

# Listă de lucrări la disciplina METALURGIE FIZICĂ 1

1. Cunoașterea laboratorului, a lucrărilor și instructaj S.S.M.
2. Pregătirea probelor metalografice.
3. Analiza macroscopică a suprafețelor nepregătite.
4. Analiza macroscopică a suprafețelor pregătite.
5. Studiul procesului de cristalizare primară.
6. Constituienți metalografici în materialele metalice.
7. Microstructuri ale oțelurilor nealiate în stare de echilibru.
8. Microstructuri ale oțelurilor aliate în stare de echilibru.
9. Microstructuri ale fontelor albe, pestrițe și cenușii obișnuite.
10. Microstructuri ale fontelor maleabile, nodulare și aliate.
11. Microstructuri obținute prin turnare, deformare și sudare.
12. Structuri defectuoase în oțeluri.
13. Recuperări, completări.
14. Recuperări, completări.

## Laborator 1

### SECURITATE ȘI SĂNĂTATE ÎN MUNCĂ ÎN LABORATORUL DE METALURGIE FIZICĂ

Protecția muncii este ansamblul măsurilor de securitate, sănătate și igienă a muncii ce are ca scop asigurarea celor mai bune condiții de lucru, reducerea efortului fizic, asigurarea unor condiții speciale pentru cei ce lucrează în condiții grele și foarte grele, în vederea prevenirii accidentelor de muncă și îmbolnăvirilor profesionale.

#### *1.1. Instrucțiuni de protecția muncii cu caracter general*

Pe toată durata desfășurării activității în laborator, trebuie respectate de către toți studenții indicațiile de lucru stabilite în cadrul fiecărei lucrări de laborator.

Studenții trebuie să folosească efectiv și corect echipamentul de protecție și să folosească utilajele, aparatele, sculele și instalațiile în concordanță cu destinația lor și de asemenea, să cunoască măsurile de prim ajutor ce trebuie acordate în caz de accidentare.

Nu se va lucra la instalații și aparate ce prezintă lipsuri sau defecte de natură să pericliteze integritatea corporală sau viața celui ce lucrează sau a celor din jur.

#### *1.2. Instrucțiuni de protecția muncii specifice locului de muncă*

1.2.1. Lucrul la aparate, instalații și mașini acționate electric

Marea majoritate a aparatelor din laborator (polizoare, mașini de șlefuit, microscop, mașini de încercat, cuptoare etc.) folosesc energie electrică din rețeaua de 220 V sau 380 V.

Părțile metalice ale acestor aparate nu se află sub tensiune, însă în mod întâmplător, ele se pot afla în contact cu conductori electrici cu izolații defecte, când prin atingere prezintă pericolul de electrocutare.

De aceea este obligatorie verificarea legării la pământ a părților metalice ale aparatelor, mașinilor și instalațiilor acționate electric. Orice intervenție se va face numai în stare de repaos și după scoaterea acestora de sub tensiune.

La polizor se va lucra după verificarea:

- integrității discului abraziv (nu este permisă existența fisurilor, ciupiturilor);
- fixării corecte a discului abraziv (să nu aibă bătăi radiale sau frontale);
- fixării corecte a apărătorilor;
- distanței dintre disc și suportul de susținere a piesei ( $2 \div 5$  mm);

La lucrul la polizor, utilizatorul va folosi ochelari sau ecran de protecție și nu va sta în dreptul discului în rotație.

Mașina de șlefuit prezintă 2 discuri ce se rotesc în plan orizontal. Pentru a evita accidentele, se vor verifica înainte de începerea lucrului următoarele aspecte:

- integritatea și buna fixare a discurilor;
- buna fixare a hârtiei metalografice și a pâslei;
- hârtia metalografică și pâsla nu trebuie să prezinte găuri sau rupturi;
- probele nu trebuie să aibă muchii ascuțite;
- probele nu trebuie apăsată cu o forță prea mare pe disc;
- probele cu dimensiuni mici vor fi prinse în dispozitive speciale.

Praful abraziv foarte fin ce se desprinde de pe hârtia metalografică este dăunător pentru aparatul respirator putând provoca silicoză, de aceea șlefuirea se va desfășura în încăperi special amenajate, cu o bună ventilație. Probele scăpate din mână care pătrund între disc și corpul mașinii de șlefuit vor fi scoase numai după oprirea mașinii, cu ajutorul unui clește. În timpul lucrului mânecile hainei trebuie strânse iar părul lung legat sau acoperit pentru a preveni prinderea și antrenarea lui de către disc.

Schimbarea hârtiei metalografice sau a pâslei se va face numai după oprirea discului.

### ***Microscopul metalografic optic***

Luminarea puternică și concentrată, strălucirea unor detalii și forțarea ochiului prin privire îndelungată, solicită puternic terminațiile nervoase ale retinei ducând la îmbolnăvirea ochiului. Se recomandă folosirea binocularelor, sau, când nu este posibil, în timpul privirii în ocular cu un ochi, celălalt să nu fie închis.

## 1.2.2. Lucrul cu substanțe chimice, nocive și inflamabile

Pregătirea probelor metalografice în vederea cercetării la microscop presupune folosirea unor substanțe nocive (acizi, baze, săruri), inflamabile (acetona, benzină, alcool, etc.) și explozive (picrat de sodiu, nitroglicerina, etc.).

În laborator nu se vor păstra acizi concentrați, substanțe toxice sau inflamabile.

Folosirea acestor substanțe se va face sub supravegherea conducătorului de lucrări.

Prepararea reactivilor metalografici se va face în locuri special amenajate (nișe, locuri puternic ventilate) evitându-se formarea amestecurilor vaporizante sau explozive. Substanțele chimice se vor păstra în vase închise, cu etichete indicatoare și în locuri special amenajate. Manipularea acestora nu se va face în vase deschise, nu se determină natura lor prin mirosire, gustare sau pipăire. Atacul probelor cu reactivi chimici se va face conform indicațiilor și numai la chiuvete sau sub nișe, cu echipamentul de protecție indicat (halat, șorț, mănuși, etc.).

Atacul la cald al probelor se va face în locuri bine ventilate deoarece reactivii emană vapori vătămători. În acest caz, atacul se va face sub un exhaustor.

La lustruirea și atacul electrolitic, nerespectarea indicațiilor de lucru poate duce la explozia reactivilor. Acidul percloric în prezența unor substanțe organice este foarte exploziv. Se va folosi o densitate medie de curent electric, răcind abundant recipientul de lucru iar electroliții se vor prepara cu precauție și numai la rece.

În atmosfera de lucru a laboratorului, concentrația unor gaze nocive trebuie să fie sub limitele admise, indicate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Substanța	Concentrația admisă mg/l
Amoniac	0,02
Benzină	0,3
Arsen	0,0003
Mercur	0,00001
Plumb	0,00001
Acid sulfuric	0,0002
Acid cianhidric	0,0003
Acid clorhidric	0,01
Acid fluorhidric	0,001

Pe parcursul lucrărilor de laborator studenții vor lucra cu metale topite și cu materiale metalice aflate la temperaturi ridicate.

Materialele metalice topite se manevrează în creuzete cu clești speciali avându-se grijă să nu se răstoarne. În vederea acestui lucru căile de acces nu vor fi aglomerate sau blocate. Creuzetul cu materialul metalic topit nu se va așeza pe suporturi din lemn, material plastic, sticlă sau pe orice material care ar putea lua foc. Se vor folosi suporturi din cărămidă refractară sau plăci din azbest. Băile topite ce conțin plumb nu se vor supraîncălzi, deoarece începe fenomenul de fierbere și vaporizare ce are ca rezultat intoxicarea atmosferei de lucru. Materialele metalice solide, încălzite la temperaturi ridicate, vor fi manevrate folosind clești adecvați formei și dimensiunii acestora.

Transportul lor se va face pe distanțe cât mai scurte, cu atenție deosebită, pentru a nu-i atinge pe cei din jur.

Temperatura pieselor încălzite nu se va determina prin pipăire. Introducerea materialelor încălzite în băile de răcire se va face cu grijă evitându-se formarea stropilor fierbinți sau formarea unei flăcări în cazul folosirii unui mediu de răcire ca uleiul.

Topirea sau încălzirea materialelor metalice se va face în cuptoare electrice în perfectă stare de funcționare.

Ușa cuptorului va sta cât mai puțin timp deschisă pentru a se evita prin răcire bruscă distrugerea elementelor de încălzire, iar operatorul va sta la o distanță de min 0,5 metri de gura cuptorului.

### 1.2.3. Lucrul la pregătirea probelor metalografice

Pregătirea probelor metalografice constă din supunerea materialelor metalice unor operații cum sunt:

- prelevarea probelor – se face prin tăierea cu ajutorul discurilor abrazive, frezelor disc, fierăstrielor mecanice sau de mână;
- planarea suprafețelor – se face prin polizare, frezare, pilire;
- șlefuirea – se face manual sau mecanic;
- lustruirea – se face manual sau mecanic.

Măsurile de protecția muncii în timpul tăierii și pregătirii probelor sunt specifice locurilor de muncă respective:

- la polizor se lucrează cu ochelari sau ecran de protecție, folosind discuri abrazive subțiri, intacte, asigurând o poziție corectă și constantă a piesei față de disc, luându-se măsuri de răcire abundentă;
- la strunguri, freze și fierăstraie mecanice se va lucra cu scule în perfectă stare de funcționare; prinderea piesei se va face rigid; așchiile se vor îndepărta cu pensule și numai în timpul staționării mașinii unelte;
- la pilirea suprafețelor se va lucra numai cu pile prevăzute cu mânere bine fixate.

Șlefuirea și lustruirea se face de obicei pe mașini orizontale de șlefuit și lustruit, prevăzute cu unul, două, sau mai multe discuri ce se rotesc în plan orizontal. Pe discurile metalice se fixează cu ajutorul unor coliere hârtia sau pânza abrazivă, respectiv pâsla îmbibată în soluție apoasă ce conține micropulberi de abrazivi în suspensie.

Înainte de începerea lucrului la mașina de șlefuit și lustruit se vor verifica următoarele aspecte:

- dacă mașina are părțile metalice legate la pământ;
- dacă discurile sunt corect și bine fixate pe axele lor;
- dacă hârtia abrazivă sau pâsla sunt în bună stare și sunt bine fixate pe discuri;

În timpul lucrului poziția și ținuta operatorului trebuie să fie corecte, mânele halatului să fie bine strânse pe mână, părul lung legat sau acoperit.

Probele se apasă ușor și perpendicular pe suprafața discurilor; piesele care scapă și cad între disc și cadrul mașinii vor fi scoase după oprirea mașinii.

Oprirea discului nu va fi grăbită prin frecare cu mâna, ci se va lăsa ca discul să se oprească singur.

Hârțiile metalografice cu diverse granulații se fixează bine cu coliere și numai când mașina este oprită. După terminarea lucrului se oprește mașina, se strâng materialele folosite și se curăță masa mașinii cu o cârpă umedă.

Pentru pregătirea probelor metalografice se va ține seama și de recomandările de la paragraful 1.2.1.

La atacarea cu reactivi chimici a probelor se va ține seama de prescripțiile de la paragraful 1.2.2.

### ***1.3. Măsuri de prim ajutor***

În caz de rănire, pentru a se evita infectarea răni, salvatorul trebuie să-și dezinfecteze mâinile prin spălare cu săpun sau prin ungerea mâinilor cu tinctură de iod. Rana nu se spală cu apă, nu se acoperă cu prafuri sau unsori, nu se îndepărtează sângele încheșat și nu se curăță.

Se va aplica doar cu pansament steril, iar în lipsa acestuia, o batistă curată sau pânză și accidentatul va fi îndrumat către medic.

În cazul arsurilor nu este permisă înlăturarea materialelor lipite de rană, spargerea bășicilor formate, ungerea arsurilor cu uleiuri, alifii sau alte soluții, ci se va pansa ca orice rană până la consultul medicului.

## Laborator 2

### PREGĂTIREA PROBELOR METALOGRAFICE

#### 2.1. Considerații generale

Cercetarea materialelor metalice la microscop se realizează pe probe cu suprafețe mici, care sunt pregătite în prealabil în scopul diferențierii constituenților metalografici.

Materialele metalice sunt corpuri solide, cristaline, opace, ceea ce determină examinarea lor la microscopul optic folosind principiul reflexiei luminii. Pentru ca razele de lumină să poată fi reflectate în mod diferențiat de diferiți constituenți metalografici, suprafața de studiu a probei trebuie pregătită. Realizarea probelor în vederea studierii lor la microscopul metalografic optic constă din următoarele operații: prelevarea probelor, pregătirea suprafeței de lucru și atacul cu reactivi chimici.

Probele metalografice sunt bucăți relativ mici, cu suprafețe de  $(0,5...30) \times (30...0,5)$  mm<sup>2</sup>, special pregătite din materialele metalice ce trebuie cercetate la microscopul optic.

#### 2.2. Pregătirea probelor. Operații

**Prelevarea.** Pentru a obține informații cât mai reale despre materialul cercetat, proba prelevată trebuie să fie reprezentativă și adecvată scopului urmărit. Alegerea locului de prelevare a probei trebuie astfel făcută încât proba să cuprindă structura caracteristică a materialului metalic, să cuprindă efectele eventualelor prelucrări mecanice, termice, termochimice anterioare, defecte prezente etc.

Probele metalografice nu trebuie să aibă dimensiuni prea mari; se recomandă ca probele paralelipipedice să aibă dimensiunile 12x12x10 mm, iar cele cilindrice un diametru de 10-12 mm și o înălțime de 10-15 mm. În funcție de semifabricatele sau piesele cercetate, probele pot avea și alte dimensiuni. Probele prelevate din table subțiri, sârme, piese mici cum este cazul aliajelor dentare, sau probele ce trebuiesc studiate în margine se vor fixa într-o menghină sau se vor îngloba într-o rășină sintetică sau material ușor fuzibil.

Detașarea probelor din materialele metalice se face prin tăiere manuală sau mecanică cu fierăstrăul sau cu discul abraziv, folosindu-se mașina de frezat, raboteză, strung sau alte mașini, avându-se grijă ca prin încălzirea probei sau prin deformarea ei să nu se modifice structura inițială. De aceea, se va evita tăierea cu flacăra oxiacetilenică, pe cale electrică care produc încălzire excesivă, cu foarfeca sau cu dalta care produc deformări. Când nu există altă soluție, partea din material afectată de procedeul de detașare se va îndepărta prin frezare, strunjire, polizare etc. Materialele dure se vor tăia cu discuri abrazive, subțiri, cu răcire abundentă, iar la cele casante, probele se vor detașa prin spargere.

**Planarea.** Probele metalografice detașate se supun operației de planare a suprafeței de studiu care se execută la un polizor, strung sau mașină de frezat, avându-se în vedere ca probele să nu se încălzească, mai ales cele provenite din materiale ecruisate sau tratate termic.

**Șlefuirea** se efectuează pe hârtie metalografică, care are fixate pe una din fețe granule de abrazivi de diverse mărimi așezate în ordine descrescândă, operație executată manual printr-o mișcare rectilinie alternativă (hârtia fiind fixată pe o placă de sticlă), sau mecanic, pe mașini de șlefuit, care posedă unul sau două discuri în rotație cu o viteză de 10-15 m/s, pe care se fixează hârtia metalografică. Dacă suprafața probei a fost planată printr-o operație de așchiere de finisare, șlefuirea începe cu un abraziv de granulație mijlocie (25 sutimi de mm) sau nr. 60 (ochi pe țolul liniar al sitei prin care a fost cernut abrazivul), se continuă cu o granulație fină (16, 12, 10), foarte fină (8, 6, 4) și în final cu hârtii ce conțin micropulberi cu

granulație extrafină (M<sub>40</sub>, M<sub>28</sub>...M<sub>7</sub>). Trecerea de la o hârtie cu o anumită granulație la alta cu o granulație mai fină se face când zgârieturile rezultate din șlefuirea anterioară au dispărut, avându-se grijă ca proba să se rotească cu 90° față de poziția precedentă. Probele cu dimensiuni normale se țin direct cu mâna, iar cele cu dimensiuni mici se fixează cu cleme sau se înglobează în rășini sintetice sau în materiale moi; în timpul șlefuirii proba se apasă ușor pe hârtia abrazivă, pentru a evita încălzirea peste 50-60°C și oxidarea suprafeței.

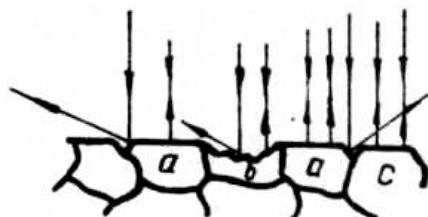
**Lustruirea** suprafeței de studiu a probei se face pentru a înlătura ultimele zgârieturi de la șlefuire și pentru a se obține o suprafață netedă cu un luciu perfect. Se execută la mașina de șlefuit pe a cărei disc, ce posedă o turație mai mare decât la șlefuire (15-20 m/s), se fixează un postav de lână (pâslă) umezit continuu cu o soluție 1:20 abraziv în suspensie (oxid de Al, oxid de Mg etc.). Pentru lustruire proba se ține cu mâna și se apasă ușor pe pâslă până ce dispar toate zgârieturile (max. 5 min.). În timpul lustruirii proba este rotită încet, pentru a se evita smulgerea incluziunilor și formarea unor noi zgârieturi. Prolungind timpul de lustruire, structura apare în relief, datorită fenomenului de rodare a constituienților structurali moi.

După lustruire proba se spală în jet de apă, îndepărtându-se cu vată urmele de abraziv, apoi cu alcool etilic și se usucă în curent de aer cald sau prin apăsare ușoară cu hârtie de filtru.

Proba astfel pregătită poate fi supusă studiului la microscop, în vederea determinării incluziunilor nemetalice (zгурă, oxizi, sulfuri, grafit etc.), eventualelor defecte (microretasuri, microfisuri etc.) sau se supune unui atac cu reactivi chimici pentru a diferenția constituienții structurali.

**Atacul cu reactivi chimici.** Reactivii chimici nu reacționează identic cu toții constituienții structurali din materialul metalic supus atacului. Unii constituienți (în special cei eterogeni) sunt corodați (dizolvați) sau colorați, în timp ce alții rămân strălucitori. În cazul când în suprafața lustruită există același tip de constituienți metalografici, reactivul chimic va coroda doar limitele dintre grăunții de același fel, deoarece la limitele grăunților se află zone eterogene (cu impurități, incluziuni, strat amorf etc.) nerezistente la acțiunea chimică a reactivilor.

La microscop limitele dintre grăunții corodați cât și cei colorați spre nuanțe închise apar întunecați deoarece razele de lumină sunt absorbite de suprafețele negre, sau sunt deviate în altă parte (după legile reflexiei) decât sistemul optic al microscopului, figura 2.1. (în cazul iluminării verticale –câmp luminos). Constituienții neatacați (strălucitori (a) reflectă razele în ocularul microscopului și se văd de culoare albă; constituienții corodați (b) sau limitele dintre grăunți pot avea suprafața lucioasă, în care caz razele sunt reflectate lateral (unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie), sau pot avea suprafața mată când razele sunt absorbite total sau parțial; în ambele cazuri, la microscop, constituienții se văd întunecați. Constituienții (c) fiind colorați absorb mai mult sau mai puțin razele de lumină, la microscop observându-se întunecați cu nuanțe mai mult sau mai puțin închise.



**Fig. 2.1. Evidențierea constituenților la microscopul optic**

Atacul se face prin imersarea probei în reactiv, sau prin udarea suprafeței cu un tampon de vată îmbibat în reactivul chimic, până ce suprafața probei din strălucitoare devine

ușor mată. Întreruperea acțiunii reactivului se face spălând proba în jet de apă, apoi în alcool etilic. Uscarea probelor se face în curent de aer cald, sau prin apăsarea ușoară a unei hârtii de filtru pe suprafața spălată. Atacul poate fi efectuat la temperatura ambiantă sau la temperatură ridicată (până la 400°C).

Reactivii metalografici se aleg în funcție de natura materialului metalic supus cercetării și în funcție de aspectele ce se urmăresc:

- pentru oțeluri și fonte obișnuite se folosește nitalul ( 2 – 4 % HNO<sub>3</sub> în alcool etilic), pentru oțeluri aliate inoxidabile se utilizează apa regală (20-30 ml HCl ;10 ml HNO<sub>3</sub> ; 30-70 ml glicerină).
- pentru aliaje dentare nobile, seminobile și nenobile pe bază de Cr-Ni sau Cr-Mo se utilizează reactivul “Apă regală” (20-30 ml HCl + 10 ml HNO<sub>3</sub> + 30-70 ml glicerină); pentru materiale dentare pe bază de Cr-Ni; Cr-Ni-Ti; Cr-Mo se folosește reactivul format din 3 părți HCl și o parte HNO<sub>3</sub> sau reactivul “Groesbeck” (4 g permanganat de potasiu + 4 g NaOH + 100 ml apă). Acești reactivi se pot folosi și pentru oțelurile inoxidabile și refractare.
- pentru aliajele dentare pe bază de cupru se folosesc reactivii: 50 ml bioxid de amoniu + 20-50 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 50 ml apă sau 30-50 ml HNO<sub>3</sub> + 70-50 ml apă sau 5 g persulfat de amoniu + 90 ml apă.
- pentru evidențierea structurii platinei se folosește 100 ml HCl + 10 ml HNO<sub>3</sub> + 50 ml apă, pentru structura argintului: 50 ml soluție de cianură de potasiu 5% + 50 ml de persulfat de amoniu 5%, iar pentru structura titanului se folosește 25 ml HNO<sub>3</sub> + 25 ml HF + 50 ml glicerină.

### **2.3. Mod de lucru**

În laborator se vor preleva probe din diverse oțeluri și fonte cu ajutorul unui disc abraziv foarte subțire, se va pregăti o suprafață a probei prin planare, șlefuire, lustruire și atac chimic și în final se va studia la microscopul metalografic desenându-se structura.

## Laborator 3 + 4

### ANALIZA MACROSCOPICĂ A MATERIALELOR METALICE

#### *1. Considerații generale*

Metalografia este o parte a metalurgiei fizice care se ocupă cu studiul macrostructurii și microstructurii materialelor metalice.

Analiza macroscopică este cea mai simplă și rapidă metodă de cercetare a metalelor și aliajelor metalice. De regulă, ea precede orice analiză structurală și constă din observarea cu ochiul liber sau la o mărire de cel mult 50 : 1 a probelor cercetate.

Analiza macroscopică se realizează direct asupra aspectului exterior al probei (materialului) fără nici un fel de pregătire prealabilă, sau pe suprafețe provenite din rupere (casuri), nepregătite sau pregătite prin șlefuire și atac cu reactivi chimici.

#### *2. Analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite*

Suprafața de studiu este reprezentată în acest caz de casură (suprafața de rupere a materialului metalic) sau cea obținută în urma prelucrărilor – solidificare, turnare etc, când pot fi puse în evidență, cu lupa sau cu ochiul liber, elementele formative ale structurii materialelor metalice: grăunții poliedrici, respectiv dendritele formate în urma solidificării.

Studierea suprafețelor de solidificare face posibilă observarea formațiunilor spațiale dendritice (arborescente) și a modului de creștere a cristalelor. Dendritele în curs de creștere pot fi observate în spațiile de retasură ale lingourilor din oțel, pe suprafața plumbului, a antimoniului etc.

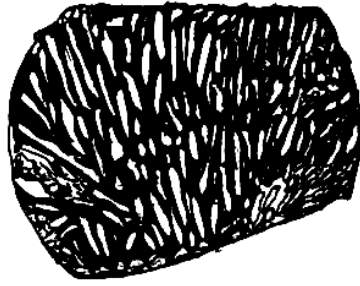
Examinarea suprafețelor de rupere cu ochiul liber sau cu lupa și aprecierea unor caracteristici cum ar fi: mărimea grăunților, culoarea, forma și aspectul rupturii, permit obținerea unor informații, suficiente uneori, despre natura materialului, cauzele care au dus la rupere (dacă ruperea nu a fost provocată intenționat pentru efectuarea cercetărilor) etc.

Mărimea grăunților dă informații cu privire la prelucrările anterioare suportate de către materialul metalic luat în studiu (laminare, forjare, turnare, tratamente termice etc.). Grăunții mari globulari sau columnari sunt obținuți întotdeauna prin turnare, în timp ce grăunții foarte mici se obțin prin deformare plastică sau tratamente termice.

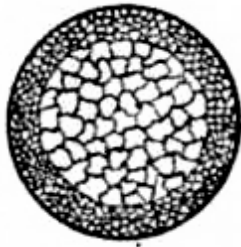
Culoarea suprafeței de rupere dă indicații asupra naturii materialului cât și asupra neomogenității sale. Culoarea albă strălucitoare cu cristalite alungite (columnare) indică o fontă albă, în timp ce culoarea cenușie închisă cu grăunți poliedrici nestrălucitori aparține unei fonte cenușii. Piesele din oțel recopt prezintă în casură o culoare cenușie închisă cu grăunți vizibili, unii strălucitori (figura 1.). Piesele călite prezintă o suprafață de rupere catifelată de culoare gri deschis, iar aspectul grăunțos dispare.

Oțelurile cementate și călite au la exterior o granulație mai fină decât în zona centrală a secțiunii, iar nuanța de cenușiu variază de la exterior spre interior (figura 2.).





*Fig.1. Proba din oțel recopt.*



*Fig.2. Proba din oțel cementat.*

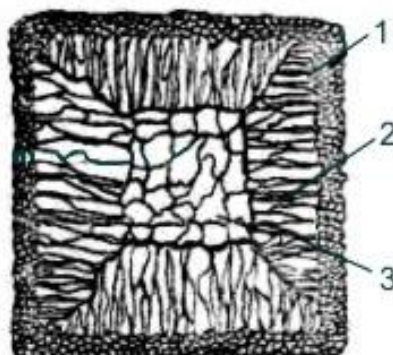


*Fig.3. Suprafață de rupere prin oboseală.*

Culoarea pieselor rupte în timpul exploatării poate indica eventuala cauză a ruperii: dacă într-o zonă culoarea este mai închisă decât în restul suprafeței, acest lucru indică prezența unei fisuri înainte de ruperea finală.

Formarea și aspectul casurii oferă informații asupra cauzelor ruperii și a tipului de solicitare care a provocat ruperea. Suprafața de rupere prin tracțiune sub formă de con și cupă în dreptul găturii indică o rupere ductilă, iar suprafața de rupere care nu prezintă deformări sub formă de gătuire indică o rupere fragilă. Ruperea materialelor prin oboseală este recunoscută după aspectul specific al suprafeței de rupere (figura 3.). Sub influența solicitărilor dinamice variabile iau naștere mici fisuri, care se propagă de la exterior spre interior și foarte rar invers, micșorând secțiunea portantă ceea ce face ca materialul metalic în final să cedeze brusc. Zona în care a avut loc propagarea treptată a fisurii are aspect neted strălucitor (datorită frecării suprafețelor aflate în contact), iar în zona de rupere finală apare aspectul grăunțos. Fisurile incipiente pot apărea de la imperfecțiuni superficiale (zgârieturi, canale, zone de trecere bruscă de la o secțiune la alta etc.) care constituie concentratori de eforturi.

Prin ruperea intercrystalină transversală a unui lingou, pe suprafața rezultată se pot evidenția cele trei zone formate la cristalizarea primară.



**Fig. 4. Zone formate la cristalizarea primară.**

*Zona 1* este zona grăunților mici, globulari și echiaxiali. În această zonă, viteza de răcire este foarte mare datorită contactului lichidului (topiturii) cu peretele rece al lingotierei, ceea ce determină o viteză de cristalizare mare și o capacitate de cristalizare mare; în plus, asperitățile și particulele de impurități de pe pereții lingotierei se constituie în germeni străini de cristalizare, determinând finisarea structurii.

*Zona 2* este zona grăunților columnari (zona de transcristalizare). Formarea grăunților alungiți pe direcția gradientului de temperatură este cauzată de viteza mare de răcire, ceea ce implică viteză de cristalizare liniară mare, în timp ce capacitatea de cristalizare este mai mică datorită absenței germenilor străini de cristalizare.

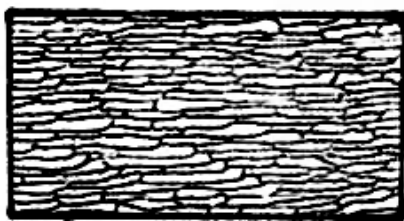
*Zona 3* este zona grăunților grosolani, globulari și echiaxiali, dar neorientați. Această zonă se găsește în centrul lingoului, unde, datorită stratului exterior solidificat, viteza de răcire este foarte mică, determinând un grad de suprarăcire mic, deci implicit capacitate de cristalizare și viteză de cristalizare mici și uniforme.

Materialul metalic care prezintă o astfel de structură neomogenă nu poate fi utilizat decât după aplicarea unui tratament termic de recoacere de fărâmițare și omogenizare a structurii.

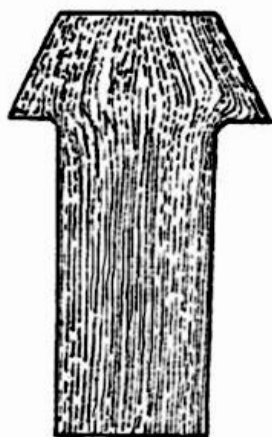
### **3. Analiza macroscopică pe suprafețe pregătite**

Această analiză are drept scop determinarea neomogenității chimice și structurale a materialelor metalice.

În urma deformării plastice a materialului metalic apare *fibrajul* care reprezintă o neomogenitate mecanică. În procesul de deformare plastică la rece ( $T_{\text{deformare}} < T_{\text{recristalizare}}$ ) cu grade mari de deformare (tragere, laminare, etc.) grăunții materialului metalic se alungesc pe direcția deformării maxime, formând așa-zisa textură a materialelor metalice ecruisate. Astfel în secțiunea longitudinală pregătită și atacată cu reactiv chimic se evidențiază fibrajul obținut în urma deformării plastice la rece. Acesta este materializat de grăunții alungiți (figura 5.).



**Fig. 5. Fibrajul obținut în urma deformării plastice la rece.**



În urma deformării plastice la cald, fibrajul care apare în secțiuni longitudinale, nu mai este materializat de forma alungită a grăunților, deoarece, datorită temperaturii de deformare plastică care depășește gradul de recristalizare, are loc recristalizarea, ceea ce face ca grăunții să devină echiaxiali. Fibrajul, în acest caz, este evidențiat prin distribuția incluziunilor în șiruri (figura 6.). În figura 6. se poate observa cum fibrajul urmărește conturul piesei. În lipsa incluziunilor nemetalice, materialul metalic deformat la cald nu prezintă aspect fibros.

**Fig. 6. Fibrajul obținut în urma deformării plastice la cald.**

*Zonele din secțiunea transversală a cordonului de sudură*, sunt puse în evidență prin pregătirea și atacul chimic adecvat (de exemplu, pentru oțeluri se folosește reactiv Adler).

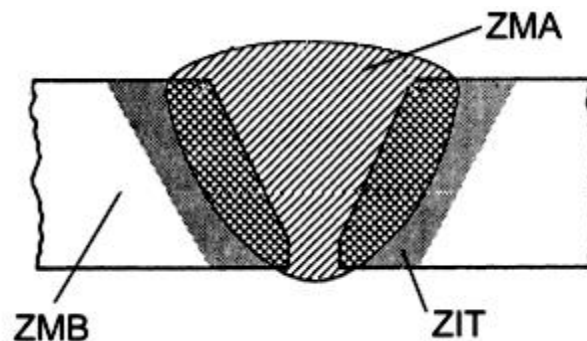
Astfel, prin cercetarea macroscopică a secțiunii transversale a îmbinărilor sudate se evidențiază zonele:

- zona materialului de bază (Z.M.B.);
- zona influențată termic (Z.I.T.);
- zona materialului de adaos (Z.M.A.).

De asemeni se mai pot evidenția: forma cusăturii (în X, V, U, etc.), straturi diferite de sudură, zona de transcristalizare (cristale alungite), defecte (neumpleri, fisuri, pori etc.). Zona materialului de bază, fiind îndeajuns de îndepărtată, operația de sudare nu induce nici o modificare fizico – chimică, dar zona influențată termic reprezintă o zonă în care datorită temperaturii crescute din timpul procesului de sudare, în materialul de bază au apărut modificări structurale și de proprietăți.

Cordonul de sudură (cusătura) este zona topită și solidificată în care efectul termic maxim a permis topirea marginilor pieselor ce trebuiau sudate, cu sau fără material de adaos, sau numai a materialului de adaos.

Profilul și dimensiunile acestor zone variază în cazul aceluiași material metalic, funcție de tipul sudării și de tratamentele termice aplicate anterior, posterior sau în timpul sudării.



**Fig. 7. Zonele îmbinării sudate la sudura electrică clasică cu material de adaos.**

*Neomogenitatea chimică* apărută în urma turnării, deformării plastice sau a tratamentelor termochimice poate fi de asemenea pusă în evidență prin cercetare macroscopică.



**Fig. 8. Structura dendritică primară a unui aliaj Al – Si.**

Astfel, structura dendritică poate fi reliefată prin atacul chimic adecvat (reactiv Oberhoffer pentru oțeluri și Keller pentru aliaje de aluminiu). În figura 8. este prezentată structura dendritică primară a unui aliaj Al – Si (ATN Si 12) în care se observă neomogenitatea chimică apărută în urma turnării.

De asemenea, prin atacul chimic al unei suprafețe transversale dintr-o piesă tratată termochimic prin carburare, se observă stratul de la exterior îmbogățit în carbon (are o culoare mai închisă), putându-se astfel aprecia macroscopic adâncimea de difuzie a carbonului în stratul superficial al piesei.

Pe parcursul examinării macroscopice a suprafețelor pregătite și atacate chimic ale materialelor metalice, pot fi depistate unele defecte cum ar fi: incluziuni de zgură, suprapuneri de material, pori, sufluri, fisuri, etc.

#### ***4. Pregătirea probelor pentru analiză macroscopică***

În vederea analizei macroscopice trebuie parcurse o serie de operații: alegerea locului de prelevare și prelevarea probei, planarea, șlefuirea, lustruirea și, eventual, atacul cu reactivi chimici.

Prelevarea probei trebuie făcută astfel încât proba să fie reprezentativă și adecvată scopului urmărit.

Reactivii chimici folosiți sunt în general acizi sau soluții de acizi în apă sau alcool, atacul cu reactivi efectuându-se la rece sau la cald. Acțiunea reactivului se stopează prin spălarea probei în jet de apă, apoi alcool. Suprafața de studiu se usucă în curent de aer cald sau prin tamponare cu hârtie de filtru.

#### ***5. Aparatură, materiale și mod de lucru***

Analiza macroscopică se va efectua cu ochiul liber și cu lupa. Ca materiale se vor folosi oțeluri, fonte și aliaje neferoase cu suprafețe de rupere, suprafețe rezultate din prelucrare și secțiuni pregătite prin șlefuire și atac cu reactivi chimici.

## Laborator 5

### STUDIUL PROCESULUI DE CRISTALIZARE PRIMARĂ

#### 5.1. Noțiuni introductive

Materialele metalice sunt corpuri cristaline care se deosebesc de corpurile amorfe prin proprietățile materiei cristaline:

- proprietatea de anizotropie (proprietăți diferite pe direcții diferite);
- proprietatea de a aluneca pe plane cu densitate maximă de atomi sub acțiunea forțelor exterioare (clivajul);
- proprietatea cristalelor de a se naște din topitură și de a coexista la o anumită temperatură, cu starea lichidă.

Cristalizarea primară este fenomenul de naștere a cristalelor și creștere a lor până la forma și dimensiunile finale. Fenomenul de cristalizare din baia metalică începe la coborârea temperaturii acesteia, când condițiile termodinamice din interiorul băii metalice permit formarea unor aranjamente nestabile de atomi cu o energie mai mică decât restul băii (centre de cristalizare). Coborând temperatura, centrele de cristalizare devin stabile, apropiindu-se de forma stării solide și se numesc germeni de cristalizare. Acești germeni cresc prin depunerea de substanță cristalină devenind dendrite și în cele din urmă cristalite (grăunți cristalini cu formă exterioară neregulată). Forma și mărimea grăunților cristalini obținuți în urma cristalizării depind într-o foarte mare măsură de condițiile în care are loc răcirea băii lichide, cât și de cantitatea de material metalic supus cristalizării.

Cristalizarea este influențată de factori interni și de factori externi. Factorii interni sunt: viteza de cristalizare ( $V_{cr}$ ), definită ca viteza cu care crește liniar cristalul în unitatea de timp (mm/s), capacitatea de cristalizare ( $Q_{cr}$ ) exprimată în numărul de germeni de cristalizare ( $N_c$ )

ce se nasc în unitatea de timp și unitatea de volum ( $\frac{N_c}{\beta mm^3}$ ). Ca factori externi deosebim:

temperatura de supraîncălzire a băii metalice, temperatura de turnare, impuritățile existente în baie, viteza de răcire, felul turnării, natura formei în care are loc turnarea etc.

Nu există o teorie încheată a fenomenului de cristalizare, datorită multitudinii factorilor care influențează acest fenomen. G. Tammann (1910) explică fenomenul de cristalizare primară luând în considerare doar factorii interni ( $V_{cr}$  și  $Q_{cr}$ ) și determină variația structurii (forma și dimensiunile grăunților) în funcție de variația celor doi factori, figura 1.

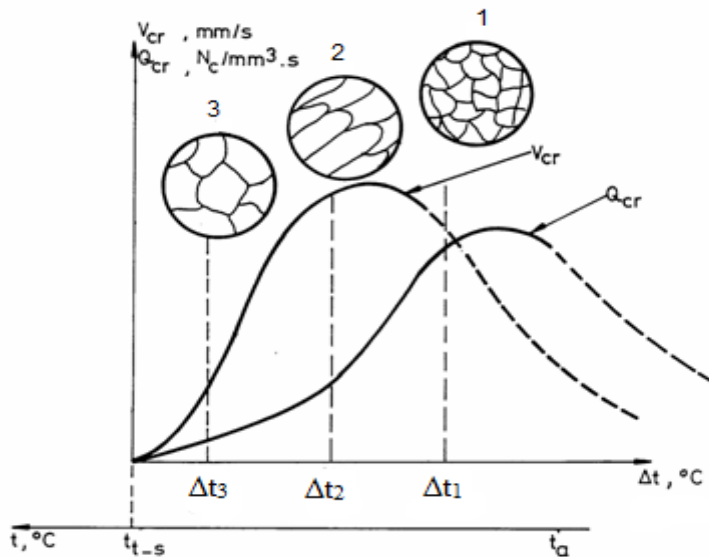


Fig. 1. Fenomenul de cristalizare primară în funcție de viteza și de capacitatea de cristalizare

Odată cu creșterea vitezei de răcire, suprarăcirea (fenomenul de menținere a stării inițiale lichide sub punctul critic de transformare) crește, ceea ce determină ca viteza de cristalizare și capacitatea de cristalizare să crească până la anumite valori, după care scad.

Curba teoretică de răcire a unui metal, compus chimic, sau eutectic pur, care nu prezintă transformări secundare este dată în figura 2.

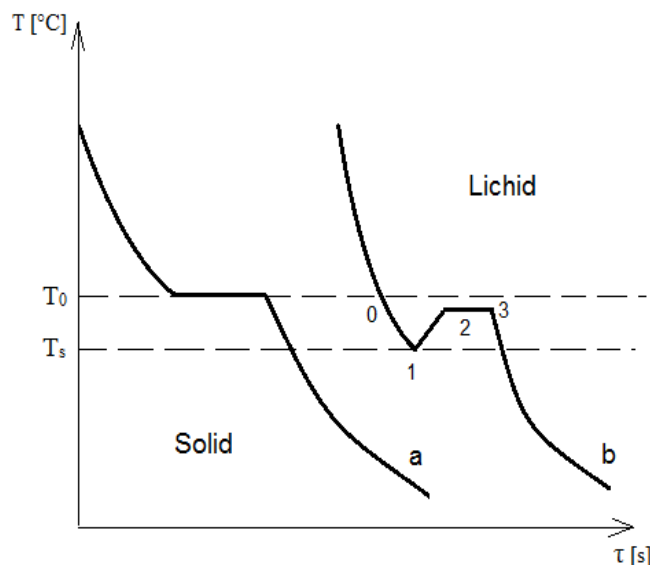


Fig. 2. Curba de răcire a unui metal

De fapt, figura reprezintă două curbe exponențiale racordate printr-un palier datorat cedării căldurii latente de transformare ce marchează punctul critic de transformare. Curba (a) reprezintă curba teoretică de răcire. În realitate răcirea se desfășoară după curba (b). Atunci când viteza de răcire este mai mare, se produce fenomenul de suprarăcire (curba b, zona 0-1) urmat de fenomenul de recalescență (creșterea temperaturii de la temperatura de suprarăcire  $T_s$  la temperatura punctului critic de transformare  $T_0$ , zona 1-2). Creșterea temperaturii de la  $T_s$  la  $T_0$  sau sub  $T_0$  are drept cauză faptul că la temperatura de suprarăcire  $T_s$  ia naștere o cantitate foarte mare de germeni de cristalizare, care prin cedarea bruscă a căldurii latente de transformare determină această creștere de temperatură.

Punctul 2 nu se află niciodată deasupra lui  $T_0$  deoarece în acest vas germenii cristalizați se topesc și absorb căldura latentă, păstrând astfel echilibru termic.

La cristalizarea cantităților mici de material metalic, factorii interni sunt aproximativ aceeași în orice punct din interiorul băii lichide, ceea ce determină obținerea unei structuri echiaxiale, uniforme și omogene. La cristalizarea cantităților mari de material metalic (lingouri, piese masive etc.) factorii interni ( $V_{cr}$  și  $Q_{cr}$ ) variază în funcție de locul unde se produce cristalizarea, obținându-se în final o structură eterogenă ca în figura 3. Zonele de structură 1, 2, 3 corespund unor suprarăcirii diferite.

1. Zona grăunților mici, globulari și echiaxiali. În această zonă exterioară viteza de răcire este foarte mare datorită contactului lichidului cu peretele rece al lingotierei, ceea ce determină o viteză de cristalizare mare și o capacitate de cristalizare mare, mai ales că asperitățile și particulele de impurități de pe peretele lingotierei constituie germeni străini de cristalizare.
2. Zona grăunților columnari (zona de transcristalizare). Formarea grăunților alungiți pe direcția gradientului de temperatură se datorează faptului că în această zonă viteza de răcire este mare, determinând viteză de cristalizare liniară mare, în timp ce capacitatea de cristalizare este mai mică, lipsind germenii străini de cristalizare.
3. Zona grăunților grosolani, globulari și echiaxiali, dar neorientați, care se află în centrul lingoului unde datorită stratului exterior solidificat, viteza de răcire este foarte mică, determinând un grad de suprarăcire mic, deci implicit capacitatea de cristalizare și viteza de cristalizare sunt mici și uniforme.

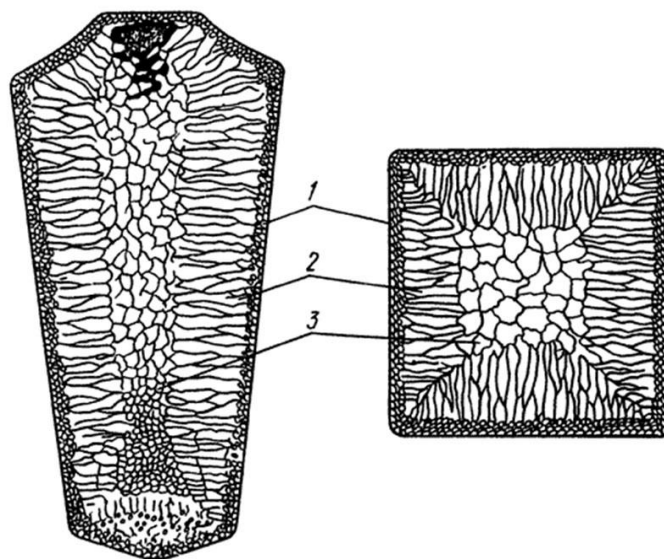


Fig. 3. Structura eterogenă a unui lingou de oțel

Materialul metalic care posedă o astfel de structură neomogenă, nu poate fi utilizat, impunându-se omogenizarea structurii printr-o recoacere de fărâmițare și omogenizare.

Procesul de cristalizare primară a unei cantități mari de material metalic poate fi limitat în linii generale prin evaporarea apei din soluția unei sări a unui metal (azotat de plumb) și cristalizarea sării. Picătura din această soluție așezată pe o lamelă de sticlă se dispune sub forma unei calote sferice a cărei grosime crește de la exterior la interior. Datorită neuniformității grosimii picăturii, evaporarea apei din soluție se face cu viteză diferită. La exterior, unde grosimea picăturii e mică și suprafața mare, evaporarea se va produce cu viteză mare, iar grăunții cristalizați vor fi mici, echiaxiali și globulari formând o zonă cu grăunți mici. În zona unde între grosimile picăturii în două puncte vecine există o diferență sensibilă, evaporarea se va face neuniform de la un punct la altul, iar cristalele obținute vor fi columnare. În zona centrală unde grosimea picăturii este maximă și aproximativ egală, în

toate punctele evaporarea se va face cu viteză mică, uniformă iar creșterea cristalelor se va face cu o viteză egală în toate direcțiile, obținându-se în final grăunți mari, echiaxiali și neorientați.

### **5.2. Aparatură și materiale**

Microscop biologic cu puterea de mărire 100:1, lamele de sticlă, soluție saturată de azotat de plumb.

### **5.3. Mod de lucru**

Se toarnă o picătură de soluție saturată de azotat de plumb, gata pregătită, pe o lamelă de sticlă și se așază sub obiectivul unui microscop biologic (cu transparență). Se va urmări prin ocular, prin deplasarea treptată a lamelei, fenomenul de cristalizare și formare a celor 3 zone distincte, care se desfașoară de la exteriorul picăturii spre centrul acesteia. În final se va desena structura rezultată în urma evaporării.



## Laborator 6

### CONSTITUENȚI METALOGRAFICI ÎN MATERIALELE METALICE

#### 6.1. Noțiuni introductive

Constituentul metalografic este elementul formativ al structurii metalice, fiind format din una sau mai multe faze. Acestea pot fi distinse la microscopul metalografic ca formațiuni de sine stătătoare. Constituenții metalografici sunt cei care formează structura internă a materialelor metalice vizibilă la microscopul metalografic.

Componentele sunt elementele chimice care participă la formarea aliajelor; condiția principală fiind participarea a cel puțin două elemente, dintre care unul trebuie să fie metal.

Totalitatea aliajelor care se formează din aceleași componente în diverse concentrații și la diverse temperaturi formează un sistem termodinamic de aliaje metalice. În aliajele metalice se găsesc foarte rar componentele în stare pură, deoarece acestea reacționează între ele, rezultând la răcirea ulterioară grăunți cristalini sub formă de constituenți structurali.

Faza este o parte omogenă dintr-un sistem termodinamic de aliaje, fiind caracterizată prin aceeași compoziție, structură și proprietăți în orice loc din domeniul pe care îl ocupă în sistem. Ea este izolată de restul sistemului prin suprafețe netede, unde proprietățile variază brusc.

Constituenții metalografici pot fi stabili - când corespund diagramei de echilibru a sistemului (obținuți la răcirii cu viteze foarte mici) sau instabili (metastabili) - când nu corespund acestor diagrame (sunt obținuți cu viteze de răcire mari), în funcție de factorii termodinamici de echilibru ai unui sistem de aliaje și de legea fazelor Gibbs. Acești factori sunt reprezentați de temperatură, presiune și concentrație, ei putând condiționa natura, numărul și cantitatea fazelor formate între componentele sistemului la echilibru.

Natura constituenților metalografici depinde de numărul de faze ce le conțin.

Aceștia pot fi omogeni (monofazici): elementele pure, soluții solide, compuși chimici, faze Kurnakov sau eterogeni (polifazici): amestecuri mecanice - eutectice și eutectoizi.

#### 6.2. Structura și forma constituenților metalografici

##### 6.2.1. Constituenți monofazici (omogeni)

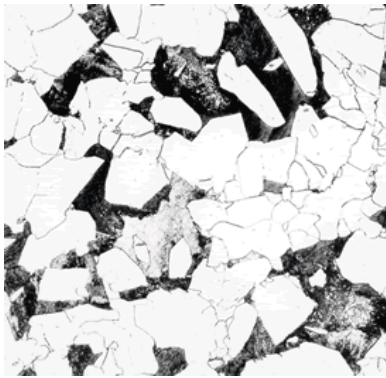
**Metalele pure** sunt corpuri cristaline, alcătuite dintr-un singur fel de atomi. Cristalizarea are loc la început cu formarea dendritelor, care în creștere se incomodează reciproc, rezultând în final cristalite ce au marginile neregulate.

Din acest motiv, metalele, în urma solidificării, au o structură formată din grăunți cristalini cu formă neregulată.

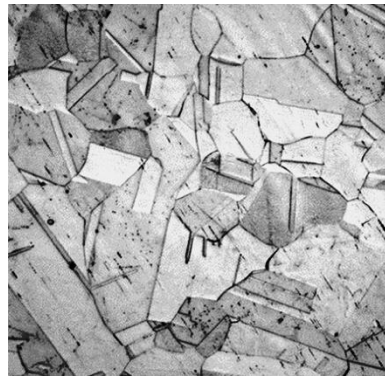
Pentru a putea observa la microscop structura metalelor pure, se realizează un atac chimic, ce corodează limitele dintre grăunți (fiind zone de maximă eterogenitate) diferențiindu-i pe unii de ceilalți.

Astfel, structura metalului pur, în stare turnată, apare sub formă poliedrică, după cum se poate observa în figura 6.1.

Dacă atacul chimic este mai intens, suprafețele grăunților vor fi corodate diferit, în funcție de orientarea cristalografică a grăunților cu planul de secțiune al probei, fapt datorat anizotropiei corpurilor cristaline (figura 6.2.).



**Fig. 6.1. Structura cuprului turnat**



**Fig. 6.2. Structura cuprului deformat plastic la rece. Grăunți maclați**

În cazul în care unele metalele sunt supuse la deformare plastică urmată de tratament termic de recoacere, acestea vor prezenta în structură cristalele maclate (figura 6.2.). Aceste macle se formează sub acțiunea tensiunilor interne care determină deplasarea unei părți din cristal simetric față de cealaltă parte, având forma unor benzi în interiorul cristalului, mărginite de linii drepte.

La microscop, maclele apar, în general, în nuanțe diferite de restul grăuntelui, deoarece deplasarea ce a avut loc, a determinat schimbarea orientării planelor cristalografice, acestea comportându-se diferit la acțiunea reactivului chimic.

Unele metale pure apar ca faze distincte și în cadrul aliajelor metalice (Cu-Pb, aliaje de tip amestec mecanic, la concentrații mari ale unui component).

**Soluțiile solide** reprezintă amestecuri intime la nivelul atomilor, a cel puțin două componente, obținute prin dizolvarea reciprocă a acestora, formând în stare solidă o singură fază.

Solubilitatea în stare solidă poate fi:

- solubilitate totală, când se manifestă în tot domeniul de concentrație a componentelor și când se formează o serie continuă de soluții solide;
- solubilitate limitată, când se manifestă numai în anumite domenii.

După modul de situare a atomilor solvitului în rețeaua cristalină a solventului, soluțiile solide pot fi:

a) soluții solide de substituție (înlocuire), când atomii unui component înlocuiesc atomii celuilalt component. Această înlocuire se poate produce la întâmplare (rezultând soluții solide de substituție neordonate) sau într-o anumită ordine (rezultând soluții solide ordonate, care se apropie ca structură de compusul chimic și când se numesc faze Kurnakov).

Pentru a forma soluții de substituție, cele două componente trebuie să îndeplinească unele condiții:

- să aibă raza atomică apropiată (să difere cu cel mult 14%);
- să aibă aceeași valență (dacă valența celor două componente diferă, atunci solubilitatea scade) ;
- să posede aceeași rețea cristalină;
- să fie vecine în tabelul lui Mendeleev.

b) soluții solide de interstiție (pătrundere), care se formează când atomii unui component pătrund în interstițiile rețelei celuilalt component.

Acest tip de soluții solide se pot forma dacă razele atomilor solubilului sunt mult diferite de razele atomilor solventului (cel puțin 59%).

Dacă atomii solubilului ocupă un număr maxim de interstiții din rețeaua cristalină a solventului se obține o *soluție solidă saturată*, iar dacă se ocupă doar un număr mic de spații interstițiale se obține o *soluție solidă* de substituție *nesaturată*.

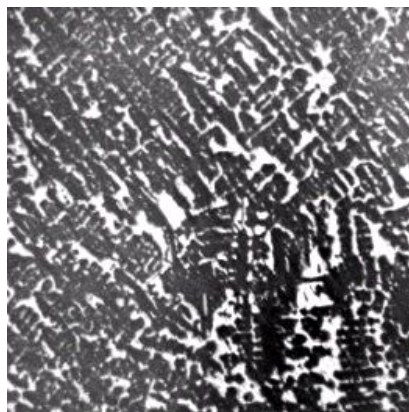
La soluțiile solide, ca și în cazul metalelor pure, apare fenomenul de anizotropie, care determină colorarea sau corodarea selectivă a suprafețelor grăunților la un atac mai intens. De asemenea, apare și fenomenul de maclare în urma deformării plastice (c.v.c.) sau a unei recoaceri (c.f.c.).

Pe diagrama de echilibru, soluțiile solide se găsesc între sau sub linii curbe înclinate. Soluțiile solide se solidifică și se topesc într-un interval de temperaturi în care cristalele solide coexistă cu soluția lichidă. La microscop, soluția solidă obținută după solidificare, poate prezenta două forme, în funcție de viteza de solidificare:

- la o răcire lentă, când are loc fenomenul de difuzie, se obțin grăunți poligonali (figura 6.3.- alamă CuZn10);
- la o răcire mai rapidă, când fenomenul de difuzie nu se mai produce, apare sub formă dendritică, cu o puternică segregatie intercristalină (figura 6.4. – bronz CuSn10).



**Fig. 6.3. Aliaj Cu-Zn – Alamă deformată la rece. Grăunți poliedrici..**



**Fig.6.4. Aliaj Cu-Sn – Bronz turnat. Structură dendritică**

**Compuși chimici** sunt constituenți metalografici monofazici, care se formează atunci când un component este puternic electronegativ, iar altul puternic electropozitiv. Ca urmare, aceștia se atrag mult între ei și formează molecule în care atomii se găsesc într-un anumit raport cantitativ (Am Bn).

Pot rezulta însă și unii compuși intermetalici cu rețea cristalină caracteristică diferită de rețelele compușilor chimici (metale, metaloizi), în cazul în care la formarea compusului nu este respectată legea valențelor și nici legea proporțiilor definite și multiple între cei doi componenți.

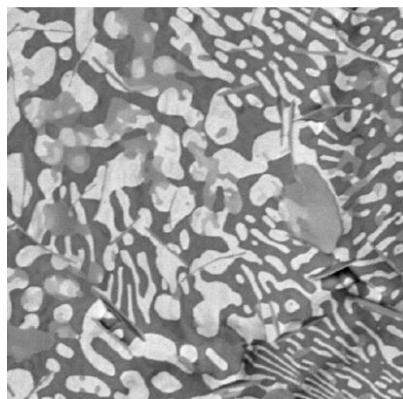
Între compușii intermetalici și soluțiile solide se află constituenți metalografici monofazici intermediari care au caracteristici ce aparțin atât compușilor chimici cât și soluțiilor solide: soluții solide pe bază de compuși chimici, soluții solide ordonate, compuși electronici (intermetalici) și faze de pătrundere. Pe diagramele de echilibru, compușii chimici sau intermetalici se află în dreptul unui maxim al curbei lichidus, ei având un punct fix de solidificare.

La microscop, compușii chimici și intermetalici se prezintă sub forme caracteristice: aciculare, lamelare, poligonale (figura 6.5. – aliaje antifricțiune Y Sn 83 - Babbitt). Ei mai pot fi observați și sub alte forme geometrice bine conturate (sferice, ovale etc) – figura 6.6. (cementita primară în fontele albe), de culoare deschisă, fiind greu atacați de reactivii chimici.

În structura unui aliaj antifricțiune (figura 6.5. - Cu-Sn-Sb) plăcile poligonale albe reprezintă compusul Sn Sb, iar cristalele strălucitoare reprezintă compusul  $Cu_3Sn$ .



**Fig. 6.5. Aliaj antifricțiune Y Sn 83. Compuși chimici poligonali și aciculari.**



**Fig. 6.6. Compus chimic – cementită primară în fonta albă cu 6,67%C.**

Compușii chimici și intermetalici sunt admiși în cantități limitate în aliaje, deoarece sunt constituenți metalografici foarte duri și fragili. Sub forme adecvate, uniform distribuiți în aliajele metalice, imprimă acestora o duritate mare, rezistență mare la uzură, păstrând în același timp și o tenacitate bună.

### 6.2.2. *Constituenți polifazici* (eterogeni)

**Amestecurile mecanice** se formează atunci când atomii de același fel (ai unui component) se atrag mai mult între ei decât cu atomii celuilalt component și există tendința de a se grupa zonal, dând segregării intercrystaline.

Amestecul mecanic reprezintă un sistem eterogen format din două sau mai multe faze care pot fi separate mecanic (cel puțin teoretic) sau vizual la microscopul metalografic optic.

Are punct fix de topire și solidificare, totdeauna mai mic decât punctele critice respective ale componentelor, comportându-se identic cu un metal pur sau cu un compus chimic. Pe diagramele de echilibru, amestecul mecanic se află în zonele cu transformări invariante: linii drepte orizontale unde variația  $V = C + p - F = 0$ , iar  $C =$  numărul de componente,  $p =$  numărul de factori de echilibru – presiunea și temperatura,  $F =$  numărul de faze.

Amestecul mecanic, care este un agregat cristalin, poate fi format din: - amestecul componentelor sistemului (de ex. Pb-Sb);

- amestecul unor soluții solide diferite (de ex. Pb-Sn);

- amestecul unui compus chimic și al unei soluții solide.

De exemplu, în aliajele Fe-C:

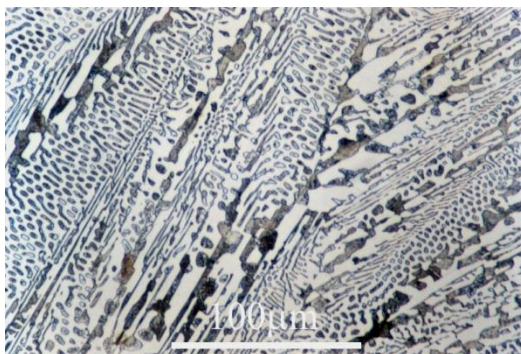
Ledeburita = Perlită + Cementită, unde

Perlită = Ferită + Cementită

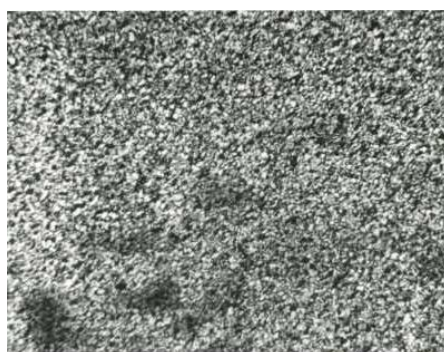
(amestec mecanic = soluție solidă + compus chimic)

Dacă amestecul mecanic se obține din descompunerea unor soluții lichide (transformare primară) se numește **eutectic** (lichid ↔ ledeburită, în fontele albe, figura 6.7.), iar dacă se obține din descompunerea totală a unei soluții solide (transformare secundară) se numește **eutectoid** (austenită ↔ perlită, în oțeluri, figura 6.8.).

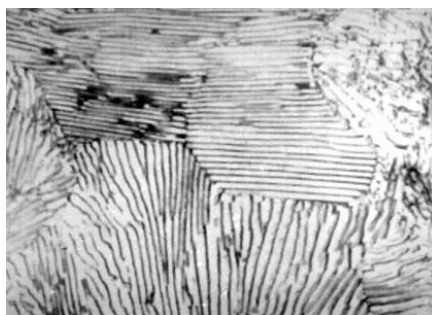
Eutectoidul este format din cristalite cu dimensiuni mai mici, distribuite uniform, imprimându-i aliajului caracteristici mecanice superioare față de eutectic.



*Fig. 6.7. Ledeburita în fonte albe cu 4,3%C (perlită + cementită)*



*Fig. 6.8.a. Perlită globulară în oțelul eutectoid OSC 8*



*Fig. 6.8.b. Perlită lamelară în oțelul eutectoid OSC 8*

La microscop, la puteri de mărire obișnuită, eutectoidul apare sub formă de insule închise la culoare, figura 6.8.a, iar la puteri mai mari de mărire sub formă lamelară, figura 6.8.b, (lamele albe de  $Ce_{II}$  alternând cu lamele negre de ferită) sau sub formă globulară (în urma recoacerii de globulizare) când este mai puțin dur, în timp ce eutecticul (ledeburita) este reliefat sub forma unor zone cu puncte negre (perlita) pe un fond alb strălucitor (cementită primară), figura 6.8.

### **6.3. Aparatură, materiale și mod de lucru**

Pentru desfășurarea lucrării se vor folosi microscopie metalografice optice cu puteri măritoare alese în funcție de structura studiată.

Se vor folosi probe metalografice pregătite în prealabil, într-o anexă fiind precizate probele studiate, materialul din care sunt confecționate acestea, reactivul de atac, constituenții urmăriți, puterea măritoare.

Pe probele pregătite și atacate se vor identifica constituenții metalografici: metale pure, soluții solide, compuși chimici și amestecuri mecanice ( eutectice și eutectoizi).

Se vor fixa probele metalografice pe microscopul optic, se vor căuta zonele cele mai caracteristice de pe suprafața lor, se vor identifica după formă, culoare și distribuție constituenții metalografici prezenți și se vor reproduce grafic (prin desenare, în cercuri cu diametrul de 40 – 50 mm) microstructurile probelor de cercetat, indicându-se cu ajutorul săgeților constituenții identificați.

## Laborator 7

### MICROSTRUCTURI ALE OȚELURILOR NEALIAȚE ÎN STARE DE ECHILIBRU

#### 7.1. Noțiuni introductive

Prin definiție, oțelurile nealiate sunt aliaje ale fierului cu carbonul, care conțin un procent de carbon până la 2,11 %C și o serie de elemente însoțitoare (impurități nereale) – Mn, Si, S, P, O, H. În oțeluri, carbonul poate exista fie dizolvat, formând soluții, fie legat chimic în compusul numit cementită ( $Fe_3C$ ). În ceea ce privește fierul, acesta poate exista în cele două stări alotropice ale sale:  $Fe\alpha$  și  $Fe\gamma$ , în funcție de temperatură. În cazul oțelurilor aliate cu siliciu, carbonul poate exista și în stare liberă, sub forma carbonului grafit, cristalizat în sistemul hexagonal compact. Pentru a studia oțelurile carbon, folosim diagrama de echilibru Fe-C, prezentată în figura 7.1., din care putem observa că la echilibru în oțeluri putem distinge 4 faze: soluția lichidă, austenita, ferita alfa, delta, cementita și un constituenț bifazic - perlita.

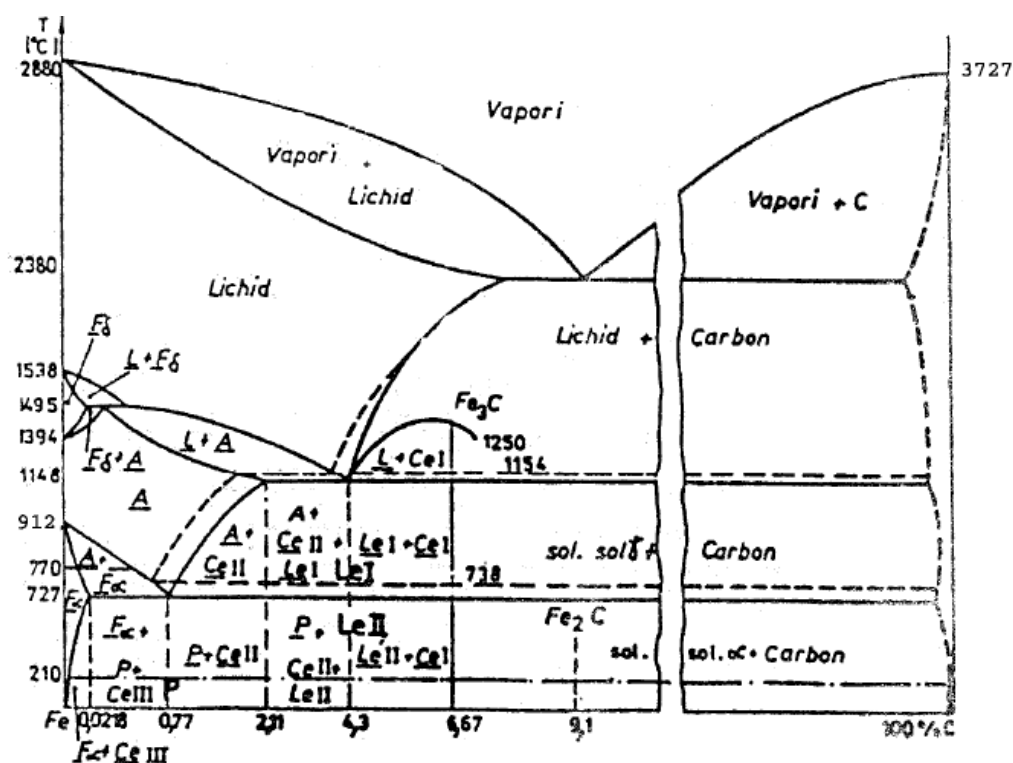


Fig 7.1. Diagrama totală de echilibru termodinamic a sistemului Fe-C

**1. Soluția Lichidă (L)** – este un amestec intim de atomi ai fierului în stare lichidă și carbonului. Conform diagramei Fe-C din figura 8.1 soluția lichidă se află peste linia lichidus ABCD și între linia lichidus și solidus AHJECF pe lângă alte faze:  $F\delta$ , A,  $Ce_I$ .

- Ferita  $\delta$  este o soluție solidă a carbonului dizolvat în Fe delta. Conform diagramei se formează prin transformare primară din lichid după linia AB fiind cristalizată în cub cu volum centrat. Este stabilă peste temperatura de  $1400^{\circ}\text{C}$  și poate dizolva o cantitate maximă de  $0,1\% \text{C}$ .

**2. Austenita (A)** – este soluția solidă a carbonului în fierul gamma. Se formează prin transformarea primară a soluției lichide după linia BC, din transformare peritectică după linia HJB sau prin transformare secundară a feritei delta după liniile NH, NJ. Cristalizează în sistemul cub cu fețe centrate și conform diagramei se află în stare solidă peste temperatura de  $723^{\circ}\text{C}$ . În cazul oțelurilor aliate cu elemente gamagene cum ar fi cele aliate cu Ni sau Mn, austenita se poate afla în echilibru și în temperatura ordinară. Austenita se deformează plastic foarte ușor deoarece, având un grad de compactitate mare (mai mulți atomi împreună) dispune de un număr mare de plane de alunecare. Văzută la microscop, austenita apare sub forma unor grăunți poligonali de culoare deschisă, unii dintre ei fiind maclați.

**3. Ferita alfa (F $\alpha$ )** – este soluția solidă a carbonului dizolvat în fier alfa, fiind cristalizat în sistemul cubic cu volum centrat. Se constată că ferita alfa și ferita delta reprezintă una și aceeași fază. În stare de echilibru, atomul de fier din centrul celulei de ferită determină dizolvarea unei cantități foarte mici de carbon (la  $20^{\circ}\text{C}$  poate fi dizolvat doar un procent de  $0,002\% \text{C}$ ). În oțelurile hipereutectoide, ferita alfa se găsește numai legată în perlită (care este un amestec mecanic). În oțelurile hipoeutectoide, ferita alfa se află în stare liberă sau legată cu cementita în eutectoid – perlita. Ferita alfa liberă apare la microscop de culoare albă – strălucitoare, sub formă poligonală, predominând în oțelurile cu până la  $0,4\% \text{C}$ , după care ferita va forma o rețea grosolană și sinoasă, în cazul oțelurilor cu  $0,4 - 0,6\% \text{C}$ . În cazurile oțelurilor cu  $0,6 - 0,7\% \text{C}$ , rețeaua de ferită devine tot mai fină până la dispariția acesteia, în cazul oțelurilor cu  $0,7 - 0,8\% \text{C}$ .

Dacă ferita alfa este supusă unui atac prelungit cu nital, aceasta va căpăta nuanțe închise. Sub temperatura de  $770^{\circ}\text{C}$ , ferita alfa este magnetică și are proprietăți de rezistență scăzute ( $R = 30 \text{ daN/mm}^2$ ,  $\text{HB} = 80 \text{ daN/mm}^2$ ). Deoarece ferita alfa este moale, ea va conferi oțelurilor plasticitate și tenacitate ridicată. Din diagrama din figura 8.1 se observă că ferita alfa provine din descompunerea totală a austenitei după linia la GOSK, deci din transformare secundară.

**4. Cementita (Ce)** – este compusul chimic format între fier și carbon, corespunzând formulei  $\text{Fe}_3\text{C}$ , având un procent de  $6,67\% \text{C}$ . Cementita, în oțelurile hipereutectoide, se obține din descompunerea totală a austenitei după linia SE, fiind numită cementită secundară ( $\text{Ce}_{II}$ ). Aceasta apare la microscop sub forma unor rețele albe foarte subțiri sau sub forma unor ace lungi de culoare albă – strălucitoare fiind foarte rezistentă la acțiunea reactivilor chimici cum ar fi nitalul și picralul. Cementita în oțelurile hipoeutectoide mai rezultă din descompunerea parțială a feritei alfa după linia PQ, aceasta fiind numită cementită terțiară ( $\text{Ce}_{III}$ ). Aceasta se află la limita grăunților de ferită sub forma unor insulițe mici, globulare, astfel încât, la microscop se distinge foarte greu și numai la puteri măritoare foarte mari. Cementita cristalizează în sistemul ortorombic și prezența ei imprimă oțelurilor fragilitate, deoarece este foarte dură ( $\text{HB} = 800 \text{ daN/mm}^2$ ) și are o rezistență la rupere redusă  $R = 4 \text{ daN/mm}^2$ .

**5. Perlita (P)** – reprezintă eutectoidul oțelurilor, deoarece este un constituent eterogen, bifazic, format din amestecul mecanic al fazelor: ferita alfa și cementita secundară. Perlita este prezentă sub formă de lamele alternante (cementita fiind albă iar ferita întunecată) sau mai rar sub formă globulară (cementita se globulizează în urma recoacerii de



globulizare). Perlita provine din descompunerea totală a austenitei la temperatura constantă (727°C). Perlita apare în structura oțelurilor cu peste 0,0218 %C volumetric și crește liniar o dată cu creșterea conținutului în carbon până la 100% perlită (corespunzător oțelurilor 0,77%C).

La microscop, în urma atacului cu nital sau cu picral, perlita se corodează, fiind un constituent eterogen, și apare la puteri mici de mărire sub forma unor insule întunecate. Abia la puteri mai mari de mărire (peste 300:1) se poate observa caracterul lamelar sau globular al perlitiei. Deoarece perlita este formată din ferită și cementită, va avea proprietățile intermediare ale celor două faze  $R = 70-85 \text{ daN/mm}^2$  și  $HB = 200-225 \text{ daN/mm}^2$ .

La temperatura ambiantă, oțelurile carbon sunt formate din două faze (ferita și cementita) libere sau legate în amestecul mecanic numit perlită. În funcție de procentul de carbon, oțelurile nealiatate pot fi clasificate în:

-Oțeluri hipoeutectoide, care au un conținut de carbon până la 0,77%, având o structură feritică până la 0,002%C, ferito-cementitică, între 0,002%C și 0,0218 %C și ferito-perlitică, între 0,0218 %C și 0,77%C.

-Oțeluri eutectoide, care au un conținut de carbon de 0,77 % și o structură perlitică.

-Oțeluri hipereutectoide, care au un conținut de carbon de 0,77 – 2,11 % și o structură perlito-cementitică.

Ferita liberă și cementita liberă, în urma atacului cu nital sau picral, sunt de culoare albă, la microscop. Pentru a le diferenția, atunci când acest lucru nu este posibil, luându-se în considerare forma și distribuția lor, se recurge la un atac diferențiat cu picrat de Na (soluție alcalină, atac la cald) în urma căruia cementita devine albastră. Dacă nici acest lucru nu este posibil, se vor face măsurători de microdurate, cementita fiind foarte dură.

## **7.2. Clasificarea și standardizarea oțelurilor nealiatate**

În România, în prezent, se produce armonizarea STAS-urilor cu normele europene (EN) și normele ISO, fiind valabile toate trei.

Criteriile de clasificare a oțelurilor nealiatate, conform literaturii de specialitate sunt multe: - după procedeul de elaborare: oțeluri Siemens- Martin, oțeluri de convertizor, oțeluri electrice, oțeluri de creuzet etc.;

- după conținutul de carbon și structura la echilibru: oțeluri hipoeutectoide ( $\leq 0,77\%C$ ), eutectoide (0,77%C) și hipereutectoide (0,77 ÷ 2,11%C);

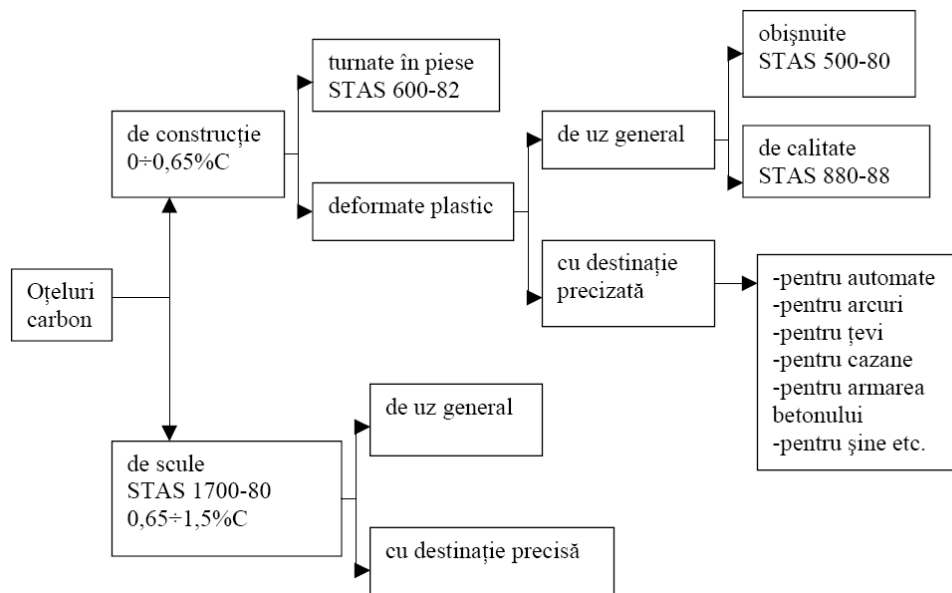
- după duritatea la echilibru: oțeluri extramoi (0,05÷0,15%C), oțeluri moi (0,15÷0,25%C), oțeluri semimoi (0,25÷0,4%C), oțeluri semidure (0,4÷0,6%C), oțeluri dure (0,6÷0,7%C), oțeluri foarte dure (0,7÷0,8%C) și oțeluri extradure (0,8÷2,11%C);

- după gradul de dezoxidare: oțeluri calmate (0,2÷0,5%Si), semicalmate (0,1%Si) și necalmate (sub 0,02%Si);

- după modul de semifabricare: oțeluri turnate în piese și oțeluri deformate plastic (forjare, laminare, tragere, trefilare etc.).

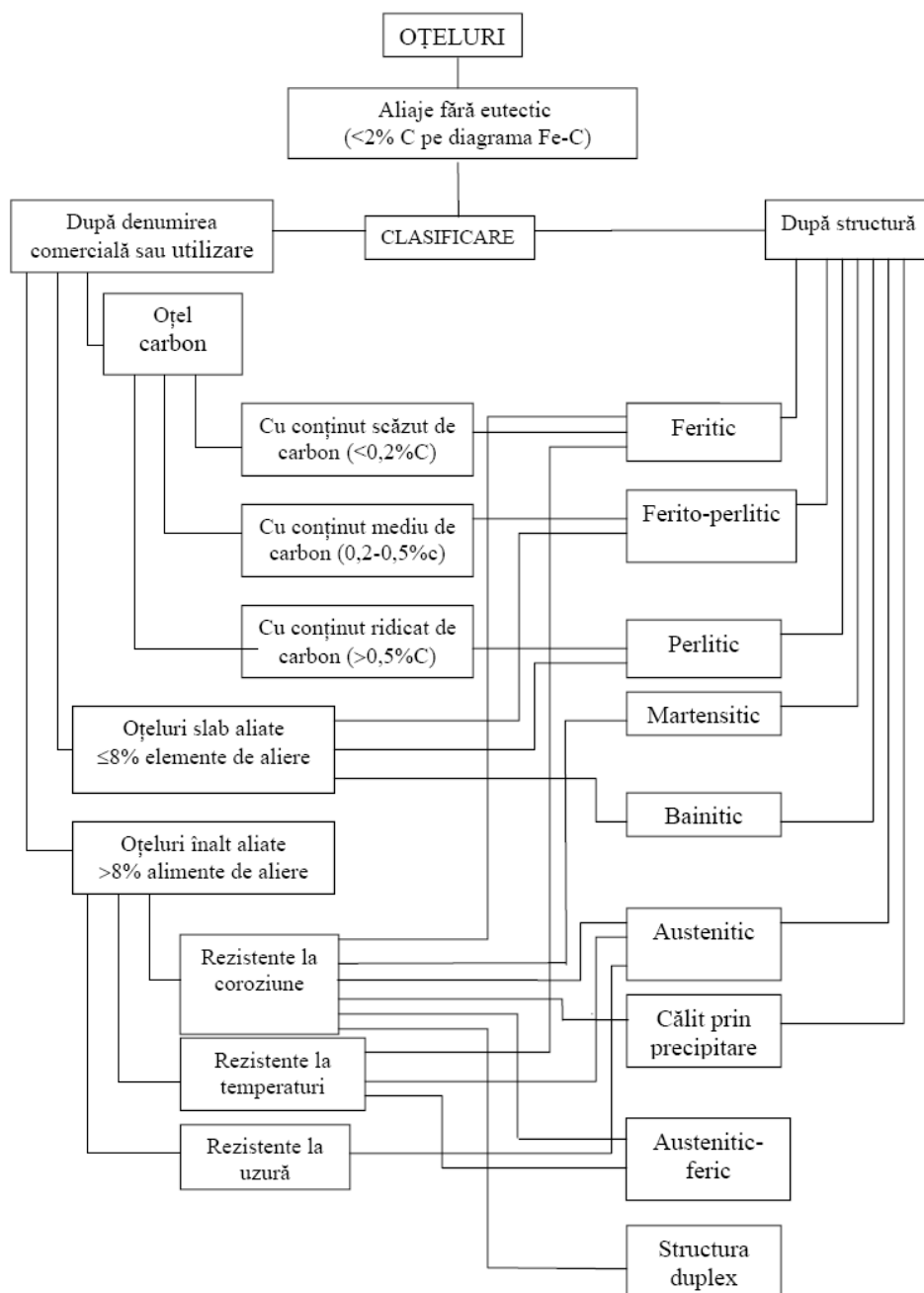
Cea mai generală clasificare a oțelurilor se face, conform standardelor românești după destinație, fig. 8.2.

Clasificarea oțelurilor nealiatate și aliate conform normelor americane SAE-AISI (ADVANCED MATERIALS & PROCESSES 6/2000) după denumirea comercială (destinație) și după structură este dată în fig. 7.3.



**Fig 7.2. Clasificarea oțelurilor nealiate (carbon)**

Clasificarea generală a oțelurilor după SR EN 10020-1998 se face după compoziția chimică determinată pe oțelul lichid în: oțeluri nealiate și oțeluri aliate.



**Fig 7.3. Clasificarea oțelurilor carbon, slab aliate și înalt aliate**

Oțelurile nealiate se clasifică conform aceluiași standard în: oțeluri nealiate de uz general, oțeluri nealiate de calitate și oțeluri nealiate speciale (cu proprietăți fizice speciale, pentru recipiente sub presiune, pentru construcții mecanice, pentru scule). Oțelurile nealiate de uz general se produc prin procedee de elaborare obișnuite, nu necesită tratamente termice cu excepția recoacerii și normalizării, au rezistența la rupere minimă  $690 \text{ N/mm}^2$ , limita de curgere minimă  $360 \text{ N/mm}^2$ , alungirea minimă 26%, energia la rupere prin șoc la  $20^\circ\text{C}$  minimă la 27 J, conțin minim 0,1%C, maxim 0,045% S și P fiecare și nu au prescrise nici o altă condiție de calitate.

Oțelurile nealiate speciale au o puritate superioară oțelurilor nealiate de calitate, în special în privința incluziunilor nemetalice, sunt destinate tratamentelor termice de călire și revenire în volum sau superficială, compoziția chimică este riguros verificată și au prescripții clare privind calitatea, fiind prescrise suplimentar: limita de curgere, călibilitatea, capacitatea

de deformare la rece, tenacitatea, sudabilitatea, duritatea după călire și revenire și energia de rupere după călire și revenire.

Simbolizarea alfanumerică dată de SR EN 10027:1991 a oțelurilor de construcție după utilizare cuprinde la început următoarele simboluri: S- oțeluri de construcție; P- oțeluri pentru recipiente sub presiune; L- oțeluri pentru țevi; E- oțeluri pentru construcții mecanice; B- oțeluri pentru beton armat; Y- oțeluri pentru beton precomprimat; R- oțeluri pentru sârmă, H- oțeluri pentru ambutisare; D- produse pentru deformare la rece; T- tablă neagră, stanată sau cromată; M- oțeluri pentru electrotehnică; G- oțel specificat sub formă de piese turnate; C- oțeluri carbon; X- oțeluri bogat aliate (inoxidabile de scule etc.).

Simbolizarea numerică a oțelurilor carbon se face pe grupe de oțeluri astfel: cifra 1. care înseamnă numărul grupei de material (oțel), urmată de 2 cifre: 00 pentru oțeluri de uz general; 01÷0,7 oțeluri de calitate pentru construcții; 01-de uz general; 02-oțeluri cu utilizări speciale; 03...07-oțeluri cu diverse cantități de C, P sau S; 10,11...19-oțeluri nealiat speciale (10-cu proprietăți fizice speciale; 11...13-oțeluri pentru recipiente sub presiune și pentru construcții mecanice; 15...18-oțeluri nealiat pentru scule) și alte două cifre care indică numărul de ordine.

### ***7.3. Aparatură și materiale***

Se vor folosi microscopie metalografice optice și epruvete din oțeluri nealiat, pregătite în prealabil pentru studiul metalografic. Identificarea probelor și a structurilor se va face cu ajutorul anexei care se va prezenta la laborator.

### ***7.4. Modul de lucru***

Se vor studia la microscopul metalografic optic, probe din oțeluri nealiat, pregătite în prealabil; structurile se vor reda grafic, prin desenare, și se vor indica constituenții metalografici existenți în fiecare probă.

## Laborator 8

### MICROSTRUCTURI ALE OȚELURILOR ALIATE ÎN STARE DE ECHILIBRU

#### 8.1. Noțiuni introductive

Oțelurile aliate sunt aliaje complexe, care pe lângă fier și carbon mai conțin elemente de aliere introduse intenționat, pentru a se obține o îmbunătățire a anumitor proprietăți fizico-mecanice sau tehnologice. Aceste elemente de aliere sunt foarte importante, deoarece ele influențează întreaga comportare a oțelului atât pe durata cristalizării cât și ulterior, în timpul prelucrării mecanice sau în timpul exploatării.

Comportamentul acestor elemente de aliere este diferit în raport cu fierul și carbonul:

- unele se dizolvă în fier formând soluții solide aliate fără a se combina chimic cu carbonul (Al, Ni, Cu, Si, Co, N) și influențând în mare măsură proprietățile fizice;
- altele se combină cu carbonul în funcție de afinitatea lor chimică față de carbon sau se dizolvă în austenită sau ferită (Cr, T, V, Ti, Mo, Yr, Nb), influențând în mare măsură proprietățile mecanice. Aceste elemente formează carburi simple sau complexe.

#### 8.2. Clasificarea și standardizarea oțelurilor aliate

Criteriile de clasificare a acestor oțeluri sunt: structura de echilibru (hipoeutectoide, hipereutectoide, ledeburitice); structura după normalizare (feritice, perlitice, austenitice, martensitice, cu carburi); gradul de aliere (slab aliate, bogat aliate); după modul de semifabricare (oțeluri aliate turnate, oțeluri aliate deformate plastic la cald); după destinație (construcții de mașini cu destinație generală și precizată, de scule, cu proprietăți fizico-mecanice și chimice speciale).

Oțelurile aliate conform STAS-urilor (excepție fac oțelurile pentru rulmenți, oțelurile electrotehnice și oțelurile rapide) se simbolizează prin: un număr care reprezintă sutimi de carbon, simbolurile elementelor de aliere în ordine crescătoare a conținutului, deci a importanței lor (ultimul element este cel mai important), și un număr care reprezintă zecimi de ultim element din simbol. Dacă în fața simbolului se află litera T oțelul este turnat în piese.

Conform SR EN 10020:1983, principalele clase de oțeluri aliate sunt:

- a) oțeluri aliate de calitate*, destinate construcțiilor metalice (structuri sudate, recipiente sub presiune, țevi etc., care au granulație fină, sunt sudabile, au precizate limita minimă de curgere sub 380 N/mm și energia la rupere de max. 27 J la – 50°C.
- b) oțeluri aliate speciale*, care includ oțelurile pentru construcții de mașini, de rulmenți, de scule, oțelurile inoxidabile, refractare și oțelurile cu proprietăți fizice speciale (coeficient mic de dilatare și proprietăți magnetice).

Conform SR EN 10027-1:1982 simbolizarea alfanumerică după compoziția chimică a oțelurilor aliate se face astfel:

- a) oțeluri aliate, cu excepția oțelurilor rapide la care conținutul fiecărui element de aliere este <5%, simbolizarea cuprinde în ordinea succesivă următoarele simboluri: un număr ce reprezintă sutimi de procente medii de carbon, simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere în ordinea descrescătoare a conținutului și a importanței lor și unul sau mai multe numere separate prin liniuță care reprezintă conținutul mediu rotunjit în procente, multiplicat cu un ;
- b) oțeluri aliate, cu excepția oțelurilor rapide, în care conținutul unui element de aliere este ≥5%, simbolizarea cuprinde în ordine succesivă următoarele simboluri: litera X, un număr ce reprezintă sutimi de procente medii de carbon, simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere din oțel, în ordinea descrescătoare a conținutului sau importanței lor și unul sau mai multe numere, despărțite prin liniuță, care indică conținuturile medii în procente ale

elementelor de aliere în aceeași ordine descrescătoare. Dacă un oțel aliat este specificat sub formă de piesă turnată atunci simbolul începe cu litera G. Simbolizarea în sistemul numeric a oțelurilor aliate de calitate și speciale se face în ordinea: 1. care înseamnă oțel (numerele 2...8 sunt destinate altor materiale), urmat de două cifre care reprezintă numărul grupei de oțel: 08; 08 și 88; 88- oțeluri aliate de calitate; 20...28- oțeluri aliate speciale de scule; 30...38- oțeluri aliate speciale diverse (oțeluri rapide 32; 33- oțeluri de rulmenți –36, oțeluri cu proprietăți magnetice speciale 36; 37 etc.); 40...48- oțeluri inoxidabile și refractare; 50...88- oțeluri aliate speciale de construcții și pentru recipiente sub presiune pe grupe de elemente de aliere; 50...58- aliate cu Mn-Si; Mn-Cr; Mn-Ti, Ni, Cr-Ni, etc; 60...68- oțeluri aliate cu Cr-Ni; Ni-Si; Ni-Mn; Ni-Mo; Cr-Ni-Mo; Cr-Ni etc.; 70...78- aliate cu Cr, Cr-Si; Cr-Mn; Cr-Mo; Cr-V; Cr-Mo-V etc; 80...88- aliate cu Cr-Si-Mo, Cr-Si-V, Cr-Mo-W, Cr-Si-Ti, Cr-Mn-Ti etc. Simbolul numeric continuă cu alte două cifre care reprezintă numărul de ordine. Fiecărei mărci de oțel simbolizat numeric îi corespunde o compoziție chimică, anumite proprietăți fizice, mecanice, chimice, prelucrări termice, mecanice etc., date în standard.

8.2.1. Oțeluri aliate de construcții turnate în piese. Conform STAS 1773-82 sunt oțeluri slab aliate cu Cr, Ni, Si, Mn, Mo, V, Ti de uz general din clasa perlitică cu  $0,1 \div 0,4\%$  C;  $0,03 \div 0,04\%$  S și P fiecare.

SR ISO 3755:1885 simbolizează oțelurile aliate turnate de înaltă rezistență pentru construcția de mașini de uz general astfel: 410-620; 540-720; 620-820 etc., unde primul grup de cifre reprezintă limita la curgere în  $N/mm^2$ , iar al doilea grup de cifre, reprezintă rezistența mecanică în  $N/mm^2$ , fără a specifica în simbol elementele de aliere folosite.

8.2.2. Oțeluri aliate deformate la cald pentru piese tratate termic cu destinație generală (STAS 781-88). Sunt oțeluri slab aliate perlitice prelucrate prin deformare plastică la cald în semifabricate sau direct în piese, folosite în general după tratamente termice de călire–revenire sau termochimice de cementare, nitrurare etc.

În funcție de procentul de carbon aceste oțeluri pot fi de cementare (sub  $0,3\%$  C) și de îmbunătățire (peste  $0,3\%$  C). Simbolizarea acestora este: 15Cr8; 40Cr10; 40BCr10; 17MnCr10; 18CrNi20; 20MoNi35; 20MnCrSi11; 21MoMnCr12; 31MnCrSi13; 40Mn10; 51VMnCr11; 65Mn10 etc.

8.2.3. Oțeluri aliate de construcții deformate la cald cu destinație precizată. Oțelurile cu destinație precizată, în majoritatea lor, cuprind pe lângă mărcile de oțeluri nealiate și oțeluri aliate:

*Oțeluri aliate pentru arcuri* (STAS 785-87) sunt cu limită de elasticitate și rezistență la oboseală mari și stabilitate mare a proprietăților în timp, conțin Si, Cr, Mo, V și  $0,4-0,7\%$  C: 40SU7A; 60SU5A; 60CrMnSi17A; 51VCr11A; 40Cr130; 35MoCr165 etc

*Oțeluri pentru rulmenți* (STAS 1456-88) sunt oțeluri hipereutectoide slab aliate cu Cr, Mn și Mo: RUL1; RUL2; RUL3V; 55SiMo5; 80VMoCr180 (inoxidabil); 20MoCr05; 13CrNi35 (de cementare

*Oțeluri pentru supape de motoare termice* (STAS 11311-88) sunt bogat aliate cu Cr, Ni, Si, W sunt refractare: 45SiCr80; 80SiNiCr200 etc.

*Oțeluri aliate pentru sârme de sudare* (STAS 1126-87): SIOMn1; S12Mn2Si; S22MoCr1; SIOVMoCr1; SIOMn1Ni; SIOMn1NiCu etc.

*Oțeluri aliate termorezistente pentru organe de asamblare* (STAS 11522-80): 12MoCr80; 24VMoCr12.

*Oțeluri pentru organe de asamblare la temperaturi înalte și joase* (STAS 7450-88): 26MoCr11As; 21VMoCr12As; 42MoCr11As; 13CrNi30As; 20MnB5As; 10Ni35As etc.

*Oțeluri aliate pentru sape de foraj și transmisii hidromecanice* (STAS 11504-80): 17MoNi35; 20MoCrNi06; 22MoCrNi05.

*Oțelurile aliate pentru prelucrare pe mașini unelte automate* (STAS 1350-88): 18MnCr10Pb;

38Cr5Pb.

*Oțeluri pentru țevi fără sudură destinate industriei petroliere (STAS 8185-80):* 15VMn11; 20VMn12; 31VMn12; 33MoCr11; 34MoCrNi15; 35VMoMn18 etc.

*Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi înalte (STAS 8184-87):* 14MoCr10; 12MoCr22; 12MoCr50; 12VMoCr10; 20VNiwMoCr120 etc.

*Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și ridicată (STAS 2883-88):* 16Mo3; UMoCr10; 12MoCr22; 12VMoCr10 etc.

*Oțeluri de înaltă rezistență mecanică sunt oțeluri aliate complex* cu Cr, Mo, Ni, V, Ti, Co, Nb cu conținut mic și mediu în carbon, destinate industriilor de vârf (aerospațiale, transporturi etc). Există două clase de oțeluri de înaltă rezistență mecanică, durificabile prin precipitare fin dispersă:

a) oțeluri durificabile prin precipitare de carburi

b) oțeluri martensitice durificabile prin precipitare de compuși intermetalici (faze sigma), denumite oțeluri maraging.

#### 8.2.4. Oțeluri aliate pentru scule (STAS 3611-88)

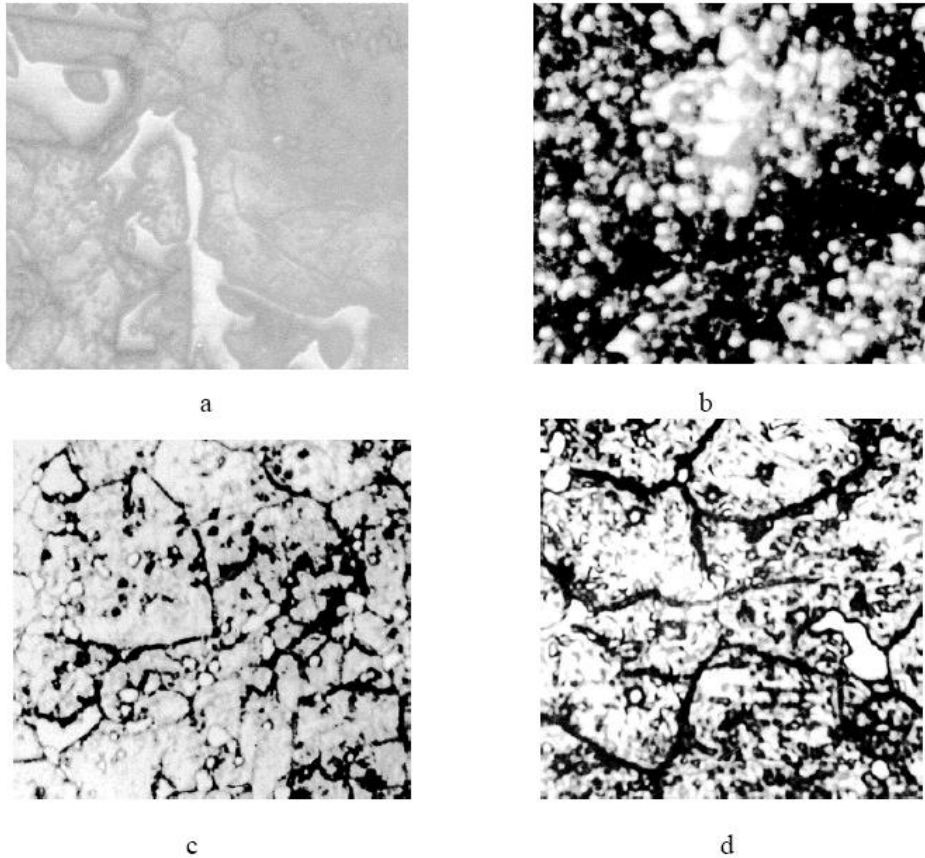
Sunt oțeluri hipereutectoide aliate, speciale, cu Cr, V, W, Mn, Mo, Si, Ni, ce conțin 0,3-2,5% C, cu structură după răcire în aer liber-perlitică, martensitică și ledeburitică.

*Oțeluri aliate pentru scule care lucrează la rece* (așchiere, deformare sau măsurare), conțin mult carbon (0,8-2,5%) și se aliază cu Cr, Mn, W, V, Mo: 80VMn20; 105MnCrW11; 17VCr6; 100VMoCr52; 165VWMoCr115; 155MoVCr115; 205Cr11; 225VMoCr52; 80VCrMn20; 31VCr5 etc. Sunt oțeluri cu duritate mare, călibilitate mare, stabilitate dimensională, rezistente la uzare și la șocuri mecanice. Au o rezistență la coroziune superioară oțelurilor nealiate. Nu sunt sudabile prin topire.

Tot din această categorie fac parte și oțelurile rapide (STAS 7382-88) pentru scule așchietoare ce rezistă până la temperaturi de 600°C. Acestea se simbolizează prin; Rpl; Rp2; Rp4; Rp5; Rp8; RplO, Rpl 1. Sunt bogat aliate cu Cr, W, Mo, Co, V, Nb și au structura ledeburitică după turnare și martensitică cu carburi și austenită reziduală după călire și revenire ciclică sau călire criogenică urmată de o revenire.

SR EN 10020:1883 definește oțelurile rapide ca fiind oțeluri aliate speciale de scule care conțin minim două dintre elementele Mo, W și V în conținut însumat de minim 7%, minim 0,6% C și 3-6% Cr și le simbolizează prin literele HS urmate de cifre care reprezintă procentul de elemente de aliere.

*Oțeluri aliate pentru scule care lucrează la temperaturi ridicate*, conțin mai puțin carbon, pentru ca sculele să nu se decarbureze în contact cu materialele calde (0,3-0,65% C) și se aliază cu Cr, V, Mo, W, Ni, Si: 31VMoCr28; 38VSiMoCr52; 55MoCrNi16; 55VMoNiCr17; 30VCrW35 etc. Sunt oțeluri rezistente la șocuri termice și mecanice, au limită de curgere mare, stabilitate termică mare, susceptibilitate mică la deformare și suportă



**Fig.8.1. Structuri ale oțelului rapid Rp3  
a-turnat; b-forjat și recopt; d-călit și revenit ciclic**

încălziri repetate fără a se fisura și decarbura, au călibilitate mare și conductibilitate termică ridicată.

#### 8.2.5. Oțeluri aliate cu proprietăți fizice, chimice și mecanice speciale

Sunt în general oțeluri bogat aliate cu structura după răcirea în aer liber feritică, austenitică, martensitică sau ledeburitică, care au una sau mai multe proprietăți cu valori foarte mari: rezistență mare la coroziune, refractaritate mare, coeficient scăzut de dilatare, rezistivitate electrică mare, rezistență mare la uzare, tenacitate mare la temperaturi scăzute, cu proprietăți magnetice speciale.

**A. Oțeluri rezistente la coroziune** (STAS 3583-80). Rezistența la coroziune este asigurată în primul rând prin aliere cu peste 12% Cr. În funcție de agresivitatea mediului de lucru se folosesc oțeluri rezistente la coroziune aliate cu Cr, Cr-Ni (oțeluri inoxidabile), oțeluri Maraging și oțeluri rezistente la intemperii (patinabile).

SR EN 10020:1883 definește oțelurile inoxidabile ca fiind oțeluri aliate speciale, care conțin în procente de masă maxim 1,2% C și minim 10,5% Cr, cu sau fără alte elemente.

Rezultă că oțelurile aliate rezistente la coroziune pot fi: inoxidabile (bogate aliate) și patinabile (slab aliate).

Rezistența la coroziune se realizează prin formarea unui strat superficial aderent și compact de oxizi, cu rezistență mare la acțiunea agenților atmosferici sau chimici (vapori de apă, aer, soluții de acizi).

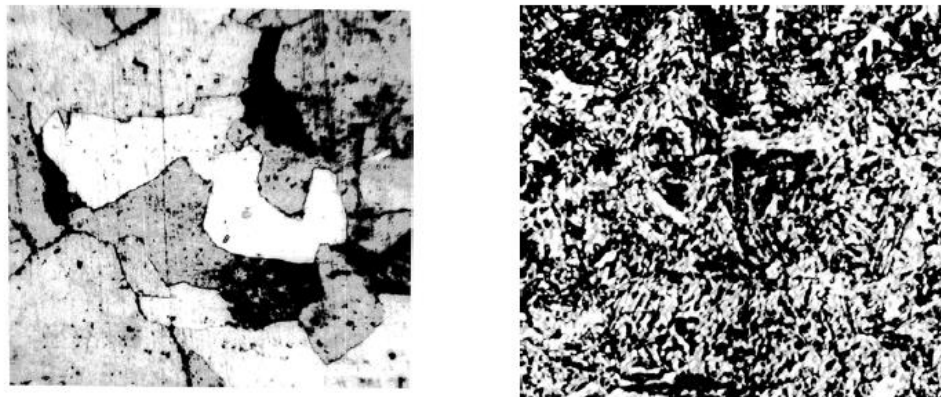
*Oțelurile inoxidabile cu crom* sunt feromagnetice, au o rezistență bună la coroziune și la uzare.

STAS 3583-80 indică următoarele mărci de oțeluri inoxidabile aliate cu crom: 7A1130; 8Cr170; 8TiCr170; 2TiMoCr180; 1MoCr260;- oțeluri feritice și 10Cr130; 20Cr130; 30Cr130; 40Cr130; 20MoCr130; 35MoCr165; 80VMoCr180; 80Cr180; 22NiCr170 etc- oțeluri martensitice.

Structurile oțelurilor inoxidabile aliate cu crom feritice (2TiMoCr180) și martensitice



(80Cr180) sunt prezentate în figura 8.2.a,b.



a

b

**Fig.8.2 Structuri ale oțelurilor inoxidabile cu crom**  
**a- oțel feritic (2TiMoCr180); b- oțel martensitic (80Cr180)**

*Oțeluri inoxidabile aliate cu crom și nichel.* Nichelul introdus în oțelurile inoxidabile pe lângă crom, determină creșterea rezistenței la coroziune, creșterea refractanței, creșterea tenacității la temperaturi scăzute, dar și creșterea prețului de cost de până la 10 ori. Sunt oțeluri austenitice, bogat aliate cu crom și nichel ce conțin: 0,03+0,15% C; <2% Mn; <1% Si; 16,5-28% Cr; 4+ 27% Ni; <3% Mo; <0,8% Ti; <0,3% Nb. Structura acestor oțeluri inoxidabile poate fi monofazică: martensitică, austenitică, feritică și bifazică: perlită și martensită, martensită și ferită, martensită și austenită, austenită și ferită.

Nichelul fiind un metal deficitar și scump, este frecvent înlocuit parțial cu mangan (1,5-10,5%) sau chiar cu azot 0,1-0,25%, existând astfel clasele de oțeluri inoxidabile austenitice Cr-Mn; Cr-Mn-Ni și Cr-Ni-N.

STAS 3583-80 prezintă 8 mărci de oțeluri inoxidabile austenitice Cr-Ni: 2NiCr185; 5NiCr180; 10TiNiCr180; 10TiMoNiCr175; 12NiMnCr180; 2MoNiCr175; 2NbNiCr250; 2CuMoCrNi250.

SR EN 10088-1:1987 prezintă și simbolizează oțelurile inoxidabile feritice, martensitice și austenitice aliate cu Cr-Ni astfel: 20 mărci de oțeluri feritice: X2CrNi12; X2CrTi12; X6Cr13; X6QA113; X3CrNb17; X6CrMoS17 etc; 20 mărci de oțeluri martensitice: X12Cr13; X12CrS13; X28CrS13; X48Cr13; X50CrMoV15; X105CrMo17; X80CrMoV18 etc; ultimele trei mărci se durifică prin precipitare (călire de punere în soluție urmată de îmbătrânire); 37 mărci de oțeluri austenitice: X10CrNi18-8; X2CrNi18-7; X2CrNi18-11; X5CrNiS18-8; X4CrNi18-12; X2CrNiMo 17-12-3; X1CrNiSi18-15-4 etc. și 6 mărci de oțeluri austenito-feritice; X2CrNiN23-4; X2CrNiMoN22-5-3; X2CrNiMoN25-7-4. Mărcile din aceste oțeluri care au în simbol litera S; au un conținut mărit de sulf (0,15-0,35%) pentru a crește așchiabilitatea, în rest toate mărcile conțin sub 0,015% S.

Oțelurile inoxidabile austenitice prin deformare plastică la rece, cu grade mari (80-80%) își dublează proprietățile de rezistență ( $R_m = 1200-1400 \text{ N/mm}^2$ ) cu păstrarea plasticității ( $A=30\%$ ).

Nu toate mărcile de oțeluri inoxidabile din SR EN 10088-1:1987 au corespondență în STAS 3583-87, ci doar o parte: X6CrA113 = 7AlCr130; X2CrMoTi 18-2s2TiMoCr180; X12Cr13=10Cr130; X38Cr13s=40Cr130; X5CrNi18-10=5Ni Cr180; X6CrNiTi18-10=10TiNi180, etc.

STAS 10718-88 indică 8 mărci de oțeluri inoxidabile turnate: T15Cr170; T6NiCr180; T10MoNiCrCr180 etc.

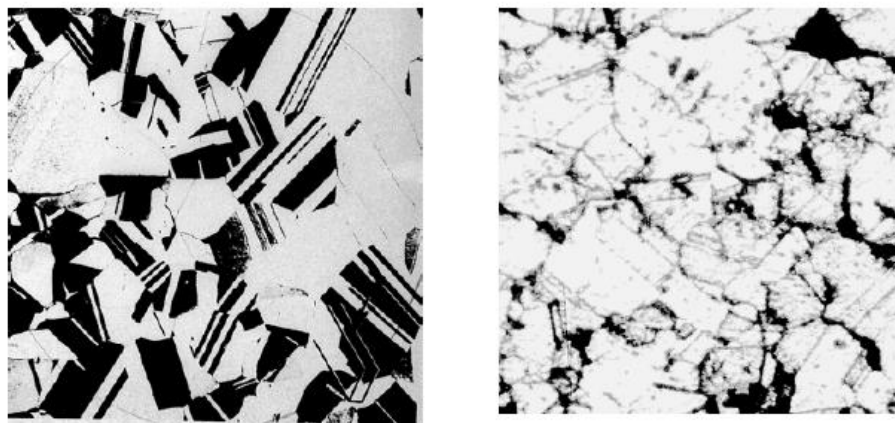
Oțelurile inoxidabile austenito-feritice au puțin carbon (<0,03%), mult azot (0,05-0,35%), mult crom (22-26%), nichel (3,5-8%), molibden (0,1-4,5%), sunt ușor sudabile, dar se deformează plastic dificil. Unele oțeluri inoxidabile martensitice, austenitice și ferito-austenitice se pot durifica prin precipitare de faze sigma sau carburi. Oțelurile inoxidabile se utilizează cu precădere în industria chimică, alimentară și medicală.

Cele mai rezistente și stabile în acizi puternic corozivi, sunt oțelurile (aliajele) cu Ni (80%) și

Mo (20%) denumite hastelloy (<0,08% C; <1% Si; <1% Mn; 15-30% Mo; 1-16,5% Cr; 0-4% W; 0,35-1,7% V; <2,5% Co; <7% Fe; rest Ni). Acestea sunt mai degrabă aliaje neferoase, deoarece C și Fe sunt în cantități mici.

Structurile unor oțeluri inoxidabile Cr-Ni austenitice (X4CrNi18-12), respectiv austenito-feritice (X2CrNi23-4) sunt prezentate în figura 8.3 ab.

*Oțeluri Maraging.* (se mai numesc oțeluri martensitice de tip maraging). Sunt oțeluri bogat aliate, de înaltă rezistență mecanică, care se durifică prin precipitare (călire de punere în soluție urmată de îmbătrânire). Au structură de călire, după răcirea în aer liber (autocălibile) de la 820°C, formată din martensită săracă în carbon, cu proprietăți mari de rezistență mecanică ( $R_m = 1500-2400 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{p0.2} = 1100-2200 \text{ N/mm}^2$ ). Prin îmbătrânire la 480-510°C precipită faze sigma NiTi; Ni<sub>3</sub>Ti etc. care măresc foarte mult rezistența la rupere (460 daN/mm<sup>2</sup> și duritatea 60 HRC) păstrând



*a* *b*  
**Fig. 8.3. Structuri ale oțelurilor inoxidabile Cr-Ni**

**a.- oțel austenitic X4CrNi18-12; b.- oțel austenito-feritic X2CrNi23-4**

o foarte bună tenacitate. Există oțeluri martensitice tip maraging fără crom (0,02% C, 10-20% Ni; 8-8% Co; 3-5% Mo; 0,3-0,5% Nb; 0,15-0,35% Al) și oțeluri maraging cu crom (0,02% C, 18-28% Ni; 7,2-7,5% Co; 4,8-5,3% Mo; 0,32-3,2% Cr; 0,32-0,5% Ti; 0,05-3,2% Mn; 0,05-0,3% Al).

Aceste oțeluri nu sunt standardizate în România. Se utilizează pentru organe de mașini și structuri metalice puternic solicitate mecanic în aer și astronaucică.

*Oțeluri patinabile.* Sunt oțeluri slab aliate cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică, în care un anumit număr de elemente de aliere ca: P, Cu, Cr, Ni, Mo, etc. sunt adăugate pentru a forma la exterior, în timp, prin expunere la intemperii, un strat compact, aderent și protector de oxizi și sulfuri de fier de culoare brun-verzuie denumit patină. Aceste oțeluri în stare lichidă conțin: 0,13-0,16% C. Au structura ferito-perlitică.

B. Oțeluri refractare. Sunt oțeluri bogat aliate care prezintă stabilitate chimică și structurală ridicată și rezistență mecanică bună la temperaturi mari. Refractoritatea, fiind proprietatea materialelor de a-și păstra proprietățile mecanice și de a nu oxida la temperaturi mari, se obține prin formarea la aceste temperaturi a unei pelicule compacte, aderente și protectoare de oxizi. Rezistența la oxidare la temperaturi mari este asigurată prin aliere cu Cr, Si, Al, iar rezistența mare de fluaj este dată de aliere cu Mo, W, V, Nb etc. Oțelurile refractare sunt simultan și inoxidabile. Structura după răcire în aer liber poate fi feritică, martensitică sau austenitică.

Oțelurile refractare martensitice conțin 5...22% Cr cu adăosuri de Ni, Al, Mo, Si și rezistă până la 1000°C în funcție de conținutul de Cr.

Oțelurile refractare austenitice sunt aliate cu Cr și Ni, sunt scumpe și rezistă foarte bine până la temperaturi de 1000°C. Cu cât conținutul de Si și Cr este mai mare cu atât temperatura de utilizare este mai mare. La aceste oțeluri, creșterea temperaturii de la 200°C la 1000°C determină scăderea rezistenței mecanice de la 580-630 N/mm<sup>2</sup> la 62-82 N/mm<sup>2</sup>.

Oțelurile refractare și anticorozive prezintă o comportare bună în medii agresive gazoase și lichide formate din azot, hidrogen sulfurat, anhidridă cromică, gaze de ardere, săruri sau metale topite. Nu rezistă la acțiunea agresivă și erozivă a mediilor vâscoase sau solide: cenușă, scântei, praf de cărbune, silice, silicați, materiale ceramice etc. aflate la temperaturi mari. Oțelurile refractare se folosesc în industria chimică, energetică, aerospațială, metalurgică etc. pentru: palete de turbine, cazane, cuptoare industriale, supape motoare termice etc.

STAS 11523-87 indică 12 mărci de oțeluri refractare: 10AlCr70; 10AlCr180; 10AlCr240; 12NiTiCr180; 12NiCr250; 15SiNiCr200 etc, iar STAS 6855-86 indică 26 mărci de oțeluri refractare și anticorozive turnate: T20MoCr80; T20Cr130; T15NiCr135 etc.

Mai există o categorie de oțeluri aliate numite termostabile care prezintă stabilitate și rezistență la oxidare la cald, denumite oțeluri stabile la coroziune gazoasă. Acestea rezistă până la temperaturi de 560°C, fără a fi prea mult solicitate mecanic. Se folosesc la armături de cuptoare industriale, apărătoarele termocuplelor, schimbătoare de căldură, retorte etc. Sunt oțeluri aliate cu Cr, cu Cr-Si sau Cr-Si-Al, și au structura, după răcirea în aer liber, martensitică, martensito-feritică sau feritică.

Aceste oțeluri dacă conțin sub 12% Cr nu sunt inoxidabile.

C. Oțeluri rezistente la temperaturi scăzute (criogene). Temperaturile scăzute sunt cele situate sub 0°C: climaterice până la -60°C și criogene până în apropiere de 0 K. Oțelurile criogenice se folosesc la stocarea și transportul gazelor lichefiate, în construcția avioanelor stratosferice, rachetelor și instalațiilor din industria chimică și din frigoternie.

Sunt oțeluri aliate, fie cu 2÷8% Ni cu structură austenitică sau feritică, fie aliate cu 8÷8% Ni și 4% Cr cu structură ferito-martensitică. Oțelurile feritice nu rezistă la coroziune.

STAS 11502-88 și STAS 10382-88 indică o marcă de oțel pentru recipiente, respectiv pentru țevi, utilizate la temperaturi scăzute: 10Ni35, iar STAS 12403-85 indică cinci mărci de oțeluri turnate aliate rezistente la temperaturi scăzute: T15MoCrNi30R; T8MoCrNi30R; T15MnNi25R etc.

**B. Oțeluri cu rezistență foarte mare la uzare abrazivă.** Sunt cunoscute sub denumirea de oțeluri manganoase sau Headfield, au structură austenitică deoarece conțin mult carbon și mangan în raportul C/Mn=1/10 (0,8-1,4% C și 11,5-14% Mn). Alierea suplimentară cu Cr (2,5%) Ni (0,8-4%) și Mo (1-2%) mărește accentuat rezistența la uzare abrazivă și rezistența la șoc mecanic. După răcirea în aer liber, aceste oțeluri au structura formată din austenită și sunt relativ moi (180-320 HB). Prin ecruisare (care se produce prin deformare plastică la rece, aș-chiere și chiar în exploatare prin frecare) devin foarte dure (450-500 HB) cu menținerea tenacității.

Creșterea excesivă a durtății și rezistenței la uzare este pusă pe seama creșterii densității de dislocații și a blocurilor de mozaic și mai puțin pe seama transformării martensitice. Din acest motiv aceste oțeluri nu se pot prelucra prin deformare plastică la rece și prin așchiere, ci numai prin turnare și polizare (mai rar prin deformare plastică la cald).

Oțelurile aliate manganoase sunt unice în clasele de oțeluri care posedă simultan durtate, rezistență la uzare și tenacitate foarte mari. Ele se mai cunosc și sub denumirea comercială de Tisco 1; 2; 4 și 6.

STAS 3718-88 indică 6 mărci de oțeluri austenitice manganoase turnate: T105Mn120; T130Mn135; T120CrMn130 etc.

**C. Oțeluri cu coeficient mic de dilatare.** Sunt oțeluri care în anumite intervale de temperaturi au un coeficient de dilatare precizat și foarte mic. Această comportare se obține prin alierea oțelurilor ce conțin 0,3-0,4% C cu: nichel; nichel-crom; sau nichel-cobalt. Cele mai folosite oțeluri cu coeficient mic de dilatare sunt: invarul, elinvarul, platinitul, fernico, superinvarul, kovarul etc.

**D. Oțeluri cu rezistivitate electrică mare.** Se folosesc la confecționarea elementelor de încălzire în cuptoare electrice și alte instalații termice. Aliajele cu rezistivitate electrică mare trebuie să fie soluții solide, să posedă un coeficient de temperatură al rezistivității electrice mic și să prezinte rezistență mare la oxidare la temperaturi mari. Oțelurile care

satisfac aceste condiții au carbon sub 0,12% și sunt aliate cu crom (17-27%) și aluminiu (5-8%). Sunt cunoscute sub denumirile: fecral; cromal; rezistance 4; nicrom; kantal.

Pentru elemente de încălzire se mai folosesc și alte materiale în afară de oțeluri cum sunt: silit; rezistiv A, B, C, D; platinoid A și platinoid B; megapyr; karma- aliaj.

**E. Oțeluri cu proprietăți magnetice speciale.** Proprietățile magnetice speciale se referă la inducția magnetică (B), forța coercitivă (H) și permeabilitatea magnetică ( $\mu=B/H$ ). Aceste oțeluri pot fi: cu inducție magnetică remanentă mare și stabilă, oțeluri cu forța coercitivă mică și oțeluri paramagnetice.

Oțeluri cu inducție remanentă mare și stabilă. Se numesc oțeluri fero-magnetice dure și sunt destinate fabricării magneților permanenți, având simultan forța coercitivă foarte mare și permeabilitate magnetică foarte mică. Sunt oțeluri cu 0,7-1,1% C, aliate cu 2,8-3,8% Cr sau aliate cu 5-6,5% W și 30% Co, care au o forță coercitivă superioară. Aceste oțeluri prin îmbătrânire naturală sau artificială își pierd proprietățile magnetice. Acest neajuns este eliminat de aliajele feromagnetice dure pe bază de Al-Ni-Fe (25-30% Ni, 10-15% Al, rest Fe) denumite alni, alnico, iar dacă conține 30% Co, aliajul se numește magnico. Aceste materiale sunt foarte dure și fragile, nu se pot prelucra prin așchiere și deformare plastică, ci numai prin turnare și polizare.

Dezavantajele durității și fragilității mari ale acestor aliaje pe bază de fier sunt eliminate prin folosirea unor aliaje feromagnetice dure pe bază de cupru, care sunt plastice și ductile: cunife; cunico; columnar; silmanal; vicalloy; comol; materiale sinterizate feromagnetice

Oțeluri cu forța coercitivă mică, se mai numesc și oțeluri fero-magnetice moi, sunt remagnetizabile, au permeabilitate magnetică foarte mare și forță coercitivă foarte mică și rezistivitate electrică foarte mare. Sunt destinate miezurilor magnetice pentru bobine (electromagneți) și tolelor de transformator. Materialele care posedă asemenea proprietăți sunt: fierul tehnic pur (Armco); oțeluri silicioase; permalloy; permalloy crom; permedur; permet; permivar; compensator; termalloy, thermoperm (Ni-Fe), colmalloy (Ni-Cu); supermedur; supermalloy; ferite obținute din pulberi prin sintetizare (oxizi dubli de fier și alt metal).

Oțeluri paramagnetice, sunt oțeluri care au permitivitate magnetică egală cu unitatea. Sunt oțeluri austenitice, bogat aliate cu elemente gamagene (Ni, Mn). Oțelurile inoxidabile Cr-Ni austenitice sunt toate paramagnetice.

### **8.3. Aparatură și materiale**

Se vor folosi microscopie metalografică optică și epruvete din oțeluri aliate, pregătite în prealabil pentru studiul metalografic. Identificarea probelor și a structurilor se va face cu ajutorul anexei care se va prezenta la laborator.

### **8.4. Modul de lucru**

Se vor studia la microscopul metalografic optic, probe din oțeluri aliate, pregătite în prealabil; structurile se vor reda grafic, prin desenare, și se vor indica constituenții metalografice existenți în fiecare probă.

## Laborator 9

### MICROSTRUCTURI ALE FONTELOR ALBE, PESTRIȚE ȘI CENUȘII OBIȘNUITE

#### 9.1. Noțiuni introductive

Fontele sunt aliaje Fe-C care prezintă la răcire transformarea eutectică, deci în structură vor conține eutectic; ledeburită în fontele albe și eutectic cu grafit în fonte cenușii.

Rezultă că în funcție de modul de existență al carbonului: legat în cementită sau liber sub formă de grafit, fontele sunt albe, cenușii și pestrițe.

Concentrația carbonului, pe diagrama de echilibru Fe-C, care separă oțelurile de fontele albe este 2,11%C, iar de fontele cenușii este de 2,08% C.

Fontele tehnice sunt aliaje complexe care pe lângă Fe și C conțin în cantități apreciabile și alte elemente, în special Si, Mn, P și S, care împreună formează compoziția de bază. De asemenea, pot conține elemente însoțitoare sau impurități; Pb, Bi, Sn, Sb, Ti, As etc. și elemente de aliere: Cr, Ni, Cu, Al, Mo, V etc.

##### 9.1.1. Influența grafitului asupra proprietăților fontei

Grafitul este o stare alotropică a carbonului cristalizat în sistem h.c., ușor ( $\gamma = 2,22 \text{ g/cm}^3$ ), care se află distribuit în masa metalică a fontelor cenușii, formată din ferită, perlită sau ferită și perlită și în fontele pestrițe pe lângă perlită, cementită sau ledeburită.

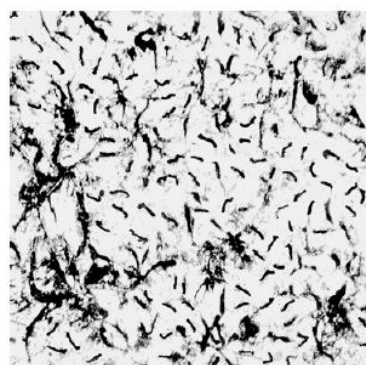
Forma, suprafața, dimensiunile și modul de distribuție a grafitului în fonte, vor fi în funcție de compoziția chimică a fontei și de valoarea parametrilor tehnologici de turnare a topiturii: viteza de răcire, temperatura de încălzire a topiturii, temperatura de turnare, natura formei de turnare, modul de turnare, dimensiunea pereților piesei în care se toarnă etc. Astfel, grafitul în fontele cenușii poate avea formele de bază prezentate în figura 9.1: a) lamelar grosolan; b) lamelar fin (acicular); c) lamelar în rețea; d) la-melar în rozete; e) interdendritic (punctiform); f) în cuiburi (grafit de recoacere); g) nodular (sferioidal); h) vermicular.

Forma naturală a grafitului este lamelară, iar celelalte forme se obțin prin modificare termică sau chimică.

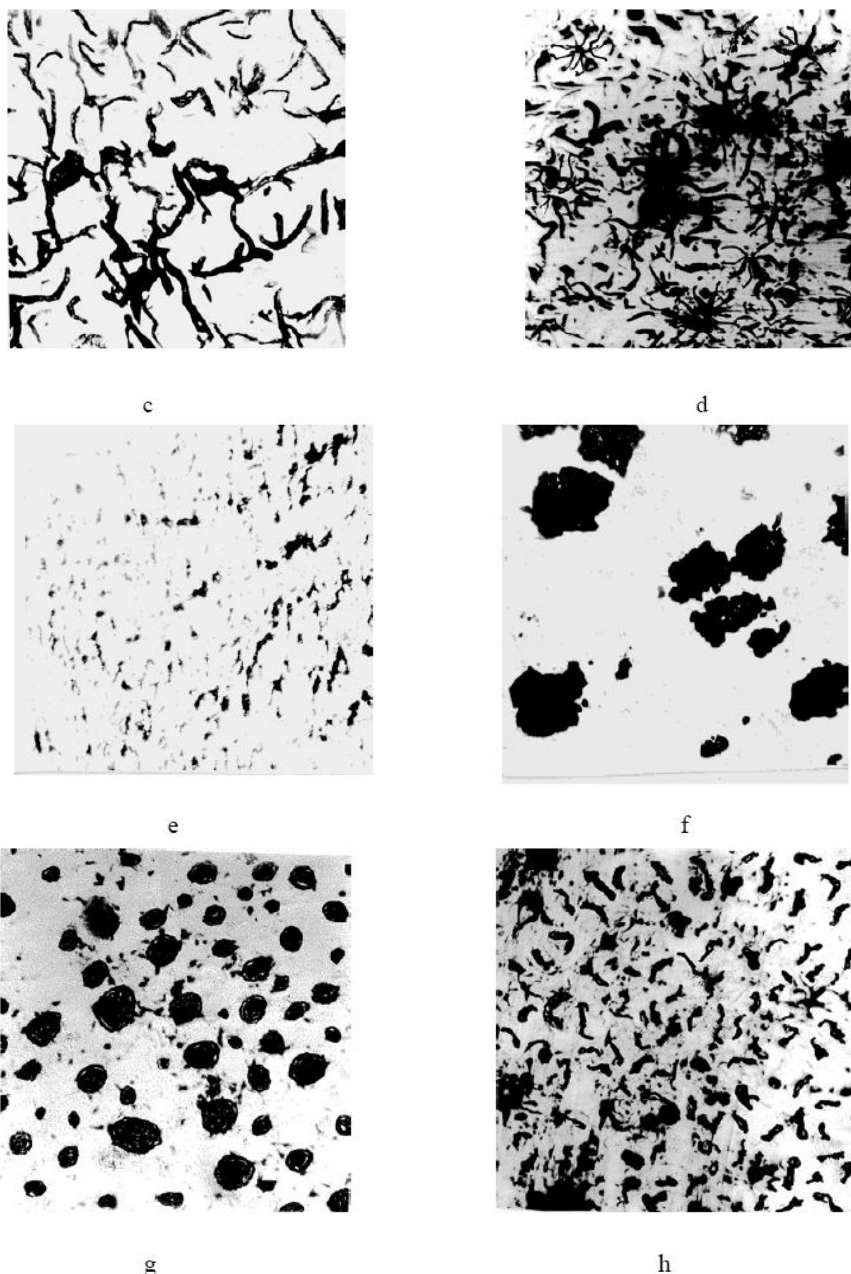
Formele grafitului sunt date de raportul dintre lungimea (l) și grosimea (g) a filamentelor (lamelilor):  $l/g > 50$ - grafit lamelar nemodificat;  $l/g = 25 \div 50$ - grafit lamelar modificat ;  $l/g = 2 \div 4$ - grafit coral;  $g = 2-9$ - grafit vermicular;  $l/g = 1,5 \div 2$  - grafit în cuiburi;  $l/g = 1$ - grafit nodular. Grafitul este caracterizat prin parametrii cantitativi: formă, suprafață, dimensiuni, mod de repartizare și orientare, prezentați sub formă de punctaje și scări eta-lon în STAS 6905-88.



a



b



**Fig.9.1. Forme de grafit în fonte cenușii**

Proprietăți fizice. Grafitul micșorează temperatura de topire a fontelor, micșorează greutatea specifică, conductibilitatea termică și electrică, coeficientul de dilatare și luciul metalic al fontelor cenușii în comparație cu oțelurile și fontele albe.

Proprietăți mecanice. Grafitul având rezistență mecanică, practic, nulă, micșorează secțiunea portantă a pieselor, reduce mult: rezistența la rupere, limita de curgere, limita de elasticitate, duritatea, alungirea, reziliența, dar nu influențează rezistența la rupere prin compresiune și crește rezistența la uzare

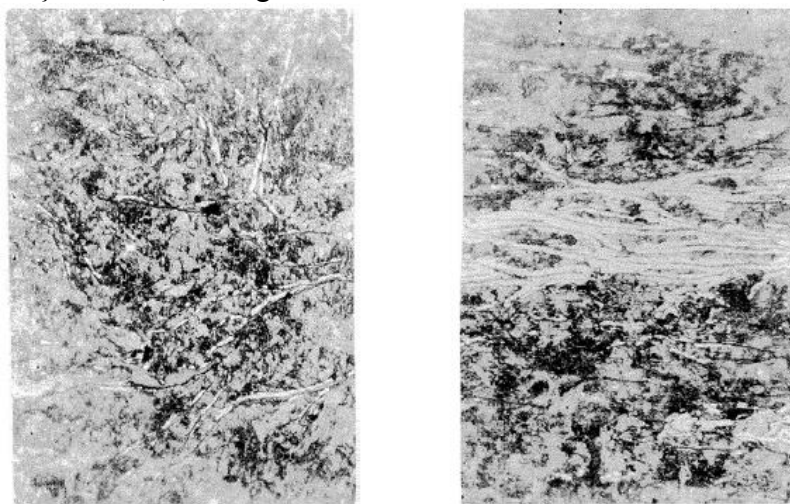
Grafitul micșorează modulul de elasticitate și tenacitatea fontelor. Grafitul are proprietatea foarte bună de a amortiza vibrațiile și oscilațiile de rezonanță, fapt ce impune fontele cenușii pentru construcția de batiuri și corpuri de mașini unelte de mare precizie.

Proprietăți tehnologice. Grafitul influențează toate proprietățile tehnologice. Astfel, grafitul îmbunătățește turnabilitatea prin micșorarea contracției la solidificare, mărirea fluidității, micșorarea temperaturii de topire a fontelor cenușii, micșorează sudabilitatea

fontelor (acestea sunt mai greu sudabile decât oțelurile, dar mai ușor sudabile decât fontele albe.)

Fontele cenușii se așchiază cu viteze mici, folosind scule din carburi metalice foarte dure, iar calitatea suprafeței așchiate este inferioară comparativ cu cea a oțelurilor.

Grafitul micșorează pregnant deformabilitatea fontelor. Fontele cenușii sunt materiale prin definiție fragile, neputându-se deforma plastic la rece. Totuși, în anumite condiții, se pot deforma la cald și fontele predominant perlitice cu grafit lamelar fin. În figura 9.2. sunt prezentate microstructurile fontei, Fc250 înainte de deformare (a) și după deformare plastică la 900°C, în matriță închisă, cu un grad de deformare de 35%.



a b  
**Fig. 9.2. Fontă cenușie Fc250 turnată (a), deformată plastic la 900°C în matriță închisă.**

Rezultă că din punct de vedere al proprietăților de rezistență mecanică, cele mai bune sunt fontele cenușii cu baza metalică perlitică și cu grafitul filiform fin, vermicular, în cuiburi sau nodular.

#### 9.1.2. Elementele de bază și impuritățile din fonte

Fierul, carbonul, siliciul, sulful și fosforul formează compoziția de bază a fontelor. Impurități sunt considerate a fi: Ti, As, Pb, Bi, Sb.

*Carbonul* este element de bază, gamagen și grafitizant. În fontele tehnice, care sunt fonte hipoeutectice, se găsește în cantități de 2,4÷3,8%C. *Siliciul* este element alfa de bază în fontele cenușii (care conțin 0,5÷3,5% Si) puternic grafitizant.

Siliciul și carbonul având aceeași influență asupra grafitizării, trebuie bine corelate conținuturile lor în fontele cenușii. Cu cât carbonul este în cantitate mai mare, cu atât siliciul trebuie să fie în cantitate mai mică. *Manganul* este element gamagen puternic antigrafitizant, ca și viteza mare de răcire, reduce cantitatea de grafit, favorizând obținerea fontelor albe. În fontele cenușii se admite 0,5 ±1% Mn. Conținutul de mangan trebuie corelat cu cel de sulf: % Mn = 0,2...0,3+1,7 S.

*Sulful* ca și manganul este element puternic antigrafitizant și are o influență strict negativă asupra proprietăților fontelor. Se admite în fontele cenușii doar 0,1÷0,15% S.

*Fosforul* nu influențează practic grafitizarea, ci numai structura masei metalice a fontelor cenușii, prin formarea unui constituent foarte dur (650 HB) și fragil denumit steadită (eutectic fosforos), fiind format la 950°C din  $F\alpha + Fe_3C + Fe_3P$ .

În mod curent fontele cenușii conțin sub 0,2% P. Când conținutul de fosfor depășește 0,6% P, eutecticul fosforos se distribuie sub formă de rețea continuă, micșorând accentuat rezistența la rupere.

Elementele de bază din fonte însumate algebric dau conținutul echivalent de carbon, care după Fletcher este:

$$C_{\text{echiv}} = 4,26 - 0,286\text{Si} - 0,387\text{P} + 0,048(\text{Mn} - 1,8\text{S}) \text{ sau simplificat:}$$

$$C_{\text{echiv}} = 4,26 - 0,3 (\text{Si} + \text{P})$$

În funcție de această valoare fontele cenușii sunt :

- eutectice ( $C_{\text{echiv}} = 4,26\%$ ),
- hipoeutectice ( $C_{\text{echiv}} < 4,26\%$ ) și
- hipereutectice ( $C_{\text{echiv}} > 4,26\%$ ).

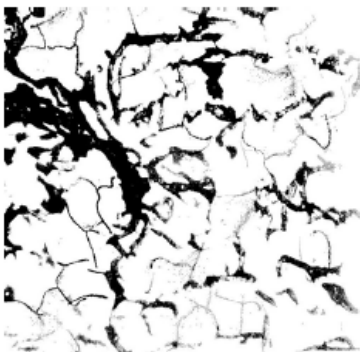
*Aluminiul* este grafitizant și dezoxidant în fonte, influențează pozitiv practic toate proprietățile fontelor cenușii. Se admite max. 0,1% Al.

*Cuprul* influențează ușor grafitizarea, îmbunătățește proprietățile mecanice ale masei metalice. Se admite max. 0,05% Cu.

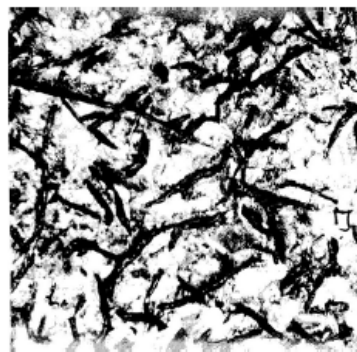
*Nichelul* are aceeași influență ca și cuprul asupra grafitizării și proprietăților mecanice. Se admite max. 0,1% Ni.

La fontele nealiate tehnice se mai admit ca elemente însoțitoare sub 0,05% fiecare: Mo, V, Ti, W, Sn, Sb. Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale fontelor cenușii nealiate se poate realiza prin obținerea unui grafit cât mai fin, cu o formă cât mai depărtată de cea lamelară și cât mai uniform distribuit.

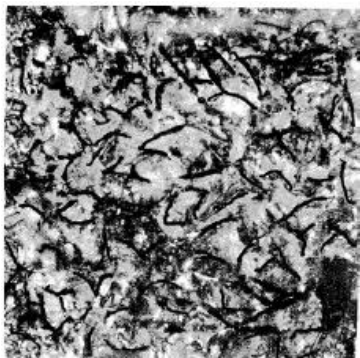
În figura 9.3. se pot observa unele structuri metalografice prezenta în fonte.



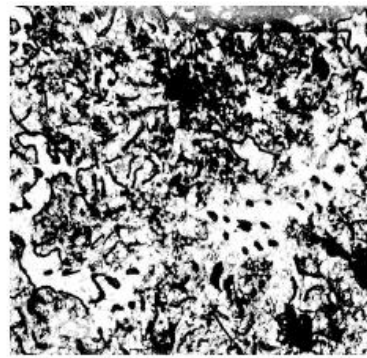
a



b

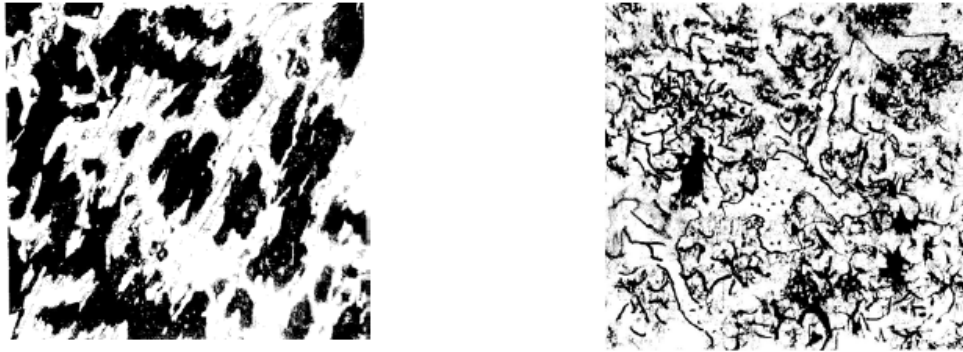


c



d





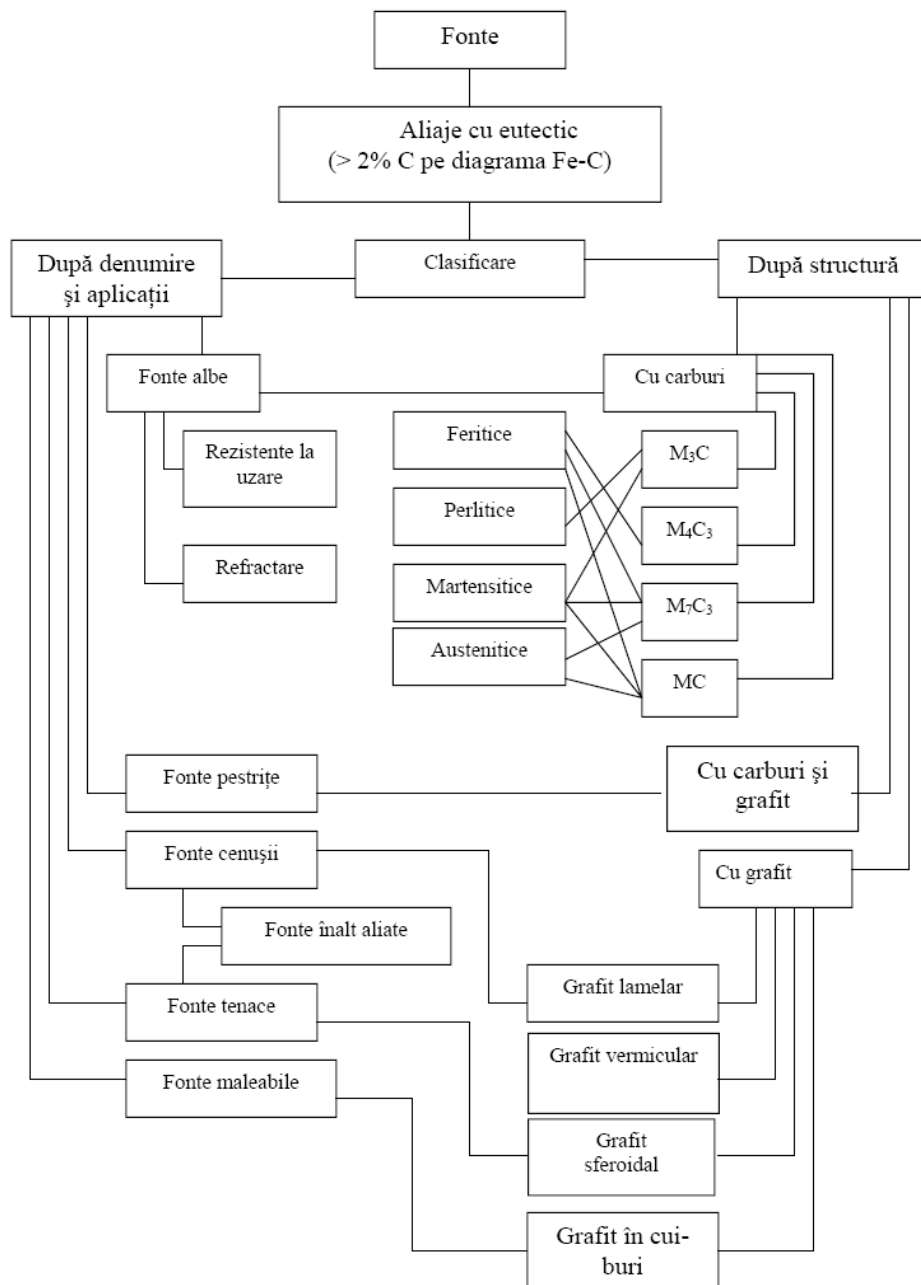
e
f  
**Fig. 9.3. Structuri metalografice în fonte: a) fontă cenușie feritică;**  
**b) fontă cenușie ferito-perlitică; c) fontă cenușie perlitică;**  
**d) fontă pestriță; e) fontă albă perlito- cementitică;**  
**f) fontă cenușie perlitică cu steadită**

### 9.1.3. Clasificarea și standardizarea fontelor

O clasificare generală după Advanced Materials & Processes nr.6/2000 a fontelor după denumirea comercială, destinație și structură este prezentată în figura 9.4.

Fontele se clasifică după mai multe criterii:

- a) după poziția pe diagrama Fe-C sau gradul de eutecticitate ( $Sc=Ct/Ce$ ) fonte hipoeutectice, eutectice și hipereutectice;
- b) după ordinul topirii sau materia primă folosită la elaborare: fonte brute sau de primă fuziune obținute din minereu, turnate în blocuri (calupuri) și fonte mecanice sau de a doua fuziune turnate în piese obținute din fontele brute;
- c) după gradul de aliere: fonte nealiate, fonte aliate ;
- d) după culoarea casurii: fonte albe, fonte cenușii și fonte pestrițe;
- e) după forma grafitului: lamelar, acicular, interdendritic, în rozete, vermicular, în cuiburi, nodular, coral;
- f) după destinație: fonte cu destinație generală și fonte cu destinație precizată (antifricțiune, rezistente la uzare abrazivă, refractare, anticorozive, de fricțiune, pentru temperaturi scăzute, cu etanșitate ridicată)



**Fig. 9.4. Clasificarea fontelor după destinație și structură**

**A. Fonte albe.** Fontele albe nealiate corespund sistemului metastabil Fe-Fe<sub>3</sub>C, având în structură perlită, cementită și ledeburită. Pe diagrama Fe-C ocupă domeniul 2,11÷6,67%C și sunt eutectice la 4,3%C, hipoeutectice (2,11÷4,3%C) și hipereutectice (4,3÷6,67%C). Se numesc fonte albe deoarece în casură proaspătă au o culoare albă strălucitoare. Având cantități mari de cementită sunt dure și fragile, motiv pentru care fontele albe nealiate au utilizare restrânsă în industria constructoare de mașini. Nu se pot deforma plastic, nu se pot suda și nu se pot prelucra prin așchiere decât prin polizare.

Fontele albe hipoeutectice perlito-cementitice constituie materia primă pentru obținerea fontelor maleabile. De asemenea se mai folosesc pentru obținerea unor piese cu crustă dură, formată la exterior din fontă albă prin dirijarea răcirii după solidificare. Fonta albă brută obținută în furnale constituie materia primă pentru obținerea oțelurilor (fonta de afinare). O largă utilizare pentru piese rezistente la uzare abrazivă o au fontele albe aliate cu Mn, Cr, Mo, V.

**B. Fonte de primă fuziune (brute).** Sunt fonte albe sau cenușii ce se obțin în furnal

prin reducerea minereurilor de fier și reprezintă materia primă pentru elaborarea oțelurilor (fonte de afinare) sau a fontelor de a doua fuziune (fonte pentru turnătorie).

Conform STAS 882-78 fontele brute se simbolizează astfel:

- fonte brute nealiante obișnuite pentru turnătorie: FK1; ..... FK6;
- fonte brute nealiante speciale pentru turnătorie: FX0; ... FX4;
- fonte brute nealiante pentru afinare: FAK0; FAK1;
- fonte brute aliate silicioase: FS1; FS2;
- fonte brute aliate oglindă: FOg1; FOg2;
- fonte brute aliate silicioase-oglină: FSOg.

Conform SR EN 9001:1993 fontele brute sunt simbolizate astfel:

- fonte brute nealiante pentru afinare: PIG-P2; PIG-P20;
- fonte brute nealiante pentru turnătorie; PIG-P1Si; PIG-P3Si; PIG-P6Si; PIG-P12Si; PIG-P17Si; PIG-Nod; PIG-NodMn; PIG-LC;
- fonte brute aliate; PIG-SPU; PIG-Mn; PIG-Mn-Spiegel; PIG-SPA.

Standardul SR ISO 12592:1994 simbolizează fontele brute de înaltă puritate destinate pentru elaborarea fontelor de a doua fuziune de înaltă performanță astfel:

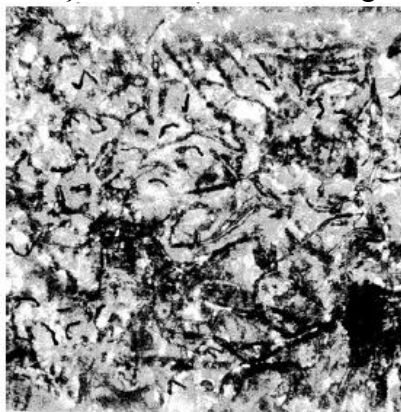
- fonte pentru elaborarea fontelor cu grafitul nodular feritice: FIP1; FIP2; FIP3; FIP4;
- fonte pentru elaborarea fontelor maleabile și fontelor cu grafitul nodular perlitice: FIP-Mn-1; FIP-Mn-2; FIP-Mn-3; FIP-Mn-4.

**C. Fonte de a doua fuziune.** Sunt fonte cenușii care au în structură grafit, iar casura este de culoare gri închis. Sunt elaborate din fontele brute pentru turnătorie, folosind: cubiloul, cuptoare cu arc electric sau cuptoare cu inducție. Se toarnă direct în piese.

Fontele cenușii nealiante de a doua fuziune pot avea destinație generală (fonte cu grafit lamelar, acicular, coral, vermicular de recoacere și nodular) și destinație precizată (antifricțiune pentru mașini unelte, cu etanșitate ridicată etc.)

**Fonte cenușii cu grafit lamelar turnate în piese.** Sunt fonte cenușii cu grafit lamelar folosite la turnarea pieselor pentru construcția de mașini. Aceste fonte cenușii au proprietăți foarte bune de turnare; fluiditate mare dată de Si și de P și o contracție acceptabilă cu atât mai mică cu cât conținutul în carbon este mai mic.

STAS 568-82 simbolizează aceste fonte prin: Fc90; Fc150; Fc200; Fc250; Fc300; Fc350; Fc400, unde Fc înseamnă fontă cenușie, iar cifrele reprezintă rezistența minimă la rupere, în N/mm<sup>2</sup>. Primele trei mărci au structura bazei metalice perlito-feritică cu grafit lamelar (l/g=50), iar celelalte mărci sunt perlitice cu grafitul foarte fin (l/g=25÷50), chiar interdendritic. Structura fontei cenușii Fc300 este dată în figura 9.5.



*Fig. 9.5. Fontă cenușie perlitică cu grafitul lamelar Fc300*

SR ISO 185:1994 simbolizează fontele cenușii cu grafit lamelar turnate în piese astfel: 90; 150; 200; 250; 300; 350, care reprezintă rezistența minimă la rupere prin tracțiune pe epruvetele turnate separat de piese.

SR EN 1560:1999 simbolizează aceleași fonte folosind literele; EN- euronorm; G- piesă turnată; J- fontă; L- grafit lamelar, urmate de un număr ce reprezintă rezistența minimă la rupere prin tracțiune în  $N/mm^2$  și încă o literă: S- epruvetă turnată separat; U- epruvetă atașată la piesa turnată; C- epruvetă prelevată din piesa turnată. SR EN 1561:1999 definește fonta cenușie cu grafitul lamelar, ca fiind un material turnat pe bază de fier și car-bon în care carbonul liber este prezent sub formă lamelară. Simbolurile alfanumerice sunt: EN-GJL-90; EN-GJL-150 etc, iar cele numerice sunt: EN-JL99; EN-JL920 etc. Simbolurile alfanumerice după duritatea obligatorie sunt: EN-GJL-HB155; EN-GJL-HB175 etc, respectiv: EN-JL209; EN-JL2020 etc -simboluri numerice.

**Fonte cenușii turnate în piese pentru mașini unelte.** Sunt fonte cu destinație precizată, elaborate îngrijit, cu conținut sporit de fosfor ( $0,12\div 0,25\%$  P), care trebuie să răspundă la mai multe condiții: rezistență minimă la rupere, cantități minime precizate de ferită, modulul de elasticitate de o anumită valoare, capacitate de amortizare a vibrațiilor, prezența în structură a steaditei etc.

STAS 8541-86 simbolizează aceste fonte prin: FcX200; FcX250; FcX300; FcX350. Au structura perlitică cu max.  $5\div 9\%$   $F_a$ , cu separări izolate de eutectic fosforos (steadită) și nu trebuie să conțină separări de cementită, figura 9.6.



*Fig.9.6. Fontă cenușie FcX250 cu grafit lamelar fin, perlită și steadită, pentru mașini unelte*

*Fonte cu grafit vermicular turnate în piese.* Sunt fonte cenușii modificate folosind atât modificatori nodulizanți (Mg, Ce etc.) cât și antinodulizați (Ti, Al, Sb, Sn etc.) în oala de turnare la temperaturi de  $1400\div 1450^\circ C$ , după o încălzire prealabilă la  $1450\div 1550^\circ C$ . În aceste fonte forma grafitului este vermiculară ( $l/g=2\div 9$ ) în proporție de minim 80% distribuit într-o masă feritică, ferito-perlitică sau perlitică. Aceste fonte au o bună rezistență mecanică, au o bună rezistență la oxidare și la șoc termic, la oboseală, etanșeitate bună, așchiabilitate bună și se pot suda cu arc electric. STAS 12443-86 simbolizează aceste fonte prin Fgv300; Fgv350; Fgv400.

**Fonte cu grafit coral.** Sunt fonte care după turnare prezintă grafitul coral ( $l/g=2\div 4$ ) distribuit într-o bază metalică predominant feritică. Au proprietăți mecanice foarte bune, similare fontelor cu grafit vermicular. Se obțin prin solidificarea cu viteză mare de răcire (turnare în cochilă) a unor fonte cu puțin sulf (sub 0,02% S) sau cu adaos de zirconiu ( $0,3\div 0,5\%$ ).

**Fonte baintice.** Sunt fonte cenușii cu grafitul lamelar, vermicular, coral, nodular sau în cuiburi, care au masa metalică formată din baintă. Se mai numesc fonte cu masa metalică aciculară. Sunt fonte de mare rezistență mecanică, înlocuitoare ale oțelurilor, destinate pieselor în construcția de mașini puternic solicitate la uzare. Cele mai rezistente mecanic și

mai dure, sunt fontele bainitice care au în structură bainită inferioară.

Structurile bainitice se pot obține direct din turnare, sau în mod curent, prin călire izotermă. Fontele bainitice obținute direct din turnare sunt în general aliate, ele se vor supune ulterior unui tratament termic de revenire (variantele obținerii fontelor bainitice direct din turnare, fiind mai dificilă, se aplică rar și numai în cazul pieselor mari, la care aplicarea călirii izoterme nu este posibilă).

În România sunt standardizate doar fontele bainitice cu grafit nodular prin SR ISO 13169:1994 FgnB800; ... FgnB1400 (au rezistențe la rupere minime de 800÷1400 N/mm<sup>2</sup>).

SR EN 1564:1999 definește și simbolizează fontele bainitice ca fiind aliaje Fe-C turnate cu grafit în principal nodular, cu rezistență mecanică și reziliență foarte mari, obținute prin tratamente termice de călire izotermă (250÷400°C). Sunt indicate următoarele mărci: EN-GJS-800-8; EN-GJS-900-5; EN-GJS-1200-2; EN-GJS-1 400-1(alfanumeric) respectiv EN-JS190; EN-JS119; EN-JS1120; EN-JS1130 (numeric).

Fontele bainitice sunt destinate fabricării celor mai sollicitate mecanic piese din industria autovehiculelor, transporturilor, tractoarelor și mașinilor agricole și construcției de mașini în general.

## ***9.2. Aparatură și materiale***

Se vor folosi microscopie metalografice optice și epruvete din fonte, pregătite în prealabil pentru studiul metalografic. Identificarea probelor și a structurilor se va face cu ajutorul anexei care se va prezenta la laborator.

## ***9.3. Modul de lucru***

Se vor studia la microscopul metalografic optic, probe din fonte, pregătite în prealabil; structurile se vor reda grafic, prin desenare, și se vor indica constituenții metalografici existenți în fiecare probă.

## Laborator 10

### MICROSTRUCTURI ALE FONTELOR MALEABILE, NODULARE ȘI ALIATE

#### 10.1. Noțiuni introductive

Fontele aliate sunt aliaje Fe-C complexe care, pe lângă elementele însoțitoare (impurități normale), conțin elemente chimice introduse în mod voit (elemente de aliere) în scopul creșterii proprietăților fizico-mecanice, chimice și tehnologice. Se supun alierii, atât fontele albe cât și cele cenușii. Elementele de aliere modifică atât structura bazei metalice cât și a grafitului prin modificarea suprafeței, formei și repartizării acestuia. Elementele de aliere grafitizante (Si, Ni, Al, Co, Cu etc.) favorizează creșterea cantității de grafit și obținerea de fonte cenușii, în timp ce elementele antigrafitizante (Cr, Mo, Mn, V, W, Ti etc.) duc la micșorarea cantității de grafit, la obținerea de carburi în structură, și favorizează obținerea fontelor albe.

Elementele de aliere, modifică punctele eutectic (C); eutectoid (S) și de saturație al austenitei (E) în funcție de natura și cantitatea lor.

În fonte, elementele de aliere influențează structura și proprietățile astfel:

Nichelul - element grafitizant și gamagen determină creșterea durității și rezistenței la uzare abrazivă, de asemenea asigură obținerea fontelor austenitice, paramagnetice rezistente la coroziune, rezistente la temperaturi joase, rezistente la cald și la șoc termic.

Cromul - element antigrafitizant și alfagen durifică ferita, mărește rezistența la coroziune și la uzare abrazivă și refractaritatea fontelor.

Molibdenul - favorizează obținerea unor structuri perlitice foarte fine, cu mare rezistență mecanică, rezistență la uzare și tenacitate.

Manganul - este desulfurant puternic, este antigrafitizant și gamagen, favorizează obținerea fontelor austenitice, paramagnetice cu rezistență mare la coroziune și tenacitate la temperaturi scăzute.

Siliciul - element alfagen puternic grafitizant, mărește refractaritatea, rezistența la uzare în condiții de frecare cu ungere, fiind de asemenea nelipsit, pe lângă Ni și Cr, din fontele austenitice, paramagnetice.

Wolframul - este element alfagen, antigrafitizant și prin carburile ce le formează, finisează structura, mărește rezistența la rupere, fără a micșora reziliența fontelor.

Titanul și zirconiumul - sunt puternic dezoxidante și denitrurante, favorizează obținerea unui grafit foarte fin și măresc așchiabilitatea și refractaritatea fontelor.

Vanadiul - determină creșterea rezistenței la rupere, rezistenței la uzare abrazivă și refractarității fontelor. Asigură finisarea structurii.

Aluminiul - mărește foarte mult refractaritatea, dând structuri feritice sau austenitice. Aluminiul elimină fenomenul de creștere al fontelor.

Cuprul - este nelipsit din fontele aliate cu Ni și Cr, austenitice, paramagnetice, rezistente la coroziune în baze și acizi diluați, apă de mare. De asemenea este prezent pe lângă siliciu în fontele cenușii antifricțiune. În general, elementele de aliere în fonte cresc rezistența la rupere și duritatea în ordinea descrescătoare: Mo, Cr, Co, Ni, Mn etc

Fontele aliate, în funcție de natura și cantitatea elementelor de aliere sunt cu caracteristici mecanice superioare, refractare, rezistente la coroziune, rezistente la temperaturi criogenice (austenitice și paramagnetice), antifricțiune, rezistente la uzare abrazivă.

#### 10.1.1. Fonte aliate

##### 10.1.1.1. Fonte cenușii aliate cu caracteristici mecanice superioare

Sunt fonte de mare rezistență mecanică și tenacitate bună, cu grafit acicular sau nodular cu structura bazei metalice perlitică, bainitică, martensitică. Fontele cenușii aliate perlitice cu grafitul lamelar (2,5÷3,5% C; 1÷2,6% Si; 0,6÷0,8% Mn; 0,2÷0,6% P; 0,8÷5% Ni; 0,3÷0,8% Cr; 0,2÷1,5% Mo; ≤0,8% V; <3% Cu; 0,75÷1,5% Al) au rezistența la rupere de 300÷800 N/mm<sup>2</sup>. Sunt destinate industriei de locomotive, automobile, pistoane, roți dințate, arbori cotiți, axe cu came etc.

Fontele cenușii aliate bainitice sau martensitice cu grafit nodular au aceeași compoziție chimică, dar sunt călite energic și revenite sau călite izoterm la bainită și au proprietăți mecanice foarte mari. Fontele cenuși aliate bainitice sau martensitice cu grafit lamelar fin (acicular sau vermicular) au proprietăți mecanice mai mici. Fontele aliate bainitice și martensitice cu grafit nodular sau acicular sunt destinate organelor de mașini puternic solicitate mecanic. Aceste fonte nu sunt standardizate în România.



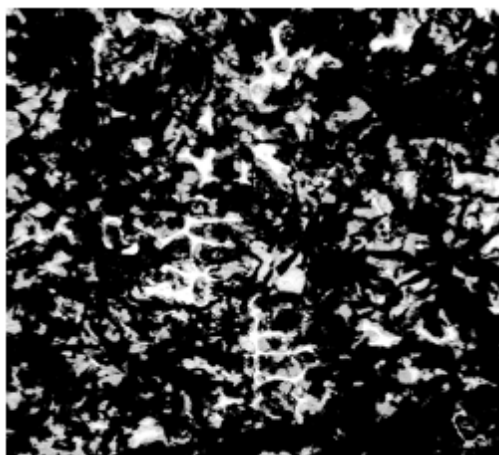
**Fig.10.1. Fontă cenușie perlitică pentru roți dințate**

#### *10.1.1.2. Fonte cenușii aliate antifricțiune*

Sunt fonte foarte rezistente la uzare cu frecare cu ungere, au grafitul lamelar fin, nodular sau în cuiburi și au structură perlitică, troostitică, bainitică, martensitică sau austenitică. Se aliază cu <0,4% Cr; <0,4% Ni; <0,1% Ti; <1,5% Cu; <0,8% Al; <12,5% Mn.

STAS 6707-79 simbolizează fontele antifricțiune astfel: Fc A1; Fc A2; Fc A3- fonte perlitice cu grafit lamelar, Fc A4- fontă austenitică cu carburi și grafit lamelar fin, Fgn A1; Fgn A2- fonte perlitice și perlito-feritice cu grafit nodular, Fm A1; Fm A2- fonte perlitice și perlito-feritice cu grafitul în cuiburi.

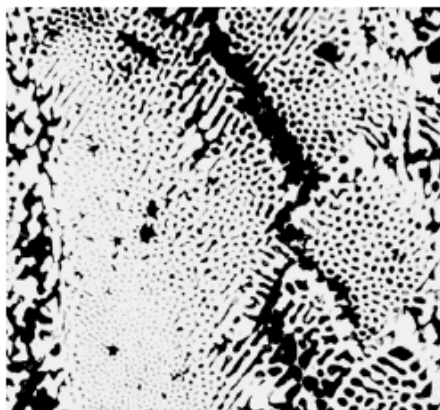
Structura unei fonte cenușii aliate antifricțiune FCA2 este dată în figura 10.2. unde se evidențiază perlita, steadita și grafitul.



**Fig.10.2. Structura fontei antifricțiune FcA2**  
 10.1.1.3. Fonte albe aliate rezistente la uzare abrazivă

Sunt fonte destinate turnării de piese utilizate în instalații de sablare, măcinare ciment și minereuri, manipularea pământului și minereurilor etc. (palette, discuri, bile, blindaje, pompe, cuțite tăiat cărămizi crude, cilindri de laminor etc.). STAS 10246-79 simbolizează 6 mărci de fonte albe rezistente la uzare abrazivă: FaNiCr1; FaNiCr2; FaCrMo1; FaCrMo2; FaVCr; FaCr.

Structura unei fonte rezistente la uzare abrazivă cu 3,73% C; 0,27% Mn; 0,47% Si; 6,58% Cr; 2,84% Ni este prezentată în figura 10.3.



**Fig. 10.3. Structura ledeburitică a unei fonte albe rezistentă la uzare**

#### 10.1.1.4. Fonte aliate refractare

Sunt fonte aliate cu Si, Cr, Al rezistente mecanic și la oxidare la temperaturi înalte, rezistente la creștere în volum, la șoc termic și la fluaj. Au structura în funcție de natura și cantitatea elementelor de aliere. Astfel, fontele aliate cu până la 2,7% Cr au structura formată din grafit lamelar, perlită și carburi  $(FeCr)_3C$  și rezistă până la 650°C; fontele cu 16% și 30% Cr nu conțin grafit, ci numai ferită și carburi  $(FeCr)_7C_3$  și rezistă până la 1000°C; fontele aliate cu siliciu au structura formată din grafit lamelar sau nodular și ferită cu maximum 20% perlită, rezistă până la 750°C; fontele aliate cu aluminiu conțin în structură grafit lamelar sau nodular, ferită și maximum 10% carburi  $-Al_4C_3$ , rezistă până la 1200°C.

Așchiabilitatea fontelor refractare aliate cu Cr și Al este dificilă, în timp ce a fontelor refractare aliate cu Si este bună. Fontele refractare aliate cu Si sunt fragile la rece și nu rezistă la șocuri termice. Fontele aliate refractare se pot sau nu trata termic: cele aliate cu crom se



supun recoacerii de globulizare și călirii urmată de revenire, în timp ce fontele feritice aliate cu Si nu se tratează termic.

STAS 6706-79 simbolizează fontele aliate refractare astfel: FrCr0,4; FrCr0,7; FrCr1,5 etc. Din aceste fonte se execută piese ce lucrează în aer și gaze agresive la temperaturi de 600÷1000°C. Marca de fontă cu denumirea comercială nihard este o fontă foarte rezistentă la temperaturi înalte și simultan la uzare abrazivă.

#### *10.1.1.5. Fonte aliate rezistente la coroziune*

Sunt fonte bogat aliate cu 1÷2% Si; 0,8÷1,5% Mn; 12÷16% Ni; 1,5÷4% Cr; 6÷8% Cu; 2,7÷3,2% C, cu mare rezistență la coroziune în contact cu agenții chimici foarte agresivi (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> și HCl diluați) și o foarte bună rezistență la temperaturi mari. Cu toate că au un conținut mare de nichel ele sunt feromagnetice. Sunt utilizate în industria chimică, metalurgică și petrolieră. Nu sunt standardizate în România, dar se cunosc următoarele mărci cu denumiri comerciale:

-nirezist-este o fontă anticorozivă și refractară destinată pentru piese folosite în instalațiile de producere a acidului sulfuric, pentru cilindri de motoare cu ardere internă etc.;

-nicrosilal-este o fontă paramagnetică, rezistentă la coroziune și rezistentă la temperaturi înalte;

-nicrosil- este o fontă cu aceeași compoziție chimică ca și nicrosilalul, dar are în plus 5÷9% Cu și prezintă aceleași proprietăți și utilizări;

-duracid- este un aliaj Fe-Si fără carbon cu 13÷18% Si, este fragil, se prelucrează numai prin turnare și este foarte rezistent în acizi până la 750°C.

#### *10.1.1.6. Fonte aliate austenitice (paramagnetice)*

Sunt fonte cenușii cu grafit lamelar și nodular bogat aliate cu Ni, Mn, Cu, care au structura austenitică chiar și la temperaturi crogene. Au simultan rezistență foarte mare la temperaturi înalte, sunt anticorozive, au rezistență mecanică și la uzare precum și tenacitate mare la temperaturi foarte scăzute (criogene). Sunt aliate cu 1÷6% Si; 0,5÷7% Mn; 14÷34% Ni; 0,2÷5,5% Cr; 0,5÷7,5% Cu; <0,08% P; 2,4÷3% C.

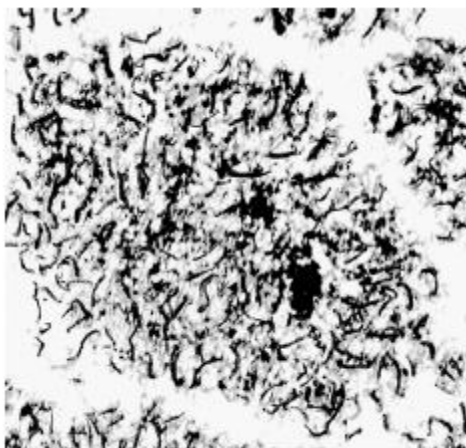
STAS 10066-75 indică 20 de mărci de fonte paramagnetice (criogene) simbolizate astfel: FalNiMn13.7; FalNiCuCr15.6.2; FalNiCr20.2; etc. Aceste fonte sunt prelucrabile prin așchiere, se pot suda prin arc electric cu preîncălzire și după sudare se aplică o detensionare. Prin călire în ulei sau apă, aceste fonte se durifică, iar prin normalizare se înmoaie. Aceste fonte în funcție de natura și cantitatea de elemente de aliere, rezistă la coroziune și eroziune, rezistă la uzare la temperaturi mari și mici, rezistă la șoc termic. Se cunosc mărci de fonte paramagnetice cu denumiri comer-ciale: nirezist, nicrosilal, nicrosil, nomag, cingal, piroferal etc.

SR ISO 2898:1994 simbolizează mărcile de fontă aliată austenitice astfel: L-NiMn13.7; L- NiCuCr15.6.2 etc.care sunt fonte cu grafitul lamelar și S- NiMn13.7; S- NiCr20.2 etc. care sunt fonte cu grafit nodular.

#### *10.1.1.7. Fonte fosforoase pentru saboți de frână*

Sunt fonte de fricțiune destinate saboților de frână de vagoane și locomotive, aliate cu fosfor (0,8÷1,55%) care au în structură perlită cu maxim 5% ferită, cu grafit lamelar și eutectic fosforos (F<sub>α</sub> + Fe<sub>3</sub>C + Fe<sub>3</sub>P) denumit steadită, repartizat uniform și sub formă de rețea continuă. Au un coeficient foarte mare de frecare, au rezistența mecanică foarte scăzută, motiv pentru care saboții se toarnă pe o armătură (șină) din oțel, care să le imprime rezistența

mecanică necesară. Cantitatea de mangan din aceste fonte de fricțiune trebuie să satisfacă relația:  $(1,72 S + 0,3) < \%Mn < 1$



*Fig.10.4. Structura fontei de fricțiune aliată cu fosfor P10*

SR ISO 945:1992 în conformitate cu codul UIC (Uniunea Internațională a Căilor Ferate) indică două mărci de fonte fosforoase pentru saboții de frână: P10 și P14. În mod curent saboții de frână pentru material rulant (vagoane și locomotive) se execută din P10. Saboții de frână se pot executa și din P14 numai pe baza unei derogări de la U.I.C.

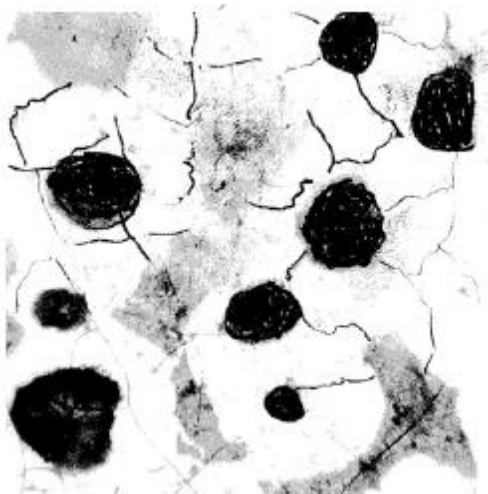
Structura fontei de fricțiune aliată cu fosfor P10 este dată în figura 10.4., unde se evidențiază baza metalică perlitică, steadita în rețea albă continuă și grafitul lamelar.

#### 10.1.2. Fonte cu grafit nodular turnate în piese

Sunt fonte cenușii modificate în oala de turnare, când la temperaturi de  $1400 \div 1450^{\circ}\text{C}$ , înainte de turnarea în forme, se introduc modificatori antigrafitizanți ca: magneziu, ceriu, magneziu-aluminiu în cantități mici (sub 1%). Pentru a preveni formarea cementitei libere, uneori se aplică după compactizarea grafitului o recoacere de grafitizare sau o postmodificare cu modificatori grafitizanți: Fe-Si-Ba; Si-Ca-Ba; Fe-Si; Si-Ca-Zr etc. introduși în jetul de turnare din oală în forma piesei.

Proprietățile mecanice cresc odată cu creșterea cantității de perlită. Capacitatea de amortizare a vibrațiilor a fontelor cu grafit nodular este mai mică decât la fontele cenușii cu grafit lamelar. Aceste fonte, având rezistență mecanică și la uzare mari, se utilizează cu precădere în construcția de automobile și tractoare (axe cu came, furci, arbori cotiți etc.). De asemenea se folosesc pentru armături, hidroaparatură, lingotiere, cilindri de laminor, țevi de aducțiune apă etc.

STAS 6071-82 simbolizează aceste fonte cu grafitul nodular cu grupul de litere Fgn (fontă cu grafit nodular) urmat de un grup de cifre ce reprezintă rezistența minimă la rupere în și un alt număr ce exprimă alungirea: Fgn370-17; Fgn 400-12; Fgn 450-5; Fgn500-7; Fgn600-2; Fgn700-2; Fgn800-2. Primele două mărci sunt feritice, ultimele trei mărci sunt perlitice, iar celelalte sunt perlito-feritice. Structura unei fonte ferito-perlitice cu grafitul nodular este dată în figura 10.5.



*Fig. 10.5. Fontă cu grafit nodular ferito-perlitică Fgn 450-5*

SR ISO 1083:1993 simbolizează aceste fonte prin două grupe de numere (rezistența minimă la rupere și alungirea: 900-2; 800-2; 700-2; 600-3; 500-7; 450-10; 400-15; 400-18; 350-22. Prima marcă de fontă are structura formată din bainită sau martensită de revenire.

SR EN 1563: definește aceste fonte ca fiind aliaje Fe-C cu grafitul nodular (fonte ductile) și le simbolizează alfanumeric: EN-GJS-350-22; EN-GJS-400-18-LT (RT); EN-GJS-400-18 etc; sau numeric prin: EN-JS1015; EN-JS1014; EN-JS1010 etc. Literele LT înseamnă temperatura scăzută, iar RT înseamnă temperatura ambiantă cu referire la reziliență, (J-fontă; S-sferoidal).

Simbolizarea după duritate este: EN-GJS-HB130; EN-GJS-HB 150 ...EN-GJS-HB330, respectiv numerică: EN-JS2010; EN-JS2030 ...EN-JS2090; EN-JS2010. Literele U, S sau C la finalul simbolului au aceeași semnificație ca și la fontele cu grafit lamelar (probă atașată turnată separat sau prelevată din piesă).

Fontele bainitice cu grafitul nodular se simbolizează prin SR ISO 13169:1993 prin: FgnB800; FgnB900; FgnB1000; FgnB1000; FgnB1200; FgnB1400; (cifrele reprezintă rezistența minimă la rupere). Se obțin prin călire izotermă cu mențineri între 235 și 450°C după încălziri de minim 10 ore la 950°C.

### 10.1.3. Fonte maleabile turnate în piese

Sunt fonte cenușii formate dintr-o masă metalică de bază feritică, ferito-perlitică sau perlitică în care se află inserat grafitul aglomerat în cuiburi, denumit carbon grafit de recoacere, caracterizat prin raportul  $l/g=1,5\div 2$ . Datorită acestei forme a grafitului fontele maleabile sunt mai rezistente, mai tenace și mai plastice decât fontele cenușii cu grafit lamelar.

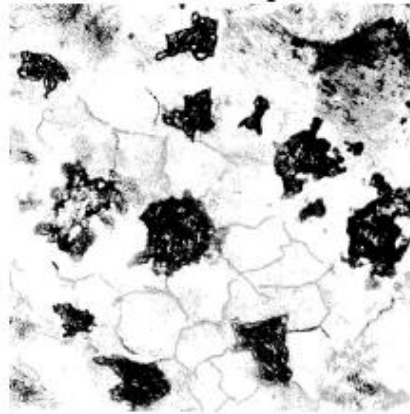
Se obțin printr-o recoacere de maleabilizare (grafitizare) a fontei albe hipoeutectice cu 2,2÷3,2% C; 0,5÷15% Si; 0,4% Mn; max. 0,2% P și max. 0,1% S.

Fabricarea pieselor din fontă maleabilă se face în două etape distincte: turnarea pieselor din fontă albă perlito-cementitică și tratamentul termic de maleabilizare, când prin descompunerea cementitei se obține grafitul aglomerat în cuiburi.

În funcție de structura bazei metalice, rezultată în urma recoacerii de maleabilizare, există trei tipuri de fonte maleabile: cu miez negru, cu miez alb și perlitice.

1. Fonte maleabile cu miezul alb. Se obțin prin recoacere grafitizantă (de maleabilizare) prin împachetarea pieselor într-un mediu oxidant (minereu de fier, țunder) și încălzirea lor la

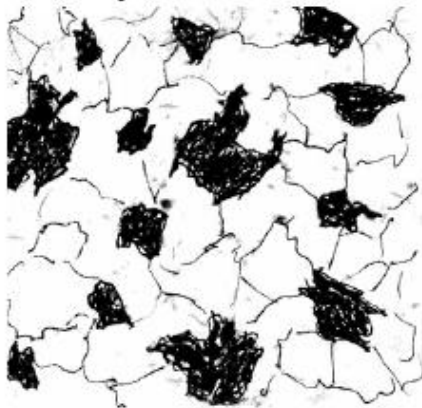
950÷1050°C, 40÷150 ore, urmată de răcire continuă cu viteză relativ mare.



**Fig. 10.6. Fontă maleabilă cu miezul alb  $P+Fa$ .+grafit în cuiburi – Fma-400**

În timpul menținerii la temperatura de recoacere, se descompune numai cementita liberă, în austenită și grafit, rezultând în final o structură în miez, perlitică sau perlito-feritică cu grafitul în cuiburi în cantitate relativ mică, figura 10.6., care dă culoarea deschisă a miezului pieselor. La exterior piesele rezultă decarburate de către mediul oxidant de încălzire, având structura feritică fără grafit și sunt mai închise la culoare.

2. Fonte maleabile cu miezul negru. Sunt fonte a căror structură în toată raft în cuiburi în cantități mari. Se obține prin grafitizare completă, prin încălzirea pieselor împachetate într-un mediu neutru, urmată de menținere, când se descompune cementita liberă în austenită și grafit, urmată de o răcire dirijată, când se descompune cementita din perlită în ferită și grafit.



**Fig. 10.7. Fontă maleabilă cu miezul negru  $Fa$ +grafit în cuiburi Fmn**

Astfel, în final, structura acestor fonte va fi formată din ferită și mult grafit în cuiburi, figura 10.7. care imprimă o culoare neagră casurii. Fonta maleabilă cu miezul negru are o plasticitate mai mare și o duritate mai mică decât fonta maleabilă albă, datorită structurii feritice a acesteia.

3. Fonte maleabile perlitice. Sunt fonte a căror structură a masei metalice este în totalitate perlitică sau este formată din alți constituenți bifazici în afară de echilibru (sorbită, troostită sau bainită). Se obțin prin încălzirea pieselor împachetate în mediu neutru (nisip) la temperaturi de 920÷950°C, mențineri, urmate de răcire cu viteză continuă mai mică sau mai mare, astfel că cementita din perlită nu se mai descompune.

STAS 569-79 simbolizează fontele maleabile prin grupul de litere Fma (fonte maleabile cu miezul alb), Fmn (fonte maleabile cu miezul ne-gru) și Fmp (fonte maleabile perlitice) urmat de un grup de cifre care reprezintă rezistența minimă la rupere: Fma350; Fma400 etc.

SR ISO 5922:1995 simbolizează fonta maleabilă cu literele: W- fontă maleabilă cu inima albă; B – fonta maleabilă cu inimă neagră și P- fonta maleabilă perlitică, urmate de

două grupe de numere care reprezintă rezistența minimă la rupere, respectiv alungirea în procente: W35-04; W38-12; W40-05; W45-07; B30-06; B32-12; B35-10; P45-06; P50-05 etc.

Conform SR EN 1560:1999 fontele maleabile se simbolizează folosind literele: EN-euronorm; G- piesă turnată; J- fontă; M- fontă maleabilă; W- albă; B- neagră; P- perlitică, urmate de două grupe de cifre care reprezintă rezistența minimă la rupere, respectiv alungirea și în final de o literă care reprezintă proven separat; U- epruvetă atașată de piesă.

SR EN 1562:1999 definește și simbolizează două categorii de fonte maleabile:

- *fontă maleabilă cu inima albă*, decarburată în medii oxidante reprezintă o fontă albă obținută prin turnare și supusă unui tratament termic în atmosferă decarburantă care determină transformarea ei într-un material decarburat parțial sau total cu structurile F $\alpha$ , P, M etc. cu grafit denumit carbon de recoacere.

Simbolizarea alfanumerică respectiv numerică este: EN-GJMW-350-4; EN-GJMW-360-12; EN-GJMW-400-5; EN-GJMW-450-7;

- *fontă maleabilă cu inimă neagră* (nedecarburată) reprezintă o fontă albă obținută prin turnare și supusă ulterior unui tratament termic fără decarburare. Simbolizarea alfanumerică respectiv numerică este: EN-GJMB-300-6; EN-GJMB-350-10; EN-GJMB-450-6; EN-GJMB-500-5; EN-GJM 550-4; EN-GJMB-600-3.

Marca EN-GJMB-300-6 este destinată pieselor cu mare etanșeitate la presiune. Structura bazei metalice a acestor fonte poate fi: perlito-feritică; perlitică, sorbitică, bainitică sau martensitică.

Fontele maleabile sunt forjabile în domeniul de temperaturi 600÷900°C și se pot lamina la 950÷1050°C. Au o prelucrabilitate bună prin așchiere și permit tăierea filetelor.

Din fonta maleabilă cu miezul alb se execută piese mici (sub 1 Kg) cu formă complexă și grosimea peretelui uniformă de 3÷30mm (armături și fittinguri filetate). Fonta maleabilă cu miezul negru se folosește la piese mai mari, cu grosimea pereților inegală (3÷40mm) cum sunt tamburi de frână, axe cu came, lagăre, carcase etc.

## **10.2. Aparatură și materiale**

Se vor folosi microscopie metalografice optice și epruvete din fonte, pregătite în prealabil pentru studiul metalografic. Identificarea probelor și a structurilor se va face cu ajutorul anexei care se va prezenta la laborator.

## **10.3. Modul de lucru**

Se vor studia la microscopul metalografic optic, probe din fonte, pregătite în prealabil; structurile se vor reda grafic, prin desenare, și se vor indica constituenții metalografici existenți în fiecare probă.

## Laborator 11

### MICROSTRUCTURI OBTINUTE PRIN TURNARE, DEFORMARE ȘI SUDARE

Cea mai mare parte a materialelor metalice utilizate sunt obținute prin diferite procedee din minereurile ce le conțin, însă foarte puține dintre acestea sunt utilizate direct în forma obținută la elaborare. De aceea, după elaborare, materialele metalice sunt transformate în semifabricate sau piese finite prin diverse procedee tehnologice: turnare, deformare plastică, așchiere, tratamente termice etc.

Proprietățile chimice, fizico – mecanice și structurale ce caracterizează un anumit material metalic diferă, la același tip de material, în funcție de tipul de prelucrare ce l-a suportat anterior.

Tipul de prelucrare care a fost aplicat unui material metalic (turnare, deformare plastică, sudare, tratament termic etc) poate fi recunoscut ușor după forma, mărimea și modul de repartizare a grăunților în interiorul materialului.

#### 11.1. Structuri obținute în urma prelucrării prin turnare

##### 11.1.1. Noțiuni introductive

Turnarea este o metodă tehnologică de realizare a semifabricatelor și, mai rar, a pieselor finite, prin solidificarea într-o cavitate de formă și dimensiuni prestabilite, a unei cantități de material metalic lichid.

Există o serie de factori foarte importanți care determină structura obținută la turnare:

- *factori interni*: capacitatea de cristalizare sau viteza de germinare (numărul de centre de cristalizare ce se nasc în unitatea de timp și în unitatea de volum –  $Q_{cr}$ ) și viteza de cristalizare ( viteza de creștere liniară a cristalelor în unitatea de timp -  $V_{cr}$ ).
- *factori externi*: temperatura maximă de încălzire, temperatura de turnare, felul turnării, viteza de răcire, calitatea și materialul formei etc.

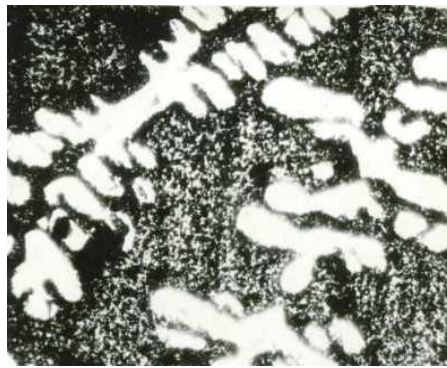
În timpul procesului de răcire, germenii de cristalizare formați din topitură cresc pe direcțiile principale, apoi pe cele secundare, terțiare etc. Prin depunerea de materie cristalină până la epuizarea creșterii (atunci când cristalele sau dendritele vecine incomodează creșterea), se formează un grăunte cu o configurație exterioară neregulată denumit **cristalit**.

Cristalitele pot avea formă:

- *poliedrică* atunci când forma exterioară se apropie de forma geometrică a cristalului, cu muchii rotunjite, strivite (figura 11.1–care reprezintă structura unui oțel carbon turnat, marca OT-450 (230 – 450). Acest tip de structură obținut prin turnare este asemănător cu cel obținut în urma recoacerii, existând totuși deosebirea dată de faptul că la turnare rezultă grăunți cu margini sinuoase, pe când la recoacere aceștia au un contur poligonal. Există posibilitatea ca la unele metale ce cristalizează în sistem hexagonal (Mg, Zn), în stare turnată, să prezinte chiar macle de deformare datorate eforturilor de contracție din timpul solidificării.
- *dendritică* atunci când formațiunile cristaline au formă arborescentă (figura 11.2.-care reprezintă structura formată din soluție solidă  $\alpha$  și eutectic distribuit dendritic, a unui aliaj de aluminiu cu siliciu modificat, în stare turnată AISi 11).



**Fig.11.1. OT 450 (230-450).  
Grăunți mari de perlită și ferită.**



**Fig.11.2. AlSi 11Aliaj ATSi11 turnat.  
Soluția solidă dendritică și eutectică**

Grăunții echiaxiali obținuți la cristalizare pot fi de *dimensiuni mici*, atunci când capacitatea de cristalizare și viteza de cristalizare sunt mari, de *dimensiuni mari*, atunci când capacitatea de cristalizare și viteza de cristalizare sunt mici sau pot avea *formă columnară* atunci când capacitatea de cristalizare este mică dar viteza de cristalizare este mare.

De aceea, în cazul turnării pieselor de dimensiuni mari, structura interioară nu este omogenă deoarece la exterior viteza de răcire este mai mare și se obține o granulație mai fină decât la interior, unde viteza de răcire este mai mică, iar grăunții au dimensiuni mari.

Cu cât un material metalic este mai pur, cu atât mai grosolană va fi structura obținută la turnare, deoarece elementele de aliere au rolul de a crește capacitatea de cristalizare și de a finisa structura prin germeii străini pe care-i formează. De asemenea, o structură grosolană mai poate fi determinată de o supraîncălzire a băii metalice topite deoarece la temperatură ridicată germeii proprii și străini de cristalizare se topesc, micșorând astfel capacitatea de cristalizare.

Astfel, un grăunte mic poate fi obținut numai printr-o suprarăcire accentuată, când se nasc un număr mare de centre și germeni de cristalizare determinând finisarea structurii.

În materialele metalice apar foarte des fenomene de segregatie macroscopică și microscopică provocate de procesul selectiv de cristalizare a materialului turnat.

### 11.1.2. Aparatură, materiale, mod de lucru

Se vor folosi microscopie metalografice optice și probe de materiale metalice turnate din diverse aliaje. Materialele de cercetat vor fi specificate într-o anexă ce va fi prezentată la ora de laborator.

Se va urmări la microscopul metalografic să se pună în evidență aspectul structural (poliedric sau dendritic) al acestor materiale. Structurile cercetate vor fi redată grafic prin desenare.

## 11.2. Structuri obținute în urma deformării plastice

### 11.2.1. Noțiuni introductive

Deformarea plastică este metoda de prelucrare a materialelor metalice în stare solidă prin modificarea permanentă a formei acestora, cu menținerea constantă a volumului, sub acțiunea unor forțe exterioare, în vederea obținerii de semifabricate sau piese finite.

În cazul *monocristalelor*, deformarea se poate produce prin două fenomene: alunecarea pe planele de densitate maximă de atomi sau maclarea. Explicarea acestor două

fenomene implică existența cristalelor ideale (fără defecte punctiforme, liniare sau de suprafață).

Astfel, *alunecarea* se produce pe un număr restrâns de plane (cca 1% din total) separate prin benzi de material nedeformat, astfel încât integritatea materialului rămâne aceeași. Alunecarea începe pe acele plane ce formează un unghi de  $45^\circ$  cu direcția de acționare a forței și se produce pe o distanță egală cu un număr întreg de distanțe interatomice.

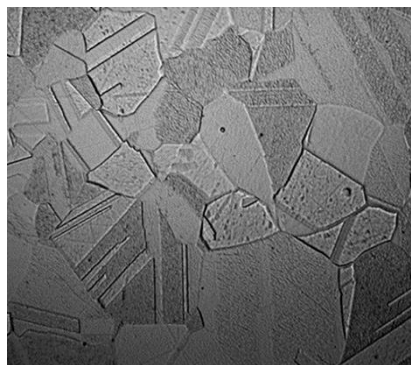
*Maclarea* nu produce deformații plastice mari, reprezentând mecanismul de deformare plastică prin care o parte din cristal se dislocă deplasându-se simetric față de cealaltă parte, pe distanțe mai mici decât un spațiu interatomic. Are rolul de a schimba orientarea unor părți din cristal, favorizând astfel deformarea prin alunecare, singura care produce deformări mari în material.

În cazul cristalelor reale, deformarea plastică poate fi explicată numai prin teoria dislocațiilor (defecte liniare): sub acțiunea forțelor exterioare dislocațiile existente în cristal se deplasează până ce ies din cristal dând la suprafața acestuia linii asemănătoare cu cele de la alunecarea pură. Deformarea agregatelor policristaline începe cu alunecări produse în grăunții ale căror plane de alunecare fac unghiul cel mai apropiat de  $45^\circ$  cu direcțiile de acționare a forței. Când toți grăunții sunt în stare de deformare se spune că are loc *curgerea materialului* (deformare continuă la sarcină constantă). Rezistența opusă la deformare se datorează rezistenței opuse mișcării dislocațiilor în interiorul cristalului sau epuizării planelor de alunecare. O dată cu creșterea gradului de deformare, în materialul metalic recristalizat, se va obține o structură mai fină, deoarece la deformare participă toți grăunții obținându-se după deformare o structură din ce în ce mai uniformă, deci grăunți cu o stare energetică apropiată, mai puțin sensibili la creșterea ulterioară. În aceste materiale, deformate cu grad mai mare de deformare, după recristalizare se va obține o structură fină ce conferă materialului proprietăți maxime de rezistență.

Temperatura la care se produce recristalizarea scade odată cu scăderea gradului de deformare deoarece grăunții după deformare au un grad de fărâmițare mai mare și o instabilitate energetică mai mare. Creșterea temperaturii de încălzire după deformare are același efect ca și aplicarea unui grad critic de deformare, adică grăunții cresc pe măsura creșterii temperaturii. În figura 11.3.a,b, este prezentată structura unei bare de cupru deformată la rece și încălzită la temperatura de  $500^\circ\text{C}$  respectiv  $800^\circ\text{C}$ .



*Fig. 11.3.a. Cupru deformat plastic la rece și recristalizat incomplet.*



*Fig.11.3.b. Cuprul deformat plastic la rece și recristalizat complet.*

Deformarea plastică, indiferent de temperatura la care are loc, este însoțită de fenomenul de *ecruisare*, dar a cărui efecte (creșterea durtății, a rezistenței la rupere, scăderea



alungirii, rezilienței etc), rămân numai în urma deformării la rece (sub punctul critic de recristalizare).

Structura materialelor metalice deformate la cald (peste pragul de recristalizare) depinde de modul de răcire aplicat după deformare: la răcire în aer liber se obține o structură fină de grăunți echiaxiali de normalizare; la răcirea lentă odată cu cuptorul se obține structura de echilibru caracteristică tratamentului termic de recoacere.

Deformarea plastică la cald a majorității materialelor metalice este însoțită de fenomenul de recristalizare. Temperatura de sfârșit de deformare trebuie să fie situată cu puțin peste temperatura de recristalizare. Dacă temperatura de deformare este prea mare se va obține în urma răcirii o structură grosolană, iar dacă este sub temperatura de recristalizare se va obține o structură ecruisată.

### 11.2.2. Aparatură, materiale, mod de lucru

Se vor folosi microscopie metalografice și probe pregătite din materiale metalice care să ilustreze aspectele urmărite; probele de studiat vor fi indicate într-o anexă, ce se va da la ora de laborator.

În laborator se vor studia la microscopul metalografic optic probe metalografice provenite din materiale metalice deformate la rece și la cald cu diverse grade de deformare, evidențiindu-se grafic forma, mărimea și modul de dispunere a constituenților pentru fiecare probă.

## 11.3. Structuri obținute în urma sudării

### 11.3.1. Noțiuni introductive

*Sudarea* este o metodă de îmbinare fixă, nedemontabilă, a două sau mai multe corpuri solide, în condiții de temperatură și presiune.

În cadrul acestui procedeu are loc, fie sub influența presiunii, fie prin topirea simultană, locală, a materialelor respective, difuziunea reciprocă a materialelor metalice ce se îmbină astfel prin sudare, cu sau fără adaos de material străin.

Cea mai folosită metodă de sudare este cea prin topire locală, pe cale electrică, termică cu flacără, sau pe cale chimică (sudare cu termit, la care călaura este dată de reacția de reducere a oxidului de fier cu aluminiu). Deoarece topirea locală a materialelor metalice necesită o cantitate mare de căldură, structura și proprietățile fizico-mecanice în zona adiacentă îmbinării vor fi puternic influențate. Cantitatea de căldură implicit valoarea temperaturii, este maximă în zona materialului de depunere și scade pe măsură ce se îndepărtează de această zonă.

Cordonul de sudură constituie un loc cu o structură eterogenă, în care tensiunile interne, termice și structurale, au valori foarte mari și care de foarte multe ori duc la distrugerea integrității îmbinării prin fisurare.

Locul de îmbinare a materialelor metalice prin sudare este constituit din mai multe zone, în funcție de structura existentă, determinată de valoarea temperaturii în zona respectivă (figura 11.5.):

- 1- *zona materialului solidificat* (MS) - sau cusătura, care poate cuprinde două subzone:
  - subzona materialului de adaos (MA), notată cu (O) - este partea îmbinării rezultată în urma solidificării băii de sudură (amestec omogen de materiale metalice, electrod fuzibil cât și eventuale substanțe din învelișul electrodului în stare lichidă). Compoziția chimică a cusăturii poate fi diferită sau aceeași cu a materialului de bază.
  - subzona de trecere (ZT) reprezintă o parte foarte îngustă a îmbinării (1), care face

trecerea între cusătură și materialul de bază, a cărei compoziție chimică rezultă din amestecarea materialului electrodului, a substanțelor din învelișul electrodului și a materialului de bază. Uneori această zonă nu poate fi pusă în evidență.

2 - *zona influențată termic (ZIT)* - este zona din materialul de bază cu importante modificări structurale, cauzate de temperatura de sudare și de viteza de răcire. În subzonele vecine cusăturii vor avea loc transformări de fază, iar în subzonele mai depărtate vor avea loc doar modificări în forma și repartiția grăunților. Ca urmare, zona influențată termic este formată din mai multe subzone:

- subzona de supraîncălzire (2) - este vecină cu cusătura și datorită temperaturii mari este favorizată creșterea grăunților;
- subzona de normalizare (3) - are o granulație foarte fină;
- subzona transformărilor cu recristalizare incompletă (4) avînd o granulație neomogenă;
- subzona de recristalizare completă (5) - în care grăunții au dimensiuni mai mari decât cele inițiale ale metalului de bază.

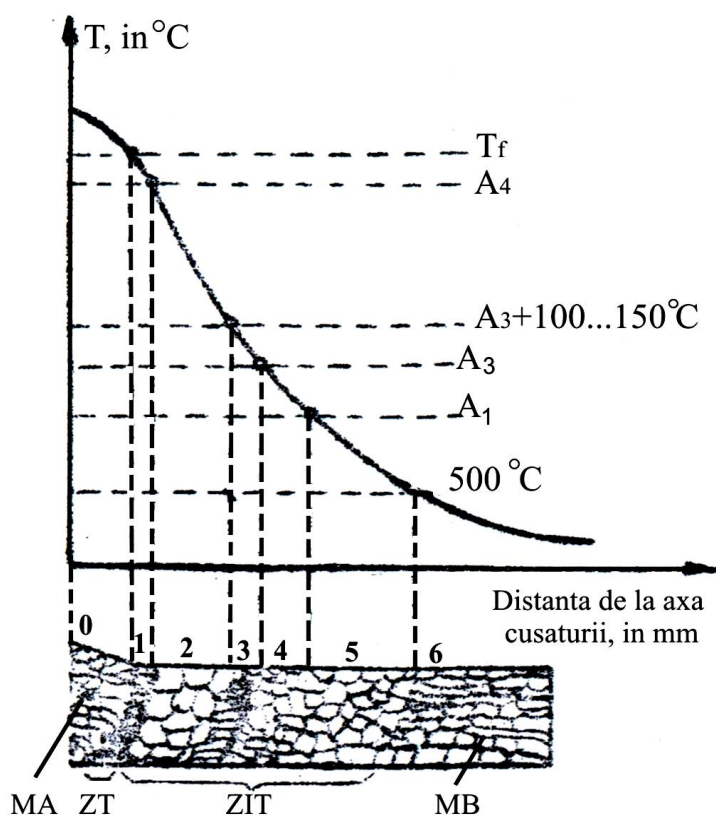
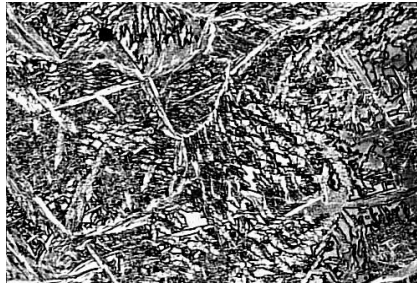


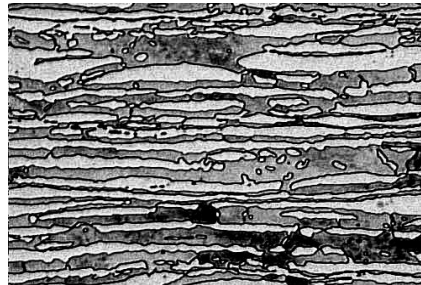
Fig. 11.5.

3 - *zona materialului de bază (MB)* - reprezintă partea din îmbinare a cărei structură și proprietăți nu au suferit nici o modificare datorită ciclului termic al sudării.

Structura zonei formate într-o îmbinare sudată prin topirea locală, pe cale electrică a unui oțel inoxidabil pot fi observate în figura 11.6, a, constând dintr-un amestec de austenită, ferită și faze sigma. Structura materialului de bază a aceluiași oțel, prezentată în figura 11.6, b este o structură formată din insule de austenită (deschise la culoare) într-o masă feritică (fundalul închis la culoare).

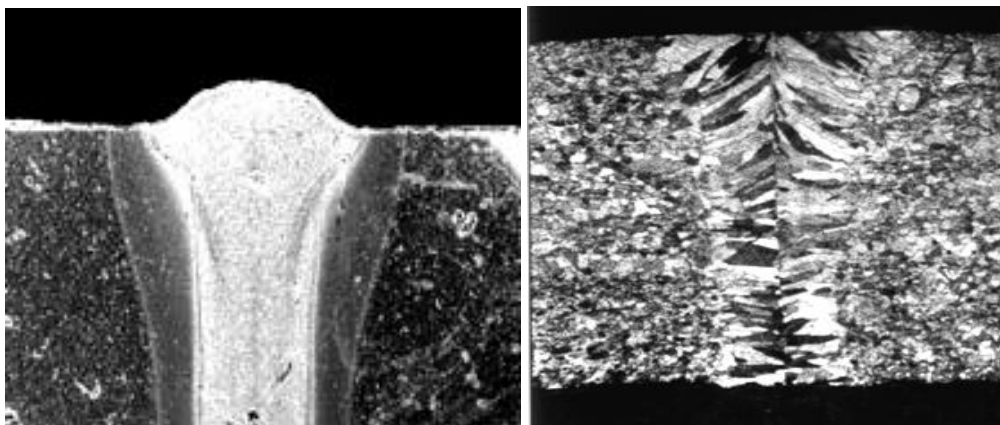


**Fig.11.6. a) Microstructura unei zone sudate dintr-un oțel inoxidabil (X 2 Cr Ni N 23 - 4)**



**Fig.11.6. b) Microstructura materialului de bază al aceluiași oțel inoxidabil (X 2 Cr Ni N 23 - 4)**

Subzona de recristalizare face legătura dintre zona materialului de bază neinfluențată termic și subzona transformărilor incomplete, după cum putem observa în figura 11.7, b). În această subzonă temperatura este situată între punctele critice  $Ac_1 - Ac_3$  deci în oțel se va produce transformarea perlită, dimensiunile grăunților de perlită fiind diferite față de cele ale grăunților din zona materialului de bază.



**Fig. 11.7. Secțiune într-un cordon de sudură, a unui oțel OL 37 (S235YR) la diferite mărimi la microscop**

Structura subzonei transformărilor incomplete, figura 11.7.a, b, dintr-un OL 37 (S235YR) sudat, conține grăunți de perlită, alături de grăunți mici și mari de ferită, deoarece alături de perlită numai o parte din grăunții de ferită a suportat transformarea de fază. Se observă de asemenea caracterul neomogen al structurii, datorat încălzirii de scurta durată peste  $Ac_3$ .

Subzona de normalizare, deoarece a fost încălzită la temperaturi superioare punctului critic  $Ac_3$ , iar viteza de răcire a fost moderată (răcire în aer), prezintă o structură foarte fină formată din perlită în insule mici și ferită poligonală.

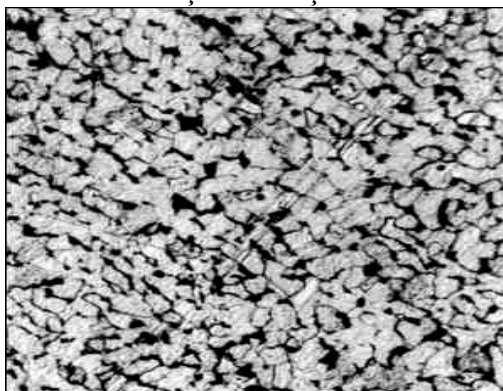
Trecerea de la subzona de supraîncălzire cu grăunți mari la cea de normalizare cu grăunți mici se observă în figura 11.8.



**Fig. 11.8. Oțel OL37 (S 235 YR) sudat. Zonă de supraîncălzire vecină cu zonă de normalizare.**

În subzona supraîncălzită, datorită temperaturii mari de încălzire, apropiată de temperatura de topire din austenita supraîncălzită, la răcire mai rapidă se formează structura Widmannstätten, care conferă îmbinării sudate caracteristici scăzute.

Structura materialului de adaos este caracteristică materialelor metalice la care viteza de cristalizare este mare, formându-se cristale columnare. Aspectul columnar al structurii din cusătură este dezavantajos deoarece mărește tendința de fisurare la cald a cusăturii.



**Fig. 11.9. Zonă recoaptă în oțelul P275N sudat.**

Când sudura se execută din mai multe treceri, straturile depuse anterior suferă transformări asemănătoare tratamentului termic de recoacere, prezentând o structură cu grăunți echiaxiali cu dimensiuni apreciabile, figura 11.9.

Finisarea cusăturii se face prin crearea unor centre de cristalizare străine în baie (compuși chimici de Ti, Al etc.), foarte fin dispersate sau prin folosirea undelor ultrasonore care agită baia împiedicând formarea structurii columnare prin mărirea capacității de cristalizare.

### 11.3.2. Aparatură, materiale, mod de lucru

Se folosesc microscopie metalografice și probe metalografice care ilustrează structura cordonului de sudură. Probele folosite și prezentarea lor vor fi indicate într-o anexă ce se prezintă la ora la lucrări.

În laborator vor fi puse în evidență, cu ajutorul microscopului metalografic optic, structurile caracteristice tuturor zonelor și subzonelor unor îmbinări sudate. Structurile respective vor fi redată grafic, evidențiindu-se forma și natura constituienților. Dacă este cazul, se vor reliefa și defectele apărute în cusătură.

## Laborator 12

### STRUCTURI DEFECTUOASE ÎN OȚELURI

#### 12.1. Noțiuni introductive.

Prin defect se înțelege abaterea de la formă, dimensiuni, masă, aspect exterior, macrostructură, microstructură, proprietățile mecanice și compoziția chimică prescrise prin standarde, norme sau înțelegeri contractuale. Defectele microscopice sunt abateri de la structura normală a materialelor metalice care pot fi depistate în urma studiului la microscop. Defectele microstructurale sunt rezultatul unor cauze obiective sau subiective ce intervin în timpul proceselor tehnologice de prelucrare.

Nerespectarea proceselor tehnologice de prelucrare duce la apariția unor defecte, unele remediabile, altele iremediabile. Fiecărui mod de prelucrare îi sunt caracteristice anumite tipuri de defecte.

*Defecte microstructurale apărute în urma turnării.* Majoritatea defectelor de turnare sunt de natură macroscopică. Defectele microstructurale produse prin procesul tehnologic de turnare sunt: mărimi de grăunte necorespunzătoare (cu dimensiuni prea mari, sau prea mici, mărimi neuniforme), segregării dendritice sau intercrystaline, strat decarburat, structură necorespunzătoare, transcristalizare, microretasuri, microfisuri. În general, în urma turnării, grăunțele obținut este grosolan, ceea ce determină scăderea proprietăților mecanice, iar gradul de neomogenitate structurală este mai mare. La exteriorul pieselor se obțin straturi cu grăunți foarte fini (cruste dure), urmate de zone cu cristale alungite, iar în miezul pieselor grăunții sunt grosolani și echiaxiali. Acest lucru impune aplicarea, după turnare, a unui tratament termic de recoacere de omogenizare și de finisare a structurii.

În figura 1 se observă o structură grosolană obținută prin turnarea unui oțel carbon. Grăunții foarte mari determină scăderea proprietăților mecanice. La prelucrările tehnologice, care presupun încălzirea, menținerea la o anumită temperatură și răcirea materialelor metalice (deformare plastică la cald, tratamente termice, tratamente termochimice etc.) apar defecte specifice unor etape caracteristice proceselor tehnologice: încălzire, menținere și răcire.

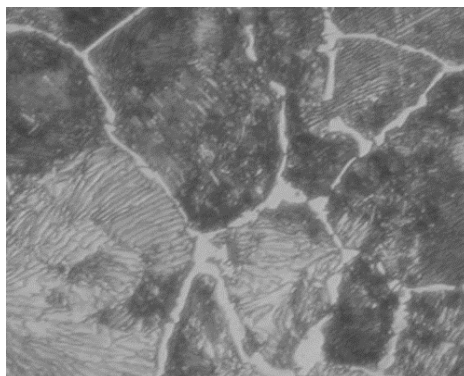


Fig. 1. structură grosolană obținută prin turnarea unui oțel carbon

*Defecte microstructurale ce apar la încălzirea materialelor metalice.* Supraîncălzirea, constă în creșterea exagerată a dimensiunilor grăunților de fază nou formată prin fenomenul de coalescență. Grăunții cu dimensiuni mari ce posedă energii minime cresc și înghit grăunții cu dimensiuni mici, ce au o energie mare, deci au o instabilitate termodinamică ridicată, datorită depășirii valorii optime a temperaturii de încălzire sau a unei mențineri îndelungate la

temperatura optimă de încălzire. Supraîncălzirea determină formarea unei structuri grosolane care conferă materialelor metalice proprietăți mecanice scăzute și o tendință mare spre formarea fisurilor. Structura grosolană apare doar la materialele metalice supraîncălzite, în timpul încălzirii pentru tratament termic sau la încălzirea materialelor deformate plastic la rece cu grad critic de deformare. Prezența în oțeluri a elementelor de aliere cum sunt: Cr, W, Mo, V, Ti, Nb micșorează tendința de creștere a grăuntelui obținându-se chiar la încălziri apreciabile o structură fină. Supraîncălzirea unui oțel bogat aliat cu Cr, W, Mo, V, (Rp3) determină dizolvarea carburilor în austenită și separarea ledeburitei la limitele grăunților de austenită cu dimensiuni mari.

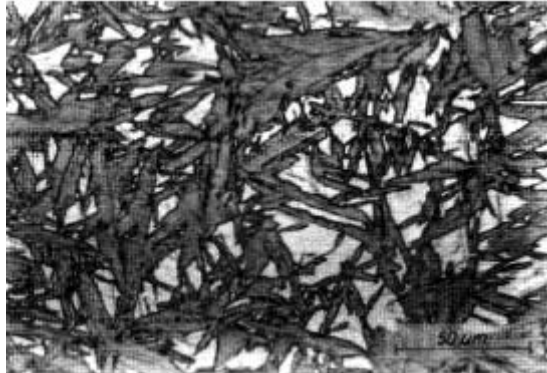


Fig. 2. Oțel cu 0,8%C, călit în apă cu supraîncălzire de la 1100°C. Martensită grosolană și austenită reziduală

Structura grosolană se elimină prin recoacere completă sau prin normalizare.

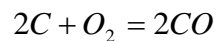
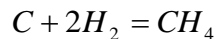
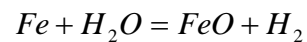
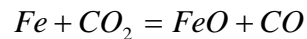
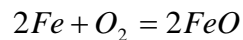
La încălzirea oțelurilor hipoeutectoide la temperaturi ridicate (supraîncălzire), urmată de o răcire cu viteză mare (grad mare de suprarăcire), ferita pătrunde sub formă de fâșii în interiorul grăuntelui de austenită. Perlita ce se formează din austenită la răcirea ulterioară cristalizează între fâșiile de ferită obținându-se în final o structură formată din grăunți mari de perlită traversați de benzi de ferită numită structură Widmannstätten, fig. 3. Acest tip de structură apare și la oțelurile hipereutectoide, când se observă o aranjare similară a cementitei în interiorul grăuntelui de perlită. Această structură imprimă oțelurilor o fragilitate ridicată, ea putând fi înlăturată printr-o recoacere completă.



Fig. 3. Structură Widmannstätten

- Oxidarea și decarburarea – sunt defecte ce se datorează încălzirii oțelurilor la temperaturi ridicate în exces de aer sau în alte medii oxidante și reducătoare. Aceste defecte în general sunt superficiale dar, datorită fenomenului de difuzie, la încălziri prelungite

decarburarea poate conduce la schimbarea conținutului de carbon în toată masa. Aceste defecte apar în mod curent pe suprafața fisurilor existente în interiorul pieselor metalice anterioare încălzirii. La temperaturi ridicate au loc reacții chimice între masa oțelului și mediu de încălzire care determină modificarea compoziției chimice inițiale a oțelurilor:



Deci  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$  sunt oxidante, iar  $H_2$  și  $O_2$  sunt medii care decarburează masa oțelului. Evitarea oxidării se face prin încălzirea oțelurilor în medii neutre  $\left(\frac{CO_2}{CO} < \frac{4}{20}\right)$  și  $\left(\frac{H_2O}{H_2} < \frac{1}{20}\right)$  sau atmosfere controlate, prin încălziri rapide în domeniul temperaturilor mari unde reacțiile se produc foarte intens. Oxidarea este un defect iremediabil. Decarburarea se evită prin încălzirea oțelurilor în medii carburigene (așchii de fontă, în mediu de CO sau  $CH_4$ ).

Arderea – este un defect iremediabil care este produs de pătrunderea oxigenului în spațiile dintre cristalele materialului supus încălzirii la temperaturi înalte (în apropiere de curba solidus); cu această ocazie se produce topirea impurităților de la limita de separație a grăunților, topire care favorizează oxidarea acestor limite.

În urma arderii materialul devine sfărâmișos, fără rezistență și fără elasticitate, datorită dispariției forțelor de coeziune dintre grăunți. Defectul este foarte grav mai ales când pelicula de oxid ce înconjoară grăunții este continuă. Oțelurile bogat aliate cu Cr, W, Mo, V, Si nu se oxidează intercristalin, în ele însă, după încălziri peste  $1300^\circ C$ , apare defectul de ardere care constă în topirea parțială a materialului, iar structura acestor oțeluri (exemplu Rp3) arse prezintă grăunți mari de austenită cu oxizi în separări ledeburitice, în locurile unde s-a produs topirea locală. La aceste oțeluri aliate cu Si, W, Co, Mo, datorită încălzirii la temperaturi ridicate, carburile se pot descompune parțial, iar grafitul rezultat se poate aglomera în diverse zone dând un aspect deosebit suprafeței de rupere; defectul se numește „spărtură neagră”.

*Defecte microstructurale obținute în urma tratamentelor termice.* Defecte la recoacere și normalizare se obțin atunci când nu sunt respectate temperatura de încălzire, timpul de menținere sau viteza de răcire și răcirii cu viteze apreciabile se obține o dispersie mare a fazelor ferită și cementită ce determină creșterea durtității. Dispunerea cementitei sub formă de rețea în oțelurile hipereutectoide este cauza creșterii fragilității acestor oțeluri în stare recoaptă. Distrugerea rețelei de cementită se face prin încălzire în domeniul austenitic (peste  $Ac_{cem}$ ) urmată de o răcire în ulei, răcire cu o viteză mare pentru a se împiedica formarea din nou a cementitei în rețea; după aceasta se aplică o recoacere incompletă (peste Ac, cu  $30 - 40^\circ C$ ), în urma căruia cementita se obține sub formă globulară. Defectele obținute la călirea și revenirea oțelurilor se datorează nerespectării temperaturii de încălzire, când se pot obține pete moi de ferită (la încălzirea incompletă – sub  $Ac_3$  – a oțelurilor hipoeutectoide) sau se obțin defectele de supraîncălzire, ardere, decarburare, oxidare, când temperatura de încălzire a fost cu mult depășită.

Petele moi pe suprafața pieselor călite pot fi cauzate de: formarea unei pelicule de vapori în jurul piesei la răcire, prezența oxizilor pe suprafața piesei, încălzirea neuniformă pentru călire, decarburarea la oțelurile hipoeutectoide la călire incompletă etc.; folosind ca

mediu de răcire o soluție de 9% NaCl + 3% NaOH (care în mod practic nu formează peliculă de vapori) evită formarea acestor pete moi superficiale sau în profunzime. Petele moi provoacă frecvent apariția fisurilor la suprafața pieselor .

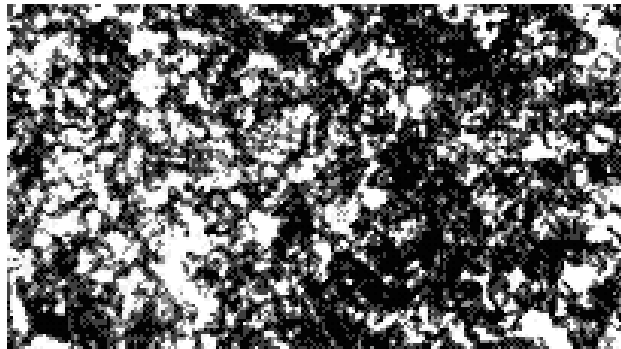


Fig. 4. Pete moi

Apariția fisurilor în piesele de oțel călite poate fi cauzată de un grăunte grosolan de austenită, încălzire neuniformă sau cu viteză mare, răcire neuniformă datorită poziției greșite în mediul de răcire, viteză prea mare de răcire, existența unor concentratori de tensiuni (canale, treceri bruște de la o secțiune la alta etc.).

Martensita grosolană, care se obține dintr-un grăunte de austenită cu dimensiuni mari, este foarte fragilă scăzând proprietățile mecanice; constituie tot un defect. Se remediază prin repetarea călirii de la temperatura prescrisă. Defectele microstructurale ce se obțin în urma revenirii apar datorită nerespectării temperaturii de încălzire când se obțin alți constituenți intermediari decât cei urmăriți sau răcirii cu viteză necorespunzătoare, când pot reapărea tensiunile interne dacă viteza este prea mare sau în cazul oțelurilor Cr-Ni apare fragilitatea de revenire, dacă viteza de răcire este prea mică.

*Defecte microstructurale la tratamente termochimice.* La cementarea oțelurilor, datorită temperaturii ridicate și menținerii îndelungate, în stratul exterior, unde difuzează carbonul, apare cementita în rețea, ce imprimă acestuia fragilitate ridicată. După călire pot apărea în stratul exterior fisuri și aceasta se poate explica cu ușurință. Rețeaua de cementită se înlătură în urma unui tratament termic de dublă călire. Prezența nitruților în cantitate mare în stratul exterior al oțelului nitrurat, imprimă de asemenea o fragilitate ce constituie cauza exfolierii stratului superficial tratat.

*Defecte provenite în urma deformării plastice.* Deformarea plastică la cald trebuie efectuată în limite precise de temperatură.

Terminarea deformării plastice la o temperatură prea mare determină apariția structurii grosolane în oțel, în timp ce deformarea plastică la o temperatură prea joasă lasă materialul în stare ecrusată, cu o structură fibroasă, ce determină o anizotropie pronunțată a oțelului. Structura fibroasă cât și starea ecrusată se elimină printr-o recoacere de recrystalizare. Structura cu grad mare de orientare în benzi a constituenților, întâlnită la oțelurile laminate la cald, este o structură nefavorabilă proprietăților mecanice, eliminarea ei făcându-se printr-o recoacere completă.

Structura fibroasă în stare ecrusată a oțelurilor deformate la rece cu grad mare de deformare este o cauză a apariției fisurilor la continuarea deformărilor plastice. Acest lucru impune ca între diferitele treceri la laminarea la rece (tragerea, trefilarea etc.) să se aplice recoacerea de recrystalizare care să elimine această structură fibroasă și starea ecrusată.



În materialele deformate plastic la rece apare defectul numit „fulgi” (fig. 5)cauzat de existența hidrogenului atomic care difuzează cu ușurință prin rețeaua cristalină a oțelului până la întâlnirea defectelor de rețea (micropori, goluri) în care se aglomerează sub formă moleculară creând presiuni foarte mari, ce depășesc limita de rezistență a oțelului, producând microfisuri locale (fulgi).

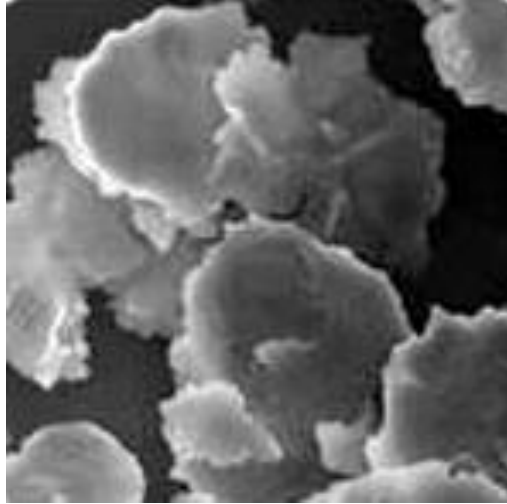


Fig. 5. Fulgi

*Defecte microstructurale la sudare.* Sudarea prin topire determină formarea unei structuri foarte eterogene (în zona cordonului de sudare). Obținerea unei structuri grosolane sau Widmannstätten în zona supraîncălzită a cordonului duce la scăderea proprietăților mecanice și constituie un pericol de apariție a fisurilor. Eliminarea acestui defect se face aplicând ulterior sudării o recoacere completă.

De asemenea în zona cordonului de sudură pot să apară fulgi în cazul sudării cu electrozi umezi sau care au un conținut mare de hidrogen în înveliș. Prelucrările tehnologice de turnare, deformare plastică, tratamente termice, sudare în afară de defectele microstructurale introduc și alte defecte macrostructurale: de formă, de suprafață, abateri dimensionale, discontinuități, fisuri, sufluri, porozități, retasuri, deformații remanente. De asemenea pot produce abateri de la compoziția chimică și de la proprietățile fizico-mecanice și chimice etc.

### ***12.2. Aparatură și materiale.***

Pentru lucrare se vor folosi microscopie metalografice optice și probe metalografice care să ilustreze defectele microstructurale. La ora de laborator se va da o anexă în care se vor prezenta probele și defectele conținute.

### ***12.3.Modul de lucru.***

În laborator se vor observa la microscopie metalografice optice defecte structurale pe probe atacate și neatacate provenite din piese turnate, deformate plastic, tratate termic și termochimic. Defectele vor fi reprezentate pentru fiecare probă prin desenare.