

Laborator 1

DETERMINAREA PUNCTAJULUI GRAFITULUI ÎN FONTE

Forma, repartiția, dimensiunile și cantitatea constituenților metalografici au o influență la fel de mare ca și natura lor și proprietățile fizico-chimice și tehnologice.

Prin cunoașterea acestor caracteristici putem afla informații utile asupra calității materialului metalic, asupra procesului de elaborare, asupra prelucrărilor mecanice, termice și termochimice suportate sau la care va putea fi supus materialul metalic respectiv.

1.1. Noțiuni introductive

Prezența grafitului influențează puternic caracteristicile fontelor cenușii. Astfel grafitul duce la scăderea punctului de topire, crește conductibilitatea termică, scade greutatea specifică, micșorează rezistența la tracțiune, încovoiere și oboseală, scade duritatea, crește fragilitatea și prelucrabilitatea prin așchiere, scade tenacitatea și crește rezistența la vibrații etc.

Grafitul este un constituent moale, el nepreluând nici un fel de sarcini; din acest motiv, cât și datorită formei, dimensiunilor și modului de repartizare al acestuia în interiorul masei metalice, influența grafitului asupra proprietăților este foarte mare.

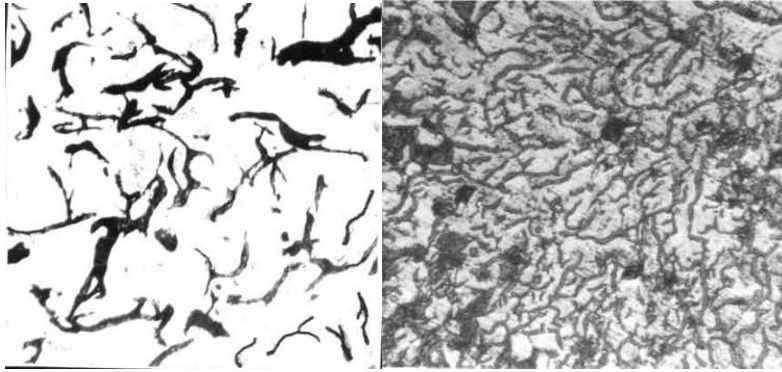
Faptul că grafitul micșorează secțiunea portantă a materialului, explică influența sa negativă asupra proprietăților de rezistență a fontelor. O piesă din fontă cenușie cu o anumită secțiune va rezista mai puțin solicitărilor decât o piesă din oțel de aceeași secțiune, deoarece secțiunea din piesa de fontă care participă la preluarea solicitărilor este mult mai mică datorită prezenței grafitului. De asemenea, scăderea limitei de elasticitate și a rezistenței la oboseală se datorește efectului de concentrare de eforturi indus de grafitul cu formă lamelară.

Din punct de vedere al valorilor de rezistență, forma cea mai favorabilă a grafitului este cea cu margini rotunjite, ideală fiind forma sferoidală, când valorile rezistenței cresc mult apropiindu-se de cele ale oțelurilor.

Există două ipoteze privind proveniența grafitului în fonte:

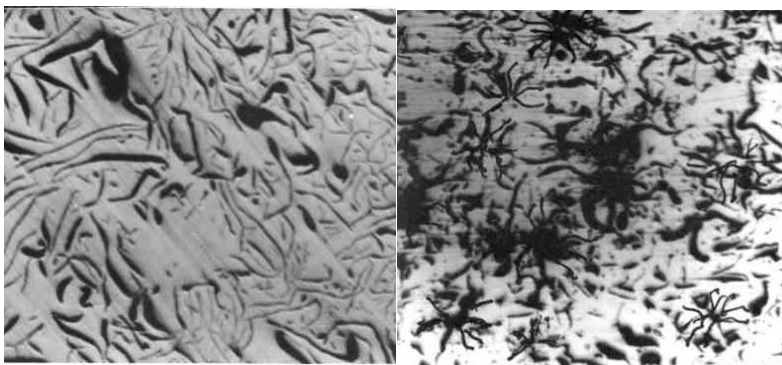
- grafitul provine din descompunerea cementitei;
- grafitul se separă direct din faza lichidă.

Explicarea apariției diverselor forme ale grafitului (lamelară, globulară sau în cuiburi) se face plecând de la unul din factorii ce influențează cristalizarea – suprarăcirea.



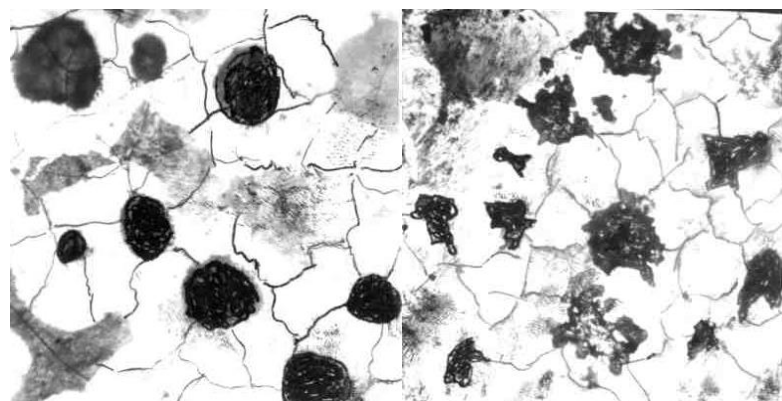
a) grafit lamelar grosolan în rețea

b) grafit lamelar fin în rețea



c) grafit neuniform

d) grafit lamelar în rozete



e) grafit globular

f) grafit în cuiburi

Fig. 1.1. Forme de grafit în fonte.

În funcție de etapele de cristalizare, grafitul poate fi:

- grafitul primar - se găsește de obicei în fontele hipereutectice, cristalizat direct din topitură și se mai numește și grafit proeutectic;

- grafitul eutectic – se separă din lichid la temperatură constantă eutectică sub forma unor lamele dispuse în rozete;
- grafitul secundar – se găsește foarte rar în fonte și provine din descompunerea carburilor sub linia solidus.

În figura 1.1 a, b, c, d, e, f, sunt prezentate diverse forme sub care poate fi găsit grafitul.

La cristalizarea grafitului eutectic, când suprarăcirea este mică, rolul conducător îl deține grafitul, iar la valori mari ale suprarăcirii, rolul conducător îl va deține austenita.

Valoarea suprarăcirii influențează atât forma cât și modul de repartizare al grafitului. Astfel, la solidificarea stabilă, când se consideră că grafitul cristalizează direct din faza lichidă, apar trei cazuri de formare a grafitului eutectic:

- grad de suprarăcire foarte mic (răcire lentă) – se obține grafitul lamelar repartizat uniform și neorientat;
- grad de suprarăcire mediu – se obține o repartizare a grafitului în rozete;
- grad de suprarăcire mare – se obține grafit cu aspect interdendritic în formă de rețea.

La solidificarea metastabilă a fontelor cenușii, se întâlnesc două cazuri:

- grad mare de suprarăcire – se obține grafit interdendritic punctiform (la puteri mari de mărire apare lamelar);
- grad foarte mare de suprarăcire – se obține grafit sferoidal.

Forma și modul de repartizare a grafitului depind, în afară de suprarăcire, și de ceilalți factori ce intervin în procesul cristalizării: compoziția chimică, temperatura de turnare, temperatura de supraîncălzire, condițiile de turnare etc.

Tensiunile structurale ce apar în timpul cristalizării grafitului sunt de sens contrar tensiunilor interne termice, fapt ce determină reducerea tensiunilor interne și a deformațiilor remanente.

Formarea grafitului grosolan evită apariția fisurilor la cald și la rece prin scăderea tensiunilor interne, însă duce la scăderea bruscă a proprietăților de rezistență.

Determinarea cantitativă a caracteristicilor grafitului din fonte este foarte importantă pentru aprecierea caracteristicilor de rezistență și se face comparând aceste caracteristici cu cele etalon prezentate de STAS 6905 – 85 și indicându-se punctajele respective.

Se procedează în felul următor:

1. luarea, pregătirea și examinarea probelor:

a) la luarea probelor din piese turnate trebuie să se țină seama de neuniformitatea structurii fontei în funcție de condițiile de obținere;

b) locul de luare a probelor metalografice trebuie să fie indicat în desen sau stabilit de comun acord cu beneficiarul;

c) suprafața probei trebuie să fie suficient de mare pentru a reprezenta fidel structura fontei;

d) examinarea la microscop poate fi efectuată prin observarea directă sau prin proiectare pe geamul mat al microscopului. Se examinează întreaga suprafață a probei metalografice, la aceeași mărire a microscopului cu cea indicată de scara etalon cu care se efectuează compararea. Câmpul microscopic examinat trebuie să aibă aproximativ aceleași dimensiuni cu micrografiile etalon (un diametru de circa 80 mm).

Pentru determinarea lungimii sau a diametrului separărilor de grafit se poate folosi ocularul gradat.

2. caracterizarea grafitului:

a) determinările se fac pe cel puțin cinci locuri reprezentative pentru configurația și grosimea de perete a probei;

b) caracterizarea grafitului și masei metalice se face prin compararea structurii examinate cu structurile etalon;

c) pentru caracterizarea grafitului se determină:

- forma separărilor de grafit;
- caracterul repartizării separărilor de grafit;
- lungimea (respectiv diametrul) separărilor de grafit din media aritmetică a măsurărilor pentru cele mai mari separări vizibile la microscop;
- suprafața ocupată de separările de grafit din procentul mediu al suprafeței ocupate de separările existente în câmpurile analizate;
- numărul nodulelor de grafit din media aritmetică a rezultatelor obținute prin examinarea probei;
- gradul de nodulizare (proporția de grafit nodular din total grafit) din media aritmetică a rezultatelor obținute.

3. pentru caracterizarea grafitului se folosesc următoarele scări etalon:

- Scara etalon 1 – Forma separărilor de grafit;
- Scara etalon 2 – Caracterul separărilor de grafit;
- Scara etalon 3 – Lungimea separărilor de grafit;
- Scara etalon 4 – Suprafața ocupată de separările de grafit;
- Scara etalon 5 – Diametrul separărilor de grafit;
- Scara etalon 6 – Suprafața ocupată de nodulele de grafit;
- Scara etalon 7 – Numărul nodulelor de grafit pe milimetru pătrat;

- Scara etalon 8 – Grad de nodulizare;
- Scara etalon 9 – Diametrul separărilor de grafit;
- Scara etalon 10 – Suprafața ocupată de separările de grafit.

1.2. Mod de lucru

Determinarea punctajului grafitului în fonte se va face pe probe metalografice din figura 1.1. Se vor studia în fiecare probă caracteristicile grafitului și se vor compara cu scările etalon date de standard, indicându-se punctajele.

Laborator 2

INCLUZIUNI NEMETALICE ÎN ALIAJELE Fe – C. AMPRENTA BAUMANN

2.1. Noțiuni introductive

Incluziunile nemetalice sunt o consecință a impurificării chimice a aliajelor Fe – C cu o serie de elemente chimice (impurități) antrenate din materia primă, din adaosurile tehnologice (Si, Mn, Al, dezoxidanți) și gazele din atmosfera cuptorului (N_2 , H_2 , O_2 etc.)

Reacționând între ele și cu fierul, aceste impurități vor forma în microstructura oțelului o serie de compuși sub formă de cristale de sine stătătoare, cu caracter nemetalic, fragile și slab rezistente, încorporate în matricea metalică, denumite incluziuni nemetalice.

Gradul de puritate, sau puritatea fizică stabilită pe cale microscopică se referă la cantitatea de incluziuni nemetalice existente în acestea.

Existența incluziunilor nemetalice influențează proprietățile mecanice și tehnologice, dar și cinetica transformărilor de faze care se produc în oțeluri. După preeminența lor, incluziunile nemetalice pot fi:

- **endogene** - cele care provin din reacțiile metalurgice ale impurităților normale din oțeluri între ele sau cu componentele de bază ale oțelului (fier și carbon);
- **exogene** – cele care provin din afara aliajului sub forma unor corpuri străine (nisip, prealiaje etc.)

Impuritățile normale în oțeluri sunt: Si, Mn, S, P, N, O. Acestea, în funcție de raportul lor față de fier și carbon se pot dizolva în fier (Si, Mn) până la anumite limite, fără a avea influențe negative asupra proprietăților, sau pot fi insolubile în fier (S, P peste 1,97%, O, N, H) când formează incluziuni nemetalice: oxizi, sulfuri, fosfuri, silicați, nitruri etc.

Incluziunile nemetalice sunt legate de obicei necoerent cu masa de bază a oțelului, ceea ce determină o scădere a proprietăților mecanice ale oțelului ce le conține.

Influența exercitată asupra caracteristicilor oțelului este dependentă într-o mare măsură de forma, mărimea și distribuția acestor incluziuni nemetalice.

În piesele turnate, incluziunile se prezintă sub formă globulară, dreptunghiulară, de eutectic intercristalin sau în rețea și sub formă peliculară. În urma deformării plastice, unele își mențin forma inițială, iar altele se alungesc formând șiruri continue sau discontinue. Incluziunile greu fuzibile (MnS) se constituie în germeni străini de cristalizare, ele fiind incluse în interiorul grăunților cristalini. Incluziunile ușor fuzibile sunt dispuse la limita grăunților cristalini, uneori pelicular (FeS), având o influență negativă asupra caracteristicilor de rezistență ale oțelurilor. Incluziunile de formă aciculară introduc concentratori de eforturi, care pot constitui surse de fisuri în timpul exploatării.

Modul de comportare al incluziunilor nemetalice în timpul deformării plastice influențează de asemenea comportarea ulterioară a oțelurilor.

În funcție de modul de comportare, incluziunile nemetalice pot fi: incluziuni plastice (sulfuri, silicați) care prin deformare se alungesc, incluziuni fragile (oxizi, silicați) și incluziuni globulare nedeformabile (SiO_2 , silicați).

Pentru a determina microscopic prezența incluziunilor nemetalice se folosesc probe metalografice tratate termic prin călire, pregătite prin șlefuire și lustruire foarte atent pentru a nu provoca ciupituri în suprafața de studiu (care ar putea fi confundate cu incluziunile). Analiza microscopică se face la puteri de mărire de 100:1.

Pot fi determinate următoarele tipuri de incluziuni: oxizi (de Ti și Al) liniari (notați cu OL) și punctiformi (notați cu OP); sulfuri (notate cu S); silicați fragili, plastici și nedeformați (notați cu SF, SP, respectiv SN) și nitruri (de Ti și Al) liniare și punctiforme (notate cu NT și NA).

Determinarea constă în identificarea incluziunilor nemetalice după forma lor și compararea unor câmpuri cu incluziuni nemetalice din suprafața neatacată a probei cu etaloanele date de standarde, indicându-se punctajul maxim sau mediu pe tipuri de incluziuni în câmpuri diferite sau în același câmp, a tuturor incluziunilor.

Determinarea prin calcul a conținutului de incluziuni în greutate (Q) se face folosind relația:

$$Q = \frac{A \cdot 100}{S \cdot d} \% , \text{ unde :}$$

A – suprafața medie a tuturor incluziunilor din câmpul vizual la puterea de mărire 100:1;

S – suprafața câmpului vizual;

D – raportul dintre greutatea specifică a aliajului și a incluziunilor nemetalice ($d \approx 3$).

Recunoașterea diverselor tipuri de incluziuni se face în funcție de forma, mărimea, culoarea și distribuția acestora.

♦ **Oxizii de fier** – fierul formează trei oxizi: Fe_2O_3 – oxid feric, cristalizat în sistem romboedric; Fe_3O_4 – oxid magnetic de fier, cristalizat în sistem cubic și FeO – oxid ferros, wüstită, cristalizat în sistem cubic cu atomi de oxigen în surplus și instabil peste temperatura de 600°C . Oxizii de fier sunt foarte dăunători datorită stabilității lor și a temperaturii relativ scăzute de topire (1370°C pentru FeO). La microscop apar de culoare închisă sub forma unor sfere, aranjate în șiruri sau dezordonat (fig. 2.1, b).

♦ **Bioxidul de siliciu** (SiO_2) – este o incluziune greu fuzibilă, nedeformabilă, cu dimensiuni variabile (fig. 2.1, a).

♦ **Oxidul de mangan** (MnO) – este asemănător cu SiO_2 și apare sub forma unor șiruri alungite în urma deformării.

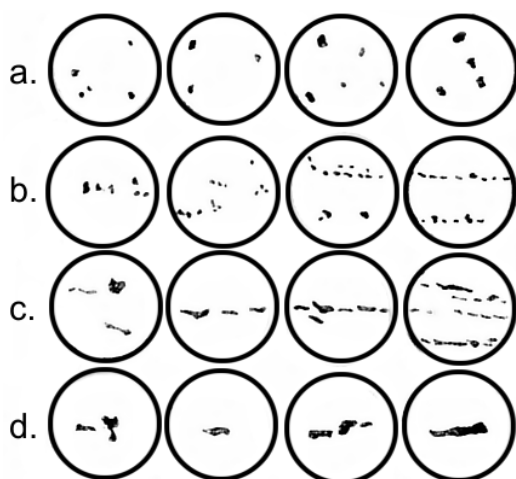


Fig. 2.1. a) bioxid de siliciu – SiO_2 ; b) oxizi de fier; c) silicați plastici; d) sulfuri.

♦ **Oxidul de aluminiu** (Al_2O_3) – se găsește în oțelurile dezoxidate cu aluminiu împreună cu sulfurile, sub formă globulară, în șiruri, la limitele grăunților sau sub formă peliculară, reducând proprietățile mecanice ale oțelurilor.

♦ **Sulfura de fier** (FeS) – este o incluziune ușor fuzibilă, plastică, care împreună cu fierul formează un eutectic ce se topește la 985°C , distribuindu-se pelicular, imprimând oțelului fragilitate la roșu și micșorându-i plasticitatea.

♦ **Sulfura de mangan** (MnS) – este o incluziune greu fuzibilă (se topește la 1620°C), solubilă. Se constituie în germeni străini de cristalizare, care se separă la limita grăunților sub formă globulară.

Sulfurile sunt plastice, iar după deformare apar sub formă alungită (fig.2.1, d).

◆ **Nitruri de fier, aluminiu și titan** –sunt incluziuni nemetalice aciculare sau cu forme geometrice regulate (litere chinezești) de nuanțe închise. Sunt neplastice și nedeformabile. Prezența acestor incluziuni duce la scăderea rezistenței la oboseală a oțelului, constituind concentratori de eforturi.

◆ **Silicații plastici**– apar sub forma unor șiruri continue (fig. 2.1, c).

◆ **Silicații nedeformați**– apar sub forma unor globule. Silicații constituie cauza principală de formare a structurii fibroase în urma deformării plastice la cald prin dispunerea lor în șiruri la limita grăunților.

Incluziunile nemetalice din oțeluri nu sunt distribuite uniform în masa acestora, ci formează segregatii macroscopice.

Când la solidificarea unui lingou impuritățile indisolubile sunt împinse spre centrul lingoului impurificându-l, se formează segregatia zonală normală ce apare în mod obișnuit la lingouri. Există și cazuri, mai ales la aliajele neferoase, când straturile exterioare sunt mai bogate în incluziuni decât straturile centrale. Acest fenomen apare datorită capilarității spațiilor dintre cristalele columnare formate în zona de transcristalizare. Incluziunile care umectează metalul trec în zona exterioară formând segregatia zonală inversă.

Segregatia macroscopică influențează negativ proprietățile mecanice și tehnologice ale pieselor semifabricate turnate din oțel. Această segregatie poate fi înlăturată aplicând un tratament termic de recoacere de omogenizare, combinat cu o deformare plastică.

Segregatiile macroscopice pot fi evidențiate pe epruvete șlefuite prelevate din secțiuni longitudinale și transversale din diferite zone: centrale, marginale, superioare sau inferioare.

Amprenta Baumann:

Permite determinarea segregatiei sulfurilor în interiorul materialelor metalice. Constă în aplicarea și apăsarea unei hârtii fotosensibile expusă la lumina zilei, îmbibată într-o soluție de 5% H₂SO₄ pe suprafața șlefuită foarte fin (până la hârtie metalografică cu granulație 800) a probei, timp de 1 ÷ 5 minute. După aceea, hârtia se fixează într-un fixator foto obișnuit (250 g tiosulfat de Na, 25 g metal – bisulfid de potasiu, iar până la 1000 cm³ completat cu apă distilată).

După spălare în jet de apă și uscare poate fi examinată distribuția sulfurilor de fier și mangan pe suprafața probei. Pe hârtie, locurile în care au existat sulfuri apar de culoare cafenie – negricioasă.

2.2. Mod de lucru

Pentru determinarea microscopică a incluziunilor se iau probe călite, șlefuite și lustruite, se fixează la microscopul metalografic cu puterea de mărire 100:1, se cercetează în diverse câmpuri, iar cu ajutorul etaloanelor date de standardele în vigoare, prin comparație se vor recunoaște tipurile de incluziuni.

Laborator 3

MICROSTRUCTURI ALE MATERIALELOR METALICE NEFEROASE

3.1. Considerații generale

În tehnică, pe lângă aliajele feroase (oțeluri și fonte), se folosesc din ce în ce mai mult materiale metalice neferoase (metale, altele decât fierul și aliajele acestora), datorită unor proprietăți chimice și fizico-chimice deosebite pe care acestea le posedă: greutate specifică foarte mare sau foarte mică; rezistență foarte bună la coroziune, ușor sau greu fuzibile; duritate foarte mare sau foarte mică; conductivitate termică și electrică foarte mari sau foarte mici, rezistență mare la uzare, coeficient mic de dilatare etc.

Materialele metalice neferoase tehnice sunt: Cu, Al, Ni, Mg, Zn, Sn, Sb, Bi, Cd, Cr, W, Ti, Mo, Co etc. și aliajele lor (cu specificația că Ni și Sn sunt deficitare).

Metalele neferoase în stare pură au utilizare limitată în tehnică (Cu și Al pentru conductori electrici și recipiente rezistente la coroziune în industria chimică și alimentară; Zn, Cd, Ni, Cr pentru acoperiri metalice; W pentru izolare termică în aero și astronomică etc), ele se utilizează în special sub formă de aliaje binare, ternare sau polinare ale cuprului, aluminiului, zincului, magneziului, nichelului etc.

3.1.1. Cuprul și aliajele de cupru

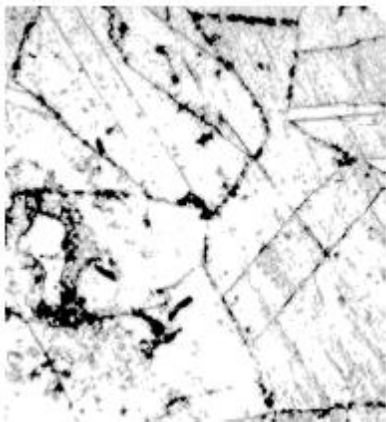


Fig. 3.1. Grăunți poliedrici și maclați de Cu și Cu₂O

Cuprul tehnic pur obținut prin rafinare termică sau electrochimică din cuprul brut, are o puritate de 99÷99,99% Cu, restul fiind impurități: solubile care măresc rezistența mecanică și scad conductivitatea electrică (Ni, Zn, Sn, Sb, Al, As, Te, P), insolubile care scad rezistența mecanică, fără a afecta conductivitatea (Bi și Pb) și reactive (O, S, Se, Te) care formează compuși chimici fragili- Cu₂O; Cu₂S etc.

STAS 270-80 simbolizează cuprul tehnic astfel: Cu 99,8; Cu 99,7 folosit în electrotehnică și Cu 99,97K; Cu 99,95; Cu 99,95K; Cu 99,9; Cu 99,5 pentru produse obținute prin deformare plastică sau sub formă turnată. Structura cuprului în stare laminată și recoaptă este dată în figura 3.1.

În tehnică, cuprul se folosește foarte mult sub formă de aliaje: Cu-Zn (alame); Cu-Sn (bronzuri); Cu-Al; Cu-Si; Cu-Be; Cu-Pb; Cu-Cr (bronzuri speciale); Cu-Ni; Cu-Ni-Zn; Cu-Ag etc. Aliajele cuprului pot fi binare, ternare sau polinare (alame speciale, bronzuri aliate etc).

1.6.1.1. Aliaje Cu-Zn (Alame)

Alamele tehnice conțin până la 45% Zn; peste această valoare a concentrației de zinc, datorită prezenței unor soluții solide pe bază de compuși intermetalici foarte duri, alamele sunt foarte fragile și nu au întrebuințare în tehnică.

Alamele tehnice cu 0÷39% Zn la echilibru (răcire foarte lentă) sunt monofazice, formate din soluție solidă α (grăunți poliedrici, unii maclați) moale și plastică la temperatura ambiantă, fig. 3.2.



Fig.3.2. Alama monofazica cu 20%Zn

În practică, monofazice, sunt doar alamele tehnice cu $0 \div 32\%$ Zn. Cele cu $32 \div 36\%$ Zn solidifică bifazic $\alpha + \beta$, iar cele cu $36 \div 45\%$ Zn solidifică monofazic β și ajung bifazice $\alpha + \beta'$ la 20°C . Alamele monofazice prezintă proprietăți apropiate de ale cuprului. Alamele bifazice, cu peste 32% Zn, practic au structura la temperatura ambiantă formată din soluție solidă α și soluție solidă β până la 39% Zn, fig.3.3. și din soluție solidă α și soluție solidă ordonată β (fază Kurnakov) cele cu $39 \div 46\%$ Zn.

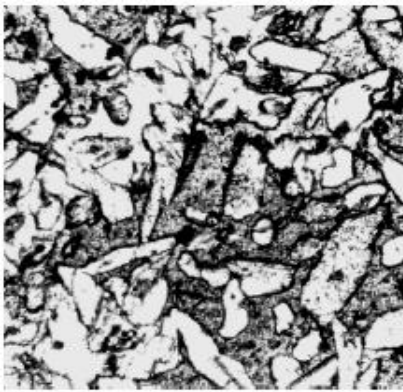


Fig. 3.3. Structura alamei bifazice CuZn39Pb2

Impuritățile cele mai dăunătoare sunt Bi ($<0,003\%$); Sb ($<0,1\%$) și Pb ($<0,03\%$), numai în alamele monofazice α , ele formează cu cuprul eutectice peliculare ușor fuzibile care provoacă fragilitate la roșu. Alamele speciale se aliază cu Si, Al, Sn, Fe, Mn, Pb, Ni etc. în scopul creșterii rezistenței mecanice și a rezistenței la coroziune. Tot din categoria alame speciale fac parte și alamele pentru lipituri tari (brazări) ale alamelor, bronzurilor, oțelurilor și fontelor.

Alamele turnate în piese, prin STAS 199/2-86, sunt simbolizate prin: CuZn40PbT; CuZn33Pb2T; CuZn40PbSnT; CuZn38Pb2Mn2T; CuZn40Mn3FeT; CuZn35Mn2FeAlNiT etc.

3.1.1.2. Aliaje Cu-Sn (Bronzuri)

Bronzurile obișnuite (normale) sunt aliaje ale cuprului cu staniu, care prezintă o diagramă de echilibru cu patru transformări peritectice, cu trei transformări eutectoide și formare de șapte soluții solide, figura 3.4.

Sunt aliaje scumpe (staniu este deficitar), cu rezistență mare la coroziune, comportare bună la frecare (antifricțiune), elasticitate bună, proprietăți de rezistență bune, conductivitate electrică mare, sudabilitate, așchiabilitate și turnabilitate bune.

Bronzurile cu staniu tehnice sau comerciale conțin până la 20% Sn, peste această concentrație bronzurile sunt fragile datorită prezenței soluțiilor solide pe bază de compuși intermetalici foarte dure ($\gamma = \text{Cu}_{31}\text{Sn}_{18}$ și $\delta = \text{Cu}_3\text{Sn}$).

Prezența impurităților de Bi și Al, determină micșorarea rezistenței mecanice, dând structuri grosolane cu porozități, celelalte impurități (Zn, Pb, Ni, Mn, Sb, Si, As) nu influențează negativ rezistența bronzurilor.

Rezistența mare la coroziune în apă de mare, soluții neutre de săruri, soluții de acid sulfuric, fosforic, gaze (CO_2 , H_2S , SO_2 , vapori H_2O) este asigurată de formarea la suprafață, a unei pelicule de oxizi compacte, aderente și protectoare. Nu rezistă în acizi azotici și clorhidrici și în soluții alcaline. Structurile unor bronzuri monofazice (α) deformat și recopt - CuSn6 (a) și bifazice ($\alpha + \epsilon$) turnat - CuSn14T (b) sunt prezentate în figura 3.4.

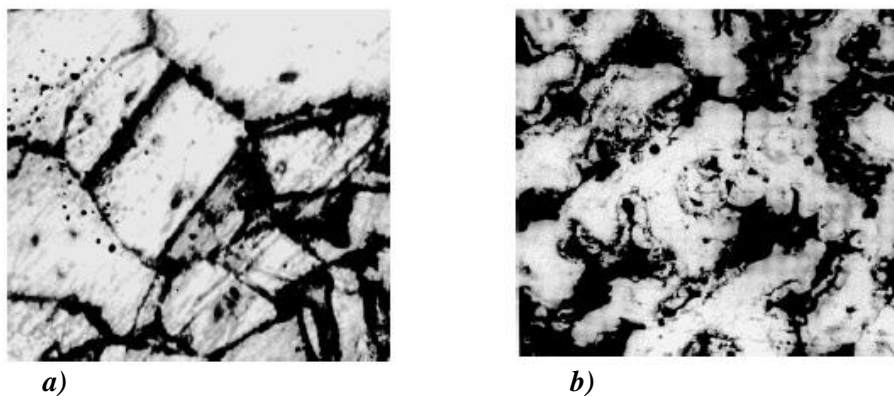


Fig.3.4. Structuri ale bronzurilor: a) CuSn6 și b) CuSn14T

3.1.1.3. Bronzuri speciale

Bronzurile speciale pot fi fie aliaje binare Cu-Al; Cu-Si; Cu-Be; Cu-Mn; Cu-P; Cu-Pb care posedă structură și proprietăți apropiate de bronzurile normale, fie aliaje complexe Cu-Sn aliate cu Zn, Pb, Ni, Fe, P, Al, Si etc.

A. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al). Sunt cele mai bune înlocuitoare ale bronzurilor cu staniu. În tehnică se folosesc aliajele monofazice și bifazice cu până la 11% Al, peste această valoare bronzurile cu Al sunt foarte dure și fragile, datorită prezenței soluției solide pe baza compusului intermetalic γ ($\text{Cu}_{32}\text{Al}_{19}$).

Structura bronzurilor bifazice cu Al după călire este aciculară similară cu martensita din oțelurile călite, datorită fazei β (Cu_3Al). Bronzurile cu aluminiu au bune proprietăți de rezistență la temperaturi mari, rezistă la coroziune în HCl, H_2SO_4 , acizi grași, hidroxid de potasiu (mai puțin în abur supraîncălzit).

B. Bronzuri cu beriliu. Bronzurile comerciale cu Be conțin 2÷3% Be, se pot prelucra atât prin turnare cât și prin deformare plastică la cald sau la rece. Întrucât beriliul este scump și deficitar, poate fi înlocuit parțial cu: Ni, Co, Mn, Si, Zr, Ti, Mg etc. fără a fi afectate substanțial proprietățile fizico-mecanice. Nichelul și cobaltul (0,2÷0,3%), îmbunătățesc rezistența la rupere prin oboseală, duritatea și refractaritatea acestor bronzuri. Bronzurile cu beriliu, pe lângă faptul că sunt foarte dure și rezistente, sunt antimagnetice, au conductivitate termică și electrică foarte bune, nu produc scântei prin lovire, au o bună rezistență la coroziune.

C. Bronzuri cu siliciu. Bronzurile cu siliciu și cu adaosuri de Ni sau Mn (1,5%) sunt bune înlocuitoare ale bronzurilor cu Sn, deoarece sunt mai ieftine și prezintă proprietăți mecanice ridicate, foarte bună rezistență la coroziune, o sudabilitate, așchiabilitate și proprietăți antifricțiune bune.

Bronzurile cu Si tehnice sunt cele cu până la 6% Si; peste această valoare bronzurile sunt foarte fragile datorită prezenței fazelor Cu_5Si și Cu_7Si foarte dure și fragile. Manganul formează un compus intermetalic dur Mn_2Si , îmbunătățește caracteristicile mecanice, tehnologice și chimice.

Nichelul, formează compusul intermetalic Ni_2Si foarte stabil, care mărește mult caracteristicile mecanice ale bronzurilor cu Si în stare turnată și după tratamentul termic de călire de punere în soluție și îmbătrânire.

D. Bronzuri cu plumb. Bronzurile cu plumb sunt aliaje binare Cu-Pb sau ternare Cu-Pb-Sn, care au cele mai bune proprietăți antifricțiune, care pot lucra la temperaturi de până la 300°C și la presiuni foarte mari și care au o conductivitate termică superioară bronzurilor cu Sn.

Se utilizează bronzurile cu 4÷30% Pb.



Fig. 3.5. Structura bronzurilor cu 20% Pb.

În urma solidificării cu viteză foarte mică, neinfluențată de vibrații se obțin aliaje stratificate. Răcirea cu viteză mărită, aplicarea unor câmpuri vibratoare și alierea cu Ni, Mn, Ag, Sb, P etc. determină obținerea de aliaje tip emulsie, care au structura formată dintr-o masă de Cu în care există grăunți de Pb cât mai uniform distribuiți, fig. 3.5. în care este prezentată structura unui bronz cu 20% Pb.

STAS 1512-88 indică două mărci de bronzuri cu Pb și Sn pentru lagăre cu autolubrefiere și rezistente la coroziune: CuPb10Sn10; CuPb5Sn10, iar STAS 11271-80 indică 5 mărci de materiale pe bază de Cu, Pb și Sn pentru lagăre de alunecare cu pereți subțiri,: CP25; CP30; CP23S2; CP10 Sn10; CP22S4.

E. Bronzuri cu mangan. Aliajele Cu-Mn simple sau aliate cu Al, Ni, prezintă proprietăți mecanice ridicate, și proprietăți speciale: rezistivitate electrică mare, proprietăți magnetice deosebite, plasticitate ridicată, rezistență mare la coroziune și uzare.

Alierea cu Al, Ni, P și Pb îmbunătățește caracteristicile mecanice, chimice și de turnare. Bronzurile cu Mn se utilizează frecvent în industrie, datorită excelentelor proprietăți anticorozive, antiscântei, antifricțiune, rezistivitate mare și forță coercitivă mare.

Aceste bronzuri au diverse denumiri comerciale: manganin, heusler-alloy, ohmal, kumanal etc. Nu sunt standardizate în România.

F. Bronzuri cu crom. Aliajele Cu-Cr au o foarte mare conductivitate electrică, foarte bune proprietăți mecanice, sunt anticorozive și refractare.

Aliajele tehnice Cu-Cr conțin maxim 1÷2% Cr și alte elemente de aliere (Zr, Nb, Al, Mg, Ag, Zn, Si, P) care se adaugă în cantități mici (sub 1%) în scopul creșterii rezistenței mecanice, rezistivității electrice, refractarității.

G. Alte bronzuri speciale. Bronzurile cu Ti (0,1÷5%) sunt foarte elastice, conducătoare de curent electric și refractare, se folosesc ca înlocuitoare ale bronzurilor cu Be.

Bronzurile cu Te (0,06÷0,6%) au proprietăți mecanice ridicate sunt refractare, rezistente la coroziune și foarte bune conductoare de electricitate.

Bronzurile cu Cd (sub 1%) au proprietăți mecanice ridicate, plasticitate mare după recoacere, conductivitate electrică foarte mare, refractaritate și rezistență mare la coroziune.

Bronzurile cu Zr (0,1÷0,2%) aliate cu Cr, In, Cd au proprietăți mecanice foarte bune, rezistență mare la coroziune și conductivitate electrică similară cu a cuprului.

3.1.1.4. Alte aliaje ale cuprului

A. Aliaje Cu-Ni. Cele mai cunoscute aliaje Cu-Ni sunt: nicometal, melchior, aliaj pentru monede; nichelina, constantan, manganina, monel, monel K, cunial A, cunial B, copel, cupron sau cunicul,

B. Aliaje Cu-Ni-Zn (alpaca). Aliajele cuprului cu 10÷25% Ni și 30÷33% Zn, cunoscute sub denumirea de alpaca sau argentan, au plasticitate foarte bună, rezistență mecanică bună, stabilitate mare la coroziune în soluții saline și în acizi organici, au culoare argintie și luciu metalic deosebit.

STAS 1096-83 simbolizează aceste aliaje prin: Cu-Ni18Zn20; CuNi18Zn27; CuNi15Zn21.

Tot din categoria aliajelor Cu-Ni-Zn fac parte și aliajele cunoscute sub denumirea de maillechort (3÷20% Ni; 13÷14% Zn; 1÷3,5% Fe).

Aliajul cu 22% Ni, 20% Zn și restul cupru, cunoscut sub denumirea de neusilber, are aceleași caracteristici ca și alpacaua, iar în plus are rezistență electrică bună.

C. Aliaje Cu-Ag. Aliajele tehnice Cu-Ag conțin 0,02÷2% Ag. STAS 11527-88 indică 7 mărci de aliaje Cu-Ag: CuAg0,05; CuAg0,07; CuAg0,13; CuAg0,23, CuAg0,24R; CuAg0,1R. Numerele reprezintă conținutul mediu în Ag, iar litera R înseamnă obținut prin retopire în cuptor cu flacără din materialele refolosibile.

D. Cupru microaliat. Aceste materiale se pot obține prin microalierea complexă a cuprului cu: Zr, Cr, Co, Be, Ti, Si, Al care formează compuși intermetalici de tipul Cr₂Zr; Cr₂Ti; NiBe; Ni₂Si; Ni₃Al, etc., care durifică și cresc refractaritatea cuprului de cca. 2 ori la temperatura de 800°C, afectând relativ puțin (cu 30÷35%) conductivitatea electrică.

3.1.2. Alumiuni și aliajele de aluminiu

Alumiuni tehnici sau comerciali au puritatea de 99,5÷99,8%, restul de 0,2÷0,5% sunt impurități în special de Fe și Si, care au efect negativ asupra plasticității și rezistenței la coroziune.

Aceste impurități imprimă tendința de fisurare la solidificare, datorită compusului chimic ternar AlFeSi, care determină formarea de retasuri închise extinse și crăpături superficiale. Toate impuritățile Si, Mg, Fe, Cu, Zn scad conductivitatea electrică.

Simbolizarea alumiunilor rafinați electrolitic comerciali se face conform STAS 7607-86: Al99,9; Al99,97; Al99,95; Al99,90, iar alumiuni tehnici primari se simbolizează prin: Al99,8; Al99,7; Al99,6; Al99,5 etc.

Cea mai mare parte a alumiunilor se folosește sub formă de aliaje binare (Al-Cu; Al-Mg; Al-Mn; Al-Zn; Al-Si și mai rar Al-Fe; Al-Ni; Al-Ti), sau complexe (duralumiuni, aliaje pentru pistoane etc), în construcția de mașini și în aero- și astronautică.

În funcție de prelucrările ce le pot suporta, aliajele de aluminiu se clasifică în: - aliaje de aluminiu deformabile (care nu conțin eutectic în structură); - aliaje de aluminiu pentru turnare (conțin eutectic în structură).

3.1.2.1. Aliaje de aluminiu deformabile

Aliajele de aluminiu deformabile sunt binare (Al-Mg; Al-Mn; Al-Si) sau complexe (Al-Cu-Mg; Al-Mn-Mg; Al-Zn-Mn-Cu; Al-Si-Mg-Mn; Al-Si-Cu). Aceste aliaje au structura formată din soluție solidă α în care sunt distribuiți compuși chimici de forma: Al₃Mg₂; CuAl₂; MnAl₆; Al₈Mg₅; Al₃MnFe; Mg₂Si; Cu₂Mg₈Al₅; CuMgAl₂; CuMg₄Al₆; CuMn₂Al₁₂; Mg₅Cu₅Si₄Al₈; Cu₄NiAl₇; Cu₂Mn₃Al₂₀ etc.

Fazele durificatoare care precipită la îmbătrânire din soluția solidă suprasaturată moale și plastică, obținută prin călire de punere în soluție, sunt compușii intermetalici: CuAl₂; Mg₂Si; CuMg₄Al₆; CuMgAl₂; AlCu₂Fe; Cu₄NiAl₇; MgZn₂ etc.

Dintre aliajele complexe de aluminiu deformabile și durificabile, cele mai rezistente mecanic sunt cele cunoscute sub denumirea de duralumiuni cu cupru sau cu zinc: Al-Cu-Mg-Mn-Si; Al-Zn-Mg-Cu, Al-Cu-Mg; Al-Mg-Si; Al-Cu-Ni-Mg.

3.1.2.2. Aliaje de aluminiu pentru turnare

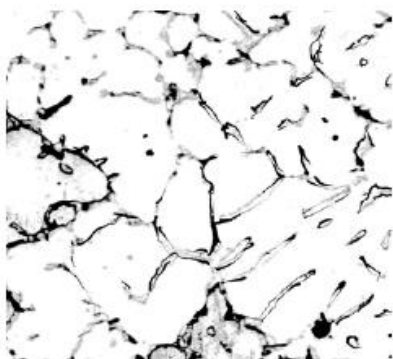
Pentru turnare se folosesc frecvent aliajele binare Al-Cu; Al-Si și mai rar Al-Mg; Al-Zn și aliajele complexe Al-Cu-Si; Al-Cu-Mg; Al-Si-Mg; Al-Zn-Si; Al-Cu-Mg-Ni; Al-Zn-Si; Al-Zn-Mg etc. Aliajele de aluminiu pentru turnare, au fluiditate bună, compactitate bună, tendință de segregare mică și rezistență bună la tensiunile de contracție după turnare; toate acestea, datorită eutectoidului din structură.

În ultimul timp aliajele de aluminiu se obțin și prin metalurgia pulberilor. Acestea sunt formate dintr-o matrice de Al în care sunt dispersate particole de Al_2O_3 , SiO_2 , SiC , B_4C , sunt foarte rezistente mecanic, rezistă la coroziune și au refractaritate bună.

3.1.2.3. Aliaje de aluminiu binare

Aliajele binare de aluminiu folosite atât pentru deformare cât și pentru turnare sunt: Al-Mn; Al-Mg; Al-Si – pentru deformare și Al-Cu; Al-Si; Al-Mg – pentru turnare. Dintre acestea doar Al-Cu se durifică prin precipitare.

A. Aliaje aluminiu-cupru. Aluminiul și cuprul formează un compus chimic definit Al_2Cu și un eutectic la 33% Cu și $548^\circ C$. Cuprul mărește foarte mult rezistența la rupere cu $140\div 210 N/mm^2$.



Aliajele tehnice binare Al-Cu conțin $3\div 11\%$ Cu, fiind destinate în special turnării, ele se deformează plastic dificil din cauza fazelor metastabile și a compusului dur și fragil Al_2Cu , care precipită și durifică rapid aliajele (în câteva ore).

Fig. 3.6. Structura aliajului ATCCu10. Soluție solidă α , eutectic și Al_2Cu .

Aliajele Al-Cu cu 33% Cu (eutectice) la temperaturi de peste $400^\circ C$ devin superplastice având o alungire de 2000%. Se folosesc pentru piese în construcția de mașini și aeronautică. Structura unui aliaj de aluminiu turnat cu 10% Cu este dată în figura 3.6.

B. Aliajele aluminiu-siliciu.

Aliajele tehnice denumite siluminuri conțin până la 20% Si, peste această valoare, datorită acelor și plăcilor de Si primar foarte dure și fragile, aliajele Al-Si nu se folosesc. Aliajele hipereutectice cu $12\div 13\%$ Si au structura grosolană formată din eutectic și ace sau plăci de Si, care imprimă proprietăți scăzute de rezistență mecanică, fig 3.7.

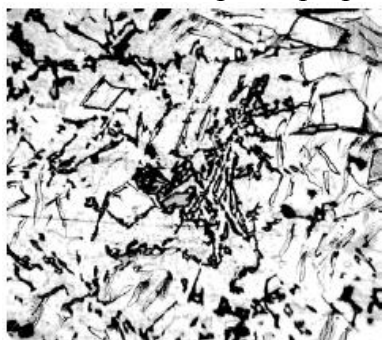


Fig. 3.7. Microstructura aliajului nemodificat ATNSi12 ($E+Si$)

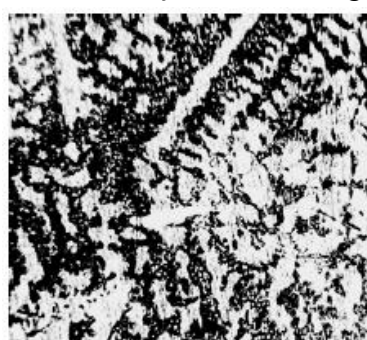


Fig. 3.8. Structura aliajului ATNSi12 modificat ($\alpha+E$)

Structura formată și din eutectic și soluție α a siluminului turnat în amestec normal de formare modificat, ATNSi12, este dată în figura 3.8.

Adaosuri de Cu, Mg, Ni și Mn măresc rezistența mecanică (Cu, Mg), măresc refractaritatea și rezistența la coroziune (Ni) și transformă siluminurile aliate, în aliaje care se pot durifica prin precipitare.

C. Aliaje aluminiu-magneziu. Aliajele tehnice Al-Mg se folosesc până la 15% Mg, peste această valoare datorită compușilor chimici definiți Al_3Mg_2 , Al_8Mg_5 duri și fragili, aliajele nu sunt utilizabile.

Aliajele Al-Mg sunt mai ușoare și mai așchiabile decât aluminiul, au rezistență mecanică și la coroziune foarte bune, se sudează ușor, dar au proprietăți de turnare inferioare siluminurilor.

D. Aliaje aluminiu-mangan. Aliajele tehnice Al-Mn conțin maxim 2% Mn și au structura formată din soluție solidă α , cristale primare de Al_6Mn și eutectic. În aceste aliaje fierul și siliciul sunt impurități de neacceptat, deoarece scad rezistența mecanică și deformabilitatea, datorită formării compușilor chimici duri și fragili: $(MnFe)Al_6$; $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$.

E. Aliaje aluminiu-zinc. În tehnică se folosesc aliajele pentru turnare cu 5%÷15% Zn (aliat întotdeauna cu Mg, Si, Fe sau Cu) care au rezistență mecanică redusă.

F. Aliaje aluminiu-fier. Fierul există în cantități mici întotdeauna în Al și aliajele sale, fără să fie practic dăunător, până la conținuturi de 0,5%.

Sistemul Al-Fe prezintă o diagramă de echilibru cu insolubilitate în stare solidă, cu formare de eutectic la 655°C și 1,9% Fe, cu transformare peritectică la 130°C și cu formare de compuși chimici: Al_3Fe și Al_5Fe_2 .

3.1.2.4. Aliaje de aluminiu complexe

A. Aliaje complexe de aluminiu deformabile. Cele mai întâlnite sisteme de aliaje complexe de aluminiu deformabile sunt: Al-Mg-Si; Al-Mg-Cu; Al-Mn-Mg; Al-Mg-Cu-Si și Al-Zn-Mg-Cu. Dintre numeroasele aliaje complexe de aluminiu durificabile, cele mai importante sunt cele denumite duraluminuri din sistemul Al-Cu-Mg aliat cu Mn, Zr, Li, Cr, Be etc. Structura duraluminilor pentru deformare, conține soluție solidă α în care sunt incluse faze durificatoare; Al_2Cu ; Al_2CuMg ; Al_6CuMg_4 ; Mg_2Si .

STAS 11271-80 indică patru mărci de asemenea aliaje: AS20; AP1; AS6N1; AS6, unde S înseamnă Sn, P- plumb; N- nichel, iar numerele reprezintă conținuturi medii de Sn, Pb, Ni.

B. Aliaje complexe de aluminiu pentru turnare. Sunt aliaje aliante cu cantități însemnate de Cu, Mg, Si, Zn, Fe, Ni. Aliajele complexe de aluminiu pentru turnare sunt: Al-Cu-Si; Al-Cu-Mg; Al-Si-Cu; Al-Si-Mg; Al-Zn-Mg și Al-Zn-Si. În figura 3.9. este prezentată structura foarte fină a aliajului ATCSi12 CuMgNi modificat cu 0,8% Ti ($\alpha + E$).



Fig. 3.9. Structura aliajului ATCSi12CuMgNi modificat



Fig. 3.10. Structura aliajului complex de Al turnat ATZN5Mg

În stare turnată, datorită structurii grosolane, figura 3.10. (ATN Zn5Mg-turnat), aliajele complexe de aluminiu au proprietăți mecanice relativ scăzute, care cresc însă după îmbătrânire.

3.1.3. Zincul și aliajele de zinc

Zincul este un metal alb-albăstrui cu densitatea de 7,1 g/cm³, care se topește la 420°C, cristalizat în sistem h.c., foarte stabil chimic în atmosferă și în apa de mare, se dizolvă cu

ușurință în acizi, hidrooxizi și soluții apoase de săruri, se poate turna cu ușurință și deforma plastic la 130÷170°C, dacă puritatea este bună, se poate suda și lipi. La temperatura ambiantă Zn (99,9%) este fragil.

Zincul se dizolvă foarte mult în Fe și formează un număr mare de compuși intermetalici cu fierul, motiv pentru care băile de zincare termică se realizează din fier Armco fără siliciu, deoarece acesta din urmă fragilizează fierul în prezența zincului. Zincul se folosește mult sub formă de aliaje: Zn-Al; Zn-Cu; Zn-Sn; Zn-Al-Cu; Zn-Mn; Zn-Cd care sunt destinate laminării și turnării lagărelor de alunecare sau aliajelor de lipit.

Aliajele Zn-Al: solubilitatea Al în Zn este foarte mică (1% la 380°C și 0,05% la 20°C). Soluția solidă α (h.c) care este foarte bogată în Zn (99,47%), cu soluția solidă β' (cfc) care este bogată în Al (68,4%) formează un amestec mecanic de tip eutectoid la temperatura ambiantă.

Aliajele Zn-Cu; separarea la răcire a fazei ϵ din faza η determină importante modificări de volum sau lungime în timp. Aliajele tehnice de Zn-Cu conțin 4÷10% Cu, fiind destinate presării la cald (4÷5% Cu) și turnării (5÷10% Cu), au proprietăți mecanice bune și se durifică prin îmbătrânire.

Aliajele Zn-Al-Cu (zamak) au cea mai largă utilizare dintre aliajele zincului. Conțin 3,5÷6% Al; 0,1÷5% Cu; rest Zn. Sunt aliaje foarte stabile chimic, au bune proprietăți antifricțiune.

Zamakul aliat cu Mg poate fi utilizat ca aliaj tipografic. Aliajele de tip zamak au o prelucrabilitate bună prin așchiere. Structura unui zamak cu 4% Al, 1% Cu, rest Zn, formată din eutectic și soluție solidă α este dată în figura 3.12.

Sunt utilizate pentru elemente în aparatura de măsură, armături, ștanțe, matrițe, forme de presare, lagăre de alunecare pentru mașini unelte etc. Unele din aliajele Zn-Al-Cu (22% Al; 1÷3% Cu, rest Zn) sunt superplastice utilizate mult în piese deformate plastic.

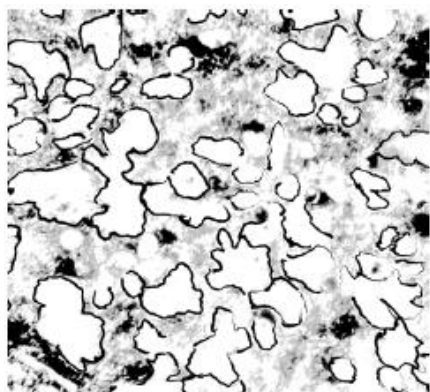


Fig.3.12. Structura zamakului

Aliajele Zn-Sn cu 5÷10% Sn, denumite staniol sunt superplastice (cele cu 9% Sn). Aliajele cu 26% Sn, 5% Cu, 2% Pb, 3% Cd, restul Zn (babbitt cu zinc) sunt excelente aliaje antifricțiune

$\alpha+E$.

Aliajul cu 18% Sn, 6% Cu, rest Zn, este folosit pentru obținerea lagărelor de alunecare la utilajele miniere, mașini de ridicat și motoare de autovehicule. Aliajele Zn-Sn cu 10; 20; 30 și 40% Zn și restul Sn, care au un eutectic la 9% Zn și 199°C, sunt excelente aliaje pentru lipit zinc, cupru, alamă, bronz, aluminiu și aliaje ale acestora. De asemenea aliajul Zn-Cd (cu 40% Cd) se folosește pentru lipituri tari ale oțelurilor, alamelor, aliajelor de aluminiu și de magneziu, iar aliajul Zn80Sn este folosit pentru lipituri moi. În acest scop se poate

utiliza aliajul Zn-Ag cu 4,5÷34,5% Ag. STAS 6925-86 simbolizează aliajele de Zn pentru turnare sub presiune astfel: ZnAl4T; ZnAl4Cu1T

STRUCTURI OBȚINUTE PRIN TRATAMENTE TERMICE

4.1. Noțiuni introductive.

Tratamentele termice reprezintă prelucrări pe cale termică aplicate materialelor metalice, care constau din încălziri și răciri dirijate în scopul îmbunătățirii anumitor proprietăți. Aplicarea corectă a tratamentelor termice impune cunoașterea transformărilor secundare din diagrama de echilibru a aliajelor supuse prelucrării termice.

Tratamentele termice ale oțelurilor carbon.

Aliajele fier – carbon (oțeluri și fonte) prezintă conform diagramei de echilibru, transformări secundare de natură alotropică și de variație a solubilității carbonului în fier. Peste punctele critice de transformare A_{C3} și $A_{C_{cem}}$ (linia GOSE), structura oțelurilor carbon este formată din austenită, care reprezintă structura de plecare în majoritatea tratamentelor termice și care se transformă la răcire, în constituenți de echilibru P , $F\alpha$, Ce_{II} , când viteza de răcire este mai mică sau în constituenți în afară de echilibru când viteza este mai ridicată. Dacă viteza de răcire este mai mică decât viteza critică inferioară ($V_{cr. inf}$) se obține una din stările intermediare: sorbită, troostită, bainită, care sunt amestecuri mecanice formate din ferită și cementită (tip perlitic) și care se deosebesc între ele prin gradul lor de dispersie, dimensiunea lor fiind de 10^{-7} cm pentru bainită, până la 10^{-4} cm pentru perlită; dacă viteza de răcire este mai mare decât viteza critică superioară ($V_{cr. sup}$), austenita trece în proporție de 50 – 95%, fără difuziune, în martensită.

Tratamentele termice, în funcție de constituenții metalografici care se obțin, pot fi: pentru obținerea stării de echilibru (recoacere) și pentru obținerea unor stări în afară de echilibru (călirea și revenirea).

1. **Recoacerea** este tratamentul termic de aducere a materialului în stare de echilibru și constă dintr-o încălzire sub sau peste punctele critice și o răcire cu o viteză foarte mică (uneori odată cu cuptorul). Funcție de scopul concret urmărit și funcție de temperatura de încălzire se cunosc mai multe tipuri de recoaceri:

- *recoacerea de înmuiere* – are drept scop obținerea unui echilibru fizico-chimic și structural, corespunzător valorilor maxime pentru proprietățile plastice și minime pentru proprietățile de rezistență.

Oțelul este încălzit peste punctele critice A_{C3} și $A_{C_{cem}}$ cu 30 - 50°C (în domeniul austenitic), menținut în funcție de dimensiunile piesei și răcit lent ($V = 10...20^{\circ}C/h$) când austenita se transformă în constituenți de echilibru: ferită, perlită și cementită.

- *recoacerea pentru globulizarea cementitei* – se face în scopul globulizării atât a cementitei legată în perlită cât și a cementitei libere existentă în oțelurile hipereutectoidice; constă în încălzirea oțelului peste A_{C1} (730 - 760°C) și menținerea îndelungată sub A_{F1} , când, datorită concentrației neomogene a austenitei și cantității mari de carburi nedizolvate, cementita se globulizează. Timpul de efectuare a tratamentului se micșorează considerabil dacă în locul menținerii îndelungate sub A_{F1} se face o pendulare (încălziri, mențineri și răciri în cicluri repetate) în jurul temperaturii de 723°C cu 10...20°C peste și 10...20°C sub această temperatură. Cementita (perlita) în comparație cu cementita (perlita) lamelară prezintă o duritate mai mică, o rezistență mai mare și o prelucrabilitate prin așchiere mai bună.

- *recoacerea de detensionare* – constă din încălzire cu viteză mică până sub punctul A_{C1} (500 - 600°C), menținere îndelungată, urmată de răcire lentă a pieselor în scopul eliminării tensiunilor interne termice sau structurale, provenite de la prelucrările mecanice sau termice anterioare. Încălzirea poate fi făcută și la temperaturi mai mici, însă tratamentul nu este economic datorită menținerii îndelungate; cu cât temperatura crește, timpul se micșorează.

- *recoacerea de omogenizare* – se aplică în scopul egalizării compoziției chimice, prin difuzia elementelor chimice dintr-o zonă în alta și constă din încălzire peste temperatura punctului A_{C3} respectiv $A_{C_{cem}}$, în apropierea linii solidus (1100 - 1150°C), o menținere îndelungată (10 – 15 ore),

urmată de răcire lentă. Se aplică oțelurilor turnate (piese sau lingouri), care în urma cristalizării prezintă segregatii dendritice. În urma recoacerii de omogenizare (difuziune), datorită temperaturii și duratei mari de încălzire se obțin structuri cu grăunte grosolan, deci cu proprietăți mecanice scăzute. Acest neajuns se elimină printr-o normalizare ulterioară.

- *recoacerea de recristalizare* – se aplică oțelurilor deformate plastic la rece, care prezintă fenomenul de ecruisare. Tratamentul constă într-o încălzire peste temperatura critică de recristalizare ($T_{recr}=0,4 T_f$ K), când se înlătură tensiunile interne, iar grăunții tind să devină de formă sferică, materialul recăpătându-și proprietățile anterioare deformării. Ecruisarea este fenomenul de creștere a rezistenței mecanice, prin distorsionarea rețelei cristaline care duce la creșterea numărului de dislocații și a numărului de obstacole ce se opun mișcării acestora în timpul deformării plastice la rece. În timpul recoacerii de recristalizare pe măsura creșterii temperaturii crește mobilitatea atomilor, având loc eliminarea tensiunilor termice, apoi apar noi centre de recristalizare care cresc până la refacerea structurii. Recoacerea de recristalizare are loc în trei etape:

- *restaurarea*, când are loc eliminarea distorsiunilor și tensiunilor termice din rețeaua cristalină;
- *germinarea*, care începe peste temperatura de recristalizare;
- *creșterea grăunților*.

Dimensiunile grăunților după recristalizare depind de temperatură și de gradul de deformare; cu cât crește temperatura cresc și dimensiunile grăunților; de asemenea în urma deformării plastice cu grad critic (8 – 12%) se obțin, după recoacerea de recristalizare, grăunți de dimensiuni foarte mari.

Tratamentele termice de recoacere, în general, în funcție de temperatura de încălzire, sunt:

- incomplete, când temperatura de încălzire se află sub A_{C3} , $A_{C_{cem}}$ când nu toată masa metalică participă la transformări fizice sau nu suportă deloc transformări fizice; totodată are loc micșorarea stării tensionale;
- complete, când temperatura de încălzire depășește punctele critice A_{C3} , $A_{C_{cem}}$ (linia GOSE), și toată masa metalică suportă transformare fizică; se obține finisarea granulației, micșorarea durtății, eliminarea tensiunilor termice, modificându-se sau nu natura și numărul fazelor.

Structura oțelurilor în stare recoaptă este cea corespunzătoare stării de echilibru.

2. **Normalizarea** – este tratamentul termic intermediar între tratamentele ce lasă materialele în stare de echilibru (recoaceri) și tratamentele ce lasă materialele în afară de echilibru (căliri); normalizarea constă într-o încălzire peste A_{C3} cu 30 - 50°C pentru oțelurile hipereutectoide și peste $A_{C_{cem}}$ cu 30 - 50°C pentru oțelurile hipoeutectoide cu cementită în rețea sau peste A_{C1} în cazul când cementita nu este în rețea, urmată de o răcire în aer liber, în scopul obținerii unei structuri fine. Unii autori consideră normalizarea o recoacere de fărâmițare, lucru discutabil deoarece structura obținută la răcirea în aer liber nu este în echilibru perfect deoarece se obține o perlită fină pentru oțelurile hipoeutectoide și o perlită sorbitizată pentru oțelurile hipereutectoide. Normalizarea se aplică tuturor semifabricatelor laminate din oțel carbon și slab aliate precum și materialelor turnate, care posedă grăunți mari și neuniformi (supraîncălziți), care au o secțiune de mărime mijlocie. Nu se recomandă a se aplica oțelurilor bogat aliate autocălibile (exemplu oțelul rapid), precum și, în general, materialelor feroase cu secțiuni prea mici sau prea mari.

3. **Călirea** – este tratamentul termic care are ca scop obținerea unei structuri noi în afară de echilibru, constituentul caracteristic fiind numit martensită. Constă dintr-o încălzire la o temperatură cu 30 - 50°C peste A_{C3} (linia GOSE), o menținere în funcție de dimensiunile piesei, urmată de o răcire cu o viteză mare; o viteză mai mică decât viteza critică inferioară determină transformarea austenitei în constituenți de tranziție (sorbită, troostită, bainită), iar o viteză mai mare decât viteza critică superioară duce la apariția în structură a martensitei pe lângă o cantitate instabilă, de la oțel la oțel, de austenită reziduală. Dacă temperatura de încălzire a oțelurilor hipoeutectoide este sub punctul critic A_{C3} , călire incompletă, după călire apare defectul denumit „pete moi”; alături de martensită apar insule de ferită care nu au participat la transformare.

Apariția martensitei în structură determină o schimbare radicală a proprietăților fizico-mecanice: crește foarte mult duritatea (60-66 HRC), crește fragilitatea, scăzând în același timp foarte mult reziliența și tenacitatea; crește volumul piesei și proprietățile fero-magnetice.

La microscop martensita de călire apare sub formă aciculară de culoare albă pe un fond de austenită reziduală de culoare întunecată.

Bainita apare sub forma unor plăci (bainită superioară) sau ace grosolane întunecate de ferită în interiorul cărora există precipitări de carburi (bainită inferioară). Troostita fiind un amestec de ferită și carburi cu grad de dispersie mare (10^{-6} cm), apare la microscop cu puteri de mărire obișnuite sub forma unei rețele, sau sub forma unor cuiburi de culoare neagră; abia la mărimi mari (microscopie electronice) apare aspectul lamelar al troostitei.

Sorbita este un amestec de ferită și carburi cu un grad de dispersie 10^{-5} cm care la puteri mici de mărire apare sub forma unor insule întunecate, aspectul lamelar putând fi pus în evidență numai la mărimi foarte mari.

Foarte rar se obțin structuri formate doar dintr-un constituent; în general în urma unei răcirii concrete se obțin împreună martensită cu bainită, sau cu troostită, bainită cu troostită etc.

Călirea energetică, la martensită, reprezintă o transformare fără difuziune, martensita formându-se din austenită instantaneu; cantitatea ei crește o dată cu scăderea temperaturii, continuându-se și sub 0°C – obișnuită (cu viteză continuă) – în trepte, - întreruptă sau – izotermă.

De asemenea poate fi: - călire pătrunsă sau
- călire superficială.

4. **Revenirea** – este un tratament termic final, ce se aplică după călire a oțelurilor la martensită în scopul creșterii durității și a eliminării tensiunilor interne. Constă în încălzirea oțelurilor călite la temperaturi sub punctul critic A_{C1} . În funcție de temperatura de încălzire se obțin următoarele structuri:

- bainitice, la reveniri joase ($200 - 300^{\circ}\text{C}$);
- troostitice, la reveniri medii ($300 - 450^{\circ}\text{C}$);
- sorbitice, la reveniri înalte ($450 - 600^{\circ}\text{C}$).

Aceste structuri sunt asemănătoare cu cele obținute prin căliri cu viteze moderate, însă sunt lipsite de tensiuni interne.

Ansamblul de tratamente format din călire și revenire înaltă se numește tratament de îmbunătățire.

Tratamentele termice ale oțelurilor aliate.

În funcție de natura elementelor de aliere și de cantitatea lor în oțeluri fazele tratamentului termic suportă modificări. Astfel, oțelurile bogat aliate se încălzesc cu viteză mică în domeniul temperaturilor joase (datorită conductibilității termice reduse există pericolul apariției fisurilor). Temperatura de încălzire și timpul de menținere vor fi cu atât mai mari, cu cât oțelul conține o cantitate mai mare de elemente ce formează carburi stabile, pentru ca aceste carburi să se dizolve cât mai complet în austenită; viteza de călire pentru răcire este mult mai mică decât la oțelurile carbon, deoarece elementele de aliere, cu excepția cobaltului, deplasează curbele TTT spre dreapta micșorând viteza critică de călire. Oțelurile aliate cu Mn, Cr, Ni, în anumite procente, nu pot fi călite pentru obținerea martensitei deoarece punctul de început de transformare martensitică (M_s) este coborât sub 0°C .

Revenirea oțelurilor bogat aliat suportă de asemenea modificări esențiale. Apare fenomenul de durificare secundară, când o parte din cantitatea are de austenită reziduală, ce se obține la aceste oțeluri după călire, sărăcește în elemente de aliere în timpul încălzirii pentru revenire, iar la răcirea ulterioară se transformă în austenită. Pentru a micșora cantitatea de austenită reziduală se fac două trei reveniri la temperaturi de $500 - 600^{\circ}\text{C}$ sau se aplică după călire obișnuită o călire sub 0°C . Oțelurile aliate cu crom și nichel prezintă fenomenul de fragilitate de revenire la temperatura de 300°C (la încălzire) și la 500°C (la răcire).

Oțelurile bogat aliate pentru a putea fi prelucrate prin așchiere se livrează în stare recoaptă și nu în stare normalizată, deoarece la răcire în aer se obțin structuri de călire.

Tratamente termice ale fontelor.

Fontele pot suferi tratamente termice de recoacere, călire și revenire. Piesele importante turnate din fontă sunt supuse unei recoaceri de detensionare: încălzire până la 500 - 550°C, menținere, urmată de o răcire lentă. Recoacerea de înmuiere se aplică fontelor în vederea îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere și constă din încălzire până la 800 - 850°C și răcire cu viteză mică; această recoacere favorizează grafitizarea fontelor.

Recoacerea de grafitizare, se aplică fontelor albe în vederea obținerii fontelor maleabile, prin descompunerea completă sau parțială a cementitei. Acest tratament termic se mai numește recoacere de maleabilizare și poate fi aplicat după două procedee: - încălzirea fontei albe cu puțin carbon într-un mediu neutru (nisip sau praf de șamotă) la temperatura de 850 - 950°C, care determină descompunerea integrală a cementitei în carbon grafit și ferită, obținându-se în final fontă maleabilă cu miez negru în încălzirea fontei albe într-un mediu oxidant (minereu de fier, oxizi de fier) care determină descompunerea stratului superficial, obținându-se în aceasta o structură feritică, iar în miez o structură perlitică (fontă maleabilă cu miez alb). Recoacerea de grafitizare se aplică de asemenea pieselor turnate din fontă cenușie care are o crustă dură din fontă albă pentru a o elimina. Călire și revenirea se aplică numai fontelor perlitice și îndeosebi fontelor aliate, pentru creșterea durității. Pentru călire fontele se încălzesc la temperatura de 900°C răcindu-se în ulei, iar pentru revenire se încălzesc la temperaturi de 600°C după care se răcesc în aer. Fontele feritice sau ferito-perlitice nu se călesc. Structura fontelor călite constă din martensită, austenită reziduală și grafit.

Tratamentele termice ale materialelor metalice neferoase.

Materialele metalice neferoase care prezintă transformări secundare (Sn, aliaje Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Al, Al-Cu, Cu-Be etc.) pot suporta tratamente termice însoțite de modificări de faze: recoaceri, călire, revenire, în timp ce materialele metalice care nu prezintă asemenea transformări (Cu, al, Al-Si, Pb-Sb etc.) pot suporta tratamente neînsoțite de transformări de faze: recoacere de recristalizare după ecruisare, de detensionare, de difuzie.

Călire acestor materiale poate fi pentru obținerea unui amestec de faze prin dispersie ce determină creșterea durității (structură tip „martensitic” la bronzurile cu aluminiu), sau pentru punerea în soluție când prin răcire bruscă se obține o soluție solidă suprasaturată în afară de echilibru (aliajele aluminiului, aliajele Cu-Sn etc.).

Soluțiile metastabile obținute după călire vor suporta transformări de fază (soluția solidă metastabilă suprasaturată se va descompune într-o soluție solidă de echilibru și o altă fază numită precipitat) la temperatură ordinară, în timp îndelungat, (proces denumit îmbătrânire naturală) sau prin încălzire, sub punctul critic de transformare (îmbătrânire artificială). Prin procesul de îmbătrânire, aliajele se durifică (fenomen denumit și durificare prin precipitare) deoarece fazele care precipită sunt dure și atât timp cât se păstrează legătura coerentă dintre acestea și soluția solidă de bază, duritatea crește o dată cu creșterea cantității lor.

4.2. Aparatură și materiale.

Se folosesc microscopie metalografice optice cu puteri de mărire de 100:1 – 600:1, în raport cu finețea structurii studiate. Probele pentru studiu pregătite în prealabil, precum și puterile de mărire folosite pentru fiecare vor fi indicate într-o anexă ce se va da la ora de lucrări.

4.3. Modul de lucru.

Se vor studia probe tratate termic. Se vor evidenția constituenții metalografici de echilibru și în afară de echilibru reprezentându-se grafic structurile respective cu indicarea constituenților.

Laborator 5

STRUCTURI OBTINUTE PRIN TRATAMENTE TERMOCHIMICE

5.1. Noțiuni introductive.

Tratamentele termochimice constau în îmbogățirea stratului superficial al oțelurilor cu un element chimic în scopul îmbunătățirii proprietăților de rezistență a acestora.

În timpul tratamentelor termochimice, în stratul superficial se produc modificări de compoziție chimică prin difuzia elementului chimic respectiv, care antrenează și modificări structurale. Funcție de elementul ce difuzează în stratul superficial tratamentele chimice pot fi:

- cementare (îmbogățire cu carbon);
- nitrurare (difuzia azotului);
- cianizare sau nitro-cementare (difuzia simultană a carbonului și azotului);
- sulfizare (difuzia sulfului);
- cromizare (difuzia cromului);
- aluminizare (difuzia aluminiului) etc.

Îmbogățirea straturilor superficiale în elemente de aliere are loc prin încălzirea pieselor la temperaturi la care sunt posibile disocierea moleculelor, adsorbția acestor atomi de către suprafața pieselor și difuzia lor în interiorul oțelului.

Tratamentele termochimice, fiind tratamente de suprafață, se aplică pieselor care necesită un strat dur la exterior păstrând în același timp un miez tenace: arbori cotiți, axe cu came, scule așchietoare (alezoare, tarozi, adâncitoare etc.).

Cementarea – constă în îmbogățirea straturilor superficiale ale pieselor din oțel carbon sau aliat (cu Cr, Ni, Mo etc.) care inițial conțin puțin carbon (sub 0,2% C), prin încălziri și mențineri la temperaturi superioare punctului critic A_{C3} (900 - 950°C) când carbonul în stare atomică, provenit din medii solide (cărbune de mestecăn) sau gazoase (gaz metan), difuzează în interiorul pieselor pe o anumită adâncime.

La cementarea în mediul solid (60% cărbune de mestecăn și 40% $BaCO_3$), în interiorul pieselor din oțel, difuzează carbonul obținut din descompunerea oxidului de carbon provenit din arderea incompletă a cărbunelui sau descompunerea carbonaților.

La răcire austenita bogată în carbon va trece în perlită și cementită.

Cementarea în mediul gazos durează mai puțin și se obțin suprafețe mai curate însă folosește o aparatură mai complexă. În funcție de temperatura de încălzire și timpul de menținere cantitatea de carbon difuzată scade de la exteriorul piesei spre centrul ei. La exterior structura formată din cementită în rețea și perlită, este caracteristică oțelului hipereutectoid; urmează apoi o zonă formată din P , corespunzătoare oțelului eutectoid, iar pe măsură ce înaintează spre centru piesei apare structura specifică oțelului hipoeutectoid: perlită și ferită, la început în rețea și apoi sub formă poliedrică, corespunzătoare structurii inițiale a oțelului.

Grosimea stratului cementat crește odată cu creșterea temperaturii de încălzire și a timpului de menținere (pentru o adâncime de 0,4 – 2 mm sunt necesare 6 – 10 ore la temperatura de 900°C).

Cementarea nu este tratament final ci trebuie completată cu o călire și o revenire joasă pentru detensionare. Călirea putând fi efectuată direct de la temperatura de cementare (la cementare în medii gazoase) sau întâi se face o normalizare pentru fărâmițarea grăunților și apoi se aplică călirea (la cementarea în medii solide, pentru piese mai importante).

Nitrurarea – este tratamentul termochimic de îmbogățire cu azot a straturilor superficiale a pieselor din oțel și fontă în vederea creșterii durității și rezistenței la coroziune prin încălzirea și

menținerea acestora la o temperatură inferioară punctului A_{C1} (500 - 600°C), într-un mediu care conține azot (amoniac).

Oțelurile supuse nitrurării au un conținut de carbon mai mare de 0,3% și conțin elemente de aliere care să formeze nitruri stabile (Cr, Mo, Al), care fiind constituenți foarte duri conferă straturilor superficiale duritate și rezistență la uzare mari. Menținerea pieselor câteva ore la temperatura de 500 - 600°C, într-un mediu de amoniac, determină ca azotul în stare atomică, obținut prin disocierea amoniacului ($NH_3 = 3H + N$), să difuzeze în stratul superficial și să formeze cu ferita sau alte elemente de aliere – nitruri sau cu cementita – carbonitruri. Straturile nitrurate au în general grosimi mici, fiind însă mai dure și mai puțin fragile decât straturile cementate; de aceea nitrurarea se aplică în general sculelor de așchiere.

Structura straturilor nitrurate este formată din constituenții de bază ai oțelului respectiv și din nitruri care au o formă aciculară, de culoare întunecată.

Cianizarea și carbonitrurarea – permit îmbogățirea straturilor superficiale atât cu carbon cât și cu azot. La temperaturi înalte (800 - 900°C) predomină difuzia carbonului, iar la temperaturi joase (500 - 600°C) predomină difuzia azotului. Cianizarea constă în încălzirea și menținerea pieselor într-un amestec de săruri topite (50% NaCN, 35% BaCl₂ și 15% NaCl), foarte toxic, iar carbonitrurarea folosește un mediu gazos format din 25% amoniac și 75% gaz metan. După carbonitrurare la temperaturi înalte se aplică tratamentele termice de călire și revenire în timp ce carbonitrurarea la temperaturi joase ca și nitrurarea reprezintă un tratament final, nemaifiind necesară aplicarea unei căliri și reveniri. Structura obținută după tratamentul de carbonitrurare este în funcție de temperatura la care are loc procesul: temperatura înaltă dă structuri asemănătoare cu cele de la cementare, iar temperatura joasă dă structuri asemănătoare cu cele de la nitrurare.

Metalizarea prin difuziune – constă în introducerea, pe cale termică, în stratul superficial al oțelurilor, a unor metale (Al, Cr, Si, B, Ti, W etc.), în scopul creșterii proprietăților fizico-mecanice. Se poate executa în medii solide (feroaliaje), în medii lichide (metal topit) sau în medii gazoase (clorurile metalelor respective).

5.2. Aparatură și materiale.

Pentru realizarea lucrării se vor folosi microscopie metalografice optice cu puteri de mărire de 100:1 – 600:1 în funcție de finețea structurii. Probele metalografice sunt pregătite în prealabil. Datele privitoare la probe precum și puterile de mărire la care se execută studiul sunt indicate într-o anexă ce se va da la ora de laborator.

5.3. Mod de lucru.

Se vor cerceta la microscop probe prelucrate prin diverse tratamente termochimice.

Laborator 6

MICROSTRUCTURI ALE MATERIALELOR METALICE SINTERIZATE

6.1. Noțiuni introductive

Materialele sinterizate sunt obținute prin metalurgia pulberilor metalice.

Sub acțiunea presiunii și temperaturii, prin această tehnologie de fabricație, se pot obține semifabricate sau chiar piese finite din pulberi metalice.

Operațiunile acestei tehnologii sunt:

- a) elaborarea pulberii;
- b) dozarea pulberii;
- c) presarea pulberii în matrițe;
- d) sinterizarea;
- e) finisarea, calibrarea și tratarea termică.

a) Elaborarea pulberii

Pulberea metalică reprezintă particule de metale pure, aliaje, compuși intermediari etc, ale căror dimensiuni variază între 0,001 și 0,4 mm. Forma acestor particule poate fi: sferoidală, poliedrică, lamelară sau aciculară. Există două categorii de metode folosite la obținerea pulberilor: metode mecanice și metode fizico-chimice.

Metode mecanice:

- măcinarea în mori cu bile și vibratoare;
- măcinarea în mori cu vârtej;
- pulverizarea unui jet de lichid ce curge printr-o duză inelară cu ajutorul aerului comprimat la o presiune de 5 – 8 atmosfere;
- pulverizarea centrifuga a unui jet de lichid ce cade pe palele unui rotor de turație mare;
- pulverizarea jetului de lichid cu ajutorul unor jeturi multiple de apă, în urma căruia se obțin particule sferice;
- dezintegrarea așchiilor provenite de la așchiera oțelurilor cu mult carbon, fontă, magneziu etc.

Metode fizico-chimice:

- reducerea oxizilor de fier (magnetită, limonită, hematită, țunder) cu medii reducătoare solide (praf de cărbune);
- reducerea oxizilor de fier cu medii reducătoare gazoase (CH_4 , CO);
- descompunerea electrochimică sub formă dispersă;
- coroziunea intercrystalină.

Pulberile metalice folosite trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- compoziție chimică garantată;
- absența incluziunilor abrazive (SiO_2);
- forma particulelor diferită de cea sferică;
- fluiditate mare;
- mărimea uniformă a particulelor.

b) Dozarea pulberii

Scopul acestei operații este de a realiza pulberi cu particule de mărimi apropiate, când se folosesc metale pure sau de a realiza cantitățile necesare de pulbere din componentele unui aliaj. La aliaje dozarea se finalizează cu omogenizarea masei de pulberi, care se face prin amestecare.

c) Presarea pulberilor în matrițe

Pentru fabricarea pieselor finite sau semifabricate, pulberile metalice se presează în matrițe cu forme corespunzătoare pieselor respective, folosind presiuni cuprinse între $2 \div 10$ tf/cm². Forța limitată a utilajelor folosite (2000 tf) determină limitarea mărimii pieselor ce pot fi realizate prin această tehnologie în general, prin acest procedeu tehnologic se obțin piese de mici dimensiuni, care prezintă cât mai puține variații axiale. Produsele presate nu prezintă rezistență mecanică, ele putându-se deteriora la eforturi foarte mici.

d) Sinterizarea

Sinterizarea reprezintă prelucrarea termică aplicată produselor formate și presate în scopul îmbunătățirii caracteristicilor fizico-mecanice de rezistență. Încălzirea se face sub punctul de topire al componentului principal din amestecul de pulberi din care se execută produsul.

$$T_{sint} = \left(\frac{2}{3} - \frac{3}{4} \right) \cdot T_f \quad , [^{\circ}C]$$

Între particule și în interiorul lor, pe parcursul sinterizării au loc următoarele fenomene: reacții chimice, transformări alotropice, dilatări termice și difuzie prin care materialul dintr-o granulă pătrunde în materialul granulelor vecine, rezultând legarea acestora. Sinterizarea se poate desfășura cu sau fără aplicarea unei presiuni asupra piesei.

În urma sinterizării, piesele devin compacte, posedând proprietăți de rezistență asemănătoare materialelor turnate sau deformate.

e) Finisarea, calibrarea și tratarea termică

Uneori, piesele realizate prin metalurgia pulberilor sunt supuse la prelucrări mecanice prin așchiere (cu sau fără îndesare) pentru a fi aduse la dimensiuni exacte.

Materialele sinterizate poroase, pentru lagăre cu autoungere, după calibrare se impregnează cu lubrifiant.

Tratamentele termice finale se aplică doar pieselor sinterizate cu compactitate ridicată și constă în: călire, recoacere de cristalizare, revenire, durificare prin precipitare, tratamente termochimice.

Prin sinterizare pot fi realizate piese cu porozitate controlată, dar cu densitate diferită. În funcție de aceasta, materialele metalice sinterizate se împart în:

- materiale de mare porozitate cu compactitate de 50 % folosite la fabricarea filtrelor;
- materiale poroase pentru lagăre cu autoungere, care au o compactitate de cca. 75%;
- materiale compacte, a căror compactitate variază între 83 – 100 %, folosite pentru piese de rezistență în construcția de mașini.

În funcție de natura pulberilor, de forma lor și de gradul de compactitate, materialele sinterizate se folosesc în diverse domenii:

a) materiale cu proprietăți de frecare impuse;

- de antifricțiune: sunt materiale poroase pe bază de pulberi din Fe, Cu, Al, Fe-grafit-Cu, bronz-grafit;

- de fricțiune – fabricate pentru garnituri de frână și ambreiaje, care au un coeficient mare de frecare, rezistență mare la uzură, fiind obținute din pulberi de Fe, Cu, bronz, pulberi nemetalice din grafit, SiO₂, azbest etc.

b) materiale pentru piese de rezistență

– roți dințate, roți lanț, came, pistoane, segmenti, pârgăii, furci manșoane, ghidaje etc.

Aceste materiale trebuie să aibă o compactitate mare și o porozitate redusă. Se obțin prin presări și sinterizări succesive.

c) materiale de mare porozitate pentru filtre

– sunt materiale cu compactitate redusă, a căror porozitate redusă se realizează întrerupând procesul de sinterizare în momentul când volumul porilor reprezintă minim 30 % din volumul piesei. Porozitatea trebuie să aibă un caracter intercomunicant, deci materialul să prezinte o mare permeabilitate pentru mediul filtrat, asociată cu o bună rezistență la coroziune și rezistență mecanică ridicată. Aceste materiale se execută din pulberi metalice de bronz, Ni, oțel inoxidabil, Ag, carburi metalice, Fe și oțeluri – carbon.

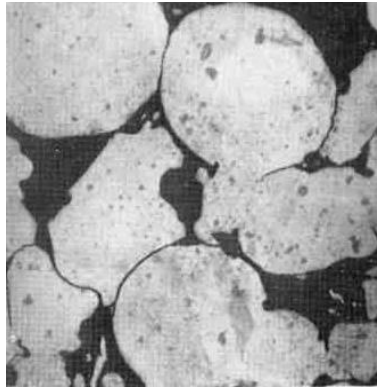


Fig. 6.1. Bronz sinterizat cu porozitate controlată

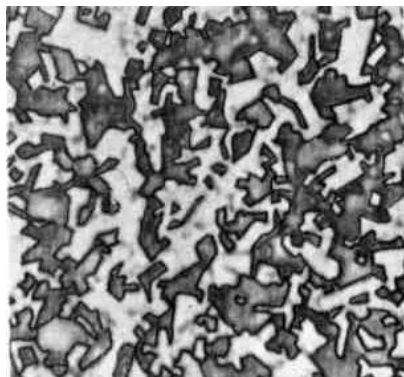


Fig. 6.2. Aliaj dur sinterizat de tip WC-TiC-TaC-Co

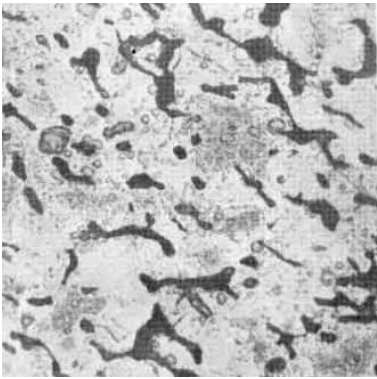


Fig. 6.3. Nichel sinterizat

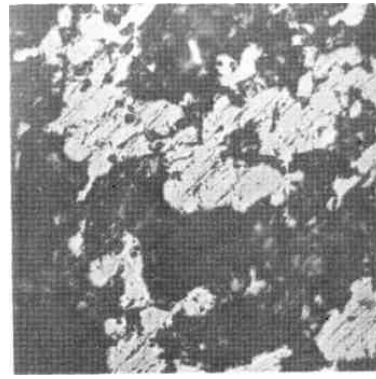


Fig. 6.4. Wolfram sinterizat

d) materiale refractare sinterizate – sunt caracterizate prin rezistență mare la oxidare la temperaturi înalte, termostabilitate și conductibilitate termică bună.

Pentru obținerea acestor materiale se folosesc pulberi din oxizi refractari policristalini, inerti din punct de vedere chimic, carburi, nitruri, siliciuri etc. Aceste materiale sunt folosite la reactoarele nucleare.

e) aliaje dure pentru scule așchietoare – sunt formate din grăunți foarte duri de carburi metalice (carburi de W, Ti, Nb, Ta, Mo) legați cu liant (Co, Ni, Fe). În timpul sinterizării, oțelul dizolvă și apoi precipită o parte din carbura de wolfram. Presarea la cald duce la obținerea de materiale sub formă de pastile, practic fără porozitate, foarte dure și rezistente la uzare. Aceste aliaje dure (metalo-ceramice și mineralo-ceramice) sunt folosite la așchiera cu viteză mare a metalelor, păstrându-și proprietățile de așchiabilitate până la 900 °C.

f) materiale magnetice sinterizate – sunt de două tipuri:

- materiale magnetice moi - miezuri magnetice masive;
- materiale magnetice tari – magneți permanenți.

Fabricarea materialelor magnetice moi se realizează folosind pulberi foarte fine de Fe, Ni, permalloy, Fe – Si – Al etc. Materialele magnetice tari au o structură eterogenă, având fazele magnetice din pulberi foarte fine, dispersate într-o masă de bază nemagnetică. Se folosesc pulberi din Fe, Fe – Ni – Al și Mn – Bi. Datorită porozității, caracteristicile magnetice ale acestor materiale sunt mai scăzute decât ale magneților obținuți prin turnare.

g) materiale pentru contacte electrice – conțin pulberi din metale bune conducătoare de căldură și electricitate și pulberi din metale sau metaloizi duri, refractari și rezistenți la uzură.

Astfel, sistemele Cu – grafit sau bronz – grafit sunt materiale din care se realizează părți de contact, iar contactele de rupere se execută din W – Cu, W – Ag, Cu – cărbuni etc.

În concluzie, se poate observa că prin tehnologia metalurgiei pulberilor pot fi realizate materiale metalice ce nu pot fi obținute pe alte căi: materiale cu componente insolubile în stare lichidă (Cu și grafit), materiale cu punct de fuziune foarte diferit etc.

6.2. Aparatură și materiale

Se vor folosi microscopae metalografice optice; probele de studiu vor fi pregătite în prealabil. Identificarea probelor, a constituenților și puterile de mărire folosite se vor indica într-o anexă.

6.3. Mod de lucru

La microscopul optic se vor studia probe metalografice din materiale sinterizate, atacate și neatacate, identificându-se atât porii cât și structura pulberilor metalice.