plăcuțe de grafit, carbon, carbură de siliciu (SiC) sau alumină (Al_2O_3), prin măsurarea directă de pe proiecția mărită a filmelor.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind măsurarea unghiului de contact dintre diferite metale și aliaje neferoase cu unele ceramici utilizate la fabricarea materialelor compozite sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator privind măsurarea unghiului de contact dintre diferite metale și aliaje neferoase cu unele ceramici sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) Instalația de laborator

Instalația este constituită dintr-un generator de înaltă frecvență, o pompă mecanică de vid de mare putere, o incintă de încălzire în câmp inductiv și sub vid din cuarț și sistemul de racordare la pompa de vid.

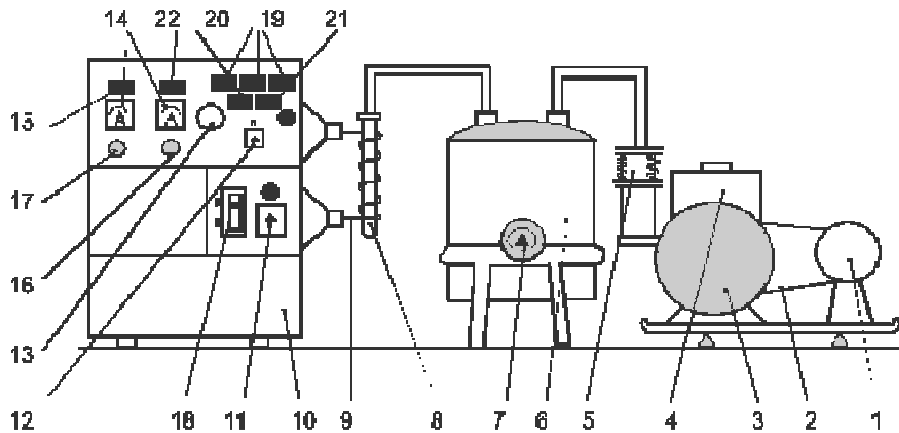


Figura 5. Instalație cu cameră verticală și încălzire inductivă pentru măsurarea unghiului de contact: 1- motor electric; 2- curele transmisie; 3- corp pompă vid; 4- rezervor ulei; 5-cuplaj elastic; 6- rezervor vid; 7-manovacuumetru; 8-tub cuarț; 9- spirală din cupru; 10-generator I.F.; 11- întrerupător ventilator; 12-întrerupător alimentare I.F.; 13-temporizator; 14-ampermetre; 15-lampă semnalizare suprasarcină; 16-alimentare I.F.; 17-oprire suprasarcină; 18-întrerupător general; 19-lămpi semnalizare tensiune pe faze; 20-lampă semnalizare funcționare ventilator; 21-lampă avertizare temperatură filament; 22-lampă semnalizare prezență I.F.

Generatorul de înaltă frecvență are ca piesă componentă principală o lampă de radiofrecvență ce asigură obținerea unui curent de 2,6 MHz. Puterea instalată a generatorului este de 5 KW. În interiorul inductorului realizat din bandă de cupru se află un tub din cuarț transparent, cu diametrul de 40mm înfundat la unul din capete iar la celălalt capăt racordat la pompa de vid. În Figura 5 este prezentată schița instalației, iar în Figurile 6, 7 și 8

sunt redate imaginile generatorului de înaltă frecvență, ale inductorului cu incinta vidată, respectiv ale sistemului de vidare.



Figura 6. Generator de înaltă frecvență de 2,6MHz și 5KW



Figura 7. Inductor cu incintă din cuarț vidată



Figura 8. Sistem de vidare compus din pompă mecanică și rezervor de vid

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii epruvetelor metalice și a discurilor ceramice supuse testării (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, cântare etc.);

d) plăci, rondele sau discuri din: grafit, carbură de siliciu, alumina, diferite tipuri de ceramică etc., pe care se așează probele metalice în tubul din cuarț în vederea topirii în atmosferă depresurizată;

e) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza vizuală și fotografică a picăturilor metalice formate la încălzire, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (micrometre, șublere, spectrometru, microscop electronic, microscop optic, aparate de înregistrare etc.);

f) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator de măsurare a unghiului de contact pe care îl fac metalele și aliajele topite cu diferite tipuri de ceramici sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Pb, Sn, Zn, Cd etc.

- aliaje: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Cu-Sn, Cu-Al, Cu-Zn, Sn-Pb, Zn-Al, Zn-Cu etc.

- plăci, discuri sau rondele din material ceramic (de preferat din grafit sau carbură de siliciu).

3.3. Modul de lucru

Pe un suport ceramic aflat la partea inferioară a tubului de cuarț, montat în poziție de lucru, se amplasează o pastilă din grafit sau carbură de siliciu special pregătită și pe care se va forma picătura metalică. Proba metalică pregătită dimensional și curățată de oxizi se așează centric pe pastila refractară.

Pentru limitarea formării unei pelicule de oxizi la suprafața picăturii, ceea ce ar influența rezultatele, în tubul de cuarț se introduce argon înaintea închiderii sistemului și a cuplării lui la pompa de vid. În circa 10 minute se atinge o depresiune de 10^{-1} torri, măsurați pe manovacumetru montat la rezervorul de vid. Cuplarea generatorului de înaltă frecvență se face numai după stabilizarea presiunii în tub și după încălzirea fără sarcină a lămpii de radiofrecvență timp de 5 minute. În câmpul inductiv, în tub, se formează plasmă ceea ce va împiedica fotografierea picăturii în timpul încălzirii.

După fotografierea și mărirea imaginii picăturii, mărirea unghiului de contact se determină direct din diferența dintre 180° și mărirea unghiului dintre tangenta la suprafața de contact a picăturii cu placa suport și suprafața plăcii.

4. Rezultate experimentale

Rezultatele obținute se trec într-un tabel de forma:

Nr.experiment	Aliaj		Natura plăcii suport	Temperatura	Unghiul de contact
	Marca	Compoziția			

5. Interpretarea rezultatelor

Se va urmări influența unor elemente de aliere asupra mărimii unghiului de contact dintre aliajele aluminiului și suportul din grafit(eventual SiC sau Al_2O_3). Dacă se pot face filmări ale picăturii în tubul de cuarț, atunci se va analiza și influența temperaturii asupra mărimii unghiului de contact.

6. Aplicațiile lucrării

Determinarea unghiului de contact permite calcularea tensiunilor interfizice responsabile de procesele ce au loc la fabricarea materialelor compozite precum și a proceselor capilare și de impregnare a solidelor cu care topiturile metalice vin în contact la elaborare și turnare.

Lucrarea 20
**DETERMINAREA TENSIUNII SUPERFICIALE A
METALELOR ȘI ALIAJELOR LICHIDE PRIN METODA
PICĂTURII IMOBILE**

1. Considerații generale

Fenomenele de suprafață au un rol hotărâtor în desfășurarea proceselor de încorporare a incluziunilor nemetalice, de absorbție a gazelor, de cristalizare și modificare a structurii de turnare, de interacțiune cu suprafața agregatelor de elaborare, a oalelor de turnare și a formelor, precum și a fenomenelor de coalescență ce au loc la elaborarea și turnarea metalelor și aliajelor. Studiile și cercetările întreprinse pentru realizarea materialelor compozite cu matrice metalică au confirmat în unanimitate importanța cunoașterii și stăpânirii acestor fenomene. În acest sens, pregătirea adecvată a suprafeței fibrelor și particulelor, elaborarea și alierea corespunzătoare a matricei și alegerea variantei tehnologice optime de preparare și turnare poate favoriza încorporarea componentelor nemetalice în matricea metalică.

Fenomenele superficiale depind de proprietățile stratului limită și ale fazelor volumice ce vin în contact și sunt influențate de presiune și temperatură. Mărimea fizică ce stă la baza acestor fenomene este tensiunea superficială care, conform teoriei atomice, se datorează forțelor interatomice exercitate asupra atomilor din stratul superficial. Deoarece numărul atomilor din faza condensată este mult mai mare decât cel al atomilor din faza gazoasă, atomii din stratul limită sunt atrași către

interiorul lichidului și acționează ca o membrană elastică ce împiedică dispersarea fazelor în contact la variații energetice minime.

Modificarea izotermică a ariei superficiale se realizează cu un consum de lucru mecanic care este egal cu scăderea energiei libere a suprafeței,

$$dF = - dL = \sigma \cdot d\Omega \quad (1)$$

în care: dF este variația energiei libere a suprafeței;

dL – lucrul mecanic consumat pentru modificarea izotermică a ariei;

$d\Omega$ - variația ariei suprafeței;

σ - forța ce acționează pe unitatea de lungime a unui segment de curbă al suprafeței de separare, normală la acest segment și situată în planul tangent la suprafață.

Mărimea σ se numește tensiune superficială, se măsoară în J/m^2 sau în N/m în Sistemul Internațional, respectiv în erg/cm^2 sau în dyn/cm în sistemul CGS și reprezintă energia liberă a unității de suprafață sau lucrul mecanic consumat pentru a mări suprafața cu o unitate.

Deoarece în condiții izoterme și fără modificarea compoziției, tensiunea superficială este constantă, rezultă că pentru ca un sistem să fie în echilibru când energia sa liberă este minimă, trebuie ca și suprafața de separare să aibă o valoare minimă. Astfel se explică de ce picăturile de metal topit au tendința de a lua forma sferică, corespunzătoare unei suprafețe minime la același volum de metal.

Tensiunile superficiale sunt mult mai mari la metale decât la alte substanțe și cresc cu numărul grupei din sistemul periodic în care acestea se găsesc.

În sistemele reale nu există faze izolate, iar tensiunea superficială dintre două faze în echilibru este diferită de cea absolută (la suprafața fazei față de vid).

Conform ipotezei lui Antonov, tensiunea interfacială σ_i , la limita de separare dintre un lichid și vaporii săi, este egală cu diferența dintre tensiunea superficială absolută a lichidului, σ , și tensiunea superficială a vaporilor σ_v .

$$\sigma_i = \sigma - \sigma_v \quad (2)$$

La temperaturi obișnuite $\sigma_i \approx \sigma$ și diferă din de în ce mai mult pe măsura creșterii temperaturii, astfel că la temperatura critică $\sigma_i = 0$ și $\sigma = \sigma_v$. Rezultă că și vaporii (gazele) posedă o tensiune superficială. Asemănător cazului limită lichid-vapori, tensiunea interfazică lichid-lichid și cristal-topitură, tinde să devină nulă la temperatura de dizolvare când suprafața de separare dispare.

La suprafața de contact dintre două faze apare o zonă de separație în care particulele au un aranjament special și o stare energetică caracteristică, iar proprietățile variază în raport cu cele ale fazelor în volum proporțional cu grosimea zonei. Din punct de vedere termodinamic, conform teoriei lui Gibbs, zona de separație are o structură proprie și proprietăți specifice, astfel că orice sistem format din două faze în contact se poate înlocui cu un sistem echivalent din două faze omogene și o fază de interfață.

Suprafața de separare Gibbs este perpendiculară pe direcția de variație a compoziției chimice și este plasată în interiorul zonei superficiale în imediata apropiere a suprafeței de tranziție. Volumul sistemului este împărțit de suprafața Gibbs în două volume omogene, iar numărul total de particule din sistem este dat de suma celor din fazele volumice cu a celor din stratul Gibbs. În acest sistem eterogen funcțiile termodinamice totale se calculează ca o sumă a funcțiilor termodinamice ale părților sistemului.

Într-un sistem închis format din n componente, condiția de echilibru, când parametrii extensivi totali sunt constanți, este dată de minimumul entalpiei libere.

$$d(G' + G'' + G) = dG' + dG'' + dG = 0 \quad (3)$$

Variațiile entalpiilor libere ale celor două faze în contact sunt:

$$dG' = -SdT' + P'dV' + \sum_{i=1}^n \mu'_i dn'_i \quad (4)$$

$$dG'' = -S''dT'' + P''dV'' + \sum_{i=1}^n \mu''_i dn''_i \quad (5)$$

în care: S' , S'' , V' , V'' , n'_i , n''_i - sunt entropiile, volumele și respectiv numărul de moli ai componentelor fazelor;

T' , T'' , P' , P'' , μ'_i , μ''_i - temperaturile, presiunile și potențialele chimice ale componentelor fazelor.

În cazul în care suprafața de separare Gibbs este fixă $dV' = dV'' = 0$ și variația entalpiei libere a stratului superficial este:

$$dG = -SdT + \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i \quad (6)$$

în care: S - este entropia stratului superficial;

μ_i - potențialul chimic al componentului i în stratul superficial;

n_i - numărul de moli ai componentului i în stratul superficial;

T - temperatura în strat.

Dacă suprafața de separație variază ca mărime și poziție se produce o variație suplimentară a entalpiei libere de exces a stratului superficial.

$$dG^A = -S^A dT + \left(\frac{\partial G^A}{\partial A} \right)_{T, n_i^A} dA + \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i^A \quad (7)$$

în care: $\left(\frac{\partial G^A}{\partial A} \right)_{T, n_i^A} = \sigma$ se numește tensiune superficială, iar A este

aria suprafeței sistemului.

Alegerea metodei experimentale de determinare a tensiunii superficiale depinde de natura lichidului studiat, de ușurința efectuării operațiilor, de posibilitatea stabilirii rapide a echilibrului și de precizia măsurării. Funcție de mărimea măsurată și starea suprafeței în timpul determinării, metodele pot fi statice sau dinamice. Pentru metale și aliaje sunt indicate metodele statice: metoda ridicării în capilare, metoda picăturii imobile, metoda presiunii maxime în bula de gaz, metoda desprinderii inelului (Du Nouy), metoda plăcii (Whilhelmy). Dintre metodele menționate cea care corespunde cerințelor determinării tensiunii superficiale, la dotările existente în laborator, este metoda picăturii imobile. Această metodă se bazează pe considerentul că asupra unei picături de lichid acționează simultan tensiunea superficială și forțele datorate greutatei proprii. La atingerea echilibrului între forțele ce se manifestă pentru micșorarea

suprafeței picăturilor și cele ce tind să deformeze picătura se poate scrie ecuația:

$$\sigma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) - \Delta p + \Delta \rho g h \quad (8)$$

în care: h - este înălțimea picăturii măsurată de la polul ei;

$\Delta \rho$ - diferența dintre densitatea lichidului și cea a fazei gazoase;

Δp - diferența de presiune;

R și R' - razele meniscului;

σ - tensiunea superficială.

Pentru cazul $h = 0$ razele de curbură sunt egale, $R = R' = R_{pol}$ și ecuația (8) devine:

$$\frac{2\sigma}{R_{pol}} = \Delta p \quad (9)$$

Dacă se înlocuiește valoarea lui Δp în ecuația (8) și se fac notațiile:

$$\frac{2R_{pol}^2}{a^2} = \beta \quad \text{și} \quad \frac{2\sigma}{g\Delta\rho} = a^2$$

se obține ecuația:

$$\frac{1}{R_1 / R_{pol}} + \frac{1}{R_2 / R_{pol}} = 2 + \frac{h}{R_{pol}} \beta \quad (10)$$

Dacă una din razele de curbură se exprimă prin distanța față de axa de rotație și unghiul cuprins între raza curbei și axul de rotație se obține o

ecuație în care dimensiunile meniscului sunt determinate de raza de curbură la pol, iar forma meniscului este dată de mărimea β .

Pentru determinarea tensiunii superficiale prin metoda picăturii imobile se măsoară distanța h de la diametrul orizontal maxim până la pol și diametrul maxim d_m . Pentru cazul picăturilor de dimensiuni mari (mai mari de 15mm în diametru)

$$a^2 = h^2 = \frac{2\sigma}{g\Delta\rho} \quad (11)$$

sau

$$\sigma = \frac{gh^2\Delta\rho}{2} \quad (12)$$

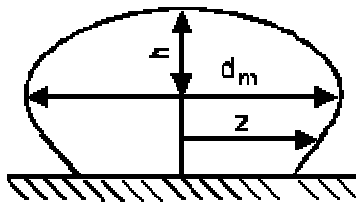


Figura 1. Dimensiunile picăturii imobile

Diverși cercetători au adus acestei relații anumite corecții (formula lui Dorsey, a lui Warington, a lui Rayleigh și a lui Porter). Cele mai bune rezultate se obțin cu formula lui Porter. Rezultatele sunt similare celor înregistrate la aplicarea altor metode de măsurare a tensiunii superficiale. Formula lui Porter este:

$$\frac{4h^2}{d_{\max}} - \frac{4a^2}{d_{\max}} = 2\Delta \quad (13)$$

în care Δ este o funcție de h/r , iar $r = \frac{d_{\max}}{2}$

$$\Delta = 0,3047 \frac{h^3}{r^3} \left(1 - 4 \frac{h^2}{r^2}\right) \quad (14)$$

Practic, valoarea funcției Δ se determină cu ajutorul diagramei din Figura 2.

Dacă dimensiunile picăturii sunt măsurate după solidificare erorile sunt mai mari (s-a determinat o modificare a înălțimii h cu 3-10% la solidificarea în zgura proprie) și de aceea se caută soluții de măsurare la o temperatură bine determinată.

Dacă ecuația 11 se scrie sub forma $\sigma = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot a^2}{2}$ și se înlocuiește a^2 cu expresia sa dedusă din relația lui Porter din ecuația 13, atunci:

$$\sigma = \frac{g \cdot \Delta \rho}{4} (2 \cdot h^2 - d_{\max} \Delta) \quad (15)$$

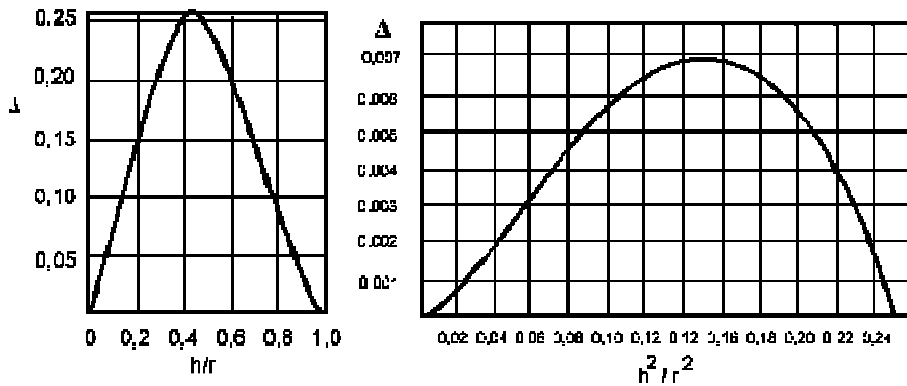


Figura 2. Dependența funcției Δ de h/r și h^2/r^2

2. Scopul lucrării

Determinarea experimentală, prin metoda picăturii imobile, a tensiunii superficiale la anumite temperaturi a unor metale și aliaje neferoase procesate în stare lichidă, inclusiv pentru fabricarea materialelor compozite cu matrice metalică ranforsate cu fibre sau particule.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind determinarea tensiunii superficiale a metalelor și aliajelor neferoase sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de determinare a tensiunii superficiale a metalelor și aliajelor neferoase în stare lichidă sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) Instalația de laborator

Instalația este constituită dintr-un generator de înaltă frecvență, o pompă mecanică de vid de mare putere, o incintă de încălzire în câmp inductiv și sub vid din cuarț și sistemul de racordare la pompa de vid.

Generatorul de înaltă frecvență are ca piesă componentă principală o lampă de radiofrecvență ce asigură obținerea unui curent de 2,6 MHz. Puterea instalată a generatorului este de 5 KW. În interiorul inductorului realizat din bandă de cupru se află un tub din cuarț transparent, cu diametrul de 40mm înfundat la unul din capete iar la celălalt capăt racordat la pompa de vid. În figura 3 este prezentată schița instalației, iar în Figurile 4, 5 și 6

sunt redată imaginile generatorului de înaltă frecvență, ale inductorului cu incinta vidată, respectiv ale sistemului de vidare.

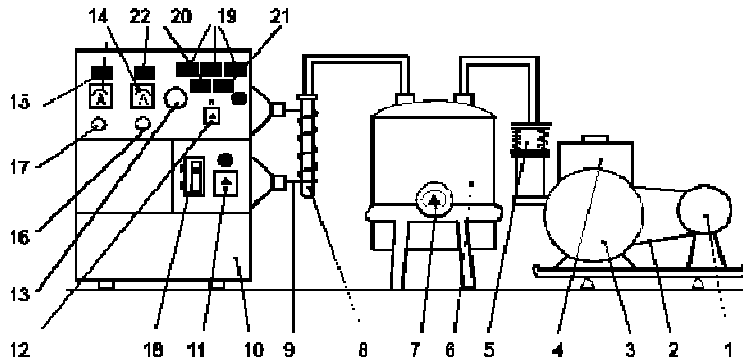


Figura 3. Instalație cu cameră verticală și încălzire inductivă pentru determinarea tensiunii superficiale a metalelor și aliajelor: 1- motor electric; 2- curele transmisie; 3- corp pompă vid; 4- rezervor ulei; 5-cuplaj elastic; 6- rezervor vid; 7-manovacuumetru; 8-tub cuarț; 9- spirală din cupru; 10-generator I.F.; 11- întrerupător ventilator; 12-întrerupător alimentare I.F.; 13-temporizator; 14-ampermetre; 15-lampă semnalizare suprasarcină; 16-alimentare I.F.; 17-oprire suprasarcină; 18-întrerupător general; 19-lămpi semnalizare tensiune pe faze; 20-lampă semnalizare funcționare ventilator; 21-lampă avertizare temperatură filament; 22-lampă semnalizare prezență I.F.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii epruvetelor metalice supuse testării (ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, cântare etc.);

d) plăci, rondelile sau discuri din: grafit, carbură de siliciu, alumină, diferite tipuri de ceramică etc., pe care se așează probele metalice în tubul din cuarț în vederea topirii în atmosferă depresurizată;



Figura 4. Generator de înaltă frecvență de 2,6MHz și 5KW



Figura 5. Inductor cu incintă din cuarț vidată



Figura 6. Sistem de vidare compus din pompă mecanică și rezervor de vid

e) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza vizuală și fotografică a picăturilor metalice formate la încălzire, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (micrometre, șublere, spectrometru, microscop electronic, microscop optic, aparate de înregistrare etc.);

f) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind determinarea tensiunii superficiale a metalelor și aliajelor topite sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Pb, Sn, Zn, Cd etc.
- aliaje: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Cu-Sn, Cu-Al, Cu-Zn, Sn-Pb, Zn-Al, Zn-Cu etc.
- plăci, discuri sau rotonde din material ceramic (de preferat din grafit sau carbură de siliciu).

3.3. Modul de lucru

Pe un suport ceramic aflat la partea inferioară a tubului de cuarț, montat în poziție de lucru, se amplasează o pastilă din grafit sau carbură de siliciu special pregătită și pe care se va forma picătura metalică. Proba metalică pregătită dimensional și curățată de oxizi se așează centric pe pastila refractară.

Pentru limitarea formării unei pelicule de oxizi la suprafața picăturii, ceea ce ar influența rezultatele, în tubul de cuarț se introduce argon înaintea închiderii sistemului și a cuplării lui la pompa de vid. În circa 10 minute se atinge o depresiune de 10^{-1} torri, măsurați pe manovacumetru montat la rezervorul de vid. Cuplarea generatorului de înaltă frecvență se face numai după stabilizarea presiunii în tub și după încălzirea fără sarcină a lămpii de radiofrecvență timp de 5 minute. În câmpul inductiv, în tub, se formează plasmă ceea ce va împiedica fotografierea picăturii în timpul încălzirii.

După fotografierea și mărirea imaginii picăturii se măsoară d_{\max} și h , iar apoi, conform celor prezentate în referat, se calculează tensiunea superficială.

4. Rezultate experimentale

Rezultatele determinate și cele calculate se trec într-un tabel de forma:

Nr. exp.	Tipul de aliaj Compoziția %	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	d_{\max} mm	h mm	Δ	$\Delta\rho$ g/cm^3	σ $\text{N/m}\cdot 10^3$
1							
2							
3							

5. Interpretarea rezultatelor

Se va urmări influența unor elemente de aliere asupra tensiunii superficiale a aliajelor. Dacă este posibil se va analiza și influența temperaturii asupra tensiunii superficiale.

6. Aplicațiile lucrării

Determinarea tensiunii superficiale a topiturilor de metale și aliaje neferoase este utilă pentru evaluarea fenomenelor ce au loc la elaborarea și turnarea acestora, precum și a comportamentului lor în timpul procesării materialelor compozite.

Lucrarea 21

PROCESAREA MATERIALELOR COMPOZITE CU PARTICULE ȘI MATRICEA DIN ALIAJE DE ALUMINIU

1. Considerații generale

Materialele compozite reprezintă cea mai avansată clasă de materiale inventate și produse de om în epoca modernă, precum și o provocare pentru viitor în domeniul performanței științifice și tehnologice. Ele sunt constituite din cel puțin două faze de natură diferită care sunt astfel combinate încât să formeze un material nou cu proprietăți superioare.

Compozitele sunt materiale multifazice cu o interfață distinctă și bine definită între fazele constitutive care asigură însă un transfer de proprietăți ce poate să conducă la obținerea unui produs cu performanțe excepționale față de ale materialelor de pornire. Deoarece materialele omogene sunt greu de întâlnit în natură și sunt procesate cu dificultate de către om, s-a convenit că materiale compozite sintetice sunt numai acelea care se obțin printr-un efort special de influențare a fenomenelor de la interfață. Astfel, multe aliaje deși au în structură faze cu proprietăți foarte diferite, nu sunt materiale compozite, deoarece acestea apar la solidificare fără o intervenție specială din partea omului. Fontele și oțelurile, aliajele neferoase eutectice sau peritectice, indiferent de forma grafitului, a lamelilor de cementită, a lamelilor de soluții solide sau de compuși chimici, nu sunt incluse în categoria materialelor compozite.

În majoritatea cazurilor faza compozitului care se găsește într-o proporție mai mare și care servește ca mediu de legătură între elementele

geometrice ale celorlalte faze, este denumită - **matrice**. Funcție de proprietățile impuse și posibilitățile tehnico-materiale existente se pot utiliza:

- matrice organice – rășini epoxidice, poliesteri alchidici, esteri vinilici etc.

- matrice ceramice - oxizi, carburi, nitruri etc.

- matrice carbonice – carbon, grafit;

- matrice metalice – metale și aliaje.

Faza dispersată înglobată în matrice, reprezintă faza durificatoare și va fi denumită în continuare, faza de ranforsare (armare) sau - **ranfort**. Aceasta se poate prezenta sub formă de granule, whiskers, fibre scurte, fibre lungi sau structuri.

Materialele metalice compozite sunt materiale anizotrope obținute prin încorporarea unor componenți (metale, nemetale, compuși chimici) într-o matrice metalică și care au proprietăți noi sau superioare materialelor din care sunt constituite. Spre deosebire de metalele pure și de aliaje, care au un spectru definit de proprietăți, la materialele compozite s-a realizat asocierea și combinarea proprietăților diferitelor materiale până la obținerea unui material cu proprietăți noi.

La materialele compozite cu particule modificarea proprietăților mecanice este mai puțin importantă față de îmbunătățirea semifictivă a proprietăților tribologice. Particulele moi precum cele de grafit și de mică îmbunătățesc proprietățile de antigripaj iar cele dure precum: SiC, Al₂O₃, WC, TiC, zircon, silica, carbură de bor, măresc rezistența la abraziune a aliajelor. Astfel, după datele unor cercetători, influența grafitului asupra

rezistenței la uzură la o presiune de suprafață de 25kg/cm^2 , pentru unele aliaje de aluminiu în care s-au introdus particule de grafit, este prezentată în Figura 1. Deoarece pe măsura creșterii conținutului volumetric în grafit rezistențele mecanice și alungirea scad, adaosurile se vor face până la o valoare limită la care caracteristicile mecanice se mențin încă la valori ridicate.

Existența particulelor dure în matricea metalică determină durificarea compozitului și creșterea rezistenței la uzare. În Figura 2 se prezintă comportarea la uzare a aliajelor de aluminiu durificate cu 20%gr. particule de Al_2O_3 și SiC. Se observă că adaosurile de SiC (cu duritate de 2600 Vickers) sunt mai eficiente decât cele de Al_2O_3 (cu duritatea de 1800 Vickers).

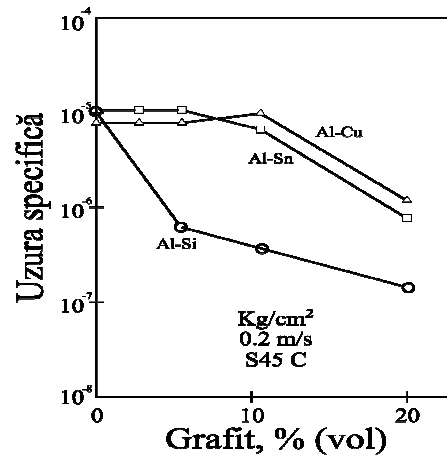


Figura 1. Efectul grafitului asupra uzurii specifice a aliajelor de aluminiu

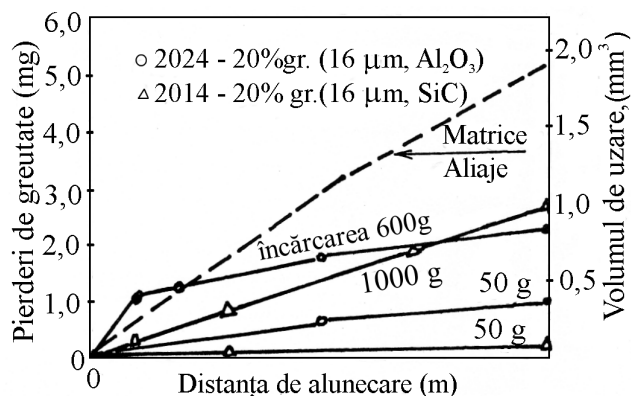


Figura 2. Comparație între comportarea la uzare a aliajelor de aluminiu și a materialelor compozite cu matricea din aceleași aliaje dar durificate cu particule de SiC sau Al₂O₃.

Particulele, whiskersii și fibrele scurte de SiC, Al₂O₃, TiC, MgO, nitrură de Si, grafit, mică, zgură, sticlă etc. sunt introduse și dispersate omogen în metalul lichid sau parțial solidificat prin una din următoarele metode:

- adăugarea de particule într-un aliaj topit parțial sau total și puternic agitat mecanic;
- injectarea fazei discontinue în topitură cu ajutorul unui sistem de injecție;
- imersarea de pelete sau de brichete formate dintr-un amestec de pulberi metalice și pulberi ale fazei ceramice într-un aliaj lichid;
- adăugarea de pulberi într-un aliaj lichid supus unui tratament cu ultrasunete când gradientii de presiune cauzăți de fenomenul de cavitație duc la amestecarea omogenă a pulberii în topitura metalică;
- adăugarea de pulberi la o topitură agitată electromagnetic permite

omogenizarea suspensiei datorită curgerii turbulente cauzate de câmpul magnetic;

- dispersia centrifugală a fazei ceramice în topitura metalică.

În toate cazurile este utilizată o forță exterioară pentru transferul fazei ceramice în topitură și crearea unei suspensii omogene în momentul solidificării.

Suspensiile, aliaj lichid-particule, sunt valorificate ulterior prin turnare convențională sub gravitație, sub presiune sau prin centrifugare precum și prin tehnici noi ca turnarea prin matrițarea lichidului, codepunerea prin pulverizare etc.

Dintre tehnicile de preparare a suspensiilor aliaj - particule, cele mai bune rezultate se obțin prin metoda Vortex, prezentată în Figura 3, care constă în introducerea mecanică a particulelor între fazele proeutectice prezente într-un aliaj în suspensie care este între temperatura lichidus și solidus.

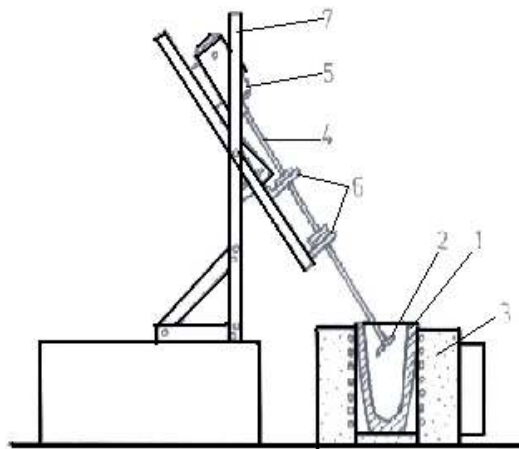


Figura 3. **Prezentarea schematică a instalației de agitare mecanică utilizată în tehnica Vortex de dispersie a particulelor în topitură;** 1- creuzet; 2- palete; 3- cuptor; 4- ax; 5- motor electric; 6- lagăre; 7- cadru de sprijin.

Din punct de vedere reologic aliajul are un caracter tixotropie manifestat prin scăderea vâscozității odată cu creșterea gradului de forfecare, funcție de viteza și timpul de agitare mecanică. Creșterea duratei de agitare și de menținere a particulelor în suspensie favorizează umectarea acestora de către aliaj și apariția eventualelor legături chimice la interfață. Deoarece caracterul tixotropie este reversibil la încetarea agitării, vâscozitatea crește reducându-se viteza de segregare, astfel că dacă turnarea se face repede și solidificarea decurge cu viteză mare se obține o omogenitate ridicată a compozitului.

Starea de semifuziune a suspensiei de particule într-un aliaj semilichefiat implică utilizarea unor tehnici speciale de turnare precum extrudarea sau matrițarea pentru a asigura reușita totală a acestei operații și calitatea compozitului turnat.

Atât pentru unele tipuri de particule, dar în special pentru cazul dispersiei unor fibre discontinue se constată o semnificativă rupere a acestora datorită efectului de sfărâmare al agitatorului și de frământare a aliajului parțial solidificat. Acest inconvenient poate fi eliminat printr-o amestecare a fibrelor discontinue într-o cantitate mult mai mare de aliaj lichid, urmată de solidificarea, retopirea și apoi filtrarea prin presare a compozitului topit printr-un filtru ceramic poros montat într-un set de matrițe de forjare. Prin acest proces se poate îndepărta peste 70% din topitura în exces, funcție de condițiile de presare și permite obținerea unei fracțiuni volumice mari de fibre, ce au o așezare întâmplătoare în plan. Totuși, în cazul unor fracțiuni volumice mari ale fibrelor ruperea acestora în timpul operației de presare, cu degradarea proprietăților compozitelor, poate

contrabalansa avantajele acestei metode.

Alegerea variantei de turnare are mare importanță asupra calității compozitului deoarece particulele cu greutate specifică mai mică decât cea a aliajului lichid segregă către suprafața acestuia, iar particulele mai grele către partea de jos a coloanei de aliaj lichid.

Aranjamentul spațial al fazei ceramice discontinue, deci și distribuția fazelor, depinde de calitatea topiturii și de următorii factori:

- viteza de răcire;
- vâscozitatea la solidificarea topiturii;
- configurația, mărimea și fracția volumică a particulelor;
- proprietățile termofizice ale particulelor și a aliajului de matrice;
- chimia și morfologia fazelor ce cristalizează și interacțiunea lor cu particulele;
- nucleerea fazelor primare pe ceramică și înglobarea sau respingerea particulelor de către frontul de solidificare;
- coagularea particulelor;
- existența unor forțe externe pe durata solidificării.

Deoarece principala cauză a segregării particulelor în aliajul lichid o constituie existența forțelor Stokes, a căror influență se manifestă asupra particulelor mai mari de $1\mu\text{m}$, s-au întreprins cercetări asupra modului de solidificare în absența gravitației. Aceasta permite studierea proceselor datorate energiei de suprafață care în mod normal nu pot fi puse în evidență. Suspensiile cu particule mici se pot solidifica fără deplasările prin convecție datorate forțelor mici, portante, de tip Stokes. În cazul particulelor mai mici de $1\mu\text{m}$, ciocnirile browniene sunt importante deoarece pot determina

aglomerarea.

Materialele compozite cu matricea metalică din aliaje de aluminiu, armate cu pulberi din grafit, au aplicații deosebit de interesante în domeniul corpurilor de alunecare de tipul bușelor, lagărelor, glisierelor, cuzineților etc. Acestea pot fi mai ieftine și mai ușoare decât materialele clasice, iar din punct de vedere tehnologic pot prezenta marele avantaj al autolubrifierii.

Materialele compozite cu matricea metalică din aliaje de aluminiu, armate cu pulberi din carbură de siliciu, au aplicații interesante în domeniul produselor rezistente la uzura abrazivă cum sunt discurile de frână sau saboții.

2. Scopul lucrării

Scopul principal al lucrării este cel de a transmite studenților cunoștințele teoretice și practice necesare procesării materialelor compozite cu matricea din aliaje de aluminiu, ranforsate cu particule de grafit sau de carbură de siliciu. Se urmărește însușirea de către studenți a tehnologiei de elaborare și turnare, precum și formarea deprinderilor necesare pentru realizarea materialelor compozite cu matrice metalică, ranforsate cu particule.

O atenție deosebită se va acorda analizei modului de realizare a tranziției gaz/lichid și a tranziției lichid/solid a particulelor nemetalice, precum și analizei microscopice a distribuției particulelor de ranforsare în masa metalică.

3. Tehnica experimentală

Pentru realizarea lucrărilor de laborator privind procesarea materialelor compozite cu particule și matricea din aliaje de aluminiu sunt necesare instalații specializate, materii prime și materiale adecvate, precum și o tehnologie de lucru corespunzătoare.

3.1. Instalația experimentală

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de procesare a materialelor compozite cu particule și matricea metalică sunt necesare următoarele instalații, aparate sau instrumente:

a) instalația VORTEX de preparare a suspensiilor topitură metalică – particule nemetalice, prezentată în Figura 4.

b) aparate și dispozitive de măsură și control a temperaturilor: termocuple de imersie, pirometre optice, termometre de contact, creioane termosensibile etc.

c) aparate, scule și dispozitive necesare pregătirii șarjei, dozării încărcăturii, preîncălzirii particulelor, imersării materialelor de adaos în topitură, omogenizării topiturii, îndepărtării stratului de zgură sau de fondant, evacuării șarjei, transportării și turnării suspensiilor aliaj – particule nemetalice (etuvă pentru uscarea și preîncălzirea pulberilor nemetalice, ferăstraie, ghilotine, foarfece, polizoare unghiulare, ciocane, concasoare, cântare, clopote din tablă perforată, bare și tije metalice, linguri de turnare, oale de turnare etc.);

d) forme pentru turnarea probelor de structură, precum și a celor folosite la determinarea caracteristicilor fizico – mecanice; suspensiile aliaj

lichid - particule se toarnă sub formă de bare în cochile metalice speciale și în forme din amestecuri de nisip cuarțos și lianți anorganici naturali;

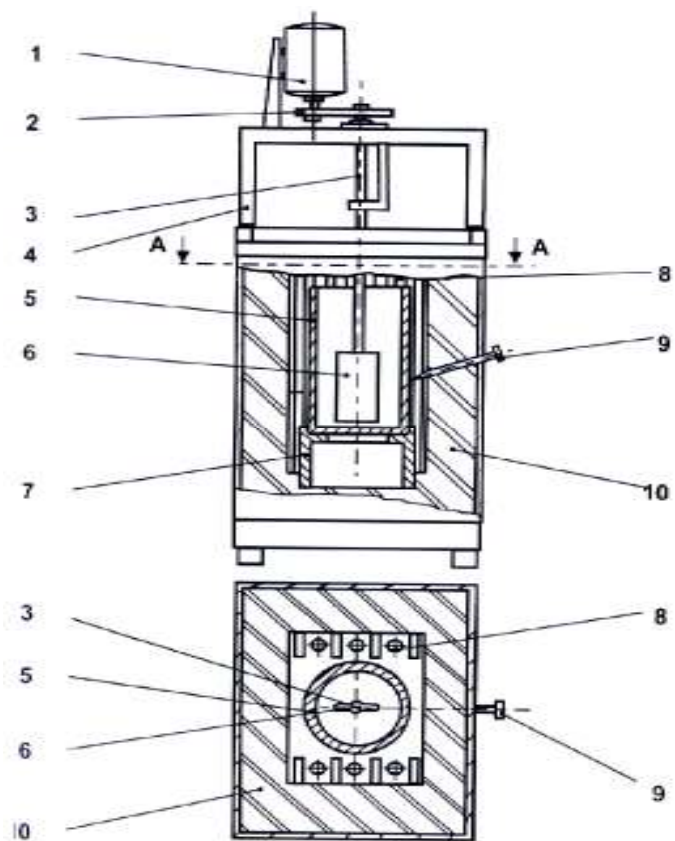


Figura 4. Instalația de preparare, prin metoda VORTEX, a suspensiilor aliaj lichid – particule: 1- motor; 2- reductor; 3- tijă port-paletă; 4- cadru metalic; 5- creuzet; 6- paletă; 7- suport creuzet; 8- bare de silită; 9- termocuplu; 10- cătușeală refractară

e) dispozitive, scule și aparate pentru debitarea, șlefuirea și lustruirea probelor metalografice ale siluminurilor elaborate (ferăstraie, polizoare unghiulare, strunguri, freze, mașina de șlefuit și lustruit probe Forcipol 2V);

f) aparate și materiale de laborator necesare pentru analiza fizico – chimică și structurală a probelor, precum și pentru înregistrarea rezultatelor obținute (spectrometru Foundry Master, microscop electronic SEM Tescan, microscop optic IOR MC 12, aparat de achiziție imagine);

g) materiale și echipamente de protecție (mănuși termoizolante, mănuși antiacide, ochelari de protecție etc.).

3.2. Materii prime și materiale

Pentru efectuarea lucrării de laborator privind procesarea materialelor compozite cu particule și matricea din aliaje de aluminiu sunt necesare următoarele categorii de materii prime și materiale:

- metale primare: Al, Cu, Mg, Na etc.
- siliciu tehnic pur;
- prealiaje: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg etc.
- deșeuri proprii de la elaborările precedente;
- pulberi de: grafit, carbură de siliciu, alumină etc. de diferite granulații, neacoperite sau acoperite cu pelicule metalice;
- modificatori: sodiu metalic; stronțiu metalic; prealiaje Al – Sr; fondanți, modificatori preparați în laborator (66%NaF + 34%NaCl); fondanți modificatori produși de firme specializate (ALSIM, ALSIM BLOC, COVERAL, PERNA BLOCK N, NUCLEANT).

- fondanți universali preparați în laborator (60%NaF + 25%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 850⁰C; 40%NaF + 45%NaCl + 15%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,76 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 730⁰C ; 30%NaF + 50%NaCl + 10%KCl + 10%Na₃AlF₆ cu densitatea $\rho = 1,68 \text{ kg/dm}^3$ și temperatura de topire de 715⁰C);

- fluxuri de protecție a băilor metalice pe bază de aluminiu;
- degazanți: C₂Cl₆ , BCl₃ , KCl , MnCl₂ , ZnCl₂ , azot gazos;
- vopsele refractare;
- chituri, pudre etc.

3.3. Modul de lucru

Pentru efectuarea lucrării de laborator “Procesarea materialelor compozite cu particule și matricea din aliaje de aluminiu” se parcurg următoarele etape:

- se pregătește materia primă: se sortează, se curăță, se decapează, se debitează și dacă este necesar se calcinează componentele încărcăturii;
- se verifică cantitatea și calitatea pulberilor nemetalice și dacă este necesar se face sortarea, clasarea, calcinarea sau tratarea specială a acestora;
- se pregătesc materialele auxiliare: se verifică calitatea, termenul de valabilitate, etanșeitarea recipientelor, densitatea, umiditatea etc. fondanților, vopselelor, amestecurilor de formare, pudrelor, chiturilor etc.
- se face calculul încărcăturii pentru elaborarea a 1000 g material compozit, luându-se în considerare că pentru condițiile de procesare din

laborator pierderile prin oxidare și/sau evaporare sunt de 3,5% la Al și de 4,0% la Si;

- se cântăresc toate componentele încărcăturii, materii prime și materiale auxiliare, necesare procesării unei șarje de 1000 g material compozit;

- se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de materiale metalice, fondanți sau zgură, rămase de la elaborările anterioare;

- se controlează funcționarea instalațiilor electrice aferente cuptorului de elaborare, corectitudinea legăturilor de punere la pământ, nivelul presiunii apei de răcire, funcționalitatea hotei de aspirație a gazelor etc.

- se pregătesc formele metalice și cele din amestec de formare necesare turnării epruvetelor pentru analiza structurii și macrostructurii, precum și cele destinate determinării caracteristicilor fizico – mecanice, iar după uscare și preîncălzire, înaintea evacuării șarjei, acestea se aduc în apropierea instalației;

- încărcarea cuptorului prin introducerea în creuzet a întregii cantități de prealiaj, de deșeuri proprii și în limita posibilităților a aluminiului primar sau secundar calculat;

- se cuplează cuptorul la o treaptă minimă de putere, iar pe măsura creșterii temperaturii se reglează nivelul de putere al generatorului;

- înaintea atingerii temperaturii de topire se adaugă pe suprafața încăcăturii 30% din cantitatea necesară de flux de protecție sau de fondant universal, iar imediat după topire se adaugă restul de aluminiu care nu a putut fi încărcat inițial, precum și restul de 70% de flux sau fondant;

- la temperatura de $730 - 750^{\circ}\text{C}$ se întrerupe alimentarea cuptorului cu energie, se îndepărtează zgura, după care se aplică una din metodele de degazare și rafinare descrise în lucrările precedente;

- după degazare și rafinare, la temperatura de $700 - 720^{\circ}\text{C}$, se toarnă un set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico - mecanice ale aliajului de matrice;

- se cuplează cuptorul la generatorul de putere și se readuce temperatura la valoarea corespunzătoare procedurii de preparare a suspensiei aliaj lichid - particule nemetalice;

- la temperatura de 700°C se așează deasupra cuptorului cadrul metalic cu dispozitivul de agitare și se cuplează la curentul electric corespunzător motorul de acționare a axului cu paletă;

- în conul vârtejului format de paleta de agitare se adaugă, cu viteză redusă, pulberea nemetalică dozată corespunzător și preîncălzită;

- agitarea durează 3 - 5 minute, când datorită proprietăților tixotropice ale aliajelor se constată o creștere a fluidității la agitare și mărirea vâscozității la încetarea agitării;

- după încetarea agitării se îndepărtează cadrul metalic cu dispozitivul de agitare și într-un interval cât mai scurt de timp se efectuează turnarea unui nou set de probe pentru analiza structurii și a proprietăților fizico - mecanice;

- probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj și în probele de compozit;

- se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaj de matrice, cât și din epruvetele de material compozit pentru analiza comparativă la microscopul optic și la microscopul electronic a gradului de încorporare și a distribuției particulelor, precum și a influenței particulelor asupra solidificării;

- se fac fotografiile digitale ale structurilor aliajului de matrice și ale materialului compozit;

- se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajului de matrice și ale materialului compozit;

- se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea HB[daN/mm²] etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajele de matrice și din materialele compozite obținute.

4. Rezultate experimentale și interpretarea lor

Se vor analiza comparativ structurile brute de turnare și caracteristicile mecanice ale aliajelor de matrice și ale materialelor compozite obținute. În ordinea efectuării, determinările care se pot face sunt:

a) probele de structură se rup și se apreciază aspectul rupturii în probele de aliaj de matrice și în cele de compozit;

b) se pregătesc șlifuri metalografice atât din epruvetele de aliaj de matrice și din cele de compozit și se analizează comparativ atât la microscopul optic cât și la microscopul electronic;

c) se fac fotografiile digitale ale structurilor în probele de aliaj de matrice și în cele de compozit;

d) se pregătesc epruvetele pentru determinarea caracteristicilor fizico – mecanice ale aliajelor de matrice și ale compozitului obținut;

e) se determină caracteristicile fizico – mecanice (rezistența la rupere la tracțiune $R_m \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, limita de curgere $R_{p0,2} \left[\frac{daN}{mm^2} \right]$, alungirea $A[\%]$, duritatea $HB[daN/mm^2]$ etc.) ale epruvetelor prelevate din aliajul de matrice și din compozitul procesat.

Rezultatele obținute la punctele a, b și c vor fi înregistrate și interpretate din punct de vedere a eficienței procesului de încorporare a particulelor nemetalice, iar rezultatele obținute la punctul e privind influența particulelor asupra proprietăților mecanice: HB; R_m ; $R_{0,2}$ și A vor fi centralizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. **Proprietățile mecanice ale aliajelor nemodificate și modificate**

Nr. Crt.	Tipul de material compozit	Duritate HB, [daN/mm ²]		R_m , [MPa]		$R_{p0,2}$, [MPa]	
		Matrice	Compozit	Matrice	Compozit	Matrice	Compozit
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

Lucrarea nr. 22
NOȚIUNI DE ASIGURARE A SECURITĂȚII MUNCII ÎN
LABORATOR

1. Considerații generale

Protecția muncii cuprinde totalitatea măsurilor ce trebuie luate pentru asigurarea condițiilor de securitate a muncii, reducerea efortului fizic, prevenirea accidentelor de muncă și a îmbolnăvirilor profesionale. În cadrul sferei de preocupare a protecției muncii intră orice proces de muncă fizică sau intelectuală.

Prin accident de muncă se înțelege vătămarea violentă a organismului, precum și intoxicația acută profesională, care au loc în timpul procesului de muncă sau în îndeplinirea îndatoririlor de serviciu și care provoacă incapacitate temporară de muncă de cel puțin 3 zile calendaristice, invaliditate ori deces.

Accidentele de muncă se clasifică astfel:

- a) accidentul ce produce incapacitate temporară de muncă de cel puțin o zi;
- b) accidentul ce produce invaliditate;
- c) accident mortal.

Accidentarea a cel puțin trei persoane în același timp și din aceeași cauză se consideră *accident de muncă colectiv*.

Bolile profesionale sunt afecțiuni ce se produc ca urmare a exercitării unei meserii sau profesiuni, cauzate de factori nocivi, fizici, chimici sau biologici, caracteristici locului de muncă, precum și de suprasolicitarea diferitelor organe sau sisteme ale organismului în procesul

de muncă. Exemple: pneumoconioze (silicoză, azbestoză, aluminoză) cauzate de pulberi de bioxid de siliciu, silicați, azbest, alumină, cărbune și altele în atmosfera locurilor de muncă, electrooftalmie ce este provocată de acțiunea radiațiilor ultraviolete, nistagmus ce este provocat de încordarea îndelungată a aparatului vizual în condiții defavorabile de iluminat, etc.

Complexitatea activităților practice desfășurate într-un laborator specific proceselor și tehnologiilor metalurgice presupune cunoașterea de către toți participanții la aceste activități a aparatului, instalațiilor, sculelor și materialelor cu care se va lucra, cât și măsurile de protecția muncii, de prevenire și stingere a incendiilor, de acordare a primului ajutor în caz de accidentare.

Cunoașterea și respectarea instrucțiunilor de protecția muncii, atât cu caracter general cât și specifice laboratorului, este obligatorie pentru toți studenții și conducătorii de lucrări și în general pentru toți cei care vin în contact cu aparatura.

2. Instrucțiuni de protecția muncii

2.1. Instrucțiuni de protecția muncii cu caracter general

a) Pe toată durata desfășurării lucrărilor de laborator studenții vor respecta cu strictețe indicațiile de lucru stabilite în cadrul fiecărei lucrări.

b) Studenții sunt obligați să folosească efectiv echipamentul de protecție pentru anumite lucrări ce impun cu necesitate acest fapt, să folosească scule, materiale și aparatură potrivit destinației lor.

c) Nu se va lucra la instalațiile și aparatele ce prezintă defecte de natură să pericliteze integritatea corporală sau viața celui care lucrează ori a celor din jur.

d) Toate lucrările de laborator se vor efectua cu atenție și cu temeinică documentare prealabilă. În acest scop studenții vor veni în laborator cu lucrarea respectivă învățată, urmând ca în laborator să realizeze exclusiv partea practică.

e) Necunoașterea aparaturii și a acțiunii substanțelor cu care se lucrează sau a gazelor ce rezultă în urma unor reacții chimice produse la unele lucrări de laborator (toxice, explozive, etc.) pot cauza accidente. Din aceste motive se interzice lucrul fără cunoașterea aparaturii și a acțiunii substanțelor cu care se lucrează și a celor ce rezultă din reacții.

f) La începerea lucrului în sălile de laborator, persoana care intră prima în sală va trebui să se convingă că atmosfera nu este încărcată cu gaze inflamabile sau toxice provenite din vasele cu substanțe, cu probe sau de la conductele de gaz.

g) La încheierea lucrării de laborator, ultima persoană care iese din sală este obligată să verifice:

- dacă sunt închise conductele de gaz și robinetele cu apă;
- dacă sunt stinse becurile de gaz, de lumină electrică precum și celelalte aparate electrice, cu foc sau abur;
- dacă ventilația este în bună stare de funcționare.

2.2. Instrucțiuni de protecția muncii la lucrul cu substanțe chimice

a) Se vor utiliza numai substanțe aflate în sticle sau ambalaje etichetate corespunzător. Ambalajele conținând materiale caustice, corozive, inflamabile, explozive sau toxice trebuie să fie inscripționate cu denumirea conținutului și marcate cu semne avertizoare conform standardelor în vigoare (STAS 5055-82).

b) Substanțele se vor manevra cu mare atenție pentru a nu vărsa sau împrășca pe cei din jur. La locul de manipulare a acizilor și a altor produse corozive sau caustice trebuie să se găsească în permanență apă și soluții neutralizante pentru a se putea spăla imediat locul atins de aceste produse.

c) Acizii vărsați se neutralizează cu lapte de var, apoi pe locul respectiv se pune un strat de nisip sau cenușă.

d) Mercurul trebuie ținut în vase închise iar manipularea lui se va face deasupra unei tăvi. În cazul răspândirii se va strânge cu ajutorul unei perii de cauciuc sau cu o lopățică de cupru, iar pe locul unde a fost răspândit se va presăra praf de sulf.

e) Dacă substanțele sau produsele de reacție degajă vapori toxici, se va lucra obligatoriu cu nișă prevăzută cu exhaustor pentru aerisire.

2.3. Instrucțiuni de protecția muncii la lucrul cu gaze comprimate

a) Toate recipientele ce conțin gaze comprimate vor fi prevăzute cu un ventil de siguranță și un manometru.

b) Când se introduc gaze comprimate dintr-o butelie într-un aparat de sticlă se va intercala obligatoriu între butelie și aparat un reductor de presiune prevăzut cu un manometru la intrare și unul la ieșire.

c) Buteliile vor fi verificate inițial, și după identificarea gazului conținut se vor inscripționa.

d) În cazul lucrului cu butelii umplute cu oxigen se are în vedere a nu se apropia cu grăsimi, uleiuri sau alte substanțe organice, deoarece există pericol de explozie la contactul acestor substanțe cu oxigenul.

2.4. Instrucțiuni de protecția muncii la lucrul cu aparate, instalații și mașini acționate electric

- a) Înainte de începerea lucrului se va verifica în mod obligatoriu:
- dacă aparatul, mașina sau instalația este sub tensiune;
 - dacă legarea la pământ a acestora este corect executată (se verifică de către specialist);
 - dacă nu există posibilitatea atingerii pieselor aflate sub tensiune;
 - existența capacelor, a apărătorilor etc.;
 - integritatea izolației cablurilor și posibilitatea ca acestea să fie supuse la tracțiune.
- b) Orice intervenție la instalațiile electrice se va face în stare de repaus și numai după scoaterea aparatului de sub tensiune.
- c) Nu sunt admise sub nici o formă improvizații și pe cât posibil se va apela la personal calificat în vederea remedierii defecțiunilor.
- d) Sunt interzise cu desăvârșire intervențiile la tablourile de siguranțe unde au acces numai persoanele calificate.
- e) Când se constată o defecțiune, studenții sunt obligați să anunțe conducătorul de lucrări care va lua măsuri de remediere.

2.5. Instrucțiuni de protecția muncii la instalații și agregate cu temperaturi ridicate

2.5.1. La elaborarea în cuptoare electrice

- a) Înainte de începerea lucrului se va controla starea boltei și pereților cuptorului, a vetrei, a orificiului de scurgere a dispozitivelor de reglaj, etc. Dacă se constată defecțiuni se interzice încărcarea cuptorului.

b) La manevrarea cleștilor de prindere, creuzetelor, lingurilor de turnare și a altor materiale fierbinți se vor folosi mănuși de protecție.

c) Pe platforma cuptorului electric cu încălzire prin inducție sau cu arc electric nu se vor depozita materiale umede, cu zăpadă sau gheață.

d) La încărcarea cuptorului se va avea în vedere ca materialele să fie bine uscate și să nu conțină impurități ce pot produce explozii.

e) La fiecare echipă va fi numit un responsabil care înainte de bascularea cuptorului va înlătura eventualele obstacole și va conduce turnarea șarjei de aliaj lichid elaborată.

f) În timpul încărcării, a evacuării șarjei sau a intervențiilor de orice fel la cuptorul electric de elaborare, alimentarea cu tensiune electrică va fi întreruptă.

g) Personalul care lucrează la cuptoare va purta ochelari de protecție sau viziere cu filtre de lumină corespunzătoare radiațiilor emise.

2.5.2. La elaborarea fontei în cubilou

a) Pentru preîntâmpinarea exploziilor la gurile de vânt (ajutaj din zona de fuziune a cubilourilor) se vor prevedea dispozitive de comunicație între gurile de vânt și atmosferă.

b) Pentru supravegherea mersului șarjei și pentru curățirea gurilor de vânt, fiecare gură va fi prevăzută cu o ramă rabatabilă având un vizor de mică sau sticlă specială.

c) În cazul încălzirii la roșu a mantalei cubiloului acesta va fi oprit imediat și răcit prin suflare cu aer până la descărcare.

d) Nu se admite introducerea în cubilou a cutiilor închise și a cilindrilor goi, fără deschiderea lor prealabilă și fără verificarea conținutului. Materialele introduse nu vor fi umede, cu zăpadă sau gheață.

e) Evacuarea fontei din cubilou se va executa numai în prezența și sub conducerea maestrului instructor sau conducătorului de lucru. Înainte de evacuare se va verifica buna funcționare a macaralei.

f) Nu se admite ca în metalul topit să se arunce bucăți de fontă umedă, rece sau cu urme de rugină și nici să se toarne resturi de zgură lichidă în cochilii umede sau ruginite.

g) În spațiul de lângă cubilou se interzice efectuarea oricăror alte operațiuni în afară de cele de deservire directă.

2.5.3. Oale de turnare

a) Înainte de utilizare, oalele de turnare vor fi verificate cu atenție. Nu se admite folosirea oalelor de turnare cu căptușeala sau mantaua defectă (fisuri, crăpături, porțiuni deteriorate) și cu elemente de prindere avariate sau uzate.

b) Oalele folosite pentru turnarea manuală nu trebuie să depășească 60 kg împreună cu încărcătura și dispozitivul de transport.

c) Înainte de a se umple cu metal topit, oala de turnare va fi uscată și încălzită până la îndepărtarea completă a apei din căptușeala refractară; în caz contrar se pot produce explozii cu urmări grave.

d) Transportul oalei încărcate cu metal topit se va face cu mare atenție pentru a evita vărsările de metal și zgură topită.

e) Umplerea oalelor se va face în proporție de max. 70-80 % din volumul ei.

f) Toate adaosurile care se introduc în oală pentru tratarea aliajului în afara agregatului de topire, vor trebui să fie bine uscate sau calcinate.

g) În timpul turnării metalului topit din oală în formă, studenții nu vor sta în fața jetului de metal lichid, ci lateral.

3. Instrucțiuni de prevenire și stingere a incendiilor

3.1. Pentru toate locurile de muncă este obligatoriu întocmirea și afișarea organizării autoapărării împotriva incendiilor în care se înscriu:

- a) Norme generale de prevenire și stingere a incendiilor;
- b) Reguli și măsuri de autoapărare împotriva incendiilor, specifice locului de muncă;
- c) Organizarea alarmării și anunțării incendiilor; dotarea cu mijloace de prevenire și stingere a incendiilor;
- d) Organizarea nominală pe schimburi (ture) a echipelor de stingere a incendiilor și a sarcinilor ce îi revin fiecărei persoane;
- e) Organizarea evacuării persoanelor și bunurilor în caz de incendiu și măsurile de protecție a acestora;
- f) Planul de evacuare în caz de incendiu și schița dispozitivului de intervenție.

3.2. La topirea și turnarea metalelor și aliajelor se vor avea în vedere următoarele:

- a) La pornirea cuptorului (cubiloului) se va usca toată căptușeala refractară deoarece aburul degajat de la o uscare insuficientă se poate disocia formând un amestec de hidrogen-oxigen explozibil;

b) Se va curăța și întreține periodic dispozitivul parascânteii pentru a reține particulele incandescente, care ar putea provoca incendii ale zonelor învecinate;

c) Cuptoarele alimentate cu combustibil gazos vor fi purjate înainte de pornire prin suflare puternică cu aer, pentru a se evacua amestecul exploziv format în urma eventualelor scăpări de gaze;

d) Spațiul din jurul cuptoarelor și unde se execută turnarea în forme va fi menținut uscat și acoperit cu un strat subțire de nisip. Nu se vor depozita în jurul lor materiale combustibile.

3.3. Mijloace de stingere sunt stingătoare, lopeți, târnăcoape, cângi, vase cu apă, etc., ce trebuie să fie în stare permanentă de utilizare, amplasate în locuri vizibile, ușor accesibile și ferite de intemperii.

La stingerea incendiilor, funcție de natura lor, se folosesc:

- instalații de stingere cu hidranți pentru incendiile de materiale solide combustibile;

- instalații de stingere cu abur pentru incendiile de substanțe gazoase, lichide sau solide, prin inundarea spațiilor închise;

- instalații de stingere cu spumă pentru incendiile de substanțe combustibile lichide sau solide ce pot trece în stare lichidă;

- instalații de stingere cu gaze inerte și pulberi stingătoare pentru incendiile produse de substanțe combustibile în încăperi cu aparataj electronic de mare valoare sau în cazurile când substanța incendiată în contact cu apa sau aerul dau reacții exoterme.

4. Primul ajutor în caz de accidentare

4.1. Accidente provocate de natură electrică

În caz de electrocutare, în primul rând se va scoate accidentatul de sub acțiunea curentului electric prin deconectarea instalației de sub tensiune.

După întreruperea curentului electric acordarea primului ajutor constă în descheierea hainelor, încălzirea picioarelor și a corpului și aplicarea cât se poate mai rapidă a respirației artificiale.

4.2. Leșin, insolatie, șoc termic și intoxicație cu oxid de carbon

În cazul unei tendințe de leșin (amețeală, accese de vomă, întunecarea vederii, lipsă de aer) sau leșin efectiv, accidentatul trebuie să fie culcat cu capul în jos și picioarele puțin ridicate și să i se dea să miroase soluție de amoniac. I se va stropi fața cu apă rece.

La insolatie sau șoc termic manifestate prin slăbiciune, dureri de cap, mers nesigur, slăbirea pulsului, etc., accidentatul trebuie dus imediat la aer și umbră, dezbrăcat, culcat, stropit cu apă rece pe față și pe piept. La întreruperea sau tulburarea bruscă a respirației i se va face respirație artificială.

Intoxicarea cu oxid de carbon se produce fără o sesizare prealabilă (oxidul de carbon neavând miros) și se manifestă prin dureri de cap, bătăi la tâmpile, accelerarea bătăilor inimii, slăbiciune generală, amețeală, greață, pierderea cunoștinței. Victima trebuie scoasă la aer curat și dacă este posibil i se va da să respire oxigen. În caz de respirație sacadată sau de întrerupere a respirației i se face respirație artificială.

4.3. Răniri

În caz de rănire cel care acordă primul ajutor se va dezinfecă pe mâini pentru a evita infectarea răni. Rana nu se va spăla cu apă, nu se va acoperi cu prafuri sau unsori, nu se va îndepărta sângele încheșat. Se va aplica numai un pansament steril sau în lipsa acestuia o batistă curată și accidentatul va fi îndrumat la medic.

4.4. Hemoragii

Hemoragiile externe pot fi venoase, arteriale sau capilare. Hemoragiile venoase se caracterizează prin curgere continuă de sânge roșu închis, iar cele arteriale prin curgere de sânge roșu clar, în jet sacadat.

Primul ajutor urmărește oprirea imediată a hemoragiei, în care scop este necesar:

- să fie ridicată în sus extremitatea rănită;
- să fie acoperită rana ce sângerează cu pansamente sterile presate ușor pe rană;
- apăsarea pe vasele sanguine ce alimentează cu sânge rana, îndoirea extremităților la încheietura de deasupra hemoragiei și trimiterea urgentă a accidentatului la medic.

Când îndoirea încheieturii nu este posibilă pentru oprirea hemoragiilor se va proceda la legarea jur-împrejur cu un cordon (garou) deasupra hemoragiei. Legătura aplicată pentru oprirea hemoragiei nu va fi ținută mai mult de 1 ½ ore pentru a nu produce moartea țesuturilor lipsite de sânge.

4.5. Arsuri

Arsurile sunt de trei grade: I – înroșirea pielii; gradul II – înroșirea pielii cu bășici; gradul III – distrugerea țesuturilor atât la suprafață cât și în adâncime.

După scoaterea cu multă precauție a îmbrăcămintei, arsurile vor fi pansate, ca orice rană proaspătă, cu material sterilizat sau pânză curată, fără a fi unse cu alifii, uleiuri, vaselină sau alte soluții.

Nu este permisă spargerea bășicilor formate, înlăturarea eventualelor materiale lipite pe rană și smulgerea părților de haină arse lipite de corp.

4.6. Fracturi, luxații

În primul rând se va asigura o imobilitate perfectă a părții vătămate, pentru a preveni transformarea fracturii închise într-o fractură deschisă, pentru a preveni secționarea unei vene sau artere din vecinătate printr-un fragment de os ascuțit și pentru a ușura durerile. La fracturarea sau luxația membrelor pentru imobilizare se folosesc scândurele (atele) pe ambele părți legate cu bandaje, feși, etc.

ELABORAREA ȘI TURNAREA ALIAJELOR ALUMINIU-MAGNEZIU

A. SCOPUL ȘI OBIECTUL LUCRĂRII

Cunoașterea și însușirea tehnologiei de elaborare și turnare a aliajelor aluminiu-magneziu: urmărirea influenței conținutului de magneziu asupra caracteristicilor mecanice și tehnologice.

B. Data generale.

Aliajele aluminiu-magneziu se disting prin masă specifică mai mică decât a celorlalte aliaje de aluminiu, rezistență la coroziune foarte bună în diverse medii, rezistență mecanică apreciabilă și capacitatea de a se lustrui.

Aliajele industriale de turnătorie conțin maximum 12% Mg.

Diagrama de echilibru (partea care interesează aliajele industriale Al-Mg) este prezentată în figura 1. Solubilitatea maximă a magneziului în aluminiu, în condițiile de echilibru termic, este de 15,35%, la temperatura eutectică de 450°C. Se formează soluție solidă de Mg în Al.

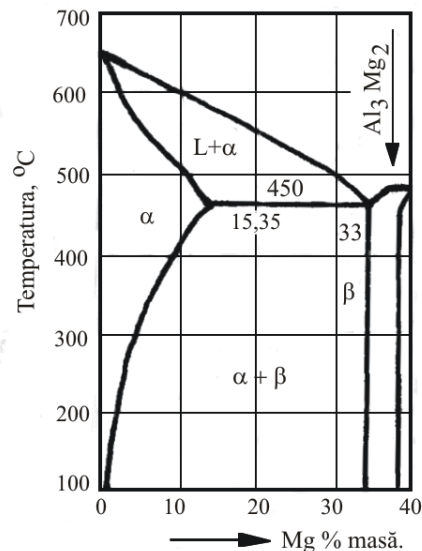


Fig. 1. Diagrama de echilibru Al-Mg domeniul aliajelor turnate.

Odată cu scăderea temperaturii, scade și solubilitatea magneziului până la 1,9%, la temperatura obișnuită, ceea ce determină precipitarea fazei β.

În figura 2 este redată microstructura unui aliaj cu 10% Mg în care se observă constituentul β în masa de bază de soluție solidă α.



Fig. 2. Schema microstructurii aliajului Al-Mg turnat, cu 10% Mg.

Proprietățile de turnare ale aliajelor Al - Mg sunt inferioare siluminurilor, din cauza următoarelor dezavantaje:

- ✓ au fluiditate mica;
- ✓ au tendință de a forma fisuri, sufluri și microretasuri;
- ✓ au o puternică tendință de oxidare în timpul elaborării și turnării din cauza conținutului de magneziu. Din această cauză, la elaborarea lor trebuie să se ia măsuri speciale de protecție cu fondanți;

Aliajele Al-Mg cu 3%, 5%, 7% și 9% Mg sunt utilizate ca aliaje de turnătorie. Ele nu sunt practic durificabile prin tratament termic, deoarece au o duritate proprie apreciabilă (au și o rezistență mecanică înaltă care nu se micșorează prin recoacere).

C. Desfășurarea lucrării

a. Utilaje, aparate, instrumente și materiale necesare:

- ✓ cuptor electric cu încălzire prin inducție;
- ✓ termocuplu de imersie;
- ✓ linguri de turnare;
- ✓ bare de oțel pentru amestecare;
- ✓ cochile și forme pentru turnarea probelor de structură ($\varnothing 10 \times 10$ mm);
- ✓ cochilă pentru turnarea epruvetelor în stare brut turnată pentru încercări mecanice;
- ✓ cochilă sau formă pentru prelevarea probelor de fluiditate;
- ✓ clopot din tablă perforată pentru introducerea materialelor la fundul creuzetului;
- ✓ aparat pentru determinarea contracției liniare;
- ✓ aluminiu (STAS 7607/1 - 80 de puritate 99,7);
- ✓ magneziu (STAS 7387 - 81 de puritate 99,99%);
- ✓ fondanți de protecție și degazare (CaF_2 , NaCl, KCl și MgCl_2);
- ✓ materiale de protecție.

b. Modul de lucru și ordinea operațiilor pentru efectuarea lucrării

1. Se pregătește materia primă prin debitare la fierăstrău mecanic cântărindu-se următoarele cantități de materiale, corespunzătoare unei șarje de 3 kg aliaj cu 3% Mg:

- ✓ aluminiu: 2,910 kg;
- ✓ magneziu: 0,090 kg;

2. Se curăță creuzetul cuptorului de eventualele resturi de material sau zgură, rămase de la elaborările anterioare.

3. Se controlează funcționarea instalației de absorbție a gazelor de deasupra cuptorului.

4. Se pregătesc cochilele pentru turnarea epruvetelor brute necesare determinării proprietăților mecanice precum și cochilele pentru determinarea probei de fluiditate.

5. Se încarcă în cuptor întreaga cantitate de aluminiu cântărită.

6. Se pornește cuptorul, încălzindu-se treptat până, când creuzetul ajunge la roșu (circa 800°C).

7. Din momentul în care începe formarea băii aceasta se va acoperi cu un strat de 5 - 10 mm de fondant de protecție.

8. După topirea întregii cantități de aluminiu, se introduce întreaga cantitate cântărită de magneziu cu ajutorul unui clopot până la fundul creuzetului

9. Când temperatura băii ajunge la 720°C se oprește cuptorul și se face degazarea băii cu unul din următorii degazanți: azot, clor, clorură de zinc ($ZnCl_2$) și hexacloretan.

10. După 3 - 4 min. de repaus, cu ajutorul lingurii de turnare, se toarnă proba de structură, epruvetele brute pentru încercări mecanice, proba de fluiditate, precum și proba de contracție. Turnarea se va face la cca. 720°C controlând temperatura cu termocuplul de imersie.

11. Proba de structură se rupe și se apreciază aspectul structurii. Din această probă se va pregăti un șlif metalografic care se examinează la microscop la o mărire x100 după atac cu unul din următorii reactivii: soluție de acid fluorhidric ($0,3 \text{ cm}^3 \text{ FH } 40\%$ la 100 cm^3 de apă) sau soluție de NaOH (lg NaOH la $100 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$). Se va schița în caietul de lucrări aspectul microstructurii.

12. După încercările epruvetelor și determinarea caracteristicilor mecanice se vor nota rezultatele.

13. Se va nota, de asemenea, și rezultatul probei de încercare a fluidității.

14. Respectând aceeași ordine a operațiilor se vor elabora următoarele două șarje corespunzătoare unor conținuturi de 6% Mg și respectiv 9% Mg, componența încărcăturilor șarjelor 2 și 3 fiind următoarea:

Șarja 2

- aluminiul 2,820 kg

- magneziu 0,180 kg

Șarja 3

- aluminiul 2,730 kg

- magneziu 0,270 kg

c. Interpretarea rezultatelor și conținutul referatului scris

1. Se vor întocmi fișele șarjelor de aliaje tip Al - Mg elaborate și se vor detalia particularitățile tehnologice specifice obținerii acestei grupe de aliaje.

2. Se vor schița microstructurile aliajelor elaborate.

3. Se vor interpreta rezultatele și se va întocmi graficul de variație a caracteristicilor mecanice și a fluidității cu conținutul de Mg, utilizând datele determinate experimental, care se vor consemna în tabelul de mai jos.

Tabel reprezentând influența conținutului de Mg asupra caracteristicilor aliajelor tip Al - Mg elaborate

Caracteristici	Șarja I	Șarja II	Șarja III
Conținutul de Mg, %			
Fluiditatea, mm			
Rezistența la rupere la tracțiune, daN/mm ²			
Alungirea la rupere, A%			
Duritatea Brinell, HB			
Contractia liniară, %			

Anexa 1. Compoziții chimice ale aliajelor de aluminiu turnate(SR EN 1706/2000)

Grupă aliaj	Simbolizare aliaj		Compoziția chimică, în % masice													Altele		Al
	Numerică	Simbol chimic	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Fiecare	Total			
AlCu	EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi lingou	0,20 (0,15)	0,35 (0,30)	4,2...5,0	0,10	0,15...0,35	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15...0,30 (0,15...0,25)	0,03	0,10	Rest		
	En AC-21100	EN AC-AlCu4Ti lingou	0,18 (0,15)	0,19 (0,15)	4,2...5,2	0,55	-	-	-	0,07	-	-	0,15...0,30 (0,15...0,25)	0,03	0,10	Rest		
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-AISi2MgTi	1,6...2,4	0,6 (0,50)	0,10 (0,08)	0,30...0,50	0,45...0,65 (0,50...0,65)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05...0,20 (0,07...0,10)	0,05	0,15	Rest		
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-AISi7Mg	6,5...7,5	0,55 (0,45)	0,20 (0,15)	0,35	0,20...0,65 (0,25...0,65)	-	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05...0,25 (0,05...0,20)	0,05	0,15	Rest		
	EN AC-42100	EN AC-AISi7Mg0,3	6,5...7,5	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,25...0,45 (0,30...0,45)	-	-	0,07	-	-	0,08...0,25 (0,10...0,18)	0,03	0,10	Rest		
	EN AC-42200	EN AC-AISi7Mg0,6	6,5...7,5	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,45...0,70 (0,50...0,70)	-	-	0,07	-	-	0,08...0,25 (0,10...0,18)	0,03	0,10	Rest		
AlSi10Mg	EN AC-43000	EN AC-AISi10Mg(a)	9,0...11,0	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,45	0,20...0,45 (0,25...0,45)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest		
	En AC-43100	EN AC-AISi10Mg(b)	9,0...11,0	0,55 (0,45)	0,10 (0,08)	0,45	0,20...0,45 (0,25...0,45)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest		
	EN AC-43200	EN AC-AISi10Mg(Cu)	9,0...11,0	0,65 (0,55)	0,35 (0,30)	0,55	0,20...0,45 (0,25...0,45)	-	0,15	0,35	0,10	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest		
	EN AC-43300	EN AC-AISi9Mg	9,0...10,0	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,25...0,45 (0,30...0,45)	-	-	0,07	-	-	0,15	0,03	0,10	Rest		
	EN AC-43400	EN AC-AISi10Mg(Fe)	9,0...11,0	1,0 (0,45...0,90)	0,19 (0,08)	0,55	0,20...0,50 (0,25...0,50)	-	0,15	0,15	0,15	0,05	0,20	0,05	0,15	Rest		
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AISi11	10,0...11,8	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,45	-	-	0,07	-	-	0,15	0,03	0,10	Rest		
	EN AC-44100	EN AC-AISi12(b)	10,5...13,5	0,65 (0,55)	0,15 (0,10)	0,55	0,10	-	0,10	0,15	0,10	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest		
	EN AC-44200	EN AC-AISi12(a)	10,5...13,5	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,35	-	-	-	0,10	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest		
	EN AC-44300	EN AC-AISi12(Fe)	10,5...13,5	1,0 (0,45...0,9)	0,10 (0,08)	0,55	-	-	-	0,15	-	-	0,15	0,05	0,25	Rest		
	EN AC-44400	EN AC-AISi9	8,0...11,0	0,65 (0,55)	0,10 (0,08)	0,50	0,10	-	0,05	0,15	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest		

continuare

Grupă aliaj	Simbolizare aliaj		Compoziția chimică, în % masice											Altele		Al
	Numerică	Simbol chimic	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Fiecare	Total	
AlSi5Cu	EN AC-45000	EN AC-AlSi6Cu4	5,0...7,0	1,0 (0,9)	3,0...5,0	0,20...0,65	0,55	0,15	0,45	2,0	0,30	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,35	Rest
	EN AC-45100	EN AC-AlSi5Cu3Mg	4,5...6,0	0,6 (0,50)	2,6...3,6	0,55	0,15...0,45 (0,20...0,45)	-	0,10	0,20	0,10	0,05	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	4,5...6,0	0,8 (0,7)	2,5...4,0	0,20...0,55	0,40	-	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-45300	EN AC-AlSi5Cu1Mg	4,5...5,5	0,65 (0,55)	1,0...1,5	0,55	0,35...0,65 (0,40...0,65)	-	0,25	0,15	0,15	0,05	0,05...0,25 (0,005...0,20)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-45400	EN AC-AlSi5Cu3	4,5...6,0	0,6 (0,5)	2,6...3,6	0,55	0,05	-	0,10	0,20	0,10	0,05	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
AlSi9Cu	EN AC-46000	EN AC-AlSi9Cu3(Fe)	8,0...11,0	1,3 (0,6...1,1)	2,0...4,0	0,55	0,05...0,55 (0,15...0,55)	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46100	EN AC-AlSi11Cu2(Fe)	10,0...12,0	1,1 (0,45...1,0)	1,5...2,5	0,55	0,30	0,15	0,45	1,7	0,25	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46200	EN AC-AlSi8Cu3	7,5...9,5	0,8 (0,7)	2,0...3,5	0,15...0,65	0,05...0,55 (0,15...0,55)	-	0,35	1,2	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46300	EN AC AlSi7Cu3Mg	6,5...8,0	0,8 (0,7)	3,0...4,0	0,20...0,65	0,30...0,60 (0,35...0,60)	-	0,30	0,65	0,15	0,10	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46400	EN AC-AlSi9Cu1Mg	8,3...9,7	0,8 (0,7)	0,8...1,3	0,15...0,55	0,25...0,65 (0,30...0,65)	-	0,20	0,8	0,1	0,1	0,10...0,20 (0,10...0,18)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46500	EN AC-AlSi9Cu3(Fe)(Zn)	8,0...11,0	1,3 (0,6...1,2)	2,0...4,0	0,55	0,05...0,55 (0,15...0,55)	0,15	0,55	3,0	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46600	EN AC-AlSi7Cu2	6,0...8,0	0,8 (0,7)	1,5...2,5	0,15...0,65	0,35	-	0,35	1,0	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest

continuare

Grupă aliaj	Simbolizare aliaj		Compoziția chimică, în % masice											Altele		Al
	Numerică	Simbol chimic	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Fiecare	Total	
	EN AC-47100	EN AC AISi12 Cu1(Fe)	10,5...13,5	1,3 (0,6...1,1)	0,7...1,2	0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Rest
AlSiCuNiMg	EN AC-48000	EN AC - AISI12CuNiMg	10,5...13,5	0,7 (0,6)	0,8...1,5	0,35	0,8...1,5 (0,9...1,5)	-	0,7...1,3	0,35	-	-	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
AlMg	EN AC-51000	EN AC- AlMg3(b)	0,55 (0,45)	0,55 (0,45)	0,10 (0,08)	0,45	2,5...3,5 (2,7...3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51100	EN AC- AlMg3(a)	0,55 (0,45)	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,45	2,5...3,5 (2,7...3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51200	EN AC- AlMg9	2,5	1,00 (0,45...0,9)	0,10 (0,08)	0,55	8,0...10,5 (8,5...10,5)	-	0,10	0,25	0,10	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51300	EN AC- AlMg5	0,55 (0,35)	0,55 (0,45)	0,10 (0,05)	0,45	4,5...6,5 (4,8...6,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51400	EN AC- AlMg5(Si)	1,5 (1,3)	0,55 (0,45)	0,05 (0,03)	0,45	4,5...6,5 (4,8...6,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC- AlZn5Mg	0,30 (0,25)	0,80 (0,70)	0,15...0,35	0,40	0,40...0,70 (0,45...0,70)	0,15...0,60	0,05	4,5...6,0	0,05	0,05	0,10...0,25 (0,12...0,20)	0,05	0,15	Rest

Nota 1- Cifrele din paranteză reprezintă compoziția lingoului dacă aceasta diferă de compoziția piesei turnate.

Nota 2- În fiecare grupă de aliaj, aliajele se prezintă în ordinea descrescătoare a tonajului de piese turnate produse în Europa.

Nota 3- Limitele sunt exprimate ca maximum, cu excepția compozițiilor prezentate sub formă de domeniu de compoziție.

„Altele” – nu include elementele de modificare sau rafinare, de exemplu Na, Sr, Sb și P.

Anexa 2. Caracteristici mecanice ale aliajelor de aluminiu turnate în forme de amestec de formare pentru probe de încercat turnate separat(SR EN 1706/2000)

Grupă aliaj	Simbolizare aliaj		Simbolizare tratament termic	Rezistență la tracțiune R _m , MPa, min.	Limită de curgere convențională R _{0,2} , MPa, min	Alungire A _{50mm} %, min	Duritate Brinell HBBS min
	Numerică	Simbol chimic					
Al-Cu	EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi	T4	300	200	5	90
	EN AC-21100	EN AC-AlCu4Ti	T6 T64	300 280	200 180	3 51	95 85
	EN AC-41000	EN AC-AlSi2MgTi	T6	140	70	3	50
AlSiMgTi	EN AC-42000	EN AC-AlSi7Mg	T6	240	180	3	85
	EN AC-42100	EN AC-AlSi7Mg0,3	T6	140	80	2	50
	EN AC-42200	EN AC-AlSi7Mg0,6	T6	220	180	1	75
	EN AC-43000	EN AC-AlSi10Mg(e)	T6	250	210	1	85
	EN AC-43000	EN AC-AlSi10Mg(e)	F	150	80	2	50
	EN AC-43100	EN AC-AlSi10Mg(b)	T6	220	180	1	75
AlSi10Mg	EN AC-43200	EN AC-AlSi10Mg(Cu)	T6	160	80	1	50
	EN AC-43300	EN AC-AlSi9Mg	T6	220	180	1	75
	EN AC-43300	EN AC-AlSi9Mg	T6	230	190	2	75
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi11	F	150	70	6	45
	EN AC-44100	EN AC-AlSi12(b)	F	150	70	4	50
	EN AC-44200	EN AC-AlSi12(a)	F	150	70	5	50
AlSi5Cu	EN AC-45000	EN AC-AlSi6Cu4	F	150	90	1	60
	EN AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	F	140	70	1	60
	EN AC-45300	EN AC-AlSi5Cu1Mg	T6 T4 T6	230 170 230	200 120 200	<1 2 <1	80 80 100
AlSi9Cu	EN AC-46200	EN AC-AlSi8Cu3	F	150	90	1	60
	EN AC-46400	EN AC-AlSi9Cu1Mg	F	135	90	1	60
	EN AC-46600	EN AC-AlSi7Cu2	F	150	90	1	60
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC-AlSi12(Cu)	F	150	80	1	50
	EN AC-51000	EN AC-AlMg3(b)	F	140	70	3	50
	EN AC-51100	EN AC-AlMg3(a)	F	140	70	3	50
AlMg	EN AC-51300	EN AC-AlMg5	F	160	90	3	55
	EN AC-51400	EN AC-AlMg5(S)	F	160	100	3	60
	EN AC-71000	EN AC-AlZn5Mg	T1	190	120	4	60

1 N/mm²= 1 MPa

Anexa 3. Caracteristici mecanice ale aliajelor de aluminiu turnate în cochiliă pentru probe de încercat turnate separat(SR EN 1706/2000)

Grupă aliaj	Simbolizare aliaj		Simbolizare tratament termic	Rezistență la tracțiune R _m MPA. min.	Limită de curgere convențională R _{eL2} MPA. min.	Alungire A _{gt} min. %/min.	Durtate Brinell HBS.min.
	Numerică	Simbol chimic					
AlCu	EN AC-21000	EN AC- AlCu4MgTi	T4	320	200	8	95
	EN AC-21100	EN AC- AlCu4Ti	T6 T64	330 320	220 180	7 8	95 90
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC- AlSi2MgTi	T6	170	70	5	50
	EN AC-42100	EN AC- AlSi7Mg	F T6 T64	260 170 240	180 90 220	5 1 2	85 80 80
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC- AlSi7Mg0.3	T6	290	210	4	90
	EN AC-42200	EN AC- AlSi7Mg0.6	T64	320	240	8	100
	EN AC-43000	EN AC- AlSi10Mg(a)	F T6 T64	180 260 240	90 220 200	2,5 1 2	55 90 80
	EN AC-43100	EN AC- AlSi10Mg(b)	F T6 T64	180 260 240	90 220 200	2,5 1 2	55 90 80
AlSi10Mg	EN AC-43200	EN AC- AlSi10Mg(Cu)	F T6	180 240	90 200	1 1	55 80
	EN AC-43300	EN AC- AlSi9Mg	T6 T64	290 250	210 180	4 6	90 80
AlSi	EN AC-44000	EN AC- AlSi11	F	170	80	7	45
	EN AC-44100	EN AC- AlSi12(b)	F	170	80	5	55
	EN AC-44200	EN AC- AlSi12(a)	F	170	80	6	55
	EN AC-45000	EN AC- AlSi6Cu4	F	170	100	1	75
AlSi5Cu	EN AC-45100	EN AC- AlSi5Cu3Mg	T4 T6	270 320	180 280	2,5 <1	85 110
	EN AC-45200	EN AC- AlSi5Cu3Mn	F T6	160 280	80 230	1 <1	70 90
	EN AC-45300	EN AC- AlSi5Cu1Mg	T4 T6	230 280	140 210	3 <1	85 110
	EN AC-45400	EN AC- AlSi5Cu3	T4	230	110	6	75
	EN AC-46200	EN AC- AlSi8Cu3	F	170	100	1	75
	EN AC-46300	EN AC- AlSi7Cu3Mg	F	180	100	1	80
AlSi9Cu	EN AC-46400	EN AC- AlSi9Cu1Mg	F	170	100	1	75
	EN AC-46600	EN AC- AlSi7Cu2	F	275	235	1,5	105
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC- AlSi12(Cu)	F	170	90	2	55
	EN AC-48000	EN AC- AlSi12CuNiMg	T5 T6	200 280	185 240	<1	90 100
AlMg	EN AC-51000	EN AC- AlMg3(b)	F	150	70	5	50
	EN AC-51100	EN AC- AlMg3(a)	F	150	70	5	50
	EN AC-51300	EN AC- AlMg5	F	180	100	4	60
	EN AC-51400	EN AC- AlMg5(Si)	F	180	110	3	65
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC- AlZn5Mg	T1	210	130	4	65

Anexa 4. Cupru și aliaje de cupru(SR EN 1982)

a) Tabelele 1 și 2 – Cupru și aliaje cupru-crom

Tabelul 1. Cu-C (CC040A)

Compoziție %(m/m)	Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune $R_{m,2}$ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtate Brinell HB, min.	Conductivitatea electrică, MS/m min.	
							Element
Cu	Fără compoziție specifică	Turnare în amețec de formare-GS Sort A Sort B Sort C ¹⁾	150	40	25	40	50
			150	40	25	40	45
			150	40	25	40	32
1) Sortul C este destinat pentru unele aplicații de transfer de căldură, de exemplu echipament de răcire cu apă a aerului cald.							
NOTA – Lingourile din acest material nu se indică.							

Tabelul 2. CuCr1-C (CCT40C)

Compoziție %(m/m)	Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune $R_{m,2}$ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtate Brinell HB, min.	Conductivitatea electrică, MS/m min.		
							Element	Piesă turnată
Cu	rest	Turnare în amețec de formare-GS	300	200	10	95		
							min.	max.
Cr	0,4	1,2	Turnare în cochilă-GM	300	200	10	95	45
1) După tratament termic complet.								
NOTA – Lingourile din acest material nu se indică.								

b) Tabelele 3 până la 16 –Aliaje cupru-zinc

Tabelul 3. CuZn33Pb2-B (CB750S) și CuZn33Pb2-C (CC750S)

Compoziție %(m/m)									
Element	Lingouri		Piese turnate		Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duritate Brinell HB, min.
	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	63,00	66,00	63,00	67,00	Turnare în amestec de formare-GS	180	70	12	45
Ni	-	1,00	-	1,00					
Pb	1,00	2,80	1,00	3,00					
Sn	-	1,50	-	1,50					
Zn	rest	rest	rest	rest					
Al	-	0,10 ²⁾	-	0,10	Turnare centrifugala - GY	180	70	12	50
Fe	-	0,70	-	0,80					
Mn	-	0,20	-	0,20					
P	-	0,04	-	0,05					
Si	-	-	-	0,05					

1) Inclusiv nichel.

2) Pentru lingourile destinate fabricației de piese etanșe la presiune turnate în amestec de formare sau centrifugal aluminiul trebuie limitat la 0,02% max.

Tabelul 4. CuZn33Pb2Si-B (CB751S) și CuZn33Pb2Si-C (CC751S)

Compoziție %(m/m)									
Element	Lingouri		Piese turnate		Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duritate Brinell HB, min.
	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	63,50	65,50	63,50	66,00	Turnare în amestec de formare-GS	(400)	(280)	(5)	(110)
Fe	0,25	0,50	0,25	0,50					
Ni	-	0,80	-	0,80					
Pb	0,80	2,00	0,80	2,20					
Si	0,70	1,00	0,65	1,10					
Zn	rest	rest	rest	rest					
Al	-	0,10	-	0,10					
Mn	-	0,10	-	0,15					
Sb	-	0,05	-	0,05					
Sn	-	0,80	-	0,80	(a se vedea nota 2)				

1) Inclusiv nichel.

NOTA 1 – Piesele turnate din acest aliaj trebuie să corespundă condițiilor referitoare la dezincare.

NOTA 2 – Caracteristicile mecanice pentru piesele turnate sub presiune (indicate sub paranteză) nu sunt condiții obligatorii, fiind date numai pentru informare.

Tabelul 5. CuZn35Pb2Al-B (CB752S) și CuZn35Pb2Al-C (CC752S)

Compoziție %(m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m}^{2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}^{2}$ N/mm ² min.	Alungire A_{g} % min.	Durtiate Brinell HB, min.	
Element	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al	0,30	0,70	0,30	0,70	Turnare în cochilia GM	280	120	10	70
As ¹⁾	0,04	0,12	-	0,15 ²⁾					
Cu	61,50	65,00	61,50	64,50					
Pb	1,50	2,40	1,50	2,50					
Sb ¹⁾	0,04	0,12	-	0,15 ²⁾					
Zn	rest		rest						
Fe	-	0,30	-	0,35	Turnare sub presiune GP (a se vedea nota 2)	(340)	(215)	(5)	(110)
Mn	-	0,15	-	0,15					
Ni	-	0,25	-	0,25					
Si	-	0,01	-	0,01					
Sn	-	0,40	-	0,40					

1) Sb și As sunt inhibitori alternativi pentru dezincare. Dacă Sb este adăugat ca inhibitor, atunci conținutul de arsen este de max. 0,04%. Dacă As se adaugă ca inhibitor, atunci conținutul de Sb este de max 0,04%.

2) (Sb+As) trebuie să fie de maximum 0,15%.

NOTA 1 - Piesele turnate din acest aliaj trebuie să aibă rezistența de dezincare.

NOTA 2 – Caracteristicile mecanice pentru piesele turnate sub presiune (indicate în paranteze) nu sunt condiții obligatorii, fiind date numai pentru informare.

NOTA 3 - Pentru aplicații speciale care necesită piese turnate în grăunți fini, lingourile pot fi comandate și livrate cu grăunți rafinați până la un diametru maxim de grăunțe de 0,150 mm.

Tabelul 6. CuZn37Pb2NiAlFe-B (CB753S) și CuZn37Pb2NiAlFe-C (CC753S)

Compoziție %(m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m}^{2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}^{2}$ N/mm ² min.	Alungire A_{g} % min.	Durtiate Brinell HB, min.					
Element	Lingouri		Piese turnate										
	min.	max.	min.	max.									
Al	0,40	0,80	0,40	0,80	Turnare în cochilia - GM	300	150	15	90				
Cu ¹⁾	58,00	60,00	58,00	61,00									
Fe	0,50	0,80	0,50	0,80									
Ni	0,50	1,20	0,50	1,20									
Pb	1,80	2,50	1,80	2,50									
Sn	-	0,80	-	0,80									
Zn	rest		rest										
Mn	-	0,20	-	0,20									
P	-	0,02	-	0,02									
Sb	-	0,05	-	0,05									
Si	-	0,05	-	0,05									

1) Inclusiv nichel

NOTA - Dacă nu există un acord între cumpărător și furnizor referitoare la folosirea unor agenți de rafinare a grăunților, lingourile din acest aliaj trebuie rafinate cu zirconiu pentru a avea diametrul grăunțului de maxim 0,300 mm.

Tabelul 7. CuZn39Pb1Al-B și CuZn39Pb1Al-C (CC754S)

Element	Compoziție %(m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m}^2 N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}^2$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtiate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al ¹⁾	0,10	0,80	-	0,80	Turnare în amestec de formare-GS	220	80	15	65
Cu ²⁾	58,00	62,00	58,00	63,00					
Ni	-	1,00	-	1,00					
Pb	0,50	2,40	0,50	2,50					
Sn	-	1,00	-	1,00					
Zn	rest		rest		Turnare coehilă -GM	280	120	10	70
Fe	-	0,70	-	0,70	Turnare sub presiune GP (a se vedea nota 2)	(350)	(250)	(4)	(110)
Mn	-	0,50	-	0,50					
P	-	0,02	-	0,02					
Si	-	0,05	-	0,05 ³⁾					
					Turnare centrifugală GZ	280	120	10	70

1) Pentru lingourile destinate fabricării de piese turnate în amestec de formare sau turnate centrifugal, conținutul maxim de aluminiu trebuie limitat la 0,02%.

2) Inklusiv nichel

3) Pentru piese turnate sub presiune, conținutul maxim de siliciu trebuie mărit la maximum 0,30%.

NOTA 1 – Pentru aplicațiile speciale care necesită piese turnate cu grăunți fini, se admite comandarea și furnizarea de lingouri rafinate cu un diametru maxim de grăunțe de 0,150 mm.

NOTA 2 – Caracteristicile mecanice ale pieselor turnate sub presiune (prezentate în paranteze) nu sunt condiții obligatorii fiind date numai pentru informare.

Tabelul 8. CuZn39Pb1AlB-B (CB755S) și CuZn39Pb1AlB-C (CC755S)

Element	Compoziție % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m}^2 N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}^2$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtiate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al	0,40	0,65	0,40	0,70	Turnare în coehilă-GM	350	180	13	90
B	-1)	-1)	-1)	-1)					
Cu	59,0	60,5	59,5	61,0					
Fe	0,05	0,20	0,05	0,20					
Pb	1,2	1,70	1,20	1,70					
Zn	rest		rest		Turnare sub presiune-GP (a se vedea nota)	(350)	(250)	(4)	(110)
Mn	-	0,05	-	0,05					
Ni	-	0,20	-	0,20					
Si	-	0,03	-	0,5					
Sn	-	0,30	-	0,35					

1) Dacă nu există un acord între cumpărător și furnizor referitor la folosirea unor agenți de rafinare (modificatori) a grăunților, pentru aceste aliaje, lingourile trebuie rafinate cu bor pentru a avea un diametru de grăunțe de maximum 0,100 mm.

NOTA – Caracteristicile mecanice pentru piesele turnate sub presiune (prezentate în paranteze) nu sunt prescripții obligatorii și sunt date numai pentru informare.

Tabelul 9. CuZn15As-B (CB760S) și CuZn15As-C (CC760S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri		Pese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
As	0,06	0,15	0,05	0,15	Turnare în amestec de formare-GS	160	70	20	45
Cu	83,0	87,5	83,0	88,0					
Zn	rest		rest						
Al	-	0,01	-	0,01					
Fe	-	0,15	-	0,15					
Mn	-	0,10	-	0,10					
Ni	-	0,10	-	0,10					
Pb	-	0,50	-	0,50					
Si	-	0,02	-	0,02					
Sn	-	0,30	-	0,30					

Tabelul 10. CuZn16Si4-B (CB761S) și CuZn16Si4-C (CC761S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri		Pese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al	-	0,10	-	0,1	Turnare în amestec de formare-GS	400	230	10	100
Cu	78,5	82,0	78,5	83,0					
Ni	-	1,00	-	1,0					
Pb	-	0,60	-	0,8					
Si	3,0	5,0	3,0	5,0	Turnare în coehilă-GS	500	300	8	130
Zn	rest		rest						
Fe	-	0,50	-	0,60	Turnare sub presiune-GP	(530)	(370)	(5)	(150)
Mn	-	0,20	-	0,20					
P	-	0,02	-	0,03	Turnare centrifugală-GZ	500	300	8	130
Sb	-	0,05	-	0,05					
Sn	-	0,25	-	0,30					

NOTĂ – Caracteristicile mecanice pentru pese turnate sub presiune (prezentate în paranteze) nu sunt condiții obligatorii fiind date numai pentru informare.

Tabelul 11. CuZn25Al5Mn4Fe3-B (CB762S) și CuZn25Al5Mn4Fe3-C (CC762S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri	Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.					
Al	4,0	7,0	3,0	7,0	Turnare în amestec de formare-GS	750	450	8	180
Cu ¹⁾	60,0	66,0	60,0	67,0					
Fe	1,5	3,5	1,5	4,0	Turnare în coohilă-GS	750	480	8	180
Mn	3,0	5,0	2,5	5,0					
Ni	-	2,7	-	3,0	Turnare sub presiune-GP și Turnare centrifugată-GZ	750	480	5	190
Zn	rest	rest	rest	rest					
P	-	0,02	-	0,03					
Pb	-	0,20	-	0,20					
Sb	-	0,03	-	0,03					
Si	-	0,08	-	0,10					
Sn	-	0,20	-	0,20					

1) Inclusiv nichel

Tabelul 12. CuZn32Al2Mn2Fe1-B (CB763S) și CuZn32Al2Mn2Fe1-C (CC763S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri	Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.					
Al	1,00	2,5	1,0	2,5	Turnare în amestec de formare-GS	430	150	10	100
Cu ¹⁾	59,0	67,0	59,0	67,0					
Fe	0,50	2,0	0,5	2,0	Turnare sub presiune-GP (a se vedea nota)	(440)	(330)	(3)	(130)
Mn	1,0	3,5	1,0	3,5					
Ni	-	2,5	-	2,5					
Pb	-	1,5	-	1,5					
Si	-	1,0	-	1,0					
Sn	-	1,0	-	1,0					
Zn	rest	rest	rest	rest					
Sb	-	0,08	-	0,08					

1) Inclusiv nichel.

NOTĂ - Caracteristicile mecanice pentru piese turnate sub presiune (prezentate în paranteze) nu sunt condiții obligatorii fiind date numai pentru întărit.

Tabelul 13. CuZn34Mn3Al2Fe1-B (CB764S) și CuZn34Mn3Al2Fe1-C (CC764S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m} ¹ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Pese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al	1,5	3,0	1,0	3,0	Turnare în amestec de formare-GS	450	250	15	140
Cu ¹⁾	55,0	65,0	55,0	66,0					
Fe	0,8	2,0	0,5	2,5					
Mn	1,0	3,5	1,0	4,0					
Ni	-	2,7	-	3,0	Turnare în cochilă-GM	600	260	10	140
Zn	rest	rest	rest	rest					
P	-	0,02	-	0,03	Turnare centrifugată-GZ	620	260	14	150
Pb	-	0,20	-	0,30					
Sb	-	0,05	-	0,05					
Si	-	0,08	-	0,10					
Sn	-	0,30	-	0,30					

1) Inklusiv nichel

Tabelul 14. CuZn35Mn2Al1Fe1-B (CB765S) și CuZn35Mn2Al1Fe1-C (CC765S)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m} ¹ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Pese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Al	0,7	2,2	0,5	2,5	Turnare în amestec de formare-GS	450	170	20	110
Cu ¹⁾	56,0	64,0	57,0	65,0					
Fe	0,5	1,80	0,5	2,0	Turnare în cochilă-GM	475	200	18	110
Mn	0,5	2,5	0,5	3,0					
Ni	-	6,0	-	6,0	Turnare centrifugată-GZ	500	200	18	120
Sn	-	0,8	-	1,0					
Zn	rest	rest	rest	rest	Turnare centrifugată-GZ	500	200	18	120
P	-	0,02	-	0,03					
Pb	-	0,50	-	0,50					
Sb	-	0,08	-	0,08					
Si	-	0,10	-	0,10					

1) Inklusiv nichel

NOTĂ – Pentru unele aplicații este necesară o proporție minimă de fază alfa în microstructura pieselor turnate.

Tabelul 15. CuZn37Al1-B (CB766S) și CuZn37Al1-C (CC766S)

		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Durtate Brinell HB, min.
Element	Lingouri		Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.						
Al	0,1	1,8	0,3	1,8	Turnare în cochilă-GM	450	170	25	105	
Cu ¹⁾	59,0	63,0	60,0	64,0						
Ni	-	1,8	-	2,0						
Zn	rest		rest							
Fe	0,40	0,40	-	0,50						
Mn	-	0,40	-	0,50						
P	-	0,02	-	-						
Pb	-	0,40	-	0,50						
Sb	-	0,05	-	0,10						
Si	-	0,50	-	0,60						
Sn	-	0,40	-	0,50						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 16. CuZn38Al-B (CB767S) și CuZn38Al-C (CC767S)

		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Durtate Brinell HB, min.
Element	Lingouri		Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.						
Al	0,1	0,8	0,1	0,80	Turnare în cochilă-GM	380	130	30	75	
Cu ¹⁾	59,0	64,0	59,0	64,0						
Ni	-	0,8	-	1,0						
Zn	rest		rest							
Fe	-	0,4	-	0,50						
Mn	-	0,4	-	0,50						
P	-	0,05	-	-						
Pb	-	0,10	-	0,10						
Si	-	0,05	-	0,20						
Sn	-	0,10	-	0,10						

1) Inklusiv nichel

c) Tabelele 17 și 21 –Aliaje cupru-staniu

Tabelul 17. CuSn10-B (CB480K) și CuSn10-C (CC480K)

Element	Compoziție,% (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri	Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	88,5	90,5	88,0	90,0	Turnare în amestec de formare-GS	250	130	5	60
Ni	-	1,8	-	2,0					
P	-	0,05	-	0,2					
Pb	-	0,8	-	1,0					
Sn	9,3	11,0	9,0	11,0					
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare în cochilă-	310	170	2	85
Fe	-	0,15	-	0,2	GM				
Mn	-	0,10	-	0,10	Turnare continuă-GC	350	170	5	85
S	-	0,04	-	0,05	Turnare centrifugală-GZ	330	170	4	85
Sb	-	0,15	-	0,2					
Si	-	0,01	-	0,02					
Zn	-	0,05	-	0,5					

1) Inclusive nichel

Tabelul 18. CuSn11P-B(CB481K) și CuSn11P-C (CC481K)

Element	Compoziție,% (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri	Piese turnate							
	min.	max.	min.	max.					
Cu	87,0	89,3	87,0	89,5	Turnare în amestec de formare-GS	250	130	5	60
P ¹⁾	0,6	1,0	0,5	1,0					
Sn	10,2	11,5	10,0	11,5	Turnare în cochilă-GM	310	170	2	85
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare continuă-GC				
Fe	-	0,10	-	0,10	Turnare centrifugală-GZ	330	170	4	85
Mn	-	0,05	-	0,05					
Ni	-	0,10	-	0,10	Turnare centrifugală-GZ	330	170	4	85
Pb	-	0,25	-	0,25					
S	-	0,05	-	0,05					
Sb	-	0,05	-	0,05					
Si	-	0,01	-	0,01					
Zn	-	0,05	-	0,05					

1) Pentru piesele turnate în amestec de formare care nu se folosesc pentru lagăre, fosforul trebuie limitat până la maximum 0,15%.

Tabelul 19. CuSn11Pb2-B (CB482K) și CuSn11Pb2-C (CC482K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duriatate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu	85,5	86,5	83,5	87,0	Turnare în amestec de formare-GS	240	130	5	80
Ni	-	2,0	-	2,0					
P	0,7	0,05	-	0,40	Turnare în amestec de formare-GS	240	130	5	80
Pb	10,7	2,5	0,7	2,5					
Sn	-	12,5	10,5	12,5	Turnare în amestec de formare-GS	240	130	5	80
Zn	-	2,0	-	2,0					
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugată-GZ	280	150	5	90
Fe	-	0,15	-	0,20					
Mn	-	0,2	-	0,2	Turnare centrifugată-GZ	280	150	5	90
S	-	0,08	-	0,08					
Sb	-	0,20	-	0,2	Turnare continuă-GC	280	150	5	90
Si	-	0,01	-	0,01					

Tabelul 20. CuSn12-B (CB483K) și CuSn12-C (CC483K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min.	Duriatate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu	85,5	88,5	85,0	88,5	Turnare în amestec de formare-GS	260	140	7	80
Ni	-	2,0	-	2,0					
P	-	0,20	-	0,60	Turnare în cochiță-GM	270	150	5	80
Pb	-	0,6	-	0,7					
Sn	11,2	13,0	11,0	13,0	Turnare continuă-GC	300	150	6	90
Al	-	0,01	-	0,01					
Fe	-	0,15	-	0,2	Turnare centrifugată-GZ	280	150	5	90
Mn	-	0,2	-	0,2					
S	-	0,05	-	0,05	Turnare centrifugată-GZ	280	150	5	90
Sb	-	0,15	-	0,15					
Si	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugată-GZ	280	150	5	90
Zn	-	0,4	-	0,5					

Tabelul 21. CuSn12Ni2-B (CB484K) și CuSn12Ni2-C (CC484K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2s}$ N/mm ² min.	Alungire A_s % min.	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu	84,0	87,0	84,5	87,5	Turnare în amestec de formare-GS	280	160	12	85
Ni	1,5	2,4	1,5	2,5					
P	-	0,05	0,05	0,40					
Sn	11,3	13,0	11,0	13,0					
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	300	180	8	95
Fe	-	0,15	-	0,20					
Mn	-	0,10	-	0,2	Turnare continuă-GC	300	180	10	95
Pb	-	0,2	-	0,3					
S	-	0,04	-	0,05					
Sb	-	0,05	-	0,1					
Si	-	0,01	-	0,01					
Zn	-	0,3	-	0,4					

d) Tabelele 22 și 30 –Aliaje cupru-staniu-plumb

Tabelul 22. CuSn3Zn8Pb5-B (CB490K) și CuSn3Zn8Pb5-C (CC490K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2s}$ N/mm ² min.	Alungire A_s % min.	Duritate Brinell HB, min.					
	Lingouri		Piese turnate											
	min.	max.	min.	max.										
Cu ¹⁾	81,0	85,5	81,0	86,0	Turnare în amestec de formare-GS	180	85	15	60					
Ni	-	2,0	-	2,0										
P	-	0,03	-	0,05										
Pb	3,5	5,8	3,0	6,0										
Sn	2,2	3,5	2,0	3,5										
Zn	7,5	10,0	7,0	9,5										
Al	-	0,01	-	0,01						Turnare centrifugală-GZ	220	100	12	70
Fe	-	0,50	-	0,50										
S	-	0,08	-	0,10						Turnare continuă-GC	220	100	12	70
Sb	-	0,25	-	0,30										
Si	-	0,01	-	0,01										

1) Inklusiv nichel

Tabelul 23. CuSn5Zn5Pb5-B (CB491K) și CuSn5Zn5Pb5-C (CC491K)

		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{m0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Duritate Brinell HB, min.
Element	Lingouri	Piese turnate		Piese turnate						
		min.	max.		min.	max.				
Cu ¹⁾	83,0	86,5	83,0	87,0	Turnare în amestec de formare-GS	200	90	13	60	
Ni	-	2,0	-	2,0						
P	-	0,03	-	0,10	Turnare în cochiță-GM	220	110	6	65	
Pb	4,2	5,8	4,0	6,0						
Sn	4,2	6,0	4,0	6,0	Turnare centrifugală-GZ	250	110	13	65	
Zn	4,5	6,5	4,0	6,0						
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare continuă-GC	250	110	13	65	
Fe	-	0,25	-	0,3						
S	-	0,08	-	0,10						
Sb	-	0,25	-	0,25						
Si	-	0,01	-	0,01						

1) Inclusiv nichel

Tabelul 24. CuSn7Zn2Pb3-B (CB492K) și CuSn7Zn2Pb3-C (CC492K)

		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{m0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min.	Duritate Brinell HB, min.
Element	Lingouri	Piese turnate		Piese turnate						
		min.	max.		min.	max.				
Cu ¹⁾	85,0	88,5	85,0	89,0	Turnare în amestec de formare-GS	230	130	14	65	
Ni	-	2,0	-	2,0						
P	-	0,03	-	0,10	Turnare în cochiță-GM	230	130	12	70	
Pb	2,7	3,5	2,5	3,5						
Sn ²⁾	6,2	8,0	6,0	8,0	Turnare centrifugală-GZ	260	130	12	70	
Zn	1,7	3,2	1,5	3,0						
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare continuă-GC	270	130	12	70	
Fe	-	0,20	-	0,20						
S	-	0,08	-	0,10						
Sb	-	0,25	-	0,25						
S	-	0,01	-	0,01						

1) Inclusiv nichel

2) Conținutul de (staniu + ½ nichel) trebuie să fie în domeniul 7,0% până la 8,0 %.

Tabelul 25. CuSn7Zn4Pb7-B (CB493K) și CuSn7Zn4Pb7-C (CC493K)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
		min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾ Ni P Pb Sn Zn		81,0	88,5	85,0	89,0	Turnare în amestec de formare-GS Turnare în cochiță-GM	230	120	15	60
		-	2,0	-	2,0					
		-	0,03	-	0,10					
		2,7	3,5	2,5	3,5					
	6,2	8,0	6,0	8,0						
	1,7	3,0	1,5	3,0						
Al Fe S Sb Si		-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	260	120	12	70
		-	0,20	-	0,10					
		-	0,08	-	0,10	Turnare continuă-GC	260	12	70	
		-	0,30	-	0,3					
	-	0,01	-	0,01						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 26. CuSn6Zn4Pb2-B (CB498K) și CuSn6Zn4Pb2-C (CC498K)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
		min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾ Ni P Pb Sn Zn		86,0	89,5	86,0	90,0	Turnare în amestec de formare-GS Turnare în cochiță	220	110	15	65
		-	1,0	-	1,0					
		-	0,03	-	0,05					
		1,2	2,0	1,0	2,0					
	5,7	6,5	5,5	6,5						
	3,2	5,0	3,0	5,0						
Al Fe S Sb Si		-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	240	110	12	70
		-	0,25	-	0,25					
		-	0,08	-	0,10	Turnare continuă-GC	240	110	12	70
		-	0,25	-	0,25					
	-	0,01	-	0,01						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 27. CuSn5Pb9-B (CB494K) și CuSn5Pb9-C (CC494K)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
min.	max.	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	80,0	86,5	80,0	87,0	Turnare în amestec de formare-GS	160	60	7	55	
Ni	-	2,0	-	2,0						
P	-	0,10	-	0,10	Turnare în cochilă	200	80	5	60	
Pb	8,2	10,0	8,0	10,0						
Sn	4,2	6,0	4,0	6,0	Turnare centrifugală-GZ	200	90	6	60	
Zn	-	2,0	-	2,0						
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare continuă-GC	200	100	9	60	
Fe	-	0,20	-	0,25						
Mn	-	0,20	-	0,20						
S	-	0,08	-	0,10						
Sb	-	0,50	-	0,50						
Si	-	0,01	-	0,01						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 28. CuSn10Pb10-B (CB495K) și CuSn10Pb10-C (CC495K)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
min.	max.	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	78,0	81,5	78,0	82,0	Turnare în amestec de formare-GS	180	80	8	60	
Ni	-	2,0	-	2,0						
P	-	0,10	-	0,10	Turnare în cochilă	220	110	3	65	
Pb	8,2	10,5	8,0	11,0						
Sn	9,2	11,0	9,0	11,0	Turnare centrifugală-GZ	220	110	6	70	
Zn	-	2,0	-	2,0						
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare continuă-GC	220	110	8	70	
Fe	-	0,20	-	0,25						
Mn	-	0,20	-	0,20						
S	-	0,08	-	0,10						
Sb	-	0,50	-	0,50						
Si	-	0,01	-	0,01						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 29. CuSn7Pb15-B (CB496K) și CuSn7Pb15-C (CC496K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	74,0	79,5	74,0	80,0	Turnare în amestec de formare-GS	170	80	8	60
Ni	0,5	2,5	0,5	2,0					
P	-	0,10	-	0,10					
Pb	13,2	17,0	13,0	17,0					
Sn	6,2	8,0	6,0	8,0					
Zn	-	2,0	-	2,0	Turnare continuă-GC	200	90	8	65
Al	-	0,01	-	0,01					
Fe	-	0,20	-	0,25					
Mn	-	0,20	-	0,20					
S	-	0,08	-	0,10					
Sb	-	0,50	-	0,50	Turnare centrifugală-GZ	200	90	7	65
Si	-	0,01	-	0,01					

1) Inklusiv nichel

Tabelul 30. CuSn5Pb20-B (CB497K) și CuSn5Pb20-C (CC497K)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu ¹⁾	70,0	77,5	70,0	78,0	Turnare în amestec de formare-GS	150	70	5	45
Ni	0,5	2,5	0,5	2,5					
P	-	0,10	-	0,10					
Pb	19,0	23,0	18,0	23,0					
Sn	4,2	6,0	4,0	6,0					
Zn	-	2,0	-	2,0	Turnare continuă-GC	180	90	7	50
Al	-	0,01	-	0,01					
Fe	-	0,20	-	0,25					
Mn	-	0,20	-	0,20					
S	-	0,08	-	0,10					
Sb	-	0,75	-	0,50	Turnare centrifugală-GZ	170	80	6	50
Si	-	0,01	-	0,01					

1) Inklusiv nichel

e) Tabelele 31 și 35 –Aliaje cupru-aluminiu

Tabelul 31. CuAl9-B (CB330G) și CuAl9-C (CC330G)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $RP_{0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
		min.	max.	min.	max.					
Al	8,2	10,5	8,0	10,0	Turnare în cochilă-GM	500	180	20	100	
Cu ¹⁾	88,0	91,5	88,0	92,						
Fe	-	1,0	-	1,2						
Mn	-	0,50	-	0,50						
Ni	-	0,1	-	0,1						
Pb	-	0,25	-	0,30	Turnare centrifugală-GZ	450	160	15	10	
Si	-	0,15	-	0,20						
Sn	-	0,25	-	0,30						
Zn	-	0,40	-	0,50						

1) Inklusiv nichel

Tabelul 32. CuAl10Fe2-B (CB331G) și CuAl10Fe2-C (CC331G)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $RP_{0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri		Piese turnate						
		min.	max.	min.	max.					
Al	8,7	10,5	8,5	10,5	Turnare în amesec de formare-GS	500	180	18	100	
Cu	83,0	89,0	83,0	89,5						
Fe	1,5	3,3	1,5	3,5						
Mn	-	1,0	-	1,0						
Ni	-	1,5	-	1,5	Turnare în cochilă-GM	600	250	20	130	
Mg	-	0,05	-	0,05	Turnare centrifugală-GZ	550	200	18	130	
Pb	-	0,03	-	0,10 ¹⁾						
Si	-	0,15	-	0,20	Turnare continuă-GC	550	200	15	130	
Sn	-	0,20	-	0,20						
Zn	-	0,50	-	0,50						

1) Pentru piesele turnate care se sudază, conținutul de plumb trebuie să fie de maximum 0,03%.

Tabelul 33. CuAl10Ni3Fe2-B (CB332G) și CuAl10Ni3Fe2-C (CC332G)

Element		Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
		Lingouri	Pesele turnate		Pesele turnate					
		min.	max.	min.	max.					
Al ¹⁾	8,7	10,5	8,5	10,5	Turnare în amestec de formare-GS	500	180	18	100	
Cu	80,0	85,5	80,0	86,0						
Fe	1,0	2,8	1,0	3,0						
Mn	-	2,0	-	2,0	Turnare în cochiță-GM	600	250	20	130	
Ni ¹⁾	1,5	4,0	1,5	4,0						
Mg	-	0,05	-	0,05	Turnare centrifugală-GZ	550	220	20	120	
Pb	-	0,03	-	0,10 ²⁾						
Si	-	0,15	-	0,20						
Sn	-	0,20	-	0,20	Turnare continuă-GC	550	220	20	120	
Zn	-	0,50	-	0,50						

1) Pentru piesele turnate, destinate aplicațiilor marine, conținutul de aluminiu trebuie să fie: Al % <(8,2 + 0,5 Ni^{1b}%).

2) Pentru piesele turnate care se sudază, conținutul de plumb trebuie să fie de maximum 0,03%.

Tabelul 34. CuAl10Fe5Ni5-B (CB333G) și CuAl10Fe5Ni5-C (CC333G)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A_1 % min	Duritate Brinell HB, min.
	Lingouri	Pesele turnate		Pesele turnate					
min.	max.	min.	max.						
Al	8,8	10,0	8,5	10,5	Turnare în amestec de formare-GS	600	250	13	140
Cu	76,0	82,5	76,0	83,0					
Fe ¹⁾	4,0	5,3	4,0	5,5	Turnare în cochiță-GM	650	280	7	150
Mn	-	2,5	-	3,0					
Ni ¹⁾	4,0	5,5	4,0	6,0					
Bi	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	650	280	13	150
Cr	-	0,05	-	0,05					
Mg	-	0,05	-	0,05					
Pb	-	0,03	-	0,03	Turnare continuă-GC	650	280	13	150
Si	-	0,10	-	0,10					
Sn	-	0,10	-	0,10					
Zn	-	0,40	-	0,50					

1) Pentru piesele turnate în cochiță, conținutul de fier trebuie să fie minimum 3,0% și conținutul de nichel minimum 3,70%.

Tabelul 35. CuAl11Fe6Ni6-B (CB334G) și CuAl11Fe6Ni6-C (CC334G)â

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune $R_{m}^{0,2}$ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Durtate Brinell HB, min.
	min.	max.	min.	max.					
Al	10,3	12,0	10,0	12,0	Turnare în amestec de formare-GS	680	320	5	170
Cu	72,0	77,0	72,0	78,0					
Fe ¹⁾	4,2	7,0	4,0	7,0	Turnare în cochiță ¹⁾ -GM	750	380	5	185
Mn	-	2,5	-	2,5					
Ni	4,3	7,5	4,0	7,5					
Mg	-	0,05	-	0,05	Turnare centrifugală-GZ	750	380	5	185
Pb	-	0,04	-	0,05					
Si	-	0,10	-	0,10					
Sn	-	0,20	-	0,20					
Zn	-	0,40	-	0,50					

1) Pentru piesele turnate în cochiță, conținutul de fier trebuie să fie minimum 3,0%.

f) Tabelul 36. Aliaji cupru-mangan-aluminiu

Tabelul 36 – CuMn11Al8Fe3Ni3-C (CC212E)

Element	Compoziție, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune $R_{m}^{0,2}$ N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Durtate Brinell HB, min.
	min.	max.	min.	max.					
Al	-	7,0	-	9,0	Turnare în amestec de formare-GS	630	275	18	150
Cu	-	68,0	-	77,0					
Fe	-	2,0	-	4,0					
Mn	-	8,0	-	15,0					
Ni	-	1,5	-	4,5					
Mg	-	0,05	-	0,05					
Pb	-	0,05	-	0,1					
Si	-	0,5	-	0,5					
Sn	-	1,0	-	1,0					
Zn	-	-	-	-					

NOTĂ – Caracteristicile lingourilor destinate producerii de piese turnate din CuMn11Al8Fe3Ni3-C (CC212E) nu sunt indicate în prezentul standard. Limitele de compoziție sunt la alegerea cumpărătorului și se stabilesc prin cererea de ofertă și prin comandă la se ved.

g) Tabelele 37 până la 40 – Aliaje cupru-nichel

Tabelul 37. CuNi10Fe1Mn1-B (CB380H) și CuNi10Fe1Mn1-C (CC380H)

Element	Compoziție, % (m/m)		Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Duriere Brinell HB, min.		
	min.	max.							
Cu	84,5	-	84,5	-	-	-	-		
Fe	1,2	1,8	1,0	1,8	Turnare în amestec de formare-GS	280	120	20	70
Mn	1,2	1,5	1,0	1,5					
Ni	9,2	11,0	9,0	11,0					
Si	-	0,10	-	0,10					
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	280	100	25	70
C	-	0,10	-	0,10					
Nb	-	1,00	-	1,00	Turnare continuă-GC	280	100	25	70
Pb	-	0,03	-	0,03					
Zn	-	0,50	-	0,50					

Tabelul 38. CuNi30Fe1Mn1-B (CB381H) și CuNi30Fe1Mn1-C (CC381H)

Element	Compoziție, % (m/m)		Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{ms} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Duriere Brinell HB, min.		
	min.	max.							
Cu	64,5	-	64,5	-	-	-	-		
Fe	0,5	1,5	0,5	1,5	Turnare în amestec de formare-GS	340	120	18	80
Mn	0,7	1,2	0,6	1,2					
Ni	29,2	31,0	29,0	31,0					
Si	-	0,10	-	0,10					
Al	-	0,01	-	0,01	Turnare centrifugală-GZ	340	120	18	80
C	-	0,02	-	0,03					
P	-	0,01	-	0,01					
Pb	-	0,03	-	0,03					
S	-	0,01	-	0,01					
Zn	-	0,50	-	0,50					

Tabelul 39. CuNi30Cr2FeMnSi-C (CC382H)

Element	Compozitie, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cr			1,5	rest	2,0				
Cu			0,5	rest	1,0				
Fe			0,5	rest	1,0				
Mn		A se vedea nota	29,0		32,0				
Ni			0,15		0,25				
Si			-		0,15				
Ti			-		-				
Zr			-		0,005				
Al			-		0,01				
B			-		0,01				
Bi			-		0,002				
C			-		0,03				
Mg			-		0,01				
P		A se vedea nota	-		0,01				
Pb			-		0,005				
S			-		0,01				
Se			-		0,005				
Te			-		0,005				
Zn			-		0,2				

NOTA – Caracteristicile lingourilor destinate producerii de piese turnate din CuNi30Cr2FeMnSi-C (CC382H) nu sunt indicate în prezentul standard. Limitile de compozitie sunt la alegerea cumpărătorului și se stabilesc prin cererea de ofertă și prin comandă.

Tabelul 40. CuNi30Fe1Mn1NbSi-C (CC383H)

Element	Compozitie, % (m/m)				Procedeu de turnare și simbolizare	Rezistență la tracțiune R_{m2} N/mm ² min.	Limită de curgere $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Alungire A, % min	Durtate Brinell HB, min.
	Lingouri		Piese turnate						
	min.	max.	min.	max.					
Cu			rest	rest					
Fe			0,5	rest	1,5				
Mn		A se vedea nota	0,6		1,2				
Nb			0,5		1,0				
Ni			29,0		31,0				
Si			0,3		0,7				
Al			-		0,01				
B			-		0,01				
Bi			-		0,01				
C			-		0,03				
Cd			-		0,02				
Mg			-		0,01				
P		A se vedea nota	-		0,01				
Pb			-		0,01				
S			-		0,01				
Se			-		0,01				
Te			-		0,01				
Zn			-		0,50				

NOTA – Caracteristicile lingourilor destinate producerii de piese turnate din CuNi30Fe1Mn1NbSi-C (CC383H) nu sunt indicate în prezentul standard. Limitile de compozitie sunt la alegerea cumpărătorului și se stabilesc prin cererea de ofertă și prin comandă.

Anexa 5. Reactivi metalografici pentru cupru și aliajele de cupru

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
Cupru	<ul style="list-style-type: none"> - NHO₃ - 10g (NH₄)₂S₂O₈ + 100ml H₂O - 30ml HCl + 5g FeCl₃ + 100ml H₂O - 25ml HCl+8g FeCl₃ + 100 ml alcool etilic - soluție saturată de FeCl₃ - 100mlsoluție H₂O₂ 3% +5 ml H₂SO₄ 	<ul style="list-style-type: none"> - 5g FeCl₃+30ml HCl+100ml H₂O - NH₄OH - 60g KMnO₄+20 ml NH₃ - 3g AgNO₃+10ml H₂O - 50ml NHO₃+50ml H₂O 	<p>La atac cu NH₄OH, oxidul Cu₂O se înnegreșteși se dizolvă parțial iar Cu₂S nu se atacă</p>
Aliaje de cupru	<ul style="list-style-type: none"> - NHO₃ 67% - 5g FeCl₃+30ml HCl +100ml H₂O pentru alame, bronzuri cu aluminiu, bronzuri cu staniu, monel și aliaje speciale - 11g (NH₂)S₂O₈ + 100ml H₂O pentru alame,bronzuri α cu aluminiu, aliaje Cu-Ni. <p>Se pot utiliza de asemenea și reactivii de la cupru</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru aliajele Cu-Zn: - 0,3g FeCl₃+2,4ml HCl+100ml H₂O - 100ml NH₄OH+40ml H₂O₂ b) pentru aliajele Cu-Sn: - 100g (NH₄)₂S₂O₈+5...20ml H₂O₂+70...85ml H₂O c) pentru aliaje Cu-Al: - 67g H₂CrO₄+167ml HNO₃+100ml H₂O - 43ml NHO₃+100ml H₂O - 6,6ml HF+13ml HNO₃+100ml H₂O d) pentru aliajele Cu-Be: - 25g (NH₄)₂S₂O₈+10ml H₂O e) pentru aliajele Cu-Ag: - 10g KCN +100ml H₂O - soluție saturată Cu(NO₃)₂ + 400ml alcool etilic + 100ml H₂ - 19g (NH₄)₂S₂O₈ + 7,5ml NH₄OH + 100ml H₂O f) pentru aliajele Cu-Si-Fe: - 100ml NH₄OH + 40ml H₂O₂ + 100ml H₂O 10...15ml HcrO + 1...3picături HCl + 85...90ml H₂O 	<p>Pentru evidențierea substructurii:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 90ml soluție NH₄OH 50% +10g (NH₄)₂S₂O₈ - 90ml H₂SO₄ 30% - 5,5ml HNO₃ + 100ml alcool etilic

Anexa 6. Reactivi metalografici pentru nichel și aliajele de nichel

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
Nichel	<ul style="list-style-type: none"> - HCl concentrat sau HCl 10% - 8g FeCl₃ + 25 ml HCl + 100ml H₂O - 10g FeCl₃ +20ml HCl +20...30ml H₂O - 40ml glicerină + 20ml NHO₃ +60ml HCl - 2ml HCl+100ml alcool etilic - 18ml H₂O₂ +34ml H₂SO₄ + 100ml H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> - HCl concentrat sau HCl 10% - 8g FeCl₃ + 25 ml HCl + 100ml H₂O - 10g FeCl₃ +20ml HCl +20...30ml H₂O - 40ml glicerină + 20ml NHO₃ +60ml HCl - 2ml HCl+100ml alcool etilic - 18ml H₂O₂ +34ml H₂SO₄ + 100ml H₂O 	<p>Substructura se evidențiază cu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 8g FeCl₃ + 25 ml HCl + 100ml H₂O - 90ml NH₄OH + 10g (NH₄)₂S₂O₈
Aliaje de nichel	<ul style="list-style-type: none"> - HNO₃, 30% - 50ml HCl + 2g CuSO₄ + 50ml alcool etilic +50ml H₂O pentru aliaje Ni- Cr - Fe - apă regală HCl/HNO₃=3/1, în special pentru aliaje Ni-Cr, Ni-Cr-Fe 	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru aliajele Ni-Cu: - 106ml acid acetic + 382ml HNO₃ + 100ml H₂O - 8ml acid acetic 36% + 12ml HNO₃ - 12,5g CuNH₄Cl₂ + 12,5ml NH₄OH + 100ml H₂O - 20...40ml HNO₃ + 30...40ml acetona + 30...40ml acid acetic 75% b) pentru aliajele Ni-Cr: - 11g NaOH sau 10g Na₂S₂O₈ + 100ml H₂O - 11ml HCl + 100ml H₂O - 11g NaCN + 100ml H₂O - 10ml HF + 6ml HCl + 100ml alcool etilic c) pentru aliajele Ni-Zn: - HNO₃ concentrat d) pentru aliaje Ni-Cu-Zn: - 5,2g KCN+ câteva picături de H₂N₂ + 10ml H₂O - 15ml H₂O₂ + 58ml NH₄OH e) pentru aliajele Ni-Cu-Fe: - 20ml HNO₃ + 100ml HCl f) pentru aliajele tip nimonon Ni(Co)-Cr-Ti-Al: - 42ml acid acetic + 33ml HNO₃ + 25ml HCl - 9ml glicerină + 3...8ml acid acetic - 50ml soluție saturată CuSO₄ + 100ml HCl 	<p>Substructura se evidențiază cu aceiași reactivi utilizați pentru nichel</p>

Anexa7. Reactivi metalografici pentru plumb și aliajele de plumb

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
Plumb	<ul style="list-style-type: none"> - 15g (NH₄)₂MoO₄ + 100ml H₂O - 139ml HNO₃ + 100ml H₂O - 24ml acid acetic + 24ml HNO₃ + 100ml glicerină - 25ml HNO₃ + 100ml H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> - 42g MoO₃ + 29ml HNO₃ + 100ml H₂O - 10ml H₂O₂ 30% + 30 ml acid acetic - 11ml HNO₃ + 100ml H₂O - 9ml acid acetic + 9ml HNO₃ + 100ml glicerină - 10ml H₂O₂ 9% + 30ml acid acetic - 5,5ml HNO₃ + 10ml alcool etilic - 15g (NH₄)₂Cr₂O₄ + 100ml HNO₃ + 100ml H₂O 	
Aliaje de plumb	<ul style="list-style-type: none"> - 15g (NH₄)₂MoO₄ + 100ml H₂O - 139ml HNO₃ + 100ml H₂O - 24ml acid acetic + 24ml HNO₃ + 100ml glicerină - 25ml HNO₃ + 100ml H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru toate aliajele: - 2ml HNO₃+ 100ml H₂O - 10ml H₂O₂ + 30ml acid acetic - 10g FeCl₃ + 30ml HCl + 100ml H₂O b) pentru aliajele Pb-Ca și Pb-Na - 10ml H₂O₂ 9% + 30ml acid acetic c) pentru aliajele Pb-Sn și Pb-Cd - 20ml acid acetic + 10ml HNO₃ + 100ml glicerină - soluție NaOH d) pentru aliajele Pb-Sb-Sn - 1ml HCl + 100ml H₂O - 5...10g AgNO₃ + 90...95ml H₂O - 1ml HNO₃ + 100ml alcool etilic - 100g (NH₄)₂S₂O₈ + 100ml H₂O 	

Anexa 8. Reactivi metalografici pentru staniu și aliajele de staniu

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
Staniu	- HCl concentrat	- 1...5ml HCl + 95...98ml H ₂ O - 0,1g KCl + 100ml HCl - 10g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + 100ml H ₂ O - 6,6g FeCl ₂ + 1,6ml HCl + 198ml alcool etilic + 100ml H ₂ O - 3ml acid acetic + 1ml HNO ₃ + 5ml glicerină	
Aliaje de staniu	- soluție HNO ₃ 20% în apă sau alcool etilic - HNO ₃ 25% în apă - polipentasulfură de amoniu (se obține prin barbotarea H ₂ S în soluție 10% NH ₄ OH care conține câteva cristale de sulf). Durata atacului: 20...30 min.	a) pentru aliajele Sn-Pb - 100ml acid acetic 50% + 1 picătură H ₂ O ₂ - 6ml HNO ₃ + 12ml HCl + 100ml alcool etilic - 5,5ml HNO ₃ + 100ml H ₂ O b) pentru aliajele Sn-Cu - 10ml acid acetic + 2ml HNO ₃ + 100ml glicerină c) pentru aliajele Sn-Cd - 0,2g KCl + 100ml HCl + 100ml H ₂ O d) pentru aliajele Sn-Sb - 0,1g FeCl ₃ + 100ml alcool etilic - 11g FeCl ₃ + 100ml H ₂ O e) pentru aliajele Sn-Bi - 5,5ml HNO ₃ + 100ml alcool etilic f) pentru aliajele Sn-Sb-Cu - 10g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + 100ml H ₂ O - 10,5g FeCl ₃ + 2,5ml HCl + 100ml H ₂ O - 2ml HNO ₃ + 100ml H ₂ O - soluție de tiosulfat de sodiu	

Anexa 9. Reactivi metalografici pentru zinc și aliajele de zinc

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> - HCl - HNO₃ - 20g H₂CrO₄ + 1,5ml Na₂SO₄ + 100ml H₂O - 0,5g KClO₃ + 100ml HCl 	<ul style="list-style-type: none"> - HNO₃ în apă sau alcool etilic (0,5;1 și 10% HNO₃) - 0,75g Na₂SO₄ + 10ml H₂CrO₄ + 100ml H₂O - 11ml H₂CrO₄ + 100ml H₂O 	Substructura se pune în evidență cu: H ₂ SO ₄ 10% + 1...2 cristale anhidridă cromică în 100ml H ₂ O
Aliaje de zinc	<ul style="list-style-type: none"> - 5ml HNO₃ + 100ml alcool etilic - 5ml HCl + 100ml alcool etilic 	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru zincul microaliat - 40ml Cu(NO₃)₂ saturat la rece + 50g KCN + 5ml acid citric + 100ml H₂O - 6g H₂CrO₄ + 94ml HNO₃ b) pentru aliaje Zn-Cu - KOH saturat - 20g H₂CrO₄ + 100ml H₂O - 3g KCN, câteva picături H₂O₂ + 100ml H₂O c) pentru aliaje Zn-Cu-Al - 1,5g Na₂SO₄ + 2g NaF + 20g CrO₃ + 100ml H₂O - 20ml H₂SO₄ + 12ml sol. saturată NaCl + 6g K₂Cr₂O₇ + 30ml H₂O - 0,4g Na₂SO₄ + 5g CrO₃ + 100ml H₂O 	

Anexa 10. Reactivi metalografici pentru aluminiu și aliajele de aluminiu

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
1	2	3	4
Aluminiu	<ul style="list-style-type: none"> - 11ml HF 30% + 100ml H₂O - 12,5ml HF + 25ml HNO₃ + 50ml HCl + 12,5ml H₂O - 12,5ml HF + 12,5ml H₂SO₄ + 100ml H₂O - 11g FeCl₃ + 100ml H₂O - 1ml HNO₃ + 2ml HCl - 11,7ml H₃PO₄ + 6ml HF + 100ml H₂O - 11g NaOH + 100ml H₂O 10ml H₂CrO₄ + sol. Na₂SO₄ ,16% + 50ml HCl + 100ml H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru punerea în evidență a limitelor de grăunți - 1...10ml HCl + 90...99ml alcool etilic - 0,5ml HF 40% + 100ml H₂O - 25g NaOH + 100ml H₂O - 0,2ml HF + 0,9ml HNO₃ + 2,6ml HCl + 100ml H₂O b) pentru atacul suprafeței grăunților - 10...20ml HF + 10ml HNO₃ + 30ml glicerină - 10ml H₂SO₄ + 10ml HF 	<p>Pentru evidențierea substructurii: - soluție diluată de HF</p>
Aliaje de aluminiu	<p>Se pot utiliza reactivii de la aluminiu sau:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 15...16g CuCl₂ + 100ml H₂O - 10g (NH₄)₂S₂O₈ + 2ml HF, 40% + 100ml H₂O - 23ml H₃PO₄ + 0,6ml HF, 40% + 100ml H₂O 	<ul style="list-style-type: none"> a) pentru toate aliajele se utilizează: - 0,3ml HF + 0,5ml HNO₃ + 100ml H₂O - 50ml K₂Cr₂O₇ , 10% + 0,5ml HF + 20ml HNO₃ + 2ml HCl + 100ml H₂O b) pentru aliajele Al-Be, Al-Ce, Al-Ca - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O - 1g NaOH + 100ml H₂O c) pentru aliajele Al-Cr - 25g NaOH + 100ml H₂O d) pentru aliajele Al-Cu - 1,0ml HF + 26ml HNO₃ + 1,6ml HCl + 100ml H₂O - 16g CuCl₂ + 100ml H₂O e) pentru aliajele Al-Fe și Al-Mg - 0,5ml HF , 40% + 100ml H₂O - 25g NaOH + 100ml H₂O f) pentru aliajele Al-Mn - 0,5ml HF , 40% + 100ml H₂O - 1g NaOH + 100ml H₂O - 13ml HF, 40% + 2ml HNO₃ + 6ml HCl + 100ml H₂O g) pentru aliajele Al-Ni 	<p>Pentru evidențierea fazelor intermetalice se utilizează:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 33,3ml HNO₃ + 100ml H₂O - 10g K₄[Fe(CN)₆] + 100ml H₂O - 25ml H₂SO₄ + 100ml H₂O - 10ml H₃PO₄ + 100ml H₂O

		<ul style="list-style-type: none"> - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O - soluție saturată de KOH h) pentru aliajele Al-Si - 65ml HNO₃ + 35ml HCl + 100ml alcool metilic(pentru aliajele cu conținut mic de siliciu) - soluție saturată de KOH - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O i) pentru aliajele Al-Ti și Al-V) - 0,2ml HF + 0,9ml HNO₃ + 2,6ml HCl + 100ml H₂O - 0,5ml HF , 40% + 100ml H₂O j) pentru aliajele Al-Zn - 15...16g CuCl₂ + 100ml H₂O - 0,3ml HF + 0,5ml HNO₃ + 100ml H₂O k) pentru aliajele Al-Cr-Mg - 1g NaOH + 100ml H₂O l) pentru aliajele Al-Cu-Fe - 0,7ml HF + 0,8ml HNO₃ + 2,5ml HCl + 100ml H₂O m) pentru aliajele Al-Cu-Mg - 33,3ml HNO₃ + 100ml H₂O - 25ml H₂SO₄ + 100ml H₂O n) pentru aliajele Al-Cu-Mn - 10...20ml HF + 10ml HNO₃ + 30ml glicerină - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O o) pentru aliajele Al-Cu-Ni - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O p) pentru aliajele Al-Fe-Mn - 0,5mlHF + 2,5ml HNO₃ + 1,5ml HCl + 100ml H₂O - 25ml H₂SO₄ + 100ml H₂O r) pentru aliajele Al-Mg-Zn - 0,5ml HF, 40% + 100ml H₂O - 65ml HNO₃ + 35ml HCl + 100ml alcool etilic s) pentru aliajele Al-Mg-Si - 0,5mlHF + 2,5ml HNO₃ + 1,5ml HCl + 100ml H₂O - 10g Na₂CO₃ + 100ml H₂O 	
--	--	--	--

Anexa 11. Reactivi metalografici pentru magneziu și aliajele de magneziu

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea:		
	Macrostructurii	Microstructurii	Incluziunilor sau alte aspecte
1	2	3	4
Magneziu	- 10ml acid acetic + 90ml H ₂ O - 1...2g CuNH ₄ Cl ₂ + 60ml HCl + 40ml acid acetic + 100ml H ₂ O	- 0,6ml H ₂ SO ₄ + 100ml alcool etilic - 2,2g acid acetic + 100 ml alcool etilic - 0,5...2ml HNO ₃ + 98...99,5ml alcool etilic - 0,8ml HNO ₃ + 1,2ml HCl + 100ml alcool etilic	
Aliaje de magneziu	- 14,1g CrO ₃ + 17,6ml HNO ₃ + 100ml H ₂ O - 0,6ml H ₂ SO ₄ + 100ml alcool etilic - 0,4ml acid acetic + 0,6ml HCl + 100ml H ₂ O - 17,6ml HNO ₃ + 100ml H ₂ O	- 10g CrO ₃ + 100ml H ₂ O - 5 picături H ₂ SO ₄ + 100ml H ₂ O - 11g acid citric + 100ml H ₂ O - 0,7ml H ₃ PO ₄ + 100ml alcool etilic - 1,2ml HNO ₃ + 2ml HCl + 100ml alcool etilic - 1ml HF + 5...10ml alcool etilic	

Anexa 12. Reactivi metalografici pentru titan și aliajele de titan

Metalul(aliajul)	Reactivi specifici pentru evidențierea microstructurii
Titan și aliaje de titan	- 16ml HNO ₃ + 16ml HF + 68ml glicerină - 2ml HNO ₃ + 2ml HF + 96ml H ₂ O - 10ml HF + 90ml H ₂ O - 10ml H ₂ SO ₄ + 90ml H ₂ O

BIBLIOGRAFIE

1. Atsumi,O. - *Solidification*, Ed.Springer-Verlag, 1987.
2. Baum,B.A. – *Topituri metalice, probleme și ipoteze* , Ed. Tehnică, București, 1982.
3. Bratu,C., Sofroni,L., Nica,Gh., - *Termofizica solidificării pieselor turnate*, Editura Performantica, Iași, 1997.
4. Camui,C., Cosneanu,C. ș.a. - *Low Frequency Vibration Influence on Solidification of some Nonferrous Alloys*, in 58th World Foundry Congress, Cracow - 15/19 September, 1991.
5. Carcea,I., - *Bazele elaborării metalelor, aliajelor și superaliajelor neferoase*, Editura Performantica, Iași, 2008.
6. Carcea,I., - *Materiale compozite. Fenomene la interfață*, Editura Politehniun, Iași, 2008.
7. Carcea,I., -*Aliaje neferoase de turnătorie*, Editura Performantica, Iași, 2009
8. Carcea,I., Roman,C., Chelariu, R., -*Ingineria proceselor metalurgice*, Editura Performantica, Iași, 2006.
9. Chira, I., Istrate, Gh., *Procedee speciale de turnare- indrumar al lucrărilor practice*, Institutul Politehnic București, 1986.
10. Chira, I., Cernat, C., *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase-indrumar de laborator*, Institutul Politehnic București, 1988.
11. Chira,I., Sofroni,L., Brabie,V. - *Procedee speciale de turnare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
12. Dănilă,P., Dănilă,M., - *Cuprul*, - Editura Tehnică, București, 1982
13. Gâdea,S., Petrescu,M. - *Metalurgie fizică și studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, vol.I-1979, vol.II–1981, vol.III-1983.
14. Gâdea,S., Geru,N., Murguleț,N., Oprea,F. - *Manualul inginerului metalurg*, Editura Tehnică, București, 1982.
15. Gâdea,S., Protopopescu,M. – *Aliaje neferoase*, Editura Tehnică, București, 1965.

16. Gladkov, M.I. ș.a. - *Tratarea prin vibrație a aliajelor din aluminiu*, în *Liteinoe Proizvodstvo*, nr. 8, 1984, p.35.
17. Gorny, Z., Lech, Z. ș.a. - *Turnarea metalelor și aliajelor neferoase*, Editura Tehnică, București, 1969.
18. Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M., - *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase speciale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
19. Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M., - *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
20. Ienciu, M., Moldovan, P., s.a., *Aliaje neferoase*, partea I-elaborare și turnare, Institutul Politehnic București, 1983.
21. Ienciu, M., Moldovan, P., s.a., *Aliaje neferoase*, partea II-metode de analiză, Institutul Politehnic București, 1983.
22. Inada, K. ș.a. - *Procedeele de vibrație a aliajului în timpul solidificării*, în *Referativni Journal - TOLP*, 1986, nr. 7, ref. 247 (patent Japonia).
23. Kathrein, A., Moldovan, P. - *Utilajul și tehnologia de elaborare și turnare a aliajelor neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
24. Lăzărescu, I., - *Aluminiul*, Editura Tehnică, București, 1978.
25. Lebedev, V.M., Melnikov, A.V., Nikolaenko, V.V. - *Turnarea pieselor din aliaje de aluminiu*, Editura Tehnică, București, 1972.
26. Malțev, M.V. - *Modificarea structurii metalelor și aliajelor*, Editura Tehnică, București, 1966.
27. Moldovan, P. ș.a. - *Tratat de știința și ingineria materialelor metalice*, vol.2, Editura AGIR, București, 2007.
28. Moldovan, P., Panait, N., Mărginean, St. - *Bazele tratării topiturilor metalice neferoase*, Editura Intact, București, 1998.
29. Oprea, F. ș.a. - *Teoria proceselor metalurgice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
30. Petrescu, Maria, ș.a. - *Tratat de știința și ingineria materialelor metalice*, vol.1, Editura AGIR, București, 2006.
31. Sofroni, L. - *Elaborarea și turnarea aliajelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.

32. Sofroni, L., Cernat, C., Stănescu, I., - *Elaborarea și turnarea metalelor și aliajelor neferoase* – îndrumar de laborator, Institutul Politehnic București, 1973.
33. Sofroni, L., Brăbie, V., Bratu, C. - *Bazele teoretice ale turnării*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
34. Șonțea, S., Vlădoi, M., Zaharia, N. - *Metale și aliaje neferoase de turnătorie*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1981.
35. Ștefănescu, D.M. – *Știința și ingineria solidificării pieselor turnate*, Editura AGIR, București, 2007.
36. Ștefănescu, F. – *Procese fizice care au loc la vibrarea aliajelor turnate. Efecte tehnologice. Principii de proiectare a instalațiilor de vibrare*, în *Metalurgia*, nr. 9. 1987.
37. Ștefănescu, F., Sofroni, L., Bratu, C. – *Dirijarea solidificării aliajelor la obținerea pieselor turnate de performanță*, *Metalurgia*, nr. 2. 1988.
38. Ștefănescu, F. ș.a. - *Cercetări privind influența vibrației asupra compactității aliajelor turnate*, în *Metalurgia*, nr. 1., 1985, p. 36.
39. Zirbo, Gh., Dragoș, E., s.a., *Turnătorie-îndrumar pentru lucrări de laborator*, Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1985.
40. * * * * * Catalog de produse al S.C. Bentoflux SA Satu Mare.
41. * * * * * Catalog de produse al companiei FOSECO – Franța.
42. * * * * * Catalog de produse al companiei HÜTTNES-ALBERTUS România
43. * * * * * [www. world-bureau.com](http://www.world-bureau.com) (World Bureau of Metal Statistics).