

IOAN CARCEA

MATEI GHERGHE

**ALIAJE NEFEROASE
DE TURNĂTORIE**

PREFAȚĂ

În contextual unei economii globalizate se pune tot mai acut problema fabricației după cele mai avansate cunoștințe și tehnologii deoarece piața liberă elimină rapid și fără scrupule pe toți cei care nu se încadrează în limitele de eficiență privind raportul calitate/preț. Din acest motiv este necesar ca literatura tehnică de specialitate să fie cât mai actuală pentru a servi ca sursă de informații tuturor celor care activează în învățământul tehnic, în cercetare și în industrie.

Performanțele economice înregistrate în ultimile decenii au fost posibile datorită progresului tehnic din toate ramurile industriale și cu precădere a celor din domeniul ingineriei materialelor. Se manifestă o cerere din ce în ce mai mare de materiale cu proprietăți specifice, uneori semnificativ diferite de ale celor clasice, ceea ce impune utilizarea de tehnologii și dotări tehnice moderne și cu destinație specială.

Prezenta lucrare se dorește a fi utilă inginerilor și tehnicienilor din secțiile de turnare a metalelor și aliajelor, profesorilor, studenților și elevilor din învățământul tehnic, precum și cercetătorilor din domeniul științei și ingineriei materialelor. Considerăm că este prima lucrare în domeniul fabricației de piese turnate din aliaje neferoase care a apărut în noul context politic și economic al României integrate în structurile europene.

În condițiile unui sistem european global de standardizare, a unei piețe total liberalizate pentru materii prime, materiale auxiliare, combustibili, energie etc., dar și pentru piese turnate, eventual tratate termic, eboșate sau prelucrate la cote finite, reușita va fi numai a celor care aplică cele mai

avansate realizări ale științei și tehnicii. Trebuie reținut faptul că astăzi este necesar să fabrici ieftin și de calitate, în condiții ecologice reglementate, să consumi cât mai puțină energie și combustibili, să asiguri condiții optime de muncă și viață pentru angajați și să livrezi produse sigure, garantate din toate punctele de vedere.

Pe baza celor mai recente date din literatura de specialitate și a experienței proprii, autorii prezintă cele mai uzuale metale și aliaje neferoase de turnătorie, precum și procesele fizico-chimice și tehnologiile de elaborare și turnare ale acestora.

Vom fi recunoscători tuturor celor care ne vor transmite comentarii și observații, sugestii și propuneri utile pentru îmbunătățirea materialului editat, în vederea unor noi apariții.

Autorii

CUPRINS

PREFAȚĂ.....	1
Cap.I. METALE SI ALIAJE NEFEROASE	7
1.1. METALE NEFEROASE.....	7
1.2. ALIAJE NEFEROASE.....	14
1.2.1. Clasificarea aliajelor neferoase	15
1.2.2. Aspecte termodinamice ale sistemelor de aliaje neferoase	17
1.3. SOLIDIFICAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE	27
1.4. PROPRIETĂȚI DE TURNARE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR	31
CAP. II. PROCESE FIZICO-CHIMICE LA ELABORAREA ȘI TURNAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE	35
2.1. TOPIREA	35
2.2. SURSE DE IMPURITĂȚI	40
2.2.1. Interacțiunea cu gazele	40
2.2.2. Interacțiunea cu căptușeala cuptorului și zgura.....	42
2.3. RAFINAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR	44
2.4. FONDANȚI ȘI PREALIAJE	47
2.5. PRINCIPIILE ELABORĂRII ALIAJELOR NEFEROASE.....	52
2.5.1. Pregătirea șarjei	52
2.5.2. Condiții de topire.....	53
2.5.3. Controlul elaborării	54
CAP.III. MODIFICAREA STRUCTURII DE TURNARE A METALEOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE.....	57
3.1. CONSIDERAȚII ASUPRA CRISTALIZĂRII ȘI SOLIDIFICĂRII.....	57
3.2. PROCESE DE MODIFICARE A STRUCTURII DE TURNARE	59
3.2.1. Clasificarea modificării după manifestare și structură	61
3.2.2. Clasificarea modificării după natura constituentului structural.....	67
3.3. PROCEDEE DE MODIFICARE A STRUCTURII DE TURNARE.....	79
3.3.1. Procedee fizico-chimice de modificare	79
3.3.2. Procedee fizice de modificare	83

CAP.IV. CUPRUL ȘI ALIAJELE CUPRULUI.....	93
4.1. CUPRUL	93
4.2. ALIAJELE CUPRULUI.....	97
4.2.1. Clasificarea aliajelor cuprului	97
4.2.2. Bronzurile cu staniu	98
4.2.2.1. Structura bronzurilor cu staniu	98
4.2.2.2. Proprietățile bronzurilor cu staniu	101
4.2.2.3. Mărci de bronzuri cu staniu.....	103
4.2.2.4. Elaborarea și turnarea bronzurilor cu staniu.....	105
4.2.3. Bronzurile cu aluminiu.....	110
4.2.3.1 Structura bronzurilor cu aluminiu	111
4.2.3.2. Proprietățile bronzurilor cu aluminiu	113
4.2.3.3. Mărci de bronzuri cu aluminiu	115
4.2.3.4. Elaborarea și turnarea bronzurilor cu aluminiu	117
4.2.4. Alamele de turnătorie	122
4.2.4.1. Structura alamelor de turnătorie	122
4.2.4.2. Proprietățile alamelor de turnătorie	124
4.2.4.3. Mărci de alame de turnătorie.....	126
4.2.4.4. Elaborarea și turnarea alamelor	128
CAP. V. ALUMINIUL ȘI ALIAJELE ALUMINIULUI.....	131
5.1. ALUMINIUL.....	131
5.2. ALIAJELE ALUMINIULUI.....	133
5.2.1. Clasificarea aliajelor aluminiului	133
5.2.2. Aliaje aluminiu-siliciu.....	134
5.2.3. Aliaje aluminiu - cupru	138
5.2.4. Aliaje aluminiu – magneziu	140
5.2.5. Caracteristici ale principalelor mărci de aliaje de aluminiu	142
5.3. ELABORAREA ALIAJELOR DE ALUMINIU	144
CAP. VI. PLUMBUL, STANIUL SI ALIAJELE LOR.....	151
6.1. PLUMBUL	151
6.2. STANIUL	152

6.3. ALIAJELE PLUMBULUI ȘI STANIULUI.....	153
6.3.1. Aliaje de lipit.....	153
6.3.2. Aliaje antifricțiune.....	155
6.3.2.1. Aliaje antifricțiune pe bază de staniu	157
6.3.2.2. Aliaje antifricțiune pe bază de plumb.....	158
6.3.2.3. Elaborarea aliajelor antifricțiune	159
6.3.2.4. Turnarea aliajelor antifricțiune	161
CAP.VII. TRATAMENTE TERMICE ALE ALIAJELOR NEFEROASE	163
7.1. TRATAMENTE TERMICE ALE ALIAJELOR CUPRULUI	164
7.1.1. Recoacerea de omogenizare	164
7.1.2. Recoacerea de recristalizare	165
7.1.3. Recoacerea de detensionare.....	166
7.1.4. Recoacerea de înmuiere	166
7.1.5. Călire și revenirea.....	166
7.2. TRATAMENTE TERMICE ALE ALIAJELOR ALUMINIULUI.....	167
7.2.1. Recoacerea de detensionare.....	167
7.2.2. Durificarea prin precipitare	167
CAP. VIII. INGINERIA PROCESELOR DE TURNARE A METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE.....	169
8.1. PRINCIPIILE FABRICAȚIEI DE PIESE TURNATE	169
8.1.1. Bazele proiectării garniturilor de model.....	172
8.1.2. Rețele de turnare.....	174
8.2. TURNAREA ÎN FORME TEMPORARE	176
8.2.1. Nisipuri de turnătorie	178
8.2.2. Lianți pentru turnătorii	179
8.2.2.1. Argila.....	181
8.2.2.2. Bentonita	182
8.2.2.3. Silicatul de sodiu	183
8.2.2.4. Silicatul de etil.....	185
8.2.2.5. Covasilul	185
8.2.2.6. Covalitul	186

8.2.2.7. Uleiul de in	186
8.2.2.8. Dextrina.....	186
8.2.2.9. Melasa	187
8.2.2.10. Leșia sulfitică	187
8.2.2.11. Rășini sintetice	188
8.2.3. Materiale de adaos.....	191
8.2.3.1. Adaosuri carbonice.....	191
8.2.3.2. Adaosuri polizaharidice.....	192
8.2.3.3. Adaosuri celulozice	192
8.2.4. Vopsele refractare	192
8.2.5. Rețete de preparare a amestecurilor de formare	194
8.2.6. Formarea manuală în rame	197
8.2.6.1. Execuția formelor din amestecuri cu lianți anorganici.....	197
8.2.6.2. Execuția formelor din amestecuri liate cu silicat de sodiu	201
8.2.6.3. Execuția formelor din amestecuri liate cu rășini sintetice.....	203
8.3. TURNAREA ÎN FORME PERMANENTE.....	205
8.3.1. Turnarea gravitațională în forme metalice	206
8.3.2. Turnarea centrifugă	210
8.3.3. Turnarea sub presiune	217
8.3.3.1. Avantaje și caracteristici ale turnării sub presiune	219
8.3.3.2. Instalații pentru turnarea sub presiune a aliajelor neferoase	224
8.3.3.3. Parametrii tehnologici ai turnării sub presiune.....	233
8.4. DEFECTELE PIESELOR TURNATE.....	241
BIBLIOGRAFIE.....	247

CAP.I. METALE SI ALIAJE NEFEROASE

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: 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.

1.1. METALE NEFEROASE

Cele 116 elemente chimice cunoscute până în prezent pot fi grupate astfel:

- 6 sunt gaze inerte (He ; Ne ; Ar ; Kr ; Xe ; Rn),
- 12 sunt nemetale (halogenii: F ; Cl ; Br ; I - calcogenii: O ; S
– precum și: N ; P ; H ; C ; Se ; At),
- 7 sunt semimetale (B ; Si ; Ge ; As ; Sb ; Te ; Po),
- 91 sunt metale.

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[49]:

- 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[37;38]:

- 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, Uut), grupa a IV-a (Sn, Pb, Uuq), grupa a V-a (Bi, Uup) și grupa a VI-a (Uuh).

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 $(n-1) \cdot d^{1 \rightarrow 10} \cdot n \cdot s^{1 \rightarrow 2}$, în care $n = 4, 5, 6, 7$. Acestea se pot grupa astfel:

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

- metalele grupei II b (Zn, Cd, Hg, Uub) 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, Rf) au proprietăți deosebite, temperatură mare de topire și formează oxizi refractari și foarte stabili;

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

- metalele grupei VI b (Cr, Mo, W, Sg) 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, Bh) sunt foarte diferite ca răspândire (Mn este uzual, iar Tc, Re și Bh 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[14]:

- 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 α și Zr α cristalizate în sistem hexagonal trec la temperaturi mai mari de 882°C, respectiv 862°C, în Ti β și Zr β 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[9]: 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. Situația producției pentru cele mai importante metale neferoase este următoarea[12;24;62]:

- **Cupru** – producția mondială de cupru rafinat a fost:

8.100 tone/an	în anul 1750
7.200.000 tone/an	în anul 1975
9.000.000	“	“ 1986
15.234.000	“	“ 2003
17.814.000	“	“ 2006

Deși reprezintă doar 10×10^{-3} % din scoarța terestră, rezervele de zăcaminte cuprifere exploatabile, conform celor mai recente realizări din domeniul concentrării și extracției, sunt de peste 300 milioane tone de cupru.

- **Zinc** – producția mondială de zinc rafinat a fost:

5.000.000 tone/an	în anul 1968
7.000.000	“	“ 1986

9.879.000	“	“	2003
10.229.000	“	“	2005
11.394.000	“	“	2007

Zincul este puțin răspândit în scoarța terestră, doar $4 \times 10^{-3} \%$, însă producția crește anual ca urmare a cererii tot mai mari în domeniul protecției anticorozive și al aliajelor de turnătorie.

- **Staniu** – producția mondială de staniu a fost:

200.000 tone/an	.	.	.	în anul	1968
264.000	“			“	2004
280.000	“			“	2005

Staniul este un metal scump și deficitar care reprezintă doar $n \times 10^{-4} \%$ din scoarța terestră. El este de neînlocuit în următoarele domenii: folii alimentare de staniol, acoperirea tablelor din oțel utilizate pentru ambalaje alimentare și farmaceutice, producerea aliajelor de lipit, a aliajelor antifricțiune, a aliajelor ușor fuzibile, a bronzurilor etc.

- **Plumb** – producția mondială de plumb a fost:

749.000 tone/an	.	.	.	în anul	1900
1.520.000	“			“	1930
2.390.000	“			“	1960
3.370.000	“			“	1990
6.763.000	“			“	2003
8.150.000	“			“	2007

Plumbul reprezintă doar $1,6 \times 10^{-3} \%$ din scoarța terestră. El este din ce în ce mai puțin utilizat în aplicații domestice, în schimb este de neînlocuit în domeniul protecției împotriva radiațiilor.

- **Aluminiu** – este metalul cu ritmul de creștere a producției cel mai ridicat de la descoperirea sa și până în prezent:

3,79 tone/an	.	.	.	în anul	1886
--------------	---	---	---	---------	------

99,45 tone/an	.	.	în anul	1890
5.693 tone/an	.	.	în anul	1900
16.000.000 tone/an	.	.	în anul	1986
24.300.000	“	“	2001	
28.000.000	“	“	2003	
31.900.000	“	“	2005	

Aluminiul este primul metal și al treilea element (după oxigen și siliciu) ca răspândire în litosferă, unde se găsește în proporție de 7,51 %.

Datorită proprietăților deosebite pe care le are, aluminiul a devenit al doilea produs metalurgic după oțel, chiar dacă consumurile energetice pentru extracția sa sunt încă foarte mari (13,2MWh/tAl, față de 40MWh/tAl cât era în anul 1900). Creșterea în continuare a producției de aluminiu este posibilă deoarece pământul conține, în afara celor șase miliarde tone de bauxită exploatabilă (astăzi estimările sunt la peste 50 miliarde tone), încă nouă miliarde tone de nefeline, caolinuri și cenuși de termocentrale ce vor putea fi valorificate în viitorul apropiat.

- **Magneziu** – este foarte răspândit în litosferă, reprezentând 1,94 % din aceasta și este produs pe plan mondial în cantități din ce în ce mai mari:

300.000 tone/an	.	.	în anul	1986
886.000	“	“	2006	

Creșterea producției de magneziu este justificată de cererea din ce în ce mai mare de aliaje ușoare și superușoare în aeronautică, astronautică și în industriile de autoturisme, autocamioane, ambarcațiuni navale etc.

Ritmuri deosebite de creștere a producției s-au înregistrat și pentru celelalte metale neferoase utilizate în tehnică. Din punct de vedere al aliajelor elaborate în turnătorii deosebit de importante au devenit metale ca: nichel, titan, crom, molibden, volfram, vanadiu etc.

1.2. ALIAJE NEFEROASE

Aliajele metalice sunt materiale tehnice alcătuite din două sau mai multe elemente chimice, dintre care pondrea cea mai mare o au metalele, care prezintă caracteristici metalice evidente. Elementele care intră în compoziția aliajelor se numesc componenți, cel mai important dintre acestea fiind metalul de bază, altele fiind elementele principale de aliere, iar celelalte sunt elementele secundare de aliere.

Pe lângă metalul de bază și elementele de aliere aliajele industriale conțin impurități care provin din materia primă sau au fost introduse accidental în procesele de elaborare și turnare. În funcție de influența pe care o au acestea se pot grupa în:

- impurități neutre, care nu influențează nefavorabil calitatea aliajelor și a căror concentrație în aliaj nu este strict limitată;
- impurități nocive, care înrăutățesc proprietățile și care trebuie eliminate până când conținutul lor se reduce sub limita maximă admisibilă.

Aliajele neferoase reprezintă o categorie importantă de materiale care sunt utilizate în majoritatea domeniilor tehnice dintre care amintim: industria constructoare de mașini, industria navală, industria chimică, aeronautică și astronautică, electrotehnică și electronică, energetică etc.

Prin noțiunea de „aliaje neferoase” se înțelege, în sens general, totalitatea aliajelor care nu au ca element de bază fierul, iar în sens restrâns, totalitatea aliajelor larg utilizate în tehnică care au ca bază metale neferoase comune cum ar fi: cuprul, aluminiul, magneziul, zincul, plumbul, staniul etc. și care nu fac parte din metalele neferoase rare sau scumpe. Celelalte aliaje neferoase sunt cunoscute ca aliaje „speciale”, cu utilizări exprese, de cele mai multe ori cu denumiri specifice.

Domeniile de aplicare ale metalelor și aliajelor neferoase sunt determinate în primul rând de proprietățile lor specifice care găsesc o

anumită corespondență cu complexitatea cerințelor practice din diverse domenii tehnice. Prin prisma satisfacerii acestor cerințe aliajele neferoase de turnătorie, complexe sau mai puțin complexe, nu și-au găsit înlocuitori, fapt ce le păstrează importanța deosebită de care s-au bucurat până în prezent.

1.2.1. Clasificarea aliajelor neferoase

Diversitatea mare de proprietăți specifice pe care le prezintă aliajele neferoase, a îngreunat foarte mult realizarea unei clasificări acceptate. Autorii consideră că o clasificare completă a aliajelor neferoase trebuie să se facă după următoarele criterii[32;39]:

a) după numărul elementelor de aliere:

- aliaje binare - conțin metalul de bază și un element de aliere;
- aliaje ternare - conțin metalul de bază și două elemente de aliere;
- aliaje cuaternare - conțin metalul de bază și trei elemente de aliere;
- aliaje complexe - conțin metalul de bază și mai multe elemente de aliere.

b) după conținutul elementelor de aliere:

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

c) după greutatea specifică a metalului de bază:

-aliaje ușoare, care au greutatea specifică mai mică de 4 daN/dm^3 , cum sunt cele pe bază de aluminiu, magneziu, beriliu etc. Aliajele superușoare care au greutatea specifică mai mică de 2 daN/dm^3 fac parte din sistemul magneziu, litiu, aluminiu;

-aliaje grele, cu greutatea specifică mai mare de 4 daN/dm^3 sunt pe bază de: cupru, nichel, zinc, staniu, plumb etc. Bronzurile și alamele, care conțin metalele de mai sus, sunt cele mai utilizate aliaje grele în turnătorii.

d) după temperatura de topire:

-aliaje ușor fuzibile, cu temperaturi de topire mai mici de 500°C, din categoria cărora fac parte aliaje pe bază de plumb, staniu, zinc, cadmiu;

-aliaje cu temperatură medie de topire, care se topesc între 500°C și 1000°C, din care fac parte aliaje pe bază de aluminiu, magneziu și cupru;

-aliaje cu temperatură de topire ridicată, cuprinsă între 1000°C și 1500°C, din care fac parte aliajele pe bază de cupru, nichel, beriliu, mangan;

-aliaje greu fuzibile, cu temperatura de topire de peste 1500°C, cum ar fi cele pe bază de cobalt, titan, platină, wolfram, molibden etc.

Este de reținut că această clasificare are în vedere temperatura de topire a metalului de bază, deoarece aliajele neferoase nu au un punct de topire constant, ci se topesc într-un interval de temperatură, în funcție de compoziția chimică reală.

e) după destinație, utilizare și tehnologia de prelucrare:

-prealiaje, utilizate ca materiale intermediare la elaborarea aliajelor neferoase;

-aliaje de turnătorie, destinate fabricării pieselor turnate;

-aliaje deformabile, care se prelucrează ulterior pe cale metalurgică prin deformare plastică la cald;

-aliaje destinate turnării pieselor cu proprietăți de antifricțiune;

-aliaje destinate industriei aeronautice, pe bază de aluminiu, magneziu și titan.

-aliaje cu destinație specială: electronică, biocompatibile, medicină, alimentație, opere de artă și cult etc.

f) după natura componentului de bază:

- aliajele cuprului;

- aliajele aluminiului;

- aliajele magneziului;

- aliajele nichelului etc.

În afara clasificării sumare prezentate mai sus, literatura de specialitate oferă și alte criterii de clasificare: după culoare, după reactivitatea chimică, după gradul de utilizare etc.

Aliajele neferoase se caracterizează prin[16]: simbol (marcă), compoziție nominală, compoziție admisibilă și compoziție reală, pentru fiecare admițându-se anumite valori ale proprietăților fizice și mecanice, în general standardizate. Există însă și multe aliaje cunoscute sub diverse denumiri comerciale pe care literatura de specialitate le prezintă ca atare.

Simbolul sau marca oferă o indicație sumară asupra naturii și componentelor aliajului. Compoziția nominală este compoziția chimică medie a aliajului, corespunzătoare simbolizării acestuia în standarde. Exemple:

-*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 și reprezintă limitele inferioare și superioare ale concentrației componentelor și conținutul maxim de impurități tolerate.

Compoziția reală este compoziția chimică efectivă a aliajului, determinată prin analize chimice cantitative.

1.2.2. Aspecte termodinamice ale sistemelor de aliaje neferoase

Proprietățile pieselor turnate din aliaje neferoase sunt dependente de compoziția chimică și de structură. Prin introducerea unuia sau mai multor

elemente de aliere într-un metal se pot obține aliaje de diferite compoziții, structuri și proprietăți ce vor avea utilizări tehnice corespunzătoare.

Formarea structurii aliajelor neferoase este influențată atât de condițiile de elaborare cât și de configurația pieselor și de condițiile de turnare și răcire ale acestora.

În general, structura se referă atât la macrostructura piesei turnate cât și la microstructura acesteia. Macrostructura, de obicei observată cu ochiul liber într-o ruptură proaspătă, cuprinde forma și distribuția grăunților echiacși fini, zona cristalelor columnare și zona cristalelor echiaxe mari.

La solidificarea lingourilor se formează trei zone distincte[15]:

- la marginea exterioară, un strat îngust de cristale fine cu orientare întâmplătoare, germinate eterogen;

- în centrul lingoului, grăunți cristalini echiacși mari, dezvoltăți la subrăcirea constituțională;

- zona intermediară, de transcristalizație, este constituită din cristale columnare dezvoltate în direcția de pierdere a căldurii, perpendicular pe pereții lingoului, ceea ce poate conduce la tendința de desprindere la colțuri dacă acestea nu sunt rotunjite.

Fig.1.1. Macrostructura unui lingou turnat în secțiune longitudinală și transversală.

Microstructura unui aliaj este determinată de natura, forma, distribuția și proporția constituenților metalografici. Se poate vorbi de o microstructură primară, care se obține direct prin procesul de solidificare în urma turnării pieselor și de o microstructură secundară care rezultă în urma unor tratamente termice efectuate după solidificarea și răcirea pieselor.

Așa cum s-a arătat mai sus, aliajele neferoase pot fi combinații de două, trei sau mai multe elemente. Între aceste elemente chimice pot exista următoarele relații pornind de la capacitatea lor de a se dizolva total, parțial sau deloc în stare lichidă sau solidă[14;32]:

- total solubile (miscibile) în stare lichidă și în stare solidă;
- total solubile în stare lichidă dar insolubile în stare solidă;
- total solubile în stare lichidă și parțial solubile în stare solidă;
- insolubile atât în stare solidă cât și în stare lichidă.

În literatura de specialitate sunt dezbătute în amănunt aceste cazuri în cadrul diagramei de echilibru termic, binare sau ternare. Aceste diagrame reprezintă relația grafică, trasată în funcție de temperatură și concentrație, care arată schimbarea stărilor de echilibru ale aliajelor în funcție de aceste coordonate. Diagramele de echilibru oferă posibilitatea stabilirii stării aliajelor la o anumită concentrație în funcție de temperatură și de a determina fazele existente din punct de vedere cantitativ și calitativ. Ele permit, de asemenea, să se urmărească transformările de fază care se produc la încălzire sau la răcire, precum și identificarea constituenților structurali care se obțin în urma transformărilor de fază.

Principalele tipuri de diagrame de echilibru termic, binare sunt prezentate mai jos[14; 16]:

a) complet miscibile (solubile) atât în stare lichidă cât și în stare solidă (Fig. 1.2). Exemple: Cu-Ni, Au-Ag, Co-Ni, Cu-Mn.

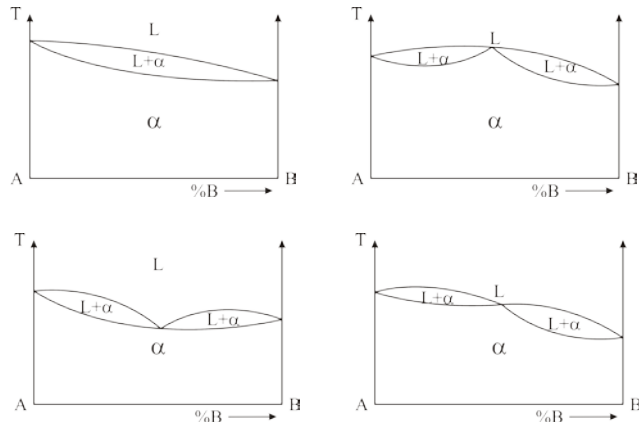


Fig.1.2. Diagrame de echilibru ale aliajelor binare formate din metalele A și B total miscibile atât în stare lichidă cât și în stare solidă.

La temperaturi superioare temperaturii lichidus aliajul formează o topitură omogenă cu o concentrație specifică în cei doi componenți A și B. La temperatura lichidus începe solidificarea primelor cristale de soluție solidă cu compoziția determinată de nivelul concentrațiilor celor doi componenți metalici. Cantitatea de cristale crește pe măsura răcirii, astfel că la atingerea temperaturii solidus ultimile cantități de aliaj lichid se solidifică. Sub temperatura solidus aliajul este solidificat în totalitate sub forma unei soluții solide omogene.

b) complet miscibile (solubile) în stare lichidă dar nemiscibile în stare solidă (Fig.1.3 și Fig.1.4). Exemple: Pb – Sb; Al – Sn; Mg – Zn; Al – Sb; Al – Ni; Al – Mn; Mg – Si.

În acest caz sunt posibile trei tipuri de diagrame:

- aliaje binare cu eutectic simplu dacă componenții nu interacționează;
- aliaje binare a căror componenți interacționează chimic și formează compuși definiți stabili, care se topesc congruent;
- aliaje binare a căror componenți interacționează și formează compuși definiți instabili ce se topesc incongruent corespunzător tranziției peritectice.

În primul caz, așa cum se vede în figura 1.3, aliajele corespunzătoare punctului E, denumite aliaje eutectice, se obțin prin cristalizarea simultană din lichid a metalelor A și B. Datorită rejectării atomilor celuilalt metal în lichidul din fața frontului de solidificare, acesta se îmbogățește în atomi de B, în vecinătatea cristalelor de metal A și în atomi de A la limita cristalelor de metal B. Aliajele aflate în stânga punctului E, numite *hipoeutectice*, au o structură alcătuită din cristale primare de metal A și amestec mecanic eutectic A+B, iar aliajele aflate în dreapta punctului E, numite *hipereutectice* separă din topitură cristale primare de B și amestec mecanic eutectic A+B.

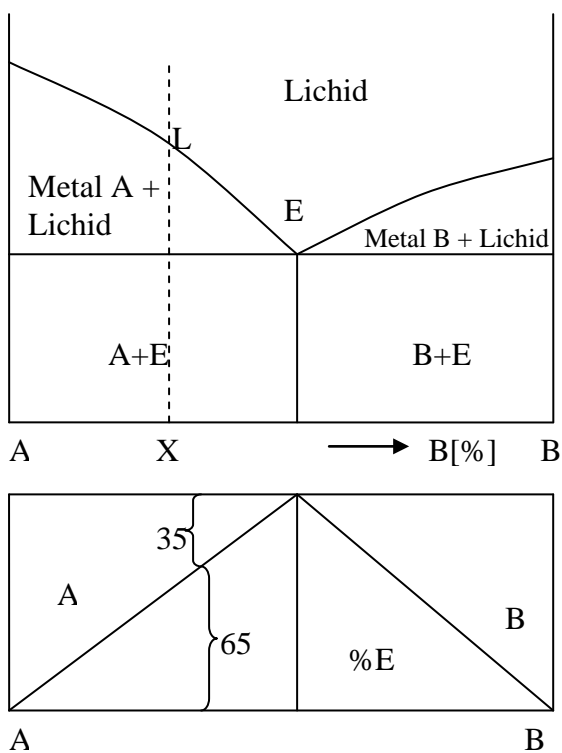


Fig. 1.3. Diagrama de echilibru a unui sistem format din două metale complet solubile în stare lichidă și total insolubile în stare solidă[52].

Aliajul de compoziție

X începe să se solidifice la punctul L prin separarea de cristale de metal A, iar lichidul se îmbogățește în metal B după linia LE. La temperatura eutectică, corespunzătoare punctului E, solidifică amestecul mecanic de microcristale de metal A și microcristale de metal B.

Deoarece în punctul E variația sistemului este nulă înseamnă că atât temperatura cât și compoziția chimică a eutecticului sunt bine determinate. Diagrama structurală din partea de jos permite calculul în procente masice a fiecărui constituent structural al aliajului.

Dacă componenții sistemului binar de aliaje formează compuși chimici care în stare solidă sunt complet insolubili atunci diagramele de echilibru vor fi de forma celor din figura 1.4. Metalele cu mare afinitate chimică formează compuși foarte stabili care se topesc congruent, adică fără să se descompună la temperaturi mai mari decât ale celor două metale, iar metalele cu afinitate chimică moderată formează compuși care se descompun înainte de topire. Considerând compusul chimic un component pur diagramele pot fi împărțite în pseudodiagrame binare cu eutectic.

a b

Fig. 1.4. Diagrame de echilibru ale aliajelor binare formate din metale total miscibile în stare lichidă, complet insolubile în stare solidă și care formează un compus chimic:
a – stabil până la temperatura de topire (congruent); b – care se descompune înainte de topire (incongruent)

c) complet miscibile în stare lichidă și parțial miscibile în stare solidă (Fig. 1.5). Exemple: Pb-Sn; Sb-Sn; Al-Mg; Al-Si; Cu-Sn; Cu-Al; Cu-Zn. În stare solidă se poate forma o soluție solidă de metal B, dizolvat în metalul A, simbolizată prin α și o soluție solidă de metal A, dizolvat în metalul B, simbolizată prin β .

De asemenea se formează și eutecticul E care este un amestec mecanic de soluții solide α și β .

a b

Fig. 1.5. Diagrame de echilibru ale aliajelor binare formate din metale total miscibile în stare lichidă și parțial solubile în stare solidă, care prezintă transformare eutectică
 a – cu solubilitate în stare solidă invariabilă cu temperatura; b – cu solubilitate în stare solidă variabilă cu temperatura

d) nemiscibile în stare lichidă și nemiscibile în stare solidă (Fig. 1.6).

Exemple: Al-Pb, Al-Ti, Ni-Sn, Ni-Pb, Cu-Pb, Zn-Pb, Cu-Cr. În stare lichidă, cele două metale nu formează o singură fază omogenă, fiecare comportându-se independent unul față de altul. Prin scăderea temperaturii se solidifică mai întâi cristalele metalului cu temperatura de topire mai ridicată coexistând cu masa topită a celuilalt metal până ce temperatura ajunge la nivelul temperaturii de solidificare (respectiv topire) a acestuia. De obicei se produce o separare a celor două metale în două straturi suprapuse, în funcție de greutatea specifică. Aceste metale pot fi procesate prin metodele metalurgiei pulberilor (amestecare, presare și sinterizare).

a b

Fig.1.6 Diagrame de echilibru ale aliajelor binare formate din metale total nemiscibile (a) și parțial nemiscibile (b) atât în stare lichidă cât și solidă

Față de cazurile generale de mai sus, literatura de specialitate prezintă diverse diagrame binare de echilibru termic ce pot fi considerate cazuri particulare ale acestora.

În cazul aliajelor formate din trei componenți metalici se poate vorbi despre aceleași tipuri de relații între componenți, ca și în cazul aliajelor binare. Aceste relații sunt exprimate grafic tot prin diagrame de echilibru însă mai complexe, deoarece ele se trasează de regulă în trei dimensiuni, însă pot fi reprezentate simplificat prin rabatere în plan. Astfel de diagrame sunt prezentate în figura 1.7. și în figura 1.8.

Fig. 1.7. Diagrama de echilibru a sistemelor ternare cu componenți complet solubili în stare lichidă și insolubili în stare solidă

Fig.1.8. Proiecția diagramei ternare pe triunghiul concentrațiilor, cu sisteme binare răbătute.

Pe baza diagramelor de echilibru se pot trage concluzii privind proprietățile fizice, chimice, mecanice, precum și considerațiile teoretice necesare stabilirii tehnologiilor de elaborare, turnare și tratamente termice.

În ceea ce privește elaborarea și turnarea, cunoașterea diagramei de echilibru permite să se determine:

- posibilitățile de aliere ale metalelor;
- obținerea unor constituenți care să ducă la realizarea proprietăților fizico-chimice și tehnologice impuse piesei turnate;
- temperatura la care aliajul trece în stare lichidă;
- intervalul de solidificare.

Din diagramele prezentate mai sus, se înțelege că, în stare solidă, într-un aliaj, se întâlnesc constituenți structurali ce pot fi grupați în patru tipuri principale:

- metal pur;
- compuși definiți;
- soluții solide;
- amestecuri mecanice.

Prin constituent structural se înțelege acea parte constitutivă, fază sau amestecuri de faze, din care este alcătuită structura aliajelor și care la analiza metalografică prezintă un aspect caracteristic.

Faza reprezintă acea parte omogenă a unui sistem, mărginită de celelalte părți ale sistemului printr-o suprafață de separație și care prezintă o rețea proprie.

Metalul pur se caracterizează prin temperatură constantă de topire respectiv de solidificare, iar la analiza metalografică apare sub formă de grăunți poliedrici omogeni, uneori punându-se în evidență doar limita dintre cristale iar altele sub forma unei structuri dendritice.

Compușii definiți reprezintă combinații în anumite proporții între atomii elementelor componente și la analiza metalografică apar cu rețele

cristaline specifice, diferite de ale elementelor componente. Ei pot fi mai mult sau mai puțin stabili în funcție de metalele pe care le conțin și de legăturile formate: prin legile valenței sau prin electroni comuni.

Soluțiile solide se prezintă ca un amestec intim al atomilor celor doi componenți, asamblați într-un edificiu cristalin unitar. La orice compoziție soluția solidă este omogenă, iar proprietățile fizice și parametrii rețelei diferă neesențial de cele ale compozițiilor vecine. Din punct de vedere a amplasării atomilor componenților în rețeaua cristalină se disting două tipuri de soluții solide:

- soluție solidă de substituție obținută prin substituirea (înlocuirea) atomilor unui component cu atomii celuilalt component;

- soluție solidă de interstiție, care se formează prin pătrunderea atomilor unui component în spațiul dintre atomii altui component; acest tip de soluție solidă este mai rar întâlnit.

Din punct de vedere al amplasării domeniului lor de existență, soluțiile solide se grupează în:

- soluții solide primare, al căror domeniu de existență pornește de la unul din componenții puri ai aliajului, acesta fiind solventul soluției, iar rețeaua sa cristalină se păstrează pe tot domeniul de existență al soluției solide terminale;

- soluții solide secundare, au întreg domeniul de omogenitate și de existență axat pe compoziția și rețeaua cristalină a unui compus intermetalic.

În mod normal, distribuția atomilor de specii diferite în rețeaua cristalină a unei soluții solide este întâmplătoare, iar aceasta este denumită *soluție solidă dezordonată*.

Soluțiile solide de substituție la care este posibil ca la temperaturi coborâte să aibă loc distribuția regulată a atomilor de specii diferite în rețeaua cristalină, sunt denumite *soluții solide ordonate*.

Amestecurile mecanice se prezintă sub forma unor agregate de microcristale ale celor doi componenți sau a două faze, cunoscute și sub denumirea de *eutectice*. Caracteristic pentru eutectice este faptul că au o temperatură de topire, respectiv de solidificare constantă, iar cele două faze se separă simultan. Eutecticele rezultă prin solidificarea unei topituri, iar atunci când se formează prin transformare în stare solidă se numesc *eutectoide*.

1.3. SOLIDIFICAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

Solidificarea aliajelor este procesul de trecere a acestora din starea lichidă (de topitură) în stare solidă ca urmare a pierderii de energie prin cedarea căldurii și prezintă două aspecte principale: unul de amorsare sau germinare și celălalt de desfășurare sau creștere a cristalelor[44].

Germinarea reprezintă etapa formării germenilor de solidificare adică a nucleelor sau centrelor de cristalizare. Germenii de solidificare pot fi germeni proprii sau omogeni și germeni străini sau eterogeni.

Germinarea omogenă este procesul de formare spontană a unor centri de cristalizare în jurul cărora se va dezvolta un cristal, chiar din atomii existenți în masa lichidului, în anumite condiții de subrăcire.

Germinarea eterogenă se realizează în jurul unor germeni străini, care pot fi particule infime aflate în suspensie în lichid. Aceste particule pot proveni fie din impuritățile aflate în lichid, fie din precipitarea primară a unor faze sub formă de minicristale. Comportarea acestora ca nuclee de cristalizare este posibilă numai dacă ele au aceeași rețea cristalină cu a metalului care trebuie să cristalizeze (izomorfe) sau au unele plane cristalografice analoge cu ale acestuia (epitaxie).

În practică, germanarea eterogenă poate să fie favorizată prin introducerea intenționată în aliajul lichid a unor elemente chimice numite *modificatori*, rezultând astfel structuri cu grăunți foarte fini în locul unor structuri grosolane. În general, acești modificatori sunt elemente cu afinitate mare față de oxigen, ceea ce permite formarea de incluziuni nemetalice (oxizi) ce joacă apoi rolul de *centrii de cristalizare*.

Creșterea cristalelor începe imediat după ce s-au format germeii stabili, iar viteza lor de creștere este direct proporțională cu diminuarea energiei atomilor prin evacuarea căldurii.

Se poate vorbi despre o cristalizare la scară atomică, când atomii se vor fixa în acele locuri în care vor găsi un număr mare de vecini ce vor contribui la diminuarea energiei lor (deci tind spre o stare de echilibru) și despre o cristalizare la scara cristalului ce ar consta într-o adăugare continuă de atomi în plane paralele cu anumite plane cristaline, însă neregulate, obținându-se în final cristale cu configurații geometrice oarecare. Totuși în condiții de răcire foarte lentă există posibilitatea formării unor cristale oarecum dirijate, numite *dendrite*, care se nasc ca urmare a unor direcții preferențiale de cedare a căldurii. Dendritele au forma unei frunze de ferigă și oprirea creșterii lor are loc atunci când ramurile ei ajung în zone cu metal lichid în care este acumulată o cantitate mai mare de căldură provenind de la un cristal vecin (este un proces ce are mare similitudine cu înghețarea apei).

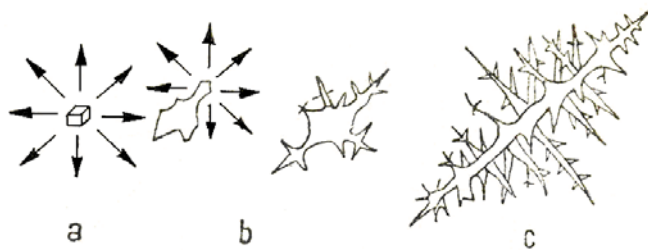


Fig. 1.9. Formarea dendritei[52]

a – apariția centrului de cristalizare;b – cedarea căldurii;c – dendrita.

În final, structura policristalină a unui aliaj, caracterizată de existența unui număr mare de grăunți cristalini, este dată de:

- creșterea liberă a cristalelor până la incomodarea reciprocă;
- realizarea masei unice prin sudarea grăunților și formarea limitelor de grăunți ca urmare a acumulării incluziunilor de diferite tipuri care se solidifică ultimele;
- poligonizarea structurii constând în creșterea grăunților în timp și la temperaturi ridicate, prin difuzie, în scopul micșorării energiei interne. După solidificare, grăunții mari continuă să crească resorbindu-i pe cei mici.

Solidificarea aliajelor este un proces ce se desfășoară într-un anumit timp, care în cazul turnării în piese este dat pe de o parte de grosimea de perete a piesei, iar pe de altă parte de capacitatea formei de turnare de a prelua mai repede sau mai încet o anumită cantitate de căldură de la metalul lichid.

În momentul turnării metalului pur, lichid, în formă, în vederea obținerii piesei turnate, ca urmare a faptului că pereții acesteia sunt mai reci decât metalul topit va exista un flux de căldură dirijat spre pereții formei. Rezultă deci că în imediata vecinătate a pereților formei temperatura metalului va scădea mai rapid, formându-se un strat de metal solidificat la o anumită temperatură. Pe măsură ce căldura este preluată de pereții formei acest strat se mărește, astfel încât, la un moment dat peretele piesei turnate se găsește în situația din figura 1.10 a. Pe peretele formei de turnare s-a format deja un strat de metal solid 1, care avansează în masa metalului lichid 2. Se poate spune că la solidificarea metalului pur există un front de solidificare care avansează dinspre peretele formei spre axa peretelui piesei turnate cu o viteză dependentă de schimbul de căldură. În cazul metalelor pure, nu există un interval de solidificare, temperatura de topire este egală cu temperatura de solidificare: $T_{\text{lichidus}} = T_{\text{solidus}}$.

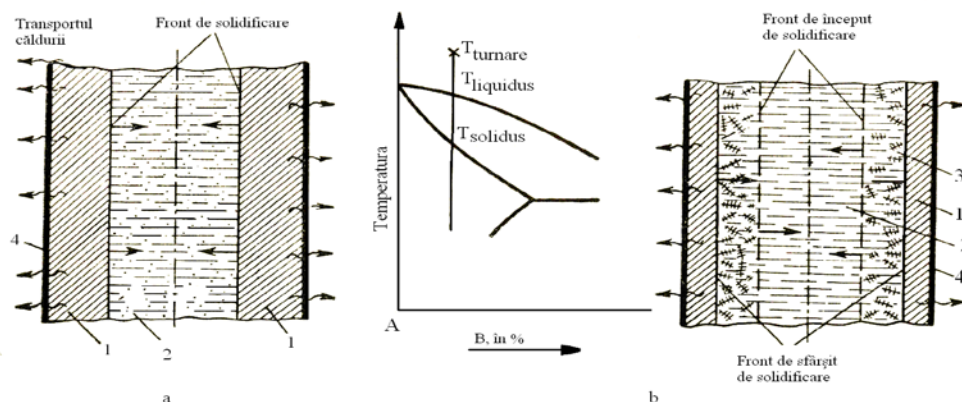
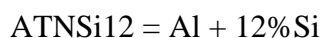


Fig. 1.10 Solidificarea peretelui unei piese turnate[52].
 1 – solid, 2 – lichid, 3 – zonă bifazică, 4 – formă de turnare.

Spre deosebire de metalele pure cele mai multe aliaje se solidifică într-un interval de temperatură, fapt pentru care solidificarea peretelui piesei turnate se produce ca în fig. 1.10 b. În momentul turnării aliajului lichid în formă, el are temperatura $T_{turnare}$. Pe măsură ce căldura se elimină prin pereții formeii se ajunge la situația ca la un moment dat lichidul din preajma peretelui formeii să aibă temperatura $T_{liquidus}$ și în această zonă să apară primele cristale de soluție solidă. După un timp, temperatura lângă peretele formeii va scădea la valoarea $T_{solidus}$ și mai apoi acest front de temperatură va înainta spre axa peretelui piesei. Solidificarea se va socoti terminată când în axa piesei se va atinge $T_{solidus}$.

Se poate spune că la solidificarea aliajelor există două fronturi: un front de început de solidificare și un front de sfârșit de solidificare. Între aceste două fronturi există o zonă bifazică a cărei mărime depinde de aliaj, de mărimea intervalului de solidificare și de capacitatea formeii de turnare de a prelua căldura. Mărimea intervalului de solidificare este dependentă de compoziția chimică a aliajului. Mai jos se prezintă intervalele de solidificare pentru unele aliaje de interes:



577 - 590 °C

ATNSi6Cu = Al + 6%Si + 3%Cu	526 - 610 °C
ATNSi10Mg = Al +9%Si + 0,3%Mg	575 - 612 °C
ATNCu4 = Al + 4%Cu	549 - 646 °C
ATNCu4Ni2Mg = Al + 4,5%Cu + 1,75%Mg	540 - 630 °C
ATNSi5Cu2 = Al + 5%Si + 3%Cu	526 - 625 °C
CuSn10T = Cu + 10%Sn	815 - 1050 °C
CuZn40 = Cu + 38%Zn	898 - 905 °C
CuZn40Pb = Cu + 37%Zn + 2,5%Pb	880 - 895 °C
CuAl = Cu + 9%Al	1056 - 1075 °C

Structura realizată în urma procesului de solidificare se numește *structură primară* și ea poate să se mențină și la temperatura ordinară dacă aliajul nu prezintă transformări de fază în stare solidă (vezi diagramele de echilibru termic pentru aliajele respective). Această structură depinde de o serie de factori cum ar fi: viteza de răcire, numărul centrelor de cristalizare, compoziția chimică etc. În cazul acelor aliaje care prezintă transformări de fază în stare solidă, această structură poate fi corectată prin operații de tratament termic obținându-se o structură secundară.

1.4. PROPRIETĂȚI DE TURNARE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

Proprietatea tehnologică a materialelor metalice de a se turna în piese se numește *turnabilitate*. Ea poate fi definită ca foarte bună, bună, satisfăcătoare sau rea și este dependentă de unele proprietăți fizice ale metalului sau aliajului care se toarnă. Principalele proprietăți care influențează turnabilitatea sunt:

- **FUZIBILITATEA**: proprietatea metalelor și aliajelor de a trece în starea lichidă. Metalele și aliajele care se topesc la temperaturi joase se

numesc *ușor fuzibile* și prezintă avantajul unor instalații de topire mai ieftine și a unei elaborări mai simple.

În general, pentru a ieftini procesul de elaborare a aliajelor se urmărește alegerea unor compoziții chimice care să asigure temperaturi de topire cât mai joase (de regulă aliajele eutectice sau cele aflate în imediata vecinătate).

- **FLUIDITATEA:** proprietatea metalelor și aliajelor lichide de a curge cu ușurință și de a umple forma de turnare. Este foarte importantă deoarece de ea depinde obținerea pieselor cu configurație complicată și cu pereți subțiri. Cea mai bună fluiditate o prezintă aliajele eutectice sau din imediata vecinătate, iar un factor important pentru creșterea acesteia este temperatura de turnare.

- **PROPRIETĂȚI DE SUPRAFAȚĂ:** fenomenele de suprafață determină desfășurarea proceselor de coalescență, de încorporare sau expulzare a incluziunilor nemetalice, de adsorbție și desorbție a gazelor, de cristalizare și modificare a structurii, de interacțiune cu suprafața agregatelor și a formelor de turnare. Fenomenele superficiale depind de proprietățile stratului limită și ale fazelor volumice ce vin în contact și sunt influențate de presiune și temperatură.

Datorită atracției exercitate de către forțele interatomice asupra atomilor din stratul superficial, energia liberă a suprafeței este mult mai mare decât energia liberă din volum. Acest exces de energie asigură stabilitatea suprafeței de separare și 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: $dF = - dL = \sigma d\Omega$ în care cu σ s-a notat tensiunea superficială, care se măsoară în J/m^2 sau N/m . Tensiunea superficială reprezintă forța care se exercită tangențial la suprafața lichidelor datorită

interacțiunii atomilor de la suprafață și din interior și tinde să micșoreze suprafața lichidului. Această proprietate este importantă prin faptul că metalul nu „copiază” fidel toate micile detalii ale suprafeței formeii, generând astfel suprafețe mai netede. O apreciere aproximativă asupra tensiunii superficiale a unui aliaj este tendința stropilor de a se transforma în mici sfere la solidificare ceea ce indică o tensiune superficială crescută. Tensiunea superficială este mult mai mare la metale și aliaje decât la alte substanțe și se mărește cu numărul grupei din sistemul periodic în care se găsește.

- **CONTRACTIA:** tendința aliajelor și metalelor de a-și micșora volumul la trecerea din starea lichidă în starea solidă. În procesul de turnare a aliajelor se are în vedere atât contractia volumică cât și contractia liniară. Contractia volumică este importantă pentru aprecierea volumului retasurii ce poate să apară în anumite zone ale pieselor turnate și de aici posibilitatea dimensionării maselelor ce vor compensa aceste valori de retasură.

Calculul volumului retasurii, în % din volumul piesei, se face cu formula:

$$\Delta V = a \cdot V \quad (1.1)$$

unde: ΔV – volumul retasurii;

V – volumul piesei;

a – coeficient de contracție la solidificare.

În tabelul 1.1 se dau valorile coeficientului „a” pentru unele aliaje neferoase uzuale.

Tabelul 1.1. Valorile coeficientului de contracție la solidificare

Aliajul	Contractia la solidificare [%]	Aliajul	Contractia la solidificare [%]
Bronz cu staniu	6,3-7,4	Bronz cu beriliu	4,5-5,0
Bronz cu aluminiu	6,0-9,0	Alamă	4,9-7,1
Bronz cu plumb	5,0-7,2	Aliaje de aluminiu	3,8-7,0
Bronz cu mangan	4,8-6,2	Aliaje de magneziu	5,2-6,0

Volumul de retasură calculat se va raporta la numărul de maselote propus ceea ce va permite stabilirea destul de corectă a mărimii și formei acestora.

Contrația liniară este importantă în stabilirea dimensiunilor modelului de turnare cu ajutorul căruia se realizează semifabricatele. Valorile medii ale contrației liniare pentru diferite aliaje neferoase sunt indicate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Valorile contrației liniare și ale adaosului de contrație

Aliajul turnat	Mărimea pieselor	Contrația liniară [%]	Adaosul de contrație [%]
Bronz cu staniu	Mici	1,4-1,6	1,25
	Mijlocii	1,0-1,4	
	Mari	0,8-1,2	
Bronz cu aluminiu	Mici	2,0-3,0	2
	Mijlocii	1,8-2,6	
	Mari	1,5-2,0	
Aliaje de cupru (alame și altele)	Mici	1,5-2,0	1,25
	Mijlocii	1,0-1,5	
	Mari	0,8-1,2	
Aliaje de aluminiu			
Al-Si	Diferită	1,0-1,2	1,15
Al-Cu		1,2-1,4	1,30
Aliaje de magneziu	Diferită	1,1-1,4	1,25
Aliaje de zinc	Diferită	1,2-1,8	1,5

Valoarea contrației liniare depinde, în afară de mărimea piesei turnate, de faptul dacă ea este liberă sau frânată.

Pentru calculul dimensiunilor modelului se va utiliza formula:

$$L_m = L_p + x_t \frac{L_p}{100} \quad (1.2)$$

unde: L_m – dimensiunea nominală a modelului de turnare;

L_p – dimensiunea nominală a piesei turnate;

x_t – sporul de contrație.

CAP. II. PROCESE FIZICO-CHIMICE LA ELABORAREA ȘI TURNAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

Produsele metalurgice în general și piesele turnate în special corespund calitativ la solicitările fizico – mecanice impuse dacă metalul sau aliajul are compoziția chimică prescrisă, puritatea impusă și structura corespunzătoare. Prima condiție pentru ca o piesă metalică să fie corespunzătoare este ca elaborarea și turnarea să se realizeze în cele mai bune condiții, pe baza unei tehnologii și a unei dotări tehnice corespunzătoare. Acest lucru este extrem de important deoarece la temperatura de topire și supraîncălzire metalele și aliajele interacționează intens cu mediul solid, lichid sau gazos cu care intră în contact. Astfel, la elaborare și turnare au loc procese de topire, de dizolvare, de vaporizare, de interacțiune cu gazele, de interacțiune cu creuzetul și căpușeala cuptoarelor sau a oalelor de turnare, precum și de interacțiune cu zgurile și fondanții.

2.1. TOPIREA

Topirea este procesul metalurgic de transformare a metalului sau aliajului solid în lichid ca urmare a încălzirii peste o anumită temperatură. Dacă la starea solidă atomii ocupă poziții relativ fixe, executând doar mișcări de oscilație în jurul nodurilor rețelei, la starea lichidă mobilitatea atomilor este mai ridicată, ceea ce la scară microscopică determină fluiditatea. Metalele solide se caracterizează printr-o ordonare îndepărtată a atomilor ($10^3 - 10^4$ distanțe interatomice), iar metalele lichide prin ordonarea apropiată a atomilor (zeci de distanțe interatomice)[7].

La topire, care este un proces deosebit de important în elaborarea și turnarea metalelor și aliajelor, trebuie să se aibă în vedere următoarele:

- temperatura de topire a componentelor încărcăturii și a aliajelor;

- ordinea introducerii elementelor de aliere în șarjă;
- consumul total de căldură necesar;
- pregătirea încărcăturii și modul de încărcare;
- pierderile de metal;
- greutatea specifică.

Așa cum s-a arătat în capitolul 1, există metale ușor fuzibile , cu temperaturi de topire mai mici de 500°C, metale cu temperaturi medii de topire cuprinse între 500 -1000°C, metale cu temperaturi ridicate de topire cuprinse între 1000 - 1500°C și metale greu fuzibile care au temperatura de topire mai mare de 1500°C.

Fiecare metal este caracterizat de o temperatură de topire și de o temperatură de fierbere sau vaporizare care trebuie să fie bine cunoscute. În procesul de elaborare este important să se cunoască cantitatea de căldură necesară deoarece aceasta diferă de la aliaj la aliaj, în funcție de compoziția chimică și de proprietățile fizice ale metalelor componente. Pentru elaborarea unui aliaj este nevoie de o cantitate de căldură pentru încălzire, o cantitate de căldură pentru topire și o cantitate de căldură pentru supraîncălzire. Întreaga cantitate de căldură este dată de relația:

$$Q = M \cdot c(T_t - T_0) + M \cdot q_{lt} + M \cdot s(T_s - T_t) \quad [W] \quad (2.1)$$

unde: M este cantitatea de metal din încărcătură [Kg];

c – căldura specifică a încărcăturii în stare solidă [j/Kg·grad];

T_t – temperatura de topire (medie) [K];

T_0 – temperatura inițială a încărcăturii [K];

q_{lt} – căldura latentă de topire [j/kg];

s – căldura specifică în stare lichidă [j/kg];

T_s – temperatura de supraîncălzire [K].

Pentru cele mai importante metale se dau, în tabelul 2.1, o serie de proprietăți fizice care prezintă interes[3]:

Tabelul 2.1. Proprietăți fizice ale unor metale neferoase uzuale

Proprietăți fizice	Metale						
	Al	Cu	Zn	Sn	Pb	Si	Mg
Greutatea specifică [daN/dm^3]	2,70	8,96	7,14	7,30	11,4	2,33	1,74
Căldura latentă de topire [Kcal/Kg]	93,9	50,46	26,2	14,2	5,7	127,7	85,2
Căldura specifică [Kcal/Kg·°C]	0,215	0,092	0,093	0,054	0,031	0,182	0,245
Temperatura de topire [°C]	660	1083	419	232	327	1410	650
Temperatura de vaporizare [°C]	2450	2595	906	2270	1725	2680	1107

De asemenea, pentru câteva aliaje de interes în tabelul 2.2. se dau unele proprietăți fizice.

Tabelul 2.2. Căldura specifică și căldura latentă de topire a unor aliaje neferoase

Aliajul	Căldura specifică [Kcal/Kg·°C]	Căldura latentă de topire [Kcal/Kg]
Alame cu 32-40% Zn	0,0926-0,0913	34-40
Bronz cu 6-20% Sn	0,095-0,086	40-46
Bronz cu 10% Al	0,104	60-65
Aluminiu-Siliciu 10-13%	0,230	93

Diferențele mari între valorile căldurii latente de topire, căldurii specifice și temperaturii de topire, conduc la următoarele concluzii[7]:

- pentru elaborarea aliajelor de aluminiu, se consumă cantitățile cele mai mari de căldură;
- pentru elaborarea aliajelor de cupru se consumă de aproape două ori mai puțină căldură decât pentru aceeași cantitate de aliaj de aluminiu;
- un aliaj de aluminiu sau de magneziu va putea sta mai mult în oala de turnare fără să piardă căldură, decât un aliaj de cupru, staniu sau plumb care trebuie turnat imediat;
- la elaborare se evită supraîncălzirea aliajelor în stare lichidă, deoarece au loc pierderi mari prin oxidare și evaporare.

Componența unei șarje poate să fie destul de eterogenă deoarece ea poate fi constituită fie din materiale recirculate, situație în care se face o retopire, fie din materiale pure și prealiaje, situație în care se face o topire cu

alier. De asemenea materialele pentru încărcătură pot fi caracterizate printr-o serie de parametri: compoziție chimică, formă (lingou, spărturi, așchii etc), mărime, proveniență, stare (metalul pur, prealiaj, metal vechi, deșeuri proprii etc) sau acuratețe (stare de oxidare, acoperit cu nisip, emulsii etc).

Este recomandat ca materialele pentru încărcătură să fie folosite în stare preîncălzită sau cel puțin uscată. În cazul retopirii, ordinea de încărcare în cuptor este hotărâtă de mărimea bucăților șarjei. Se vor încărca în primul rând bucățile cele mai mari și în baia formată prin topirea lor, se introduc apoi bucățile mai mici, eventual așchii (șpan) și abia la urmă cele medii.

În cazul topirii cu aliere factorul care hotărăște ordinea componenței șarjei este determinat de următoarele proprietăți în stare lichidă: căldura de topire, greutatea specifică, temperatura de topire și de fierbere, afinitatea față de mediu, solubilitatea și capacitatea de a dizolva ceilalți componenți.

La început se topesc componenții de aliere cu temperatura de topire și temperatura de fierbere cea mai mare și cu afinitate minimă față de mediu. Deoarece aceste proprietăți pot fi uneori contrare, în practică, alierea se face utilizând prealiajele. Aceste prealiaje trebuie să fie cât mai bogate în componentul de aliere și să aibă proprietăți fizico-chimice comparabile cu ale metalului cu care trebuiesc aliate.

Un caz aparte întâlnit în practica elaborării și turnării este topirea metalelor cu diferență mare de greutate specifică. În această situație metalele mai ușoare sunt scufundate cu ajutorul unor clopote din material refractar în topitura metalului mai greu, sub amestecarea continuă a băii.

De asemenea, un caz aparte îl reprezintă metalele care au o temperatură de vaporizare scăzută (cazul zincului și a magneziului) și deci o mare tendință pentru pierderi prin evaporare, oxidare sau ardere. În acest caz se va face o topire sub presiune (nu sunt întotdeauna condiții) sau o topire normală utilizând fondanți acoperitori, care formează un strat protector

deasupra metalului lichid, care limitează intensitatea reacțiilor de oxidare, adsorbția de oxigen și evaporarea componentelor de aliere ușor volatili.

Pe parcursul elaborării metalelor și aliajelor neferoase, trebuie evitată orice fel de mișcare inutilă a suprafeței metalului lichid și orice operație care ar putea mări suprafața de contact între metal și mediu. Dacă aceste operații trebuiesc executate, ele se vor face cu mare prudență, pentru a tulbura cât mai puțin suprafața metalului.

Pentru o elaborare corectă, trebuie să se țină seama de pierderile prin ardere care survin inevitabil și care depind atât de tipul cuptorului cât și de natura încărcăturii. În tabelul 2.3 sunt prezentate aceste pierderi pentru elementele mai larg utilizate.

Tabelul 2.3. Pierderi de metale prin oxidare în diferite condiții de elaborare

Aliajul pe bază de	Tipul cuptorului	Încărcătura	Pierderi prin oxidare [%]							
			Al	Cu	Zn	Mn	Sn	Si	Mg	Ni
Cupru	Cu creuzet	C	0,5-1	0,5-0,1	1-3	1-3	0,5-1,5	1-3	1-5	0,5-1
		N	2-3	1,0-1,5	2-5	2-3	1-1,5	4-8	2-10	1-1,5
	Cu vatră	C	2-3	1,0-1,5	2-10	1-5	1-1,5	2-5	1-10	0,5-1,5
		N	3-5	1-3	3-20	2-9	1-3	5,0-10	2-20	1-2
Aluminiu	Cu creuzet	C	0,5-1	0,5-1,0	1-2	0,5-1,5	-	1-5	1-3	0,5-0,8
		N	2-3	0,5-1,5	1-3	1-2	-	2-10	2-4	0,5-1,0
	Cu vatră	C	2-3	1-1,5	1-5	1-3	-	2-6	1-4	0,5-1,5
		N	3-5	1,0-2,0	2-8	3-5	-	3-15	2-10	1-2

C – încărcătură compactă;

N – încărcătură necompactă.

Plumbul are o pierdere de 1-2%, când este utilizat în aliajele pe bază de cupru.

2.2. SURSE DE IMPURITĂȚI

Impurificarea metalelor și aliajelor neferoase în timpul procesului de topire are numeroase surse, începând de la încărcătură, mediu de topire, agregatul de elaborare, prelucrarea metalului lichid înainte de turnare etc.

Cauza impurificării este pe de o parte tendința metalului lichid de a absorbi corpurile cu care vine în contact, iar pe de altă parte afinitatea mare față de oxigen a celor mai multe metale neferoase și formarea de oxizi solizi, lichizi sau gazoși.

Sursa de impurificare în procesul de topire poate fi încărcătura cuptorului formată din componenți metalici (metale și aliaje mai puțin sau mai mult oxidate) și nemetalici (fondanți, rafinatori, zgură) pe de o parte, și mediul de topire pe de altă parte (căptușeala cuptorului, atmosfera creată deasupra băii, sculele utilizate etc.)

Nu este de neglijat ca sursă de impurități oala de turnare și chiar forma în care se toarnă metalul lichid. Ținând seama de influența și de mecanismul de acționare, impuritățile pot fi clasate în gazoase și negazoase. În condițiile topirii, multe din impuritățile solide trec în stare lichidă și chiar gazoasă suferind o dispersie din ce în ce mai mare și o amestecare cu șarja metalică. În cadrul acestei dispersii unele impurități, numite active, vor fi absorbite de metal iar cele neactive se vor ridica, ca efect al greutății specifice mai mici, pe suprafața băii, unde se vor elimina sub formă de gaze sau vor coagula formând un strat de zgură.

2.2.1. Interacțiunea cu gazele

Așa cum s-a arătat mai sus, gazele reprezintă o importantă sursă de impurități. Gazele pot proveni din umiditate, din aerul atmosferic, din fazele rezultate la arderea combustibilului pentru încălzire sau chiar pot fi introduse intenționat în diverse scopuri tehnologice (rafinare).

Dizolvarea gazelor în metale este condiționată direct de procesele de adsorbție și de difuzie[2;7].

Azotul se dizolvă numai în unele metale cu care poate să formeze nitruți, cum ar fi aluminiul sau magneziul, acestea având o influență nefavorabilă asupra rezistenței la coroziune.

Hidrogenul se dizolvă în marea majoritate a metalelor, el difuzând în acestea încă de la temperatura obișnuită însă în mod accelerat o dată cu creșterea temperaturii. Solubilitatea lui este foarte accentuată mai ales la alierea cu metalele cu care formează hidruri. De cele mai multe ori hidrogenul se află sub formă de bule care, neputând fi în întregime eliminate după solidificare, înrăutățesc considerabil caracteristicile pieselor turnate.

Sursa principală de hidrogen o constituie umiditatea conținută în încărcătură, în fondanți, în prealiaje, în căptușeala refractară a cuptorului sau a oalelor și în combustibil.

La arderea hidrocarburilor din combustibilii utilizați, în atmosfera cuptorului se formează o mare cantitate de vapori de apă, ceea ce conduce la o saturare a metalului topit cu hidrogen. Astfel la arderea gazului metan, compoziția atmosferei cuptorului este aproximativ următoarea: 0 – 5% O₂, 8 – 13% CO₂, 0 – 7% CO, 0,3 – 1,5% SO₂ și 7,5 – 16,5% H₂O.

Nu este lipsită de interes, ca sursă de hidrogen, existența pe încărcătura metalică a unsoarelor, uleiurilor și emulsiilor.

Oxigenul este adus în contact cu metalul topit atât prin umiditatea și oxizii pe care îi conține încărcătura metalică sau căptușeala cuptorului cât și de atmosfera cuptorului constituită din gaze arse și aer atmosferic. În unele cazuri oxigenul este adus în mod voit în contact cu metalul lichid atunci când se utilizează fondanții sau gazele de rafinare.

Activitatea oxigenului este foarte importantă dacă se are în vedere afinitatea lui ridicată față de majoritatea metalelor și desfășurarea cu viteză

mare a reacțiilor de oxidare. Mecanismul de oxidare, deși depinde de starea de agregare ca intensitate, se produce atât în stare solidă cât și în stare lichidă sau gazoasă.

Oxizii metalelor care se formează în procesul de elaborare pot fi solizi, lichizi sau gazoși. Unii oxizi pot fi dizolvați în aliajul lichid, alții nu, iar alții formează incluziuni nemetalice.

După caracterul interacțiunii cu oxigenul, metalele neferoase se clasifică în trei grupe:

- metalele care nu dizolvă oxigen și nu reacționează cu acesta (aurul, platina și elementele platinice) nu sunt de interes larg;

- metale care nu dizolvă oxigen în stare solidă sau lichidă, dar reacționează cu acesta: aluminiu, magneziu, zinc, staniu, plumb, cadmiu etc. Interacțiunea acestor metale cu oxigenul se reduce la formarea unor pelicule de oxizi la suprafață, care apoi se dispersează în faza lichidă. În cazul alierii între ele a acestor metale se constată o creștere a vitezei de oxidare ca urmare a formării unor compuși complecși.

- metale care dizolvă o cantitate mare de oxigen atât în stare solidă, dar mai ales în stare lichidă: cuprul, nichelul, argintul, titanul, zirconiu, vanadiul etc. Aceste metale formează soluții de tipul $Me - Me_mO_n$, și atât ele cât și aliajele lor nu pot fi elaborate fără a se lua măsuri de protecție contra oxidării.

Oxigenul dizolvat în aliaje se elimină din baia metalică prin dezoxidare iar oxizii formați se îndepărtează prin rafinare sau decantare.

2.2.2. Interacțiunea cu căptușeala cuptorului și zgura

Între aliajele lichide și pereții sau vatra cuptorului pot avea loc reacții, care influențează gradul de impurificare a metalului. De regulă pot avea loc reacții între metalele aliajului și oxizii din căptușeală sau între oxizii

metalelor și oxizii din căptușeală. Este știut că materialele refractare utilizate la căptușeala cuptoarelor conțin cantități însemnate de oxizi: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Cr_2O_3 etc.

Interacțiunile metalelor și aliajelor neferoase cu căptușeala se manifestă sub diferite forme[30]: metalizarea, reacții de schimb între metale și materialele refractare, între oxizii metalelor și căptușeală, dizolvarea materialului căptușelii (sau a creuzetului) de către topitură sau de către zgură.

Metalizarea este impregnarea căptușelii cu metal sub acțiunea presiunii metalostatice și a efectelor capilare favorizate de temperatură. Se întâlnește în cazul aliajelor pe bază de cupru și de plumb.

Reacțiile de schimb între metale și căptușeala cuptorului se produc mai accentuat atunci când oxizii conținuți în materialul căptușelii nu au același caracter chimic (acid, bazic sau neutru) cu oxizii formați predominant în topitură sau zgură. În practică se va acorda o mare atenție acestui aspect mai ales atunci când se vor forma straturi de zgură pe suprafața metalului lichid, sau se vor introduce fondanți. Dacă totuși este necesară formarea unei zgure cu caracter antagonic caracterului căptușelii, aceasta va fi menținută numai perioada strict necesară urmând să fie înlocuită cu alta corespunzătoare. Pentru eliminarea acestui neajuns, acolo unde este posibil se vor utiliza materiale refractare cu caracter neutru.

Ca efect al proceselor fizico-chimice care au loc în condițiile de topire, se crează o anumită cantitate de substanțe nevolatile, numite *zgure naturale*.

Compoziția chimică a zgurelor naturale este dependentă de felul aliajului, de mediul de topire și de gradul de impurificare al metalului. În general zgurele conțin oxizi simpli sau complecși ai metalelor topituri, compuși ai metalelor cu componenții rafinatorilor și diferiți compuși ai metalelor cu impuritățile (sulfuri, cloruri, fluoruri, fosfuri etc.).

Zgurile naturale au greutate specifică, temperatură de topire și conductibilitate termică mai mică decât ale metalelor, iar vâscozitate și tensiune superficială mai mare. Aceste însușiri le permit să se separe relativ ușor din topituri și să formeze pe suprafața acestora un strat protector împotriva pierderilor termice și a evaporării sau de frânare a fenomenelor de adsorbție și desorbție. Stratul de zgură format determină viteza de oxidare a metalelor în timpul topirii sau afinării și conferă posibilitatea controlului vitezei de oxidare prin introducerea unor cantități mici de adaosuri.

De foarte multe ori, formarea zgurilor este un proces voit, cu scopul de protecție a băii sau de accelerare a unor procese fizico-chimice. Materialele utilizate se numesc *fondanți* sau *fluxuri* și uneori ei pot rămâne în stare solidă (mangalul) sau se topesc formând un strat continuu de 10-15 mm grosime.

Zgurile nou formate pot avea deci o influență activă asupra topiturilor prin tendința lor de a stabili echilibrele termo-chimice ale sistemului.

2.3. RAFINAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR

Operația de purificare a aliajului topit, adică de îndepărtare a cantităților mici de impurități metalice, incluziuni nemetalice (oxizi, nitruri, zgură) și gaze se numește *rafinare*. Operația de îndepărtare a oxigenului, care datorită solubilității scăzute se găsește în principal sub formă de oxizi, se numește *dezoxidare* și se realizează în principal pe cale chimică[34].

În general, pentru obținerea unei calități superioare a metalului elaborat, aceste două operații sunt cuplate, uneori executându-se simultan.

Dezoxidarea chimică se face prin precipitare sau difuzie și se bazează pe afinitatea mai mare față oxigen a elementelor utilizate pentru rafinare în comparație cu cele care au format oxizii existenți în baia metalică.

Dezoxidanții conțin elemente care au afinitatea față de oxigen mai mare decât a metalelor conținute în aliaj.

Dezoxidarea prin precipitare se realizează cu ajutorul unor prealiaje care conțin elemente solubile în topitură și care formează cu ușurință oxizi insolubili ce pot fi separați din aceasta. În urma reacției noii oxizi formați pot fi în stare solidă, lichidă sau gazoasă. Cel mai ușor se elimină oxizii gazoși, apoi cei lichizi și foarte greu sau de loc oxizii solizi.

Dezoxidarea prin difuzie elimină oxigenul din baie, fără dizolvarea elementelor dezoxidante, ceea ce conduce la o puritate mai mare a băii. Dezoxidanții, sub formă de pulbere, se depun pe suprafața metalului lichid și interacționează cu oxizii cu care intră în contact și cu cei care sunt transportați la interfață prin difuzie sau transfer de masă.

Rafinarea se face pe cale fizică și constă în antrenarea oxizilor și gazelor care se găsesc în baie și trecerea lor în zgură. Rafinarea se face de obicei cu gaze inerte, însă și cu anumite săruri sau metale atunci când este completată cu dezoxidarea pe cale chimică. Rafinarea are la bază *adsorbția* și un fenomen asemănător flotației: incluziunile nemetalice neumectate de metalul lichid, aderă ușor la bulele de gaze aflate în masa acestuia. Dacă prin metal se suflă un gaz neutru sub presiune, incluziunile aderă la bulele gazoase formate și sunt ridicate la suprafață de către acestea.

Cei mai utilizați dezoxidanți prin precipitare sunt: fosforul, magneziul, borul sub diverse combinații. Astfel:

- pentru aliaje de cupru:
 - cupru fosforos cu 9%P ; 11%P ; 13% P sau 15%P.
 - magneziu metalic;
 - borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) cu pulbere de magneziu în raport 95:5;
 - amestec de săruri: $\text{CaF}_2 - \text{MgF}_2$;
- pentru aliaje de aluminiu:

▪ amestecuri de săruri ale diferitelor elemente cu afinitate mare față de oxigen, în proporții variabile de genul: KCl – NaCl sau $MgCl_2 - KCl$ sau NaCl – NaF – KCl, $CaF_2 - NaF$, $MgF - NaF$ etc.

Dezoxidarea prin difuzie se aplică mai ales la elaborarea cuprului și a aliajelor sale, cu dezoxidanți precum: carbura de calciu(CaC_2), borura de magneziu(Mg_3B_2), manganul și zgura borică(95%borax+5%pulbere de Mg).

Cei mai utilizați dezoxidanți pentru principalele aliaje neferoase pe bază de cupru sunt dați mai jos:

Tabelul 2.4. Dezoxidanți ai aliajelor cuprului

Tipul aliajului	Dezoxidanți prin precipitare	Dezoxidanți prin difuzie
Pe bază de cupru	Prealiaj Cu-P	Carbid (CaC_2)
	Prealiaj Cu-Li	Zgură borică (95% $Na_2B_4O_7 + 5\% Mg$)
	Prealiaj Cu-Si	Carbon (mangal)
	Prealiaj Si-Mn	Borură de magneziu (Mg_3B_2)
	Prealiaj Cu-Be	
	Prealiaj Al-Mg-Mn	

Gazele utilizate la rafinare, cel mai des întrbuințate sunt: azotul, argonul, heliul și clorul. De regulă aceste gaze sunt introduse cu o ușoară suprapresiune (cca. 0,1-0,2 atm) cu ajutorul unor lănci speciale din oțel, prevăzute cu un număr de orificii cu diametru de cca. 1 mm, acoperite cu material refractar. Timpul de gazare este de câteva minute, 2 – 8 minute, cu un debit de cca. 5 – 6 l/min, urmărindu-se consumarea unei cantități de gaz egală cu cca. 0,1 – 0,5% din masa topiturii. Dacă gradul de impurificare este foarte mare atât timpul cât și cantitatea de gaz de rafinare poate să crească.

Rafinarea poate să se execute și cu ajutorul unor săruri sau amestecuri de săruri, care introduse în topitură generează substanțe volatile sub formă de bule la care adăunează celelalte gaze și impurități conținute în topitură. Cele mai utilizate sunt clorurile: hexacloretanul (C_2Cl_6), clorura de bor (BCl_3), clorura de mangan ($MnCl_2$), clorura de aluminiu ($AlCl_3$), clorura de zinc

($ZnCl_2$) etc. Cantitatea de cloruri utilizată variază între 0,05-0,3% din masa topiturii, iar introducerea lor în baie se face cu ajutorul clopotelor. Trebuie precizat că utilizarea acestor săruri se va face numai în condiții speciale, deoarece reacțiile sunt violente și se produc degajări de gaze toxice.

În afara procedeelor de rafinare prezentate mai sus, există și alte procedee cum ar fi: rafinarea prin filtrare, rafinarea în vid sau rafinarea sub acțiunea vibrațiilor și a ultrasunetelor[7].

Un factor important în procesul de rafinare și dezoxidare îl constituie temperatura aliajului, care trebuie să fie corespunzătoare desfășurării acestor procese.

2.4. FONDANȚI ȘI PREALIAJE

Așa cum s-a văzut mai sus, marea majoritate a 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*[7]. 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, în afara rolului de protecție ei asigurând fie rafinarea sau purificarea topiturii de incluziuni și gaze, fie modificarea structurii de turnare.

În funcție de scopul și natura lor, fondanții pot fi[30]:

- de acoperire, când trebuie să reducă sau să evite complet interacțiunea topiturii cu atmosfera cuptorului;
- de rafinare, când trebuie să participe efectiv la purificarea băii metalice de 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.

La elaborarea aliajelor neferoase se utilizează în special fondanți formați din cloruri și fluoruri ale metalelor alcaline și alcalino-pământoase. Acestea se caracterizează prin temperaturi de topire relativ ridicate 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 anume: tensiunea superficială, tensiunea interfazică și fenomenele de umectare. Cu cât tensiunea superficială este mai mică cu atât umectarea este mai bună și fondantul 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 se dau principalii fondanți utilizați în funcție de aliajul care se elaborează și în funcție de destinația lor, precum și cantitățile folosite în raport cu masa topiturii.

Tabelul 2.5. Fondanți utilizați la elaborarea aliajelor 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 cuartșos	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		
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 cuartșos + 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

Sărurile din tabelul 2.5. sunt cunoscute și sub următoarele denumiri:

- Na_2CO_3 – sodă calcinată;
- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – borax;
- CaF_2 – fluorină (de fapt 90%CaF + 10%SiO₂);
- Na_2AlF_6 – criolit;
- $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$ – carnalit;
- CaC_2 – carbid;
- SiO_2 – nisip cuarțos;

Tabelul 2.6. Principalele tipuri de fondanți utilizați în turnătoriile din România[59;60;61]

Nr crt	Denumire Bentoflux	Echivalent Foséco	Destinația	Cantitate [%]	Starea de livrare
1	FLUX M-2	NUCLEANT 2	Finisare structură aliaje Al	0,2-0,5	Pastile albastrii, cutii 30kg/buc
2	ALSIM	COVERAL 64	Modificare aliaje Al (Al-Si eut + hipoeut)	0,5-1,5	Pulbere albă, în saci de 40kg/buc
3	ALSIM-bloc	PERNA BLOCK N	Modificare aliaje Al (Al-Si eut + hipoeut)	0,8-1,0	Lingouri de 1,25 kg/buc
4	CUPRAL	ALBRAL 2.3	Acoperire,degazare aliaje Cu-Al;Cu-Mn	0,5-1,0	Pulbere albă, în saci de 40kg/buc
5	CUPROM	CUPREX 140	Acoperire,degazare aliaje Cu-Sn;Cu-Ni	0,5-1,0	Pulbere neagră, pungi(0,5kg/buc)
6	I-2	COVERAL 11	Acoperire,dezoxidare aliaje Al(Al-Si;Al-Mg)	0,8-1,2	Pulbere roz, în saci de 40kg/buc
7	REXIL	CUPRIT 85	Protecție + recuperare pentru alame	0,5-1,0	Pulbere albă, în saci de 40kg/buc
8	TRIPEX	REGENEX R6	Degazare aliaje Cu-Sn și Cu-Ni	0,4-0,6	Pulbere neagră, cutii 25kg/buc
9	DEGAZAL	DEGASER	Degazare aliaje Al	0,2-0,3	Pastile albe de 0,10 kg/buc
10	ZGUREX	GLAX 30	Coagulant de zgură pt. aliaje neferoase grele	0,3-0,5	Pulbere roz, în saci de 40kg/buc

Caracteristicile de bază ale fondanților sunt:

- temperatura de topire mai joasă decât a aliajului;
- greutatea volumică mai mică decât a aliajului;
- tensiunea superficială mai mare decât a aliajului;
- conductibilitate termică mai mică decât aliajul;
- viscozitatea mai mare decât a aliajului;

- să fie ieftine;
- să nu fie toxice sau să producă substanțe toxice.

La elaborarea aliajelor, atunci când alierea directă cu elemente în stare pură este dificilă, sau uneori chiar imposibilă, se folosesc aliaje intermediare ale elementelor, care în mod obișnuit se numesc *prealiaje*.

Necesitatea utilizării prealiajelor apare în cazul elaborării aliajelor cu elemente greu fuzibile care au drept bază metale ușor fuzibile. În acest caz, ar trebui să se facă o supraîncălzire exagerată a aliajului, astfel încât temperatura lui să depășească temperatura metalului ce trebuie introdus pentru aliere, ceea ce ar conduce la pierderi prin ardere exagerate ale metalului de bază sau a altor metale pe care le conține aliajul.

Mai jos se dau câteva exemple de prealiaje mai larg utilizate:

Tabelul 2.7. Prealiaje utilizate la elaborarea aliajelor neferoase[40]

Simbol prealiaj	Compoziția chimică			Temperatura de topire [°C]
	Baza	Elementul I	Elementul II	
1	2	3	4	5
Al – Cu	Al – 50	Cu – 50	-	580
Al – Cu	Al – 67	Cu – 33	-	548
Al – Si	Al – 85	Si – 15	-	640
Al – Si	Al – 50	Si – 50	-	1090
Al – Si	Al – 75	Si – 25	-	750
Al – Mg	Al – 90	Mg – 10	-	600
Al – Mg – Mn	Al – 70	Mg – 20	Mn – 10	580
Al – Cu – Fe	Al – 70	Cu – 20	Fe – 10	830
Cu – Mn	Cu – 73	Mn – 27	-	860
Cu – Sn	Cu – 50	Sn – 50	-	780
Cu – Ni	Cu – 67...85	Ni – 15...33	-	1050
Mg – Al	Mg – 70	Al – 30	-	450
Mg – Mn	Mg – 90	Mn – 10	-	780
Mg – Zn	Mg – 45	Zn – 55	-	350
Zn – Al	Zn – 95	Al – 5	-	385
Zn – Fe	Zn – 95	Fe – 5	-	-

O caracteristică a prealiajului este de a avea temperatura de topire apropiată de cea a metalului de bază din aliajul final, și de a conține cât mai mult din elementul greu fuzibil.

Prealiajele conțin, unul, două sau cel mult trei elemente ce trebuie introduse în topitură, și în general sunt fragile astfel încât să poată fi mărunțite și dozate cât mai exact.

Tabelul 2.8. Caracteristici ale cuprului fosforos utilizat în turnătoriile din România

Compoziția chimică a cuprului feros			
Simbol	P [%]	Cu [%]	Impurități [%]
Cu – P 13	12 – 14	86 – 88	Max 0,4
Cu – P 11	10 – 12	88 – 90	Max 0,4
Cu – P 9	8 – 10	90 – 92	Max 0,8

2.5. PRINCIPIILE ELABORĂRII ALIAJELOR NEFEROASE

Elaborarea unor aliaje neferoase de bună calitate presupune respectarea unor principii de la care abaterile trebuie să fie cât mai mici:

2.5.1. Pregătirea șarjei

Pregătirea șarjei presupune respectarea următoarelor principii:

- materialele pentru încărcătură, este indicat, să fie cunoscute. Cele care nu pot fi identificate vor fi utilizate pentru obținerea unor aliaje fără importanță deosebită, vor fi topite și lingotate pentru a li se determina compoziția chimică, sau vor fi retrase din procesul de producție;

- pregătirea materialelor pentru șarjă se face prin sortare după aliaj și după mărime, prin control vizual, pe baza caracteristicilor fizice cunoscute (aspect, culoare, ruptură, duritate etc.) sau prin controale chimice simple;

- componentele încărcăturii vor fi curățate de impurități prin sablare;

- toate materialele din încărcătură se vor folosi în stare uscată, fără umiditate, unsoiri, uleiuri etc. și dacă este posibil chiar în stare preîncălzită;

- toate materialele se vor doza prin cântărire astfel încât, pe baza calculelor de încărcătură să se obțină aliajul dorit;

- compoziția chimică a șarjei se alege în așa fel, încât după topire și alte procese metalurgice care au loc, metalul lichid să se afle între limitele de toleranță ale compoziției chimice impuse;

- dacă se utilizează șpan provenit de la prelucrarea mecanică prin aşchiere este necesară uscarea prealabilă prin încălzire la peste 100°C;
- materialele nemetalice folosite la elaborare vor fi curate și uscate.

2.5.2. Condiții de topire

La topire se vor respecta următoarele principii:

- se vor lua toate măsurile tehnologice astfel încât topirea să se efectueze într-un timp cât mai scurt posibil;

- introducerea materialelor metalice în cuptorul încălzit cu flacără se va face numai după ce acesta a fost bine încălzit la 800 - 900°C;

- ordinea de încărcare se face în funcție de procesul de topire:

- a) în cazul retopirii (din lingouri sau din deșeuri proprii recirculate) se încarcă bucățile mai mari și în baia formată se scufundă bucățile mai mici;

- b) în cazul topirii cu aliere, se încarcă componentii șarjei care au temperatură de topire mai înaltă, capacitate termică mare și slabă afinitate față de mediul de topire, iar cei ușor fuzibili și volatili sau cu afinitate chimică mare se introduc în baia metalică înainte de evacuarea din cuptor.

- se evită mișcărilor inutile care ar conduce la oxidare și gazare;

- se utilizează scule uscate și acoperite cu material refractar protector;

- se lucrează cu zgură de protecție în strat uniform de 10–15 mm pe întreaga suprafață a topiturii, formată cu fondanții introduși cu încărcătura;

- zgura formată să fie lichidă, compactă și să nu conțină componente dăunători sau activi în raport cu metalul sau cu căptușeala cuptorului;

- în cazul topirii cu flacără se va regla astfel combustia încât să se creeze o atmosferă neutră sau ușor oxidantă;

- agitarea mecanică a topiturii se va face cu mișcări lente, fără o „rupere” semnificativă a stratului de zgură;

- se evită supraîncălzirea locală cauzată de contactul cu flacăra;

- se evită supraîncălzirea și menținerea băii la temperaturi mai mari de 100°C peste temperatura de topire, iar dacă este necesară creșterea temperaturii (pentru aliere, turnare etc.) aceasta să se facă pentru scurt timp;
- prealiajele și fondanții să fie cei indicați scopului tehnologic propus;
- imediat după topire și atingerea temperaturii optime de lucru se va proceda la corectarea compoziției chimice;
- în funcție de materialele utilizate se va aprecia dacă este necesară dezoxidarea topiturii înaintea introducerii în cuptor a elementele de aliere;
- materialele de aliere și de corecție se vor introduce în cuptor în stare uscată (sau preîncălzite) ținându-se cont și de pierderile prin ardere;
- la deversarea din cuptor, sau în cazul altor transvazări, se va reduce la minimum înălțimea de cădere a metalului lichid;
- oalele de turnare vor fi încălzite la roșu (600 – 800 °C);

2.5.3. Controlul elaborării

Desfășurarea proceselor metalurgice ce au loc pe parcursul elaborării aliajelor neferoase este necesar să fie controlată și dirijată în consecință. Există metode moderne de control a acestora, iar dacă acestea nu sunt accesibile se va apela la metode mai puțin precise însă suficient de edificatoare.

Temperatura aliajelor în stare lichidă se măsoară cu termocuple de imersie, obținându-se o valoare precisă.

Compoziția chimică se determină prin analize chimice cantitative, prin metodele stabilite de către standardele în vigoare pentru fiecare metal.

Dezoxidarea și degazarea aliajelor sunt două operații foarte importante care condiționează în cea mai mare parte calitatea pieselor turnate. De aceea, metalul nu trebuie evacuat din cuptor dacă se află în stare oxidată sau cu un conținut ridicat de gaze.

Controlul nivelului de oxidare sau de gazare a unui aliaj, chiar și prin metode tehnologice, permite aprecierea cantităților de dezoxidanți sau degazanți ce trebuie folosiți.

În cazul aliajelor de cupru, pentru controlul dezoxidării, se toarnă o probă tehnologică și se analizează felul în care s-a solidificat. Proba tehnologică are dimensiunile de $\varnothing 50 \times 150$ mm când se toarnă în amestec sau $\varnothing 30 \times 60$ mm când se toarnă în cochilă. Turnarea se face în poziție verticală.

Dacă, după solidificare, suprafața probei este convexă, înseamnă că metalul este insuficient dezoxidat. În funcție de înălțimea zonei convexe se poate aprecia cât de oxidat este metalul lichid (Fig. 2.1. a), impunându-se dezoxidarea.

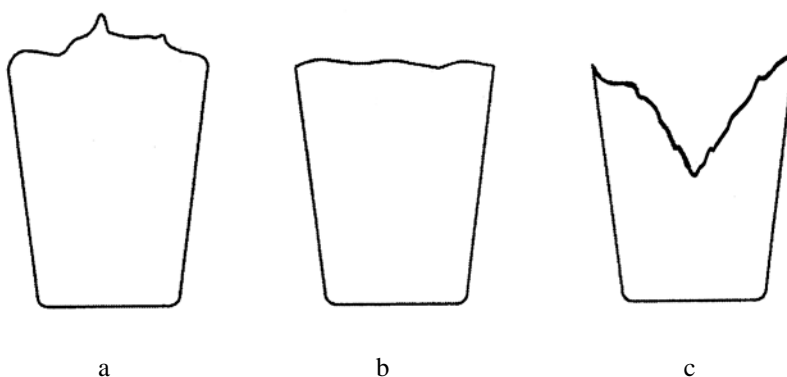


Fig.2.1. Probă tehnologică pentru determinarea gradului de dezoxidare[39].
a) metal oxidat; b) metal dezoxidat incomplet; c) metal cu dezoxidare avansată.

Dacă suprafața probei este dreaptă sau ușor concavă rezultă că metalul lichid este dezoxidat însă mai conține cantități reduse de oxigen ceea ce impune dezoxidarea completă (Fig. 2.1. b). Dacă suprafața probei prezintă o concavitate pronunțată înseamnă că dezoxidarea este avansată și nu mai este necesară o prelucrare a metalului în acest sens (Fig. 2.1. c).

Această probă poate fi utilizată și în cazul aliajelor de aluminiu, însă este mai puțin elocventă. Specific aliajelor de aluminiu este absorbția de gaze, care neeliminate din topitură se materializează ca porozități în piesele

turnate. Pentru controlul cantității de gaze se toarnă o probă specială într-o formă de grafit (vezi fig. 2.2) încălzită la 100 – 150 °C.

În timpul solidificării, care este dirijată de la fundul formei către sus, gazele, datorită scăderii temperaturii iau forma unor bule mici, ce se ridică și încearcă să spargă coaja de oxizi formată la suprafața probei, lăsând mici cratere aciculare.

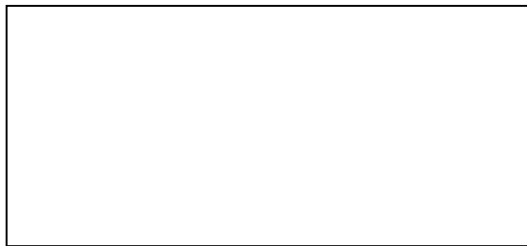


Fig. 2.2. Formă de grafit pentru proba de gaze

Aprecierea nivelului de gazare al metalului se face în funcție de multitudinea acestor „bășici”, fie prin comparație cu probe etalon, fie pe bază de experiență.

CAP.III. MODIFICAREA STRUCTURII DE TURNARE A METALEOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

3.1. CONSIDERAȚII ASUPRA CRISTALIZĂRII ȘI SOLIDIFICĂRII

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 apare diferențe semnificative de proprietăți între produse similare sau chiar în secțiunile aceleiași 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[44].

Proprietățile aliajelor sunt strict legate de finețea structurală, deci sunt direct influențate de formarea și creșterea germinilor 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[1] 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 apare 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[46].

Dacă prin cristalizare înțelegem procesele de formare a cristalelor izolate și a zonelor cristaline, prin solidificare înțelegem procesele de transformare a fazei lichide în fază solidă fără a ține cont de formarea microstructurii.

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.

Aceasta este funcție de următorii factori:

$$\frac{dV_s}{dt} = f(v_f, v_r, n, i, \emptyset, v_\emptyset, d, p) \quad (3.1)$$

în care:

$\frac{dV_s}{dt}$ este viteza de formare a fazei solide;

v_f – viteza de formare a germenilor spontani și este funcție de gradul de subrăcire;

v_r – viteza de variație a razei echivalente a cristalului;

n – numărul de impurități active;

i – indicele de corespondență dintre rețeaua cristalină a impurității și a aliajului;

\emptyset – caracteristica geometrică a formei cristalelor;

v_\emptyset – viteza de variație a formei cristalului;

d – cantitatea de dislocații la suprafața cristalelor în creștere;

p – acțiunea forțelor exterioare asupra aliajului în curs de solidificare (presiune, vibrații, ultrasunete).

3.2. PROCESE DE MODIFICARE A STRUCTURII DE TURNARE

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[48]. 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 [27;30;31;44] 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 explicarea modificării cu elemente tensioactive s-au emis mai multe teorii, dintre care menționăm: teoria subrăcirii, teoria adsorbției și teoria coloidală. Cu toate progresele deosebite înregistrate în domeniul tehnicilor de investigare prin microscopie electronică sau prin difracție de electroni nu s-a putut stabili cu exactitate care este mecanismul modificării.

Tratamentele fizice de modificare constau în inducerea în topitura în curs de solidificare a unor curenți dinamici sub acțiunea forțelor externe. Dintre metodele cele mai eficiente de modificare menționăm[6;7;17;21;45]: tratarea prin vibrații sau ultrasunete, agitarea electromagnetică și retopirea dendritelor prin agitare în timpul solidificării.

Procesele de modificare se pot clasifica după modul de manifestare și consecințele structurale asupra grăunților cristalini, precum și după natura constituentului structural modificat.

3.2.1. Clasificarea modificării după modul de manifestare și consecințele structurale

Conform teoriei lui Gohstein poate avea loc modificarea mărimii grăunților cristalini, sau modificarea construcției interne a acestora.

3.2.1.1. Modificarea de tip A – mărimea și numărul grăunților cristalini

Modificarea de tip A are efect asupra mărimii și numărului grăunților cristalini din unitatea de volum de aliaj solidificat. În acest caz se aplică tratamente chimice sau fizice cu scopul creșterii vitezei de germinare pentru majorarea numărului și diminuarea mărimii grăunților cristalini. Modificarea de tip A se poate obține prin:

- creșterea vitezei de germinare omogenă[36]:

$$V_g = N \frac{KT}{h} e^{\frac{-E_a}{KT}} \cdot e^{-K_1 \frac{T_{top}^2}{L_{top}} \cdot \frac{\sigma_{S-L}^3}{T\Delta T^2}} \quad (3.2)$$

în care: V_g este viteza de germinare omogenă;

N – numărul total de atomi;

K – constanta lui Boltzman;

h – constanta lui Planck;

E_a – energia de activare a difuziei atomilor la interfață;

K_1 – constantă;

T_{top} – temperatura de topire;

L_{top} – căldura latentă de topire

σ_{S-L} – tensiunea interfațială solid-lichid;

ΔT – subrăcirea.

Conform relației (3.2) viteza de germinare este puternic influențată de mărimea tensiunii interfațiale și de gradul de subrăcire. Cum σ_{S-L} este specifică fiecărui sistem la temperatura dată, rezultă că singurul factor ce poate fi modificat la solidificare este subrăcirea ΔT . În urma verificărilor experimentale s-a dovedit că viteza de germinare crește foarte mult numai dacă subrăcirea este mai mare decât cea critică care este $\Delta T_{crit} = 0,2 T_{top}$.

Aceste subrăciri mari se pot obține în condiții speciale de turnare (turnarea în forme metalice, turnarea în cochile metalice răcite, turnarea în matrițe metalice, turnarea în cristalizoare de cupru răcire cu apă etc.) și la piesele cu pereți subțiri.

- *creșterea vitezei de germinare eterogenă*

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[8]:

$$\sigma_{SL} = \sigma_{SG} + \sigma_{LG}\cos\theta \quad (3.3)$$

în care: σ_{SL} , σ_{SG} , σ_{LG} sunt tensiunile interfațiale, iar θ este unghiul de umectare, atunci prin extrapolare se poate scrie:

$$\sigma_{PL} = \sigma_{PS} + \sigma_{SL}\cos\theta \quad (3.4)$$

în care: σ_{PL} – este tensiunea interfațială particulă-metal lichid;

σ_{PS} – tensiunea interfațială particulă-metal solid;

σ_{SL} – tensiunea interfazică solid-metal lichid;

θ – unghiul de contact între cele trei faze.

În figura 3.1 este prezentată formarea germenului de metal solid pe suprafața unei particule solide precum și tensiunile ce guvernează formarea și creșterea acestuia.

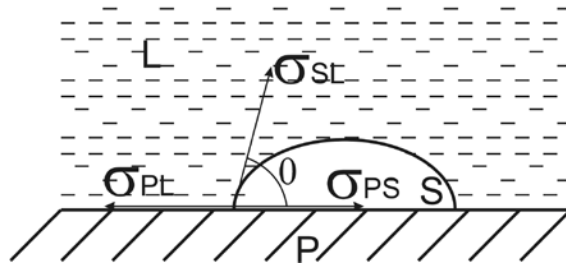


Fig. 3.1. Germinarea solidului metalic pe suprafața particulei suport

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 3.2.

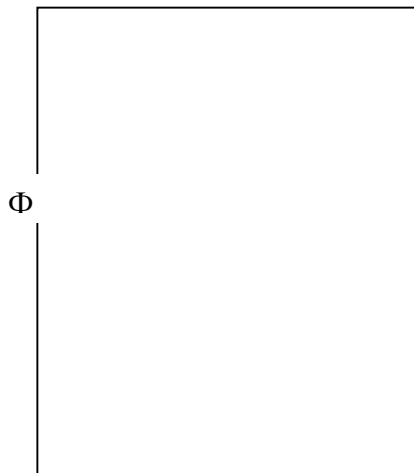


Fig. 3.2. Variația factorului Φ din ecuația 3.5 funcție de unghiul de contact θ

$$E_{a\ et} = \Phi E_{a\ om} \quad (3.5)$$

Rezultă că la $\theta = 0$ germinarea are loc instantaneu la temperatura de solidificare, fără a fi necesară subrăcirea, iar $\theta = \pi$ particula nu poate constitui un catalizator al procesului de germinare fiind necesare subrăcirii egale cu cele de la germinarea omogenă.

Viteza germinării eterogene se poate determina din relația (3.2) cu condiția ca energia de activare a difuziei atomilor să fie calculată conform relației (3.5) în funcție de unghiul θ . 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.

- *Creșterea vitezei de germinare dinamică*

Germinarea dinamică are loc atunci când în timpul cristalizării apare un factor perturbator care poate să ducă la fragmentarea dendritelor în creștere. Interacțiunea chimică dintre ramurile dendritelor și anumite elemente introduse special pentru modificare, în scopul fragmentării și coagulării lor, este mult mai dificil de realizat practic spre deosebire de metodele fizice de fragmentare mecanică. Orice mișcare în lichidul supus cristalizării poate conduce la ruperea cristalitelor în creștere și multiplicarea germenilor de cristalizare chiar și în absența subrăcirii. Astfel, mișcările produse într-un aliaj lichid în curs de solidificare ca urmare a vibrațiilor mecanice, a efectului ultrasunetelor, a agitării mecanice și prin injectarea de gaze precum și a efectului câmpului electromagnetic au condus la finisarea structurii ca urmare a măririi numărului de grăunți cristalini și a micșorării dimensiunilor acestora. Un alt efect ar putea fi și acela că presiunea care apare la suprafața unor microvolume din lichid determină creșterea semnificativă a temperaturii de topire ceea ce poate conduce la activarea germenilor care sunt inactivi la temperatura normală de solidificare.

- *Frânarea creșterii cristalelor ca urmare a blocării alimentării cu atomi din topitură*

În acest caz modificatorul se adsoarbe la suprafața cristalului în creștere și formează o peliculă continuă și impermeabilă pentru atomii care trec din lichid în solid. Frânarea creșterii cristalelor conduce implicit la mărirea numărului de germeni de cristalizare și la finisarea structurii ca urmare a mărunțirii grăunților. Fenomenele de suprafață au un rol decisiv în cazul acestui mecanism de modificare deoarece cantitatea de modificador introdusă în topitură este extrem de mică ceea ce înseamnă că acesta nu influențează proprietățile în volum ci doar pe cele de la interfața cristal-topitură.

3.2.1.2. Modificarea de tip B – construcția internă a grăunților cristalini

Modificarea structurii interne a cristalelor se obține prin adsorbția modificatorului la suprafața acestora sau prin interacțiunea chimică a cristalelor cu modificatorul.

a) Modificarea datorată adsorbției modificatorului la suprafața cristalului în creștere

Fenomenele de adsorbție nu sunt egale în toate direcțiile și pe toate suprafețele și de aceea frânarea dezvoltării unui cristal va fi foarte diferită de la un plan cristalografic la altul. Aceasta poate conduce la modificarea semnificativă a formei geometrice a cristalului. Adsorbția este cu atât mai puternică cu cât între rețeaua cristalină a modificatorului și cea a aliajului se produce un gen de conjugare ca urmare a izomorfismului structurii lor.

Pentru explicarea fenomenelor de adsorbție V.K. Semencenko consideră că între particule există interacțiuni electrostatice al căror efect se poate aprecia cu ajutorul unei mărimi denumite moment generalizat.

$$m = \frac{eZ}{r} \quad (3.6)$$

în care: r este raza ionului;

z – valența ionului;

e – sarcina electronului.

Metalele cu momentul generalizat mai mic decât cel al metalului solvent au tensiunea interfațială cu cristalul mică și se adsorb la suprafața acestuia. Această teorie este justificată de efectul modificator al sodiului și potasiului care au momentele generalizate mici: $m_{\text{Na}^+} = 0,86 \cdot 10^{-9}$, $m_{\text{K}^+} = 0,70 \cdot 10^{-9}$. Totuși, există mai multe inadverențe și anume:

- deși K, Rb, Cs au momentul generalizat mai mic decât la Na, efectul lor modificator este mai redus;

- Sr care are $m_{\text{Sr}^{2+}} = 1,49 \cdot 10^{-9}$, mai mare decât la K, Rb și Cs, are efect modificator mai mare decât acestea;

- nu pot fi explicate următoarele fenomene: modificarea punctului eutectic, formarea structurilor submodificate și supramodificate.

Siliciul eutectic din aliajele Al-Si modificate cu Sr este imperfect din punct de vedere cristalografic deoarece are multe plane perechi cu suprafață rugoasă. Microscopia electronică de transmisie a dovedit că siliciul modificat se ramifică și formează o structură fibroasă cu plane-perechi în zig-zag.

După Malțev[27], sodiul se adsoarbe pe suprafața cristalelor de siliciu ale eutecticului Al-Si ceea ce determină reducerea vitezei de creștere a acestora. Aluminiul devine fază conducătoare la cristalizarea eutecticului iar dendritele de aluminiu cresc sub formă de cristale puternic ramificate și axe foarte fine. Siliciul va cristaliza dispers în microvolumele lichide rămase între ramurile dendritelor de aluminiu care au o dezvoltare specială în prezența modificadorului.

b) Modificarea datorată interacțiunii chimice dintre ramurile dendritelor în formare și elementele de adaos

În acest caz modificadorul interacționează chimic cu cristalele aciculare sau lamelare în formare ceea ce va determina fragmentarea acestora și coagularea sub forma unor cristale echiaxiale. Trecerea de la structurile dezvoltate într-o direcție sau într-un plan la structurile dezvoltate uniform în volum, are ca efect înlăturarea fragilității, creșterea plasticității și îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice.

3.2.2. Clasificarea modificării după natura constituentului structural

În acest caz se pot modifica grăunții metalului de bază sau ai soluției solide, grăunții de eutectic, precum și cristalele de compuși intermetalici, de semimetale sau de nemetale.

3.2.2.1. Modificarea de genul 1 – modificarea grăunților metalici primari ai metalului de bază sau ai soluției solide.

Metalele și o mare parte din soluțiile solide ale acestora în condițiile unei răcirii cu viteză mică formează la solidificare cristale columnare mari care uneori se regăsesc pe întreaga secțiune a peretelui piesei turnate. În acest caz piesele sunt fragile, au rezistență și plasticitate scăzută și au toate proprietățile anizotrope.

Cristalele columnare sunt orientate cristalografic după direcția preferențială de creștere a dendritelor care este paralelă cu fluxul termic. În figura 3.3 este schițată creșterea cristalelor columnare pe direcția perpendiculară pe peretele piesei.

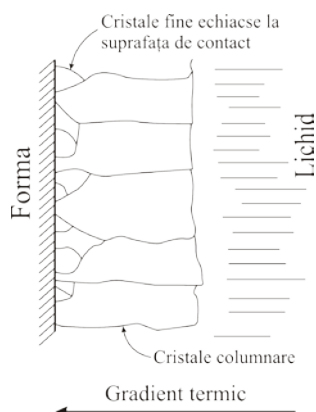


Fig. 3.3. Creșterea cristalelor columnare în direcția gradientului termic[36].

Dacă la solidificarea metalelor pure structura de turnare este formată numai din cristale columnare, la soluțiile solide raportul L/g dintre lungimea și grosimea cristalului se reduce pe măsura creșterii conținutului elementelor de aliere.

În fig. 3.4. se prezintă influența conținutului de elemente de aliere asupra mărimii zonei cu cristale columnare din peretele piesei, pentru aceeași temperatură de turnare.

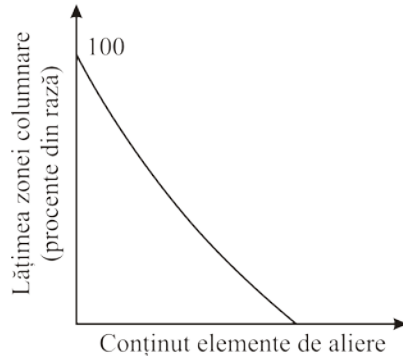


Fig. 3.4. Variația lățimii zonei columnare cu procentul de elemente de aliere[36]

Este cunoscut faptul că la turnarea unor metale cu utilitate industrială cum sunt: Cu, Ni, Al, Mg, Zn, W, Mo, se manifestă o puternică tendință de transcristalizare ca urmare a dezvoltării cristalelor columnare pe întreaga secțiune a semifabricatului. Pentru evitarea acestui fenomen și obținerea unei structuri fine și uniforme se practică modificarea cu ajutorul unor mici adaosuri de metale greu fuzibile sau care formează corpuri greu fuzibile ce pot juca rolul de germeni de cristalizare. Rolul de centri de cristalizare nu poate fi îndeplinit decât de particulele a căror rețea cristalină se conjugă cu cea a metalului sau aliajului. Astfel, compușii chimici $AlTiB$, $TaAl_3$ și $TiAl_3$, care cristalizează în sistem tetragonal, cu diferența dintre distanțele lor atomice și cele ale aluminiului mai mică de 4-5% pot juca rolul de germeni de cristalizare pentru acesta[53]. Un rol modifier mult mai slab îl au $ZrAl_3$ și BAl_3 , care au aceste diferențe de 7-8%. $CrAl_7$ are diferența față de distanțele atomice ale aluminiului atât de mare încât nu poate juca rolul de germene de cristalizare pentru acesta. Adaosuri de până în 0,5% Ti, introdus ca atare sau sub formă de săruri în aluminiu, determină o fragmentare majoră a grăunților de aluminiu primar. În aliajele aluminiului un efect modifier similar se obține la adaosuri de 0,1-0,15% Ti. În aliajele aluminiului în care există câteva zecimi de procent de Fe sau Mn, adaosuri de 0,05% Ti produc o

mărire a numărului de grăunți cristalini de peste zece ori, ca urmare a micșorării solubilității titanului în aceste aliaje.

Modificarea structurii de turnare a grăunților metalici sau de soluție solidă poate avea loc în urma adsorbției modificatorilor solubili în straturile superficiale ale dendritelor în creștere, sau a modificatorilor insolubili la interfața acestora cu topitura și blocarea alimentării din exterior cu atomi metalici. Acest proces denumit mecanism pelicular se caracterizează prin formarea unei bariere în calea alimentării cu atomi ai substanței în curs de cristalizare și obținerea unor cristale dendritice cu axe subțiri și puternic ramificate între care se dezvoltă faza a cărei creștere a fost oprită.

3.2.2.2. Modificarea de genul 2 - modificarea eutecticelor

Aliajele eutectice se pot prezenta într-o mare varietate de microstructuri ca urmare a influenței unor factori interni, precum proporția volumică și cristalografică a fazelor, dar și a unor factori externi cum ar fi regimul termic al solidificării și prezența impurităților.

a) Microstructura eutecticelor

Eutecticele pot prezenta două tipuri principale de microstructuri[14]:

a₁) Microstructura regulată care poate avea:

- Morfologia lamelară specifică sistemelor la care fazele amestecului au caracter metalic și formează cristale alotriomorfe la solidificarea separată.

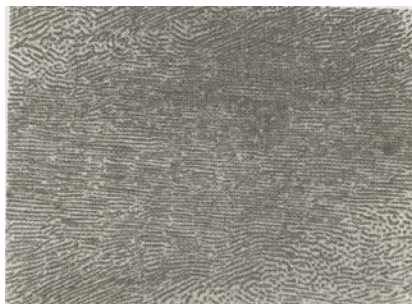


Fig. 3.5. Microstructura lamelară a eutecticului $\alpha(\text{Al}) - \text{Zn}$ cu 88,7% at Zn + 11,3% at Al și temperatura de topire 382 °C[14].

Reprezentativ este eutecticul Al-Zn care are o structură lamelară așa cum se vede și în figura 3.5.

-Morfologia în baghete specifică sistemelor la care una din faze solidifică sub formă de baghete paralele distribuite în matricea formată de cealaltă fază. Reprezentativ este eutecticul Sn-Cd din figura 3.6.



Fig. 3.6. Microstructura în baghete a eutecticului Sn-Cd cu 67,8%Sn + 32,2%Cd și temperatura de topire 180 °C[14].

Cristalizarea simultană a fazelor eutecticului, ca urmare a existenței unui front de cristalizare izoterm și plan, comun cu topitura, este posibilă numai dacă fazele sunt metalice. Alinierea fazelor se face conform unor relații cristalografice specifice fiecărui grăunte de eutectic în funcție de condițiile de germinare și creștere.

a₂) Microstructura neregulată

Este caracteristică eutecticelor formate dintr-o fază metalică cu dezvoltare cristalografică alotriomorfă și o fază nemetalică cu dezvoltare cristalografică idiomorfă. La răcire faza metalică solidă crește chiar și din lichidele mai puțin subrăcite spre deosebire de faza semimetalică la care este necesar un grad mare de subrăcire. Frontul de cristalizare nu mai este nici plan și nici izoterm ceea ce face ca faza metalică, care se dezvoltă rapid, să izoleze faza semimetalică de topitură. Din această cauză faza nemetalică sau semimetalică va crește sub formă de particule discontinui în urma germinării repetate.

În mai multe cazuri faza semimetalică are o mare anizotropie și își dezvoltă ramificații de creștere rapidă la contactul cu topitura. Spre exemplu, la eutecticul $\alpha + \text{Si}$ din siluminuri, faza siliciu apare în secțiune plană sub formă de particule discontinui, ca în figura 3.7, deși în realitate ea este puternic dezvoltată spațial, așa cum se vede prin microscopia electronică cu baleiaj din figura 3.8.

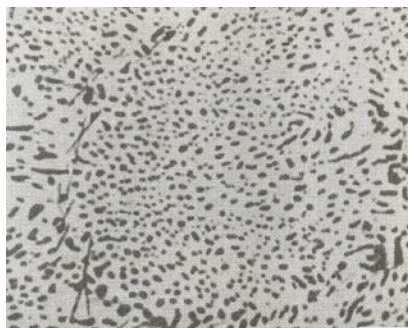


Fig. 3.7. Microstructura eutecticului $\alpha + \text{Si}$ a siluminului cu 11,7% Si, în secțiune plană x 1800



Fig. 3.8. Microstructura eutecticului $\alpha + \text{Si}$ din aliajul Al-Si la 11,7% Si în reprezentare spațială x 6000[14].

În absența unui front de solidificare comun al fazelor eutecticului microstructura neregulată este determinată de modul de creștere a acestora și se caracterizează prin lipsa grăunților cristalini.

Regiunile termice de solidificare speciale și adaosurile de elemente modificatoare pot determina tranziția microstructurii de la morfologia lamelară la cea în baghete sau de la morfologia fazei nemetalice sub formă de particule la cea puternic ramificată spațial.

b) Distribuția cristalografică și influența eutecticelor asupra proprietăților 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:

b₁) Eutectice formate între componenții de bază ai aliajului și unele impurități metalice sau compuși chimici ai acestora. Aceste eutectice 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 componenții aliajului și impurități sunt [14;20]:

- 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 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.

Din diagramele de echilibru prezentate în figura 3.9 și figura 3.10 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.

Fig. 3.9. Diagrama de echilibru a sistemului Cu- Pb

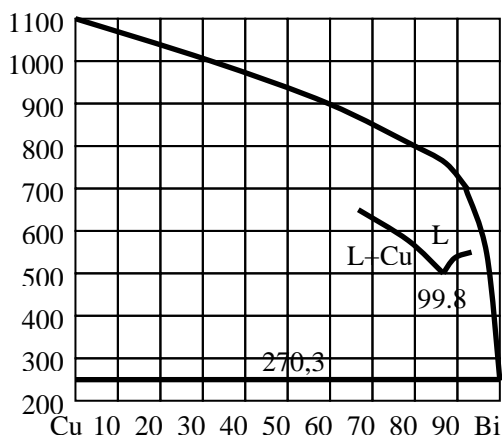


Fig. 3.10. Diagrama de echilibru a sistemului Cu-Bi

Deoarece fenomenele de decoeziune a dendritelor sunt maxime 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 componenții aliajului și compușii chimici ai acestora sunt[20]:

- 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 insolubității 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.

b₂) Eutectice ce se formează între componentii de bază ai aliajelor și reprezintă constituentul majoritar al acestora[14].

Acestea sunt constituenții de bază din structura aliajelor și se pot prezenta atât ca microstructuri regulate, cât și ca microstructuri neregulate. Caracteristicile lor influențează hotărâtor atât proprietățile fizico-mecanice cât și pe cele tehnologice. Îmbunătățirea proprietăților aliajului se obține prin schimbarea morfologiei eutecticului, a fineții fazelor, precum și a modului de distribuție a acestora. În practica industrială cele mai importante transformări se obțin la modificarea eutecticelor cu microstructură neregulată dintre care se remarcă cele din sistemul Al-Si și Fe-C. În stare brut turnată și la o răcire moderată acestea au structura grosolană caracterizată prin distribuția dezordonată a cristalelor lungi de nemetal sau semimetal în masa de soluție solidă a eutecticului, așa cum se vede în figura 3.11.

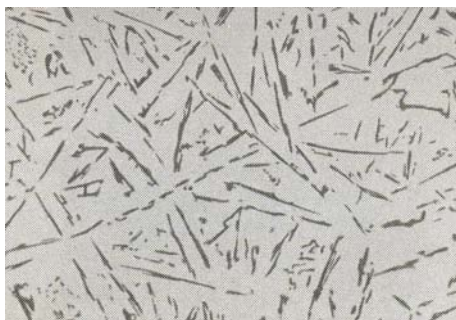


Fig. 3.11. Microstructura unui aliaj eutectic format între un metal și un semimetal x120

Aliajele hipoeutectice pe lângă eutectic conțin dendrite primare de soluție solidă α , așa cum se vede în figura 3.12, iar aliajele hipereutectice pe lângă eutectic conțin cristale primare idiomorfe de semimetal, vizibile în figura 3.13.

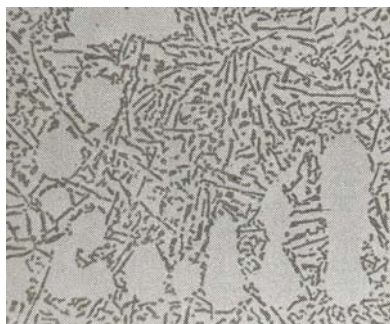


Fig. 3.12. Microstructura aliajului hipoeutectic cu dendrite primare de soluție solidă în masa eutecticului x130[14].

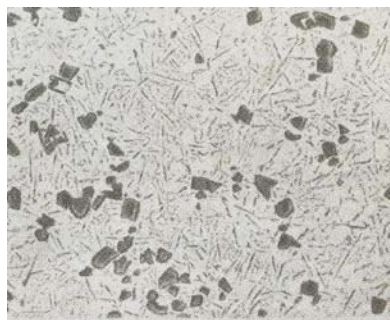


Fig. 3.13. Microstructura aliajului hipereutectic cu cristale primare de semimetal în masa eutecticului x40[14].

De exemplu, eutecticul $\alpha(\text{Al}) - \text{Si}$ cu morfologie neregulată are plachete și ace de siliciu distribuite întâmplător în soluția solidă bogată în aluminiu, ceea ce conferă aliajului proprietăți mecanice scăzute referitor la rezistența la rupere și la tenacitate.

Solubilitatea siliciului în aluminiu este de maximum 1,6%Si la temperatura eutectică de 577°C și scade la 0,005%Si la 20°C. Aliajele deformabile au numai structură $\alpha + \text{Eutectic}$, iar aliajele cu structură $\alpha + \text{Eutectic}$, Eutectic și Eutectic + Si sunt utilizate la turnarea în piese.

3.2.2.3. Modificarea de genul 3 – modificarea cristalelor de nemetale, semimetale sau compuși intermetalici

Nemetalele și semimetalele, precum și compușii intermetalici ce se pot forma la elaborarea aliajelor cristalizează de cele mai multe ori înaintea fazei metalice și uneori pot juca rolul de suport pentru cristalizarea eutectică și peritectică.

Astfel, la fontele hipereutectice grafitul primar fie servește ca suport pentru cristalizarea grafitului eutectic, fie se dezvoltă sub forma unor filamente mari, grosolane, care influențează negativ asupra proprietăților mecanice.

În aliajele Al-Si hipereutectice, cu peste 12% Si, se formează cristale mari de siliciu proeutectic care înrăutățesc proprietățile mecanice și de prelucrabilitate. Siliciul primar, sub formă de blocuri, din siluminurile hipereutectice se poate modifica cu fosfor introdus în proporție de 0,02-0,025% sub formă de prealiaj. Fosforul formează cu aluminiul compusul chimic greu fuzibil AlP, care are temperatura de topire mai mare de 1000°C și care cristalizează asemănător cu siliciul. Particulele submicroscopice de precipitat de fosfură de aluminiu servesc ca suport pentru germinarea eterogenă a siliciului primar. Modificarea siliciului primar se obține și prin tratarea cu: Mg, W, La, Re etc., supraîncălzirea topiturii și răcirea cu viteză mare sau agitarea intensă a suspensiei aliaj lichid- particule de Si.

Compușii intermetalici au compoziții bine definite, corespunzătoare anumitor rapoarte dintre elementele chimice componente și în care regulile valenței chimice nu sunt respectate decât întâmplător, prezintă caracteristici fizice, chimice și mecanice specifice, cristalizează în sisteme variate, deseori foarte complexe și diferite de ale componentilor.

3.3. PROCEDEE DE MODIFICARE A STRUCTURII DE TURNARE

Factorii de influență ai structurii de turnare sunt de natură fizico-chimică, când au loc interacțiuni între faza lichidă sau cea solidă în formare și elementele modificatoare, sau de natură fizică, când forțe externe sistemului creează efecte hidrodinamice perturbatoare.

Din punct de vedere tehnico-economic vor fi preferate acele procedee de modificare care sunt mai ușor de aplicat, nu necesită investiții speciale sau cheltuieli materiale mari și nu au efecte ecologice nefavorabile.

3.3.1. Procedee fizico-chimice de modificare

Cele mai utilizate procedee de modificare a structurii de turnare a metalelor și aliajelor sunt cele care constau în introducerea unor mici adaosuri de elemente sau compuși cu rol modifier. Conform principiilor emise de Rebinder, pe baza mecanismului de acțiune, modificatorii se pot clasifica în trei grupe:

a) Modificatori de grupa I.

Sunt modificatori care formează în topitură o suspensie puternic dispersată, particulele solide ale acestora servind drept germeni de cristalizare. În acest caz particulele greu fuzibile și insolubile din topitură influențează semnificativ viteza de germinare, fără efecte asupra vitezei de creștere a cristalelor. Ca modifier de grupa I poate fi utilizat orice metal greu fuzibil sau element care formează compuși greu fuzibili dacă particulele solide din suspensia coloidală pot juca rolul de suport pentru germinarea eterogenă. 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 modificadorului 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, este bine 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.

b) Modificatori de grupa a II-a

Modificatorii din grupa a II-a finisează structura prin mărirea numărului de germeni de cristalizare, reducerea dimensiunilor cristalelor și modificarea structurii interne a acestora. Acțiunea modificatoare se poate explica pe baza unor teorii dintre care amintim:

- teoria coloidală presupune că la o supraîncălzire redusă, în timpul cristalizării, în topitură există grupări atomice de dimensiuni coloidale, de la 10^{-7} - 10^{-12} m. Modificatorii frânează coalescența particulelor coloidale și

măresc durata de menținere a acestora în stare dispersă ceea ce reduce viteza de creștere a cristalelor. Teoria coloidală nu explică rolul modificatorilor în procesul de formare a germenilor de cristalizare.

- teoria subrăcirii, bazându-se pe datele analizei termice, stipulează că prin modificare se produce scăderea temperaturii de cristalizare a eutecticelor ceea ce creează condiții pentru creșterea bruscă a numărului de centri de cristalizare. Teoria subrăcirii nu poate justifica formarea structurilor supramodificate.

- teoria adsorbției, dezvoltată de Semencenko, Edwards, Rebinder și Archer, consideră că la solidificare are loc o adsorbție selectivă a modificatorilor la suprafața cristalelor în creștere ceea ce limitează sau chiar frânează alimentarea cu atomi din topitură. Frânarea creșterii cristalelor conduce la saturarea lichidului cu atomi de metal greu fuzibil și favorizarea apariției de noi centri de cristalizare.

Modificatorii din grupa a II-a sunt ușor fuzibili și prin adsorbția pe fețele germenilor cristalini determină:

- stabilizarea germenilor de dimensiuni mici;
- micșorarea vitezei de creștere a germenilor și cristalelor ca urmare a blocării difuziei atomilor din lichid spre cristalul în creștere.

Frânarea creșterii cristalelor conduce implicit la mărirea numărului de centri de cristalizare ceea ce are ca rezultat o mai bună dispersare a structurii. Adsorbția modificatorului pe suprafața germenilor cristalini scade energia superficială la interfața dintre aceștia și topitură ceea ce va micșora lucrul mecanic de formare al germenilor cristalini stabili și va mări numărul centrilor de cristalizare.

Adsorbția modificatorului nu este uniformă pe toate fețele cristalelor ceea ce conduce la modificarea formei grăunților cristalini.

Adsorbția modificatorului la suprafața cristalelor este determinată de caracterul și intensitatea interacțiunii electrostatice dintre atomii acestora. Aprecierea interacțiunii se face prin compararea momentului generalizat determinat cu relația 3.6. Pentru ca modificatorul să se adsorbă pe suprafața cristalelor din topitura în curs de solidificare este necesar ca momentul generalizat al ionilor săi să fie mai mic decât cel al ionilor din aliaj.

Mărimile fizico-chimice necesare și momentele generalizate, calculate cu relația 3.6 pentru câteva metale, sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Momentul generalizat al unor ioni metalici

Element	Zn	Sn	Cd	Hg	Mg	Pb	Sr	Ba	Li	Na	K	Rb	Cs
r [Å]	4,34	1,40	1,51	1,51	1,60	1,75	2,15	2,17	1,55	1,86	2,27	2,47	2,65
Z	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
z/r [Å ⁻¹]	1,50	1,43	1,32	1,32	1,25	1,14	0,93	0,92	0,64	0,54	0,44	0,40	0,38
$m \cdot 10^9$	2,40	2,29	2,11	2,11	2,00	1,82	1,49	1,47	1,02	0,86	0,70	0,64	0,61

Capacitatea de adsorbție va fi cu atât mai bună cu cât diferența dintre momentele generalizate ale modificatorului și ale metalului solvent va fi mai mare. Elementele cu momentul generalizat mic, cum sunt: Na, K, Rb, Cs, se adsorb pe suprafața cristalelor și frânează creșterea acestora. Efectul modificator se obține la adaosuri foarte reduse de element cu moment generalizat mic ceea ce înseamnă că hotărâtoare sunt fenomenele superficiale de la suprafața de contact cristal-topitură. Pentru ca acest lucru să fie posibil este necesar ca modificatorii să fie foarte puțin solubili în faza lichidă în curs de cristalizare.

Deoarece la modificare se produce o anumită conjugare a rețelelor cristaline a două metale diferite înseamnă că izomorfismul structural are un rol deosebit în desfășurarea fenomenelor de adsorbție.

c) Modificatori de grupa a III-a

Sunt modificatorii care interacționează chimic cu topitura în curs de solidificare ceea ce conduce la schimbarea formei cristalelor unor componenți structurali fragili. Prin fragmentarea și coagularea cristalelor

aciculare sau lamelare se reduce fragilitatea și crește semnificativ plasticitatea.

Astfel apariția eutecticului ușor fuzibil Cu-Pb poate fi evitată prin adaosuri de cesiu, zirconiu sau calciu care formează compuși greu fuzibili cu plumbul. La tratarea cu litiu, calciu, cesiu, zirconiu, magneziu se formează compuși greu fuzibili cu bismutul ceea ce previne apariția eutecticului ușor fuzibil Ca-Bi la limita grăunților.

3.3.2. Procedee fizice de modificare

Procedeele dinamice de modificare se bazează pe fragmentarea dendritelor, ca urmare a acțiunii unor forțe induse din exterior și transformarea fragmentelor solide în noi germeni de cristalizare. Principalele procedee de modificare dinamică a structurii de turnare sunt: vibrarea sau tratarea cu ultrasunete a topiturii în curs de solidificare și agitarea electromagnetică cu retopirea dendritelor la solidificare.

3.3.2.1 Tratarea cu vibrații și ultrasunete a topiturilor metalice în curs de solidificare

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[6;7;47]. 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 .

$$u = \omega a \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3.7)$$

Energia cinetică W_c a tuturor particulelor aflate în volumul unitar este:

$$W_c = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 \cdot a^2 \cdot \cos^2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3.8)$$

Energia cinetică a particulelor din volumul V , de masă m și densitate $\rho = m/v$, va fi:

$$W_c = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \cdot a^2 \cdot \cos^2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3.9)$$

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:

$$W_c = \frac{1}{4} \rho \omega^2 \cdot a^2 \quad (3.10)$$

Energia potențială medie este egală cu energia cinetică medie și deci energia medie din volumul unitar este:

$$W_t = W_c + W_p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \cdot a^2 \quad (3.11)$$

Dar $\omega = 2\pi\sigma$ și atunci:

$$W_t = \rho \pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot a^2 \quad (3.12)$$

Rezultă că pentru mărirea energiei germenilor de cristalizare se acționează 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:

$$P = \omega \left[\cos^2 \left(\theta + \frac{\rho}{v} \frac{du}{dp} \right) \right] \quad (3.13)$$

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 vibrație 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 [1].

Experiența folosirii practice a vibrațiilor la turnare demonstrează că aplicarea acestei metode poate elimina sau reduce considerabil ponderea defectelor de turnare, precum: porozitatea datorată gazelor, neomogenitatea chimică, neomogenitatea structurală, crăpăturile la cald etc.

3.3.2.2. Agitarea electromagnetică a topiturilor metalice în curs de solidificare.

Inducția electromagnetică a fost descoperită în anul 1831 de către savantul englez Faraday și a avut ca prime aplicații industriale încălzirea și topirea metalelor.

Începând cu anul 1934, când a fost realizat primul cuptor cu frecvență dublă destinat topirii și agitării, s-a trecut la prelucrarea electromagnetică a topiturilor metalice. Se poate totuși afirma că această tehnică este recentă, practic rezultate deosebite înregistrându-se în ultimii 15 ani când s-au făcut descoperiri fundamentale în domeniul fenomenelor cuplate ce cuprind electromagnetismul, mecanica fluidelor și metalurgia[7].

Astăzi, grupuri puternice de specialiști din diferite domenii de la universitățile din: Cambridge (Anglia), Hanovra și Aachen (Germania), Avignon și Grenoble (Franța), Trondheim (Norvegia) cercetează aceste fenomene, iar unele societăți, precum: ASEA (Suedia), ROTELEC, CEZUS și IRSID (Franța), Duriran Company Inc. (SUA), BBC, ASEA Browen Boweri, ICEM au realizat instalații și au implementat tehnologii bazate pe inducția electromagnetică.

Domeniile principale în care inducția electromagnetică și-a găsit aplicații largi sunt[33]:

- topirea inductivă și elaborarea în cuptoare cu creuzet sau cu canal;
- topirea inductivă în creuzet rece garnisat cu zgură (inductoslag);

- agitarea electromagnetică a topiturilor metalice în scopul rafinării și modificării structurii;

- transportul electromagnetic al metalelor lichide;

- controlul electromagnetic al debitelor de aliaj lichid;

- fabricarea monocristalelor cu câmpuri magnetice constante;

- topirea prin inducție cu agitare electromagnetică a oxizilor și materialelor ceramice refractare;

- modelarea electromagnetică a metalului lichid;

- topirea prin levitație însoțită de formarea electromagnetică;

- stabilizarea sau generarea instabilității controlate a suprafeței libere a metalului lichid.

Câmpul electromagnetic reprezintă cea mai curată modalitate de încălzire și tratare a aliajelor deoarece asigură fără nici un fel de contact energia termică și mecanică necesare. Acest avantaj ce rămâne unic comparativ cu alte moduri de prelucrare va avea o importanță decisivă în descoperirea noilor materiale și a căilor de prelucrare a acestora.

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 progresiv 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:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \text{grad} \vec{v}) = \rho v \Delta \vec{v} - \text{grad} P + \vec{f} \quad (3.14)$$

în care: \vec{v} este 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:

$$\rho v \frac{d^2 v}{dz^2} - \frac{\partial P}{\partial x} + f_x = 0 \quad (3.15)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + f_z = 0 \quad (3.16)$$

Din analiza ecuației 3.16 rezultă:

$$P = f_z(z) dz + P_1(x) \quad (3.17)$$

Înlocuirea expresiei (3.17) în ecuația (3.15) 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 (3.15) devine:

$$\rho v \frac{d^2 v}{dz^2} = P_0 - f_x \quad (3.18)$$

unde $P_0 = \frac{\partial P}{\partial x}$ este gradientul longitudinal al presiunii statice în fluid.

Pentru un model simplu de antrenare electromagnetică semispațială ca cel prezentat în figura 3.14, la antrenarea în plan orizontal $P_0 = 0$, condițiile la limită pentru $v(x)$ sunt:

$$v_{(0)}=0 \text{ și } \left. \frac{dv}{dz} \right|_{z \rightarrow \infty} = 0 \quad (3.19)$$

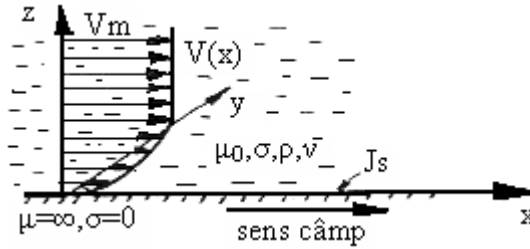


Fig. 3.14. Reprezentarea antrenării electromagnetice în semispațiu

Dacă forța:

$$f_x = \frac{1}{2} \alpha \mu J_{sm}^2 \frac{\varepsilon \frac{2z}{\delta p}}{\sqrt{1 + \sigma^2}} \quad (3.20)$$

o exprimăm sub forma:

$$f_x = f_{xm} \cdot e^{-\frac{2z}{\delta p}} \quad (3.21)$$

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,

după înlocuirea în ecuația (3.18) integrând în condițiile limită (3.19) rezultă :

$$v_{(z)} = \frac{f_{xm} \delta_p^2}{4\rho\sigma} \left(1 - e^{-\frac{2z}{\delta p}} \right) \quad (3.22)$$

Valoarea maximă a vitezei de antrenare a semispațiului este:

$$v_m \equiv \lim_{z \rightarrow \infty} v_{(z)} = \frac{f_{xm} \delta_p^2}{4\rho\sigma} \quad (3.23)$$

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 3.15 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 (3.18) și ale necunoscutei P_0 sunt:

$$v_{(0)}=0, v_{(b)}=0 \text{ și } \int_0^b v_{(z)} dz = 0 \quad (3.24)$$

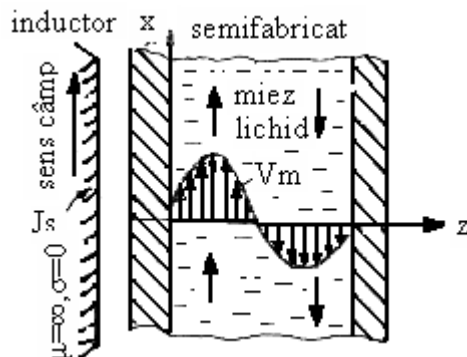


Fig. 3.18. Modelul antrenării electromagnetice a unui semifabricat de tip lingou în câmpul progresiv al unui inductor liniar

Metalul lichid este antrenat în sensul câmpului în zona din vecinătatea inductorului și curge în contracurent în partea opusă. Soluția ecuației (3.18) în condițiile limită (3.24) 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. 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 electromagnetică, 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 germeilor 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 [7]. 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 [7]. Omogenizarea termică și chimică și intensificarea proceselor de transfer de masă reduc durata tratamentului, pierderile 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 bucașilor 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 retasură 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.

CAP.IV. CUPRUL ȘI ALIAJELE CUPRULUI

Cuprul, unul dintre cele mai importante metale utilizate în tehnică, are o largă utilizare atât în stare pură cât și sub formă de aliaj. Valoarea lui a crescut mai ales prin proprietățile fizico-chimice speciale pe care le au diferitele combinații ale lui cu alte metale, însă și prin faptul că este de neînlocuit în unele aplicații practice.

4.1. CUPRUL

Cuprul este un metal de culoare roșie caracteristică cu o înaltă conductibilitate termică și electrică și o bună rezistență la coroziune, care se poate prelucra ușor atât la cald cât și la rece. El face parte din grupa I-a secundară a sistemului periodic al elementelor, cristalizează în CFC, are numărul de ordine 29, raza atomică 1,28 Å și greutatea atomică de 63,542. Cuprul are 10 izotopi, din care 2 stabili (Cu_{63} și Cu_{65}) și ceilalți 8 instabili și cu o perioadă de înjumătățire cuprinsă între 3 și 60 ore.

Principalele proprietăți fizice și tehnologice ale cuprului [12;20;29]:

- greutatea specifică: 8,96 daN/dm³ la 20 °C;
8,32 daN/dm³ la 1083 °C în stare solidă;
7,93 daN/dm³ la 1084 °C în stare lichidă.
- contracția volumică la solidificare: 4,92 %;
- contracția liniară: 2,1 %;
- temperatura de topire: 1083°C;
- temperatura de fierbere: 2595°C;
- căldura latentă de topire: 50,46 kcal/Kg;
- căldura specifică – diferă în funcție de temperatură conform relației:

$$C_p = 0,09 + \alpha \cdot (T - 1)^{1,165} \quad (4.1)$$

unde: $\alpha = 10,1 \cdot 10^{-6}$ pentru căldura specifică reală;

$\alpha = 4,7 \cdot 10^{-6}$ pentru căldura specifică medie;

T = temperatura în °C;

$C_p = 91,9 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 20°C;

$C_p = 95,2 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 100°C;

$C_p = 118 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 800°C;

$C_p = 127,2 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 1083°C.

- conductibilitatea termică – $\lambda = 0,923 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$;

- rezistivitatea electrică – $\rho = 1,673 \mu\Omega\cdot\text{cm}$;

- maleabil și ductil;

- rezistența la rupere la tracțiune 15 – 20 daN/mm² – turnat;

- alungirea 16 – 18 % – turnat(35 - 50% - recopt);

- reziliența 53 N·m/cm² – turnat;

- duritatea Brinell 37 – 42 daN/mm².

Din punct de vedere chimic, cuprul este un metal puțin activ, deși se combină cu oxigenul, sulfurul și halogenii. Rezistă bine la acțiunea corozivă a atmosferei uscate, iar la umezeală și în apa de mare se acoperă cu o peliculă de $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ care îl protejează. Rezistența la coroziune scade brusc în prezența amoniacului, a clorurii de amoniu, a sărurilor alcaline, a acizilor minerali, a cianurilor și a gazelor sulfuroase.

Elementele de aliere și impuritățile pot influența semnificativ caracteristicile fizice, mecanice și tehnologice ale cuprului. În funcție de modul cum interacționează asupra cuprului elementele însoțitoare pot fi clasificate în trei grupe:

a) elemente care se dizolvă în cupru (Al, Fe, Ni, Sn, Zn, Mn, Mg, Ti, Sb etc.) și formează soluții solide cu efect favorabil asupra caracteristicilor mecanice însă negativ asupra conductibilității termice și electrice;

b) elemente insolubile în cupru (Pb și Bi), care formează eutectice ușor fuzibile ce se separă la limita grăunților, înrăutățind caracteristicile mecanice, fizice și tehnologice;

c) elemente care formează cu cuprul compuși chimici (O_2 , S_2 , N_2 , P, H_2 etc.), care pot avea atât influențe pozitive cât și influențe negative asupra proprietăților, și a căror cunoaștere are importanță deosebită în procesul de elaborare a aliajelor de cupru;

Topirea cuprului prezintă o serie de dificultăți legate în primul rând de activitatea chimică mai mare la temperaturi ridicate și de tendința de adsorbție a impurităților. Se deosebesc trei metode principale de elaborare utilizate în metalurgia cuprului:

- topirea și turnarea într-un mediu reducător format cu exces de CO și azot (fără hidrogen), care permite să se obțină cupru fără oxigen;

- topirea sub strat de mangal (cărbune de lemn) și turnarea în mediu normal, care conduce la obținerea unui cupru oxidat cu până la 0,15% O_2 ;

- topirea sub strat de mangal și dezoxidarea ulterioară care conduce la obținerea unui cupru dezoxidat cu 0,02 – 0,08% O_2 .

În procesul de topire al cuprului un alt mare dezavantaj îl constituie faptul că zgura care se formează este solubilă în topitură și nu se concentrează într-un strat izolator la suprafața acestuia. Aceasta conduce la o tendință specifică a cuprului de a forma microretasuri, incluziuni de zgură sau de altă natură, precum și de a avea pierderi considerabile prin oxidare.

Topirea cuprului trebuie să se producă într-un timp cât mai scurt în mediu neutru sau ușor oxidant. Se admit atmosferele reducătoare doar până la topire în cazul cuprului și a aliajelor: Cu-Sn, Cu-Pb, Cu-Ni, dar sunt total contraindicate la elaborarea aliajelor: Cu-Be, Cu-Al, Cu-Si.

Se vor topi întâi bucățile mari și apoi în baia formată, sub un strat de fondant protector, se vor scufunda bucățile mai mici. Încă de la începutul

topirii trebuie să se lucreze cu fondant protector (vezi tabelele 2.5 și 2.6) dintre care cele mai utilizate sunt mangalul, amestecul de 50% sticlă pisată și 50% sodă calcinată sau amestecurile de sodă calcinată, florină și eventual nisip cuarțos. Cantitatea de fondant se va introduce progresiv astfel încât suprafața băii să se acopere cu un strat de 10 – 15 mm, continuu.

Temperatura topiturii de cupru trebuie să se găsească în intervalul 1150 – 1200 °C. La supraîncălzire peste 1200 °C se produc atât pierderi prin ardere cât și o accelerare a absorbției de gaze.

Topirea și elaborarea cuprului și a aliajelor sale se poate face în: cuptoare cu flacără cu creuzet, cuptoare cu vatră și încălzirea prin reverberație, cuptoare încălzite prin inducție electromagnetică cu creuzet sau cu canal, cuptoare cu arc electric etc. Cele mai flexibile în exploatare și cu posibilități de îmbunătățire a calității aliajelor elaborate, a condițiilor de lucru și a randamentelor, sunt cuptoarele electrice cu inducție.

Degazarea cuprului lichid se face cu azot sau bioxid de carbon din butelie, în proporție de 2-4 volume de metal rafinat și mai rar calcar măcinat.

Pentru rafinarea chimică se utilizează clorul și oxigenul sub formă liberă, sau amestecuri de substanțe care le conțin (vezi tabelele 2.5 și 2.6).

Dezoxidantul cel mai folosit este fosforul sub formă de cupru-fosforos (vezi tab. 2.8). Se utilizează în mod obișnuit 0,1 – 0,2% adaos de cupru-fosforos, și în funcție de rezultatul probei de dezoxidare (vezi 2.6.3), operația poate să se repete. Pot fi utilizați și alți dezoxidanți, precum cei prezentați în tabelele 2.4 și 2.5, cum sunt cei pe bază calciu, zinc, litiu.

Cuprul are proprietăți slabe de turnare datorită temperaturii ridicate de topire, a tendinței de oxidare și de absorbție a gazelor, a fluidității scăzute etc., fapt ce limitează acest procedeu. Temperatura de turnare trebuie să fie de 1150 – 1230°C, iar turnarea trebuie să se facă în mediu de CO₂.

4.2. ALIAJELE CUPRULUI

În tehnică și mai ales în industria de piese turnate o largă utilizare o au aliajele cuprului. Acestea se pot forma cu o gamă foarte largă de elemente chimice și pot avea proprietăți foarte diferite, dar și deosebit de atractive pentru domenii normale sau de vârf ale tehnicii.

4.2.1. Clasificarea aliajelor cuprului

Deși sunt foarte diversificate, la caracterizarea aliajelor cuprului pot fi luate în considerare două criterii mai importante de clasificare[16;20]:

- natura elementului de aliere principal;
- proprietățile și domeniul de utilizare al aliajelor.

În baza primului criteriu, aliajele cuprului se pot grupa în aliaje din sistemul Cu-Zn (alame) și aliaje din sistemul Cu-Me (bronzuri), în care Me poate fi: staniu, aluminiu, mangan, beriliu, siliciu, plumb, nichel etc.

Aliajele Cu-Zn (alamele) care conțin 5-42% Zn sunt destinate turnării în piese, dar și prelucrării prin deformare plastică la cald sau la rece. Alamele care conțin între 5-20% Zn sunt cunoscute sub denumirea de tombac.

În funcție de compoziție și structură, aliajele Cu-Zn se împart în:

- alame α – care au max. 32% Zn și sunt monofazice;
- alame $\alpha + \beta$ – care au 32 – 38% Zn și sunt bifazice;
- alame β – care au peste 38% Zn și sunt monofazice.

Alamele care în afară de Cu și Zn, conțin și alte elemente de aliere se numesc alame speciale și pentru a preciza natura lor se utilizează și denumirea celui de-al treilea element de aliere predominant: alame cu siliciu, alame cu mangan, alame cu staniu, alame cu plumb etc.

Aliajele Cu-Me sunt cunoscute sub denumirea generică de *bronzuri*, ele purtând denumirea elementului de aliere predominant. Deoarece aliajele Cu-Sn au fost cele mai răspândite în perioada de început, există tendința de a

denumi „bronzuri” numai aceste aliaje, ceea ce este incorect. În funcție de elementul principal de aliere aceste aliaje se pot grupa în două mari categorii:

- bronzuri cu staniu, pe baza sistemului Cu-Sn
- bronzuri speciale, care după elementul principal de aliere pot fi:

bronzuri cu aluminiu, bronzuri cu siliciu, bronzuri cu mangan, bronzuri cu plumb, bronzuri cu beriliu, bronzuri cu nichel etc.

Aliajele de cupru pot fi clasificate și după alte criterii care vizează proprietățile lor tehnologice: antifricțiune, cu conductibilitate electrică și termică ridicată, refractare, anticorozive, criogene, superconductoare, magnetice, anticânteii, rezistive, cu proprietăți mecanice deosebite etc.

În afara aliajelor cu bază de cupru industriale se mai întâlnesc aliajele metalurgice pe bază de cupru, cunoscute sub denumirea de prealiaje, folosite pentru producția altor aliaje sau ca adaosuri tehnologice (dezoxidanți, rafinatori, modificatori) care au fost prezentate în tabelele 2.7 și 2.8.

4.2.2. Bronzurile cu staniu

Bronzurile cu staniu sunt aliajele cuprului în care componentul principal de aliere este staniul. Pe lângă staniu, aceste bronzuri mai conțin uneori și alte elemente de aliere cum ar fi: zincul, plumbul și nichelul.

Bronzurile cu staniu pot fi așadar bronzuri binare (simple) care au ca element de aliere numai staniul, și bronzuri complexe care pe lângă cupru și staniu mai conțin și zinc, plumb sau nichel în cantități importante.

4.2.2.1. Structura bronzurilor cu staniu

Aliajele Cu-Sn fac parte din grupa aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă și solubilitate parțială în stare solidă.

Structura lor poate fi apreciată prin luare în considerare a diagramei de echilibru termic binare Cu-Sn.

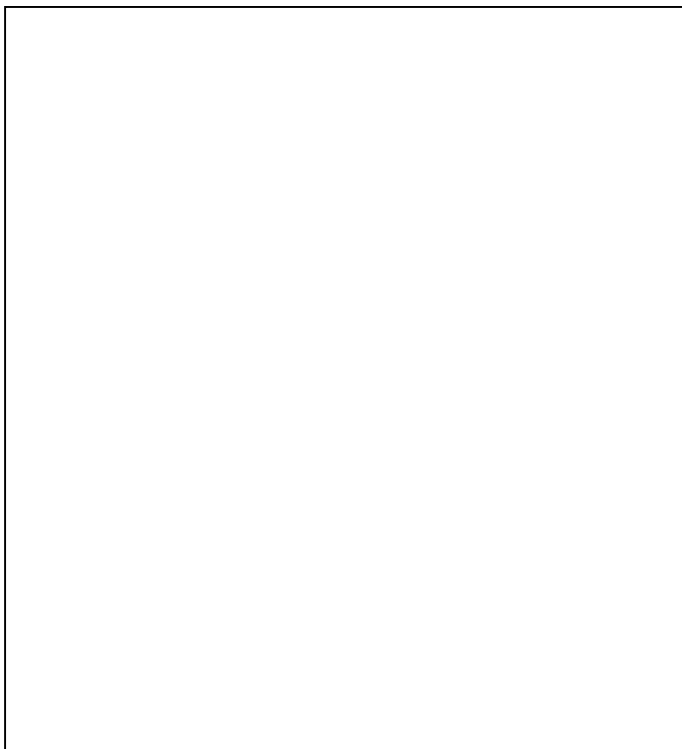


Fig. 4.1. Diagrama de echilibru termic Cu-Sn [16].

Diagrama de echilibru a sistemului Cu-Sn prezentată în fig.4.1, are o construcție complexă și se caracterizează prin transformări eutectice, peritectice și eutectoide, în procesul cărora se formează o multitudine de faze: α , β , γ , δ , ϵ , ρ și θ , ce reprezintă soluții solide sau amestecuri mecanice.

Deoarece aliajele Cu-Sn cele mai utilizate au un conținut de staniu de până la 15%, prezintă interes fazele α și δ , care se regăsesc în structura aliajelor la temperatura ambiantă.

În condiții de răcire lentă (de echilibru), aliajele cu până la 14% Sn au o structură compusă din grăunți de soluție solidă α , iar la conținuturi mai mari de staniu, din grăunți de soluție α și grăunți de eutectoid ($\alpha + \delta$).

În condițiile unor viteze de răcire mai mari (turnarea în forme metalice) va crește proporția de eutectoid ($\alpha + \delta$).

Practic, în condiții obișnuite de turnare, soluția solidă α apare singură numai până la conținuturi de staniu de maxim 5-6%. Peste această valoare crește proporția de eutectoid ($\alpha + \delta$), creștere care este accentuată pe de altă parte de viteza de răcire. Faza α este un constituent moale și reprezintă masa de bază, iar faza δ reprezintă un constituent dur și fragil ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) răspândit neuniform în masa metalică de bază.

Bronzurile cu staniu sunt caracterizate printr-o temperatură relativ înaltă de topire, prin tendința de absorbție a gazelor, printr-un interval mare de solidificare ceea ce le face sensibile la formarea microretasurilor. Elaborarea lor însă nu se face cu pierderi mari prin oxidare, și nu rețin incluziunile de oxizi sau de zgură.

Adaosuri ale diferitelor elemente chimice în bronzurile cu staniu au rolul de a îmbunătăți proprietățile mecanice și tehnologice ale acestora.

Zincul micșorează intervalul de solidificare, mărește fluiditatea aliajului, reduce tendința de saturare cu gaze și împiedică formarea macro și microsulfurilor, însă micșorează proprietățile antifricțiune.

Plumbul, care nu este miscibil cu cuprul, se găsește în aliaj sub forma unui constituent moale, îmbunătățind fluiditatea, prelucrabilitatea prin așchiere și proprietățile antifricțiune.

Nichelul, în concentrații de până la 2% îmbunătățește caracteristicile mecanice, mai ales duritatea, prin formarea de soluții solide cu cuprul și compuși chimici cu staniu, favorizând de asemenea o structură cu grăunți fini. Peste 4% Ni, duritatea crește foarte mult, uneori făcând imposibilă prelucrarea mecanică.

Fosforul, utilizat în general pentru dezoxidare, dă naștere la incluziuni dure și fragile, care influențează favorabil rezistența la uzură și rezistența mecanică. De asemenea fosforul reduce tendința de absorbție a gazelor și mărește fluiditatea aliajului.

4.2.2.2. *Proprietățile bronzurilor cu staniu*

Cunoașterea proprietăților fizice și tehnologice ale bronzurilor cu staniu este foarte importantă atât din punct de vedere a prelucrării metalurgice cât și din punct de vedere a utilizării lor.

Din punct de vedere chimic, bronzurile cu staniu au o bună rezistență la acțiunea apei sărate, a soluțiilor neutre de săruri, a acizilor sulfurici și fosforici, a atmosferelor cu H_2S , SO_2 , CO_2 , H_2O , dar sunt atacate de acizii azotic și clorhidric, precum și de soluțiile tari de baze.

Proprietățile mecanice variază în funcție de conținutul de staniu:

- în domeniul 0-6% Sn, aliajele monofazice sunt constituite din soluția solidă α , plastică și sunt caracterizate de o rezistență mecanică bună combinată cu valori ridicate ale alungirii, însă duritatea este scăzută;

- în intervalul 6-10% Sn, apare eutecticul ($\alpha + \delta$) dur și fragil, ceea ce conduce la creșterea rezistenței mecanice și a durității, în schimb alungirea rămâne aproximativ constantă sau în ușoară scădere;

- în intervalul 10-15% Sn, pe lângă soluția solidă se va ~~și~~ ~~are~~ o cantitate importantă de eutectoid ($\alpha + \delta$), care va determina o ~~scădere~~ scădere a rezistenței mecanice și a durității, dar și o scădere pronunțată a alungirii.

Proprietățile de turnare se caracterizează printr-o fluiditate scăzută și o tendință de creștere a porozității pieselor, ca urmare a unui interval de solidificare mare. Aceste proprietăți pot fi îmbunătățite prin adaosuri de zinc, fosfor sau plumb.

În bronzurile cu staniu cele mai dăunătoare impurități sunt: oxigenul, fierul, siliciul, aluminiul, stibiul, arseniul și bismutul. Aluminiul este o impuritate foarte dăunătoare a bronzurilor cu staniu, deoarece favorizează apariția porozității, a incluziunilor nemetalice și a unei structuri cu grăunți mari care defavorizează caracteristicile mecanice. Oxigenul determină apariția oxidului de staniu SnO_2 , ce se separă sub forma unor incluziuni

cenușii, colțuroase, dure și fragile care pot deteriora cuzineții și lagărele[20]. Celelalte impurități, menținute în limitele admise prin standarde, nu influențează semnificativ structura și proprietățile bronzurilor cu staniu de turnătorie, ci doar a celor prelucrate prin deformare plastică.

Bronzurile cu staniu prezintă o serie de proprietăți tehnologice cum ar fi: antifricțiune ridicată, rezistență la oboseală mare, prelucrabilitate prin așchiere bună, durificare prin ecruisare, sudabilitate satisfăcătoare și ceea ce este cel mai important o foarte bună rezistență la uzură în condiții de frecare cu ungere. Această proprietate este determinată de structura eterogenă specifică a bronzurilor cu staniu: soluția solidă reprezintă constituintul moale care se uzează în timpul exploatării și crează canale de lubrifiere, în timp ce faza δ reprezintă constituintul dur care preia solicitările mecanice. Datorită proprietăților bune de antifricțiune, bronzurile cu staniu se utilizează la turnarea pieselor solicitate la uzură chiar și în condiții dificile de ungere: lagăre, roți melcate, bușe de ghidare, piulițe etc.

Aceste bronzuri au însă și unele inconveniente de care trebuie să se țină seama la alegerea lor pentru aplicații tehnice[39]:

- au intervalul de solidificare mare ceea ce le face sensibile la formarea microretasurilor, a segregățiilor și a tendinței de fisurare la cald;
- au fluiditate mică în intervalul lichidus - solidus;
- au fragilitate ridicată la conținuturi de staniu mai mari de 14 – 16%, iar la peste 18%Sn alungirea devine nulă;
- au tendință ridicată de absorbție a hidrogenului și de formare a porozităților;
- au temperaturi de topire și turnare relativ înalte.

Culoarea bronzurilor cu staniu este în funcție de nivelul de aliere:

- galben-roșiatic pentru conținuturi mai mici de 6-8% Sn;
- galben pentru conținuturi de 8-12% Sn;

- galben-cenușiu pentru conținuturi de 12-15% Sn;
- cenușiu pentru conținuturi mai mari de 15% Sn.

Caracteristicile fizice ale principalelor mărci de bronzuri cu staniu sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Caracteristici fizice ale unor bronzuri cu staniu[42]

Aliajul	Densitatea [g/cm ³]	Contrația liniară [%]	Conductivitate termică [W/cm ² ·K]	Capacitatea calorică [J/g·°K]	Rezistivitatea [μΩ/cm]
CuSn12	8,75	1,6	-	-	15,5
CuSn10	8,78	1,44	0,4814	0,3682	16
CuSn10Zn2	8,70	1,70	0,4939	0,3724	13
CuSn6Zn4Pb4	8,93	1,70	0,9231	0,3720	13
CuSn5Zn5Pb5	8,80	1,35	0,7708	0,3720	12
CuSn4Zn4Pb17	9,20	1,50	0,608	-	-
CuSn3Zn11Pb4	8,70	1,50	-	-	17

4.2.2.3. Mărci de bronzuri cu staniu

În România, bronzurile cu staniu sunt reglementate prin SREN 1982 - 1999, și sunt clasificate în mărci, care de regulă sunt indicate în documentația de execuție prin simboluri.

Compoziția chimică a acestor mărci de bronzuri este dată în tabelul 4.2., iar caracteristicile mecanice în tabelul 4.3.

Tabelul 4.2. Compoziția chimică a principalelor mărci de bronzuri cu staniu[42]

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]					Impurități
	Sn	Zn	Pb	Ni	Cu	
1	2	3	4	5	6	7
CuSn14	12,8-15	-	-	-	Rest	Max 1,5
CuSn12	10,8-13	-	-	-	Rest	Max 1,5
CuSn12Ni	10,8-13	-	-	1,5-2,0	Rest	Max 1,5
CuSn10	8,8-11	-	-	-	Rest	Max 1,5
CuSn10Zn2	8,8-11	0,8-3,0	-	-	Rest	Max 1,2
CuSn9Zn5	7,8-10	2,8-7,0	-	-	Rest	Max 1,5
CuSn6Zn4Pb4	4,8-7,0	2,3-5,5	2,5-5,5	-	Rest	Max 1,5
CuSn5Zn5Pb5	3,8-6,0	3,8-6,5	3,5-6,5	-	Rest	Max 1,5
CuSn4Zn4Pb17	3,3-5,5	2,3-6,0	13,5-20,5	-	Rest	Max 1,5
CuSn3Zn11Pb4	1,8-4,0	10,8-13	2,5-6,5	-	Rest	Max 1,5

Impuritățile reprezintă suma concentrației altor elemente chimice neindicate.

Tabelul 4.3. Caracteristici mecanice ale principalelor mărci de bronzuri cu staniu[42]

Marca aliajului	Mod de turnare	Rezistența la rupere la tracțiune R_m [N/mm ²]min.	Alungirea la rupere A_5 [%]min.	Duritatea Brinell HB10/1000min
CuSn14	N	220	2	75
	C	230	1	80
CuSn12	N	220	7	80
	C	250	5	90
CuSn12Ni	N	260	10	90
	C	280	8	95
CuSn10	N	220	10	65
	C	230	6	75
CuSn10Zn2	N	220	10	65
	C	260	7	75
CuSn9Zn5	N	220	10	65
	C	240	5	75
CuSn6Zn4Pb4	N	180	6	70
	C	200	6	70
CuSn5Zn5Pb5	N	180	12	60
	C	200	10	65
CuSn4Zb4Pb17	N	170	6	55
	C	200	4	60
CuSn3Zn11Pb4	N	200	10	55
	C	220	7	60

Observații: - caracteristicile din tabel sunt pentru piesele netratate termic;
- semnificația literelor este: N – turnat în amestec de formare;
C – turnat în forme metalice sau centrifugal.

Domeniile de utilizare ale aliajelor cupru-staniu sunt variate, alegerea lor trebuind să se facă după proprietățile specifice și după caracteristicile mecanice ale fiecărei mărci. În acest sens pot fi date următoarele orientări:

- CuSn14 – pentru organe de mașini supuse la uzură, dar care să lucreze fără șocuri: lagăre, cuzineți, piese pentru echipament hidraulic etc.

- CuSn12 – roți melcate, roți dințate elicoidale, piulițe, cuplaje, piese de articulație etc.

- CuSn12Ni – cu aceeași destinație ca și CuSn12 însă acolo unde solicitările sunt mai mari și de asemenea unde este nevoie de rezistență la uzură în condiții de coroziune și cavitație;

- CuSn10 până la CuSn5Zn5Pb – pentru cuzineți de alunecare, cuplaje, cu solicitări mici, bușe, inele și șaibe de fricțiune, roți melcate și sectoare dințate, piulițe etc.;

- CuSn4Zn4Pb17 – pentru piese care lucrează la frecare și lagăre solicitate la sarcini mai mici;

- CuSn3Zn11Pb4 – pentru armături și piese mai puțin importante în exploatare.

Deoarece atât cuprul cât mai ales staniul sunt metale deficitare și scumpe, utilizarea lor trebuie să se facă cu mult discernământ, adică numai acolo unde sunt de neînlocuit sau utilizarea altor materiale ar fi riscantă.

4.2.2.4. Elaborarea și turnarea bronzurilor cu staniu

Așa cum s-a arătat mai sus, elaborarea unei mărci de bronz cu staniu poate să se facă fie pornindu-se de la elementele metalice pure, fie pornindu-se de la diverse sorturi de bronz cu staniu, constituite din lingouri de marcă cunoscută sau deșeuri metalice de asemenea cunoscute[39;42].

Pentru elaborarea bronzurilor cu staniu se pot utiliza următoarele materialele metalice:

- Staniu tehnic, SREN 610 - 2000;

- Cupru catozi (diverse mărci);

- Deșeuri de cupru electrotehnic provenit din demontări, cum ar fi: bare, sârmă de bobinaj balotată, piese din cupru;

- Lingouri de aliaje Cu-Sn, SREN 1982 - 1999 (diverse mărci);

- Deșeuri de bronz Cu-Sn, provenite de la demontări a căror compoziție chimică este cunoscută: bușe, ghidaje, roți melcate, lagăre etc.

- Șpan de bronz Cu-Sn din prelucrarea mecanică, cu compoziție chimică cunoscută;

- Deșeuri proprii din turnătorie: rebuturi, maselote, rețele de turnare;

- Prealiaje ale cuprului conform tabelelor 2.7 și 2.8.

Materialele nemetalice sunt reprezentate de fonanții specifici elaborării acestor aliaje, prezentați în tabelele 2.5 și 2.6.

A. Elaborarea bronzurilor cu staniu din elemente presupune următoarele operații:

a) Curățirea cuptorului de elaborare;

b) Încălzirea cuptorului de elaborare până ce căptușeala refractară a acestuia a atins temperatura de 800-900°C indicată de culoarea roșu luminos. În acest moment se va mai efectua o curățire a cuptorului, îndepărtându-se urmele de zgură de la elaborarea precedentă. La cuptoarele electrice cu inducție această operație nu este necesară;

c) Pe fundul vatrei cuptorului, sau a creuzetului, se va încălca o cantitate de mangal bine uscat sau un alt fondant de protecție cum ar fi: amestec de 50% sodă calcinată + 50% florină, amestec de 50% sodă + 50% borax sau un alt fondant de acoperire prezentat în tabelele 2.5 și 2.6;

d) Se introduc în cuptor bucățile de cupru catozi sau cupru deșeu. Întâi se vor introduce bucățile cele mai mari iar așezarea lor trebuie să se facă astfel încât să se evite un contact direct cu flacăra. Dacă în încărcătură sunt și materiale prea subțiri (sărme, table etc.) sau șpan acestea se vor introduce după topirea completă a primelor bucăți;

e) Se continuă topirea cu reglajul optim al arzătorului, sau al curentului, astfel încât să se asigure maximul de căldură, iar atmosfera să fie neutră sau ușor oxidantă. Pentru a preveni oxidarea și gazarea băii se va limita contactul cu atmosfera și se va scurta durata de topire;

f) Se va controla topirea astfel încât suprafața metalului lichid să fie acoperită complet de fluxul de protecție. Dacă se consideră necesar se vor afunda bucățile de la suprafață în topitură, însă pe cât posibil nu trebuie să se agite baia metalică formată;

g) Se va completa încărcătura cu bucățile mai mici, neintroduse inițial. Acestea trebuie să fie preîncălzite. Introducerea se face prin afundare cu cuptorul oprit;

h) Se continuă topirea până ce temperatura băii metalice a atins temperatura de 1120-1150 °C, urmărindu-se completarea stratului de flux de protecție;

i) Se oprește cuptorul și cu o lingură uscată se toarnă proba de dezoxidare;

j) În funcție de aprecierea probei de dezoxidare se va hotărî mersul în continuare al elaborării:

- dacă se apreciază că metalul este puțin oxidat și fără gaze se efectuează o primă dezoxidare cu prealiaj Cu-P, care se va introduce în baie în proporție de 0,25-0,35% din încărcătură (cca. 60% din cantitatea totală de Cu-P), cu o sculă specială;

- dacă se apreciază că metalul este foarte oxidat și cu gaze se va proceda la îndepărtarea zgurii existente și la formarea imediat a altelei prin adăugare de fluxuri pentru rafinare, degazare și protecție (tabelul 2.5 și 2.6). Se menține metalul lichid la temperatura de 1150-1200 °C și după 10-15 min se repetă proba de dezoxidare, efectuându-se dezoxidarea cu Cu-P

k) Se lasă baia să se liniștească și se introduce cantitatea de staniu tehnic, debitată în bucăți de 2-4 Kg, preîncălzite la 150-200 °C. Se introduc și celelalte elemente de aliere;

l) Se omogenizează baia cu o bară metalică protejată cu material refractar, astfel ca zgura să nu se „rupă” sau să fie antrenată în topitură;

m) După omogenizare se supraîncălzește topitura la temperatura de 1190-1200 °C și se menține circa 5-10 min;

n) Se oprește cuptorul și se îndepărtează zgura;

o) Se evacuează bronzul în oala de turnare. Înainte de evacuare, oala va fi de asemenea preîncălzită la roșu, iar pe fundul ei se va adăuga restul de 0,15-0,25% din încărcătură, prealiaj Cu-P (cca. 40% din cantitatea de Cu-P);

p) Se toarnă într-un timp cât mai scurt.

Încărcătura cuptorului se va calcula și cântări înainte de începerea topirii.

Exemplu: *Se va elabora cantitatea de 300 Kg aliaj CuSn14, utilizându-se cupru catozi și staniu tehnic. Compoziția chimică medie a bronzului elaborat și turnat trebuie să fie de: 14% Sn și 86% Cu.*

Se va ține seama de arderile din timpul topirii (vezi tabelul 2.3): 1-3% pentru cupru și 1-3% pentru staniu.

Cantitățile de materiale pentru încărcătură se vor calcula cu relația:

$$G_i = G_f + a \cdot G_f \quad (4.2)$$

Unde: G_i – cantitatea de metal din încărcătură;

G_f – cantitatea de metal din aliajul final;

a – arderea metalului respectiv [%].

Astfel:

$$\text{Pentru cupru: } G_i = (3 \cdot 86) + \frac{2}{100} \cdot (3 \cdot 86) = 263,16 \quad [\text{Kg}]$$

$$\text{Pentru staniu: } G_i = (3 \cdot 14) + \frac{1.5}{100} \cdot (3 \cdot 14) = 42,63 \quad [\text{Kg}]$$

B. Elaborarea bronzurilor cu staniu, din diverse sorturi de bronz, în principal, respectă același traseu ca la punctul A, cu următoarele precizări:

a) Dacă se apreciază că metalul este dezoxidat, se vor introduce elementele de aliere sub formă de metale tehnice sau prealiaje;

b) Deoarece gradul de impurificare al componentilor șarjei este mare se impune rafinarea. Cea mai eficace rafinare se face pe cale chimică prin formarea zgurelor oxidante. În acest scop se îndepărtează zgura de protecție

existentă și se introduc fondanții rafinatori (Tab. 2.6 și 2.7) la care se poate adăuga și cuprit (Cu_2O) în proporție de 25-30% din cantitatea totală de fondant. Cantitatea de zgură oxidantă nou formată trebuie să fie de cca. 2-4% din cantitatea metalului.

Există și posibilitatea rafinării cu clor, în raport de 2-4 volume fără a se îndepărta zgura de acoperire.

În vederea rafinării, metalul va fi încălzit la 1180-1200 °C. Calculul încărcăturii este dat mai jos:

Exemplu: *Să se elaboreze 300 Kg de aliaj CuSn6Zn4Pb4 . Materialele pentru încărcătură sunt constituite din deșeuri proprii, prealiaje și metale tehnice.*

Compoziția chimică medie a bronzului ce trebuie turnat, conform SREN 1982 – 1999, este următoarea:

Tabelul 4.4. Compoziția chimică a bronzului CuSn6Zn4Pb4

	Sn	Zn	Pb	Cu	Total
[%]	6	4	4	86	100
[Kg]	18	12	12	258	300

Pierderile prin ardere ale elementelor sunt:

$$a_{\text{Sn}} = \frac{1.5}{100} \cdot 1.8 = 0.27 \quad [\text{Kg}] \quad a_{\text{zn}} = \frac{15}{100} \cdot 12 = 1.8 \quad [\text{Kg}]$$

$$a_{\text{Pb}} = \frac{1}{100} \cdot 12 = 0.12 \quad [\text{Kg}] \quad a_{\text{Cu}} = \frac{1.2}{100} \cdot 258 = 3.1 \quad [\text{Kg}]$$

Este necesar ca încărcătura metalică să asigure următoarele cantități de metale:

Tabelul 4.5. Necesarul de metale din încărcătură

Metale	Sn	Zn	Pb	Cu	Total
[Kg]	18,27	13,8	12,12	261,1	305,29

Deșeurile proprii constituie 60% din încărcătură și au următoarea compoziție chimică: Sn = 5,2%; Zn = 3,1%; Pb = 2,9%; Cu = 88,8%.

În această situație încărcătura cuptorului trebuie să fie constituită din materialele prezentate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. Compoziția chimică a componentelor încărcăturii

Materialul	Sn	Zn	Pb	Cu	Total [Kg]
Deșeuri proprii	9,52	5,68	5,31	162,66	183,17
Prealiaj Cu-Sn (50%)	8,75	-	-	8,75	17,50
Prealiaj Cu-Zn (50%)	-	8,12	-	8,12	16,24
Plumb metalic	-	-	6,81	-	6,81
Cupru catodic	-	-	-	81,57	81,57
Încărcătura	18,27	13,8	12,12	261,1	305,29

Avându-se în vedere toleranțele largi între care trebuie să se încadreze concentrația elementelor de mai sus, pentru simplificare nu au mai fost luate în calcul pierderile de la aliere și impuritățile.

În cazul când se apreciază că în bronzurile cu staniu, există elemente dăunătoare precum aluminiu sau fierul, acestea pot fi îndepărtate. Pentru eliminarea aluminiului se folosește fondantul constituit din 50% ZnO și 50% borax, care se va introduce în proporție de cca. 6% din greutatea metalului pentru fiecare procent de aluminiu. Pentru eliminarea fierului și antimoniului se utilizează un fondant constituit din 50% sulfat de bariu și 50% sodă calcinată.

4.2.3. Bronzurile cu aluminiu

Bronzurile cu aluminiu sunt cele mai răspândite și cele mai valoroase bronzuri speciale datorită proprietăților lor superioare. Bronzurile cu aluminiu pot fi aliaje binare (simple), când cuprul este aliat numai cu aluminiul, sau bronzuri complexe, când pe lângă aluminiu mai conțin și alte elemente de aliere cum ar fi: fierul, manganul, sau nichelul [20].

4.2.3.1 Structura bronzurilor cu aluminiu

Aliajele Cu-Al fac parte din grupa aliajelor 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.

Fig. 4.2 – Diagrama de echilibru termic Cu-Al[16]

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.

Adăsurile 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*.

4.2.3.2. Proprietățile bronzurilor cu aluminiu

Caracteristic bronzurilor cu aluminiu este faptul că au un interval de solidificare foarte mic (10-15 °C), ceea ce conferă o mai bună compactitate pieselor turnate și o concentrare a retasurii.

Numeroasele aplicații în tehnică ale bronzurilor cu aluminiu necesită cunoașterea cât mai exactă a proprietăților fizico-chimice ale acestora, precum și a transformărilor de fază care se produc la solidificare și tratamentele termice ulterioare.

Considerate a fi bronzuri speciale, aliajele Cu-Al reprezintă cea mai valoroasă grupă datorită caracteristicilor mecanice și tehnologice ridicate, putând înlocui cu succes o mare gamă de materiale metalice.

În ceea ce privește rezistența la oxidare și coroziune, bronzurile cu aluminiu se plasează printre cele mai bune aliaje cu bază de cupru, uneori înlocuind cu succes chiar și oțelurile inoxidabile. Aceste aliaje rezistă bine la coroziunea provocată de acizii minerali și organici, de apă dulce sau sărată precum și în atmosfere de hidrogen sulfurat și bioxid de sulf, în soluții de cloruri și clorați, ca rezultat al pasivizării superficiale datorită formării peliculei de Al_2O_3 care rezistă la acțiunea substanțelor reducătoare.

Caracteristicile mecanice sunt, în general, superioare altor aliaje de cupru și chiar unor aliaje Fe-C, și depind atât de structură cât și de adaosurile altor elemente în compoziția chimică.

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 , puând 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. Adaosuri 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/mm²) 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.

Adaosul de alte elemente cum ar fi: plumbul, staniul sau fosforul au o acțiune nefavorabilă asupra proprietăților mecanice dacă sunt introduse în proporții mai mari de 0,3-0,5%, însă ele pot fi utilizate cu anumite precauțiuni în scopul îmbunătățirii unora dintre proprietățile tehnologice.

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 sunt de culoare galben-aurie, se prelucrează ușor prin așchiere, au o conductibilitate termică și electrică bună, însă au o sudabilitate scăzută. Câteva caracteristici fizice ale unor mărci de bronzuri cu aluminiu sunt prezentate în tabelul 4.7.

Tabelul 4.7. Caracteristici fizice ale unor bronzuri cu aluminiu[42]

Marca aliajului	Densitatea [g/cm ³]	Contractia liniară [%]	Conductivitatea termică [W/cm·°K]	Capacitatea calorică [J/g·K]
CuAl10MnT	7,6	1,7-2,2	0,588	0,436
CuAl9Fe5Ni5T	7,5	2,4	0,543	0,419
CuAl9Fe3T	7,8	1,8-2,0	0,588	0,418

4.2.3.3. Mărci de bronzuri cu aluminiu

În România, bronzurile cu aluminiu pentru turnătorie sunt reglementate de SREN 1982 - 1999. Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale principalelor mărci de bronzuri sunt date în tabelul 4.8.,respectiv 4.9.

Tabelul 4.8. Compoziția chimică a unor mărci de bronzuri cu aluminiu[42]

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]					Impurități
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu	
CuAl9T	8-10	-	-	-	Rest	Max 0,7
CuAl9Fe3T	8-10,5	2-4	-	-	Rest	Max 0,7
CuAl9Fe5Ni5T	8-10,7	4-6	Max 1,5	4-6,3	Rest	Max 0,6
CuAl10Fe3T	8,5-11	2-4,5	-	-	Rest	Max 0,6
	7,5-10	-	1,5-2,5	-	Rest	Max 2,5

Impuritățile reprezintă suma concentrațiilor altor elemente chimice.

Abateri de până la 20% de la compozițiile chimice din tabel se admit cu acceptul părților și cu condiția menținerii caracteristicilor mecanice.

Tabelul 4.9. Caracteristici mecanice ale unor bronzuri cu aluminiu[42]

Marca aliajului	Modul de turnare	Rezistența la tracțiune [N/mm ²]	Alungirea [%]	Duritatea Brinell [HB 10/1000]
1	2	3	4	5
CuAl9T	N	340	15	80
	C	390	16	90
CuAl9Fe3T	N	400	8	90
	C	450	10	100
CuAl9Fe5Ni5T	N	540	10	110
	C	590	11	120
CuAl10Fe3T	N	440	10	90
	C	490	12	100
CuAl10MnT	N	440	12	90
	C	490	12	100

Simbolurile din tabel au semnificația: N – turnare în amestec; C – turnare în cochilă.

Domeniile de utilizare ale aliajelor cupru-aluminiu sunt multiple, alegerea lor făcându-se după proprietățile specifice și după caracteristicile mecanice. Indicațiile de utilizare pentru aceste aliaje sunt următoarele:

- CuAl9T – pentru piese turnate din industria chimică și alimentară, armăruri;

- CuAl9Fe3T – pentru cuzineți, angrenaje elicoidale, rotori de pompă de apă și de pompe centrifuge, utilaje chimice.

- CuAl9Fe5Ni5T – pentru piese cu rezistență mecanică și la coroziune ridicată, rezistențe la cavitație și la solicitări alternante de lungă durată. Armături care lucrează în mediu de vapori fierbinți, carcase de pompe, rotori, distribuitoare, în aparatura pentru petrochimie etc.;

- CuAl10Fe3T – pentru angrenaje elicoidale, rotoare de pompe și alte piese pentru industria chimică;

- CuAl10MnT – pentru armături și piese rezistente la coroziunea chimică, piese destinate industriei alimentare și industria chimică.

4.2.3.4. Elaborarea și turnarea bronzurilor cu aluminiu

Pentru obținerea uneia sau alteia dintre mărcile de bronzuri cu aluminiu, procesul de topire poate fi început fie pornind de la elemente metalice pure, fie pornind de la diverse sorturi de bronzuri cu aluminiu aflate sub formă de lingouri sau sub formă de deșeuri.

Încărcătura metalică în cazul bronzurilor cu aluminiu poate fi compusă din următoarele:

- cupru catozi, (diverse mărci);
- aluminiu tehnic, SREN 576 - 2004 și SREN 1676 - 1998;
- deșeuri de aluminiu tehnic provenit din electrotehnică sau din alte domenii: bare, sârme, table etc.;
- lingouri de prealiaje Cu-Al;
- deșeuri de bronz Cu-Al, provenite din demontări și a căror compoziție chimică este cunoscută;
- șpan de bronz Cu-Al, provenit de la prelucrarea mecanică, a cărei compoziție chimică este cunoscută;
- deșeuri proprii din turnătorie: rebuturi, maselote, rețele de turnare, scoarțe etc.;
- prealiaje ale cuprului conform tabelelor 2.7 și 2.8;
- feromangan.

Materialele nemetalice sunt reprezentate de diferite sorturi de fondanți specifici elaborării aliajelor cupru-aluminiu, prezentați în tabelele 2.5 și 2.6.

A. Elaborarea bronzurilor cu aluminiu din elemente presupune parcurgerea următoarelor operații:

- a) Curățirea cuptorului de elaborare;

b) Încălzirea cuptorului de elaborare până ce căptușeala refractară a acestuia a atins temperatura de 800-900 °C (roșu-luminos). La cuptoarele electrice cu inducție această încălzire nu este necesară;

c) Pe fundul vetrei cuptorului sau pe fundul creuzetului se va încărca o cantitate de fondant de acoperire apreciată ca suficientă pentru a acoperi suprafața băii metalice ce se va forma. Ca fondanți de acoperire se pot utiliza, în ordinea rezultatelor obținute, următoarele combinații:

- cărbune de lemn (mangal);
- 30% borax + 60% clorură de sodiu;
- 40% borax + 60% sodă calcinată;
- 50% sodă calcinată + 50% sticlă pisată;
- 60% mangal + 40% nisip cuarțos;
- 35% clorură de sodiu + 65% florină;

d) Se introduc în cuptor bucățile de cupru catozi sau cupru deșeu. Întâi se introduc bucățile cele mai mari așezându-se astfel încât să nu existe un contact direct cu flacăra. Materialele subțiri (table, sârme, șpan etc.) se vor introduce după topirea completă a primelor bucăți. Topirea se va face dintr-o atmosferă neutră sau slab reducătoare trădată de culoarea ușor albăstruie a flăcării de la gura cuptorului. Pe parcursul topirii se va completa acoperirea băii metalice formate cu fonđați de acoperire;

e) Se va completa încărcătura cu bucățile mai mici de material metalic neintroduse inițial. După formarea băii metalice toate materialele se introduc în cuptor în stare preîncălzită și se imersează în aceasta.

f) Se continuă topirea până ce temperatura băii metalice atinge 1150-1200 °C, urmărindu-se completarea stratului de flux de protecție;

g) Se oprește cuptorul și se toarnă proba de dezoxidare;

h) Funcție de configurația probei se decide mersul elaborării:

h1. Dacă se apreciază că metalul este puțin oxidat se va proceda la o primă dezoxidare în scopul dizolvării trioxidului de aluminiu (Al_2O_3) format. Dezoxidarea se va efectua cu prealiaje sau fluxuri care să conțină magneziu, magneziu și mangan, titan sau calciu, în cazul în care se folosesc la topire lingouri Cu-Al. Cantitatea de dezoxidant va fi astfel calculată încât aportul de magneziu să fie de 0,02-0,03% sau când se utilizează amestecuri de magneziu-mangan acestea să aducă 0,015-0,02% magneziu și 0,8-1,0% mangan.

Dacă topirea se face pornind numai de la cupru catozi sau de la deșeuri de cupru, dezoxidarea se face cu 0,2-0,3% cupru fosforos;

h2. dacă se apreciază că metalul este foarte oxidat și conține o cantitate mare de gaze, se va îndepărta zgura existentă și se va forma imediat alta nouă prin adăugarea de fluxuri pentru rafinare, degazare și protecție (vezi tabelele 2.5 și 2.6). Se va menține metalul la o temperatură de 1150-1200 °C, favorabilă desfășurării proceselor de dezoxidare-rafinare, și după cca. 10-15 min. se repetă proba de dezoxidare, efectuându-se dezoxidarea ca la punctul h1.

i) Se lasă baia să se liniștească și să se răcească până la temperatura de 1120-1140°C în vederea introducerii aluminiului. Răcire este necesară deoarece la introducerea aluminiului se degajă o cantitate mare de căldură ce determină creșterea temperaturii băii cu 50-100°C;

j) Se introduce aluminiu metalic sau sub formă de prealiaj, preîncălzit la 150-180°C, în baia metalică sub stratul de zgură;

k) Se omogenizează baia cu ajutorul unei bare de oțel, astfel încât să nu se „rupă” stratul de zgură sau aceasta să fie antrenată în topitură;

l) Se vor introduce sub formă de prealiaj sau în stare solidă, celelalte elemente de aliere: procedându-se la omogenizarea băii. Aceste materiale vor fi mărunțite sau debitate la dimensiuni mici și preîncălzite;

m) Se supraîncălzește topitura la temperatura de turnare, aleasă în funcție de piesele ce se toarnă, și se va menține la această temperatură cca. 5-10 min. Temperatura de turnare este recomandabil să fie de 1,05-1,30% din temperatura lichidus, determinată pe diagrama de echilibru.

Temperatura optimă de turnare a bronzurilor cu aluminiu este cuprinsă în intervalul 1175-1225°C în funcție de piesele turnate, iar pentru piesele simple turnate în amestec de formare uscat va putea fi chiar în intervalul 1150-1180°C. La turnarea în cochile, temperatura aliajului este de 1200-1250°C, iar temperatura cochilei metalice de cca. 250°C;

n) Se oprește cuptorul și se îndepărtează zgura;

o) Se evacuează bronzul în oala de turnare preîncălzită la roșu;

p) Se toarnă într-un timp cât mai scurt, de la o înălțime cât mai mică.

Încărcătura cuptorului se va calcula în funcție de compoziția aliajului și de cantitatea dorită precum și de materialele aflate la dispoziție.

Exemplu: *Se va elabora cantitatea de 300 Kg de aliaj CuAl9Fe5Ni5T. Materialele de încărcătură sunt: cupru catozi, aluminiu tehnic, table de oțel carbon, feromangan, nichel.*

Compoziția chimică medie a acestui aliaj trebuie să fie: Al = 9,5%, Fe = 5%, Ni = 5%, Mn = 10%, Cu = rest. Se va ține seamă de pierderile prin ardere atât la topire cât și la aliere (vezi tabelul 2.3) și se vor calcula aceste pierderi ca la punctul 4.2.2.4.

Este necesar ca încărcătura să asigure următoarele cantități de metale:

Tabelul 4.10. Calculul conținutului de elemente din încărcătură

	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	Total
În piesă [Kg]	28,5	15	15	3	238,5	300
Arderi [Kg]	1,14	0,075	0,225	0,18	5,96	7,58
Total [Kg]	29,64	15,075	15,225	Max 3,18	244,46	307,58

Calculul încărcăturii se constituie într-un tabel în care se vor evidenția aportul fiecărui participant la încărcătură pentru fiecare element în parte.

Tabelul 4.11. Concentrația elementelor în încărcătură și în componentele acesteia

Materialul	Elementul					Total [Kg]
	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	
Cupru catozi	-	-	-	-	244,46	244,46
Aluminiu tehnic	29,64	-	-	-	-	29,64
Oțel	-	14,015	-	-	-	14,015
Feromangan 75	-	1,06	-	3,18	-	4,24
Nichel	-	-	15,225	-	-	15,225
Încărcătura	29,64	15,075	15,225	3,18	244,26	307,58

B. Elaborarea bronzurilor cu aluminiu din diverse sorturi de bronz și din deșeuri, respectă același traseu ca la punctul A, cu următoarele precizări: pentru dezoxidare se va folosi o cantitate de magneziu mai mare, cca. 0,10-0,20% din încărcătură și eventual adăugarea a 0,3-0,5% aluminiu tehnic, imediat înainte de turnare combinat cu amestecarea băii ceea ce ușurează eliminarea trioxidului de aluminiu (Al_2O_3).

Se poate folosi și prealiajul Mn-Mg cu aceeași indicație pentru cantitatea de magneziu, mai ales atunci când s-a folosit drept fondant acoperitor cărbunele de lemn (mangalul) sau fluorurile.

Dezoxidarea cu cupru fosforos nu este recomandată pentru aliajele cupru-aluminiu.

Calculul încărcăturii este exemplificat mai jos.

Exemplu: *Se va elabora cantitatea de 300 Kg de aliaj CuAl9Fe5Ni5T. Materialele de încărcătură sunt: sârmă de cupru, deșeuri de CuAl10MnT, CuAl9Fe3T, CuAl9Fe5Ni5T, prealiaj Cu-Al, prealiaj Cu-Ni, table subțiri din oțel carbon.*

Compoziția chimică medie a aliajului ce trebuie elaborat trebuie să fie: Al = 9,5%, Fe = 5%, Ni = 5%, Mn = max 1,5%, Cu = rest.

Se va ține seama de pierderile prin ardere la topire (vezi tabelul 2.3), care se vor calcula ca la punctul 4.2.2.4.

Este necesar ca încărcătura să asigure cantitățile de metale prezentate în tabelul 4.10.

Calculul încărcăturii permite realizarea tabelului 4.12 ce evidențiază aportul fiecărui participant la încărcătură pentru fiecare element în parte:

Tabelul 4.12. Concentrația elementelor în încărcătură și în componentele acesteia

Materialul	Elementul					Total	
	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	Kg	%
Sârmă de cupru	-	-	-	-	27,465	27,465	8,95
CuAl10MnT	2,73	-	-	0,7	31,57	35,00	11,45
CuAl9Fe3T	3,52	0,88	-	-	35,6	40,00	13,05
CuAl9Fe5Ni5T	8,2	4,075	4,55	1,32	81,855	100,00	32,55
Prealiaj Cu-Al67	15,19	-	-	-	7,48	22,67	7,45
Prealiaj Cu-Ni15	-	-	10,675	-	60,49	71,17	23,24
Oțel	-	10,12	-	-	-	10,12	3,3
Încărcătură	29,64	15,075	15,225	3,18	244,46	307,58	100

Limitele largi ale compoziției chimice permit o încadrare relativ ușoară în cerințele standardului dacă se respectă procedeul de mai sus și dacă se cunosc bine materialele din încărcătură.

4.2.4. Alamele de turnătorie

Sub această denumire sunt cunoscute aliajele de cupru cu zinc care constituie o grupă de aliaje cu o mare răspândire în tehnică ca urmare a proprietăților lor deosebite.

Se pot distinge două mari clase:

- Alame simple (binare) care cuprind aliajele binare Cu-Zn;
- Alame speciale (complexe) care pe lângă Cu și Zn mai conțin și alte elemente pentru îmbunătățirea proprietăților: Mn, Al, Si, Pb, Sn, Ni, Fe.

4.2.4.1. Structura alamelor de turnătorie

Aliajele Cu-Zn, fac parte din grupa aliajelor binare complet miscibile în stare lichidă și parțial miscibile în stare solidă [20].

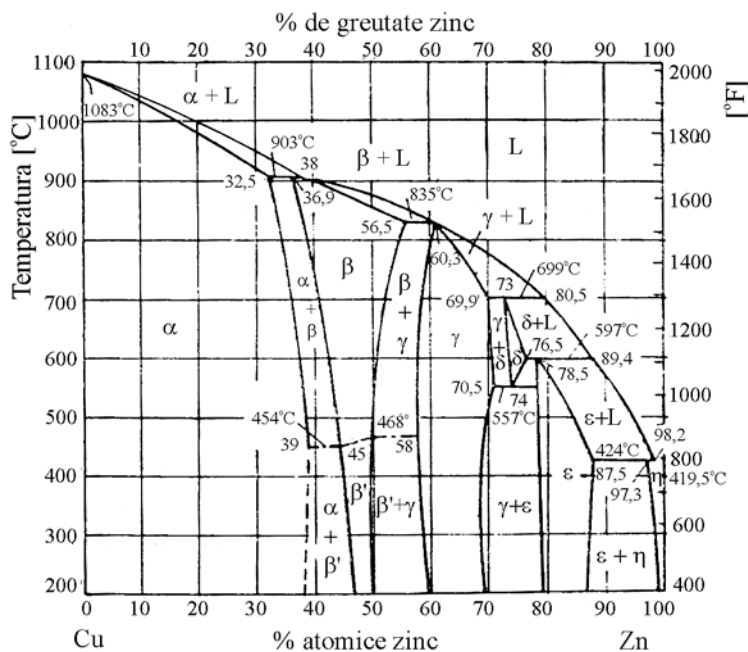


Fig. 4.3 Diagrama de echilibru termic Cu-Zn[42]

Diagrama de echilibru termic a sistemului de aliaje binare Cu-Zn (Fig. 4.3), pune în evidență formarea a șase faze distincte: α , β , γ , δ , ϵ , η , enumerate în ordinea crescândă a conținutului de zinc, însă dintre ele prezintă importanță industrială fazele α , β și mai puțin γ .

Faza α reprezintă o soluție solidă de substituție în care atomii de Cu sunt înlocuiți cu atomi de Zn, și reprezintă un constituent moale.

Faza β , este o soluție solidă bazată pe compusul intermediar CuZn și reprezintă un constituent dur.

Faza γ , este de asemenea o soluție solidă, bazată pe compusul intermetalic Cu₅Zn₈ foarte dur și fragil.

Din punct de vedere al structurii metalografice, alamele se pot grupa:

- Alame monofazice:

- Alame α cu plasticitate ridicată;
- Alame β cu rezistență mecanică ridicată.

- Alame bifazice ($\alpha + \beta$) cu caracteristici mecanice medii de plasticitate și rezistență.

Prin introducerea anumitor elemente de aliere în alame se modifică raportul cantitativ al fazelor și implicit proprietăților acestora. Dacă o parte din Zn este înlocuit cu un element de aliere, raportul cantitativ între soluțiile α , β și γ se schimbă, cu toate că s-a menținut constant conținutul de cupru. În acest sens, activitatea unui element este apreciată cu ajutorul unui coeficient de echivalență care arată că 1% din acest element produce aceeași constituienți ca și K% Zn.

Din punct de vedere al acțiunii asupra structurii, elementele de aliere se pot clasifica în două mari categorii:

- Elemente care îngustează domeniul soluției solide, micșorând solubilitatea zincului în cupru (Si, Al, Fe, Mn etc.);

- Elemente care largesc domeniul soluției α , solubilitatea zincului în cupru (Ni, Co, Ag etc.).

În afară de o serie de elemente care îmbunătățesc proprietățile alamelor, cum ar fi: Mn, Al, Si, Pb, Sn, Ni sau Fe, există o serie de elemente care au un efect contrar și care trebuie evitate sau eliminate. Principalele elemente care au o acțiune nefavorabilă asupra proprietăților alamelor sunt: Bi, Sb, As, P, S și chiar Pb și Fe în anumite concentrații.

4.2.4.2. Proprietățile alamelor de turnătorie

Printr-o serie de proprietăți fizice și chimice alamele s-au făcut remarcate în tehnică, ceea ce le conferă un statut special.

Greutatea specifică a alamelor variază în funcție de nivelul de aliere cu zinc sau cu alte elemente de aliere, între limitele 8,39-8,94 daN/dm³.

De asemenea, temperatura de topire depinde de aceleași elemente, însă sunt caracterizate de un interval mic de solidificare ceea ce le conferă

bune proprietăți de turnare, o bună fluiditate, o tendință redusă de segregare și o tendință de a forma retasuri concentrate la solidificare.

Proprietățile termice și electrice sunt mult influențate de compoziția chimică, ele scăzând o dată cu creșterea cantității de zinc.

Comportarea la coroziune este destul de bună în cazul apei dulci, și de mare, a acidului acetic, sau a aburului supraîncălzit. Alamele sunt puternic corodate de soluțiile oxidante și de săruri, de HNO_3 , HCl , H_3PO_2 , acizi grași, SO_2 , H_2S , NH_3 , baze caustice etc.

Alamele se prelucrează bine prin așchiere, pot fi ușor lipite cu aliaje Pb-Sn, se pot deforma la rece și la cald însă nu au proprietăți antifricțiune comparabile cu ale bronzurilor.

Culoarea alamelor este dată de concentrația elementelor de aliere:

- Alb-roz – pentru 45-50% Cu;
- Galben-auriu roșcat – pentru 50-55% Cu;
- Portocalie – pentru 55-60% Cu;
- Galben-portocalie – pentru 60-65% Cu;
- Galben-pai – pentru 65-70% Cu;
- Galben-verzui – pentru 70-75% Cu;
- Galben – pentru 75-80% Cu;
- Galben-roșcat – pentru 80-85% Cu;
- Roșcat – pentru 85-90% Cu.

O parte din alamele de turnătorie sunt cunoscute sub denumirea de *tombac*. Proprietățile mecanice ale alamele sunt influențate în cea mai mare măsură de compoziția chimică (în special de conținutul de zinc) însă și de structura metalografică și de condițiile de elaborare. Plasticitatea alamei, dată de faza α , crește o dată cu conținutul de zinc, atingând valorile maxime de cca. 20% pentru 30-32% Zn, după care scade ca urmare a apariției fazei β .

Rezistența la tracțiune crește pe măsură ce apare fază β , ca urmare a creșterii conținutului de Zn și atinge valorile maxime de 450-500 N/mm² pentru structura bifazică ($\alpha+\beta$) corespunzătoare concentrației de 45-47% Zn.

Duritatea crește de asemenea cu creșterea conținutului de zinc, mai pronunțat la apariția fazei β și va atinge valorile maxime în prezența fazei γ .

Alamele solubilizează cantități reduse de gaze, însă chiar și după degazarea de la punctul de fierbere de 907⁰C pot apare microsulfuri în piese.

Fluiditatea alamelor este influențată, în afară de temperatură, de impuritățile dizolvate, de incluziunile nemetalice și de gazele solubile, care, în general, conduc la scăderea acesteia. Fluiditatea poate fi mărită prin adaosuri mici de aluminiu sau fosfor, cu câteva minute înainte de turnare.

Contrația volumică a alamelor este influențată de nivelul de aliere, având valori cuprinse între 4,9-7,1%, însă ea se prezintă sub forma unor goluri de retasură mai concentrate decât la celelalte aliaje ale cuprului.

Contrația liniară depinde de asemenea de nivelul de aliere, dar și de forma de turnare sau de faptul dacă ea se produce liber sau frânat. Valorile orientative ale contracției se dau în tabelul 4.13.

Tabelul 4.13. Contrația liniară pentru diferite condiții de turnare

Aliajul	Turnare în forme metalice		Turnare în forme din amestec	
	Contrație frânată [%]	Contrație liberă [%]	Contrație frânată [%]	Contrație liberă [%]
Cu-Zn	1,6	1,9	1,4	1,7
Cu-Zn-Sn	1,45	1,64	1,3	1,55
Cu-Zn-Pb	1,60	1,85	1,4	1,75
Cu-Zn-Al	1,7	2,1	1,6	1,9
Cu-Zn-Mn	1,9	2,15	1,65	1,95

4.2.4.3. Mărci de alame de turnătorie

În tabelul 4.14 sunt prezentate compozițiile chimice ale principalelor mărci de alame de turnătorie reglementate de SREN 1982 - 1999, iar în tabelul 4.15 caracteristicile mecanice ale acestor mărci.

Tabelul 4.14. Compoziția chimică a principalelor mărci de alame de turnătorie[42]

Marca aliajului	Compoziția chimică %						Impurități și alte elemente
	Cu	Pb	Mn	Fe	Al	Zn	
CuZn40PbT	57-60	0,8-1,90	-	-	-	Rest	Max 2,0
CuZn33Pb2T	63-69	1,0-2,80	-	-	-	Rest	Max 3,0
CuZn32Pb2T	65-69	1,0-2,80	-	-	-	Rest	Max 1,5
CuZn40PbSnT	58-63	0,8-1,75	-	-	-	Rest	Max 1,0
CuZn40Mn2T	53-59	-	1,5-2,8	0,2-0,5	0,5-1,0	Rest	Max 1,0
CuZn38Pb2Mn2T	57-60	1,5-2,5	1,5-2,5	-	-	Rest	Max 2,0
CuZn35Mn2FeAlNiT	54-60	0-1,2	1,0-3,0	1,0-2,0	0-2,0	Rest	Max 1,5
CuZn40Mn3FeT	53-58	-	3,0-4,0	0,5-1,5	-	Rest	Max 2,0
CuZn30Al5Fe3Mn2T	64-68	-	1,5-3,5	2,0-3,5	4,5-7,5	Rest	Max 1,0

Tabelul 4.15. Caracteristici mecanice ale principalelor mărci de alame de turnătorie[42]

Marca aliajului	Procedeeul de turnare	Rezistența la tracțiune [N/mm ²]	Alungirea [%]	Duritatea Brinell [HB10/1000]
CuZn40PbT	N	200	20	75
	C	200	20	75
CuZn33Pb2T	N	150	10	40
	C	160	8	40
CuZn32Pb2T	N	180	20	40
	C	200	20	40
CuZn40PbSnT	N	280	7	80
	C	280	7	80
CuZn40Mn2T	C	350	15	100
CuZn38Pb2Mn2T	N	250	10	70
	C	350	8	80
CuZn35Mn2FeAlNiT	N	350	15	80
	C	400	10	90
CuZn40Mn3FeT	N	450	15	100
	C	500	10	100
CuZn30Al5Fe3Mn2T	N	500	5	110

Domeniile de utilizare ale alamelor sunt multiple: armături, colivii, lagăre, bușe, piulițe, tije filetate, diverse piese pentru construcția de mașini.

Elementele de aliere importante în alame sunt:

Plumbul mărește fluiditatea, capacitatea de prelucrare mecanică prin așchiere, și proprietățile antifricțiune. Conținutul său este limitat la 2-2,5% deoarece peste această valoare micșorează rezistența la rupere a alamei.

Staniul îmbunătățește rezistența la coroziune însă micșorează plasticitate și mărește duritate, ceea ce limitează conținutul său la 1,2%.

Aluminiu, în proporție de până la 2%, are o influență favorabilă asupra rezistenței la tracțiune și asupra rezistenței la coroziune, îmbunătățind și proprietățile de turnare: fluiditatea, tendința de oxidare și de absorbție a gazelor. Dezincarea poate fi anulată prin adaosuri de 0,03-0,05% arseniu.

Fierul, mărește intervalul de solidificare, modifică structura și îmbunătățește caracteristicile mecanice. În adaos de până la 3,5% are o acțiune favorabilă dacă se introduce concomitent cu manganul, aluminiul sau nichelul, altfel înrăutățește proprietățile antifricțiune și anticorozive.

Manganul determină creșterea rezistenței la tracțiune fără o micșorare evidentă a plasticității, chiar și la temperaturi de lucru mai înalte (300°C). Alături de alte elemente de aliere influențează favorabil proprietățile alamelor. Nivelul de aliere obișnuit al manganului este de până la 4%.

Nichelul, în adaos de 2%, sau chiar de 8-10% și *siliciul* în proporție de până la 2-2,5%, îmbunătățesc proprietățile alamelor.

4.2.4.4. Elaborarea și turnarea alamelor

Pentru elaborarea alamelor de turnătorie, pot fi utilizate atât materiale pure cât și diverse alte materiale cum ar fi prealiaje, deșeuri proprii turnătoriei, deșeuri de la demontări, șpan etc. dar care trebuie să fie cunoscute din punct de vedere chimic. Principalele materiale metalice

utilizate sunt: cupru catozi; blocuri de aliaj Cu-Zn; zinc, SREN 1197 - 2006; aluminiu, SREN 576 - 2004; mangan metalic; plumb, SREN 12659 - 2002; staniu, SREN 610 - 2000; nichel; prealiaj de Cu-Al, Cu-Zn, Cu-Mn, Cu-Ni, Cu-Fe, Cu-Si etc; deșeuri de alamă. Materialele nemetalice, reprezentate de fondanții specifici elaborării alamelor au fost prezentate în tabelele 2.5 și 2.6.

Cu unele particularități, procesul de elaborare al alamelor și calculul încărcăturii este similar bronzurilor prezentate la punctele 4.2.2.4 și 4.2.3.4.

În cazul elaborării alamelor binare Cu-Zn din metale se încarcă în cuptor simultan cuprul și zincul, în proporție de 25-30% din greutatea totală a încărcăturii, sub un strat protector de fondant care poate fi: cărbunele, amestec de 50% sticlă pisată + 50% cărbune de lemn sau REXIL.

Se încălzește încărcătura până la 1150 °C și se va adăuga restul de cupru și zinc, completându-se stratul de fondant. Topirea se va efectua în mediu neutru sau ușor reducător într-un timp cât mai scurt posibil. După topirea completă baia se va supraîncălzi până la 1180-1200 °C adică până când încep să apară primele semne de evaporare a zincului, ceea ce se recunoaște prin faptul că se degajă vapori albi care se transformă în „fulgi”. Se oprește încălzirea și se dezoxidează aliajul cu un adaos de 0,02-0,05% fosfor sub formă de cupru fosforos, care se va introduce pe fundul băii și se va omogeniza ușor. După 5-8 minute se îndepărtează zgura și se toarnă.

Dacă încărcătura conține deșeuri compacte, acestea se vor încărca întâi, apoi se va adăuga cuprul. Zincul se adăugă, în stare preîncălzită la 200-300°C, cu 5-10 minute înainte de turnare, după ce baia a fost dezoxidată.

Temperatura de turnare a alamelor binare este de 1100-1200°C, în funcție de piesa turnată și de formă, dar poate fi și superioară acestui interval.

Dacă încărcătura este compusă într-un procent mai mare din deșeuri impurificate sau din metale vechi, se va impune rafinarea băii după topirea completă sub un fondant acoperitor. Rafinarea se face prin barbotare cu gaz

neutru, prin supraîncălzire cu vapori de zinc (însă se pierde o parte din zincul încărcăturii) sau cu ajutorul unor fondanți rafinatori cum ar fi: amestec de 50% CaF_2 + 50% MgF_2 , sau zgură borică (95% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 5% Mg).

Topirea alamelor cu un conținut obișnuit de plumb sau staniu nu diferă de cea a alamelor simple, aceste elemente introducându-se în cantitatea prestabilită numai în stare preîncălzită, după efectuarea dezoxidării și eventual a rafinării, de preferință cu câteva minute înainte de evacuare.

Procesul de elaborare al alamelor cu aluminiu se aseamănă foarte mult cu cel de elaborare a bronzurilor cu aluminiu. Temperatura de turnare va fi cuprinsă între 1200-1300°C, iar turnarea trebuie să fie cât mai liniștită, fără perturbarea metalului lichid, care ar antrena incluziuni de zgură (Al_2O_3).

La topirea alamelor cu mangan, este recomandat ca dezoxidarea să se facă cu un adaos de magneziu de 0,1-0,2% din greutatea șarjei, introdus sub formă de prealiaj iar turnarea să se facă la temperaturi cuprinse în intervalul 1080-1120°C. La fel se va proceda și pentru elaborarea alamelor cu fier la care temperatura de turnare trebuie să fie de 1200-1280°C.

Alamele cu un conținut ridicat de plumb, pot înlocui în unele situații bronzurile cu staniu. La elaborarea lor se recomandă topirea inițială a cuprului, sub un strat de fondant format din 50% sticlă pisată + 50% CaF_2 , apoi dezoxidarea cu Cu-P, după care introducerea simultană a zincului și plumbului. La turnare se va ține cont că este posibilă segregarea plumbului. Înainte de turnare se adaugă 0,1-0,2% Al pentru fluiditate și dezoxidare, iar temperatura de turnare va fi cuprinsă între 1000-1080°C.

Asemănător alamelor cu plumb se obțin alamele cu siliciu, la care se va folosi fondantul acoperitor format din 50% borax + 50% sticlă pisată, iar temperatura de turnare va fi în intervalul 920-1050°C.

CAP. V. ALUMINIUL ȘI ALIAJELE ALUMINIULUI

Aluminiul și aliajele lui reprezintă una dintre cele mai importante categorii de materiale utilizate de tehnica modernă datorită avantajelor legate de greutate specifică mică, conductibilitate termică și electrică ridicată, rezistența la coroziune bună, caracteristicile mecanice apreciabile, prelucrabilitatea ușoară etc. Astăzi, materialele pe bază de aluminiu sunt al doilea produs metalurgic mondial, după oțel, deși istoria cunoașterii acestui metal este mai scurtă de două secole. Aluminiul, cel mai răspândit metal din scoarța terestră (7,51% din aceasta), a fost necunoscut până la începutul secolului al XIX-lea și a devenit un metal cu utilitate tehnică extinsă abia în secolul XX.

Primele încercări de extracție a aluminiului [19;24] au fost efectuate în anul 1810 de fizicianul englez Davy care a făcut electroliza hidroxidului de aluminiu între un anod de platină și un catod de fier. Deoarece separarea aluminiului de fier a fost imposibilă, metoda electrolitică a fost abandonată și în 1824 chimistul Öersted obține aluminiul metalic prin tratarea clorurii de aluminiu cu amalgam de potasiu. În anul 1827 Wöhler perfecționează metoda prin înlocuirea amalgamului cu potasiu. Chimistul francez Saint-Claire-Deville dezvoltă procedeul la scară industrială și obține primele lingouri de aluminiu prin tratarea cu sodiu a clorurii duble de aluminiu și sodiu. Deoarece aluminiul produs pe această cale era foarte scump procedeul nu s-a extins și a fost complet abandonat după ce tânărul american Hall descoperă metoda electrolitică de extracție a aluminiului prin electroliza trioxidului de aluminiu în criolit topit.

5.1. ALUMINIUL

Aluminiul face parte din grupa a III-a principală a sistemului periodic, are numărul de ordine 13, masa atomică 27, raza atomică 1,43 Å,

cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate și prezintă trei izotopi radioactivi cu perioada de înjumătățire mai mică de 7 minute.

Principalele proprietăți fizice și tehnologice ale aluminiului [19;24;29]:

- greutatea specifică: - 2,70 daN/dm³ la 20°C;
 - 2,62 daN/dm³ la 400°C;
 - 2,55 daN/dm³ la 660°C, în stare solidă;
 - 2,38 daN/dm³ la 661°C, în stare lichidă;
- contracția liniară: 1,7%;
- contracția volumică la solidificare: 6,6%;
- temperatura de topire: 660,2°C;
- temperatura de vaporizare: 2450°C;
- căldura latentă de topire: 93,96 Kcal/Kg;
- căldura specifică – diferă în funcție de temperatură, astfel:
 - $C_p = 22,2 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 20 °C;
 - $C_p = 11,2 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 175 °C;
 - $C_p = 7,0 \text{ Kcal/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ la 200 °C;
- conductivitatea termică: $\lambda = 0,52 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$;
- rezistivitatea electrică: $\rho = 2,699 \mu\Omega\cdot\text{cm}$;
- maleabil și ductil;
- rezistența la rupere la tracțiune: 7-10 daN/mm² – turnat;
- alungirea: 20-45%;
- duritatea Brinell: 25-40 daN/mm².
- temperatura de turnare: 710-730⁰C;
- temperatura de prelucrare la cald: 350-450⁰C;
- temperatura de recoacere: 370-400⁰C;
- temperatura de revenire: 150⁰C;

Din punct de vedere chimic aluminiul este un metal cu activitate

ridicată care se combină energic cu oxigenul și halogenii. La temperaturi înalte formează compuși cu azotul, carbonul, fosforul și sulfurul.

Película de trioxid de aluminiu, care se formează, chiar și la temperatura mediului ambiant, este compactă, impermeabilă și puternic aderentă la metal. Aceasta face ca aluminiul să aibă o bună rezistență la coroziune, chiar și în medii agresive cum ar fi acizii organici, apa de mare, atmosferele umede etc. Aluminiul este puțin atacat de acidul azotic și acidul sulfuric, în schimb acidul clorhidric și bazele îl dizolvă cu ușurință. Prezența anumitor impurități reduce semnificativ rezistența aluminiului la coroziune.

Sub formă de metal pur, aluminiu este puțin utilizat, însă în stare aliată el este cel mai utilizat metal neferos.

5.2. ALIAJELE ALUMINIULUI

Aliajele aluminiului pot avea caracteristici mecanice și tehnologice superioare multor aliaje neferoase, iar din anumite puncte de vedere pot fi superioare chiar și fontelor. Astfel de proprietăți sunt:

- rezistența mecanică la tracțiune: 15-45 daN/mm²;
- alungirea: 0,5-18 %;
- duritatea Brinell: 50-130;
- prelucrabilitate foarte bună atât metalurgic cât și mecanic;
- sudabilitate;
- greutate specifică redusă.

Deoarece sunt foarte diverse din punct de vedere a compoziției chimice și a proprietăților, este necesară clasificarea aliajelor de aluminiu după anumite criterii.

5.2.1. Clasificarea aliajelor aluminiului

Principalele criterii de clasificare sunt[19]:

- a) după tehnologiile de fabricație ale produselor:

- aliaje pentru turnare – utilizate pentru obținerea pieselor fasonate;
- aliaje deformabile – utilizate pentru deformarea plastică.

b) după proprietăți și domenii de utilizare: antifricțiune, anticorozive, refractare, criogenice, cu proprietăți mecanice deosebite, superplastice, cu memorie, pentru pistoane, cu conductibilitate electrică bună, pentru îmbinări sudate și turnarea sub presiune etc., destinate tehnicii aerospațiale, industriei de automobile și de nave, industriei chimice și alimentare etc.

Aliajele de turnătorie permit adaosuri mari de elemente de aliere și se tratează termic prin călire și îmbătrânire sau recoacere. În activitatea practică aliajele aluminiului pentru turnare se grupează după principalul element de aliere: siliciul, cuprul, magneziul, zincul. Ele pot fi aliaje binare însă cel mai adesea sunt aliaje complexe care pe lângă elementul principal de aliere mai conțin cantități importante de alte elemente.

În afara aliajelor obișnuite de turnătorie se mai întâlnesc aliaje de aluminiu cu caracteristici mecanice superioare (spre valorile superioare prezentate mai sus), care în general au o destinație specială și conțin elemente de aliere mai scumpe.

Cele mai uzuale aliaje ale aluminiului sunt aliajele aluminiu – siliciu, aluminiu-cupru și aluminiu-magneziu. În funcție de procedeul de turnare adoptat mărcile de astfel de aliaje au în simbolizare următorul grup de litere:

- ATN – pentru aliaje turnate în amestec de formare;
- ATC – pentru aliaje turnate în cochilă;
- ATP – pentru aliaje utilizate la turnarea sub presiune.

5.2.2. Aliaje aluminiu-siliciu

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

aluminii. 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 $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Diagrama de echilibru prezentată în Fig. 5.1 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.

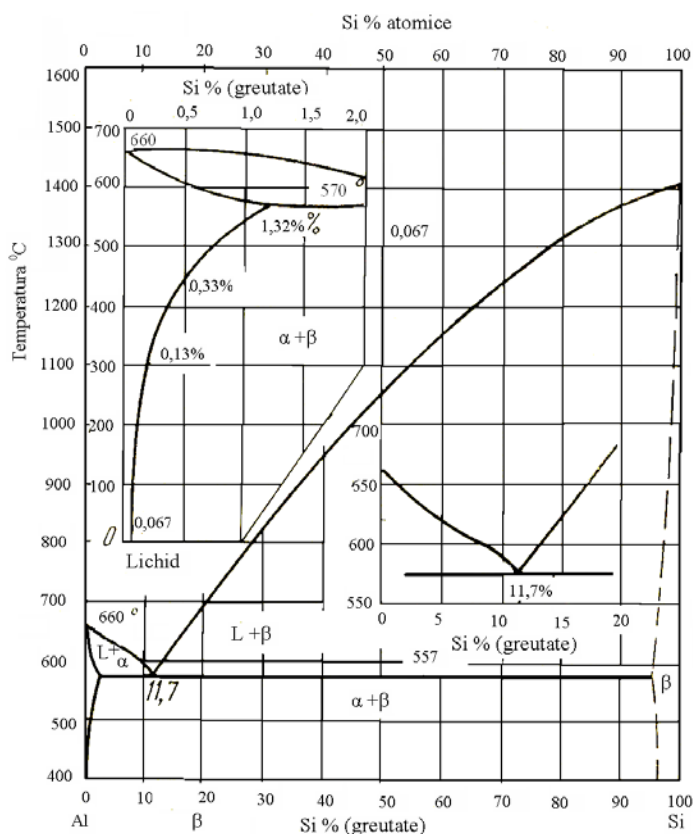


Fig. 5.1 Diagrama de echilibru a sistemului Al-Si[16].

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.

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.

Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale acestor aliaje se poate face prin modificarea structurii de turnare la introducerea unor adaosuri mici de elemente modificatoare cum ar fi: sodiu, potasiu, calciu sau litiu, înainte de turnare. O modificare bună se obține cu adaosuri de 0,01 – 0,20%Na, sub formă metalică sau de săruri (NaF; NaCl), introduse la temperaturi de 775 – 790⁰C. La modificare eutecticul se deplasează de la 11,7%Si la 13%Si, iar temperatura scade de la 577⁰C la 554⁰C. 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 asigură modificarea permanentă a siluminurilor.

Aliajele Al – Si hipereutectice se modifică cu fosfor, introdus în proporție de 0,05 – 0,10%, la temperatura de 780- 820⁰C.

Îmbunătățirea proprietăților mecanice și tehnologice ale siluminurilor se realizează prin alierea în diferite procente cu anumite elemente chimice. Influența favorabilă a elementelor de aliere, precum și cea dăunătoare produsă de impurități este redată în exemplele de mai jos.

Magneziul - este cel mai important adaos în siluminuri deoarece în urma formării compusului Mg₂Si, a cărui solubilitate variază cu temperatura, se poate aplica tratamentul termic de durificare care contribuie la ridicarea caracteristicilor mecanice.

Cuprul – în adaosuri de până la 5%, durifică soluția solidă, sau formează compusul Al_2Cu , care de asemenea durifică, mărește rezistența la rupere la tracțiune și prelucrabilitatea, dar diminuează rezistența la coroziune.

Zincul – durifică și ridică proprietățile mecanice dar înrăutățește proprietățile de turnare.

Fierul – este dăunător deoarece se formează compusul binar FeAl_3 și compușii ternari $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$ sau $\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}$ care precipită direct din lichid, scad plasticitatea și măresc fragilitatea. Conținutul de fier maxim admis în siluminuri este de 0,10%. Efectul negativ al fierului se înlătură cu adaosuri de Mn, Cr, Ti, Zr, V, Ni, Co.

Cobaltul – anulează efectul negativ al fierului, micșorează coeficientul de dilatare și mărește rezistența la temperaturi înalte, ceea ce îl recomandă pentru aliajele de pistoane.

Nichelul – mărește caracteristicile mecanice, refractaritatea și micșorează coeficientul de dilatare.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și lărgirea domeniilor de utilizare, în aliajele binare Al – Si se fac adaosuri de elemente secundare de aliere care formează faze intermetalice cu siliciul sau aluminiul a căror solubilitate variabilă în stare solidă permite durificarea prin tratament termic.

Aliajele Al – Si – Mg cu până la 0,5%Mg, după tratamentul termic de revenire, au rezistența mecanică de rupere la tracțiune majorată cu 20%, plasticitatea dublă, iar rezistența la coroziune foarte înaltă. Dacă adaosurile mai mici de 0,5%Mg micșorează tendința de formare a golurilor de contracție, adaosurile mai mari măresc atât durata de omogenizare a soluției solide cât și conținutul de gaze din aliaj. Dacă în aliajele ternare Al – Si – Mg se fac adaosuri de până la 2%Cu crește susceptibilitatea la tratament termic și se îmbunătățesc caracteristicile mecanice ceea ce le conferă calitatea de a fi folosite pentru blocul motoarelor cu ardere internă și carcasa

compresoarelor. Aliaje de turnătorie deosebit de performante se obțin prin microalierea aliajelor Al – Si – Mg cu zecimi și sutimi de procent de calciu, stronțiu, stibiu, cobalt, beriliu etc.

Aliajele Al – Si – Cu, în care conținutul de cupru variază între 2% și 6%, se pretează bine pentru turnarea în piese, au caracteristici mecanice superioare, refractaritate ridicată și prelucrabilitate prin așchiere bună. Aliajele complexe Al – Si – Cu – Mg au proprietăți bune de turnare și caracteristici mecanice superioare fiind utilizate pentru producerea pieselor supuse la solicitări mari și temperaturi ridicate. Dacă aceste aliaje sunt microaliate cu elemente greu fuzibile, precum: W, Nb, Mo, V, Ti, Zr, Ni, Cr etc., proprietățile cresc ceea ce face posibilă obținerea de piese pentru instalațiile de gaz sub presiune, corpuri de compresor și pistoane ale motoarelor cu ardere internă.

5.2.3. Aliaje aluminiu - cupru

Aliajele din sistemul aluminiu – cupru se împart în două grupe mari:

a) Aliaje pentru turnătorii, care se împart în 3 grupe importante[19]:

- aliaje cu mai puțin de 5%Cu, în care frecvent se fac adaosuri de magneziu și mangan;

- aliaje cu 7 – 8%Cu, la care adesea se fac adaosuri de siliciu și fier, iar în cantități mai mici: mangan, crom, zinc, staniu etc.;

- aliaje cu 10 – 14%Cu, care mai conțin siliciu (max. 5%), fier (max. 1,5%), magneziu (max. 0,3%) și proporții reduse de nichel, mangan, crom.

b) Aliaje pentru deformare plastică care se pot grupa astfel:

- aliaje cu 5 – 6%Cu, binare sau cu adaosuri de: Si, Mn, Sn, Pb, Cd, Bi, Li, V, Zr;

- duraluminiu cu 4,0 – 4,5%Cu, 0,5 – 1,5%Mg, 0,5 – 1,0%Mn;

- aliaje cu nichel, precum cele de tip Y cu 4%Cu, 2%Ni, 1,5%Mg.

Conform diagramei de echilibru a sistemului Al – Cu, prezentată în figura 5.2., solubilitatea maximă a cuprului în aluminiu este de 5,7%, la temperatura de transformare eutectică de 548⁰C și scade la 0,2%Cu la temperatura de 200⁰C. Reacția eutectică are loc la 33%Cu și 548⁰C, între soluția solidă α și faza intermetalică θ care cristalizează direct din topitură la 53,3%Cu și 591⁰C sub forma compusului CuAl₂.

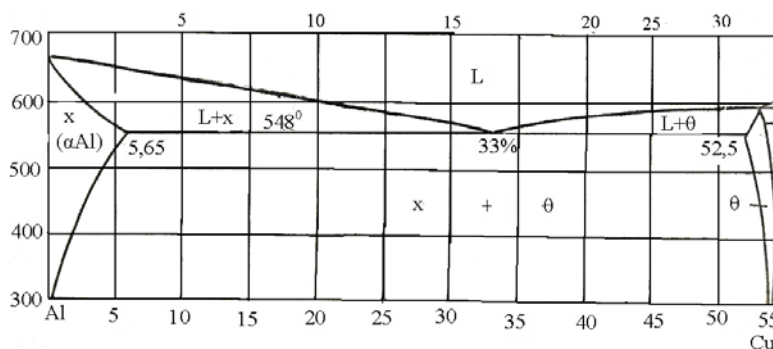


Fig.5.2. Diagrama de echilibru parțială a sistemului Al – Cu

Spre deosebire de siluminuri, proporția de eutectic din aliajele de turnătorie hipoeutectice ATCu4, ATCu8 și ATCu10 este foarte mică ceea ce le face mai puțin fragile. Rezistența la rupere se dublează la călirea aliajelor cu peste 5%Cu și se triplează în urma îmbătrânirii artificiale la 160⁰C.

Aliajele aluminiu-cupru au proprietăți de turnare mai slabe decât siluminurile deoarece au fluiditatea mai scăzută, iar tendința de a forma crăpături la cald și de absorbție a gazelor mai mare.

Alierea secundară cu siliciu conduce la îmbunătățirea proprietăților de turnare, prin creșterea fluidității și reducerea tendinței de fisurare la cald, dar și la reducerea plasticității și a rezistenței mecanice. Adaosurile de magneziu măresc duritatea și rezistența la rupere, chiar și la temperaturi mai ridicate, dar micșorează alungirea și proprietățile de turnare. La 1 – 1,5%Mg aliajele se durifică prin îmbătrânire naturală. Adaosurile de mangan măresc rezistența la temperaturi înalte și reduc tendința de formare a fisurilor la cald.

5.2.4. Aliaje aluminiu – magneziu

Aliajele aluminiului cu magneziu fac parte din grupa aliajelor superușoare, au rezistență mecanică bună, se prelucrează bine prin așchiere, au proprietăți superioare de lustruire cu obținerea unui aspect deosebit de frumos după anodizare și posedă o foarte bună rezistență la coroziune.

Dezvoltarea producției de piese turnate din astfel de aliaje este dificilă datorită proprietăților slabe de turnare, dintre care remarcăm: fluiditate redusă, tendință mare de oxidare la elaborare și turnare, precum și tendință ridicată de a forma retasuri, sufluri și fisuri la cald.

La mărirea conținutului de magneziu cresc caracteristicile mecanice, capacitatea de lustruire și rezistența la coroziune în apa de mare sau în soluții slab alcaline, în schimb sudabilitatea și plasticitatea scad.

Din diagrama de echilibru a sistemului Al – Mg, prezentată în figura 5.3. se observă că solubilitatea maximă a magneziului în aluminiu este de 17,4%Mg la temperatura eutectică de 451⁰C și scade la 2,95%Mg la 150⁰C. Eutecticul apare la 34,5%Mg în urma reacției dintre soluția solidă α și compusul intermetalic Al₈Mg₅. Deoarece aliajele cu mai mult de 10–15%Mg sunt foarte fragile și au proprietăți proaste de turnare, ele nu sunt utilizate în tehnică și din acest motiv vom caracteriza doar aliajele de turnătorie cu 3%Mg, 5%Mg, 7%Mg și 9%Mg. La răcirea lentă în forme de nisip, faza β formată pe baza compusului definit Al₈Mg₅ precipită din soluția solidă α sub forma unor rețele celulare continue la limita grăunților care permit pătrunderea agentului de coroziune. Pentru a evita coroziunea intercrystalină aliajul este supus încălzirii timp îndelungat la 530⁰C pentru punerea în soluție a fazei β , apoi este răcit cu viteză mare în apă pentru a menține soluția solidă α suprasaturată în faza β . Rezistența la coroziune se

îmbunătățește prin îmbătrânirea artificială când particulele β separate sub forma unor șiruri de perle fără continuitate sunt înglobate în soluția solidă α .

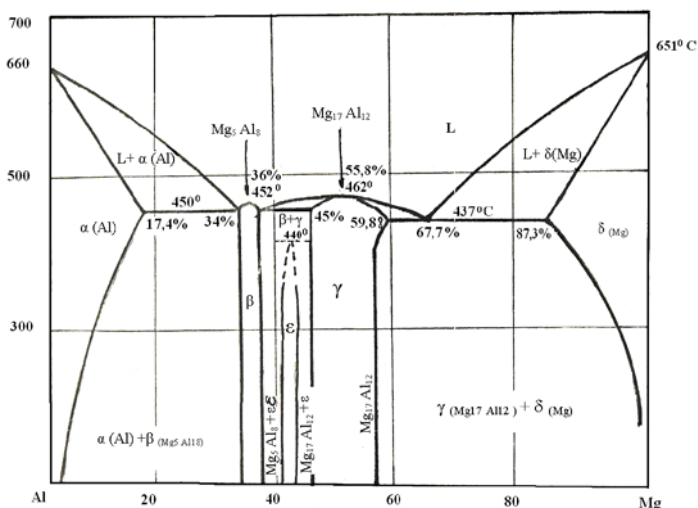


Fig.5.3. Diagrama de echilibru a sistemului Al – Mg[19].

Pentru îmbunătățirea anumitor proprietăți în sistemul binar Al – Mg se fac adaosuri de:

- siliciu pentru mărirea fluidității;
- cupru pentru diminuarea efectului coroziunii intercrystaline;
- zinc pentru mărirea fluidității și a proprietăților mecanice;
- mangan și crom pentru mărirea rezistenței la coroziune;
- nichel și zirconiu pentru creșterea temperaturii de recristalizare;
- titan, tantal și bor pentru modificarea structurii de turnare;
- litiu, ytriu și beriliu pentru diminuarea fenomenelor de oxidare.

Elaborarea și turnarea acestor aliaje se face în condiții speciale datorită reactivității ridicate, fiind necesară folosirea unui strat consistent de fondant sau a unei atmosfere neutre, iar în amestecul de formare de introducerea unor inhibitori, precum sulful și acidul boric.

5.2.5. Caracteristici ale principalelor mărci de aliaje de aluminiu

În România, aliajele aluminiului sunt reglementate de SREN 1706 - 2000, care prezintă o multitudine de mărci recomandate spre utilizare de documentațiile tehnice ale pieselor turnate. În tabelul 5.1. este prezentată simbolizarea și compoziția chimică a unor mărci de aliaje de turnătorie.

Tabelul 5.1. Compoziția chimică a unor aliaje de aluminiu pentru turnătorii[42]

Marca aliajului	Compoziția chimică, [%]											
	Si	Cu	Mg	Ni	Mn	Ti	Impurități, max					
							Fe	Zn	Ni	Pb	Sn	Ti
ATSi18 CuMgNi	16,0- 19,0	0,5- 1,2	0,7- 1,0	0,8- 1,3	0,1- 0,2	0,1- 0,20	0,5	0,2	-	0,05	0,05	-
ATSi12 CuMgNi	11,0- 13,0	0,8- 1,5	1,0- 1,5	0,8- 1,3	0,2- 0,5	0,1- 0,2	0,6	0,2	-	0,05	0,05	-
ATSi12	11,0- 13,0	-	-	-	0,2- 0,5	-	0,6	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15
ATSi10 Mg	9,0- 11,0	-	0,2- 0,5	-	0,2- 0,6	-	0,5	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15
ATSi7 Mg	6,5- 7,5	-	0,2- 0,5	-	0,2- 0,6	-	0,4	0,3	0,05	0,05	0,05	0,2
ATSi6 Cu4	5,0- 7,0	3,0- 5,0	-	-	0,2- 0,6	-	1,0	2,0	0,3	0,2	0,1	0,2
ATSi5 Cu1	5,0- 6,0	1,0- 1,5	-	-	0,2- 0,6	-	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,15
ATCu10 Mg	max 2,0	9,0- 11,0	0,2- 0,4	-	Max 0,5	-	1,0	0,8	0,2	0,05	0,05	0,2
ATCu8	max 1,0	7,0- 8,5	max 0,3	-	Max 0,5	-	0,7	0,5	0,2	0,05	0,05	0,2
ATCu4 Ni2Mg2	max 0,5	3,5- 4,5	1,4- 2,0	1,7- 2,3	max 0,5	-	0,5	0,1	-	0,05	0,05	0,2
ATCu4 MgTi	max 0,3	4,0- 5,0	0,2- 0,4	-	max 0,1	0,1- 0,3	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	-
ATCu4 Ti	max 0,3	4,0- 5,0	-	-	max 0,1	0,1- 0,3	0,4	0,2	0,1	0,05	0,05	-
ATCu4 Si	0,8- 1,1	4,0- 5,0	max 0,05	-	max 0,1	-	0,9	0,2	0,05	0,05	0,05	0,2
ATMg10	max 0,4	Max 0,05	8,5- 10,5	-	0,2- 0,5	-	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,2
ATMg9 Si	0,5- 2,0	Max 0,05	7,5- 10,0	-	0,2- 0,4	-	0,8	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1
ATMg6	max 0,4	Max 0,1	5,5- 7,0	-	0,2- 0,4	-	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,2

Pentru caracterizare au fost alese atât unele aliajele binare cât și aliaje care conțin unul sau mai multe elemente de aliere secundare. Toate elementele din tabelul 5.1. care au conținutul limitat la o anumită valoare maximă trebuie considerate impurități. Conținutul altor impurități, nespecificate în tabel, este de maximum 0,15%, iar aluminiul reprezintă diferența de până la 100%.

Unele caracteristici fizice și tehnologice ale aliajelor care au fost menționate în tabelul 5.1. sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Proprietăți fizice și tehnologice ale unor aliaje de aluminiu pentru turnătorii[42]

Aliajul	Densitatea la 20°C [g/cm ³]	Contractia liniară la solidificare [%]	Temperatura de solidificare [°C]	Temperatura de turnare [°C]	Temperatura maximă de supraîncălzire [°C]
ATSi18CuMgNi	2,60	1,1	575-675	720-780	830
ATSi12CuMgNi	2,72	1,2	520-665	650-750	800
ATSi12	2,65	1,1	575	680-750	820
ATSi10Mg	2,65	1,2	575-585	700-780	830
ATSi7Mg	2,68	1,3	580-610	680-780	790
ATSi6Cu4	2,77	1,3	510-605	680-790	820
ATSi5Cu1	2,67	0,9-1,1	580-630	680-760	710
ATCu10Mg	2,86	1,6	545-600	660-750	780
ATCu8	2,84	1,6	548-610	660-750	780
ATCu4Ni2Mg2	2,82	1,4	510-640	680-750	780
ATCu4MgTi	2,77	1,4	540-640	680-770	800
ATCu4Ti	2,81	1,4	540-650	680-780	800
ATCu4Si	2,80	1,57	550-650	680-790	815
ATMg10	2,55	1,4	500-630	640-700	730
ATMg9Si	2,55	1,4	520-625	640-700	735
ATMg6	2,60	1,4	570-640	640-700	740

Se observă că toate proprietățile aliajelor variază în funcție de natura, concentrația și numărul elementelor de aliere. Între temperaturile de solidificare, de turnare și cele de supraîncălzire există o strânsă corelație, astfel încât să se evite vaporizarea, oxidarea sau gazarea excesivă a aliajului.

Tabelul 5.3. Caracteristici mecanice ale unor aliaje de aluminiu pentru turnătorii[42]

Marca aliajului	Rezistența la tracțiune	Alungirea minimă	Duritatea Brinell
	Min. [daN/mm ²]	Min. [%]	HB min [10/1000]
ATSi18CuMgNi	12-17	0,5	80-95
ATSi12CuMgNi	17-18	1,0	60-70
ATSi12	16-18	2,0-3,0	45-50
ATSi10Mg	15-20	1,0-2,0	50-75
ATSi7Mg	13-20	1,0-2,0	55-75
ATSi6Cu4	15-17	1,0	70
ATSi5Cu1	15-22	0,5-1,0	50-75
ATCu10Mg	15-17	1,0	80-100
ATCu8	14-16	1,0	70-90
ATCu4Ni2Mg2	15-22	0,5	70-85
ATCu4MgTi	20-22	0,5	70-85
ATCu4Ti	27-29	3-5	85-95
ATCu4Si	11-24	6-2	50-75
ATMg10	25-35	8-12	80-90
ATMg9Si	19-27	1-3	60-80
ATMg6	16-19	2-5	55-70

Valorile din tabelul 5.3 reprezintă valorile minime pentru piesele turnate în amestec, prima cifră referindu-se la starea netratată termic iar a doua la starea tratată termic.

Utilizarea diferitelor mărci de aliaje de aluminiu este opțională în funcție de caracteristicile mecanice și tehnologice cerute, de elementele avute la dispoziție și de considerente legate de prețul de cost.

5.3. ELABORAREA ALIAJELOR DE ALUMINIU

Pentru majoritatea aliajelor de aluminiu turnate, regulile tehnologice de elaborare sunt comune, în principal urmărindu-se obținerea unui randament energetic cât mai ridicat, protecția împotriva gazelor și a impurităților, o dezoxidare și o rafinare cât mai avansată pe parcursul unei durate de elaborare cât mai scurte.

Procesul tehnologic de elaborare a aliajelor constă dintr-o serie de operații: pregătirea utilajului de topire și a sculelor, pregătirea încărcăturii și introducerea acesteia în cuptor, topirea, prelucrarea metalurgică a metalului

lichid etc., iar calitatea aliajului lichid și a piesei turnate este dependentă de efectuarea corectă a acestor operații. Elaborarea aliajelor de aluminiu, poate să se realizeze atât în cuptoare cu creuzet din grafit, fontă sau oțel cât și în cuptoare cu vatră. În cazul elaborării în creuzete dintr-un aliaj feros trebuie luate măsuri de evitare a impurificării aluminiului cu fier. Pentru aceasta înaintea fiecărei topiri creuzetul din fontă sau oțel, precum și sculele utilizate, se vor acoperi cu o vopsea refractară de protecție după ce au fost încălzite la 150-200°C, și apoi uscate la temperatura de 250-300°C. Se recomandă utilizarea uneia din următoarele rețete de vopsele refractare[25]:

- 25% cretă + 25% oxid de zinc + 5% silicat de sodiu + 45% apă fierbinte;
- 15% talc + 5% silicat de sodiu + 80% apă;
- 5% silicat de sodiu + 25-35% grafit + 60-70% apă;
- 50% grafit sau caolină + 5% silicat de sodiu + 45% apă;

În cazul elaborării aliajelor de aluminiu este important să se cunoască o serie de fenomene care se produc pe durata acestei operații, precum și modul de recunoaștere și dirijare a lor[18]:

- *Oxidarea*. Se știe că aluminiu are o mare afinitate față de oxigen cu care în stare solidă formează un strat de câțiva microni de Al_2O_3 , iar în stare lichidă ceva mai gros, însă foarte etanș. Greutatea specifică a Al_2O_3 este puțin mai mare ca a aluminiului, cca. 3,5 g/cm³, însă datorită tensiunii superficiale mai mari el rămâne în suspensie sau la suprafața topiturii, existând riscul introducerii lui în baia metalică de unde se va îndepărta greu. Dacă este necesară amestecarea băii, atunci această operație se va face numai după îndepărtarea acestui strat de oxizi. Alte tipuri de oxizi sau alte incluziuni (carburi, nitruri, fosfuri) se formează rar și în cantități mici.

- *Absorbția gazelor*. Aluminiul și aliajele aluminiului solubilizează cantități mari de hidrogen și nesemnificative de alte gaze. Cantitatea de hidrogen absorbită crește cu temperatura, iar sursele sunt: atmosfera

cupătorului, impuritățile și umiditatea din încărcătură sau fondanți. De aceea acestea trebuie uscate la 300-400°C. Determinarea nivelului de gazare este obligatorie și se face empiric cu „proba cu bule” expusă în subcapitolul 2.5.3.

- *Fondanții* sunt folosiți pentru:

- Limitarea pierderilor de metal din baie;
- Dezoxidarea și degazarea băii metalice;
- Rafinarea băii metalice;
- Modificarea structurii de turnare.

Avându-se în vedere temperatura relativ scăzută la care se găsește aluminiu în stare topită (700-800°C), fondanții utilizați trebuie să aibă și ei temperaturi de topire joase (500-650°C). De aceea se acordă o mare atenție la prepararea fondanților care nu sunt produși de firme specializate.

Pentru limitarea pierderilor de metale din baie aceasta trebuie acoperită. Oxizii care, în general, se ridică la suprafață se îndepărtează înainte de turnare. Dacă oxizii formează zguri viscoase atunci ei vor antrena la evacuare și anumite cantități de aliaj, sub formă de picături. Din acest motiv se recomandă utilizarea unor fondanți care să fluidizeze zgura sau care să permită recuperarea metalului din oxizi prin reducere.

- *Dezoxidarea*. Constă în dizolvarea Al_2O_3 , care în general este foarte rezistent chimic și are temperatură înaltă de topire. Cea mai mare capacitate de dizolvare chimică a Al_2O_3 o au fluorurile și din această cauză fondanții dezoxidanți conțin aceste substanțe. Cei mai utilizați sunt cei care conțin: Na_2AlF_6 , KCl, CaF_2 , NaCl, NaF etc. prezențați în tabelele 2.5 și 2.6.

- *Degazarea*. Se face atât prin utilizarea fondanților cât și prin alte metode cum ar fi presolidificarea. Fondanții cei mai utilizați sunt cei care introduși în aliajul lichid fierb la temperaturi joase și apoi se desorb odată cu celelalte incluziuni gazoase sub formă de bule de gaz. În acest scop se utilizează fondanții pe bază de cloruri: C_2Cl_6 , BCl_3 , KCl, $MnCl_2$, $ZnCl_2$ etc.

Presolidificarea se bazează pe variația solubilității hidrogenului cu temperatura. Pentru aceasta metalul protejat se răcește în creuzet până în preajma temperaturii de solidificare, timp în care va pierde o mare cantitate de hidrogen, și apoi se va încălzi foarte rapid până la temperatura de turnare.

- *Rafinarea.* Se execută ori de câte ori este nevoie, utilizând fie fondanții recomandați în tabelul 2.6, fie gaze, dintre care azotul și clorul sunt cele mai folosite. Dacă azotul are o acțiune pur mecanică, clorul reacționează și chimic fapt ce face ca uneori cele două gaze să fie utilizate concomitent. Introducerea lor se face cu ajutorul unor lănci speciale din țevă de oțel, racordate la butelia sub presiune printr-un furtun și reducător de presiune.

- *Modificarea.* Urmărește ca prin inocularea unor cantități infime de elemente să se obțină anumite structuri metalografice sau să se preîntâmpine anumite anomalii structurale. Modificarea este ultima operație înaintea turnării. Cei mai importanți modificatori sunt: sodiul (0,08-0,1%), borul (0,01-0,05%), titanul (0,08-0,15%), fosforul (0,02-0,06%) etc.

La elaborarea aliajelor de aluminiu se utilizează:

- Aluminiu tehnic primar, SREN 576 - 2004;
- Aliaje de aluminiu sub formă de blocuri, SREN 1676 - 1998;
- Prealiaje de aluminiu: Al-Cu, Al-Si, Al-Ni, Al-Mg, Al-Mn etc.;
- Deșeuri de aluminiu tehnic provenit de la demontări electrotehnice;
- Deșeuri de aluminiu de la ștanțări și ambutisări, chimic cunoscute;
- Șpan de aluminiu, brichetat, cu compoziția chimică cunoscută;
- Diverse piese rebut, cu compoziție chimică cunoscută;
- Deșeuri proprii: rebuturi, maselote, rețele de turnare;
- Fondanți preparați sau achiziționați.

Elaborarea poate să decurgă fie plecând de la materiale pure, fie făcând o retopire însoțită de corecțiile de rigoare. Calculul încărcăturii se face pe același principiu expus în subcapitolele 5.2.4 și 5.3.4, iar constituirea

încărcăturii va avea aceleași rigori expuse mai sus. Ordinea de încărcare va ține seama de componența predominantă a încărcăturii, de mărimea bucăților metalice și de fuzibilitatea componentelor.

La elaborarea aliajelor de aluminiu sunt parcurse următoarele etape:

1. Curățirea creuzetului cuptorului;
2. Încălzirea creuzetului până la temperatura de 150-200°C;
3. Acoperirea cu vopsea refractară a creuzetului și a sculelor;
4. Uscarea vopselei refractare de pe creuzet și scule la 250-300°C;
5. Încălzirea la roșu (700-800°C) a creuzetului;
6. Introducerea pe fundul creuzetului a fondanților de acoperire și a bucăților metalice. Fondantul de acoperire se va alege de către executant, funcție de recomandările de mai sus, iar cantitatea lui va fi stabilită astfel încât să acopere suprafața băii metalice cât mai bine. Se poate utiliza cca 0,5% flux I-2 sau 0,5-1% amestec de 50% KCl + 40% Na₂AlF₆ + 10% CaF₂. Bucățile de metal mai ușor de topit se așează la fund, iar cele mari deasupra (în cazul creuzetului). Dacă topirea se face în cuptor cu vatră, ordinea de încărcare va fi asemănătoare cu cea de la 5.2.4 și 5.3.4. Topirea se face rapid, într-o atmosferă neutră sau slab reducătoare;

7. Se va completa încărcătura cu bucățile mai mici de material metalic neintroduse inițial, sau cu brichete de șpan de aluminiu. În cazul folosirii șpanului de aluminiu se va utiliza un fondant de acoperire cu un conținut ridicat de fluoruri. Restul de încărcătură mărunță, preîncălzită la minim 200°C, se imersează după topirea completă a încărcăturii inițiale;

8. Se continuă topirea și se completează stratul de fondant acoperitor, până ce temperatura băii a ajuns la 740-750°C;

9. Se îndepărtează zgura formată la topire și se dezoxidează baia metalică prin adăugarea altei porții de fondant de dezoxidare, de exemplu

0,5% flux I-2 sau alt fondant. Fondantul se imersează cu ajutorul unui clopot pe fundul creuzetului și se așteaptă 4-5 minute pentru desăvârșirea reacției;

10. Elementele de aliere necesare corectării compoziției chimice se introduc sub formă de prealiaj, în stare preîncălzită, și se mențin sub stratul de zgură format. Temperatura băii va fi suficient de ridicată (750-780°C) pentru a nu se răci prea mult după introducerea prealiajelor;

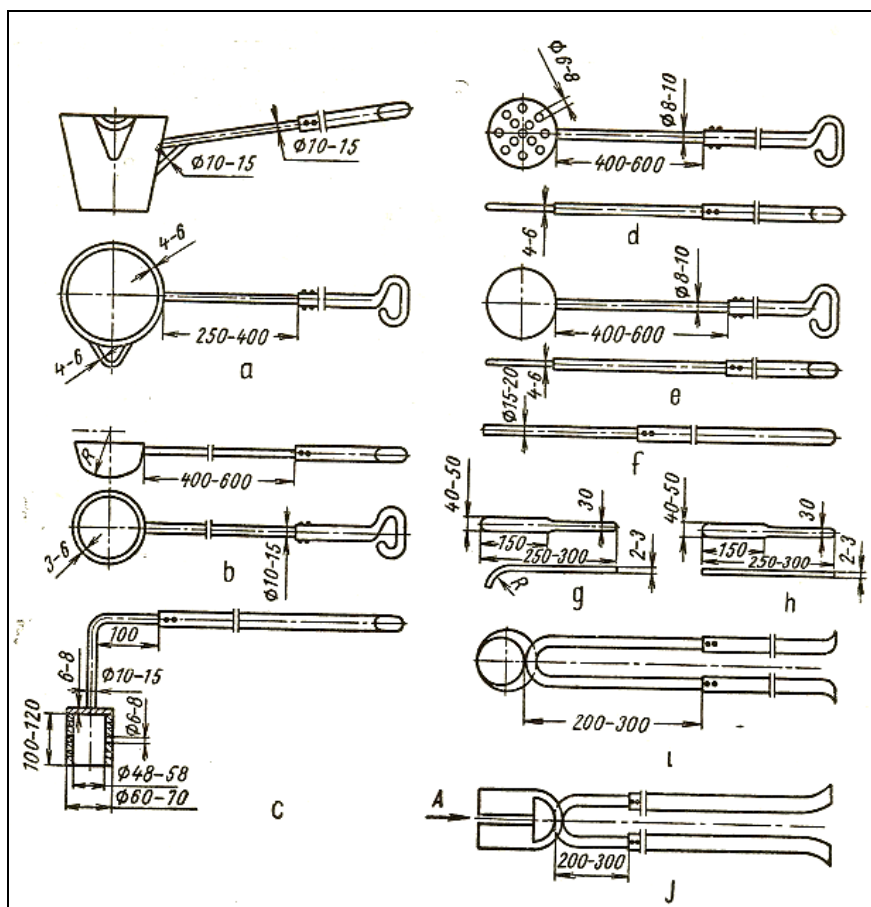


Fig. 5.4. Scule utilizate la topirea și turnarea aliajelor de aluminiu[25].
a – oală de turnare; b – lingură de turnare; c – clopot;
d și e – colector de spumă; f – amestecător; g și h – curățitori; i și j – clești.

11. După o așteptare de 4-5 minute, în scopul desăvârșirii reacției și degazarea totală a băii metalice, se va efectua modificarea aliajului. În acest

scop se poate folosi fie 1% ALSIM pulbere, fie 0,25% AFINAL, fie 0,02-0,04% sodiu sau alt modificator. Acesta se va introduce pe fundul băii cu ajutorul clopotului, la temperatura băii de 730-760°C în funcție de aliaj;

12. Se menține aliajul timp de 5-8 minute pentru desăvârșirea modificării și eventual se amestecă baia fără a produce barbotare;

13. Se trage zgura formată pe suprafața băii metalice.

14. Se evacuează metalul în oala de turnare încălzită la temperatura de 500-600°C în cazul celor cu zidărie refractară, sau 250-300°C în cazul oalelor metalice. La stabilirea temperaturii de evacuare din cuptor se va ține cont de pierderile de la transvazare, de timpul de menținere și de condițiile de turnare (materialul formei de turnare, geometria și mărimea piesei etc.).

Sculele utilizate la topirea și turnarea aliajelor de aluminiu sunt confecționate din oțel carbon redus, și sunt prezentate schematic în fig. 5.4.

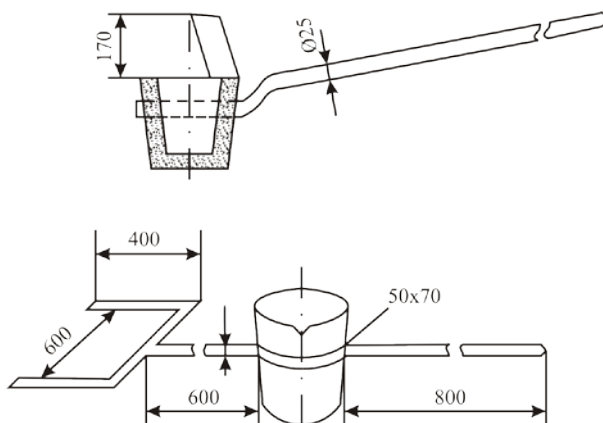


Fig. 5.5. Oale de turnare; a – oală de mână, b – oală de furcă

Oalele de turnare de capacități mai mari se vor căptuși cu material refractar și în general execuția lor se va face în conformitate cu prevederile normelor interne în vigoare. Principial oalele de turnare cu capacități de până la 50Kg sunt prezentate în fig. 5.5 ; ele pot fi utilizate atât la turnarea aliajelor de aluminiu cât și la turnarea aliajelor de cupru[43].

CAP. VI. PLUMBUL, STANIUL SI ALIAJELE LOR

Plumbul și staniul sunt metale moi, ușor fuzibile, cu o bună rezistență la coroziune, care au largi aplicații atât sub formă de metal cât și de aliaj.

6.1. PLUMBUL

Plumbul este situat în grupa a IV-a principală, are numărul de ordine 82, raza atomică 1,75Å, masa atomică 207,2 și cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate fără să prezinte transformări alotropice.

Principalele caracteristici fizico-mecanice și tehnologice ale plumbului sunt[20;29]:

- greutatea specifică la 20 ⁰ C	11,34 daN/dm ³ ;
- căldura specifică la 0 ⁰ C	0,03 cal/g;
- conductivitatea termică	0,083 cal/cm.s. ⁰ C;
- conductivitatea electrică	8,3% IACS;
- rezistivitatea electrică la 20 ⁰ C	20,648 μΩ .cm;
- temperatura de topire	327,4 ⁰ C;
- temperatura de fierbere	1744 ⁰ C;
- rezistența la rupere la tracțiune	1,1 – 1,3 daN/mm ² ;
- alungirea relativă	30 – 40%;
- duritatea Brinell	3,2 – 4,5 daN/mm ² ;
- temperatura de turnare	445 – 480 ⁰ C;
- contracția la turnare	3,5%.

Din punct de vedere chimic plumbul este un metal slab activ cu o bună rezistență la acțiunea apelor reziduale, a acidului sulfuric și clorhidric concentrat, dar se dizolvă în acizii organici și acidul acetic diluat, iar umiditatea atmosferică îl corodează.

Plumbul este utilizat ca atare doar pentru aplicații anticorozive și de protecție împotriva radiațiilor, iar sub formă aliată pentru aplicații tribologice și de lipire a metalelor.

6.2. STANIUL

Staniul este situat în grupa a IV-a principală, are numărul de ordine 50, raza atomică 1,58Å, masa atomică 118,7 și prezintă două stări alotropice:

- staniul β , sau staniul alb, stabil la temperaturi mai mari de 13,2⁰C, cu structură cristalină tetragonală și caracteristici metalice;

- staniul α , sau staniul cenușiu, stabil la temperaturi mai mici de 13,2⁰C, cristalizează în sistemul cubic tip diamant și are proprietăți de semiconductor.

Transformarea staniului metalic în staniu cenușiu are loc cu o mare variație de volum, fenomenul fiind cunoscut sub denumirea de „ciuma staniului”. Viteza de transformare crește la scăderea temperaturii, ajungându-se ca la mai puțin de – 40⁰C metalul să se pulverizeze. Această transformare este îngreunată și chiar anulată de prezența în anumite proporții a unor impurități.

Principalele caracteristici fizico-mecanice și tehnologice ale staniului sunt[20;29]:

	staniu β	staniu α
- greutatea specifică la 20 ⁰ C, în daN/dm ³	7,298	5,85
- căldura specifică la 0 ⁰ C, în cal/g	0,054	-
- conductivitatea termică, în cal/cm.s. ⁰ C	0,157	-
- conductivitatea electrică, în % IACS	15	
- rezistivitatea electrică la 20 ⁰ C, în $\mu\Omega$.cm	11,5	
- temperatura de topire sau transformare, în ⁰ C	231,9	13,2
- temperatura de fierbere, în ⁰ C	2270	
- rezistența la rupere la tracțiune, în daN/mm ²	1,9 – 2,1	

- alungirea relativă, în%	35 - 60
- duritatea Brinell, în daN/mm ²	4,9 – 5,2
- temperatura de turnare, în °C	350 - 400
- contracția la turnare, în %	2,8

Din punct de vedere chimic staniul este un metal slab activ cu o bună rezistență la coroziune atât în atmosfera uscată cât și în cea umedă. În contact cu oxigenul staniul formează o peliculă superficială densă și rezistentă de SnO₂ care frânează oxidarea în profunzime.

Staniul este utilizat ca atare doar pentru aplicații anticorozive, iar sub formă aliată pentru aplicații tribologice și de lipire a metalelor.

6.3. ALIAJELE PLUMBULUI ȘI STANIULUI

Datorită toxicității plumbului domeniul larg de aplicații al aliajelor acestor metale s-a restrâns în ultimii ani, astfel că astăzi cele mai utilizate sunt aliajele de lipit și aliajele antifricțiune.

6.3.1. Aliaje de lipit

Aliajele de lipit trebuie să aibă temperatură joasă de topire, proprietăți bune de umectare, capacitate de difuzie, fluiditate ridicată, rezistență bună la coroziune etc[20]. În afara aderenței foarte bune și a rezistenței de contact cât mai mici pe care trebuie să o aibă față de metalele supuse lipirii, aceste aliaje trebuie să fie inerte față de agenții de coroziune și să aibă conductibilitatea electrică ridicată atunci când se utilizează la lipirea conductorilor electrici. Cele mai răspândite aliaje utilizate până în prezent la lipirea oțelurilor, a cuprului, a bronzurilor, a alamelor, a aluminiului și a aliajelor sale, a metalelor și aliajelor cu sticla sau ceramica, sunt cele din sistemele: Sn – Pb; Sn- Pb – Cd; Sn – Pb – Zn.

În sistemul staniu - plumb cele două metale sunt total miscibile în stare lichidă, iar în stare solidă solubilitatea maximă corespunde temperaturii eutectice de 183°C la care solubilitatea staniului în plumb este de 19,2%, iar a plumbului în staniu de 2,5%. Conform diagramei de echilibru din figura 6.1. la scăderea temperaturii domeniul soluțiilor solide α și β se îngustează astfel că la temperatura mediului ambiant este de 1,9% Sn, respectiv 0,4% Pb.

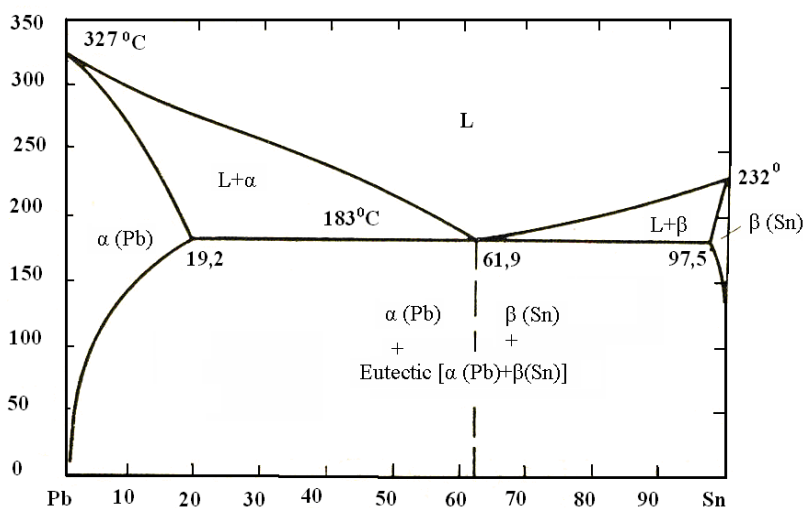


Fig.6.1. Diagrama de echilibru a sistemului plumb-staniu[16].

Eutecticul care se formează la temperatura de 183°C conține 61,9%Sn și 38,1%Pb.

Cele mai bune dar și cele mai scumpe sunt aliajele cu 90 – 98%Sn, care au temperatura de topire de cca 225°C , fluiditatea ridicată și o bună stabilitate la coroziune. Conținutul redus de plumb face posibilă utilizarea acestor aliaje și în scopuri mai sensibile cum sunt cele din domeniul utilajului alimentar sau aparaturii medicale. Tendința actuală de înlocuire a aliajelor care conțin plumb va conduce probabil la creșterea importanței acestei categorii de aliaje.

Aliajele eutectice cu 60 – 65%Sn au temperatura de topire de cca 185°C , cea mai scăzută din acest sistem, fluiditatea cea mai bună și rezistența

la coroziune ridicată. Datorită proprietăților superioare și a prețului de cost mai scăzut acestea au fost cele mai folosite aliaje de lipit până în prezent.

Aliajele cu 30 – 50%Sn sunt mai ieftine dar au proprietăți mai slabe, iar conținutul ridicat de plumb le face mai puțin atractive pe piața actuală.

Adaosurile mici de Sb în aliajele binare Sn – Pb conduc la mărirea rezistenței și a durității lipiturii, însă la procente mai ridicate (de peste 4 – 6%Sb) lipitura devine fragilă, oxidabilă și corozivă.

În sistemul ternar Sn – Pb – Cd, la temperatura de 145⁰C se formează eutecticul cu 50%Sn, 32%Pb și 18%Cd. Această compoziție are proprietăți de lipire și caracteristici mecanice superioare aliajelor binare.

6.3.2. Aliaje antifricțiune

Aliajele din care se fabrică cuzineții pentru lagăre sunt cunoscute sub denumirea de *aliaje antifricțiune*, și în acest scop, ele trebuie să îndeplinească anumite condiții. În primul rând trebuie să asigure un coeficient de frecare cât mai redus, ceea ce se realizează dacă aliajul este mai dur, însă, un cuzinet prea dur ar putea determina uzura prematură a axului ceea ce impune ca duritatea aliajului antifricțiune să fie mult mai mică decât cea a axului. În al doilea rând, aliajul trebuie să permită „acomodarea” axului, adică să capete configurația axului și să-i permită acestuia să ia săgeata de încovoiere pe care o impun condițiile de exploatare, ceea ce presupune ca aliajul să fie cât mai moale și plastic.

Rezolvarea acestor condiții contradictorii (și moale și dur în același timp) se realizează prin utilizarea unor aliaje cu o masă metalică eterogenă, alcătuită dintr-o bază moale (metal pur, soluție solidă sau eutectic) în care să se găsească constituenți structurali duri, uniform distribuiți.

În afara acestor cerințe, aliajele pentru cuzineți trebuie să aibă o bună aderență la lagăr și să nu adere pe ax, să aibă rezistență la compresiune, o

bună rezistență la coroziune în prezența uleiului și unsoarelor, o bună conductibilitate termică și rezistență la uzură în condițiile de lucru date.

În tabelul 6.1 sunt prezentate compozițiile aliajelor antifricțiune cu o mai mare utilizare în tehnică.

Tabelul 6.1. Principalele mărci de aliaje antifricțiune și compoziția lor chimică[42]

Marca aliajului	Compoziția chimică, %					Impurități, % max				
	Sn	Sb	Cu	Pb	Altele	Zn	Fe	Al	As	Bi
Y-Sn89	88-90	7-8	3-4	max 0,35	-	0,05	0,10	0,05	0,10	0,01
Y-Sn83	82-84	10-12	5,5-6,5	max 0,5	-	0,05	0,10	0,05	0,12	0,05
Y-Sn80	79-81	11-13	5-7	1-3	-	0,05	0,10	0,05	0,12	0,05
Y-Sn10	9,5-12	14,5-16,5	0,5-1,5	Rest	-	0,05	0,10	0,05	0,12	0,05
Y-PbSn 6Sb6	5,5-6,5	5,5-6,5	max 0,20	Rest	-	0,05	0,10	0,05	0,12	0,05
Y-PbSn 6Cd	5,5-6,5	16-18	Max 0,05	Rest	As: 0,7-0,8 Cd: 0,8-0,9 Ni: 0,8-1,1	0,10	0,10	0,05	-	0,10
Y-PbSn5	4,0-5,5	9-12	0,3-0,6	Rest	-	0,05	0,10	0,05	0,12	0,05
Y-Pb98	-	-	Max 0,09	Rest	Ca: 0,65-0,72 Na: 0,58-0,66 Al: 0,02-0,04 Mg: 0,22-0,25	0,05	0,10	-	0,12	0,10
Y-AlSb5	-	4,0-5,5	Max 0,008	-	Mg: 0,30-0,70 Al:Rest	0,08	0,25	-	-	-

Aliajele antifricțiune pe bază de staniu sau plumb sunt considerate printre cele mai bune materiale metalice pentru lagăre, fiind caracterizate prin: temperatură de topire scăzută, bune proprietăți de turnare, rezistență ridicată la compresiune și uzură, conductibilitate termică suficientă și o bună aderență pe suprafața lagărului. În afara acestora mai sunt cunoscute și alte aliaje antifricțiune pentru aplicații specifice. În general aliajele antifricțiune sunt cunoscute și sub denumirea de „babbit”-uri: cu staniu, cu plumb, cu staniu și stibiu, cu plumb și stibiu, cu staniu, stibiu și cupru, cu staniu, plumb și stibiu etc. și sunt reglementate de STAS 202-80 și STAS 672-80.

Obținerea de astfel de aliaje reclamă alegerea compozițiilor chimice corecte și a condițiilor de turnare care să favorizeze formarea constituenților duri, uniform distribuiți și intim integrați în masa de bază moale.

6.3.2.1. Aliaje antifricțiune pe bază de staniu

Aliajele din grupa staniu-stibiu sunt cele mai bune materiale antifricțiune. Conform diagramei de echilibru din figura 6.2. în acest sistem se formează o soluție solidă α pe bază de staniu, o soluție solidă β pe baza compusului SnSb și un compus intermetalic dur, sub formă de cuburi, SbSn. Solubilitatea în stare solidă a stibiului în staniu este de 10,5%Sb la 246⁰C și scade la 2,2%Sb la 20⁰C. Din acest motiv conținutul de Sb trebuie să fie mai mare de 3% pentru a avea proprietăți de alunecare, dar mai puțin de 17% pentru a preveni durițările mari și fragilitatea ridicată.

Adaosurile de cupru în aliajele Sn-Sb contribuie la îmbunătățirea proprietăților antifricțiune prin formarea de noi faze intermetalice precum Cu₂Sb sau Cu₈Sn₅ care împiedică separarea prin licuație a compusului SnSb și contribuie la o distribuție mai fină și uniformă a acestuia. Se va obține o structură eterogenă formată din compuși duri Cu₈Sn₅ (sub formă de ace) și

SbSn (sub formă de cuburi), distribuți uniform într-o fază moale de eutectic Cu-Cu₈Sn₅-SnSb.

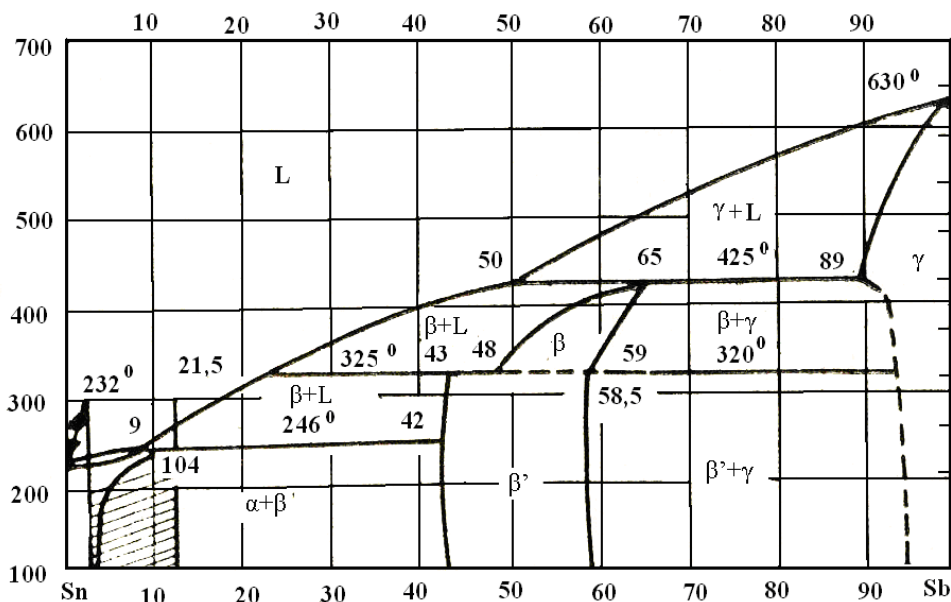


Fig. 6.2. Diagrama de echilibru în sistemul staniu-stibi[20].

Plumbul este limitat la 0,25-0,50% deoarece favorizează segregăția și micșorează aderența pe suport. O influență similară cu cea a plumbului au *zincul, aluminiul sau bismutul*.

Fosforul și magneziul, folosite uneori la dezoxidare, nu sunt dăunătoare, iar cadmiu îmbunătățește proprietățile antifricțiune.

6.3.2.2. Aliaje antifricțiune pe bază de plumb

Aliajele pe bază de plumb sunt grupate în două categorii mari :

- Aliaje pe baza sistemelor Pb-Sn, Pb-Sb-Sn sau Pb-Sb-Sn-Cu;
- Aliaje pe baza sistemelor Pb – metale alcaline și Pb – metale alcalino-pământoase.

În cazul primului sistem de aliaje faza moale este eutecticul cu 87% Pb și 13% Sb, iar componenții duri sunt cristalele de Sb nedizolvate în

eutectic și combinațiile intermetalice Cu_2Sb , Cu_8Sn_5 , SbSn etc. Utilizarea acestui sistem de aliaje este limitată din cauza tendinței mari de segregare, a proprietăților mecanice scăzute și a rezistenței reduse la temperaturi ridicate.

În cazul celui de-al doilea sistem de aliaje ale plumbului, prin alierea cu metale alcaline sau alcalino-pământoase se produce o durificare a plumbului ca urmare a formării unor compuși intermetalici și tipul Pb_3Ca , PbCa , Pb_3Na , PbNa , PbNa_2 , PbLi , Pb_3Ba , Pb_3Sr , PbMg_2 etc. Aceste aliaje sunt utilizate în condiții de lucru la care temperatura de funcționare nu depășește $150\text{ }^\circ\text{C}$, având bune proprietăți anticorozive și o fragilitate scăzută. Se caracterizează prin capacitatea de autoîmbătrânire, după 4-6 zile obținându-se duritatea de 30-37 HB.

6.3.2.3. Elaborarea aliajelor antifricțiune

Depunerea aliajelor antifricțiune pe suporturi de oțel sau din alt material se face de regulă prin topirea acestor aliaje deja turnate sub formă de blocuri, elaborate anterior din elemente. Acest lucru favorizează omogenitatea structurală și chimică a aliajului știindu-se că în componența lui sunt elemente cu miscibilitate redusă sau chiar nemiscibile.

Elaborarea acestor aliaje se va face în cuptoare cu creuzet adânc, încălzite electric sau cu combustibil gazos.

1. Creuzetul va fi bine curățat și încălzit la $400\text{-}450\text{ }^\circ\text{C}$;
2. Pe fundul lui se va încălca un strat de cărbune de lemn, bine mărunțit și uscat, astfel încât să poată acoperi uniform baia de lichid care se va forma;
3. Se încarcă cca. $2/3$ din cantitatea de staniu sau plumb calculată (ca element cu ponderea cea mai mare în compoziția chimică a aliajului) și eventual deșeurile proprii din același tip de aliaj;

4. Se supraîncălzește topitura până la 530-550°C și se adaugă prealiaj de SnSb50 și CuSn25, conform calculului de șarjă, pentru a acoperi cantitatea de stibiu și de cupru necesară, precum și pierderile prin oxidare;

5. Se readuce temperatura băii la cca. 480°C și se adaugă celelalte elemente sub formă de prealiaj în stare încălzită;

6. Se omogenizează baia și se toarnă sub formă de lingouri mici în lingotiere metalice. Forma acestor lingouri nu are importanță decât prin prisma dimensiunilor și a posibilităților de rupere în vederea retopirii într-un creuzet de dimensiuni mici;

7. Retopirea aliajelor antifricțiune se va face în aceleași condiții ca și elaborarea primară, adică în creuzete adânci, bine încălzite, sub un strat protector de mangal mărunțit.

La retopire se vor evita supraîncălzirile peste 490-520°C care ar conduce la oxidarea avansată a elementelor, la mărirea contracției și uneori la mărirea granulației ceea ce va provoca „stricarea” aliajului.

Dezoxidarea se va executa cu fosfor sau magneziu sub forma unor prealiaje cu temperatură de topire scăzută.

Rafinarea se realizează cu clorură de amoniu, adăugată în proporție de 0,5-0,6% pe fundul creuzetului cu ajutorul unui clopot. Dacă timpul de menținere în stare lichidă este mai mare, la cca. o oră de menținere se va repeta rafinarea. Tot pentru rafinare se poate utiliza cca. 0,5% aliaj Sn-P cu 3-5% fosfor.

Temperatura de turnare a aliajului va fi de cca. 380°C, temperatura cazineților va fi de 250-270°C, iar temperatura cochilei de 150-200°C.

Turnarea aliajelor antifricțiune pe suportii lagărului se face fie static, fie centrifugal, după o pregătire prealabilă a suportilor.

6.3.2.4. Turnarea aliajelor antifricțiune

Aderența stratului de aliaj turnat pe cuzineții din bronz, oțel sau fontă, cât și proprietățile de antifricțiune ale cuzineților, depind de tehnologia și metoda utilizată la turnarea cuzinetului, de topirea corectă a aliajului și de modul în care a fost pregătită suprafața cuzinetului în vederea turnării. O comportare foarte bună la turnarea aliajului antifricțiune o au suportii de oțel și de bronz și mult mai proastă suportii de fontă la care este necesară acoperirea electrolică cu un strat de fier a suprafeței active a acestora.

Majoritatea cuzineților folosiți se recondiționează prin topirea stratului vechi de aliaj antifricțiune, curățirea suprafeței, cositorirea și apoi returnarea stratului de aliaj.

Topirea stratului vechi de aliaj antifricțiune se realizează cu un arzător de gaz sau chiar în creuzetul de topire.

Starea suprafețelor de depunere trebuie să fie cât mai netedă în cazul suportilor de oțel sau rugoasă în cazul suportilor din fontă.

Pentru îndepărtarea urmelor de oxidare sau de grăsimi[18], suportii se spală cu soluții apoase de acid clorhidric sau acid sulfuric (5% pentru suportii de oțel sau bronz și 20% pentru suportii de fontă), urmată de spălarea îndelungată în apă fierbinte (90-95 °C).

Rămășițele de acid și urmele de grăsimi (resturi de lubrifiant) se îndepărtează într-o soluție fierbinte de 10% hidroxid de sodiu (sodă) în apă, urmată din nou de spălarea în apă fierbinte. Se va acorda o atenție deosebită suprafețelor profilate (adâncituri, caneluri etc.), unde pot rămâne astfel de impurități.

Suprafețele astfel pregătite se acoperă, prin pensulare sau prin scufundare, cu o soluție de clorură de zinc cu un adaos de 5% clorură de amoniu, după care se acoperă cu staniu (se cositoresc).

În cazul suporturilor din fontă se va folosi pentru acoperire[18] un amestec de 35-40% clorură de zinc, 12-15% clorură de amoniu și 1-2% clorură de sodiu (sau fluorură de sodiu) topit la 300-350°C. Cuzineții se încălzesc la 300°C și se scufundă în baia de cloruri topite.

Acoperirea cu staniu se poate face fie prin scufundarea suportului timp de 5 - 7min în staniu topit la 300-320°C, fie folosind produsul „PASTOLIP”. Suprafețele ce nu trebuie acoperite cu staniu se vopsesc la cca. 80°C cu o vopsea antiaderentă compusă din 2 părți praf de cretă, 2 părți silicat de sodiu și o parte apă.

Suprafața de turnare a aliajului antifricțiune trebuie să prezinte o peliculă netedă, continuă și aderentă de staniu. În acest caz se recomandă turnarea stratului de aliaj fără să se mai reîncălzească cuzinetul, pentru a nu oxida staniul, ceea ce ar înrăutăți aderența. Temperatura suporturilor în momentul turnării trebuie să fie cuprinsă între 250-200°C.

Turnarea centrifugă a cuzineților prezintă avantajul că direcția de evacuare a căldurii este înspre suportul din oțel, ceea ce favorizează deplasarea frontului de solidificare dinspre suprafața de separație suport-strat de aliaj, spre suprafața opusă conferind o bună aderență și lipsa golurilor.

Depășirea temperaturii de încălzire a aliajului antifricțiune poate conduce la apariția unei granulații mari în structura aliajului înrăutățindu-i proprietățile.

În general, un cuzinet turnat cu un aliaj bogat în staniu are o culoare argintie cu irizări caracteristice de culoare aurie. Apariția culorii galbene indică o supraîncălzire a aliajului turnat.

CAP. VII. TRATAMENTE TERMICE APLICATE ALIAJELOR NEFEROASE

În mod obișnuit, aliajele neferoase cu bază de cupru și cu bază de aluminiu nu sunt tratate termic, piesele turnate putând fi utilizate în starea în care se găsesc după turnare.

Atunci când se urmărește obținerea anumitor caracteristici, sau în cazul unor piese cu răspundere ridicată, este indicat să se efectueze tratamente termice primare.

Tratamentul termic reprezintă un ciclu de operații succesive de încălziri și răciri și se bazează pe procese și transformări ce au loc în stare solidă, cum ar fi: difuzia, transformările de fază, transformarea sau ordonarea rețelei cristaline etc. având drept scop final îmbunătățirea caracteristicilor piesei turnate.

Factorii principali care determină caracterul tratamentului termic sunt temperatura și timpul, iar parametrii principali care determină regimul de tratament termic sunt[42;50]:

- timpul de încălzire;
- viteza de încălzire;
- durata de menținere la temperatura de încălzire;
- viteza de răcire.

În general, având în vedere cei doi factori principali, timp și temperatură, în funcție de aliajul ce trebuie tratat termic și de ce se dorește să se obțină, se stabilește o diagramă (un grafic) de tratament termic, în coordonatele timp și temperatură, cu precizări legate de viteza de încălzire, durata de menținere, viteza de răcire și mediul de răcire.

7.1. TRATAMENTE TERMICE ALE ALIAJELOR CUPRULUI

Scopul tratamentelor termice aplicate aliajelor cuprului sunt fie de a îmbunătăți proprietățile de exploatare mecanice și fizico-chimice, fie de a ușura celelalte procese tehnologice de obținere a pieselor din aceste aliaje.

Aliajelor de cupru li se pot aplica următoarele tipuri de tratamente termice[20;42;50]:

- Recoaceri, cu scopul de a aduce aliajul în stare de echilibru atât din punct de vedere structural cât și al tensiunilor interne;
- Căliri de punere în soluție, cu scopul de a obține structuri în afară de echilibru care conferă proprietăți speciale aliajelor;
- Reveniri aplicate în urma călirilor, cu scopul de a readuce aliajul spre starea de echilibru fără afectarea structurilor obținute prin călire.

7.1.1. Recoacerea de omogenizare

Se aplică mai ales bronzurilor cu staniu și altor aliaje cu interval mare de solidificare, urmărindu-se eliminarea segregăției dendritice și dizolvarea fazelor în afară de echilibru.

Omogenizarea chimică a soluției solide din bronzurile cu staniu este o condiție pentru obținerea unor rezistențe superioare la uzură.

Tratamentul constă într-o încălzire cu viteza de 40-50°C/h până la temperatura de 625°C, menținere cca. 1 oră la această temperatură, creșterea din nou a temperaturii la 720°C și menținerea pe acest palier timp de 5-7 min pentru fiecare milimetru grosime a peretelui piesei, urmată de o răcire în aer sau cu cuptorul. Se va acorda o atenție deosebită încălzirii din zona temperaturii de 625°C, care trebuie să se facă cu viteză foarte mică deoarece există riscul „arderii” aliajului ca urmare a topirii eutectoidului prezent la limita grăunților.

În cazul brozurilor cu aluminiu, recoacerea de omogenizare constă în încălziri normale până la temperatura de 850-950°C, urmată de o răcire în aer sau odată cu cuptorul.

Alamele vor fi omogenizate prin recoacere la temperaturi de 600-750°C în cazul alamelor monofazice și 750-770°C în cazul celorlalte alame, cu durata de 5-8 min./mm grosime de perete și răcire în aer.

7.1.2. Recoacerea de recristalizare

Acest tratament urmărește micșorarea dimensiunilor grăunților, fără transformări de fază în stare solidă. Este un tratament mai delicat, iar aplicarea lui trebuie să țină seama de compoziția chimică a aliajului și de componența structurală, funcție de care se stabilește viteza de încălzire, temperatura și durata de menținere, precum și viteza de răcire. Se recomandă următoarele diagrame:

- Aliaje Cu-Sn:

- Viteză de încălzire: 40-50°C/h;
- Temperatură de recristalizare: 475-650°C;
- Durata: 5-8 min/mm grosime de perete;
- Răcire în aer.

- Aliaje Cu-Al:

- Viteza de încălzire: 40-50°C/h
- Temperatura de recristalizare: 850-950°C;
- Durata: 5-8 min/mm grosime de perete;
- Răcire lentă cu cuptorul.

7.1.3. Recoacerea de detensionare

Se aplică pentru stabilizarea dimensională a pieselor în scopul eliminării tensiunilor interne apărute la solidificare. De regulă, acest tratament se efectuează la temperaturi la care nu se produc transformări structurale:

- Bronzuri cu staniu - 200-220 °C - o oră;
- Bronzuri cu aluminiu - 220-250°C - o oră;
- Alame monofazice - 220-250°C - o oră;
- Alame bifazice - 285-300°C - o oră.

7.1.4. Recoacerea de înmuiere

Se aplică în cazul bronzurilor cu aluminiu, aliate, în scopul ameliorării prelucrării mecanice. Tratamentul este o recoacere completă și constă în încălzirea normală până în intervalul 750-800°C, menținere 2-4 ore și răcire în cuptor. Prin acest tratament, duritatea poate scăde de la 170-180 HB până la 110-120 HB.

7.1.5. Călire și revenirea

Este un tratament ce se aplică bronzurilor cu aluminiu în scopul îmbunătățirii caracteristicilor mecanice și de exploatare.

Încălzirea în vederea călirii se efectuează la temperaturi cuprinse între 850-900°C, durata de menținere 6-8 min/mm grosime de perete urmată de o răcire bruscă în apă sau ulei.

Creșteri importante ale caracteristicilor mecanice se obțin prin aplicarea tratamentului termic de revenire. Temperaturile optime de revenire sunt cuprinse în intervalul 380-420°C, cu durata de menținere de 2-3

min/mm grosime de perete, urmată de răcirea în aer. Revenirea poate să se efectueze și la temperaturi mai înalte de 550-600°C.

7.2. TRATAMENTE TERMICE ALE ALIAJELOR ALUMINIULUI

Asemănător aliajelor cuprului și la aliajele aluminiului tratamentele termice urmăresc aceleași obiective[19;25;50].

7.2.1. Recoacerea de detensionare

Se aplică pieselor turnate în scopul eliminării tensiunilor interne care apar la solidificare. Tratamentul constă în încălzire la 200-300°C cu durata de menținere de 1-3 ore în funcție de piesă, urmată de o răcire înceată în cuptor sau în aer liniștit.

7.2.2. Durificarea prin precipitare

Este cel mai frecvent tratament termic aplicat pieselor din aluminiu, și constă din două etape: *călirea de punere în soluție* și *îmbătrânirea*.

Călirea de punere în soluție constă în încălziri până la temperaturi mai mici cu 20-30°C decât temperatura de început de topire, mențineri de 2-24 h și apoi răciri energice în apă cu temperatura de 50-80°C.

Îmbătrânirea poate fi efectuată artificial sau natural. În cazul îmbătrânirii artificiale, piesele se vor încălzi la temperaturi cuprinse între 140-180°C unde vor fi menținute timp de 2-18 ore după care se vor răci în aer. În cazul îmbătrânirii naturale, piesele vor fi menținute la temperatura mediului după operația de călire timp de peste 150 ore (cca. 7-8 zile).

Viteza de încălzire nu are importanță în cazul pieselor de aluminiu.

Mai jos se dau câteva regimuri de tratament termic pentru diverse aliaje de aluminiu.

- ATCu4Si:

- Temperatura de călire: $515 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 10 ore;
 - Mediu de răcire: apă caldă;
 - Temperatura de îmbătrânire: $155 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 10 ore.
- ATCu4Ni2Mg:
- Temperatura de călire: $510 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 10-24 ore (funcție de piesă);
 - Mediu de răcire: apă caldă;
 - Temperatura de îmbătrânire: $150-195^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 1-6 ore (funcție de piesă).
- ATSi7Mg:
- Temperatura de călire: $535 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 8-10 ore;
 - Mediu de răcire: apă caldă;
 - Temperatura de îmbătrânire: $155-180^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 8-18 ore.
- ATSi10Mg:
- Temperatura de călire: $525 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 4-6 ore;
 - Mediu de răcire: apă caldă;
 - Temperatura de îmbătrânire: $180 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - Durata: 8-10 ore.

CAP. VIII. INGINERIA PROCESELOR DE TURNARE A METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

Tehnologia de procesare constituie factorul determinant al progresului tehnic dintr-un anumit domeniu de activitate și conduce la producerea salturilor calitative în domeniul fabricației. Cunoașterea tuturor aspectelor tehnologiei tradiționale, dar mai ales a ultimilor realizări din domeniul procesării pieselor turnate este condiția minimă pentru o dezvoltare durabilă. Tehnologia de turnare și procesul tehnologic aplicat trebuie proiectate în toate fazele lor, începând chiar cu aprovizionarea de materii prime și materiale și continuând cu prepararea amestecului de formare, execuția formelor și a miezurilor, elaborarea și tratarea aliajelor în fază lichidă, turnarea și solidificarea, răcirea, dezbaterea, curățirea, remanierea și tratamentele termice aplicate.

8.1. PRINCIPIILE FABRICAȚIEI DE PIESE TURNATE

Pentru obținerea pieselor turnate în practică se folosesc numeroase procedee de turnare, diferențiate prin tehnologia de execuție a formelor, prin natura materialului formei, prin modul de introducere a metalului topit în cavitatea formei etc.

În funcție de numărul de turnări ce se pot efectua în aceeași formă, procedeele de turnare pot fi:

- turnarea în forme temporare, folosite la o singură turnare, după care se distrug pentru scoaterea piesei(dezbaterea);
- turnarea în forme semipermanente, formate dintr-o parte durabilă și o parte ce trebuie reconstituită după fiecare turnare;
- turnarea în forme permanente, ce pot fi folosite la un număr mare de turnări, de la mii, zeci de mii până la sute de mii de exemplare;

Formele temporare se execută din amestecuri de formare obișnuite (nisip și lianți clasici), sau din amestecuri de formare speciale (nisip și lianți speciali), în rame de formare sau fără rame de formare, și reprezintă metoda de turnare cea mai răspândită.

Formele permanente, numite matrițe sau *cochile*, se execută din fontă sau oțel, mai rar din aliaje neferoase, și sunt utilizate la turnarea statică, la turnarea sub presiune sau la turnarea centrifugă.

Prin amestec de formare se înțelege materialul din care se execută formele și reprezintă un amestec natural sau sintetic, compus din nisip (de turnătorie), lianți și materiale auxiliare, care trebuie să întrunească o serie de caracteristici fizice și chimice, favorabile procesului de formare și de turnare.

Amestecul de formare natural este acel material care, în stare de zăcământ, conține într-o proporție optimă nisip și argile, intim amestecate, ceea ce îi permite să fie utilizat la execuția formelor și miezurilor.

De regulă, este utilizat la turnarea aliajelor neferoase ușoare, deoarece având caracteristici mai slabe, nu este așa de mult solicitat de către acestea.

Amestecurile de formare sintetice se obțin printr-un proces de preparare ce constă în amestecarea intimă a componentelor, dozate în diferite proporții, în funcție de domeniul și aliajul la care sunt folosite.

Procesul tehnologic de obținere a pieselor turnate în forme executate din amestec de formare obișnuit, constă într-un lanț de operații indicate în schema bloc din fig. 8.1.

Pentru execuția pieselor turnate în forme temporare este necesar să se realizeze garnitura de model formată din: modelul propriu-zis, cutiile de miez, modelul rețelei de turnare, maselotelor etc., iar în cazul formelor permanente este suficientă doar execuția acestora.

Modelul este utilizat la obținerea cavității de turnare a formei. Golurile interioare ale piesei se obțin cu ajutorul miezurilor executate în cutii

FLUXUL TEHNOLOGIC DIN TURNĂTORIE

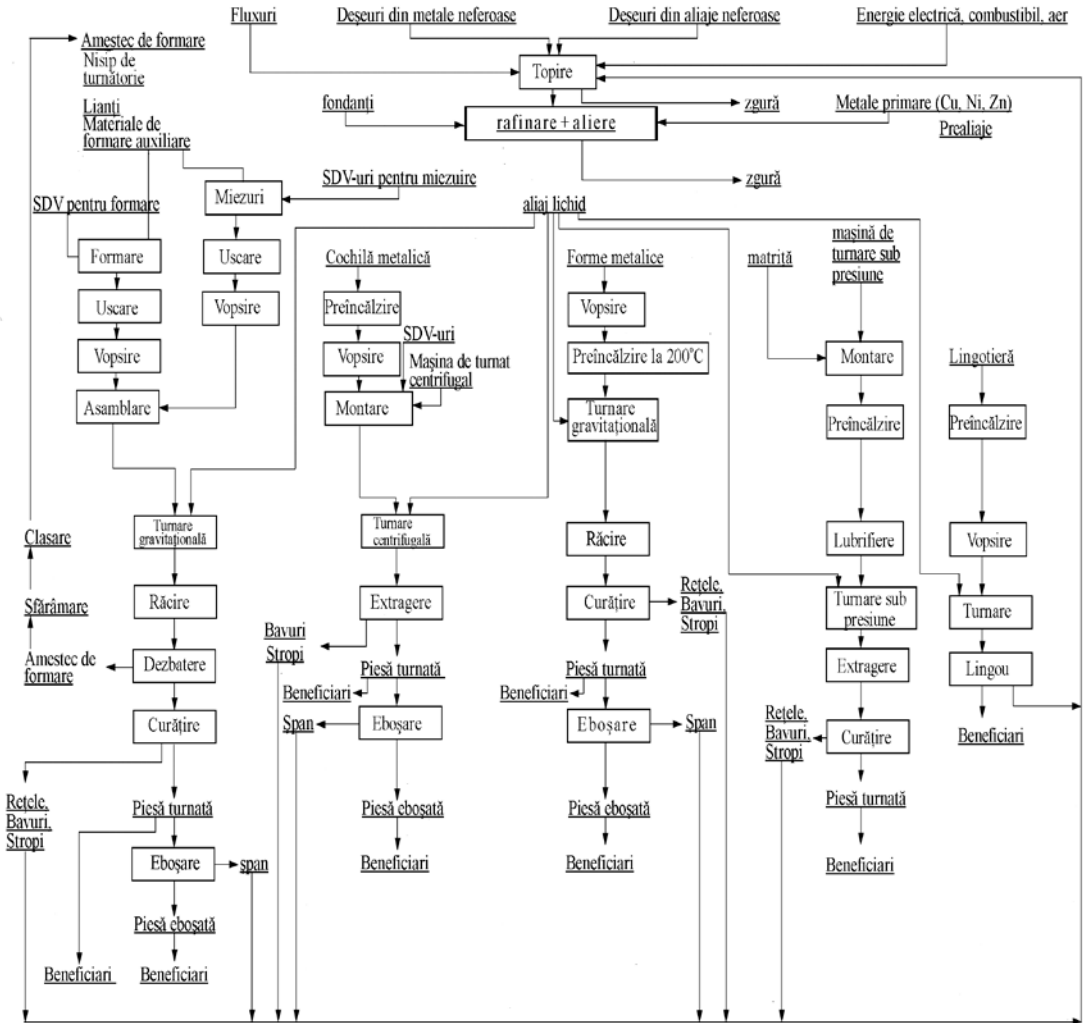


Fig. 8.1. Fluxul tehnologic de fabricație a pieselor turnate

de miez. Pentru a avea o anumită poziție în cavitatea formei, miezurile se așează în locașuri speciale denumite *mărți*, obținute prin intermediul unor proeminențe de pe conturul exterior al modelului. Modelele se execută dintr-o singură bucată sau din mai multe bucăți separate după suprafețe numite *planuri de separație*, având posibilitatea îmbinării între ele pentru a preveni deplasarea părților componente.

În unele situații modelele sau jumătățile de model sunt fixate pe plăci port-model. Realizarea celor două semiforme, care prin asamblare vor determina cavitatea de turnare, se face cu ajutorul ramelor de formare, adică a unor rame metalice de dimensiuni și forme adecvate piesei turnate în care se îndeasă amestecul de formare și care au posibilitatea de ghidare între ele.

Garnitura de model se execută cel mai adesea din lemn, însă poate fi realizată și din: metal, ipsos, rășini epoxidice etc., sau din combinații de astfel de materiale.

8.1.1. Bazele proiectării garniturilor de model

Calitatea pieselor turnate depinde în mare măsură de felul cum sunt proiectate elementele garniturii de model: modelul, cutia de miez, elementele rețelei de turnare, maselotele, plăcile port-model etc. Proiectarea acestora se efectuează pe baza desenelor pieselor turnate, ținând seama de următoarele elemente[40]:

- Stabilirea metodei de formare;
- Stabilirea poziției de turnare;
- Stabilirea planului de separație;
- Stabilirea înclinațiilor și racordărilor constructive;
- Stabilirea adaosurilor de prelucrare și tehnologice;
- Stabilirea adaosurilor de contracție;
- Stabilirea dimensiunilor mărcilor.

Poziția de turnare se stabilește în funcție de configurația și de complexitatea piesei care se toarnă.

La alegerea planului de separație trebuie să se respecte următoarele condiții:

- planul de separație trebuie să fie orizontal sau vertical și să permită extragerea modelului din formă fără deteriorarea modelului sau a formei;

- forma trebuie să conțină cât mai puține miezuri;
- în timpul turnării piesei, suprafețele care se prelucrează și la care se impun condiții speciale de calitate, trebuie să fie situate în partea de jos a formei sau lateral, deoarece suprafețele care se găsesc la partea de sus a formei se pot impurifica;
- piesele mici și cu configurație simplă să se toarne într-o singură semiformă.

Prin înclinări constructive se înțeleg înclinări cu care se prevăd pereții verticali sau alte porțiuni ale piesei turnate, și sunt necesare pentru a ușura extragerea modelului din formă sau a miezului din cutia de miez.

Valoarea unghiului de înclinare este cuprinsă între 1° și 10° și este cu atât mai mare cu cât peretele este mai puțin înalt. În funcție de forma piesei turnate, înclinările pot fi:

- cu adaos de material, ceea ce conduce la îngroșarea peretelui piesei;
- cu pierdere de material, ceea ce conduce la subțierea peretelui piesei;
- mixte, atunci când același perete al piesei pe o porțiune se îngroașă, iar pe o porțiune se subțiază.

Prin racordări constructive se înțeleg rotunjirile unghiurilor dintre doi pereți, în scopul prevenirii defectelor de turnare și al ușurării execuției formei. Racordările sunt indicate pe desen prin mărimea razei de racordare respective.

Adaosul de prelucrare reprezintă un surplus dimensional prevăzut pe suprafețele care urmează să se prelucreze prin așchiere. Mărimea adaosurilor de prelucrare se stabilește în funcție de materialul, dimensiunile și complexitatea piesei, de poziția la turnare a suprafeței, de clasa de precizie și chiar de natura prelucrării prin așchiere etc. și este reglementată prin SR ISO 8062 - 2007.

Adaosul tehnologic reprezintă surplusuri de material prevăzute pe unele suprafețe ale pieselor turnate și cuprind: adaosul la turnarea unor găuri, sporuri de înclinație, adaosuri suplimentare față de geometria piesei care ajută la prelucrare, nervuri care previn crăpăturile etc.

Adaosul de contracție reprezintă un surplus dimensional ce se regăsește în toate cotele modelului, având scopul de a compensa contracția în stare solidă a piesei. Orice dimensiune liniară a modelului se va calcula cu o relație de forma:

$$a_m = a_p \cdot \left(1 + \frac{K}{100} \right) \quad (8.1)$$

în care: a_m este dimensiunea modelului, în mm;

a_p – dimensiunea piesei turnate, în mm;

K – coeficientul de contracție, specific fiecărui metal sau aliaj, a fost prezentat pentru aliajele caracterizate în capitolele IV., V. și VI.

Forma și dimensiunile mărcilor precum și jocurile necesare la montarea lor sunt reglementate prin norme generale și norme specifice.

În cazul turnării în forme semipermanente pe bază de amestec de formare cu silicat de sodiu, atunci când piesa turnată trebuie produsă în serie mică sau medie, garnitura de model se realizează dintr-o construcție specială.

8.1.2. Rețele de turnare

Ansamblul elementelor care servesc la introducerea metalului sau aliajului lichid în cavitatea formei se numește *rețea de turnare*, și de felul cum sunt concepute acestea este condiționată în mare măsură obținerea unor piese turnate bune. Rețeaua de turnare are rolul de a conduce aliajul lichid în formă în condițiile asigurării umplerii acesteia fără producerea de stropi, vârtejuri, antrenarea de gaze, zgură sau a alte impurități nemetalice. Ea trebuie, de asemenea, să favorizeze destinația corectă a metalului și distribuția corespunzătoare a temperaturilor, astfel încât să se asigure o răcire simultană

sau dirijată a piesei turnate. Pentru limitarea consumului de metal ea trebuie să aibă o greutate cât mai mică.

Elementele componente ale unei rețele de turnare normale sunt[42]:

- *pâlnia de turnare*, prelungită cu un picior de turnare vertical numit,
- *piciorul pâlniei de turnare*,
- *canalul de distribuție* sau colectorul de zgură, situat în prelungirea piciorului pâlniei și
- *alimentatoarele*, în prelungirea canalului de distribuție, care fac legătura cu cavitatea formei.

Uneori, intrarea metalului în formă se face printr-o maselotă, alteori maselotele sunt poziționate în nodurile termice ale piesei, în afara rețelei de turnare.

Locul în care aliajul este introdus în cavitatea formei poartă numele de *atac* și de regulă are o secțiune trapezoidală.

Poziționarea atacurilor pentru o piesă turnată se face de regulă prin părțile subțiri sau medii, în părțile groase ale piesei metalul ajungând deja mai rece sau aceste părți sunt racordate la maselote.

Maselotele sunt rezervoare de metal lichid, ce vor compensa volumul de contracție la solidificare al pieselor turnate. În general, golurile de contracție se localizează sub formă de retasură în părțile groase sau în nodurile termice ale pieselor turnate. Maselotele trebuie să aibă forme corespunzătoare care să asigure pierderea unei cantități cât mai mici de căldură, să se solidifice ultimile, să poată fi relativ ușor de îndepărtat și să nu conducă la o pierdere inutilă de metal lichid.

În timpul alimentării rețeaua de turnare trebuie să fie plină cu metal lichid, fapt pentru care secțiunile elementelor componente trebuie să fie într-un raport convergent:

$$S_{pp} < S_{cd} > \Sigma S_a \quad (8.2)$$

Unde: S_{pp} – secțiunea piciorului pâlniei;

S_{cd} – secțiunea canalului de distribuție;

ΣS_a – suma secțiunilor canalelor de alimentare.

La proiectarea rețelei se recomandă utilizarea următoarelor rapoarte între secțiunea piciorului pâlniei, cea a canalului de distribuție și cea a alimentatoarelor:

- Pentru aliaje de cupru: $S_{pp} : S_{cd} : S_a = 2 : 1,5 : 1$;

- Pentru aliajele de aluminiu și chiar cele de cupru care au tendință mai mare de spumare: $S_{pp} : S_{cd} : S_a = 1,25 : 1,5 : 1$;

Introducerea metalului lichid în cavitatea formei se poate realiza prin mai multe metode de turnare, și anume:

- pe sus, prin turnare directă sau în cădere;

- pe jos, prin turnare în sifon;

- în planul de separație, metoda cea mai întâlnită la turnarea pieselor cu înălțime mică.

8.2. TURNAREA ÎN FORME TEMPORARE

Așa cum s-a arătat mai sus, realizarea formelor temporare se face din amestec de formare care poate să fie natural sau sintetic.

Amestecul de formare natural este utilizat la turnarea aliajelor cu temperatură de turnare relativ scăzută, în special la turnarea aliajelor de aluminiu, deoarece caracteristicile acestui amestec sunt mai slabe și în acest caz solicitările termice și mecanice nu sunt prea mari. Se poate utiliza amestecul de formare cunoscut sub denumirea de „pământ galben” din carierele Feleac sau Popești, jud. Cluj, însă poate fi încercat și alt amestec (pământ) de culoare galbenă, cu conținut ridicat de argilă, extras din carierele locale, îndeosebi cele ale fabricilor de cărămizi. Prepararea acestui tip de amestec constă în cernerea și umectarea lui la un nivel de umiditate de cca.

3-4% care să favorizeze operația de formare. El poate fi recirculat în cea mai mare parte, iar după un număr de turnări poate fi îmbogățit cu amestec nou în proporție de 10%. Cele mai bune rezultate se obțin în cazul turnării pieselor mici de aluminiu.

Amestecurile de formare sintetice cele mai utilizate sunt amestecurile crude liate cu argile sau bentonite, precum și amestecurile uscate liate cu silicat de sodiu sau de etil, uleiuri și rășini naturale sau sintetice etc.

Amestecurile de miez, utilizate la execuția miezurilor, trebuie să îndeplinească caracteristici mai bune decât celelalte categorii de amestecuri, deoarece, ele sunt supuse la solicitări termice și mecanice mai mari.

În multe cazuri, în procesul de formare, se utilizează amestecul unic, folosit la umplerea întregului volum al ramei de formare. Uneori, mai ales în cazul pieselor la care se impun condiții severe de calitate, se utilizează amestec de model cu proprietăți superioare, care se va aplica numai la contactul direct cu modelul și rețeaua de turnare și amestec de umplutură cu caracteristici inferioare, care se va aplica peste cel de model și va avea doar rolul de a completa restul volumului ramei.

În general, amestecurile de formare trebuie să răspundă următoarelor cerințe tehnologice:

- să aibă o refractaritate ridicată, astfel încât să nu reacționeze chimic și termic cu metalul lichid;
- să aibă o bună capacitate de mulare și de îndesare astfel încât să redea foarte bine geometria și suprafața modelului;
- să aibă o bună rezistență mecanică pentru a face față solicitărilor ce apar în formă în momentul turnării, sub acțiunea presiunii metalostatice sau a gazelor;
- să aibă o bună permeabilitate pentru a asigura evacuarea din formă a gazelor care se formează în timpul turnării;

- să aibă o bună plasticitate pentru a putea păstra cât mai fidel configurația modelului, fără deformații.

În general, amestecul de formare este constituit din:

- materialul de bază, care de obicei este *nisipul de turnătorie*;
- un material care să facă legătura între granulele materialului de bază, numit *liant*;

- diferite alte componente cu rol de îmbunătățire a unor proprietăți, numite *materiale de adaos*.

8.2.1. Nisipuri de turnătorie

Conform STAS 5609-87, *nisipurile de turnătorie* se pot clasifica după următoarele criterii[4]:

- după granulația medie, care reprezintă mărimea teoretică a ochiului sitei prin care a trecut 50% din nisipul cernut, există următoarele cinci grupe:

M(50) 01 – 0,10 – 0,06 mm -foarte fină;

M(50) 02 – 0,15 – 0,11 mm -fină;

M(50) 04 – 0,30 – 0,21 mm -mijlocie;

M(50) 06 – 0,60 – 0,41 mm -mare;

M(50) 10 – 1,00 – 0,61 mm -foarte mare.

- după gradul de uniformitate, care reprezintă diferența procentuală dintre cantitatea de nisip care a trecut prin sita cu ochiurile de $4/3(M50)$ și cantitatea trecută prin sita cu ochiuri de $2/3(M50)$, se împart în cinci grupe:

(Gu) peste 70% - foarte uniform;

(Gu) = 61 – 70% - uniformitate mare;

(Gu) = 51 – 60% - uniform;

(Gu) = 41 – 50% - uniformitate redusă;

(Gu) sub 40% - neuniform.

- după conținutul în părți levigabile, nisipurile se află în una din următoarele opt grupe:

NO1; NO2; NO3; NO5; N1,5; N10; N20; N30;

Grupul de cifre de după litera N reprezintă procentul de părți levigabile din nisip. Componenta levigabilă este acea parte care se îndepărtează prin spălare și care este constituită din agilă și particulele foarte fine din nisip. Nisipurile care au componenta levigabilă mai mare de 10% sunt denumite semigrase, iar cele care o au de peste 20% sunt considerate grase.

Pentru turnarea metalelor și aliajelor neferoase uzuale sunt utilizate nisipurile cuarțoase rezultate în urma dezagregării rocilor complexe formate în procesele de erupție. În afara cuarțului stabil, celelalte componente s-au dizolvat și eliminat din zăcământ. În România, principalele surse de aprovizionare cu nisip cuarțos de turnătorie sunt:

- Vălenii de Munte – PH – pentru (M50) 02 și (Gu) 60;
- Aghireș – CJ – pentru (M50) 04 și (Gu) 70;
- Caraiman – TL – pentru (M50) 02 și (Gu) 70;
- Miorcani – BT – pentru (M50) 01, (M50) 02 și (Gu) 70;
- Popești – CJ;
- Doclin – CS

Alte tipuri de nisipuri cum sunt: nisipul de cromit, nisipul de zircon, nisipul de șamot granulat, nisipul de cromomagnezit granulat, nisipul de olivină, electrocorindonul etc., sunt scumpe și foarte rar utilizate, doar la aliajele cu temperaturi de turnare mari și foarte mari.

8.2.2. Lianți pentru turnătorii

Lianții sunt componente de bază ale amestecurilor de formare care au rolul de legare a granulelor de nisip în vederea obținerii rezistenței mecanice,

a plasticității, fluidității etc., la preparare, formare, manipulare, turnare, dezbatere sau regenerare.

Lianții trebuie să asigure:

- o bună capacitate de alunecare și o rezistență mecanică redusă în procesul de realizare a formei;

- o fluiditate și plasticitate ridicată astfel încât amestecul de formare să copieze cât mai fidel modelul și să nu se degradeze la demulare;

- o bună rezistență mecanică după realizarea formei, pe perioada turnării și solidificării;

- o reducere a rezistenței mecanice a formelor, dar mai ales a miezurilor, imediat după solidificare, pentru a permite contracția liberă a piesei și dezbaterea ușoară;

- o permeabilitate suficient de bună pentru a permite evacuarea gazelor degajate la turnare.

Clasificarea lianților folosiți în turnătorii se poate face după[13]:

a. natura lor chimică: anorganici; organici; organosilicați etc.

b. origine și mod de obținere: naturali sau sintetici.

Cei mai importanți lianți anorganici naturali sunt argilele și bentonitele, iar principalii lianți anorganici sintetici sunt cimentul și silicatul de sodiu.

Lianții organici naturali cei mai cunoscuți sunt uleiurile vegetale (ulei de in, plastolinol, ulei de in sicativat, ulei de cânepă, ulei de floarea soarelui) și rășinile naturale (colofoniul), iar lianții organici sintetici sunt rășinile fenol-formaldehidice (rășini termoreactive și rășini termoplastice), rășinile carbamidice (rășini ureo-formaldehidice, rășini melamino-formaldehidice), rășinile furanice, rășinile celulozice și rășinile poliuretanic.

Lianții proveniți din industrie sub formă de reziduuri (gudroane, reziduuri bituminoase, smoală de turbă, smoală de lemn, melasă, leșie

sulfitică, moliftan), sau obținuți prin procedee simple (dextrina, cleiul pectinic, rematolul, lignosulfonatul de calciu etc.), deși sunt mai rar întâlniți în turnătorii, au uneori aplicații punctuale foarte importante.

8.2.2.1. Argila

Argila este un liant anorganic natural constituit din caolin impurificat cu oxizi, hidroxizi, carbonați, feldspați, mică etc., care din punct de vedere chimic este un silicat de aluminiu hidratat: $\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet 2\text{SiO}_2 \bullet 2\text{H}_2\text{O}$. Caolinul cristalizează în sistem hexagonal, sub formă de solzi foarte fini ce pot aluneca ușor unii peste alții fără să se desprindă și care pot absorbi cantități mari de apă. În funcție de cantitatea de apă absorbită argila se umflă, capătă proprietăți de liere și prin legăturile pe care le creează între granulele de nisip conferă amestecurilor de formare rezistență mecanică și plasticitate.

Cele mai importante cariere de extracție a argilelor de turnătorie sunt cele de la Mircea Vodă – Medgidia din județul Constanța și Șuncuiuș din județul Bihor, iar de mai mică importanță sunt cele de la Târgu Jiu și Anina. Argilele superioare sunt de origine vulcanică, au un conținut ridicat de caolin și montmorillonit, și se prezintă sub formă de materiale pulverulente, cu următoarele caracteristici:

- Rezistența la compresiune:
 - în stare umedă 0,3 - 0,7 daN/cm²;
 - în stare uscată 1,0 - 3,0 daN/cm².
- Temperatura de vitrifiere: 1580 °C;
- Umiditate max 6%.

În funcție de proprietățile de liere argilele pot asigura amestecului crud o rezistență la compresiune de minimum 5 N/cm², iar celui uscat de 20 N/cm². Creșterea rezistenței mecanice a amestecurilor cu argilă se poate face

prin superfinisarea acesteia, operație care constă în măcinarea foarte fină a argilei naturale, tratarea cu acid fosforic sau carbonat de sodiu, precum și prin uscarea formelor la temperaturi de 250 – 300⁰C.

8.2.2.2. Bentonita

Reprezintă cel mai utilizat liant pentru prepararea amestecurilor de formare crude. Bentonitele sunt o varietate de argile cu un conținut ridicat de montmorillonit (peste 70%), iar condițiile tehnice generale de calitate referitoare la cele utilizate în turnătoriile din România sunt standardizate. În urma degradării cenușilor vulcanice bazice din anumite bazine maritime, silicatul de aluminiu hidratat – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – cristalizează în plachete foarte fine sub denumirea de montmorillonit. Particulele foarte fine, de natură coloidală și dimensiuni submicronice ale montmorillonitului, clivează ușor în planul (001) și absoarb mult mai multă apă decât caolinul. Suprafața specifică a bentonitelor este de 330–470 m²/g, a argilelor bentonitice care au 40–70% montmorillonit este de 180–330 m²/g, iar a argilelor caolinitice cu mai puțin de 40% montmorillonit este mai mică de 180 m²/g. Deoarece bentonitele au capacitatea de liere de 2 - 3 ori mai mare decât argilele amestecul de formare va conține de 2 - 3 ori mai puțin liant pentru aceeași rezistență mecanică și o permeabilitate mai bună.

Ele pot fi bentonite sodice, calco-sodice și calcice, și se livrează în stare activată sau neactivată. Cele mai utilizate sunt bentonitele sodice activate, care au următoarele caracteristici:

- Umiditate max 10%;
- Conținut de montmorillonit peste 70%;
- Rezistență la compresiune:
 - amestec în stare crudă 4,5 – 8,0 N/cm²;
 - amestec în stare uscată 25 - 45 N/cm².

Cele mai importante resurse de bentonite din România sunt:

- bentonite sodice - Valea Chioarului – județul Maramureș;
- bentonite calco-sodice - Oarda Ciugud – județul Alba;
- bentonite calcice - Orașul Nou – județul Satu Mare.

Pentru mărirea rezistenței mecanice a amestecurilor cu bentonită se pot lua următoarele măsuri:

- activarea umedă sau uscată a bentonitelor calcice cu adaosuri mici, de 1 – 3% sodă (Na_2CO_3);
- adăugarea de detergenți pentru micșorarea tensiunii interfazice și a unghiului de contact dintre granula de nisip și liantul lichid;
- tratarea termică prin încălzire la 100 – 300⁰C;
- superfinisarea bentonitei prin dispersare coloidală și distrugerea rețelei spațiale de tetraedre de SiO_4^{4-} și de octaedre de $\text{AlO}_2(\text{OH})_4$.
- tratarea magnetică a apei de umezire.

8.2.2.3. Silicatul de sodiu

Este un liant anorganic sintetic cu formula $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ utilizat la prepararea amestecurilor de formare și de miez uscate. Se prezintă sub forma unui lichid – soluție slab opalescentă – care se caracterizează prin doi parametrii fundamentali:

- modulul, $m = 2,5 - 2,9$ care reprezintă raportul dintre numărul de moli de SiO_2 și numărul de moli de Na_2O și se calculează cu relația:

$$m = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Na}_2\text{O}} \cdot 1,032$$

- densitatea relativă, $\rho = 1,45 - 1,52 \text{ kg/dm}^3$, este funcție de conținutul de $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$, ce reprezintă substanța uscată din totalul soluției apoase. Corectarea acestor caracteristici constă în adăugarea de clorură de

amoniu pentru mărirea modulului, adăugarea de hidroxid de sodiu pentru micșorarea modulului și adăugarea apei pentru reducerea densității.

Lierea are loc ca urmare a faptului că prin pierderea apei de constituție silicea formează un gel pe suprafața granulelor de nisip, care prin uscare se întărește și conferă rezistență mecanică amestecului de formare.

Pentru accelerarea proceselor de disociere, uscare și întărire se pot lua următoarele măsuri[4]:

- insuflarea formelor și a miezurilor cu dioxid de carbon, timp de 5 - 15 minute, la presiunea de 1 – 3 at., când are loc reacția:



în care: $m \cdot p + q = n$;

- încălzirea formelor sau a miezurilor la 200 – 260⁰C timp de 10 min;
- întărirea chimică cu clorură de amoniu în soluție de 20%;
- întărirea chimică cu esteri lichizi și acizi organici, la temperaturi ridicate;

- întărirea chimică în prezența prafului de ferosiliciu.

Caracteristicile principale ale silicatului de sodiu, utilizat în turnătoriile din România, sunt:

- Conținutul de SiO₂ 25-35%;
- Conținutul de Na₂O 8,8-18,8%;
- Densitatea relativă 1,36-1,71 kg/dm³;
- Modulul 1,8-3,5.

Principalii producători de silicat de sodiu din România sunt: Bega Minerale Ocna Mureș, Combinatul Chimic Govora, Chimforex Pleașa.

8.2.2.4. Silicatul de etil

Silicatul de etil, $\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, este un liant sintetic obținut prin tratarea tetraclorurii de siliciu cu alcool etilic, care capătă capacitatea de liere în urma hidrolizei cu 5 – 15% apă, în prezența unui catalizator acid.

Silicatul de etil conferă amestecului de formare o fluiditate deosebit de bună ceea ce permite copierea corectă a detaliilor modelului fără o îndesare specială, iar prin calcinare se formează o rețea de fisuri fine care asigură o permeabilitate suficient de bună formei de turnare.

Cea mai importantă aplicație a silicatului de etil este cea de realizare a formelor coji utilizate la turnarea de precizie și a operelor de artă[5]. În acest caz se folosesc modele ușor fuzibile din ceară care sunt imersate în diferite tipuri de barbotine pe bază de silic de etil și apoi acoperite cu sorturi speciale de pudre refractare. Întărirea se realizează pe cale chimică prin insuflare de CO_2 , în vapori de amoniac sau prin imersarea alternativă în amoniac și acid clorhidric.

8.2.2.5. Covasilul

Covasilul este un silicat de sodiu modificat cu scopul îmbunătățirii capacității de dezbatere a formelor. Compoziția sa chimică este[4]: 18,5 – 25,0% SiO_2 ; 9,5 – 12,5% Na_2O și 20,0 – 25,0% zaharoză. Adăugat în proporție de 5,0 – 5,5% din masa amestecului de formare conferă acestuia, după întărirea prin insuflare cu CO_2 , o rezistență mecanică ridicată, dar și o bună dezbatere și regenerare după turnare. Poate fi utilizat atât ca liant cât și ca material de adaos pentru îmbunătățirea dezbaterei, având următoarele

caracteristici:	- densitatea relativă	1,46 - 1,55 g/cm^3 ;
	- modul:	1,90 - 2,60.

Echivalent covasilului compania FOSECO produce *Ecolotec*, iar HÜTTENES ALBERTUS livrează *Carbofen*.

8.2.2.6. Covalitul

Cunoscut și sub denumirea de deporom, este utilizat în scopul ușurării dezbaterii amestecurilor de formare și de miez. Conține cca. 60% zahăr, 25% smoală și 15% cărbune măcinat, are o granulație sub 0,15 mm și se prezintă sub forma unui praf de culoare gri-închis, cu următoarele caracteristici[13]:

- Substanțe insolubile în apă max 43%;
- Zaharoză min 57%;
- Reziduri de calcinare 6%;

8.2.2.7. Uleiul de in

Este un ulei vegetal sicativ care se oxidează rapid în contact cu aerul, are indicele de iod de peste 170 și este utilizat în proporție de până la 3% în special pentru execuția miezurilor. Deoarece formarea peliculei de liant pe suprafața granulelor de nisip depinde nemijlocit de viscozitate, uneori se recomandă introducerea de solvenți speciali, precum petrolul.

Uleiul de in modificat cu naftenat de cobalt, cunoscut sub denumirea comercială de *plastolinol* sau *plastovit*, adăugat în proporție de 3% și întărit cu 1% perborat de sodiu, are caracteristici de liere superioare.

8.2.2.8. Dextrina

Se prezintă sub forma unei pulberi alb-gălbuie și rezultă din prăjirea amidonului. Se livrează în trei calități: tip A, tip G1 și tip G2, având următoarele caracteristici:

- umiditate max 10%;
- solubilitate: în apă rece 35 - 93%; în apă caldă >95%;
- aciditate 6 grade;
- amidon solubil <42%;

- rezistența la compresiune 3,5 - 5,5 daN/cm².

8.2.2.9. Melasa

Este un produs secundar al fabricilor de zahăr care conține 40 – 50% zahăr, 30% reziduuri și 20 – 25% apă. Introdusă în proporție de 2 – 3% în amestecurile de miez care conțin 3 – 6% argilă, determină creșterea rezistenței în stare crudă, iar după o uscare la 160 – 180⁰C rezistența la compresiune a amestecului crește la 30 N/cm². Întărirea prin uscare superficială a straturilor exterioare, conferă formelor și în special miezurilor o rezistență mecanică satisfăcătoare, dar și o bună compresibilitate mai ales pentru aliajele neferoase cu coeficienți de contracție mari.

8.2.2.10. Leșia sulfitică

Este un liant organic hidrofil livrat, sub forma unui lichid galben – roșiatic, de fabricile de celuloză și hârtie, unde rezultă ca un subprodus. Leșia sulfitică cu o densitate de 1,30 – 1,35 kg/dm³ și care conține hexoze și pentoze dizolvate din lemn, acid acetic, acid formic, acizi ligno – sulfonici și ligno – sulfonați de calciu, sodiu sau potasiu, este diluată înainte de a fi utilizată ca liant la 1,04 – 1,06 kg/dm³ [4].

Amestecurile de formare cu 3 – 6% argilă sau bentonită în care se adaugă 3 – 5% leșie sulfitică, utilizate pentru miezuri sau ca amestecuri de model, se usucă în 2 – 3 ore la 150 – 170⁰C pentru obținerea unor rezistențe mecanice ridicate. Dacă uscarea se face în aer timp de peste 24 ore aceste proprietăți sunt mai scăzute. În industrie se practică și metoda pulverizării leșiei sulfitice pe suprafața formei ceea ce conduce la întărirea suplimentară a stratului superficial și obținerea unor piese curate, fără crăpături și de o bună calitate dimensională. Dacă în amestec se adaugă azotat de sodiu sau de potasiu și apoi leșia sulfitică, atunci rezistența lui la compresiune se mărește.

În amestecurile în care leșia sulfitică este singurul liant folosit, adaosul de liere este de 5 – 7%, iar temperatura de uscare de 180 – 200°C.

Leșia sulfitică livrată în stare solidă, cu o concentrație a substanțelor solide de 85 – 95%, este denumită *moliftan* și se diluează la 50% în aburi sau apă caldă.

8.2.2.11. Rășini sintetice

Sunt lianții cu cea mai mare expansiune din ultimile decenii datorită unor calități specifice:

- caracteristici mecanice superioare la adaosuri foarte mici de liant;
- degajarea unei cantități foarte mici de gaze datorită conținutului redus de liant;
- permeabilitate maximă datorită conținutului redus de liant;
- eliminarea riscului de apariție a fisurilor la cald datorită „arderii” rășinii la turnare și a reducerii rezistenței mecanice a formei în timpul solidificării;
- precizie dimensională maximă a pieselor turnate în amestecuri liate cu rășini, datorită stabilității deosebite a acestora;
- eliminarea riscului de apariție a suflurilor și incluziunilor datorate amestecului de formare;
- reducerea adaosurilor de prelucrare;
- dezbateră ușoară a formelor;
- curățirea mai ușoară a pieselor turnate;
- aspect superior al suprafeței pieselor turnate;
- regenerarea relativ ușoară a amestecului de formare și reintroducerea în circuit a peste 90 – 95% din nisipul inițial;
- apariția unor rășini ecologice, cu un impact poluant mult mai redus decât în cazul altor lianți.

Rășinile sintetice cu întărire la cald sau la rece se clasifică după compoziția chimică în[4;5;11;13]:

a. *rășini fenol – formaldehidice* obținute prin condensarea fenolului (C_6H_5OH) cu aldehida formică ($CH \bullet OH$) în mediu:

- *acid* – rășina *termoplastică* folosită în turnătorii se numește *novolac* solubilizează în alcool sau acetonă, utilizându-se ca soluții de 67 – 70% novolac în alcool. Întărirea la cald la $170 - 180^{\circ}C$ are loc după adăugarea a 10% urotropină ($(CH_2)_6N_4$) când fenolul liber din novolac reacționează cu aldehida formică din urotropină și se produce rezol.

- *bazic* – rășina *termoreactivă* se dizolvă în solvenți organici ca alcool, metanol etc. și sub acțiunea căldurii polimerizează tridimensional formând o rețea solidă ce încorporează granulele de nisip. În turnătorii se utilizează rezolul, denumit comercial bachelita A, care la $90^{\circ}C$ se topește și învelește granulele de nisip cu o peliculă continuă și uniformă, amestecul rezultat fiind denumit comercial *nisip peliculizat*. La $150^{\circ}C$, la cât trebuie să se încălzească modelele sau cutiile de miez, bachelita A condensează mai întâi în bachelită B, apoi în bachelită C. Polimerizarea tridimensională la $180^{\circ}C$ are loc în maxim două minute ceea ce permite producerea formelor coji specifice procedeului Croning sau Hot Box.

Rășinile termoreactive asigură condiții optime pentru obținerea pieselor turnate de calitate, în schimb sunt scumpe, necesită garnituri de model metalice costisitoare și instalații speciale de încălzire a modelelor și cutiilor de miez.

b. *rășini carbamidice* obținute prin condensarea ureei $CO(NH_2)_2$ sau melaminei cu aldehida formică $CH \bullet OH$ sunt:

- *rășini ureo - formaldehidice* transformate în produsul denumit comercial urelit, se întăresc cu acizi fosforici sau acizi benzeno – sulfonici, adăugați în proporții de 45% din liant;

- *rășini melamino – formaldehidice* – sunt scumpe și degajă mirosuri neplăcute la turnare.

c. *rășini furanice* obținute prin policondensarea sau polimerizarea alcoolului furfurilic în mediu acid. Rășinile furnice mixte se obțin în urma reacțiilor dintre furfurol și uree, melamină, fenol sau formaldehidă. Întărirea la rece, specifică procedeelelor *no-bake*, se face utilizând rețetele cu 2,0 – 2,6% rășină furanică și 0,3 – 1,0% acid fosforic, iar întărirea la cald, prin procedeul *hot-box*, pentru rețete cu 1,5 – 2,5% rășină furanică și 0,12 – 0,80% catalizator.

În prezent marile companii livrează rășini furanice ecologice cu mare reactivitate și rezistență mecanică ridicată, care nu conțin fenol, formaldehidă sau azot și care se întăresc cu doar 10% catalizator raportat la cantitatea de rășină. La procedeele *no-bake* pentru catalizarea reacției de întărire se utilizează acizi organici toluensulfonici sau xilensulfonici. Pentru piese speciale și opere de artă se recomandă rășinile alchidice denumite *sintexol*, care produc amestecuri cu mare rezistență mecanică și plasticitate deosebită.

Pentru turnătoriile de aliaje neferoase se pot folosi și sisteme cu trei componente cu întărire rapidă la rece: 0,4% din nisip, rășină *sintexal* pe bază de uleiuri și activator, precum și 2-6% din rășină, accelerator de reacție.

d. *rășini celulozice* sub formă de pulberi foarte fine, conțin eteri de celuloză și sunt solubile în apă. De obicei se utilizează în combinație cu alți lianți pentru îmbunătățirea rezistențelor mecanice și a capacității de dezbatere.

e. *rășini poliuretanic*e obținute prin reacția polioliului cu substanțe ce conțin izocianați activi, se întăresc cu vapori de trietilamină. Întărirea la rece cu gaze sau vapori ce catalizează reacția de polimerizare este specifică procedeelelor *cold-box*.

8.2.3. Materiale de adaos

Materialele de adaos se introduc în amestecurile de formare pentru îmbunătățirea următoarelor caracteristici ale acestora[4;13]:

- mărirea rezistențelor mecanice ale formelor și miezurilor;
- mărirea plasticității pentru demularea și repararea ușoară a formelor și miezurilor;
- mărirea compresibilității pentru prevenirea contracției frânate;
- mărirea permeabilității formelor și miezurilor;
- îmbunătățirea calității suprafeței formelor și a pieselor turnate;
- îmbunătățirea fluidității și a capacității de copiere de pe model;
- îmbunătățirea capacității de dezbatere a formelor și miezurilor;
- îmbunătățirea capacității de regenerare;

8.2.3.1. Adaosuri carbonice

Adaosurile carbonice solide: cărbune de lemn, cărbune mineral etc., sau lichide: petrol, păcură, motorină, uleiuri etc., au rolul de a îmbunătăți calitatea suprafeței pieselor turnate și capacitatea de dezbatere a formelor și miezurilor. În timpul turnării aceste materiale degajă o cantitate controlată de gaze ceea ce împiedică penetrarea metalului lichid în porii formei, iar la temperaturi ridicate se formează carbon lucios care se depune pe granulele de nisip ceea ce conduce la reducerea umectării formei de către topitură.

Cărbunele este utilizat ca material de adaos, în stare măcinată, mai ales la prepararea amestecurilor de formare – crude. Cărbunele de lemn se obține prin aderea anaerobă a lemnului iar cărbunele mineral provine din huilă, cărbune brun sau chiar lignit. Acțiunea lui se produce în timpul turnării, la temperaturi de peste 1000°C, când la suprafața de contact metal-formă au loc următoarele reacții:

- gazeificarea cărbunelui care va produce o atmosferă reducătoare;

- se separă, în fază gazoasă, cărbunele lucios care va „îmbrăca” granulele de nisip, protejându-le;

- crearea unui film de gaze la suprafața formei care va împiedica pătrunderea metalului lichid în porii formei.

Cărbunele mineral, trebuie să aibă un conținut scăzut de cenușă (max 11%), o umiditate scăzută (max 10%), o mare finețe de măcinare (peste 80% sub 0,063 mm) și un conținut de substanțe volatile de peste 35%.

8.2.3.2. *Adaosuri polizaharidice*

Se utilizează pentru mărirea compresibilității și a capacității de liere și dezbatere a amestecurilor de formare, precum și pentru îmbunătățirea calității suprafeței pieselor turnate. În amestecurile cu silicat de sodiu îmbunătățesc capacitatea de dezbatere a formelor și de regenerare a amestecului de formare, cu o reducere a consumurilor de silicat de sodiu și de bioxid de carbon de 15-20%. Glicolul, etilenglicolul și dietilenglicolul introduse, în amestecurile de formare utilizate la turnarea aliajelor de magneziu și litiu, formează compuși care se evaporă la turnare și care previn oxidarea aliajului.

8.2.3.3. *Adaosuri celulozice*

Se folosesc la amestecurile de formare care trebuie să se dezbată și să se regenereze ușor, la cele care trebuie să aibă compresibilitate și fluiditate bună, precum și pentru îmbunătățirea calității pieselor turnate. În acest scop se utilizează făina de lemn, făina de cereale, precum și diferite amestecuri de făină de lemn cu praf de cărbune și bitum.

8.2.4. *Vopsele refractare*

Vopselele refractare pentru turnătorie sunt materiale antiaderente ce se aplică pe suprafața formelor și miezurilor din amestecuri întărite chimic

(ex. cele liate cu silicat de sodiu sau de etil, cele liate cu rășini sintetice etc.) sau a celor ce conțin apă după uscare, cu rolul de a forma un strat refractar și de a ușura dezbaterea. Ele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să nu reacționeze chimic cu aliajul sau cu oxizii acestuia;
- să adere bine și fără exfolieri la suprafața formelor și a miezurilor;
- să formeze un strat fin, continuu, uniform și fără fisuri pe suprafața formelor și a miezurilor;
- să-și păstreze calitățile timp îndelungat și să sedimenteze greu.

La formele ce se toarnă în stare crudă se aplică pudre refractare sau pudre combustibile.

Vopselele refractare pentru turnarea aliajelor neferoase sunt pe bază de grafit, talc și argilă, iar ca solvent se folosește apa, alcoolul sau toluenul.

Vopselele refractare se pot achiziționa de la producători specializați sau se pot prepara după următoarele rețete:

- Tip VN1:

- Grafit: 30%;
- Talc: 31%;
- Melasă: 3%;
- Bentonită: 3%;
- Apă: 33%.

- Tip VN2:

- Talc: 61%;
- Bentonită: 4%;
- Apă: 35%;

- Tip VAN1:

- Talc: 45-50%;
- Asfalt propanic: 2%;

- Acid boric: 1-2%;
- Stearat de Al: 1,2%;
- Ciclohexan: 50-55%.

- Tip VAN2:

- Talc: 20%;
- Grafrit: 20%;
- Asfalt propanic: 2%;
- Acid boric: 1-2%;
- Stearat de Al: 1,2%;
- Ciclohexan: 57%.

După aplicare prin imersare, pensulare sau suflare, vopselele se usucă.

8.2.5. Rețete de preparare a amestecurilor de formare

Alegerea unui amestec de formare pentru realizarea pieselor turnate este o opțiune tehnologică, care trebuie să țină seama de condițiile solicitate de piesă pe de o parte, de condițiile concrete din turnătorie, și de materialele avute la dispoziție, pe de altă parte.

Mai jos se vor prezenta câteva rețete de amestecuri de formare și de miez, care ar putea fi utilizate la execuția formelor și miezurilor pentru turnarea aliajelor neferoase:

Rețeta AU (amestec unic):

- Amestec recirculat (folosit anterior): 87-90%;
- Nisip nou (M50) 02 (Gu) 60-70: 7-10%;
- Bentonită: 2-3%;
- Sodă calcinată: 3-4%;
- Făină de lemn, cărbune mineral sau covalit: 0,5-2%;
- Apă: 3,5-4,5%.

Acest amestec poate fi folosit la execuția pieselor din aluminiu și a celor de bronz cu masa de max. 50-60 kg.

Rețeta AM (amestec de model):

- Nisip cuarțos (M50) 02 (Gu) 60-70: 85-88%;
- Bentonită: 10-12%;
- Sodă calcinată (raportată la bentonită): 3-4%;
- Dextrină: 0,5-1%;
- Făină de lemn, cărbune de lemn sau covalit: 0,5-2%;
- Apă: 3,5-4,5%.

Acest amestec este utilizat în cazul pieselor mai pretențioase și se aplică într-un strat de 25-70 mm peste model, iar în completare se folosește amestec de umplură constituit din amestec recirculat.

La prepararea amestecurilor de mai sus, se va urmări amestecarea în primul rând a componentelor prăfoase și apoi umețirea amestecului.

Rețeta ASS1 (amestec cu silicat de sodiu):

- Nisip cuarțos (M50) 02 (Gu) 60-70: 94-96%;
- Silicat de sodiu SB sau SC: 3,5-5%;
- Covalit: 0,5-1%;

Rețeta ASS2:

- Nisip cuarțos (M50) 02 (Gu) 60-70: 94-97%;
- Silicat de sodiu SB sau SC: 2,5-3%;
- Covasil: 1,5-2,0%;
- Covalit: 0,5-1,0%;

Rețeta ASS3:

- Nisip cuarțos (M50) 02 (Gu) 60-70: 94-97%;
- Silicat de sodiu: 2,5-3%;
- Melasă: 1,5-2%;
- Covalit: 0,5-1%.

Prepararea se execută în amestecătoare cu palete tip betonieră. Se vor introduce inițial componentele prăfoase care se vor amesteca 4-5 min. și apoi silicatul de sodiu și covasilul care se vor amesteca 1,0-1,5 min. Prolungirea duratei de amestecare cu silicat conduce la scăderea caracteristicilor mecanice ale amestecului.

Rețetele ASS2 și ASS3 pot fi utilizate și pentru amestecuri de miez.

Rețeta ARS1 (Amestec de formare liat cu rășini sintetice) în sistem No-Bake:

- Nisip recirculat 93,6%;
- Nisip cuarțos nou (M50) 02 (Gu) 60-70 5%;
- Rășină furanică ASKURAN EP 4179 1%;
- Întăritor HARTEK RS 0,4%.

Rețeta ARS2 (Amestec de formare liat cu rășini sintetice, întărit cu CO₂):

- Nisip recirculat 91,5%;
- Nisip cuarțos nou (M50) 02 (Gu) 60-70 6%;
- Rășină NOVANOL 165 2,5%;

Rețeta ARS3 (Amestec de formare liat cu rășini sintetice în sistem cu trei componente):

- Nisip recirculat 93,18%;
- Nisip cuarțos nou (M50) 02 (Gu) 60-70 6%;
- Rășină SINTEXAL UNO 0,4%;
- Rășină SINTEXAL DUE – activator 0,4%;
- Accelerator de reacție SINTEXAL TRE 0,02%.

Amestecurile de formare liate cu rășini sintetice se prepară în amestecătoare continue cu palete și șneac.

8.2.6. Formarea manuală în rame

Formarea manuală este cea mai veche și cea mai extinsă metodă de execuție a formelor de turnare pentru producția de unicate și serie mică. Această metodă se caracterizează printr-un efort investițional redus, dar și o productivitate scăzută. Pentru executarea formelor sunt necesare câteva scule și S.D.V.-uri specifice aliajului turnat, mărimii și configurației piesei turnate, tipului de amestec de formare utilizat, metodei de turnare aplicată etc.

Deoarece diferențele cele mai mari se datorează tipului de amestec de formare utilizat, în continuare vor fi prezentate fazele execuției formelor de turnare din:

- amestecuri cu lianți anorganici naturali;
- amestecuri liate cu silicat de sodiu;
- amestecuri liate cu rășini sintetice.

8.2.6.1. Execuția formelor din amestecuri cu lianți anorganici naturali

La formarea manuală cu amestec unic, liat cu argilă sau bentonită și preparat conform celor prezentate mai sus sunt necesare următoarele scule[40;43]: bătătorul de mână tip pană și plat, riglă de radere, vergele, pensule, perie, ciocan de lemn, lanțetă, troilă, croșete etc.

S.D.V.-urile minime necesare formării manuale cu amestec unic sunt: model, cutie de miez, elementele de rețea, plăci de formare, rame de formare cu știfturi de centrare etc.

Formele temporare, care sunt utilizate la o singură turnare, trebuie executate într-un timp cât mai scurt și cu o precizie satisfăcătoare, în condițiile luării în considerare a tuturor factorilor tehnologici cum sunt: natura aliajul ce trebuie turnat, temperatura de turnare, dimensiunile de gabarit ale piesei, grosimea pereților, gradul de precizie impus piesei turnate etc. Execuția formelor temporare se poate face integral manual, dar și pe linii mecanizate și chiar pe cele cu un grad avansat de automatizare.

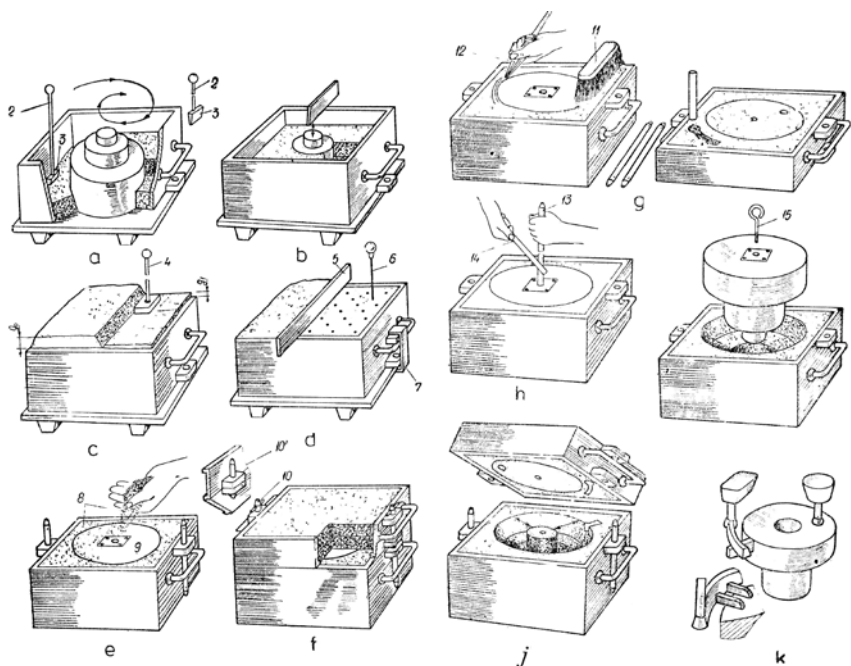


Fig. 8.2. Succesiunea operațiilor la formarea manuală[40].

Fazele execuției manuale a formelor din amestecuri unice, prezentate succint în fig.8.2., sunt explicate în continuare detaliat:

1. Se așează modelul inferior 1 pe placa de formare și se încadrează cu o ramă de dimensiuni corespunzătoare; modelele elementelor de rețea se poziționează lângă model, iar dacă acestea nu există se lasă loc pentru executarea manuală a acesteia; deasupra modelului se așează un strat de amestec de formare cernut și începe îndesarea cu bătătorul de mână tip pană. Îndesarea se face dinspre ramă spre model în sensul circular indicat în figură;

2. Îndesarea finală a amestecului în semiforma inferioară se face cu bătătorul de mână plat după ce se lasă o supraînălțare de amestec de 5-10 mm peste înălțimea ramei;

3. Se rade surplusul de amestec de formare cu ajutorul riglei 5 și apoi se împung canalele de aerisire cu vergeaua 6; în vederea întoarcerii,

dacă este necesar, se fixează rama inferioară de placa de formare cu ajutorul clemelor 7;

4. Se întoarce semiforma inferioară, se înlătură placa de formare, se perie suprafața de separație și se corectează gradul de îndesare din jurul modelului prin îndesarea cu ajutorul lanțetei sau al troilei a unui surplus de amestec; se pudrează întreaga suprafață de separație cu pudră de izolație care poate fi praful de lycopodiu sau nisipul foarte fin în stare uscată;

5. Se așează modelul superior centrat peste modelul inferior, precum și celelalte elemente ale rețelei de turnare;

6. Se așează rama superioară peste rama inferioară, centrată cu știfturile de centrare trecute prin urechile speciale ale ramei;

7. Se introduce amestec de formare și se procedează în mod similar ca la punctele 1, 2 și 3;

8. Se ridică și se răstoarnă semiforma superioară, se înlătură nisipul de izolație cu peria, se corectează gradul de îndesare și se repară suprafața semiformei;

9. Se udă cu pensula amestecul de formare din jurul modelului;

10. Se execută dizlocarea modelelor și a elementelor rețelei de turnare printr-o ușoară mișcare de ciocănire în toate direcțiile;

11. Cu ajutorul cârligului de extracție se scot (demulează) modelele din cele două semiforme;

12. Se repară zonele ușor deteriorate ale formei și prin suflare ușoară se îndepărtează toate urmele de amestec; în cazul reparării și corectării formei se utilizează sculele specifice formării manuale, prezentate în fig. 8.3;

13. Se va fixa miezul în mărcile formei sprijinit pe mărcile lui;

14. Se „închide” forma prin așezarea semiformei superioare peste semiforma inferioară, ghidată de știfturile de centrare ale celor două rame;

15. Se consolidează forma, fie prin bride de strângere, fie prin așezarea de greutate pe suprafața superioară a acesteia;
16. Se toarnă;
17. Se lasă forma la răcit până când temperatura piesei scade sub valoarea prescrisă;
18. Se dezbrute forma și se extrage piesa turnată.

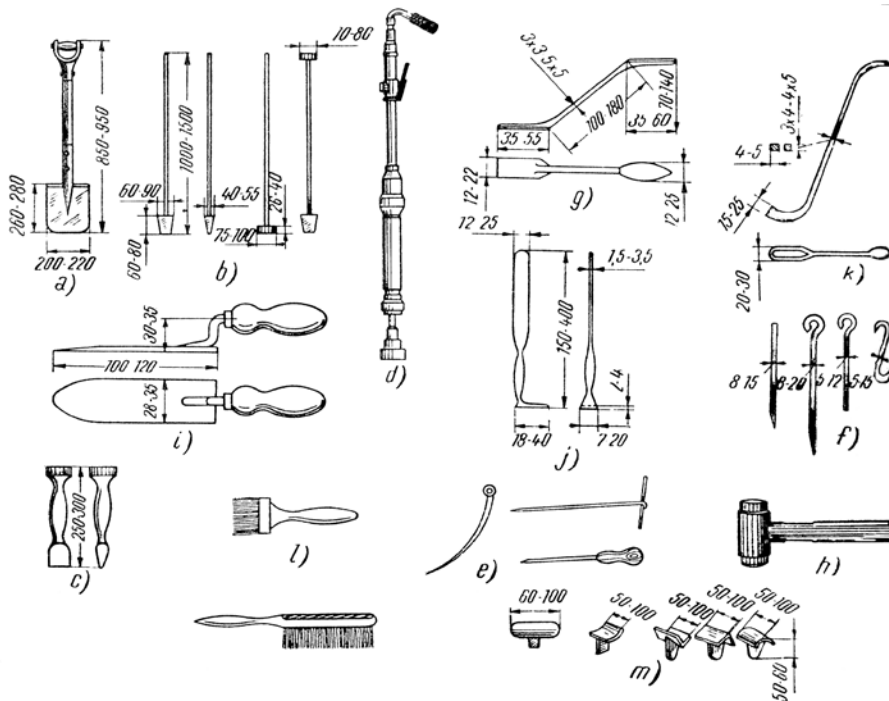


Fig. 8.3. Sculele și uneltele formatorului
a – lopată; b – bătătoare cu coadă; c – bătătoare scurte; d – bătător pneumatic;
e – vergele din oțel; f – cârlige pentru demulare; g – lanțetă; h – ciocan de lemn;
i – troila; j – croșetă; k – „s”; l – perii; m – netezitoare

Pentru realizarea operației de la punctul 15, se urmărește echilibrarea forțelor care iau naștere datorită presiunii metalostatice și de gaze, și care acționează de jos în sus, tinzând să desfacă cele două semiforme. Pentru a preveni acest fenomen este necesar ca la asigurarea cu bride, prin sudură sau prin îngreunare a formei asamblate să se ia în considerare următoarele:

- umplerea formelor se realizează pe principiul vaselor comunicante;
- presiunea metalului se exercită uniform pe toți pereții formeii;
- metalul lichid acționează asupra miezului de jos în sus, cu o forță egală cu diferența dintre greutatea aliajului dizlocuit de miez și greutatea miezului, conform legii lui Arhimede.

Formula generală de calcul a sarcinii de îngreunare ține seama de cele trei principii și este dată de relația:

$$P = S \cdot h \cdot \gamma = V \cdot \gamma \quad (8.3)$$

în care: P este presiunea metalostatică a metalului lichid;

S – suprafața cavității în planul orizontal de separație a formeii;

h – diferența dintre nivelul aliajului lichid din pâlnie și nivelul metalului lichid din cavitatea formeii, în partea cea mai înaltă;

γ – greutatea specifică a aliajului topit.

Asigurarea formelor este o operație obligatorie, mai ales la formele mai mari, și neefectuarea ei poate conduce la accidente foarte grave. În cazul unei ventilații necorespunzătoare a formeii, forțele date de presiunea gazelor degajate pot fi foarte mari, uneori incontroleabile și din acest motiv în practica industrială forța de îngreunare este de trei ori mai mare decât P.

8.2.6.2. Execuția formelor din amestecuri liate cu silicat de sodiu

Dacă formarea se realizează cu amestec de formare pe bază de silicat de sodiu (ASS1, ASS2 sau ASS3), atunci fazele de execuție a formelor deși principial sunt aceleași, au anumite particularități. Se va ține seama că garnitura de model poate să fie diferită, în sensul că modelele sunt fixate pe plăci port-model, iar ramele de formare nu sunt necesare decât până la întărirea amestecului de formare în urma gazării cu CO₂.

Ciclul operațiilor la formarea cu amestec liat cu silicat de sodiu este:

1. Se curăță modelele și plăcile post-model de impurități și se ung prin ștergere sau suflare cu un strat foarte subțire de petrol;
2. Se fixează rama de formare pe ghidajul plăcii port-model;
3. Se introduce amestecul de formare (ASS1, ASS2 sau ASS3) peste model și se îndeasă cu o sculă specializată în jurul modelului;
4. Se completează cantitatea de amestec în spațiul ramei de formare, printr-o îndesare modică;
5. Se îndepărtează surplusul de amestec prin radere la nivelul ramei de formare;
6. Se execută canalele de aerisire (de ventilație) care vor constitui și canale de gazare cu CO₂;
7. Cu ajutorul unei sonde (țevi) racordate la sursa de CO₂ se insuflă gaz la presiunea de 0,2-0,5 atm până la întărirea amestecului; operația este controlată prin pipăire și în general durează 20-60 de secunde, în funcție de cantitatea de amestec;
8. Se îndepărtează rama de formare;
9. Se extrage forma superioară, respectiv inferioară de pe placa port-model consolidată cu modelul și elementele rețelei de turnare (demulare); semiforma inferioară și superioară se execută în paralel conform succesiunii fazelor prezentate mai sus.
10. Se îndepărtează prin suflare urmele de nisip, dacă este cazul se repară zonele deteriorate și se corectează eventualele abateri de la geometria modelului; operația se execută manual, cu același amestec de formare și este urmată obligatoriu de întărirea cu CO₂;
11. Suprafețele active ale formei se acoperă cu vopsea refractară;
12. Se usucă vopseaua refractară până la pierderea completă a umidității;
13. Se montează miezurile;

14. Se „închide” forma, utilizând ghidajele obținute pe planul de separație al celor două semiforme;

15. Se îngreunează forma în mod corespunzător;

16. Se toarnă;

17. Se lasă forma să se răcească până când temperatura piesei scade sub valoarea prescrisă;

18. Se dezbate forma și se extrage piesa turnată.

Dacă modelele nu sunt consolidate pe plăcile port-model atunci ciclul operațiilor tehnologice este asemănător cu cel prezentat la formarea cu amestec unic, cu singura deosebire că imediat după execuția canalelor de aerisire se insuflă CO₂, prin metoda prezentată mai sus.

8.2.6.3. Execuția formelor din amestecuri liate cu rășini sintetice

Dacă se utilizează amestec de formare pe bază de rășini sintetice fazele de execuție a formelor sunt asemănătoare cu cele prezentate mai sus dar cu anumite particularități. În acest caz se recomandă ca modelele să fie fixate pe plăci port-model, iar în locul ramelor de formare clasice și scumpe să se utilizeze rame tip cofrag, chiar și din lemn, care sunt îndepărtate imediat după întărirea amestecului.

Ciclul de operații la formarea cu amestec liat cu rășini sintetice este :

1. Se curăță modelele și plăcile port-model de impurități și se ung prin ștergere sau suflare cu un strat de pastă de aluminiu sau alți demulatori;

2. Se fixează rama de formare sau cea tip cofrag pe ghidajul plăcii port-model;

3. Se introduce amestecul de formare peste model și se îndeasă cu un bătător special în jurul modelului;

4. Se completează cantitatea de amestec în spațiul ramei și surplusul necesar peste nivelul acesteia fără o îndesare specială;

5. Ansamblul placă de model-formă este adus pe o masă vibratoare care asigură îndesarea necesară amestecului;

6. Se îndepărtează surplusul de amestec prin radere la nivelul ramei;

7. Se execută canalele de aerisire (de ventilație);

8. Se lasă ansamblul placă-formă nemișcat până la întărirea amestecului;

9. Se îndepărtează rama;

10. Se extrage forma superioară, respectiv cea inferioară de pe placa port-model; semiforma inferioară și cea superioară se execută în paralel conform succesiunii fazelor prezentate mai sus.

11. Se îndepărtează prin suflare urmele de nisip, dacă este cazul se repară zonele deteriorate și se corectează eventualele abateri de la geometria modelului; operația se execută manual, cu același amestec de formare;

12. Suprafețele active ale formei și ale miezurilor se acoperă cu vopsea refractară;

13. Se usucă vopseaua refractară până la pierderea completă a umidității sau a altor substanțe volatile;

14. Se montează miezurile;

15. Se „închide” forma, utilizând ghidajele obținute pe planul de separație al celor două semiforme;

16. Se îngreunează forma în mod corespunzător;

17. Se toarnă;

18. Se lasă forma să se răcească până când temperatura piesei scade sub valoarea prescrisă;

19. Se dezbracă forma și se extrage piesa turnată.

Dacă modelele nu sunt consolidate pe plăcile port-model atunci ciclul operațiilor tehnologice este asemănător cu cel prezentat la formarea cu

amestec unic, cu deosebirea că amestecul nu trebuie îndesat în mod special și că este necesar un anumit timp de întărire a amestecului de formare.

8.3. TURNAREA ÎN FORME PERMANENTE

Fabricarea pieselor prin aceste procedee presupune existența unei forme de turnare care să poată fi folosită la un număr mare de turnări, fără ca în urma acestor operații repetate forma să se deterioreze, iar precizia dimensională sau calitatea pieselor să nu corespundă cerințelor inițiale.

Principalele avantaje ale turnării în forme permanente sunt:

- productivitatea muncii este de 4 - 5 ori mai mare decât la turnarea în forme temporare, iar posibilitățile de mecanizare și automatizare sunt mult mai bune;

- creșterea indicelui de scoatere cu 20 – 30% ca urmare a reducerii adaosurilor și a diminuării procentului de rebut;

- reducerea costurilor de producție cu 20 – 40%;

- creșterea calității pieselor turnate din punct de vedere geometric și estetic dar mai ales al structurii și caracteristicilor fizico-mecanice;

- reducerea consumului de materiale are o influență favorabilă atât asupra condițiilor de muncă din turnătorie cât și asupra mediului;

Cu toate avantajele menționate trebuie reținut faptul că aceste procedee nu se pot aplica decât la turnarea anumitor aliaje, de exemplu cele cu temperatură joasă sau medie de turnare, nu prezintă avantaje economice deosebite decât la producția de serie și de masă, nu pot fi utilizate la realizarea pieselor de mare gabarit sau a celor foarte complexe.

Formele de turnare sunt executate din metal prin procedee convenționale sau speciale de prelucrare mecanică, și mai rar din alte materiale. Cele mai utilizate materiale sunt fonta cenușie sau aliată, și

oțelurile carbon sau aliate, care în afara unor caracteristici mecanice și de uzură trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să suporte temperaturi înalte și variații mari de temperatură, fără a prezenta fisuri, corodări sau dilatări excesive;
- să aibă proprietăți bune de prelucrabilitate;
- să asigure o bună conductibilitate termică.

Procedeele de turnare în forme permanente cele mai răspândite sunt:

- turnarea statică sau gravitațională în forme metalice;
- turnarea centrifugă;
- turnarea sub presiune.

8.3.1. Turnarea gravitațională în forme metalice

La această metodă, umplerea cavității formei metalice se realizează prin curgerea liberă a metalului lichid. Solicitățile mecanice ale cochilelor sunt reduse, importante devenind solicitările termice datorate încălzirilor și răcirilor repetate ca urmare a turnărilor succesive.

Formele metalice de turnare, denumite și cochile se realizează frecvent din fonte sau oțeluri, mai mult sau mai puțin aliate, dar se pot fabrica și din aliaje neferoase refractare scumpe, cum sunt, de exemplu, bronzurile cu beriliu.

Cele mai multe aplicații ale turnării gravitaționale în forme metalice sunt pentru piesele din aliaje de aluminiu utilizate în domeniul construcțiilor de mașini și al bunurilor de larg consum[25]. În ultimile decenii această metodă de fabricație s-a extins și la alte tipuri de aliaje[54;55]: aliajele magneziului, aliajele zincului, bronzuri, alame etc., precum și în alte domenii: piese pentru motoare și pompe, armături, robineți, fittinguri, medalii, brelocuri etc. Turnarea gravitațională în forme metalice se pretează foarte bine pentru producerea de semifabricate cu geometrie simplă și fără

miezuri, dar se poate aplica și la turnarea unor piese mai complicate, cu unul sau mai multe miezuri metalice sau din amestecuri liate cu rășini sintetice.

La proiectarea tehnologiilor de turnare în cochilă se va ține seama de contracția mare la solidificare specifică aliajelor utilizate și de dificultățile ce apar în ceea ce privește utilizarea miezurilor metalice cât și cea legată de grosimea maximă a peretelui piesei turnate. În cazul turnării pieselor cu o geometrie mai complicată se recomandă practicarea de canale de ventilație în pereții formei sau, dacă este posibil, în planul de separație al cochilei.

Deoarece la turnarea în cochile viteza de răcire este mare piesele au o structură fină, uniformă și omogenă, iar densitatea mai mare decât la cele turnate în forme de nisip[35].

La turnare, metalul lichid are tendința de a se lipi de peretele formei. Pentru a preîntâmpina acest neajuns, suprafața activă a cochilei se acoperă cu vopsele speciale care reduc coeficientul de transmitere a căldurii prin conducție și previne lipirea. Înainte de turnare cochilele se încălzesc la temperaturi de 150-300°C, funcție de natura aliajului, pentru a preîntâmpina șocul termic și apariția crăpăturilor pe pereți.

Vopselele refractare pentru protecția suprafețelor active ale cochilelor se achiziționează de la firme specializate sau se prepară în turnătorie. Aceste vopsele se folosesc în funcție de aliajul turnat, fapt pentru care compoziția lor este diferită. În continuare se prezintă câteva rețete de preparare a acestor vopsele refractare:

- Vopseaua A , destinată turnării pieselor din alamă și bronz:

- grafit: 30%;
- talc: 30%;
- melasă: 3%;
- bentonită: 3%;
- apă: rest.

- Vopseaua B, destinată turnării pieselor din aliaje de aluminiu:

- talc: 60%;

- bentonită: 4%;

- apă: rest;

În afara acestora, la turnarea aliajelor de aluminiu, se mai pot utiliza următoarele soluții de protecție ce se aplică prin pulverizare pe părțile active ale cochilei:

- ulei vegetal: 50%

- grafit: 50%.

sau

- ulei vegetal: 25%

- negru de fum: 75%

sau

- grafit: 15-20%

- cretă praf: 15-20%

- sicilat de sodiu: 3-4%

- apă: rest.

Aplicații deosebit de interesante ale turnării gravitaționale în forme metalice se întâlnesc la fabricația pieselor de serie mare și de masă, unde a fost posibilă realizarea de mașini specializate de turnare[53]. Astfel, a fost posibilă înlocuirea aproape totală a omului din procesul direct de fabricație și atingerea unor productivități imposibile pentru tehnologiile clasice. Companiile producătoare de instalații specializate pentru turnarea gravitațională în forme metalice, dintre care se remarcă firma M.A.S. din Milano – Italia, au introdus un grad avansat de automatizare și robotizare, astfel că doar la operațiile de montare a miezurilor și de curățire mai este necesară intervenția omului. Aceste instalații realizează automat[53]:

- curățarea semiformelor de impuritățile rămase de la turnarea precedentă, prin suflarea peste acestea a unui jet puternic de aer;
- imersarea semiformelor într-un bazin cu o emulsie specială care are rol de răcire și reglare a temperaturii, cât și de protecție refractară a acestora;
- scuturarea și uscarea sub jet de aer cald;
- aducerea semiformelor la postul de turnare;
- montarea mizurilor (de obicei este unul singur) de către un robot sau un operator;
- închiderea formei și menținerea sub o anumită presiune;
- înclinarea formei cu pâlnia de turnare spre postul de alimentare astfel încât aliajul să se prelingă ușor pe perete fără turbulențe și antrenare de gaze sau oxidare;
- introducerea lingurii de turnare în baia din cuptorul de menținere cu încălzire prin inducție și preluarea cantității exacte de aliaj pentru umplerea cavității formei;
- bascularea lingurii și a formei de turnare de la poziția inițială la poziția finală verticală cu o viteză bine determinată pentru a asigura un debit constant de alimentare cu aliaj lichid;
- retragerea brațului de alimentare cu aliaj lichid, menținerea formei câteva secunde, cât sunt necesare solidificării, apoi vibrarea acesteia pentru desprinderea piesei de formă;
- deschiderea formei și extragerea piesei turnate împreună cu rețeaua de alimentare, manual sau de către un robot;
- reluarea ciclului de operații de către semiformele metalice și deplasarea pieselor turnate pe o bandă rulantă metalică către postul de debitare, dezbateră miezului, curățire, sablare, vopsire, livrare.

8.3.2. Turnarea centrifugă

Este un procedeu special de obținere a semifabricatelor turnate sub formă de corpuri de revoluție (bucușe, cu sau fără guler, tuburi, coroane) atunci când axa de simetrie a piesei este aceeași cu axa de rotație, sau sub formă de piese fasonate atunci când acestea sunt așezate excentric față de axa de rotație a formei.

Spre deosebire de alte procedee, turnarea centrifugă prezintă următoarele avantaje:

- o economie însemnată de metal lichid datorită lipsei rețelelor de turnare;
- eliminarea unor operații tehnologice costisitoare cum ar fi: formarea, miezuire, prepararea amestecului de formare etc., precum și a dotărilor tehnice necesare acestor operații;
- o calitate foarte bună a semifabricatelor turnate.

Turnarea centrifugă presupune existența unei instalații de turnare și a unor S.D.V.-uri speciale:

- port-cochilă;
- cochilă;
- capac posterior;
- capac anterior;
- capac pentru prea-plin.

Tehnologia de turnare centrifugă presupune următoarea succesiune de operații tehnologice:

- se montează port-cochila pe instalația de turnare centrifugă, prin fixare cu șuruburi pe flanșa axului instalației;
- se fixează capacul posterior, sau în lipsa acestuia o garnitură dintr-un material termoizolant, astfel încât să se lipească de peretele din fund al

port-cochilei; suprafața activă a capacului sau garniturii se acoperă cu vopsea refractară;

- se introduce cochila în interiorul port-cochilei și se împinge până tamponează capacul posterior sau garnitura de etanșare; înainte de introducerea în port-cochilă, cochila se acoperită cu vopsea refractară pe suprafețele active și se încălzește la temperatura de 150-200°C;

- se fixează capacul anterior pe gulerul frontal al cochilei, astfel încât contactul să fie cât mai intim și fără interstiții; înainte de montare, capacul se acoperă cu vopsea refractară pe porțiunile care vin în contact cu metelul lichid; gaura interioară a capacului este egală cu diametrul interior al semifabricatului;

- se fixează capacul exterior (de prea-plin) pe gulerul de ghidare al capacului anterior, urmărindu-se o așezare cât mai corectă a acestora; de asemenea, suprafețele care vin în contact cu metalul lichid se acopră cu vopsea pe bază de grafit;

- se menține în stare de ușoară apăsare capacul de prea-plin, prin sprijinire pe diametrul interior, și se pune în mișcare de rotație axul instalației de turnare; în urma mișcării de rotație pârghiile de blocare cu contragreutăți, poziționate pe diametrul exterior al port-cochilei, mențin capacul exterior blocat și presat peste capacul anterior sub acțiunea forțelor centrifuge; în cazul semifabricatelor cu diametrul exterior de peste $\varnothing 200\text{mm}$, acest sistem de blocare va fi înlocuit cu blocarea prin strângere cu șuruburi ce trebuie să se facă înainte de punerea în mișcare de rotație a axului instalației;

- dacă se consideră necesar se va face o protecție suplimentară a suprafeței active a cochilei cu un material pulverulent, termoizolant. Acest material se introduce în interiorul cochilei cu ajutorul unei scafe speciale, în timp ce aceasta se află în mișcare de rotație; deversarea conținutului scafei se va face ușor prin răsturnare în sens contrar sensului de rotație al cochilei; este

preferabil ca stratul termoizolator să se constituie din 2-3 depuneri succesive, întâi materialul cu granulație mai mare și apoi materialul mai fin;

- se introduce jgheabul de turnare în interiorul cochilei, prin orificiile celor două capace frontale și se fixează astfel încât jetul de metal să cadă la minimum $1/3$ din lungimea cochilei, față de partea frontală;

- se deversează metalul lichid în jgheabul de turnare astfel încât să se obțină un jet continuu cu debit maxim; turnarea se oprește în momentul în care apar primii stropi de metal lichid între cele două capace, acolo unde se va acumula surplusul de metal de la turnare;

- se retrage jgheabul de turnare din interiorul cochilei și se păstrează ansamblul de turnare în mișcare de rotație până la solidificarea completă a piesei, apreciată vizual după culoarea roșu închis care apare pe suprafața interioară a piesei;

- se oprește mișcarea de rotație a ansamblului de turnare și se îndepărtează cele două capace frontale împreună cu inelul de prea-plin format la turnare;

- se extrage cochila împreună cu piesa turnată;

- se îndepărtează piesa turnată din cochilă, prin lovire ușoară în sensul înclinației;

- se suflă cu aer comprimat în interiorul port-cochilei și se controlează poziția capacului posterior sau a garniturii;

- se introduce cochila, din care s-a extras piesa turnată, în port-cochilă și se reiau operațiile în ordinea de mai sus, pentru o nouă turnare.

Particularitățile tehnologice ale turnării centrifugale sunt următoarele:

- Viteza de rotație a cochilei este dependentă de diametrul interior al piesei turnate și de greutatea specifică a metalului ce se toarnă;

- Forma de turnare, sau cochila, se execută din metal (fontă sau oțel) pentru a avea o durabilitate ridicată;

- Suprafețele active ale cochilei se acoperă cu un strat de protecție de vopsea refractară sau dintr-un material pulverulent termoizolator, care are atât rol protector pentru cochilă cât și de micșorare a vitezei de răcire a metalului turnat;

- Cu cât materialul din care se execută cochila este mai corect ales (ca nivel de aliere și tratament), cu atât durata de viață a acesteia este mai mare;

- Temperatura de turnare trebuie să fie bine aleasă, în funcție de metalul turnat, astfel încât să asigure o fluiditate corespunzătoare a acestuia, dar să nu suprasolicite termic cochila;

Pentru stabilirea vitezei de rotație se pleacă de la faptul ca în cazul turnării centrifuge orice particulă din metalul lichid se află sub acțiunea a două forțe[10;52]:

- forța gravitațională $G = m \cdot g$

- forța centrifugă $F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r$

în care: m este masa, în kg;

g - accelerația gravitațională, în m/s^2 ;

ω – accelerația centrifugă, în m/s^2 ;

r - raza, în m.

Forța centrifugă trebuie să fie mai mare decât forța gravitațională cu un coeficient $K = F_c/G$, denumit coeficient gravitațional și care întotdeauna este supraunitar.

În funcție de poziția axei de rotație în timpul centrifugării există mai multe posibilități teoretice, dar și practice de realizare a turnării:

a) Turnarea centrifugă cu axa de rotație orizontală - forma spațială a lichidului în mișcare este un cilindru a cărui axă geometrică corespunde axei de rotație a formei de turnare; presiunea dezvoltată în interiorul aliajului lichid centrifugat într-un punct aflat la distanța r de axa de rotație este:

$P = \gamma \frac{\omega^2}{2g} (r^2 - r_i^2)$; suprafața liberă a aliajului solidificat la final este un cerc cu ecuația: $x^2 + y^2 = r^2$.

b) Turnarea centrifugă cu axa de rotație verticală - forma spațială a lichidului în mișcare este un paraboloid de rotație în jurul axei de rotație a formei de turnare; presiunea exercitată într-un punct din aliajul lichid centrifugat, aflat la distanța r de axa de rotație și cota z de origine, este:

$$P = \gamma \left(\frac{\omega^2 r^2}{2g} + z_0 - z \right), \text{ în care } z_0 \text{ este cota de la origine la vârful parabolei;}$$

suprafața liberă a aliajului solidificat în final este o parabolă descrisă de ecuația: $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$.

c) Turnarea centrifugă cu axa de rotație înclinată - forma spațială a lichidului în mișcare este un paraboloid de rotație alungit în jurul axei de rotație a formei de turnare; presiunea exercitată într-un punct din aliajul lichid centrifugat, aflat la distanța r de axa de rotație și cota z de origine, este:

$$P = \gamma \left[\frac{\omega^2 r^2}{2g} + (z_0 - z) \cos \alpha \right]; \text{ suprafața liberă a aliajului solidificat în}$$

final este o parabolă descrisă de ecuația: $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g \cos \alpha}$, în care α este unghiul făcut de axa de rotație a formei cu verticala.

Stabilirea turației optime se face cu ajutorul unor relații empirice:

- formula lui Kammen:

$$n = \frac{C}{\sqrt{r_i}} \quad [\text{rot/min}] \quad (8.4)$$

unde: n – numărul de rotații pe minut, optim;

C – coeficient care depinde de aliaj; $C = 1350$ pentru oțel, $C = 1675$ pentru fontă și bronzuri și $C = 2250$ pentru aluminiu;

r_i – raza suprafeței interioare a piesei [cm].

- formula lui L.S. Constantinov:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r_i}} \quad [\text{rot/min}] \quad (8.5)$$

unde: γ – greutatea specifică a metalului turnat [daN/dm^3];

r_i – raza suprafeței interioare a piesei [cm].

Cu o foarte bună aproximație se poate determina viteza de rotație, utilizând nomogramele din figura 8.4.

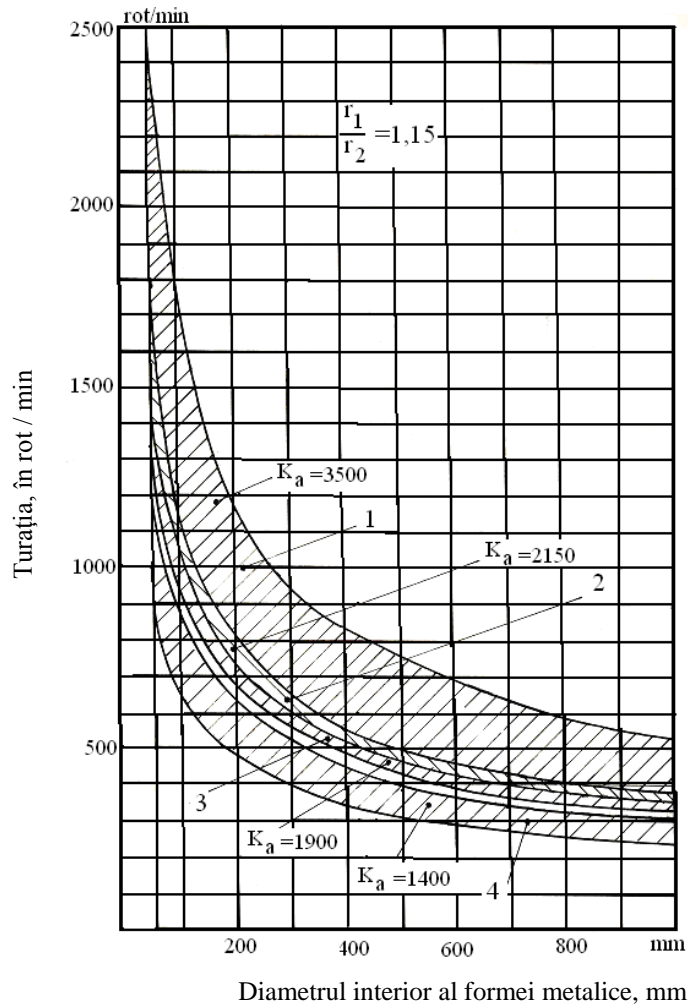


Fig.8.4. Nomograme pentru determinarea turației la turnarea centrifugală cu axă orizontală de rotație[10].

1 – aliaj de Al; 2 – fontă și bronz; 3 – oțel; 4 – aliaj antifricțiune.

Grosimea stratului de material termoizolant se alege în funcție de grosimea de perete a piesei:

Grosimea de perete [mm]	<10	10-15	15-20	>20
Grosimea stratului termoizolant [mm]	1,5	2,5	4	5

Materialul termoizolant se aplică în straturi succesive cu ajutorul unei scafe speciale, prin deversarea în sens contrar sensului de rotație. Materialul utilizat trebuie să fie în stare uscată, în general constituit din amestecuri de nisip fin cu dimensiuni mai mici de 0,2 mm, grafit flotat, pulbere de ferosiliciu, și pulbere de bachelită.

În afara materialelor pulverulente se utilizează diverse tipuri de vopsele refractare produse de firme specializate, sau care se produc în turnătorii conform următoarelor rețete:

- a) rețeta A:
- grafit coloidal 20-25%;
 - dextrină 2-3%;
 - argilă refractară 10-15%;
 - silicat de sodiu 4-5%;
 - apă rest.

Dextrina se dizolvă în apă caldă la 60-80°C și se amestecă cu restul de apă și cu silicatul de sodiu. În paralel se amestecă foarte bine grafitul coloidal și argila refractară care apoi se adăugă continuu pe parcursul agitării soluției de mai sus, până se obține o foarte bună omogenitate a vopselei.

- b) rețeta B:
- grafit coloidal 25%;
 - bentonită 1,5%;
 - lignosulfonat 0,5%;
 - alcool metilic 73%.

Componentele prăfoase se adăugă treptat în alcoolul metilic care este agitat continuu.

c) rețeta C:	- marșalită	93-96%;
	- bentonită	2-7%;
	- carboximetil de celuloză	0,4-0,6%;
	- hexametofosfat	0,1-0,2%;
	- dispersil	0,5-1,5%;
	- apă	rest.

Grosimea optimă a stratului de vopsea este de 1-3 mm, iar temperatura optimă a formei este de 200-250°C. Vopselele se aplică prin pulverizare.

8.3.3. Turnarea sub presiune

Procedeele de turnare sub presiune, deși mai scumpe din punct de vedere investițional și de exploatare, sunt folosite pe scară tot mai largă deoarece piesele produse au calități deosebite de formă și suprafață, dar mai ales în ceea ce privește caracteristicile mecanice și structurale. Piesele turnate prin aceste procedee se remarcă prin toleranțe foarte strânse ale geometriei și dimensiunilor, suprafețe netede și deosebit de curate, pereți compacți și omogeni din punct de vedere chimic și structural etc.

În acest caz formele de turnare sunt metalice, iar aliajul lichid este împins cu o anumită presiune ceea ce face ca procesele de turnare și solidificare să fie influențate de:

- mărimea forțelor sub care se realizează curgerea și solidificarea;
- viteza mare de extragere a căldurii de către forma de turnare;
- caracterul solidificării și particularitățile formării structurii primare;
- modul de extragere a căldurii de către forma de turnare.

Caracterizate de aplicarea presiunii exterioare la curgere, solidificare și răcire, procedeele de turnare sub presiune se clasifică în funcție de:

- a) agentul de presare care poate fi un gaz, un piston sau un poanson;
- b) direcția de presare care poate fi:

- unilaterală sub acțiunea gazului sau a unui poanson-piston;
- multilaterală când turnarea se face în autoclave sub presiune;

c) mărimea presiunii aplicate care poate fi mică, mijlocie sau mare, în funcție de agentul de presare și instalația de turnare folosită.

Presiunea influențează principalii parametri termofizici ai aliajului în curs de solidificare: căldura latentă de topire, respectiv solidificare; căldura specifică; conductibilitatea termică; temperatura de topire; densitatea etc. Ca urmare la cristalizarea sub presiune au loc următoarele transformări:

- reducerea dimensiunilor medii ale grăunților cristalini;
- reducerea segregăției, ceea ce conduce la o îmbunătățire a uniformității structurale și a distribuției incluziunilor nemetalice.

Micșorarea dimensiunii medii a grăunților se datorează atât schimbării parametrilor de cristalizare și a condițiilor de schimb de căldură, cât și fragmentării lor sub acțiunea forțelor induse de presiunea externă în topitura în curs de cristalizare. La creșterea presiunii coeficientul de difuzie se reduce ceea ce conduce la micșorarea segregăției interdendritice și îmbunătățirea uniformității structurale a aliajelor.

Aplicarea presiunii la cristalizare conduce la micșorarea volumului macroretasurii, a volumului microretasurilor, precum și a tendinței de formare a crăpăturilor la cald.

La turnarea sub presiune procesul de degazare este îngreunat, conținutul de gaze dizolvate este mai mare decât la turnarea gravitațională, în schimb tendința de formare a suflurilor este mai redusă datorită măririi limitei de solubilitate.

O variantă mai simplă din punct de vedere a dotărilor tehnice necesare este procedeul de „matrițare în stare lichidă” a aliajului turnat gravitațional, procedeu cunoscut sub denumirea de „Squeeze casting”. Cei mai importanți parametri ai procesului sunt[8;10]:

- presiunea exercitată asupra aliajului lichid în timpul solidificării;
- timpul de menținere a aliajului sub presiune până la solidificarea sa.

Rezultatele experimentale, dar și cele industriale, au arătat că în cazul aplicării unei presiuni de peste 2000 daN/cm^2 în timpul solidificării, caracteristicile mecanice cresc cu până la 30%, se reduc defectele de structură și crește densitatea. Față de procedeele clasice de turnare, la matrițarea în stare lichidă a aliajelor de aluminiu, s-a obținut o mărire de 1,5 a rezistenței la rupere la tracțiune, de 2,5 a rezilienței și de 4 ori a alungirii.

Procedeele de turnare sub presiune înaltă se caracterizează prin viteza mare de injectare a aliajului lichid într-o formă metalică numită matriță, dar și prin menținerea acestuia până la solidificarea completă sub o presiune înaltă dată de pistonul acționat pneumatic, mecanic sau hidraulic. Ele se aplică cu succes la turnarea aliajelor neferoase, în special a celor de aluminiu și zinc, dar și a celor de magneziu și cupru, de dimensiuni și mase reduse, pentru producția de serie mijlocie, de serie mare și de masă.

8.3.3.1. Avantaje și caracteristici ale turnării sub presiune

Precizia deosebită obținută prin acest procedeu, care poate asigura fabricarea pieselor cu greutatea minimă de 1 g și grosimea de perete de 0,5 mm, combinată cu o productivitate foarte ridicată, au făcut ca în ultimul timp procedeul să fie foarte răspândit și să se realizeze o mare varietate de mașini.

Avantajele pe care le aduce turnarea sub presiune sunt:

- asigură obținerea pieselor la toleranțe foarte strânse;
- posibilități mari de a produce piese fără prelucrări ulterioare;
- producerea unor piese cu pereți subțiri, ceea ce conduce la economii foarte mari de materiale;
- posibilitatea de producere a unor serii mari de aceleași dimensiuni;
- obținerea de piese cu masa scăzută;

- asigură obținerea de piese cu suprafețe curate, netede care reproduc întocmai configurația presformei;
- precizie dimensională ridicată;
- adaosuri de prelucrare mici;
- permite turnarea pieselor complexe, care de multe ori nu pot fi realizate prin alte procedee;
- grad înalt de automatizare și productivitate ridicată.

Procedeele de turnare sub presiune sunt definite de presiunea exterioară care se aplică în timpul scurgerii, solidificării și răcirii aliajelor în cavitatea formei metalice denumită presformă.

Turnarea sub presiune se folosește pentru turnarea pieselor necesare industriilor de automobile, construcției de aparatura etc.

Înclinările pereților presformei sau ale miezurilor metalice ale acestuia sunt cu mult mai mici decât la celelalte metode de formare - turnare. În fig. 8.5. se prezintă valorile înclinațiilor pereților presformei și conicitățile găurilor pentru diferite aliaje turnate sub presiune.

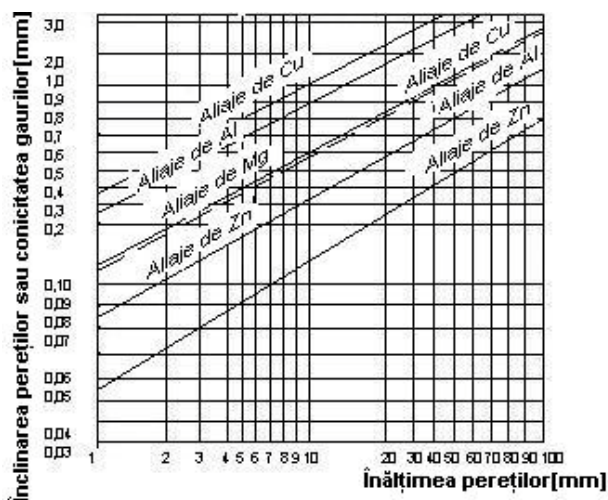


Fig. 8.5. Înclinațiile constructive ale pereților verticali și a miezurilor metalice ale matrițelor utilizate la turnarea sub presiune

În ceea ce privește dimensiunile orificiilor pieselor turnate sub presiune obținute cu ajutorul miezurilor metalice, în tabelele 8.1 și 8.2 se dau unele date practice generale. Este de remarcat faptul că golurile interioare (cavitățile) ale pieselor turnate se obțin cu miezuri metalice acționate din exteriorul presformei, astfel ca imediat după solidificare acestea să poată fi extrase din piesă.

Tabelul 8.1. Caracteristicile orificiilor și găurilor obținute cu miezuri metalice

Aliajele	Diametrul minim al orificiului, în mm		Adâncimea maximă h în funcție de diametrul d	
	Folosit practic	Posibil de obținut	Orificii oarbe	Orificii de trecere
Plumbului	1,00	0,75	4d	$D < 1,5/h < 10d$
Staniului	1,00	0,50	4d	$D < 1,5/h < 7d$
Zincului	1,50	1,00	4d	$d > 5/h < 8d$ $d < 5/h < 6d$
Aluminiului	2,50	1,50	$d > 5/h < 4d$	$d > 5/h < 5d$
Magneziului	2,00	1,50	$d < 5/h < 3d$	$d > 5/h < 5d$
Cuprului	5,00	2,50	$d > 5/h < 3d$ $d < 5/h < 2d$	$d > 5/h < 4d$

Tabelul 8.2. Caracteristicile filetelor ce se pot obține direct prin turnare sub presiune

Aliajele	Filete exterioare		Filete interioare	
	Diametrul minim [mm]	Pasul minim [mm]	Diametrul minim [mm]	Pasul minim [mm]
Pb-lui și Sn-lui	5	0,80	10	1
Zn-lui	8	1,00	10	1
Al-lui și Mg-lui	10	1,25	25	2
Cu-lui	12	1,50	-	-

Sub presiune se pot turna piese cu pereți foarte subțiri, funcție de natura aliajului și de dimensiunile de gabarit ale pieselor. Astfel în tabelul 8.3. se prezintă unele date privind grosimile pereților ce se pot obține la turnarea sub presiune în forme metalice, a diferitelor tipuri de aliaje

neferoase.

Tabelul 8.3. Caracteristici constructive ale pieselor turnate sub presiune

Aliajele	Grosimea în mm la o suprafață în cm ² a peretelui piesei turnate de:			
Plumbului	<25	25...100	100...500	>500
Staniului	0,5...1	1...1,5	1,5...2	2...2,25
Zincului	0,6...1,2	1,8...2,5	1,8...2,5	2,5...3
Aluminiului	0,6...1,2	1,8...2,5	1,8...2,5	2,5...3
Magneziului	0,6...1,2	1,8...2,5	1,8...2,5	2,5...3
Cuprului	1,5...2	2...3,3	2...3,3	3...4

Temperaturile de turnare ale aliajelor neferoase corelate cu temperaturile de preîncălzire a presformelor, precum și tipurile de mașini folosite la turnarea sub presiune se prezintă în tabelul 8.4.

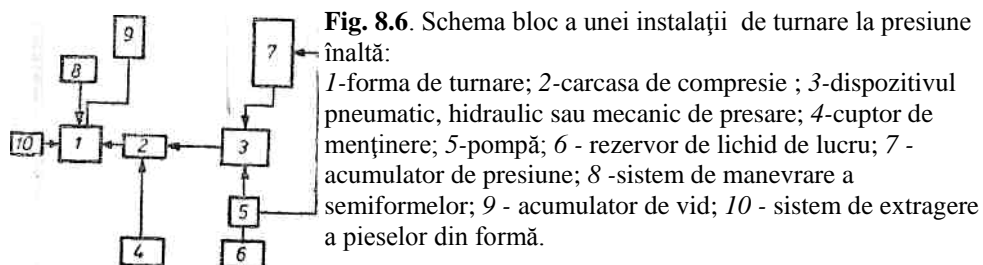
Tabelul 8.4. Parametrii tehnologici ai turnării sub presiune a unor aliaje neferoase

Aliajele	Temperatura de turnare °C	Temperatura formei °C	Mașini folosite:	Presiune de lucru daN/cm ²
Plumbului	200...360	120...140	Cu piston și cameră caldă	20...70
Staniului	280...330	130...150	-	20...70
Zincului cu staniu	420...440	150...200	Cu piston, cameră caldă de compresie și compresor	20...70
Aluminiului cu siliciu	600...700	150...250	Cu piston hidraulic și cameră rece de compresie	100...200
Aluminiului cu cupru	620...700	150...200	-	100...200
Magneziului	600...700	200...250	-	100...200
Cuprului	850...950	300...350	-	300...1000

Presformele (formele metalice) se execută din diferite tipuri de

8.3.3.2. Instalații pentru turnarea sub presiune a aliajelor neferoase

Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase se efectuează pe mașini speciale capabile să imprime topiturii viteze și presiuni atât de mari încât să fie penetrate cele mai fine spații ale formei metalice, iar piesele turnate să aibă caracteristicile mecanice superioare celor obținute prin alte procedee. În figura 8.6. este redată schema bloc a unei instalații de turnare sub presiune.



Tabelul 8.6. Particularități constructiv – funcționale și domenii de utilizare a principalelor tipuri de mașini utilizate la turnarea sub presiune

Tipul mașinii	Modul de acționare și particularități constructive	Domeniul de utilizare și date de exploatare:
Cameră caldă cu piston	Alimentarea cu un piston (plunjer)	Turnarea aliajelor Pb-lui, Sn-lui, Zn-lui. Presiunea:20-70daN/cm ²
Cameră caldă cu compresor	Alimentarea cu aer comprimat introdus în incinta creuzetului	Turnarea aliajelor ușor fuzibile. Dezavantaj:consum mare de aer comprimat și oxidarea metalului.
Cameră caldă cu compresor și gât de lebădă	Alimentarea cu aer comprimat printr-un gât de lebădă	Turnarea aliajelor ușor fuzibile.Nu are dezavantajele de sus. Este foarte productivă
Cameră rece cu piston și presare verticală	Alimentarea cu lingura în camera de presare. Pistonul este acționat hidraulic	Turnare aliaje cu temp.medii de topire(950 ⁰ C). Productivitate ridicată și siguranță în exploatare. Presiunea sub 1000daN/cm ²
Cameră rece cu piston și presare orizontală	Alimentarea cu lingura în camera de presare. Pistonul este acționat hidraulic	Turnare aliaje cu temp.medii de topire (950 ⁰ C). Productivitate ridicată și siguranță în exploatare. Presiunea sub 1000daN/cm ²

La stabilirea criteriilor de clasificare a mașinilor de turnat sub presiune și deci implicit a metodelor (și instalațiilor de turnare sub presiune) care fac parte din această grupă de procedee speciale trebuie avut în vedere aspectul constructiv, legat de utilajul propriu-zis și particularitățile metalurgice care se referă la specificul curgerii, solidificării și interacțiunii aliaj lichid-formă[10;54;56;57;58].

Soluția camerei de compresie caldă implică construcția cuptorului de încălzire (menținere) împreună cu sistemul de injectare; din punct de vedere metalurgic înseamnă încălzirea unei cantități mari de aliaj, cu consecințele nedorite de creștere a consumurilor energetice și de mărire a pierderilor nerecuperabile prin oxidare. Oxidarea băii este limitată la soluția cu baie închisă, dar construcția acestora prezintă alte deficiențe: limitarea mărimii creuzetului cuptorului, realizarea lui din materiale rezistente la temperaturi înalte, utilizarea de presiuni de injectare nu prea ridicate. Mașinile cu cameră de compresie caldă sunt utilizate cu precădere pentru aliajele ușor fuzibile cu temperatura de turnare sub 450⁰C. Din cauza contactului direct și de mare durată a camerei de compresie (fixă sau mobilă) cu baia de aliaj lichid, durabilitatea ei este scăzută. Instalațiile de tipul cu piston sunt ușor integrate în fluxuri automatizate și mecanizate, caracterizate de productivități ridicate.

Utilajele cu compresor (presiune de aer) folosite cu precădere la aliajele cu baza de aluminiu au o productivitate scăzută determinată de existența unor cicluri lungi ale stabilirii presiunilor de regim sau umplerea camerei de aliaj lichid, consumuri mari de aer comprimat sau gaz inert (azot), prezentând însă o construcție mai simplă și ușor de întreținut.

Mașinile cu cameră caldă cu piston (vertical sau orizontal) asigură presiuni specifice de injectare mai scăzute. Mașinile cu compresor (presiune de aer) cu baia închisă sau deschisă permit presiuni specifice de până la 100 daN/cm². Legătura formă-cameră de compresie poate fi realizată prin două

construcții distincte: cu duză (ajutaj) obișnuită sau cu tub profilat special de forma literei S, cunoscut și sub denumirea de gât de lebădă.

Mașina cu cameră de compresie rece se caracterizează prin construcția separată a cuptorului de menținere față de mașina propriu-zisă. Alimentarea cu aliaj a camerei de compresie, după alegerea tipului de mașină în funcție de mărimea piesei ce urmează a fi turnată, se face manual cu o lingură (oală) de turnare obișnuită sau mecanizat cu diferite sisteme. Diferența între pozițiile camerei de compresie și direcția de realizare a injectării constă din punct de vedere metalurgic în modul diferit de realizare a curgerii forțate a aliajului sub presiunea pistonului și calitatea piesei turnate, mai ales în ceea ce privește compactitatea peretelui și cantitatea de incluziuni gazoase și nemetalice din acesta.

Schema constructivă a mașinii de turnat sub presiune, cu cameră caldă și piston este prezentată în figura 8.7.

Aceasta este constituită dintr-un cuptor încălzit electric sau cu gaze care conține un creuzet 18, în care se topește și se menține la o temperatură dată aliajul de turnat. În creuzet se află montată camera de injecție, solidară cu o conductă care face legătura cu ajutorul de injecție, prin intermediul ajutorului de reazem. Această conductă are forma unui gât de lebădă (goose neck). Metalul pătrunde prin orificiul 12 și sub acțiunea pistonului plonjor 11 este refulat sub presiune în cavitatea formei. Mașinile de turnat sub presiune cu cameră caldă, actualmente, sunt prevăzute cu un sistem de securitate care interzice repetarea unui ciclu, în cazul evacuării nereușite a grupului precedent de piese. De asemenea se prevăd dispozitive pneumatice speciale de injecție care permit alimentarea cu debit redus și dispozitive „antipicătură” încorporate. Gusnecul, paharul și pistonul de presare lucrează în condiții termice dificile, astfel încât trebuie confecționate din aliaje care asigură o înaltă stabilitate la solicitări termice.

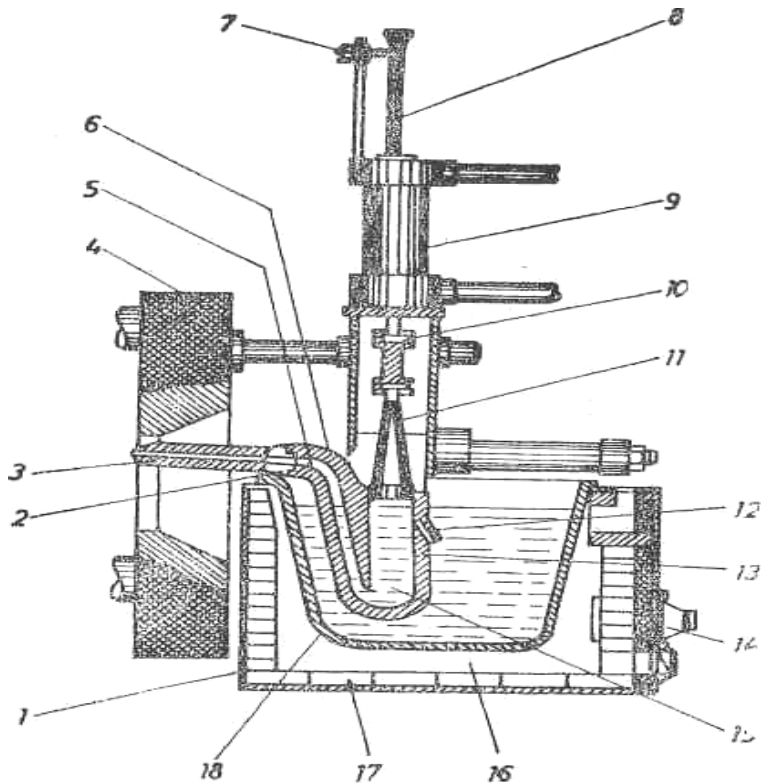


Fig. 8.7. Elementele mașinii de turnat sub presiune cu cameră caldă de presare și piston :

1 - carcasa; 2 - ajutoraj de reazem; 3 - ajutoraj; 4 - placă; 5 - canal; 6 - gusnec (gât de lebădă); 7 - întrerupător final de cursă; 8 - tijă; 9 - cilindru pneumatic de acționare; 10 - cuplă; 11 - piston plonjor; 12 - orificiu de alimentare ; 13 - bucușă; 14 - arzător; 15 - cameră de presare; 16 - spațiu de combustie; 17 - cărămidă de șamot; 18 - creuzet.

În figura 8.8. sunt prezentate scheme ale mașinilor de turnare sub presiune cu cameră caldă de compresie cu piston vertical, cu piston orizontal sau cu compresor cu baie închisă.

În figura 8.9. sunt prezentate schemele procesului tehnologic de umplere cu metal a cavității formei (I), presarea aliajului (II) și extracția piesei (III) la turnarea pe mașini cu cameră rece și piston orizontal de presare.

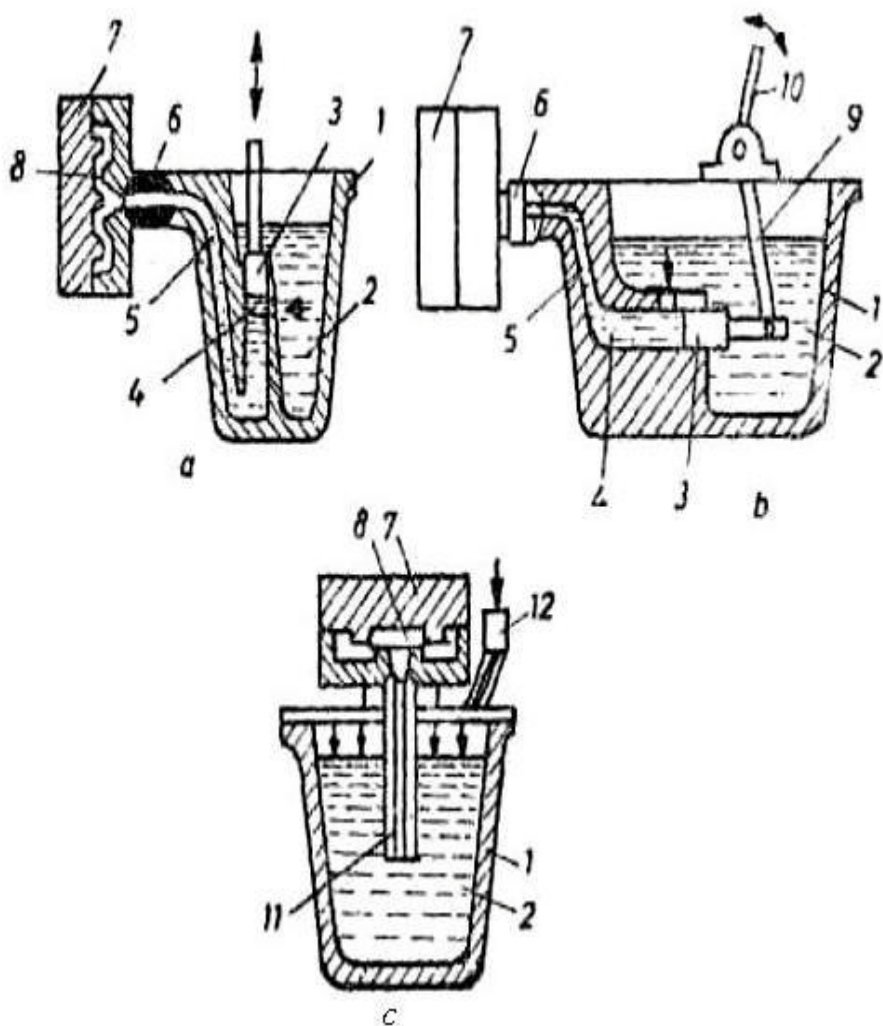


Fig. 8.8. Mașini de turnare sub presiune cu cameră caldă de compresie cu piston vertical (a); cu piston orizontal (b); cu compresor cu baie închisă (c):

- 1- cuptor de menținere; 2- aliaj lichid; 3- piston; 4- cilindru; 5- canal de presare;
 6- duză de presare; 7- matriță; 8- cavitate; 9- pârghie; 10- manetă;
 11- țeava ascensională; 12- racord la compresor.

În figura 8.10. sunt prezentate schemele procesului tehnologic de alimentare controlată cu aliaj lichid a paharului de umplere (a), presarea aliajului de către poanson în cavitatea forme (b) și extragerea piesei (c) la turnarea pe mașini cu cameră rece și poanson vertical de presare.

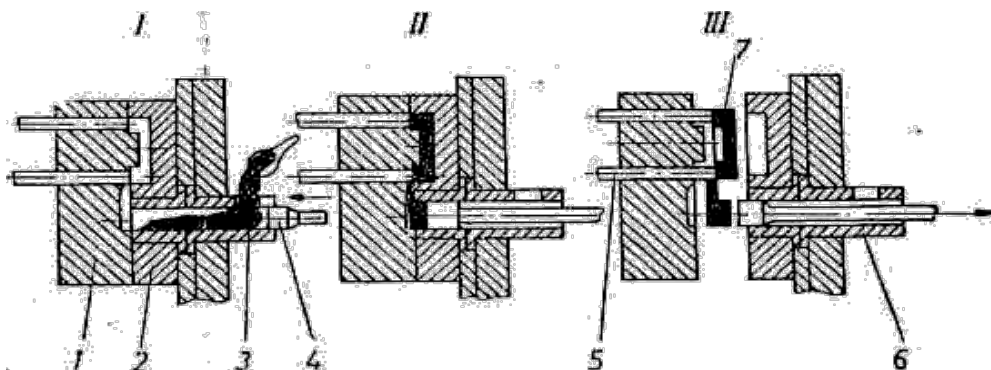


Fig. 8.9. Schema procesului tehnologic de turnare pe mașina de presare cu cameră rece, orizontală[10].

- 1- semiformă mobilă; 2- semiformă imobilă; 3- aliaj lichid; 4- plonjorul de presare;
5- tijă de expulzare; 6- paharul de presare; 7- piesă turnată.

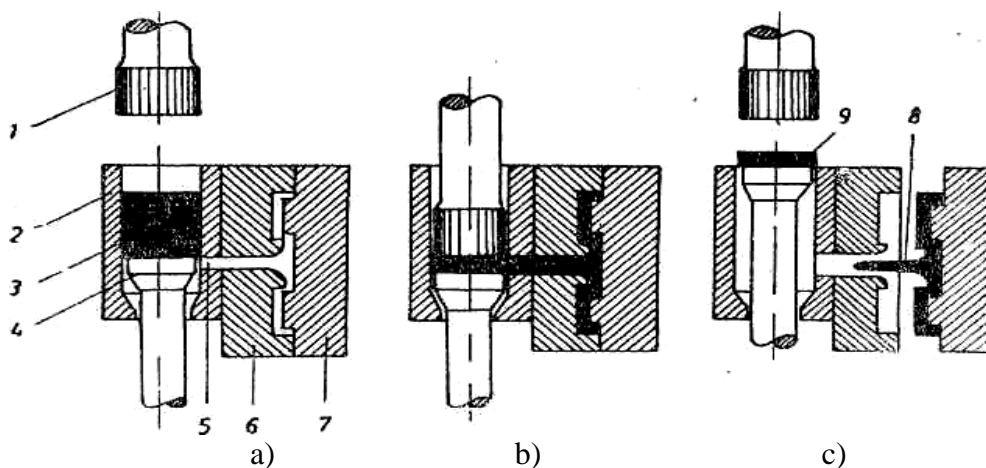


Fig. 8.10. Schema procesului tehnologic de turnare pe mașina de presare cu cameră rece, verticală[10].

- 1 - poansonul de presare; 2 - paharul de umplere; 3 - aliaj; 4 - pistonul inferior;
5 - canal de turnare; 6 - semiformă fixă; 7 - semiformă mobilă;
8 - piesă cu rețea de turnare; 9 - rest de aliaj.

Procedeele clasice de turnare sub presiune sunt caracterizate de curgerea turbulentă cu viteze extrem de mari a aliajului lichid presat printr-o secțiune de alimentare redusă. În final, piesa turnată are în interior micropori de gaze (aer) înglobate în timpul turnării și microretasuri din cauza

contractăiei. Această particularitate face ca piesele turnate în mod obișnuit sub presiune să nu aibă caracteristici mecanice ridicate și să nu poată fi utilizate în condiții severe de solicitare și etanșare la presiune.

Tehnica utilizării vidului a adus îmbunătățiri și în domeniul turnării sub presiune. La început vidul s-a folosit pentru optimizarea solidificării și înlăturarea microsufurilor datorate gazelor încorporate, iar mai târziu a fost utilizat pentru realizarea curgerii și dozării aliajului lichid. Înlăturarea microsufurilor s-a obținut prin vidarea (depresurizarea) cavității matriței.

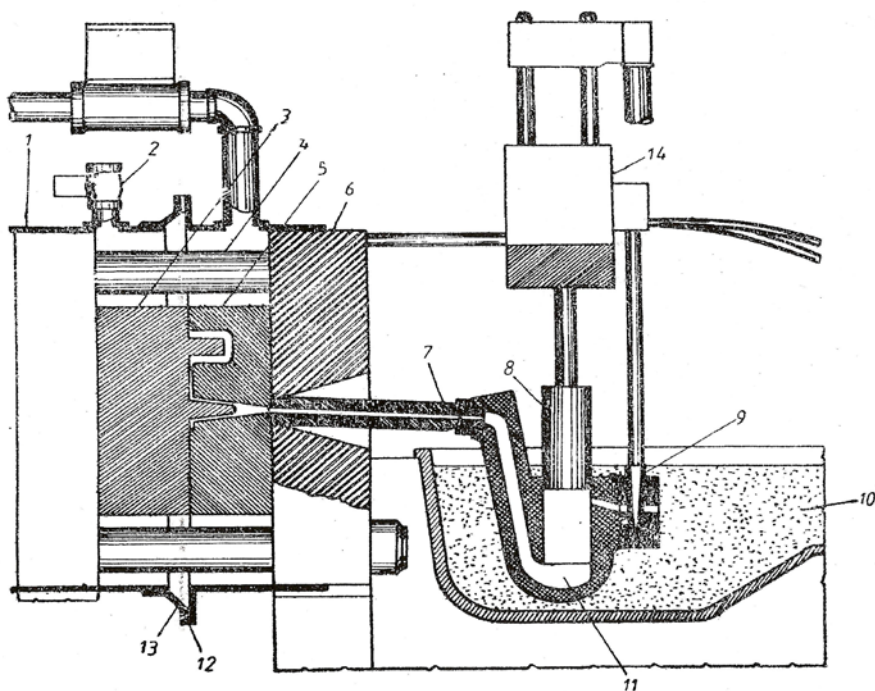


Fig. 8.11. Mașină de turnat sub presiune cu cameră caldă și manta, cu turnare în vid

1- placă de ejecție; 2- supapă de vid; 3- semimatriță de injecție; 4- bară de legătură; 5- semimatriță imobilă; 6- placă port-matriță; 7- ajutoraj de injecție; 8- plonjor de injecție; 9- plonjor de comandă pentru alimentare; 10- aliaj topit; 11- cilindru de presare; 12- dispozitiv de etanșare; 13- înveliș; 14- cilindru de forță.

Secțiunea canalelor de ventilare nu se poate mări din cauza pericolului formării bavurilor. Pentru aceasta s-au pus la punct metodele de

turnare sub presiune cu utilizarea vidului. Piesele astfel turnate prezintă în structură numai microporozități de contracție.

În figura 8.11. este prezentată schema funcțională a mașinii de turnat sub presiune cu cameră caldă cu vid, la care depresurizarea se realizează doar în camera de presare ce conține matrița

În figura 8.12. este prezentată schema funcțională a mașinii de turnat sub presiune cu cameră rece, verticală, în vid, la care depresurizarea se face în camera de presare în care se află matrița cu plan de separație vertical.

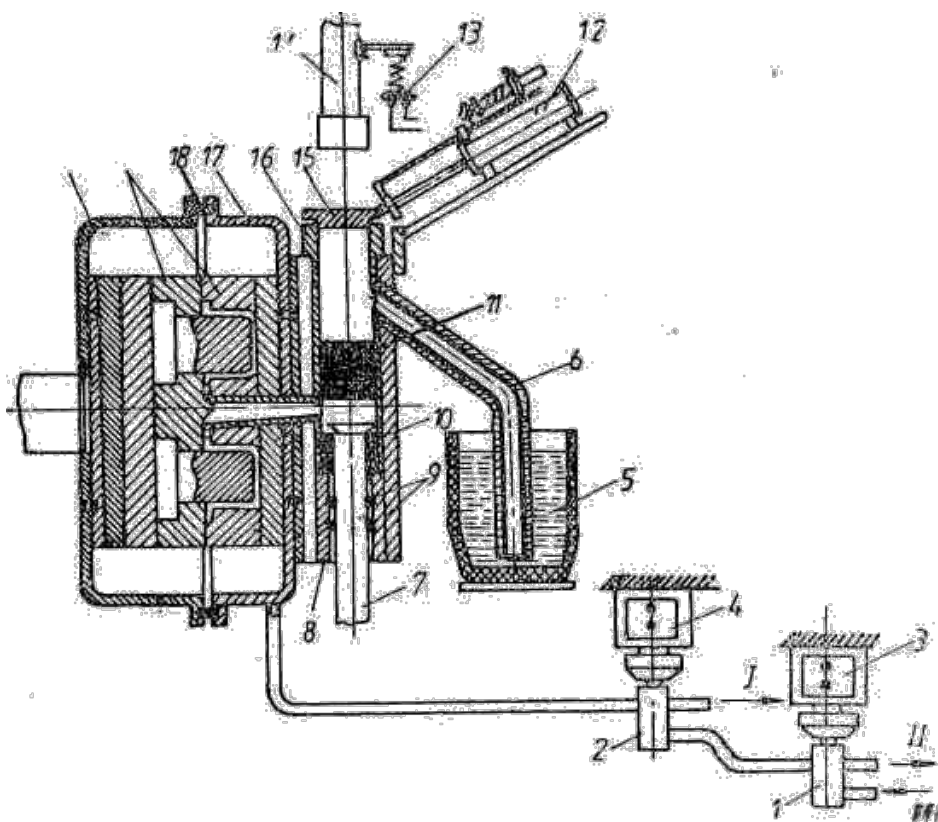


Fig. 8.12. Instalație de vid la mașină de turnat sub presiune cu cameră rece verticală

1,2- robinete de vid; 3,4- solenoizi; 5- creuzet; 6- tub de aspirație; 7- tija pistonului inferior; 8- bucsă; 9- garnitură de etanșare; 10- postamentul mașinii; 11- aliaj dozat; 12- tijă; 13- contact electric; 14- plonjour de presare; 15- capac; 16- camera de compresiune; 17- semicâmașă imobilă; 18- garnitură; 19- formă; 20- semicâmașă mobilă.

I — acumulator de vid relativ mic; *II* — acumulator de vid avansat; *III* — atmosferă.

În figura 8.13. este prezentată schema funcțională a mașinii de turnat sub presiune cu cameră rece, verticală, în vid, la care depresurizarea se realizează în matrița cu plan de separație orizontal.

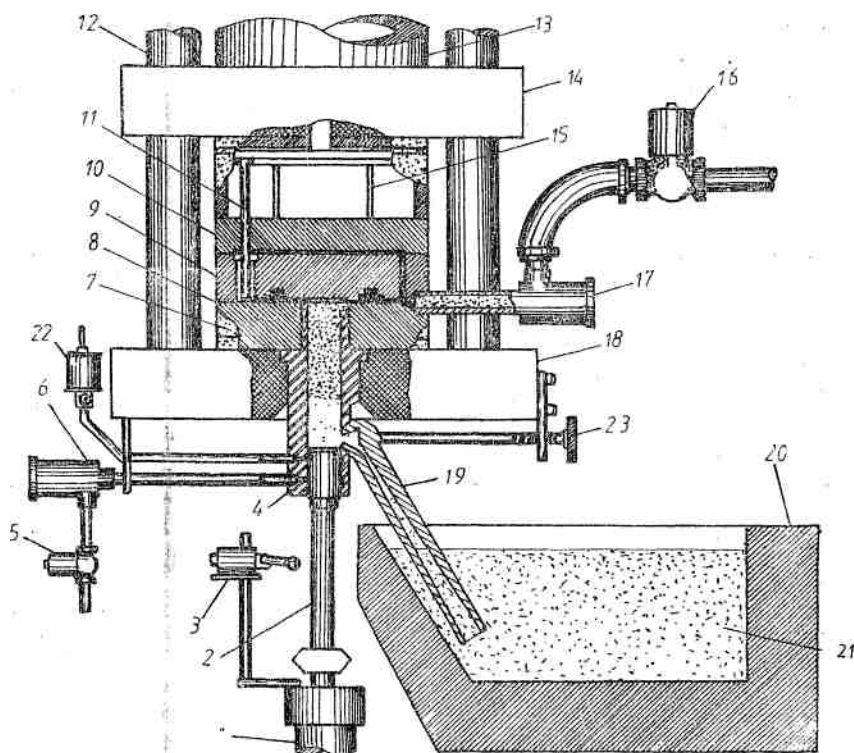


Fig. 8.13. Mașină de turnat sub presiune VERTICAST

- 1- cilindru de presare; 2- tija plonjorului; 3- deconector final de vid; 4 - cameră de injecție;
 5- supapă de vid; 6- capcană pentru metal; 7- semimatriță inferioară; 8- plan de separație;
 9- semimatriță superioară; 10- placă de reazem; 11- tijă de întrerupere a vidului;
 12- bară de legătură; 13- cilindru de strângere; 14- placă superioară; 15- tijă de ejecție;
 16- supapă de vid; 17- capcană pentru metal; 18- port-formă imobilă; 19- tub de transfer;
 20- cuptor de menținere; 21- metal topit; 22- ungător pentru pistonul de presare;
 23 - mecanism special de schimbare rapidă a tubului refractar de transfer.

Aici, deschiderea formelor are loc de sus, ceea ce a permis să se micșoreze consumul de energie pentru deschiderea formei. Placa superioară port-formă 14 coboară rapid sub acțiunea greutății proprii, imediat ce dispare contrapresiunea din zona cu tijă a cilindrului de închidere, montat deasupra.

În momentul în care până la capătul cursei descendente a port-formei mobile mai rămân 30 ... 40 mm, se conectează supapa pentru scurgerea lichidului de lucru din zona cu tijă a cilindrului de închidere, iar atingerea semimatrițelor are loc lin, fără șoc. După aceasta în cilindru se creează presiunea care dă forța necesară pentru închiderea formei. Cilindrul este rigid legat de port-forma mobilă 18. Mașina este înzestrată cu un dispozitiv de îndepărtare a piesei, de ungere a formei și cu un acumulator hidraulic. După închiderea formei, controlată de către un traductor, se deschid supapele de vid 5 și 16 și se creează vidul în întreaga cavitate tehnologică. Metalul din cuptorul 20, sub acțiunea presiunii atmosferice, pătrunde în camera de presare prin intermediul tubului 19. Cantitatea de aliaj deplasată în cilindru, este determinată prin reglarea releului de timp, care controlează pauza dintre momentul de conectare a supapelor de vid și începutul de mișcare a pistonului de presare. În cazul aliajelor pe bază de aluminiu, viteza de pătrundere a metalului în camera de presare este de 1,8...2,0 kg/s. După ce cantitatea prestabilită de metal a pătruns în cilindru de presare, releul de timp comandă conectarea presării. Plonjorul de presare acoperă orificiul de alimentare și pătrunderea metalului este oprită. Cursa ascendentă continuă, efectuând presarea. Restul de metal din tubul 19, revine în cuptor.

8.3.3.3. Parametrii tehnologici ai turnării sub presiune

Principalii parametrii tehnologici ai turnării sub presiune sunt:

a) Viteza teoretică de umplere a formei care se calculează cu relația:

$$v = \sqrt[k]{p} \quad (8.6)$$

în care: v este viteza de umplere;

k - constantă care depinde de natura aliajului;

p - presiunea asupra aliajului.

Pentru aluminiu $k = 0,085$; pentru zinc $k = 0,053$; pentru magneziu $k = 1,060$; pentru alamă $k = 0,500$. Dacă p se dă în daN/m^2 , atunci v se obține în m/s . Timpul de umplere, $t(\text{sec})$ se determină cu formula:

$$t = V/fv \quad (8.7)$$

unde: V este volumul piesei turnate (greutatea piesei raportată la densitate);

f - secțiunea de intrare, în cm^2 ;

v = viteza teoretică de umplere (m/s).

b) Presiunea de injectare P_i , care se determină din egalitatea:

$$P_h \cdot \frac{\pi D_h^2}{4} = P_i \cdot \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (8.8)$$

în care: P_h este presiunea hidraulică din sistem, în daN/cm^2 ; valoarea sa maximă este o mărime caracteristică fiecărui tip de instalație;

D_h - diametrul pistonului hidraulic, în cm ; această mărime este o caracteristică constructivă și o constantă a mașinii;

d_i - diametrul pistonului de presare (injectare), în cm .

La o aceeași mașină există un set de pistoane de diferite diametre în funcție de valoarea maximă a presiunii de injectare P_i pe care vrem să o realizăm, la mărimea maximă a presiunii hidraulice P_h pe care o dezvoltă mașina (corespunzător există și un set de cămăși de cilindri - bușe de camere de compresie, de o anumită capacitate, în cm^3).

Presiunea de injectare P_i se adoptă prin experimentări prealabile, în funcție în primul rând de natura aliajului turnat, grosimea minimă de perete a piesei și suprafața peretelui respectiv. La turnarea sub presiune se utilizează o presiune și o viteză de scurgere a metalului în așa fel încât să se asigure umplerea cavității formei. Viteza și presiunea pot să difere în funcție de aliaj, de forma piesei și de metoda de turnare. O umplere corectă a formei se poate obține numai printr-o presare forțată a metalului în formă, realizată pe tot

parcursul scurgerii metalului în formă, cât și după încetarea acesteia, până în momentul solidificării complete a piesei.

În procesul turnării, practic se folosesc:

- presiunea specifică sau de exploatare, care rezultă din presiunea statică asupra pistonului în camera de compresie, la sfârșitul procesului, raportată la secțiunea transversală a suprafeței metalului topit din cameră;

- presiunea hidraulică, care se produce în metalul aflat în cameră.

Deosebirea dintre cele două presiuni este că, la determinarea presiunii specifice se ține seama de forțele de frecare, gravitate și forțele de inerție ale maselor în mișcare, raportate la secțiunea transversală a camerei de compresie. Presiunea hidraulică diferă puțin de presiunea specifică, însă în procesul turnării ele devin egale. Presiunea specifică (de exploatare), în timpul turnării se manifestă în două faze:

- presiunea de turnare care acționează în perioada umplerii formei;

- presiunea de îndesare, care acționează după terminarea umplerii formei, în scopul comprimării suplimentare.

Față de construcția piesei, aceste presiuni au următorul efect:

- la turnarea pieselor cu pereți subțiri (mai mici de doi milimetri), presiunea de turnare are importanță primordială;

- la piesele masive cu pereți mai groși (mai mari de doi milimetri), presiunea de turnare este neînsemnată, presiunea principală este cea finală, creând efect pozitiv asupra calității piesei.

Variația presiunii din cavitatea matriței pe parcursul turnării și solidificării este prezentată în figura 8.14.

La turnarea pieselor, este necesar ca secțiunea de curgere, temperatura aliajului, temperatura formei cât și viteza de curgere să fie alese astfel încât în timpul turnării să asigure presiunea hidraulică necesară. În timpul introducerii metalului în formă, presiunea se transmite sub formă de

energie a curentului de metal, iar după terminarea umplerii sub formă de presiune statică.

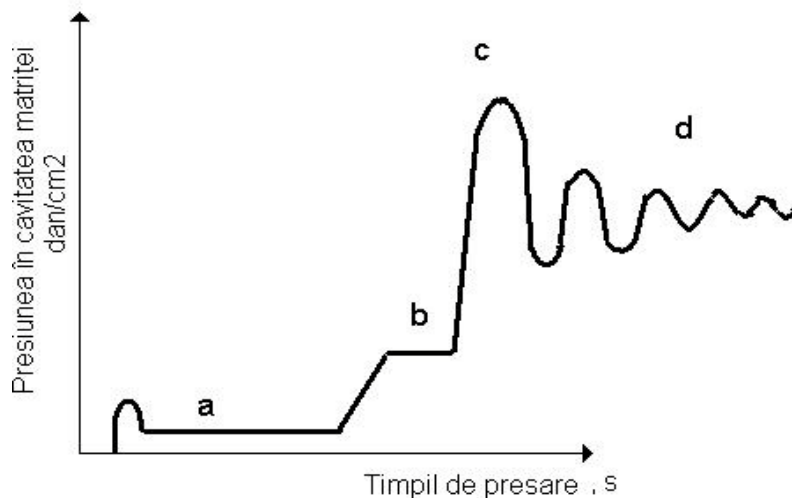


Fig. 8.14. Curba variației în timp a presiunii din cavitatea matriței a...d - faze tehnologice specifice procedeului de turnare sub presiune, la o mașină cu cameră de compresie rece, orizontală.

În procesul de umplere aerul din formă este eliminat, iar metalul umple forma în întregime și este presat până la solidificare. Cunosându-se presiunea hidraulică maximă care poate fi dezvoltată de mașină și mărimea diametrului pistonului hidraulic D_h , se determină pistonul de presare d_i :

$$d_i = D_h \sqrt{\frac{P_h}{P_i}} \quad , \text{ în cm.} \quad (8.9)$$

c) Forța de închidere a semiformelor F_i , care se calculează cu:

$$F_i = K \cdot F_{dp} \quad , [N] \quad (8.10)$$

unde: K este coeficientul de siguranță: $K = 1, 2, 3$;

F_{dp} - forța de deschidere a pistonului de presare la injectare :

$$F_{dp} = P_i \cdot S_p \quad , [N] \quad (8.11)$$

în care: P_i este presiunea specifică de injectare, deci presiunea maximă realizată în metalul din matriță, în N/m^2 ;

S_p - suprafața proiecției conturului activ al semifabricatului pe planul de închidere al formei, respectiv suprafața de aliaj lichid delimitată de conturul interior al matriței în planul de separație, în m^2 .

Mărimea S_p este cunoscută și sub denumirea de suprafața proiectată (pe planul de separație al matriței) a piesei turnate sau suprafața de împoșcare cu aliaj realizată de presiunea P_1 .

Practic, aceste mărimi se pot stabili relativ simplu utilizând diagrama de sarcină a mașinii. Forța de închidere a semiformelor se realizează printr-un sistem mecanic sau hidraulic. Sistemul mecanic realizează transmisia forței cu ajutorul unor pârghii articulate, cu pană sau cu șurub, iar cel hidraulic este format dintr-un cilindru presurizat hidraulic și un piston.

Mașinile mici și mijlocii (până la $\approx 6MN$ forța de închidere) folosesc sisteme mecanice de închidere. Acestea sunt mai pretențioase în ceea ce privește precizia de fabricație, dar ele au o mare siguranță în exploatare și permit suprasolicitări. Mașinile mari utilizează numai sisteme hidraulice. Mărimea forței de închidere este condiționată de dimensiunile pistonului hidraulic și presiunea din cilindrul de acționare.

Ca lichide în sistemele hidraulice sunt utilizate; apa, amestecuri apă - ulei, ulei sau lichide sintetice neinflamabile; fiecare dintre acestea au avantaje și dezavantaje, utilizarea unuia sau altuia făcându-se în final în funcție de costul specific al producției.

Viteza pistonului de presare variază practic între 1,5 m/s (pentru aliaje de Cu) și 3,0 m/s (pentru aliaje de Al); viteze de ordinul a 5 m/s necesare turnării aliajelor cu bază de magneziu sunt obișnuite în instalațiile de construcții speciale; trebuie făcută diferența între viteza de deplasare a pistonului de presare și viteza de curgere a aliajului prin secțiunea alimentatorului. Cele două viteze se găsesc în același raport ca și pătratul diametrelor pistonului de presare și a alimentatorului, pe baza legii

continuității în timp a aliajului în cele două secțiuni (debitul unitar constant).

c) Secțiunea alimentatorului, care se calculează cu expresia:

$$S_a = \frac{M}{\rho v_a \delta}, [m^2] \quad (8.12)$$

în care: M este masa aliajului din piesă (inclusiv adaosurile tehnologice - maselote închise, oarbe și rețeaua de turnare), [Kg];

ρ - densitatea aliajului turnat, în Kg/m³;

v_a - viteza de curgere a aliajului în alimentator, în m/s;

δ - timpul de turnare, respectiv timpul de trecere a aliajului prin secțiunea alimentatorului, în sec;

Viteza aliajului în alimentator este cuprinsă între 10 - 60 m/s, valorile mici fiind indicate la piesele cu secțiuni groase, iar cele cu valori mari pentru piesele cu secțiuni subțiri. În general, matrița se proiectează pentru viteze ridicate de 50 - 60 m/s, deci secțiuni mici și prin tatonări experimentale se determină viteza optimă, după care se mărește corespunzător secțiunea alimentatorului. In caz contrar, este mult mai dificil de efectuat modificări ale construcției matriței. După adaptarea unei mărimi a vitezei aliajului, similar se procedează și pentru timpul de umplere, care trebuie sa fie mai scurt decât timpul de solidificare al celui mai subțire perete. Deoarece timpul de solidificare este aproximativ proporțional cu pătratul grosimii sale, timpul de umplere se consideră cel puțin egal cu acest pătrat al grosimii.

e) Stabilirea poziție piesei la turnare este determinată în mare măsura modul de formare, construcția rețelei de turnare, valoarea adaosurilor de prelucrare și adaosurilor tehnologice. La turnarea în forme metalice, poziția piesei se alege funcție de modul de evacuare a gazelor, evitarea defectelor de turnare, precum și obținerea unor dimensiuni precise ale piesei turnate.

Numărul suprafețelor de separație pe forma metalică trebuie sa fie minim și după posibilități, cât mai plane. Suprafața de separație a formei

metalice trebuie să asigure o îndepărtare ușoară a miezurilor metalice și a piesei turnate, precum și o fixare sigură a miezurilor metalice.

f) Stabilirea dimensiunilor miezurilor metalice

O atenție deosebită trebuie acordată mărimii jocurilor dintre marca miezului metalic și locașul mărcii din forma metalică. Pentru a obține piese cu abateri dimensionale mici se recomandă ca jocul între marca miezului și locașul mărcii formei, la temperatura normală (de montaj) să se ia egal cu diferența dintre diametrul mărcii miezului și a locașului mărcii formei metalice la temperatura maxim atinsă în timpul turnării. La miezurile metalice simple, cilindrice, dintr-o singură bucată, trebuie acordată o atenție deosebită mărimii raportului diametru/lungime partea activă, în vederea executării în bune condiții a operației de extragere.

g) Stabilirea dimensiunilor rețelei de turnare

Introducerea metalului în cavitatea matriței se face prin rețeaua de turnare ale cărei caracteristici sunt legate de tipul de mașină folosit. Rețelele de turnare destinate turnării aliajelor neferoase trebuie să asigure:

- umplerea rapidă, dar liniștită a întregii cavități a formei de turnare, fără producere de spumă și stropi reci și fără distrugerea prin eroziune a pereților canalelor formei sub acțiunea vânei de metal;

- reținerea zgurii și a incluziunilor;

- repartizarea corectă a temperaturilor în formă în vederea solidificării dirijate și a alimentării normale a piesei în timpul solidificării.

La turnarea aliajelor cu tendința mare de oxidare se folosesc rețele divergente. La mașina cu cameră rece cu piston și cameră de compresie verticală alimentarea se face prin injecție verticală printr-o duză.

Construcția rețelei de turnare influențează calitatea turnării. Alimentatoarele se dimensionează pentru a asigura o curgere normală a metalului și o eliminare ușoară a pieselor și a rețelelor de turnare. Diametrul

prea mare creează consum exagerat de metal, iar o dimensiune mică produce dificultăți la umplerea completă a formei, măbind procentul de rebuturi. De aceea, alimentatorul trebuie ales cu dimensiuni optime, în funcție de mărimea piesei, greutatea, suprafața de separație și plecând de la un diametru inițial d cel mai mic. Duza se alege în funcție de diametrul d și are înclinația orificiului interior constantă, pentru toate mașinile și mărimile. Înclinația canalului din matriță se ia între cele două limite. Alimentarea centrală este perpendiculară pe piesă. Se poate aplica în centrul piesei, respectiv al matriței sau deplasat. Sistemul creează condiții de umplere corectă, evitarea nesudării și a apariției crăpăturilor. O încetinire a presiunii la începutul alimentării determină umplerea cu presiune și viteză scăzută și obținerea de piese necorespunzătoare. Viteze ridicate ale metalului se obțin la secțiuni mici de intrare. Secțiuni de intrare mari se admit în cazul vitezelor mici.

h) Stabilirea compoziției vopselelor utilizate la protejarea suprafeței active a formelor metalice utilizate la turnarea sub presiune. În tabelul 8.7. sunt prezentate câteva rețete de preparare a acestor vopsele.

Tabelul 8.7. Vopsele refractare pentru presformele utilizate la turnarea sub presiune

Aliajul	Compoziția, % de greutate					
	Ulei vegetal	parafină	grafit	cerezină	vaselina	ceară, păcură
De cupru	50	-	50	-	-	-
De magneziu	-	30	26	30	14	-
De staniu și plumb	-	-	-	-	-	100
De zinc	-	-	-	-	-	100

La funcționarea mașinilor de turnat sub presiune cu acționare hidraulică o atenție deosebită trebuie acordată temperaturii de lucru a uleiului hidraulic, care trebuie să fie în jur de 45°C , fără a depăși valoarea de 60°C

8.4. DEFECTELE PIESELOR TURNATE

Defectele pieselor turnate sunt consecințe ale unor cauze de mică importanță sau ale acțiunii reciproce ale unor cauze foarte complexe, determinate de un număr oarecare de factori. Prevenirea defectelor de turnare trebuie să fie o preocupare permanentă atât pentru factorii de conducere și decizie, cât și pentru fiecare participant la procesul de producție. Pentru aceasta, încă din faza de elaborare a tehnologiei de fabricație, trebuie anticipate posibilele defecte și cauzele generatoare, astfel încât să prevenim apariția factorilor favorizanți. În acest scop se impune:

- întocmirea tehnologiei optime de fabricație;
- pregătirea coresunzătoare a tuturor etapelor tehnologice impuse;
- asigurarea condițiilor de respectare severă a disciplinei tehnologice.

Principalele defecte, descrierea și cauzele lor sunt prezentate mai jos[41;43]:

a) Umplere incompletă cu metal

Apare ca urmare a umplerii parțiale a cavității formeii din cauza: fluidității scăzute, cantității insuficiente de metal, scurgerii metalului din formă, dimensionarea greșită a rețelei de alimentare, presiunii metalostatice reduse din rețeaua de turnare etc.

b) Dezaxare

Apare ca urmare a deplasării unei părți din piesa turnată din cauza: închiderii defectuoase a cutiei de miez sau a semiformelor, jocurilor prea mari între mărci, folosirea sistemelor de ghidare uzate, îmbinarea greșită a părților de model, deplasarea semiformelor la turnare etc.

c) Bavură

Apare ca urmare a formării unui surplus de material în planul de separație a formei sau la mărcile miezurilor, din cauza: contactului insuficient între forme în planul de separație, jocului prea mare între mărci, îndesarea exagerată a marginilor cavității formei la reparația acesteia, săltarea semiformei superioare la turnare datorită neasigurării corespunzătoare etc.

d) Incluziuni metalice

Apar ca urmare a includerii eronate a unor elemente metalice de natură diferită în peretele piesei turnate, din cauza: neglijențelor la formare, miezuire, asamblare și turnare, precum și amplasarea greșită a armăturilor, răcitorilor și suporturilor de miez.

e) Microsufhuri,

Apar ca urmare a apariției de goluri punctiforme mici, din cauza: rafinării necorespunzătoare a aliajului, folosirii de materiale oxidate etc.

f) Crăpături la rece

Apar ca urmare a fisurării pereților piesei la temperaturi joase, din cauza tensiunilor termice și de contracție mari la diferențe mari de grosime de perete sau a șocurilor și solicitărilor mari înaintea detensionării.

g) Dimensiuni necorespunzătoare

Abateri dimensionale față de cotele desenului de piesă turnată, din cauza: modelului sau a cutiei de miez greșite, a coeficientului de contracție ales greșit, erorilor la extragerea modelului din formă, a uzurii modelului sau a cutiei de miez etc.

h) Aderențe chimice sau mecanice

Apar ca urmare a pătrunderii aliajului sau a oxizilor între grăunții de nisip și declanșarea unor reacții chimice, din cauza: refractarității scăzute a amestecului de formare, temperaturii de turnare exagerate, granulației mari a nisipului, utilizării de materiale cu caracter chimic antagonic etc.

i) Reprize

Apar ca urmare a nesudării curenților de metal care se întâlnesc în cavitatea formei, din cauza temperaturii de turnare prea joase, fluidității scăzute, subdimensionării rețelei de turnare, întreruperea procesului de turnare, introducerea greșită a aliajului în formă.

j) Crăpături la cald

Generate de discontinuități intercrystaline în pereți, din cauza: frânării mecanice și termice a contracției; alegerii greșite a temperaturii și vitezei de turnare, dimensiunii și poziției rețelei de turnare, tratament termic, incompresibilitatea amestecului de formare.

k) Sufluri interioare sau exterioare

Apar ca urmare a formării bulelor de gaz din cauza: scăderii solubilității gazelor dizolvate în topitură la răcirea acesteia, dezoxidării insuficiente, antrenării aerului la turnare, umidității exagerate a amestecului de formare, folosirii de răcitori și suporti de miez murdari etc

l) Sită de sufluri aciculare

Apare ca urmare a prezenței de goluri mici și alungite la 2-3 mm sub suprafața piesei, din cauza: folosirii repetate a deșeurilor proprii gazate, elaborării incorecte, neuscarea oalelor, a jgheburilor, a formelor și miezurilor.

m) Retasuri

Apar ca urmare a formării de goluri deschise sau închise cu suprafață rugoasă sau macrocristalină, oxidată, din cauza: contracției mari a aliajului la solidificare, temperaturii de turnare prea ridicate, proiectării necorespunzătoare a piesei, rețelelor de turnare și a maselotelor

n) Microretasuri și porozități

Apar ca urmare a aglomerării zonale a golurilor de contracție microscopice, din cauza: solidificării necontrolate a nodurilor termice și a aliajelor cu interval mare de solidificare, turnării la temperaturi nejustificat de mari etc.

o) Segregații

Distribuirea incorecte a elementelor sau compușilor chimici la cristalizarea selectivă, datorită greșelilor de elaborare și turnare, prezenței elementelor cu tendință mare de segregare (Pb, Sn, Mn, Fe etc.), neuniformităților mari de grosime de perete etc.

p) Incluziuni nemetalice

Apar ca urmare a înglobării de elemente nemetalice (zgură, nisip, amestec de formare, compuși chimici etc.) în peretele piesei, din cauza: îndepărtării slabe a zgurei sau fondaților din cuptor și din oala de turnare, antrenării de material refractar din forme și căptușeli, rețele de turnare incorecte.

r) Incluziuni de amestec de formare

Apar ca urmare a înglobării de amestec de formare, de cărbuni sau grafit, datorită curățirii incorecte a cavității formei înainte de turnare și alegerea unor metode greșite de turnare.

s) Picături reci

Apar ca urmare a formării stropilor de metal, din cauza solidificării întârziate a eutecticului fosforos sau a turnării necorespunzătoare de la înălțime mare și formarea de stropi ce nu se mai pot retopi.

t) Cruste la suprafața piesei turnate

Apar ca urmare a separării unei porțiuni din suprafața peretelui piesei de o crustă de amestec din cauza supraîncălzirilor locale, îndeșării neuniforme, permeabilității reduse, dilatării mari a granulelor de nisip.

În funcție de impactul pe care îl produc asupra pieselor turnate, de modul de manifestare și de felul cum pot fi remediate, defectele se grupează astfel[22]:

- defecte de suprafață – aderențe, cruste, excrescențe, bavuri, umflături, creste, picături, arsuri, carie, rugozitate necorespunzătoare, cute, fagure, sită etc. – se remaniază prin: polizare, chituire, sudare, metalizare, vopsire etc.

- defecte de neetanșeitățe – sufluri, retasuri, microretasuri, microsufuri, reprice – se remaniază prin: sudură, ștemuire, aplicare de dopuri, impregnare.

- defecte importante – umplere incompletă, dezaxare, deformare, deteriorare mecanică, dimensiuni necorespunzătoare, crăpături la cald, crăpături la rece, retasură, incluziuni metalice și nemetalice etc. – se remaniază prin: supraturare, sudură, aplicare de dopuri și bușe, metalizare etc.

- defecte de structură – licuația, grăunți cristalini grosolani, zone dure, segregăție, structură necorespunzătoare, strat decarburat, proprietăți mecanice necorespunzătoare – se remediază în anumite limite prin tratamente termice și termochimice.

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. Buzilă,S. – Proiectarea și executarea formelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976.
5. Buzilă,S. – Procedee speciale de formare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
6. 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.
7. Carcea,I., - Bazele elaborării metalelor, aliajelor și superaliajelor neferoase, Editura Performantica, Iași, 2008.
8. Carcea,I., - Materiale compozite. Fenomene la interfață, Editura Politehniun, Iași, 2008.
9. Carcea,I., Roman,C., Chelariu,R., - Ingineria Proceselor Metalurgice, Editura Performantica, Iași, 2006.
10. Chira,I., Sofroni,L., Brabie,V. - Procedee speciale de turnare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
11. Cosneanu,C., Ștefănescu,Cl., - Sisteme de amestecuri de formare pentru turnătorii, Editura Tehnică, București, 1989.
12. Dănilă,P., Dănilă,M., - Cuprul, Editura Tehnică, București, 1982
13. Diaconescu,F. – Proiectarea și executarea formelor, Editura Tehnopress, Iași, 2008.
14. Gâdea,S., Petrescu,M. - Metalurgie fizică și studiul metalelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, vol.I-1979, vol.II-1981, vol.III-1983.
15. Gâdea,S., Geru,N., Murguleț,N., Oprea,F. - Manualul inginerului metalurg, Editura Tehnică, București, 1982.

16. Gâdea, S., Protopopescu, M. – Aliaje neferoase, Editura Tehnică, București, 1965.
17. Gladkov, M.I. ș.a. - Tratarea prin vibrație a aliajelor din aluminiu, în Liteinoe Proizvodstvo, nr. 8, 1984, p.35.
18. Gorny, Z., Lech, Z. ș.a. – Turnarea metalelor și aliajelor neferoase, Editura Tehnică, București, 1969.
19. Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M., -Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase speciale, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
20. Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M., - Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
21. Inada, K. ș.a. - Procedee de vibrație a aliajului în timpul solidificării, în Referativni Journal - TOLP, 1986, nr. 7, ref. 247 (patent Japonia).
22. Istrate, Gh., Toboc, P. – Controlul de calitate și remanierea defectelor pieselor turnate, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
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. Lehene, T., Soporan, V. – Turnarea aliajelor pe bază de zinc, Editura Casa cărții de știință, Cluj-Napoca, 2005.
27. Mațev, M.V. - Modificarea structurii metalelor și aliajelor, Editura Tehnică, București, 1966.
28. Moldovan, P. ș.a. - Tehnologii metalurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
29. Moldovan, P. ș.a. – Tratat de știință și ingineria materialelor metalice, vol.2, Editura AGIR, București, 2007.
30. Moldovan, P., Panait, N., Mărginean, St. – Bazele tratării topiturilor metalice neferoase, Editura Intact, București, 1998.
31. Oprea, F. ș.a. - Teoria proceselor metalurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.

32. Petrescu, Maria, ș.a. - Tratat de știința și ingineria materialelor metalice, vol.1, Editura AGIR, București, 2006.
33. Samoilă, C., Ionescu, M.S., Drugă, L. - Tehnologii și utilaje moderne de încălzire în metalurgie, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986.
34. Sofroni, L. - Elaborarea și turnarea aliajelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
35. Sofroni, L., Chira, I., Surdulescu, M. - Turnarea prin cădere liberă în forme metalice, Editura Tehnică, București, 1983.
36. Sofroni, L., Brabie, V., Bratu, C. - Bazele teoretice ale turnării, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
37. Stenberg, S., Landauer, O. ș.a. – Chimie fizică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
38. Stoica, L., Constantinescu, I., Mărculețiu, V.T. – Chimie pentru metalurgi, Editura Tehnică, București, 1987.
39. Șontea, S., Vlădoi, M., Zaharia, N. - Metale și aliaje neferoase de turnătorie, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1981.
40. Ștefănescu, C., Cazacu, I. - Tehnologii de executare a pieselor prin turnare, Editura Tehnică, București, 1981.
41. Ștefănescu, C., Cosneanu, C., Sofroni, L. – Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii, vol.1, Editura Tehnică, București, 1985.
42. Ștefănescu, C., Sofroni, L. ș.a. - Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii, vol.2, Editura Tehnică, București, 1986.
43. Ștefănescu, C., Ștefănescu, D.M., - Îndreptar pentru turnători, Editura Tehnică, București, 1972.
44. Ștefănescu, D.M. – Știința și ingineria solidificării pieselor turnate, Editura AGIR, București, 2007.
45. 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.
46. Ștefănescu, F., Sofroni, L., Bratu, C. – Dirijarea solidificării aliajelor la obținerea pieselor turnate de performanță, Metalurgia, nr. 2. 1988.
47. Ștefănescu, F. ș.a. - Cercetări privind influența vibrației asupra compacității aliajelor turnate, în Metalurgia, nr. 1., 1985, p. 36.

48. Thisthethwaite S. R., Fisher,P. - *Recent developments in grain refiner technology*, 4th Australasian Asian Pacific course and Conference aluminium cast house technology, July 3-5, Sydney, Australia, 1995.
49. Vermeșan,E., Ionescu,I., Urseanu,A. – Chimie metalurgică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
50. Vermeșan,G., - *Tratamente Termice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1987.
51. Vlad,M., Varga,B., Carcea,I., Chiriac,A. – *Bazele elaborării metalelor și aliajelor neferoase*, Editura Lux Libris, Brașov, 1998.
52. Voicu,M., Szell,P., Amza,Gh. ș.a.- *Studiul și Tehnologia Metalelor* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
53. W.A. Schneider, T.E. Quested, A.L Greer, P.S. Cooper - A comparison of the family of AlTiB refiners and their ability to achieve a fully equiaxed grain structure in DC casting, TMS Annual Meeting& Exhibition, San Diego, California, March 2–6, 2003.
54. Zubac,V., Micle,V. – *Procedee și echipamente speciale în sectoarele de turnarea metalelor*, Editura U.T.Pres, Cluj-Napoca, 2004.
55. * * *M.A.S. – *Machines for gravity die casting of non ferrous Metals*, Macchine Automatiche Speciali, Via Firenze, 6-20063, Milano,Italia.
56. * * * * * *Fonderie – Fondeur d’aujourd’hui*, nr.87, September,1989
57. * * * * * *Fonderie – Fondeur d’aujourd’hui*, nr.98, October,1989.
58. * * * * * *Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase – proiect diplomă*, 2008, absolvent Popa Marius, conducător prof.dr.ing.Ioan Carcea.
59. * * * * * *Catalog de produse al S.C. Bentoflux SA Satu Mare.*
60. * * * * * *Catalog de produse al S.C. Phobos International SRL Satu Mare.*
61. * * * * * *Catalog de produse al companiei FOSECO – Franța.*
62. * * * * * *www. world-bureau.com (World Bureau of Metal Statistics).*