

NICOLETA MONICA LOHAN

ELENA MIHALACHE

STUDIUL MATERIALELOR
APLICAȚII

Iași, 2017

CUPRINS

Noțiuni de protecția muncii specifice laboratorului de „Știința Materialelor”	1
1. Studiul macroscopic al materialelor metalice	5
2. Fractografia materialelor metalice	17
3. Analiza proprietăților de rezistență a materialelor prin încercări mecanice	24
4. Noțiuni generale de microscopie metalografică optică și microstructuri de echilibru ale aliajelor metalice	33
5. Microstructura de echilibru a oțelurilor carbon și aliate	48
6. Microstructura de echilibru a fontelor obișnuite și aliate	64
7. Microstructuri ale aliajelor pe bază de Cu, Al, Zn, Sn și Pb	80
8. Microstructuri specifice materialelor metalice prelucrate prin turnare, deformare plastică și sudare	94
9. Materiale sinterizate, materiale compozite	102
Bibliografie	

NOȚIUNI DE SECURITATE ȘI SĂNĂTATE ÎN MUNCĂ SPECIFICE LABORATORULUI DE “STUDIUL MATERIALELOR”

Protecția muncii este ansamblul măsurilor de protecție și igiena muncii, având ca scop asigurarea celor mai bune condiții de muncă în vederea prevenirii accidentelor de muncă și îmbolnăvirilor profesionale.

Activitatea practică desfășurată în laboratorul de “STUDIUL MATERIALELOR” presupune cunoașterea de către toți participanții la această activitate a aparaturii, utilajului și materialelor cu care se va lucra, cât și măsurile de prevenire a accidentelor în timpul lucrului. Cunoașterea și respectarea instrucțiunilor de protecția muncii, atât a celor cu caracter general cât și a celor specifice locului de muncă este obligatorie pentru toți studenții. Orice abatere de la aceste norme este pedepsită prin lege în funcție de gravitatea ei.

1. Instrucțiuni de protecția muncii cu caracter general

Pe toată durata desfășurării lucrării de laborator, trebuie respectate de toți studenții, indicațiile de lucru stabilite în cadrul fiecărei lucrări de laborator, să folosească utilajele, aparatele și instalațiile potrivit destinațiilor și, de asemenea, să cunoască măsurile de prim ajutor ce trebuie acordate în caz de accidente.

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.

2. Instrucțiuni de protecția muncii specifice locului de muncă

2.1. Lucru la aparate, instalații și mașini acționate electric

Majoritatea aparatelor din laborator folosesc energia electrică de la rețeaua de 220 V. Părțile metalice ale acestora 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 pericol de electrocutare. De aceea, este obligatorie verificarea punerii la pământ a părților metalice ale aparatelor, mașinilor și instalațiilor acționate electric. Orice intervenție se va face numai în stare de repaus și numai după scoaterea de sub tensiune.

La polizor se va lucra numai după ce se va verifica integritatea discului abraziv (să nu prezinte fisuri, ciupituri), fixarea corectă a acestuia, să nu aibă bățai radiale sau frontale, fixarea corectă a apărătorilor, distanța dintre disc și suportul de susținere a piesei să fie de 2...5 mm. Se va lucra folosind ochelarii de protecție sau ecran de protecție; de asemenea nu se va sta în dreptul discului în rotație.

Mașina de șlefuit prezintă două discuri ce se rotesc în plan orizontal. Pentru a se evita accidentele se va verifica înainte de începerea lucrului integritatea și buna fixare a discurilor. Hârtia metalografică și pâsla vor trebui bine fixate cu coliere și să nu prezinte găuri sau rupturi, ce ar putea smulge probele din mâna operatorului.

Probele nu trebuie să aibă muchii ascuțite și nici nu trebuie apăsate cu o forță prea mare pe disc, cele mai mici vor fi prinse în dispozitive speciale sau menghine de mână.

Praful abraziv, foarte fin, ce se desprinde de pe hârtia metalografică este dăunător pentru aparatul respirator, de aceea se va șlefui 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, iar frânarea acestuia nu se va face prin apăsare cu mâna.

Majoritatea lucrărilor de laborator constituie cercetări vizuale la microscopul metalografic optic. Lumina puternică și concentrată, strălucirea unor detalii din proba de cercetat, precum și forțarea ochiului prin privire îndelungată, solicită puternic terminațiile nervoase ale retinei ochiului, ducând la îmbolnăvirea lui.

Se recomandă folosirea binocularelor sau, când este posibil, în timpul privirii în ocular cu un ochi, celălalt să nu fie închis. Observarea structurii să se facă în intervale scurte, cu pauze, în care ochiul să privească obiecte la distanță mai mare pentru a se odihni. Nu se vor folosi surse de lumină prea puternice, preferându-se ca lumina în ocular să nu aibă intensitate mare, lucru realizabil prin folosirea filtrelor de culori sau închizând diafragma de apertură a microscopului.

La microscopul metalografic nu se vor studia probe prea voluminoase, care au greutate prea mare, probe umede sau cu urme de acizi pe suprafața lor deoarece se deteriorează mecanismul de deplasare a mesei și lentilele microscopului.

2.2. Lucru cu substanțe chimice, nocive și inflamabile

Pregătirea probelor metalografice în vederea studierii la microscop presupune lucru cu 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. Lucrul cu acestea se va face sub supravegherea conducătorului de lucrări.

Prepararea reactivilor metalografici (soluții complexe formate din mai mulți acizi sau substanțe chimice) se va face în locuri special amenajate (nișe, locuri puternic ventilate etc.) evitându-se formarea amestecurilor vaporizante (floruri, cloruri) sau explozive (picratul de sodiu lovit sau lângă flacăra explodează, acidul azotic cu glicerina folosit la atacuri electrolitice de nitroglicerina etc.).

Substanțele chimice se vor păstra în vase închise, cu etichete indicatoare și în locuri special amenajate. Manipularea acestora nu se 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 lucru indicat (halat, mănuși etc.). atacul la cald al probelor se va face în locuri bine ventilate, deoarece reactivii emană vapori vătămători. În acest caz, ca de altfel și la folosirea substanțelor toxice (cianuri, săruri de arseniu), sau a acizilor concentrați (azotic, clorhidric, sulfuric, fluorhidric), atacul se va face sub exhaustor.

La lustruirea și atacul electrolitic nerespectarea indicațiilor de lucru poate duce la explozia reactivilor. Acidul percloric, în prezența unor substanțe organice este 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 de mai jos:

Nr. crt.	Substanța	Concentrația admisă [mg/l]
1.	Amoniac	0,02
2.	Benzina	0,3
3.	Arsen	0,0003
4.	Mercur	0,00001
5.	Plumb	0,00001
6.	Acid sulfuric	0,002
7.	Acid clorhidric	0,01
8.	Acid cianhidric	0,0003
9.	Acid florhidric	0,001

2.3. Lucru la pregătirea probelor metalografice

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

- prelucrarea probelor, care se face prin tăiere cu ajutorul discurilor abrazive, cu ajutorul frezelor disc, cu ajutorul fierăștraielor mecanice sau de mână;
- planarea suprafețelor prin: polizare, frezare, pilire;
- șlefuirea (manuală sau mecanică);
- lustruirea (manuală sau mecanică).

Măsurile de protecția muncii și de prevenire a accidentelor în timpul tăierii și planării sunt specifice locurilor de muncă respective.

La polizor se lucrează cu ochelari sau ecran de protecție, cu discuri abrazive subțiri, intacte, asigurând o poziție corectă a piesei față de disc, luându-se măsuri de răcire abundentă.

La pilirea suprafețelor se va lucra numai cu pile prevăzute cu mânere bine fixate; de asemenea se va lua o poziție cât mai corectă și comodă în timpul lucrului; pilitura rezultată nu se va îndepărta prin suflare cu gura sau cu mâna liberă, cu numai cu pensula sau cu mătura.

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, postavul sau țesătura din lână îmbibată în soluție apoasă ce conține micropulberi de abrazivi (Al_2O_3) în suspensie, acestea trebuie să fie întinse cât mai perfect.

Înainte de începerea lucrului la mașina de șlefuit și lustruit se verifică următoarele:

- dacă mașina are părțile metalice puse la pământ;
- dacă hârtia abrazivă, respectiv pâsla, sunt în bună stare și sunt bine fixate pe discuri.

În timpul lucrului, poziția și ținuta operatorului trebuie să fie corectă, mânecile halatului să fie bine strânse pe mână, pentru a nu fi prinse și antrenate de discul de rotație; părul lung să fie legat sau acoperit.

Probele se apasă ușor și perpendicular pe suprafața discurilor; piesele ce cad între disc și masa mașinii vor fi scoase cu mâna sau cu cleștele, numai după oprirea mașinii și a discurilor.

Oprirea discului nu va fi grăbită prin frecare cu mâna, ci, se va lăsa să se oprească singur. Hârtiile metalografice cu diverse granulații se fixează bine cu coliere și numai când mașina este complet oprită. După terminarea lucrului se oprește mașina, se strâng materialele folosite (hârtiile abrazive, soluția cu praf abraziv în suspensie, probele etc.) și se curăță masa mașinii cu o cârpă umedă.

Pentru pregătirea probelor metalografice se va ține seama de recomandările de la paragraful 2.1.

La atacarea probelor cu reactivi chimici, pentru evidențierea structurii se va ține seama de prescripțiile de la paragraful 2.2.

3. Măsuri de prim ajutor

În caz de rănire, pentru a evita infectarea rănii, se dezinfectează mâinile prin spălare cu săpun, sau prin ștergerea degetelor cu tinctură de iod. Rana nu se spală cu apă, nu se acoperă cu prafuri sau unguente, nu se îndepărtează sângele încheșat și nu se curăță, se va aplica doar un pansament steril și accidentatul va fi îndrumat la medic.

Lucrarea de laborator nr. 1

STUDIUL MACROSCOPIC AL MATERIALELOR METALICE

1. Scopul lucrării

Lucrarea de laborator are drept scop familiarizarea studenților cu cercetarea structurii unui material metalic cu ochiul liber sau alte echipamente – cu putere de mărire de maxim 50:1, în scopul stabilirii dacă materialul este omogen chimic sau structural și, deci, dacă proprietățile sale sunt uniforme. Se pot trage concluzii importante asupra unor aspecte rezultate în urma cristalizării primare, deformărilor plastice, tratamentelor termice și termochimice, sudurii etc.

2. Considerații teoretice

Analiza macroscopică reprezintă o metodă rapidă și simplă de cercetare a materialelor. Are loc cercetarea unor suprafețe mari, punându-se în evidență defecte locale sau generale, detaliile fiind neglijate.

Prin analiză macroscopică se pot pune în evidență aspecte legate de solidificarea materialelor metalice (dendrite, retasuri, fisuri, etc.), ruperea acestora, neomogenități chimice, mecanice și structurale, structura îmbinărilor sudate.

În funcție de starea suprafețelor supuse cercetării, studiul macroscopic se poate realiza pe suprafețe nepregătite (în casură) și pe suprafețe pregătite (șlefuite și atacate chimic).

Suprafețele nepregătite studiate macroscopic sunt cele rezultate la rupere (studiul casurii) și cele obținute în urma prelucrărilor (de ex. la turnare), în ultimul caz punându-se în evidență elemente formative ale structurii materialelor metalice (grăunți, dendrite, etc.). Studiul macroscopic pe suprafețe șlefuite și atacate chimic se face în scopul determinării neomogenităților chimice și structurale.

2.1. Aspecte ale solidificării primare a metalelor și aliajelor metalice

Structura obținută în urma solidificării este importantă din punct de vedere practic în cazul producerii de piese finite direct din procesul de turnare (eventual executându-se doar o prelucrare prin așchiere), la obținerea lingourilor pentru deformare plastică, la sudare, lipire, acoperirile de protecție obținute direct din metale lichide, la obținerea de piese prin metodele metalurgiei pulberilor ce folosesc sinterizarea cu fază lichidă, la purificarea zonală, creșterea monocristalelor ș.a.

Cristalizarea primară reprezintă fenomenul de naștere din topitură și creșterea cristalelor până la forma și dimensiunile finale. La scăderea temperaturii băii metalice, fenomenul de cristalizare va începe prin formarea în aceasta de aranjamente nestabile de atomi (centre de cristalizare). Prin scăderea în continuare a temperaturii, centrele de cristalizare devin stabile (germeni de cristalizare), apropiindu-se de forma stării solide. Germenii cresc prin depunerea de substanță cristalină, devenind întâi dendrite (formațiuni arborescente, fig. 1, a și b) și în final cristalite (grăunți cristalini cu formă exterioară neregulată).

Structura de cristalizare, deci și forma și mărimea grăunților cristalini, va fi determinată de trei factori esențiali, compoziția chimică, viteza de solidificare și gradientul termic, ultimii doi parametri fiind funcție de condițiile legate de eliminarea căldurii (ele includ și o serie de factori

de influență suplimentari cum ar fi: temperatura topiturii în momentul turnării, proprietățile termice ale materialului metalic și ale forme, dimensiunile și configurația piesei turnate ș.a.).

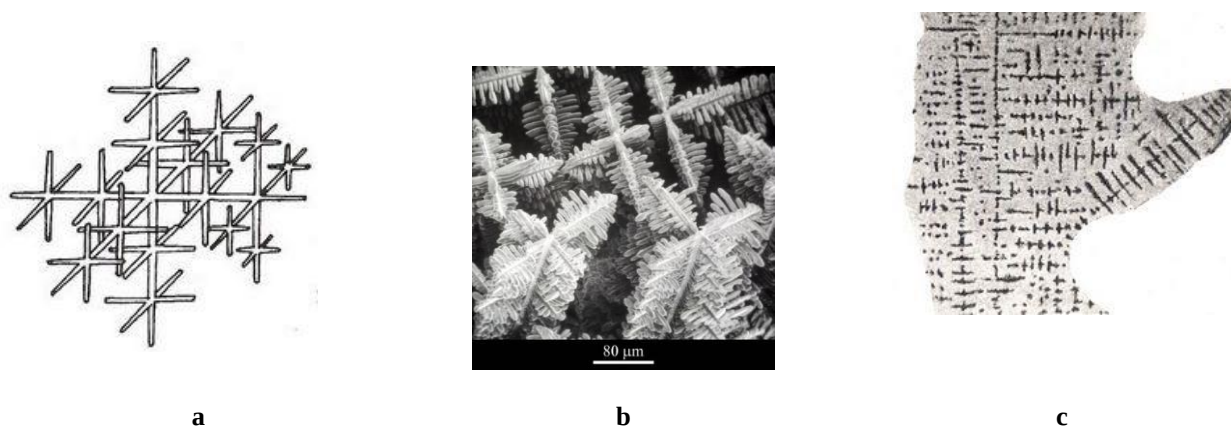


Figura 1. Dendrită; a –teoretic, b - micrografia unor dendrite într-un aliaj Cu-Sn , c - structură primară dendritică într-un oțel, 100:1 (ferită și perlită), 1:1; /1,2, /14.

În fig. 2 este prezentat un lingou paralelipipedic secționat longitudinal. Se observă trei zone: 1–coaja (crusta) lingoului; 2–zona cristalelor columnare; 3–zona cristalelor echiaxe mari.

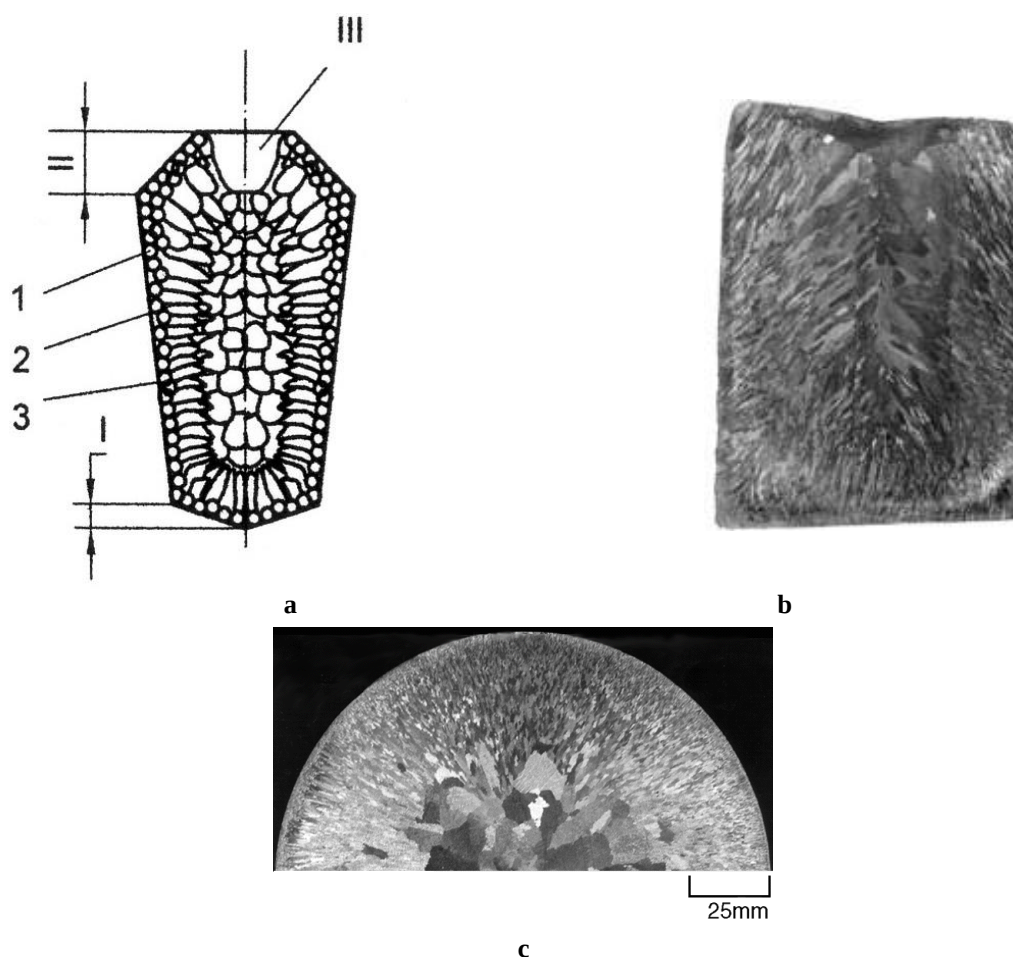


Figura 2. Structura unui lingou; a – schiță, b – lingou de Mn, c – secțiune transversală într-un lingou de oțel, /3, 4,15/

Considerând parametrii principali ai cristalizării (viteza de germinare – numărul de germeni de cristalizare ce iau naștere în unitatea de timp și de volum; viteza de creștere –

mărimea liniară a creșterii măsurată din centrul germenului cristalin în unitatea de timp), cristalizarea la viteze mari de răcire a topiturii determină în zona crustei o viteză de germinare mare și o viteză de creștere liniară mică, fapt ce asigură în această zonă o granulație foarte fină (grăunți mici, echiacși, în număr mare). Dezvoltarea dendritelor este relativ uniformă în orice direcție, creșterea pe direcția principală fiind oprită curând de grăunții vecini. Dacă viteza de solidificare este foarte mare, deci dacă căldura este rapid eliminată din sistem, crusta se poate extinde în toată secțiunea materialului turnat (de exemplu, turnarea de piese cu dimensiuni mici), structura devenind omogenă (este formată doar dintr-un singur fel de grăunți).

În zona a 2-a, dintr-un număr ridicat de grăunți cu orientări întâmplătoare din crustă, își vor continua creșterea doar aceia perpendiculari pe peretele forme, deci care au axul dendritei pe direcția fluxului termic. Viteza de răcire a topiturii în această zonă este mai scăzută față de cea din prima zonă și, deci, numărul scăzut de cristale ce cresc vor avea o viteză de creștere mai mare, dendritele dezvoltându-se rapid pe direcția axului lor principal. Ele au o formă alungită și paralelă, cu o secțiune constantă (au aspect columnar). Caracteristică zonei este și pronunțata anizotropie a proprietăților datorită orientării cristalografice comune a cristalelor columnare.

Zona a 3-a este formată din grăunți echiacși mari, deoarece aici are loc o nouă germinare la o viteză de răcire foarte mică, dezvoltarea cristalelor făcându-se relativ uniform în toate direcțiile și pe distanțe mari.

În cazul cristalizării primare pot apărea o serie de defecte identificabile macroscopic: retasuri, segregatii, sufluri, zone de minimă rezistență.

Retasura (III în fig. 2, 1 în fig. 3) reprezintă un gol sub formă de pâlnie, având suprafețe neregulate și oxidate, aflată în general la partea superioară a lingoului (retasură concentrată), ce se formează datorită fenomenului de contracție, ce însoțește solidificarea metalului (cu excepția galiului, bismutului). Uneori aceasta se poate prelungi spre interiorul lingoului (retasura difuză sau axială), când acesta devine rebut; pentru prevenirea acestui ultim tip de retasură, lingoul se răcește mai lent la partea superioară pentru ca formarea retasurii să aibă loc în această zonă, zonă care ulterior se îndepărtează prin tăiere. În general, în jurul retasurii există concentrarea maximă de impurități din lingou.

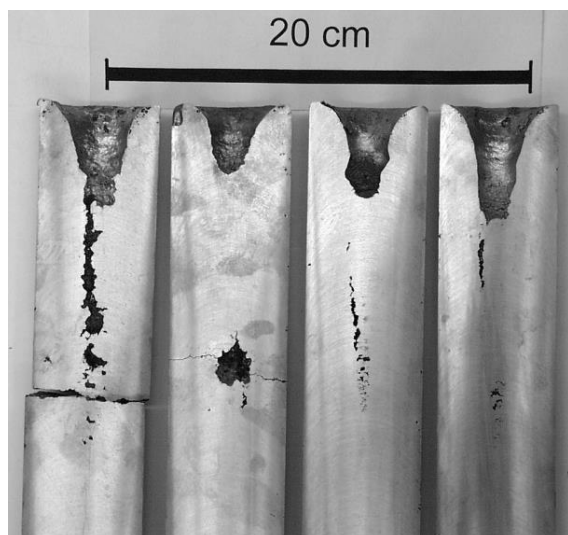


Figura 3. Retasură și zone de minimă rezistență într-un lingou de oțel; secțiune longitudinală / 16/

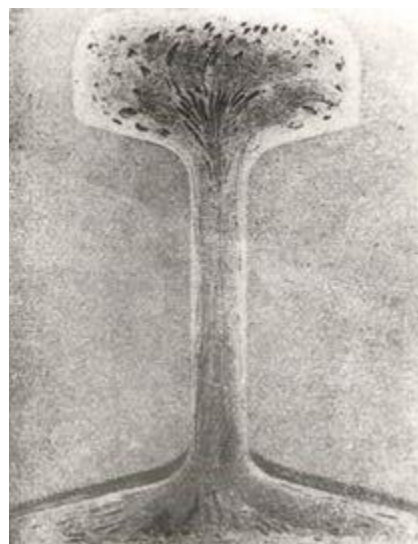


Figura 4. Macrosegregație într-o șină de cale ferată; secțiune transversală

Segregația (fig. 4) reprezintă un fenomen de neomogenitate chimică în interiorul materialului metalic, provocat de procesul selectiv de cristalizare, de separarea și gruparea impurităților din zona cristalizată și trecerea lor în zona lichidă, când apare o diferență de

compoziție chimică între diverse zone ale metalului solidificat. După mărimea volumelor, segregatia poate fi microscopică (cuprinde volume la nivelul grăunților cristalini) și macroscopică (zonală sau după greutatea specifică).

Segregatia zonală, funcție de direcția pe care se produce poate fi: directă (spre centru; incluziunile au o temperatură de topire scăzută), inversă (spre periferie; incluziunile au temperatură de topire ridicată) și gazoasă (spre retasură).

Segregatia macroscopică datorată greutății specifice, deci cauzată de solidificarea unor impurități cu greutate specifică diferită de cea a metalului de bază, poate fi inferioară (incluziunile au greutatea specifică mai mare ca a lichidului și deci se vor depune la baza lingoului) sau superioară (incluziunile au greutatea specifică mai mare ca a lichidului, ridicându-se la partea superioară a lingoului).

Suflurile reprezintă goluri sferoidale ce conțin gaze (O_2 , H_2 , N_2 , CO , CO_2), ce apar datorită diferenței de solubilitate a gazelor în metalul topit și cel solidificat (fig. 5). Ele pot fi interioare (în general au pereții neoxidați, dispărând prin deformare plastică) sau exterioare – pori (au pereți oxidați, constituind surse de fisuri în timpul deformării plastice).

Zonele de minimă rezistență (4 în fig. 2, 2 în fig. 3) reprezintă locurile unde se întâlnesc cristalele columnare ce s-au dezvoltat pe direcții diferite. Datorită sfărâmării locale a acestora, coeziunea dintre grăunți scade și deci va scădea și rezistența mecanică. Sunt eliminate prin rotunjirea colțurilor lingotierei.

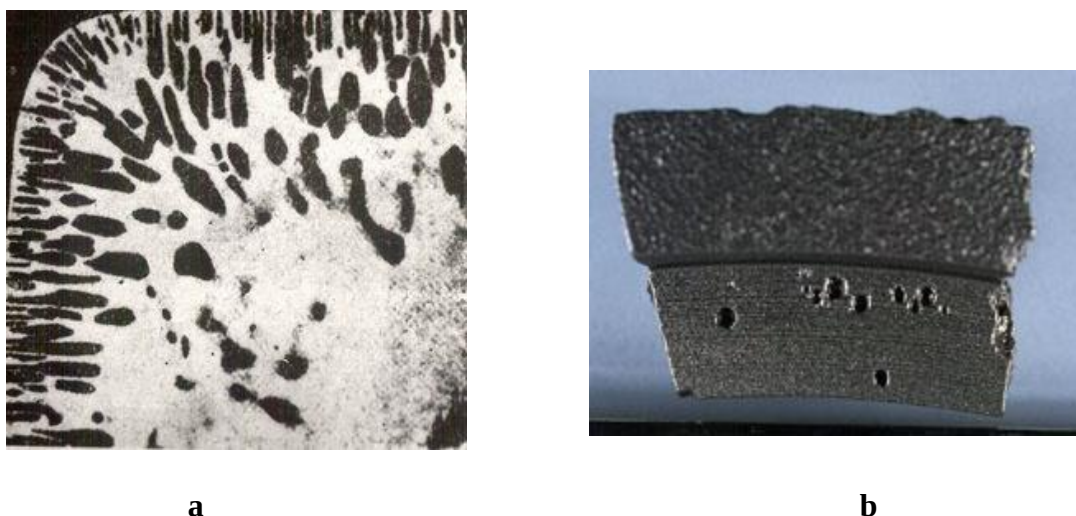


Figura 5. Sufluri interioare într-un lingou de oțel (a) și exterioare (pori) într-o piesă turnată (b), 1:2.

2.2. Neomogenități structurale în materiale

Incluziunile nemetalice influențează proprietățile mecanice și tehnologice ale materialelor. Incluziunile nemetalice din oțeluri pot fi: endogene (provin din reacțiile metalurgice dintre impuritățile normale din oțeluri sau ale acestora cu componentele de bază ale oțelului, Fe și C – oxizi, sulfuri, fosfuri, silicați, nitruri, etc.) și exogene (corpuri străine de aliaj-nisip, prealiaje etc.).

Forma, mărimea și distribuția incluziunilor nemetalice influențează proprietățile materialului metalic, acestea fiind în general mai scăzute, deoarece incluziunile nu sunt legate coerent de masa de bază a oțelului.

În cazul pieselor turnate, incluziunile au diverse forme (globulară, dreptunghiulară ș.a.), putând forma sau nu o rețea sau o peliculă. Incluziunile greu fuzibile (cu temperatura de topire ridicată – MnS) formează germeni străini de cristalizare, fiind incluse ulterior în interiorul grăunților, în timp ce cele ușor fuzibile (cu temperatura de topire scăzută) se situează la limita grăunților (uneori sub formă de peliculă – FeS), ducând la scăderea proprietăților de rezistență.

În cazul deformării plastice, incluziunile nemetalice își pot menține forma inițială (silicații globulari, SiO_2), se pot sfărâma (incluziuni fragile de oxizi sau silicați) sau se pot alungi în direcția solicitării, formând șiruri continue/discontinue (incluziuni plastice – sulfuri, silicați).

Prin studiul microscopic se pot pune în evidență segregările macroscopice (vezi mai sus). Astfel, neomogenitățile de S se pun în evidență prin folosirea metodei „amprentei Baumann”; se mai pot observa prin metode adecvate fosforul și oxizii.

O altă neomogenitate chimică apărută în urma turnării și pusă în evidență prin analiză macroscopică cu folosirea unui reactiv adecvat o reprezintă dendritele.

De asemenea, pe epruvete cu suprafețe transversale șlefuite și atacate chimic se poate analiza neomogenitatea chimică ce rezultă în urma diferitelor tratamente termochimice. De exemplu, în cazul unui oțel carburat, se evidențiază stratul exterior îmbogățit în carbon (mai închis la culoare), putându-se astfel observa adâncimea de difuzie a carbonului în stratul superficial al piesei (fig. 6).



Figura 6. Carburarea uniformă a suprafeței unei roți dințate /17/

Studiul neomogenităților mecanice se face mai ales în cazul materialelor metalice deformate plastic, când, pe suprafața șlefuită și atacată a acestora, se observă apariția fibrajului.

În cazul deformării plastice la rece (tragere, laminare), grăunții materialului metalic se alungesc în direcția deformării maxime, formând o textură (fig. 7a). Dacă deformarea plastică are loc la cald la o temperatură mai mare decât temperatura de recrystalizare, fibrajul din secțiunea longitudinală nu mai este materializat de grăunții alungiți (ei devenind la temperatura de deformare echiaxiali), ci de distribuția incluziunilor nemetalice la limita grăunților inițial alungiți în șiruri, ce urmăresc conturul piesei (fig. 7b). Aspectul fibros nu apare dacă materialul deformat plastic la cald nu conține incluziuni nemetalice.

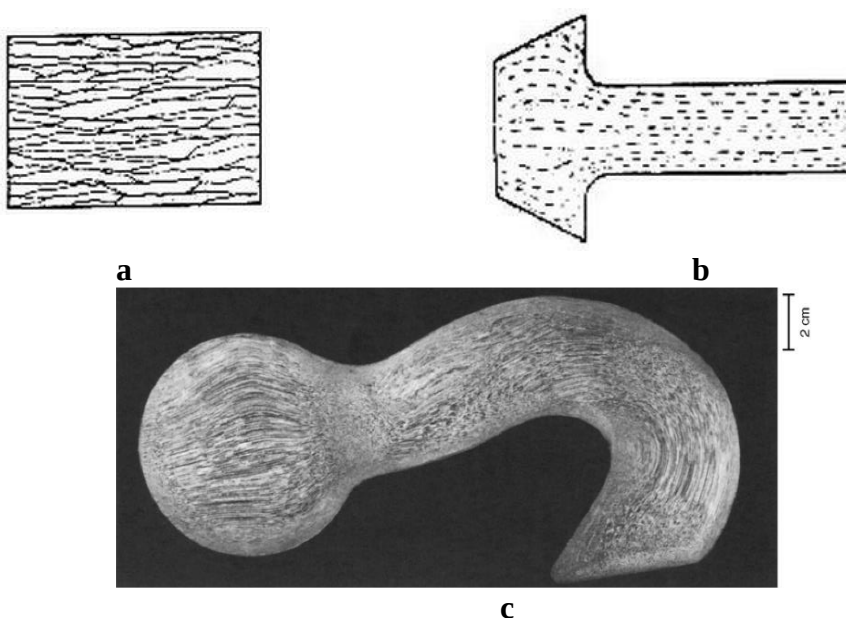


Figura 7. Macrostructuri ale materialelor deformate plastic; a – la rece (schiță), b – la cald (schiță); c – linii de curgere într-o piesă forjată din oțel /19/

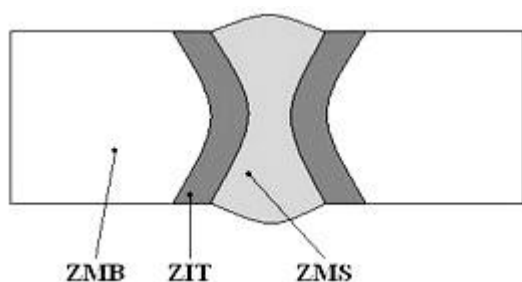
2.3. Aspecte ale îmbinărilor sudate

Prin cercetarea macroscopică a secțiunii transversale a îmbinărilor sudate se pot pune în evidență (după șlefuire și atac chimic) zonele caracteristice ale acestora (fig. 8): zona materialului de bază (ZMB), zona influențată termic (ZIT) – mai închisă la culoare și zona metalului solidificat (ZMS). Se mai pot evidenția: forma secțiunii cusăturii (în V, în X, în U etc.), straturile diferite de sudură, zona de transcristalizare (cristale columnare), defecte (pori, segregatii, neumpleri, fisuri, etc.).

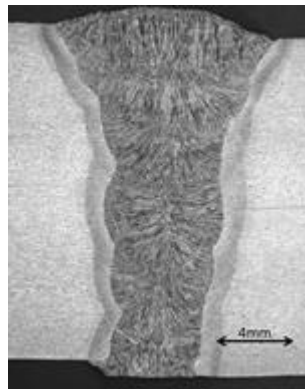
Zona materialului de bază este suficient de îndepărtată pentru ca operația de sudare să nu provoace nici o modificare fizico-chimică.

Zona influențată termic reprezintă o zonă în care acțiunea termică din timpul procesului de sudare a indus în metalul de bază modificări structurale deci și de proprietăți.

Cusătura reprezintă zona topită și solidificată, în care efectul termic maxim a permis atingerea momentană a stării lichide prin topirea fie a marginilor pieselor de sudat, cu eventuală participare de material de adaos, fie numai a materialului de adaos.



a



b

Figura 8. Zonele îmbinării sudate (sudură electrică clasică cu material de adaos); a – schiță, b – secțiune printr-o îmbinare sudată

2.4. Aspecte privind uzarea materialelor

O cauză frecventă de scoatere din uz a pieselor și elementelor de construcții metalice o constituie, pe lângă rupere, uzura prin abraziune mecanică.

Au fost sesizate în principiu două tipuri distincte de uzare: uzarea lentă (mild wear) - suprafețele în contact rămân relativ netede și sunt protejate de straturi de oxid; uzarea severă - între suprafețe există un contact nemijlocit metalic (fără lubrifiant), acestea fiind intens deteriorate.

Una din cele mai întâlnite tipuri de uzare este uzarea prin abraziune. În acest caz deteriorarea suprafețelor în frecare are loc prin acțiuni mecanice de microașchiere sau tăiere (retezare), la care participă fie particulele mai dure din masa eterogenă a materialelor, fie particule abrazive străine sau proprii apărute în procesul uzării.



Figura 9. Uzura unui disc de frână /18/

2.5. Aspecte privind pregătirea probelor pentru analiză macroscopică

Analiza macroscopică se poate efectua pe suprafețe nepregătite (în casură sau în ruptură) sau pe suprafețele pregătite (șlefuite și atacate chimic) ale probei metalografice.

Oricare ar fi însă tipul analizei macroscopice, realizarea acesteia implică o serie de operații: alegerea locului de prelevare și prelevarea probei, planarea, șlefuirea și, eventual, atacul cu reactivi chimici.

Prelevarea probei trebuie efectuată din acea zonă a materialului care să permită obținerea de maximum de informații despre material, modul de obținere, prelucrările la care a fost supus etc. Operația se efectuează prin rupere, tăiere (fierăstrău manual sau mecanic ș.a.) sau spargere (dacă materialul este fragil).

În cazul studiului pe suprafețe pregătite, probele prelevate se supun operațiilor de planare (pe mașini de planat sau la polizor), șlefuire (pe mașini de șlefuit, cu hârtie metalografică de diverse granulații). Atacul chimic al suprafeței de analizat a probei metalografice reprezintă operația prin care se pun în evidență neomogenitățile din material, prin colorare sau dizolvare selectivă. Se obțin astfel informații legate de forma și poziția relativă a grăunților dintr-un material turnat sau sudat, orientarea fibrajului în piesele prelucrate prin deformare plastică, defecte ce perturbă continuitatea materialului metalic (porozități, sufluri, fisuri), neomogenități chimice provocate de procesele de cristalizare, tratamente termice sau termochimice.

Reactivii chimici folosiți sunt, în general, acizi obișnuiți sau soluții de acizi în apă sau alcool (tabel), atacul executându-se la cald sau la rece. După atacul chimic, probele metalografice sunt spălate în jet de apă, apoi cu alcool etilic (se îndepărtează eventualele urme de acizi și de grăsimi de pe suprafața de studiu), aplicându-se uneori și o neutralizare a urmelor de acizi cu o soluție bazică (carbonat de sodiu). Proba se usucă sub jet de aer cald sau prin tamponare cu hârtie de filtru.

3. Modul de lucru

În timpul lucrării de laborator se vor examina cu ochiul liber suprafețele de rupere (casuri) sau cele șlefuite și atacate chimic ale probelor din diverse materiale metalice (fonte, oțeluri, aliaje neferoase). Se recomandă utilizarea ochelarilor (Figura 10) pentru evidențierea unor aspecte macrostructurale mai greu de observat cu ochiul liber. Probele metalografice vor fi studiate, depistându-se și analizându-se aspectele legate de forma și mărimea grăunților, culoarea și tipul casurii, neomogenitățile structurale, defectele determinate de prelucrările sau solicitările la care a fost supus materialul etc.



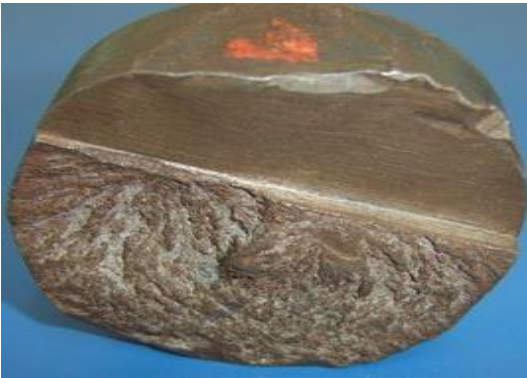
Figura 10. Ochelari pentru studiu macroscopic

Vor fi analizate și suprafețele de rupere a probelor din diverse materiale metalice, în vederea determinării tipului de rupere și a apoi a modului de comportare a materialului respectiv la deformare plastică. Pe baza analizei efectuate se va concluziona dacă materialul cercetat are o comportare tenace sau fragilă și în ce condiții poate fi acesta utilizat în practică.

4. Prelucrarea datelor experimentale

4.1. Studiul microscopic al materialelor metalice pe suprafețe nepregătite

Nr.crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Fontă albă brută 	Proba provine dintr-un bloc pentru retopire; material metalic casant. Casură alb-argintie cu grăunți grosolani columnari (aspect șistos). Pe suprafața exterioară se observă pori (sufluri exterioare), iar în casură se pot vedea sufluri interioare.
2.	Fontă cenușie brută 	Proba provine dintr-un bloc pentru retopire. Casura are culoare cenușie, în ea observându-se: grăunți echiaxiali (globulari), fini, neuniformi ca mărime; goluri elipsoidale datorate gazelor înglobate în masa metalică la solidificare (sufluri interioare); o neomogenitate chimică de culoare neagră determinată de separarea carbonului grafit (segregație zonală). Pe suprafața exterioară se observă pori.
3.	Fontă pestriță 	Proba provine dintr-un bloc pentru retopire. Este un tip de fontă care face trecerea de la fonta albă la cea cenușie, fapt confirmat și de casura acesteia: la exterior are culoarea și structura macroscopică tipică fontei albe, în timp ce spre bază, acestea corespund fontei cenușii (între cele două zone tipice grăunții columnari de fontă albă sunt în amestec cu cei echiaxiali de fontă cenușie). Se observă sufluri interioare și exterioare (pori), o picătură rece de formă sferică.

0	1	2
4.	Fontă cenușie mecanică 	Proba provine dintr-o piesă obținută prin turnare din fontă de a doua fuziune. Culoarea casurii este cenușie, iar grăunții sunt echiaxiali, foarte fini și uniformi. Lipsesc suflurile interioare și cele exterioare.
5	Oțel turnat 	Proba provine dintr-o bară turnată. Suprafața exterioară este neregulată. Casura are culoare alb-argintie, iar grăunții sunt globulari mari.
6	Oțel laminat 	Proba provine dintr-un profil rotund, laminat la cald, care a fost crestat prin așchiere pentru a ușura ruperea. Suprafața exterioară este netedă. Casura are culoare alb-argintie și prezintă grăunți globulari fini, strălucitori. În casură se mai observă și direcțiile deformării plastice a materialului, rupt prin încovoiere, dispuse radial sub forma de aglomerări de material metalic.
7	Oțel cu defect 	Proba prezintă fisuri (suprafețe de fisurare). Acestea pot apărea fie ca urmare a unei căliri energice (casură cenușie cu grăunți foarte fini, neobservabili cu ochiul liber, cu aspect catifelat), fie ca urmare a unei supraîncălziri un timp îndelungat (ardere – oxidare intercristalină), urmate de o deformare plastică.

0	1	2
8	Probă din bloc de zinc 	Casură alb-argintie, strălucitoare, cu grăunți grosolani
9	Probă cu uzură mecanică 	Proba provine dintr-un cap de suflat de la o instalație de curățire cu nisip a pieselor turnate (sablare). În interiorul piesei se observă o abatere de la circularitate.
10	Probă cu uzură mecanică 	Proba provine de la un lagăr de alunecare, respectiv un semicuzinet. Se observă exfolierea aliajului anti-fricțiune.

4.2. Studiul macroscopic al materialelor metalice pe suprafețe pregătite

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Aliaj de aluminiu (silumin) turnat 	Proba provine dintr-un microlingou de silumin. Pe suprafața pregătită și atacată chimic se observă dendrite. La partea superioară a probei se află o retasură și o fisură datorate contracției materialului în timpul solidificării. În centrul probei apare o suflură interioară.
2.	Probă din oțel fisurată 	În urma tratamentului termic de călire proba a fisurat datorită tensiunilor interne mari, induse de prezența fie a concentratorilor mecanici de tensiuni (de ex. canal de pană cu muchii neracordate), fie a impurităților dispuse în șiruri.
3.	Probă dintr-o piesă încărcată la sudură 	În secțiune transversală, atacată chimic, se observă cele trei zone caracteristice sudurii: zona materialului de bază (ZMB), zona influențată termic (mai închisă la culoare – ZIT) și zona materialului solidificat (ZMS).

0	1	2
4.	Probă din oțel cu sudură în V 	În secțiune transversală, atacată chimic, se observă zona materialului solidificat și a materialului de bază. Sudura a fost realizată prin completare la rădăcină
5.	Probă deformată plastic la rece 	Se observă fibrajul ce urmărește conturul piesei.

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr. 2

FRACTOGRAFIA MATERIALELOR METALICE

1. Scopul lucrării

Lucrarea de laborator are ca scop cunoașterea modului de efectuare a unei analize fractografice. Se vor putea trage concluzii asupra modului de rupere a materialelor și analiza calitativ unele proprietăți mecanice ale acestora.

2. Considerații teoretice

Fractografia studiază suprafața formată la distrugerea epruvetelor sau pieselor în urma încercărilor mecanice sau exploatării. Suprafața respectivă dă informații asupra mecanismului procesului de rupere, asupra stării structurale și a proprietăților materialului dintr-un volum prin care trece fisura principală ce a determinat distrugerea corpului.

Metoda de cercetare fractografică este una din puținele metode ce permit determinarea cauzelor și a mecanismului distrugerii compactității materialului. Metoda presupune găsirea legăturii dintre structura metalografică a materialului din zona rupturii, condițiile de deformare și geometria suprafeței de rupere.

Exista mai multe criterii de clasificare a suprafețelor de rupere.

De exemplu, după gradul de deformare plastică la rupere, ruperea poate fi: fragilă - gătuirea specifică a secțiunii transversale este de maxim 1,5%; cvasifragilă – maxim 15%; tenace – minim 15%. Gătuirea specifică a unei epruvete cilindrice se determină cu relația:

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100$$

unde S_o – aria secțiunii inițiale transversale, S_u - aria secțiunii finale transversale.

Trebuie specificat că metoda fractografică implică obținerea de informații calitative și cantitative referitoare la suprafețele de rupere atât la nivel macroscopic cât și microscopic. Prin studiu macroscopic se obține o imagine generală asupra procesului de rupere (macrofractografie), în timp ce, prin utilizarea metodelor microscopiei metalografice se poate analiza caracterul ruperii la nivel de grăunți (microfractografie).

2.1. Macrofractografia

Macrofractografia analizează cu ochiul liber sau cu diverse aparate optice cu puteri de mărire de maxim 60÷120:1 suprafețe de rupere proaspăt obținute, fără deteriorări mecanice sau de altă natură, fără urme de oxizi, murdărie etc. Dacă este cazul, în cazuri extreme, suprafețele de rupere pot fi curățate cu diverși solvenți (benzină, alcool, etc.) sau cu ultrasunete, însă cu grijă pentru a nu le deteriora.

Analiza fractografică începe cu ochiul liber, trecându-se treptat la puteri de mărire mai mari, în scopul observării unor aspecte locale.

Din punct de vedere macrofractografic există mai multe criterii de clasificare a ruperii: după orientarea suprafețelor de rupere, după gradul de deformare plastică, după rugozitate, după culoarea suprafeței de rupere.

Astfel, după orientare ruperile pot fi dreaptă, oblică, mixtă (fig. 1). Ruperea dreaptă, (fig. 1a) este aceea a cărei suprafață de rupere este normală pe axa epruvetei (piesei), deci perpendiculară pe direcția forței maxime de tracțiune; este caracteristică ruperii fragile. Ruperea mixtă (fig. 1b) apare la tracțiunea epruvetelor cilindrice, fiind caracterizată de suprafețe de rupere

perpendiculare pe direcția solicitării, cu aspect fibros în partea centrală a acestora și cu muchii ascuțiți la margine, muchii orientate la cca. 45° față de suprafața principală de rupere. Formarea „cupei” este determinată de gătuirea epruvetei deformate plastic (material tenace) sub acțiunea tensiunii-lor din centrul epruvetei (zona în care începe inițial ruperea), fisura dispunându-se inițial într-un plan normal pe axa epruvetei; în stadiul final, când fisura se apropie de suprafața exterioară a epruvetei, ea își modifică direcția de propagare în sensul tensiunilor tangențiale maxime (la 45°), dând naștere astfel muchiei înclinată. Uneori se pot forma "cupe duble" (fig. 1c). Ruperea oblică este determinată de forfecarea din planul tensiunilor tangențiale maxime (fig. 1d), apărând în general la materialele anizotrope, cu o plasticitate și rezistență la rupere prin forfecare limitate (aliaje deformabile pe bază. Al și Mg ș.a.). În cazul unui material foarte tenace (plasticitate ridicată), la ruperea prin tracțiune a acestuia pot apărea suprafețe de rupere conice (Al tehnic pur, Pb, Cu electrolitic ș.a), fig. 1e).

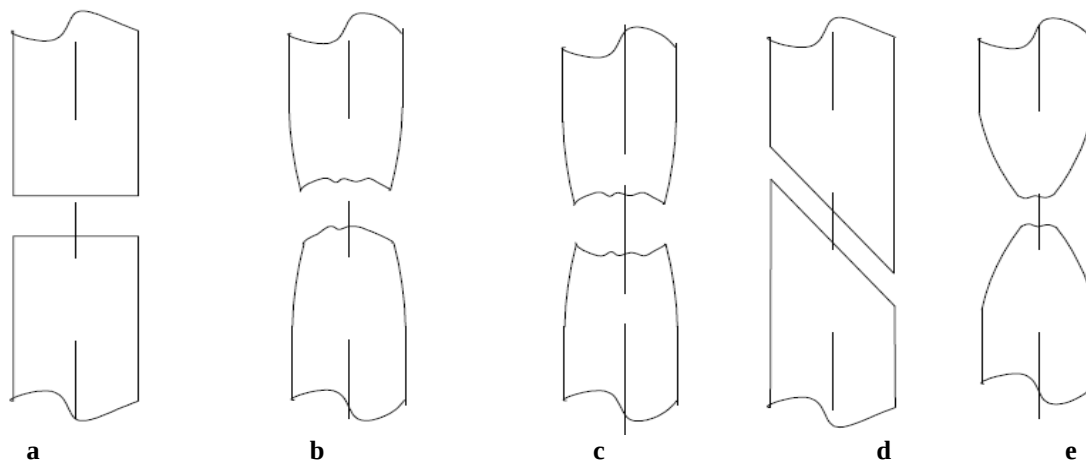


Figura 1. Tipuri caracteristice de ruperi macroscopice datorate solicitării de întindere; a – dreaptă, b - mixtă (cupă-con), c – „cupă dublă”, d - oblică; e) conică /3/

Suprafețele de rupere se pot caracteriza de asemenea și după rugozitatea acestora, deoarece această caracteristică este legată de condițiile de încărcare, de modul de propagare a fisurii, de orientarea cristalografică a elementelor structurale, de dimensiunea și gradul de deformare a grăunților materialului ș.a. Astfel, în general, suprafețele de rupere pot fi grăunțoase (rupere fragilă) sau fibroase (rupere tenace), fig. 2. Pe suprafața de rupere grăunțoasă (fig. 2a) apar fațete (domenii plane strălucitoare), materialul suportând o deformare plastică redusă până la rupere. Tipică materialelor tenace este suprafața de rupere stelată (fig. 2b). Suprafețele de rupere fibroase (fig. 2c) sunt caracterizate de prezența fibrelor formate prin deformarea plastică a grăunților din timpul procesului de rupere; ele au un aspect rugos mat când ruperea se face într-un plan perpendicular pe direcția tensiunilor maxime de întindere sau un aspect mătăsos strălucitor când ruperea are loc pe direcția tensiunilor tangențiale maxime.

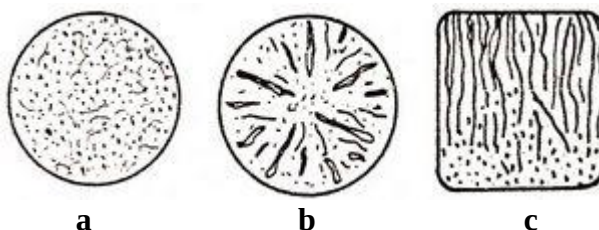


Figura 2. Reprezentarea schematică a macrostructurii suprafețelor de rupere clasificate după rugozitate, /3/.

Culoarea suprafețelor de rupere este determinată de condițiile de încărcare, de structura fizică și de compoziția chimică a materialului metalic. Astfel, oțelurile carbon au suprafața de rupere argintie, cele aliate cu Ni – nuanță galben deschis specifică, cele aliate cu Cr - cenușiu deschis, cele cu Mn - cenușiu mat.

În general suprafețele de rupere sunt morfologic neomogene, pe acestea apărând zone geometrice cu diferite orientări macroscopice, diferite granulații, rugozități etc., neomogenități determinate de eterogenitatea chimică, structurală și a proprietăților materialului cercetat, particularitățile procesului de rupere (neomogenitatea inițială și modificarea în timp a stării tensionale și a deformării).



Figura 3. Urme radiale pe suprafața de rupere a unei epruvete supuse la încercarea la tracțiune, executate din oțel SAE 4150 (călit și revenit în diferite condiții de tratament termic) /19/

Eterogenitatea macroscopică a suprafeței se observă bine în cazul ruperii prin oboseală (fig. 4). Sursele de fisuri sunt dispuse în general pe suprafața piesei sau epruvetei, în punctele de concentrare a tensiunilor (lipsa racordărilor ș.a.) sau acolo unde există diferite tipuri de defecte (pori, sufluri). Zona adiacentă fisurii are grăunți fini și rugozitate scăzută, fiind strălucitoare, în timp ce materialul distrus prin oboseală (prin propagarea fisurii) are o structură mai dispersă și o suprafață fină, mată. Sunt caracteristice liniile de oboseală (determinate de oprirea sau frânarea deplasării fisurii), a căror regularitate în dispunere este determinată de periodicitatea modificării condițiilor de încărcare.

Trecerea de la zona ruperii prin oboseală la zona de rupere (domeniul dezvoltării accelerate a fisurii) determină o rugozitate mai accentuată a suprafeței, o creștere a cantității și adâncimii fisurilor secundare.

Zona de rupere corespunde etapei finale (rapide) a ruperii, ea datorându-se micșorării secțiunii transversale a epruvetei (piesei) odată cu creșterea fisurii. Suprafața de rupere din această zona are un aspect granular pentru materialele fragile, în timp ce pentru cele tenace are aspect fibros.

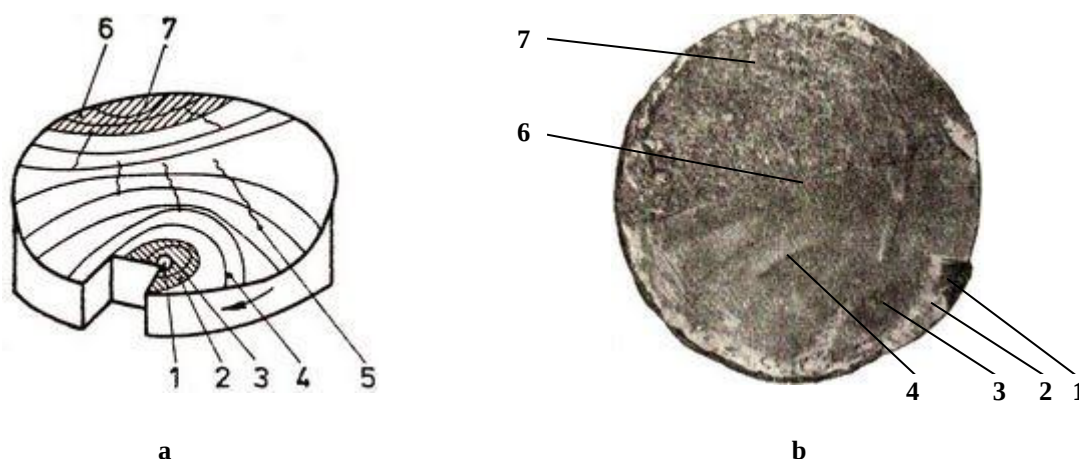


Figura 4. Microstructura ruperii prin oboseală; a – schiță, b – macrografia unei tije de piston rupte prin oboseală; 1 – focar, 2 - zonă adiacentă, 3 - prime trepte de dislocare, 4 – linii de oboseală, 5 – trepte secundare de dislocare, 6 - zonă de tranziție, 7 – zonă de rupere; /3,5/.

2.2. Microfractografia

Prin microfractografie se obțin informații referitoare la: particularitățile constitutive ale suprafețelor de rupere de la limita grăunților sau subgrăunților, mecanismul microscopic al procesului de rupere și legătura dintre acesta și elementele structurale și sarcina aplicată.

Microfractografia optică utilizează microscopul metalografic optic (cu puteri de mărire de 300÷700:1), prin intermediul acesteia determinându-se diverse caracteristici ale suprafețelor de rupere: dimensiunile fațetelor, dacă sunt în trepte, geometria conturului fațetelor (dreptunghiular, trapezoidal, lamelar, dendritic), prezența sistemelor de striatiuni, rugozități, prezența fisurilor și a altor defecte ce întrerup continuitatea domeniului cristalin, starea suprafeței (netedă, cutată, rugoasă, ondulată, etc.), morfologia domeniului cristalin (în pachete - microblocuri dispuse grupat în pachete; în ace - microblocuri dispuse acicular la exteriorul unor domenii cristaline; dendritice – microblocuri dispuse după modelul unei dendrite; lamelar, etc.).

Se pot diferenția suprafețele de rupere intercristalină (rupere pe la limita grăunților cristalini) și cele de rupere intracristalină (rupere prin interiorul grăunților cristalini). La ruperea intercristalină se observă profilul limitei de grăunte, fațetele având un aspect mat. La ruperea intracristalină apar domenii strălucitoare (dacă deformarea plastică la rupere este redusă) sau suprafața are un caracter fibros (dacă deformarea plastică la rupere este mare).

Microfractografia electronică permite obținerea de imagini clare ale microreliefului de rupere, puterile de mărire uzuale fiind de 2000÷10000:1. Se pot analiza fisuri foarte fine (Fig.5), substructura straturilor de pe suprafața de rupere, compoziția chimică din zona respectivă, se poate determina tipul ruperii (înter sau intracristalină; fragilă, tenace, prin oboseală etc.) ș.a.

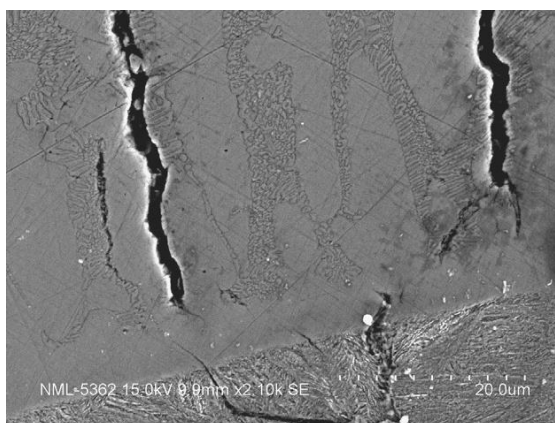


Figura 4. Microfractografia electronică ce indică apariția microfisurilor /20/

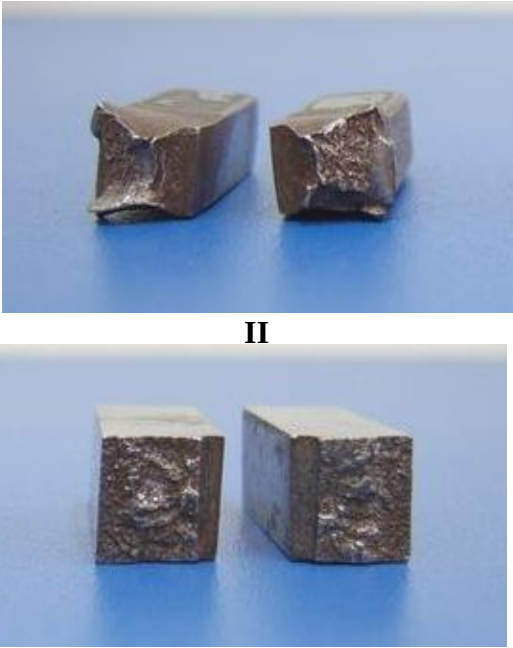
3. Modul de lucru

În timpul lucrării de laborator se vor examina cu ochiul liber și cu stereomicroscopul suprafețele de rupere ale probelor din diverse materiale metalice. Vor fi analizate suprafețele de rupere a probelor, în vederea determinării tipului de rupere și a apoi a modului de comportare a materialului respectiv la deformare plastică.

Pe baza analizei efectuate se va concluziona dacă materialul cercetat are o comportare tenace sau fragilă și în ce condiții poate fi acesta utilizat în practică.

4. Prelucrarea datelor experimentale

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
1.	Epruvetă din oțel ruptă prin tracțiune 	a) rupere datorată unei sarcini statice (întindere) care acționează un timp scurt și o singură dată; b) gătuirea specifică este: $Z = \dots\%$ deci ruperea este (tenace/fragilă); c) rupere tip (fig. 2); d) suprafață de rupere mată, fibroasă (material tenace/fragil)
2.	Epruvetă din oțel ruptă prin tracțiune 	a) rupere datorată unei sarcini statice (întindere) care acționează un timp scurt și o singură dată; b) gătuirea specifică este: $Z = \dots\%$ deci ruperea este (tenace/fragilă); c) rupere tip (fig. 2); d) suprafață de rupere stelată (material tipic tenace/fragil).
3.	Epruvetă din bronz laminat ruptă prin tracțiune 	a) rupere datorată unei sarcini statice (întindere) care acționează un timp scurt și o singură dată; b) gătuirea specifică este: $Z = \dots\%$ deci ruperea este (tenace/fragilă); c) rupere tip (fig. 2); d) suprafață de rupere grăunțoasă, cu grăunți fini cu fețele strălucitoare. Material tenace/fragil.

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
4.	Epruvetă din fontă cu grafit nodular, ruptă prin tracțiune 	a) rupere datorată unei sarcini statice (întindere) care acționează un timp scurt și o singură dată; b) gătuirea specifică este: $Z = \dots\%$ deci ruperea este (tenace/fragilă); c) rupere tip (fig. 2); d) suprafață de rupere grăunțoasă, cu grăunți fini cu fețele strălucitoare, iar în centrul epruvetei grăunți grosolani. Material tenace/fragil.
5.	Epruvetă din aluminiu 	a) rupere datorată unei sarcini statice (întindere) care acționează un timp scurt și o singură dată; b) gătuirea specifică este: $Z = \dots\%$ deci ruperea este (tenace/fragilă); c) rupere tip (fig. 2). Material tenace/fragil
6.	Epruvetă din oțel ruptă prin încovoiere prin șoc I  II	a) rupere datorată unei sarcini dinamice care acționează un timp scurt și o singură dată; b) suprafața de rupere este sau nu deformată plastic: I-; material fragil/tenace; II -; material fragil/tenace; d) suprafață de rupere: I – grăunțoasă/fibroasă (material fragil/tenace); II– grăunțoasă/fibroasă (material fragil/tenace);

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
7.	Epruvetă din oțel ruptă prin oboseală 	Se observă zona de deplasare a fisurii (netedă și strălucitoare) și zona de rupere finală (grăunțoasă și mată). Ruperea este datorată tensiunii nominale ridicate, apărute în epruveta cilindrică, cu creștătura racordată, supusă răsucirii și încovoierii.

Notă:

- a) după caracterul sarcinii aplicate;
- b) după gradul de deformare plastică;
- c) după orientarea suprafeței de rupere;
- d) după rugozitate

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr. 3

ANALIZA PROPRIETĂȚILOR DE REZISTENȚĂ A MATERIALELOR PRIN ÎNCERCĂRI MECANICE

1. Scopul lucrării

Încercarea mecanică a materialelor reprezintă o metodă de analiză a proprietăților mecanice a acestora, ținând cont de factorii de influență exteriori, condiții de solicitare, temperatură etc. Lucrarea prezintă noțiuni teoretice și practice referitoare la metodele și procedeele de încercare a materialelor, procedee și tehnici de investigare, utilizând aparatura și mașinile specifice fiecărei încercări din dotarea laboratorului.

2. Considerații teoretice

Proprietățile materialelor pot fi clasificate în patru grupe principale:

- proprietăți mecanice – determină modul de comportare al materialelor la diferite acțiuni mecanice (rezistența, elasticitatea, plasticitatea, tenacitatea, fragilitatea, fluajul, relaxarea, rezistența la uzură, reziliența, duritatea, rezistența la oboseală etc.);
- proprietăți tehnologice – arată modul de comportarea al materialelor la diferite procedee de prelucrare (forjare, laminare, sudare, prelucrare prin așchiere etc.);
- proprietăți fizice – determină corelațiile materialelor cu fenomenele fizice care se petrec în natură (greutatea specifică, densitatea, dilatarea termică, refractaritate, higroscopicitatea, absorbția acustică etc.);
- proprietăți chimice – se referă, în special, la capacitatea materialelor de a reacționa sau de a rezista la acțiunea diferiților agenți chimici din mediul în care lucrează (rezistența la coroziune, refractaritatea etc.).

Încercările materialelor reprezintă principala metodă de analiză a proprietăților acestora, în dependență cu factorii de influență exteriori, condiții de solicitare, temperatură etc.

2.1. Clasificarea metodelor și procedeele de încercare a materialelor

Încercările materialelor pot fi grupate în funcție de proprietățile generale ale acestora, fiecare proprietate cuprinzând o serie de parametri definitori, după cum urmează:

- încercări mecanice de: rezistență, duritate, reziliență, fluaj, relaxare, oboseală;
- încercări tehnologice: de sudabilitate, îndoire, refulare, ambutisare etc.;
- încercări fizice de: densitate aparentă, higroscopicitate, conductivitate termică, absorbția zgomotelor etc.;
- încercări chimice la: coroziune, descompunere etc.

Metodele și procedeele de încercare a materialelor se împart în două grupe mari:

- *metode distructive* – constau în încercarea până la rupere a unor epruvete din materialul de cercetat, urmărindu-se comportarea acestuia pe tot parcursul încercării până la distrugere, precum și modul și aspectul ruperii, înregistrând totodată valorile indicilor caracteristici. Din această categorie fac parte încercările referitoare la comportarea materialelor din punct de vedere al rezistenței, deformației și mecanicii ruperii. Tot aici intră și metodele de determinare a rezistenței la oboseală, a durității și a rezistenței la uzură. În grupul încercărilor distructive se încadrează și cercetările de structură interioară a materialelor (examinarea metalografică a metalelor), precum și analizele chimice de compoziție;

- *metode nedestructive* – servesc la indicarea naturii, mărimii și frecvenței discontinuităților (defectelor interioare și de suprafață) în materiale.

Încercările mecanice de rezistență ale materialelor metalice sunt clasificate conform STAS 6967-88. În legătură cu criteriile de clasificare folosite, se fac următoarele precizări: se consideră că solicitarea este *statică* dacă viteza de solicitare este cel mult egală cu $100 \text{ N/mm}^2\cdot\text{s}$; se consideră că solicitarea este *dinamică* dacă viteza de solicitare este mai mare de $100 \text{ N/mm}^2\cdot\text{s}$.

2.2. Caracteristici mecanice ale materialelor metalice determinate prin încercarea la tracțiune statică (SR EN 10002-1/1995)

După cum este cunoscut din teoria stărilor de tensiune limită, o stare de tensiune se echivalează, pe baza unor anumite criterii, cu starea de tensiune cea mai simplă, aceea de întindere monoaxială. În acest fel, comportarea materialelor la întindere monoaxială prezintă interes nu numai la solicitarea propriu-zisă la tracțiune ci și pentru toate celelalte stări de solicitare.

Încercarea la tracțiune se execută aplicând unor epruvete standard o forță de întindere axială crescătoare și măsurând (înregistrând) variațiile corespunzătoare ale lungimii epruvetei. De obicei încercarea se face până la ruperea epruvetei. În timpul încercării se trasează curba caracteristică a materialului, care exprimă legătura între tensiunea σ și deformația specifică.

De regulă, tensiunea: $\sigma = \frac{F}{S_0}$ se înlocuiește prin raportul convențional:

$$R = \frac{F}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

unde S_0 este valoarea secțiunii inițiale a epruvetei, iar deformația specifică se înlocuiește tot printr-o mărime adimensională, numită alungire totală, A_t :

$$A_t = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

unde: L_0 – lungimea inițială între două repere marcate pe porțiunea calibrată a epruvetei; L_u – lungimea finală între cele două repere.

Curba caracteristică a materialului se obține, în mod convențional, în coordonate $R-A_t$. Formele tipice de curbe caracteristice sunt prezentate în fig. 1.

În general, curba caracteristică prezintă o porțiune liniară OA, în care lungirea epruvetei este proporțională cu forța aplicată. În această zonă este valabilă legea lui Hooke. Panta dreptei OA reprezintă *modul de elasticitate convențional al materialului*:

$$E = \text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Tensiunea corespunzătoare punctului A se numește *limită de proporționalitate* (R_p).

Următorul punct important al curbei caracteristice este punctul B. În zona AB, îndepărtarea sarcinii se face ca epruveta să-și recapete, între repere, lungimea inițială L_0 ; în această zonă deformația are caracter elastic. Tensiunea corespunzătoare punctului B se numește *limită de elasticitate*. După depășirea acestei limite, materialul începe să capete deformații remanente (plastice), zona BC fiind corespunzătoare comportării la tranziție, elasto-plastice.

Începând cu punctul C al curbei, se constată că deformațiile plastice sunt foarte mari și se produc la o forță exterioară constantă sau descrescătoare. În această fază a încercării materialului „curge”, adică se deformează, deși sarcina nu mai crește; pe curba caracteristică se obțin un „palier de curgere”. Raportul dintre sarcina corespunzătoare acestui palier și secțiunea inițială a epruvetei se numesc *limită de curgere aparentă* și se notează cu R_c :

$$R_c = \frac{F_c}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (4)$$

La materialele care nu au limită de curgere aparentă se definește *limita de curgere convențională* $R_{c0,2}$.

Pe măsură ce se accentuează gradul de deformare plastică în zona de curgere, metalul se ecruează și, de aceea, forța necesară deformării epruvetei începe să crească; punctul D al caracteristicii corespunde sarcinii maxime din timpul încercării, $F_{\max}$, iar zona aflată înaintea

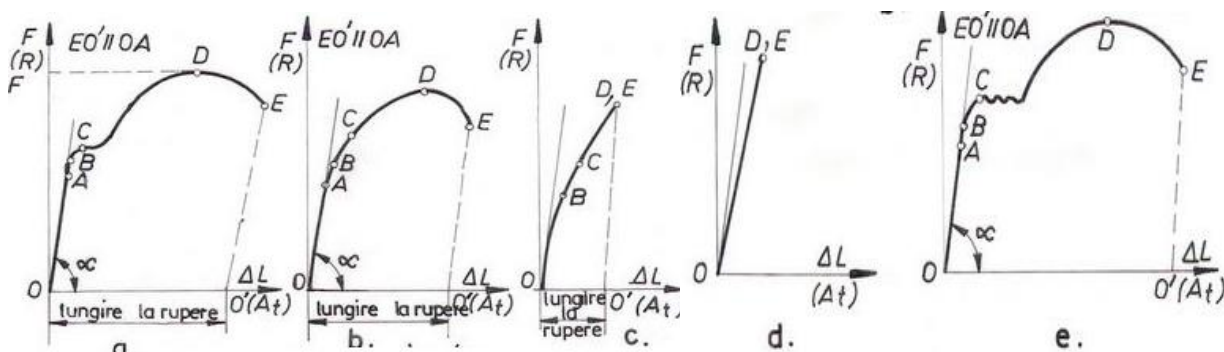


Figura 1. Curbe caracteristice de încercare la tracțiune pentru diferite metale și aliaje metalice
a, b și e-comportare ductilă; c și d- comportare fragilă

punctului D se numește *zonă de ecrusare* (de întărire, de durificare superficială). Raportul dintre valoarea maximă a sarcinii și secțiunea inițială a epruvetei reprezintă *rezistența la rupere*, R_m , a materialului:

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5)$$

La un moment dat, într-o anumită porțiune a epruvetei apare o gătuire, care se accentuează rapid; deformarea în continuare a epruvetei se efectuează numai în zona găturii și la forțe tot mai mici. Epruveta se rupe la o forță ultimă (F_u), corespunzătoare punctului E de pe curba caracteristică. Porțiunea DE se numește *zonă de curgere locală*.

Materialul a cărui comportare a fost descrisă anterior și a cărui curbă caracteristică este similară cu cea din fig. 1e are caracter ductil; proprietatea de *ductilitate* caracterizează faptul că ruperea este însoțită de deformații plastice mari. Există și materiale ductile fără palier de curgere (fig. 1a) de exemplu: Cu, Al, Pb etc.

Materialele la care ruperea nu este precedată de deformații plastice observabile sunt materiale *fragile*, de exemplu oțelurile pentru arcuri, fontele etc. Ele au curba caracteristică asemănătoare cu cea din fig. 1c. La acestea forța maximă este aceeași cu forța ultimă suportată de epruvetă.

În legătură cu proprietățile de ductilitate și fragilitate ale unui material se poate menționa și aceea de *tenacitate*. Ea se definește ca fiind proprietatea unui material de a absorbi energie în domeniul deformațiilor plastice. De obicei tenacitatea este legată de valoarea suprafeței totale aflate sub curba caracteristică, adică de lucrul mecanic specific de deformație înmagazinat până la rupere.

Caracteristicile mecanice uzuale determinate prin încercarea la tracțiune sunt: limita de curgere (aparentă, superioară, inferioară), limita de curgere convențională- $R_{p0,2}$, limita de curgere remanentă $R_{r0,2}$, rezistența la rupere R_m , alungirea la rupere- A_5 , gătuirea la rupere - Z.

Cele două mărimi care caracterizează comportarea plastică a materialelor A_5 , respectiv Z pot fi calculate cu relațiile:

$$A_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

respectiv:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

în care: L_u – reprezintă lungimea finală (între repere) a epruvetei; S_u – secțiunea finală în regiunea de rupere; S_0 – lungimea inițială a regiunii calibrate a epruvetei; $n = 5$ factorul dimensional al epruvetei (raportul dintre lungimea și diametrul părții calibrate; este acceptată și valoare $n=10$).

2.3. Încercări pentru determinarea durității metalelor

Duritatea se definește în tehnică ca fiind rezistența opusă de un material unei acțiuni de pătrundere mecanică din exterior, în suprafața sa, a unui corp mai dur.

La determinarea durității se iau în considerare:

- mărimea urmelor produse de un corp de o anumită formă, numit penetrator, care a fost imprimat în probă sub acțiunea unei forțe definite;
- înălțimea sau unghiul de ricoșare a unui percutor după impactul cu proba.

Metodele de determinare a durității se clasifică, în funcție de forța care acționează asupra penetratorului, în:

- metode statice (viteze de acționare limitate sub 1 mm/s): metoda Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop;
- metode dinamice (viteze de acționare mai mari; cădere liberă, lovire) care se clasifică în funcție de modul de evaluare a durității în:
 - metode dinamico-plactice: metodele Baumann, Steinruck, Poldi;
 - metode dinamico-elastice: metodele Shore, Reindl, Nieberding. Mai puțin folosite pentru determinarea durității sunt metode ca: metoda zgârierii, metoda rulării cu bile, metoda pendulului, metode magnetice, electrice etc.

2.3.1. Determinarea durității prin metoda Brinell (SR EN 10003-1: 1997)

Metoda constă din imprimarea, cu o forță F , a unei bile de oțel cu diametrul prescris D , perpendicular pe suprafața piesei de încercat.

Duritatea Brinell (HB) se exprimă prin raportarea forței de apăsare F la suprafața S a calotei sferice a urmei remanente, după îndepărtarea penetratorului:

$$HB = \frac{F}{S_{\text{calota}}} \quad [\text{daN} / \text{mm}^2] \quad (8)$$

Suprafața calotei sferice se calculează pe baza diametrului d al acesteia, măsurat cu lupa, la microscop sau prin proiectarea urmei pe un ecran gradat:

$$S = \frac{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (9)$$

și deci:

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (10)$$

În vederea simplificării obținerii valorii durității din diametrul urmelor (d), s-au întocmit tabele pentru bile penetratoare standardizate și forțe de încercare normalizate. În fig. 2 se prezintă schema de principiu a încercării. La toate încercările de duritate statice, cu deformații plastice ale materialului se constată influența vitezei de aplicare a penetratorului și, în special, durata de menținere a sarcinii.

În cadrul metodei de determinare a durității Brinell, materialul supus solicitării suferă deformații plastice în zonele de contact și în vecinătatea acestei zone. Durata necesară epuizării curgerii materialului, respectiv a atingerii urmei de mărime practic constantă, este în funcție de natura și duritatea materialului încercat.

În vederea evitării influenței reciproce a zonelor durificate din jurul urmelor și pentru evitarea influenței marginii probei asupra rezultatelor obținute se recomandă păstrarea unei distanțe minime (b) între centrele a două urme alăturate și a unei distanțe minime (c) între centrul urmei și marginea probei.

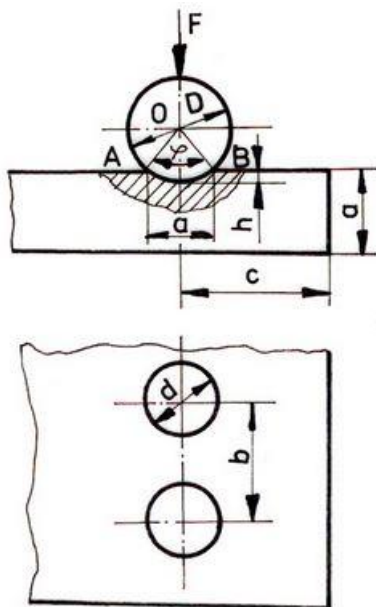


Figura 2. Determinarea durității Brinell

Duritatea se exprimă prin valoarea acesteia urmată de simbolul HB cu trei indici, primul reprezentând diametrul d al bilei penetrator, al doilea sarcina de încercare (exprimată în daN), iar al treilea timpul de menținere a sarcinii exprimat în secunde: $HB_{D/F/t}$.

Pentru condițiile de determinare cu diametrul penetratorului de 10 mm, sarcina de 300 daN și timpul de menținere de 15 secunde, simbolizarea se face doar prin HB.

Parametrii metodei Brinell de determinare a durității pot avea, funcție de natura materialului de încercat, următoarele valori: $D = 10; 5; 2,5; 2; 1$ mm; $F = 5$ până la 3000 daN; $t = 10$ până la 125 s.

Valoarea maximă de determinare a durității cu bile de oțel este de 450 HB; peste această valoare deformațiile bilei denaturează diametrul urmei lăsată de aceasta pe suprafața probei. Bilele din carbură de wolfram pot fi utilizate, după unii autori, până la 730 HB.

Între rezistența la rupere și duritatea Brinell există următoarele relații de interdependență:

$$R_m = 0,35 HB \quad [daN/mm^2] \text{ – pentru oțeluri nealiate în stare recoaptă;}$$

$$R_m = \frac{HB - 40}{6} \quad [daN/mm^2] \text{ – pentru fonte;}$$

$$R_m = (0,3 - 0,4)HB \quad [daN/mm^2] \text{ – pentru oțeluri nealiate în stare turnată.}$$

2.3.2. Determinarea durității prin metoda Vickers (SR EN ISO 6507-1:2006)

Metoda Vickers de determinare a durității folosește un penetrator de diamant, având formă de piramidă dreaptă cu bază pătrată (fig. 3). Metoda Vickers nu este la fel de frecvent folosită ca metoda Brinell, cu toate că este metoda cu cel mai larg interval de măsurare, putând fi folosită aproape universal.

Metoda Vickers se aseamănă, în principiu, cu metoda Brinell, constând în apăsarea unui penetrator piramidal cu o viteză redusă și o anumită forță predeterminată (F) pe suprafața materialului de încercat.

Notând cu F forța de încercare și cu S aria urmei, suprafața laterală a piramidei cu diagonala d , se obține pentru duritatea Vickers expresia:

$$HV_{F,t} = \frac{F}{S} \quad [\text{daN} / \text{mm}^2] \quad (11)$$

Știind S funcție de diagonala d

$$S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}} \quad (12)$$

se obține:

$$HV_{F,t} = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{F}{d^2} [\text{daN} / \text{mm}^2] \quad (13)$$

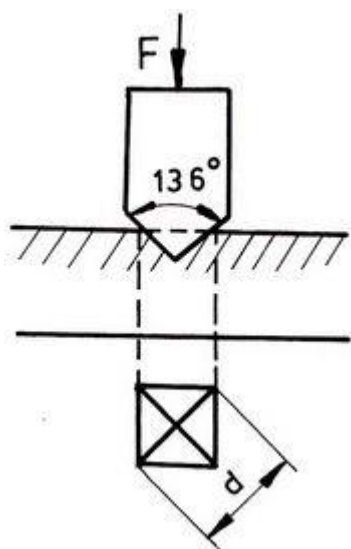


Figura 3. Determinarea durității prin metoda Vickers

Unghiul penetratorului (136°) a fost ales pentru a se stabili o legătură cu duritatea Brinell. Timpul normal de menținere a sarcinii este de 15 secunde. Pentru ca încercarea să fie concludentă trebuie ca grosimea minimă a piesei de încercat să fie mai mare sau cel puțin egală cu $1,5d$.

La încercarea Vickers, folosind penetratoare cu unghiuri de vârf identice, se obțin urme geometric asemenea, oricare ar fi forța de încercare; duritatea fiind independentă de mărimea sarcinii de încercare. Acest fapt permite o aplicabilitate foarte largă a acestei metode, practic cu un interval cuprins între 10 HV și 1900 HV. Adâncimea de penetrare a piramidei Vickers este de numai $1/7d$; ca urmare metoda se pretează și pentru efectuarea încercării durității pieselor subțiri, al staturilor tratate termic, depuse galvanic etc.

Cu toate că, practic, duritatea obținută prin metoda Vickers nu variază cu mărimea forței de încercare, din motive practice, standardele 492-85 și 7067-78 au clasificat încercările Vickers în funcție de mărimea sarcinilor de încercare în:

- încercări de duritate Vickers: $F=4,903 \div 98,07$ daN;
- încercări de duritate Vickers cu sarcini mici: $F=0,49 \div 3,92$ daN;
- încercări de duritate Vickers cu microsarcini (microduritatea Vickers): $F=0,0049 \div 0,196$ daN.

Metoda Vickers cu sarcini mici se aplică la examinarea straturilor subțiri, straturilor tratate termic (căliri superficiale), termochimic (cementare, nitrurare, nitrocementare, metalizare etc.) și în cazul acoperirilor metalice, galvanice, chimice etc.

Metoda Vickers cu sarcini foarte mici se aplică la studiul durității constituenților structurali din masa metalică a aliajelor pentru a-i identifica sau pentru a determina proprietățile aliajelor metalice.

3. Modul de lucru

Pentru realizarea practică a lucrării se vor folosi epruvete din diferite materiale metalice, aluminiu, cupru, oțeluri carbon și aliate, fonte albe și cenușii, pregătite anterior conform cerințelor impuse de procedeul de investigare.

Pe epruvetele specifice încercării la tracțiune (fig. 4), între reperele de pe porțiunea calibrată (între care era marcată lungimea inițială L_0) se măsoară valoarea lungimii finale (L_u). Se măsoară diametrul secțiunii de rupere (D_u) și se calculează aria acesteia (S_u). pentru măsurători se va folosi șublerul.

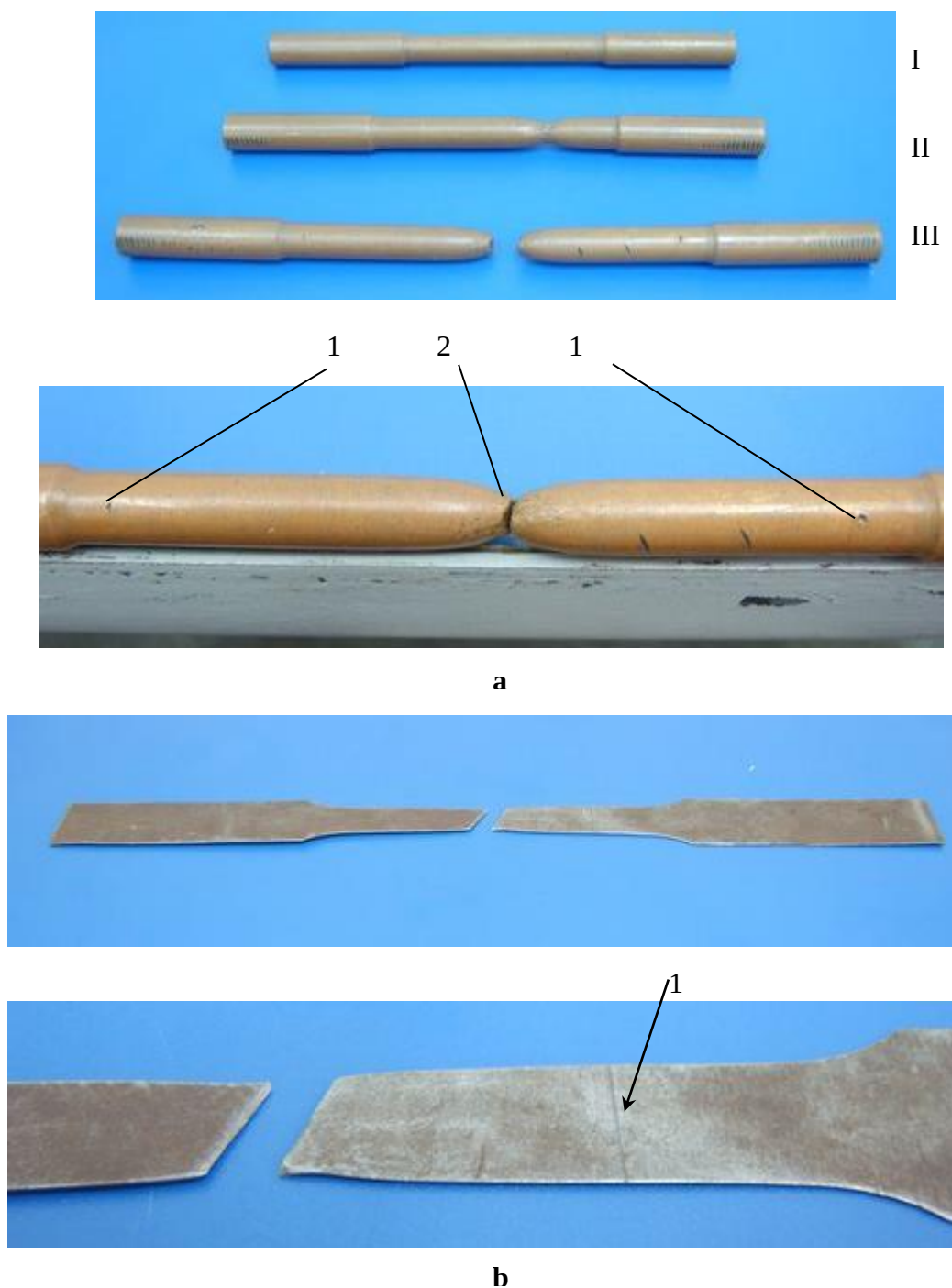


Figura 4. Epruvete încercate la tracțiune; a – cilindrice, b – platbande; I – aspect inițial, II – încercare întreruptă înainte de rupere, III – epruvetă ruptă; 1 – repere pentru măsurare, 2 – gătuire.

Cu ajutorul relațiilor prezentate se vor calcula valorile caracteristicilor mecanice specifice încercării de rupere la tracțiune. Rezultatele obținute vor fi notate în tabelele 1 și 2.

Pentru determinarea durității Brinell, pe epruvetele pe care au fost executate câte trei încercări (fig. 5) se vor măsura (cu microscopul de măsurare MM1 – fig. 6) urmele lăsate de

penetrator (d_1 , d_2 , d_3). Introducând în relația de calcul valoarea diametrului mediu și a celorlalți parametri se determină valoarea durității Brinell, ce va fi trecută în tabelul 3.



Figura 5. Epruvetă din oțel supusă încercării de duritate Brinell; 1 – epruvetă, 2 – urma penetratorului.

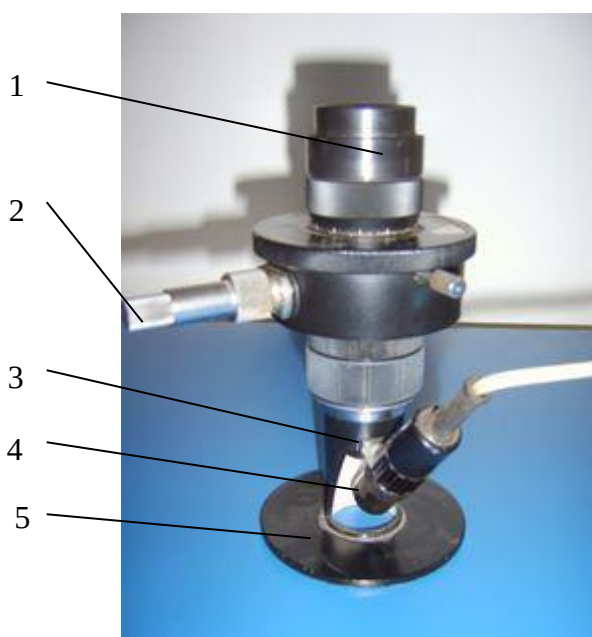


Figura 6. Microscopul de măsurare MM1; 1 – ocular, 2 – buton deplasare scală, 3 – obiectiv, 4 – sursă de lumină, 5 – talpă de așezare

4. Prelucrarea datelor experimentale

Tabelul 1.

Încercarea la tracțiune pe epruvete cilindrice

Nr. crt.	Material (marca)	Nr. marcă	Date inițiale			Val. după rupere			Val. ale forței		Caract. de rezistență		Caract. de tenacitate	
			L_0 mm	D_0 mm	S_0 mm ²	L_u mm	D_u mm	S_u mm ²	F_c daN	F_{max} daN	$R_c(\sigma_c)$ daN/mm ²	$R_m(\sigma_m)$ daN/mm ²	A_5 %	Z %
1	OL44	5.2	50	10					2400	3500				
2	OL44	5.4							2435	3475				
3	OL70	5.6							2825	5400				
4	OL70	6.7							–	5400				
5	40Cr10	5.9							6290	6900				
6	40Cr10	6.0							–	7170				
7	Aluminiu	1							525	750				
8	Cupru	3							–	2365				
9	Bronz laminat	6							1965	3925				

Tabelul 2.

Încercarea la tracțiune pe epruvete tip platbandă

Nr. crt.	Marca	b ₀ [mm]	g ₀ [mm]	S ₀ [mm ²]	F _c [N]	R _c N/mm ²	F _{max} [N]	R _m [N/mm ²]	L ₀ [mm]	L _u [mm]	A [%]
1	767	20	0,7		3060		4700		80		
2	768	20	0,7		2900		4300		80		
3	769	20	0,7		3200		4650		80		
4	770	20	0,7		3500		5050		80		
5	771	20	0,7		3260		4650		80		

Tabelul 3.

Determinarea durității prin metoda Brinell

Nr. crt.	Material (marca)	Nr. marcare	Condiții de încercare			Valori măsurate			Valori calculate	
			D [mm]	F [daN]	t [s]	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	d ₃ [mm]	d _{mediu} [mm]	HB [daN/mm ²]
1	OLC10	2	5	750	30					
2	OL37	4	10	3000	15					
3	OL42	8	5	750	30					
4	OL50	10	10	3000	15					
5	OSC12	14	5	750	30					
6	F _C 150	16	10	3000	15					
7	CuSn14T	20	5	250	30					
8	Al	22	10	1000	15					

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr. 4

NOȚIUNI GENERALE DE MICROSCOPIE METALOGRAFICĂ OPTICĂ. MICROSTRUCTURI DE ECHILIBRU ALE ALIAJELOR METALICE

1. Scopul lucrării

Lucrarea de laborator are ca prim scop cunoașterea modului de lucru cu microscopul metalografic optic. Prin utilizarea acestui tip de aparate se vor analiza microstructurile de echilibru care apar în materialele metalice precum și legătura dintre acestea și proprietățile fizico-mecanice și de utilizare.

2. Considerații teoretice

2.1. Noțiuni generale de microscopie metalografică optică

Microscopul metalografic optic se bazează pe principiul reflexiei luminii deoarece probele metalografice sunt corpuri opace. Acest tip de microscop este destinat cercetării incluziunilor nemetalice, a granulației structurale, a naturii, mărimii, formei și distribuției constituenților structurali existenți într-un material metalic supus unor procese tehnologice de prelucrare prin turnare, sudare, deformare plastică, aşchiere sau tratament termic, termochimic sau termomecanic. Pe baza acestor analize se pot aprecia proprietățile tehnologice și de exploatare ale materialului metalic respectiv.

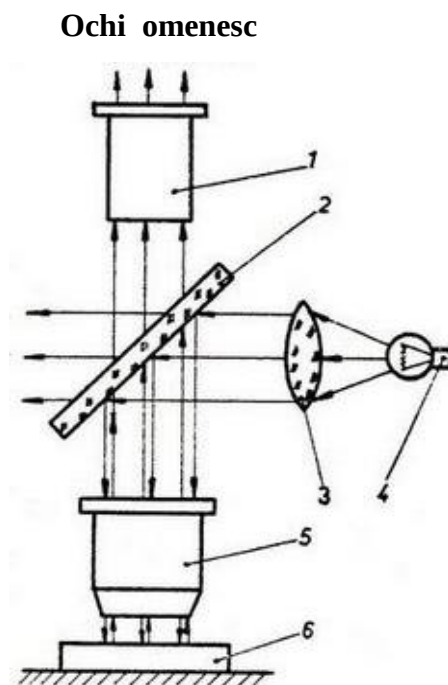


Figura 1 Schema optică a unui microscop metalografic optic; 1 – ocular; 2 – lamelă plană din sticlă; 3 – lentilă convergentă; 4 – sursă de lumină; 5 – obiectiv; 6 – probă, /3/.

Modul de formare a imaginii în cazul unui asemenea aparat este prezentat în fig. 1. Fluxul luminos emis de sursa de lumină este dirijat către o lentilă și apoi către o lamelă din sticlă

semitransparentă cu fețe plan-paralele (sau o prismă) înclinată la 45° . O parte din raze traversează lamela în timp ce altele trec prin obiectiv, iluminând obiectul de examinat, după care lumina reflectată de pe suprafața acestuia, pătrunzând din nou prin obiectiv și prin lamela plană, formează o imagine reală mărită, preluată și mărită suplimentar de ocular, imagine finală observată de ochiul omenesc.

Calitățile microscopului sunt determinate în principiu de caracteristicile lentilelor folosite drept obiectiv și ocular. Cele mai importante caracteristici ale unui microscop metalografic optic sunt: puterea de mărire, apertura, puterea de separare și adâncimea de pătrundere.

Puterea de mărire (M) a microscopului este egală cu produsul puterilor de mărire ale obiectivului (M_{ob}) și ocularului (M_{oc}):

$$M = M_{ob} \cdot M_{oc} \quad (1)$$

Pentru condiții practice de lucru, puterea de mărire a unui microscop metalografic optic comercial ce lucrează cu ulei de cedru între obiectiv și proba de examinat este limitată la 1000:1, folosirea de obiective „uscate” micșorând puterea de mărire maximă teoretică la 750:1. Diversele puteri de mărire se realizează prin combinarea diverselor obiective și oculare din dotarea microscopului.

Apertura, A , reprezintă puterea de strângere a razelor de lumină de către lentilele folosite, aceasta reprezentând o caracteristică esențială a obiectivelor, deoarece arată capacitatea maximă a acestora de a reda cele mai fine detalii. Apertura va fi cu atât mai mare cu cât un con mai larg de lumină va intra în obiectiv și cu cât mediul dintre obiect și obiectiv va fi capabil să concentreze mai multă lumină. Aceasta se determină cu relația:

$$A = n \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

unde n – indicele de refracție al mediului dintre obiect și obiectiv ($n = 1$ pentru aer; $n = 1,515$ pentru ulei de cedru); α – semiunghiul deschiderii conului de lumină (teoretic $\alpha = 90^\circ$, însă practic $\alpha = 72^\circ$). Apertura obiectivului variază între 0,1...1,3, pe montura obiectivului fiind gravată valoarea acesteia.

Puterea de separare (rezoluția), d , caracterizează capacitatea microscopului de a reproduce cele mai mici și mai fine detalii, ea fiind definită de distanța minimă dintre două puncte de pe obiectul examinat, ce apar distinct în imagine. Ea depinde de apertura și de lungimea de undă a luminii folosite:

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha} \quad (3)$$

Valoarea maximă a rezoluției obținute la microscopul optic în cazul folosirii luminii albe ($\lambda = 0,6\mu\text{m}$) și a uleiului de cedru ($n = 1,5$), considerând $\alpha = 90^\circ$ (teoretic) este de aproximativ $d = 0,19\mu\text{m}$. Depășirea acestei valori se poate face prin utilizarea luminii ultraviolete, ce are $\lambda = 0,275\mu\text{m}$.

Dacă se consideră rezoluția ochiului omenesc ca fiind $d_1 = 0,3 \text{ mm}$, puterea de mărire utilă totală a microscopului, în cazul utilizării luminii albe, va fi:

$$M_t = \frac{d_1}{d} = \frac{0,3}{0,00019} \approx 1500 \quad (4)$$

Adâncimea de pătrundere (puterea de separare pe verticală) reprezintă capacitatea obiectivului de a reda clar imaginea unor puncte situate în plane diferite. Această caracteristică a microscopului optic variază invers proporțional cu puterea de mărire și cu apertura.

Orice microscop metalografic optic se compune din sistemul optic, sistemul de iluminare și sistemul mecanic de reglare.

Sistemul optic. Acesta reprezintă cea mai importantă parte a microscopului, fiind alcătuit din obiective, oculare, prisme și oglinzi.

Obiectivul conține o lentilă frontală plan-convexă ce îi determină puterea de mărire și o serie de lentile secundare ce au rolul de a elimina defectele ce apar la trecerea razelor de lumină prin lentila frontală.

Ocularele măresc imaginea primară reală dată de obiectiv, corectează erorile optice pe care le pot produce chiar obiectivele de calitate și proiectează imaginea primară ca imagine reală în cazul fotografierii.

Prisme și oglinzile din microscop reprezintă sisteme optice ce au rolul de a schimba prin reflexie totală direcția fascicolului luminos.

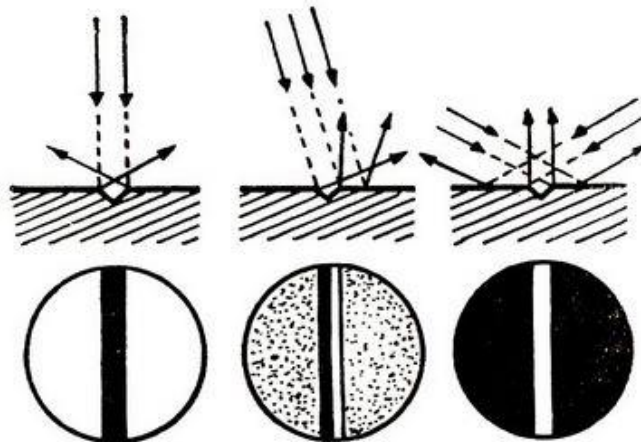


Figura 2 Modalități de iluminare a probei: a – perpendiculară (în câmp luminos); b – ușor înclinată; c – puternic înclinată (în câmp întunecat), /3/.

Sistemul de iluminare. Se compune din sursa de lumină, filtre colorate, lentile și diafragme.

Sursa de iluminare este în general constituită dintr-un bec cu incandescență de tensiune joasă (6÷17V), ce are filamentul cât mai concentrat, astfel încât acesta să poată fi situat în focarul unei lentile convergente, numită lentilă colectoare, ce va transforma fascicolul luminos divergent într-unul convergent (fig. 1). În cazul fotografierii sau când se utilizează camere video, se folosesc lămpi speciale de luminozitate mai mare (lămpi cu arc electric, lămpi cu vapori de mercur, lămpi cu sursă punctiformă etc.).

Iluminarea probei metalice se face în general cu lumină perpendiculară. Un obiect ce prezintă o adâncitură și iluminat astfel va apărea luminos, în timp ce adâncitura va fi întunecoasă (fig. 2a) – iluminare în câmp luminos. Dacă razele luminoase sunt puțin înclinate, câmpul se va întuneca puțin (fig. 2b), în timp ce partea adâncită va prezenta o urmă luminoasă prin care se pune în evidență relieful. În cazul unei înclinări puternice (fig. 2c), suprafața probei va apărea complet întunecată (razele incidente sunt reflectate în afara tubului microscopului), iar adâncitura luminată – iluminare în câmp întunecos (se scot în evidență denivelările, printr-o imagine cu contrast mare, metoda fiind folosită la punerea în evidență a unor defecte, incluziuni, fisuri etc.). În cazul microscopelor metalografice optice, iluminarea se face prin obiectiv, deoarece distanța dintre obiect și lentila frontală a obiectivului este mică.

Filtrele de lumină, în special cele verzi și galbene, se folosesc în vederea remedierii aberației cromatice, în timp ce filtrele albastre se utilizează pentru accentuarea contrastului la fotografiere.

În compunerea unui microscop optic mai intră diafragma de câmp și cea de apertură. Diafragma de câmp reglează mărirea câmpului de iluminare a probei, prin închiderea ei micșorându-se grosimea fascicolului luminos; aceasta trebuie deschisă puțin peste câmpul vizual al ocularului. Diafragma de apertură are rolul de a limita apertura numerică a obiectivului prin limitarea unghiului de deschidere al conului de lumină reflectat de probă și care intră în obiectiv; deschiderea prea mare a acestei diafragme dă imagini neclare, în timp ce, dacă este prea închisă, scade puterea de separație și luminozitatea. Rolul celor două diafragme se inversează în cazul iluminării în câmp întunecat.

Sistemul mecanic de reglare. Acesta cuprinde măsura de obiecte (pe care se așează proba de cercetat), șuruburi micrometrice și un ansamblu ce formează sistemul mecanic de reglare.

Măsuța de obiecte se poate deplasa atât în plan orizontal, pe două direcții perpendiculare, în vederea studierii diferitelor zone ale probei, cât și în plan vertical, pentru focalizare (obținerea unei imagini clare).

Pe lângă cele trei părți componente, un microscop metalografic mai are o serie de *accesorii* pentru determinări cantitative: micrometrul obiectiv, micrometrul ocular, plăcuță de sticlă cu diagonale perpendiculare, plăcuță de sticlă cu rețea rectangulară, rigle gradate fixate pe măsuța de obiecte. Micrometrul obiectiv se folosește ca etalon pentru determinarea puterii de mărire, iar micrometrul ocular la măsurarea directă a dimensiunilor constituenților structurali.

După modul de amplasare al măsuței de obiecte, microscopul metalografic optic poate fi cu măsuță inferioară sau superioară (fig. 3). La cele cu măsuță inferioară, pentru studiul probei metalografice se folosește un sistem de prindere a acesteia (plăcuță metalică cu fețe plan-paralele și plastilină); la cele cu măsuță superioară proba se așează direct pe măsuță, fără a fi necesar vreun sistem de prindere.

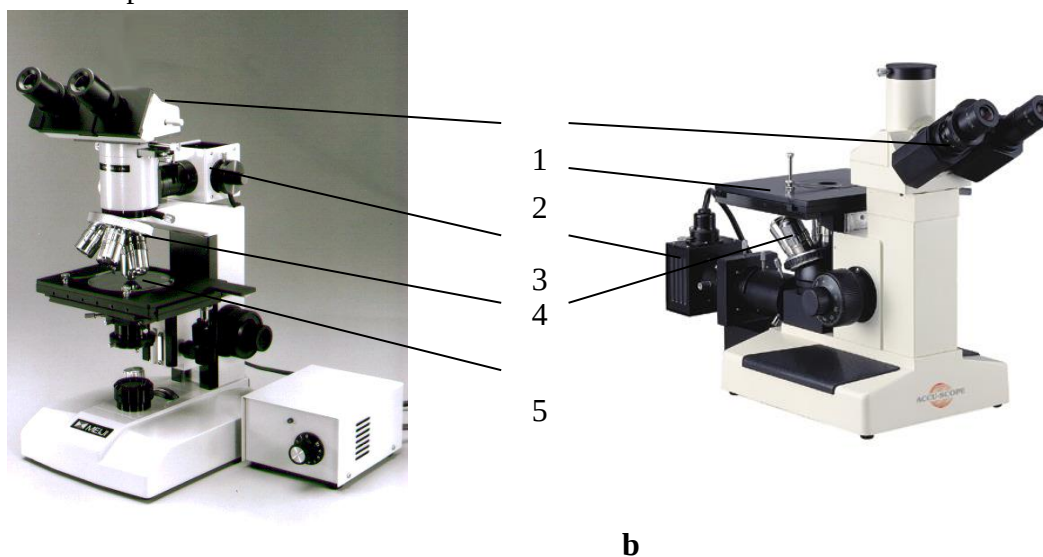


Figura 3. Microscopul metalografic optic; a – cu măsuță inferioară, b – cu măsuță superioară; 1 – binocular, 2 – măsuță superioară, 3 – sursă de iluminare, 4 – obiective, 5 – măsuță inferioară

În cadrul laboratorului se va folosi microscopul metalografic cu măsuță inferioară Meiji Techno cuplat cu cameră digitală Q Imaging și sistem de achiziție a imaginii, acesta permițând studiul probelor prin observare directă în câmp luminos, întunecat sau în lumină polarizată. Puterile de mărire obținute sunt între 50:1 și 2000:1.



Figura 4. Microscopul Meiji Techno

Pentru lucrul cu acest microscop, proba pregătită se așează pe placa suport, cu suprafața de studiu în jos; proba se așează pe masa microscopului în dreptul obiectivului, puterea de mărire dorită obținându-se printr-o combinație corespunzătoare ocular-obiectiv; se alimentează microscopul la rețeaua electrică și, privind prin ocular, se deplasează vertical, lent, masa microscopului cu ajutorul rozetei mari până când în câmpul vizual a apărut structura probei (claritatea imaginii se obține cu ajutorul rozetei mici, de reglaj fin); alegerea zonei de cercetare se face cu ajutorul butoanelor de deplasare orizontală a mesei microscopului.

În vederea examinării microscopice, obținerea unei suprafețe corespunzătoare a probei implică o serie de operații: *alegerea locului de debitare și debitarea, planarea, șlefuirea, lustruirea și atacul cu reactivi chimici.*

Alegerea locului de debitare reprezintă o operație preliminară de mare importanță în analiza ulterioară a piesei sau semifabricatului. Astfel, în cazul unui semifabricat se vor pregăti două fețe (longitudinal și transversal) din regiunea sa axială; la piesele călite superficial sau tratate termochimic proba trebuie să cuprindă și stratul exterior; probele din piesele turnate trebuie să cuprindă zonele caracteristice de solidificare, precum și eventualele neomogenități structurale; în probele din piese sudate este necesar să fie cuprinse toate zonele caracteristice îmbinării sudate; în cazul pieselor defecte, probele se vor preleva din imediata apropiere a locului cu defect, cuprinzându-l și pe acesta.

Debitarea probei constă în obținerea unei bucăți de material, operație ce nu trebuie însă să producă modificări în structura materialului, fiind necesară evitarea metodelor de tăiere ce produc deformări la rece (dăltuiri, forfecare etc.) și cele ce produc încălzirea materialului (de exemplu flacăra oxiacetilenică); dacă piesele sunt prea mari, este permisă tăierea cu flacăra oxiacetilenică sau cu arc electric, însă proba propriu-zisă se va afla la cel puțin 50 mm de locul unde s-a executat tăierea.



Figura 5. Fierăstrău de debitat probe

Planarea se poate realiza prin pilire, frezare sau polizare, cu evitarea deformării sau încălzirii probei. În consecință, în cazul polizării proba va fi din când în când răcită cu apă. Pentru ușurarea prelucrării, probele neregulate sau de secțiuni mici (table, sârme) pot fi montate în inele metalice și apoi fixate cu rășini sintetice sau aliaje ușor fuzibile (fig. 6).

Șlefuirea se realizează cu ajutorul hârtiilor metalografice în ordinea creșterii fineții particulelor abrazive (carbură de siliciu). Operația se poate executa manual în cazul pieselor de dimensiuni mari (hârtia este așezată pe o placă de sticlă montată într-un suport de lemn, proba metalografică apăsată ușor pe acesta fiind mișcată ușor, alternativ, pe o singură direcție) sau mecanic pe mașini de șlefuit vertical sau orizontal (hârtia metalografică este fixată pe discuri rotative cu ajutorul unui inel de strângere) (Fig.7).

În timpul operației de șlefuire se vor respecta următoarele reguli: șlefuirea începe întotdeauna pe hârtia cu granulația cea mai mare; nu se trece pe altă hârtie metalografică decât după ce s-a constatat că toate rizurile de la șlefuirea anterioară au dispărut; la trecerea la altă

hârtie metalografică cu o granulație mai fină proba se rotește cu 90° (se observă mai ușor dispariția rizurilor precedente, în același timp menținându-se planitatea suprafeței).



a



b

Figura 6. a - Mașină de înglobat probe; b- probe înglobate în rășină

La sfârșitul operației de șlefuire, proba se spală sub jet de apă pentru îndepărtarea tuturor incluziunilor ce au aderat în timpul acestei operații la suprafața probei, aceasta uscându-se apoi într-un curent de aer cald sau prin apăsare ușoară pe o hârtie de filtru.



Figura 7. Mașină de șlefuit

Operația de *lustruire* se execută în scopul înlăturării ultimelor zgârieturi de la șlefuire și pentru obținerea unei suprafețe oglindă (cu un luciu perfect). Ea se poate executa mecanic sau electrolytic.

Lustruirea mecanică se face pe mașini de lustruit cu disc rotitor (Fig. 8), pe care se fixează un postav din lână (pâslă) umezit continuu cu o soluție 1:20 de abraziv în suspensie (oxid de aluminiu, oxid de magneziu, oxid de crom, praf de diamant, etc.). În timpul lustruirii mecanice, proba se apasă și se rotește ușor pe pâslă până la dispariția tuturor zgârieturilor. În final, proba se spală sub jet de apă, urmele de abraziv îndepărtându-se cu vată, apoi cu alcool etilic, uscarea efectuându-se în curent de aer cald sau prin apăsare ușoară cu hârtie de filtru.

Lustruirea electrolytică reprezintă o metodă modernă ce are la bază fenomenul dizolvării selective a asperităților de pe suprafața probei (anod), printr-un proces de electroliză. Electrolytul și regimul electric se aleg funcție de natura materialului probei de examinat.

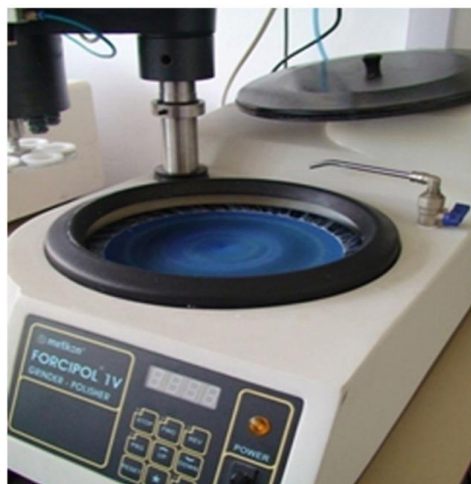


Figura 8. Mașină de lustruit

După lustruire, proba poate fi supusă studiului la microscop, punându-se în evidență incluziunile nemetalice (oxizi, sulfuri, grafit, zgură, etc.), defecte (microretasuri, microfisuri).

Atacul metalografic cu reactivi chimici are drept scop scoaterea în evidență a structurii cristaline, prin dizolvarea sau colorarea selectivă a diferiților constituenți prezenți. Dacă structura materialului metalic cuprinde un singur fel de atomi, reactivul chimic va coroda în special limitele acestora, deoarece ele reprezintă zone de eterogenitate (impurități, incluziuni, straturi amorfe, etc.).

La microscop, constituenții neatacați (strălucitori) se văd de culoare albă, deoarece reflectă razele luminoase în obiectiv, în timp ce constituenții corodați și limitele grăunților vor apărea întunecate, pentru că fie că absorb lumina, fie că o reflectă în afara sistemului optic.

Atacul se realizează prin imersiune sau prin tamponarea suprafeței probei cu o bucată de vată îmbibată în reactiv. Proba se va considera atacată atunci când suprafața pregătită și-a pierdut luciul, devenind ușor mată. În general, pentru obținerea unor contraste mai puternice, se vor folosi reactivi mai diluați, deci un timp de menținere mai îndelungat.

Înteruperea operației de atac chimic se face prin spălare sub jet de apă și apoi cu alcool etilic, uscarea efectuându-se în curent de aer cald sau prin apăsare ușoară pe hârtie de filtru.

Reactivii chimici metalografici se aleg funcție de natura materialului metalic de cercetat, precum și funcție de aspectele structurale urmărite.

2.2. Microstructura de echilibru a aliajelor metalice

Aliajele sunt materiale complexe, obținute pe cale difuziei din două sau mai multe elemente și care posedă caracteristicile principale ale stării metalice. Ele sunt, în general, amestecuri ale unui metal cu unul sau mai multe metale sau metaloizi. De exemplu, componenții aliajelor Cu-Zn (alama) sunt cuprul și zincul.

De obicei, aliajele se elaborează în stare lichidă, prin topirea comună a componenților.

Aliajele se mai pot obține, în cazuri speciale, prin difuzie în stare solidă (de exemplu carburare directă) sau gazoasă (cementare, nitrurare, etc.) și prin condensare.

Totalitatea aliajelor alcătuite din aceiași componenți în diferite proporții se numește *sistem*. După numărul componenților, sistemele se clasifică în:

- binare, cu doi componenți (Cu-Zn, Fe-C, Pb-Sb, etc.);
- ternare, cu trei componenți (Fe-Cu-Mn, Fe-C-Cr, etc.);
- polinare, cu mai mulți componenți (Fe-C-W-Cr-V, etc.).

Din punct de vedere al constituției fizico-chimice, un sistem poate fi:

- omogen, cu aceleași caracteristici în toate zonele;

- eterogen, cuprinzând zone omogene diferite, separabile prin mijloace mecanice sau vizual.

Constituenții omogeni ai structurii aliajelor se numesc faze. Faza reprezintă o regiune dintr-un sistem delimitată de celelalte părți ale sistemului prin limite de fază la nivelul cărora se înregistrează o modificare bruscă a proprietăților. De exemplu, într-un material metalic în curs de topire sau solidificare există două faze: grăunți cristalini (solid) și topitura metalică (lichid); într-un metal pur există o singură fază omogenă solidă.

Fazele nu pot fi separate prin mijloace mecanice și diferă între ele fie prin compoziția chimică, fie prin structura cristalină. În ceea ce privește compoziția chimică, o fază poate fi formată din unul sau mai mulți componenți în diferite concentrații. Fiecare fază dintr-un aliaj este caracterizată printr-o rețea cristalină proprie.

Sistemele omogene vor fi formate dintr-o singură fază iar cele eterogene din mai multe faze. În afară de acești constituenți omogeni, în aliaje vor putea exista constituenți structurali eterogeni, conglomerate, numite *amestecuri mecanice de faze*.

Pot exista trei tipuri de constituenți omogeni în aliaje: metale pure (element chimic pur), soluții solide și compuși chimici.

Noțiunea de *element pur (metal sau nemetal)* face referire la compoziția chimică, respectiv la faptul că materialul metalic este alcătuit dintr-un singur component de bază, de exemplu: Fe, Cu, Al, Pb, Cd, Bi, Sn, C, etc. Aceasta nu exclude însă existența în compoziția chimică și a altor specii de atomi, în proporții foarte reduse, ne semnificative în ceea ce privește influența asupra aspectului metalografic. De altfel, trebuie menționat faptul că, până în prezent, nu au putut fi elaborate (prin metode de laborator sau industriale) metale de puritate absolută (100%).

În practica industrială se utilizează frecvent noțiune de puritate tehnică în cadrul căreia gradul de puritate este cuprins între 99,9 - 99,99%. În cazul metalelor de înaltă puritate se utilizează notația p.p.m. (părți per milion, adică numărul de atomi străini la un milion de atomi de bază). În acest caz un metal cu o concentrație de impurități de 1 p.p.m. conține un atom de impuritate la 10^6 atomi ai substanței de bază.

Structura de turnare a metalelor pure este formată din grăunți cristalini cu forme neregulate, la limita cărora gradul de liniaritate este redus (aspect dantelat), fig. 9a. Acest aspect este datorat modului în care are loc procesul de solidificare: la început cristalizarea asigură formarea dendritelor, care la creșterea ulterioară se incomodează reciproc, conducând la apariția cristalelor cu margini neregulate.

Un element chimic pur nemetalic este prezentat în fig. 9b

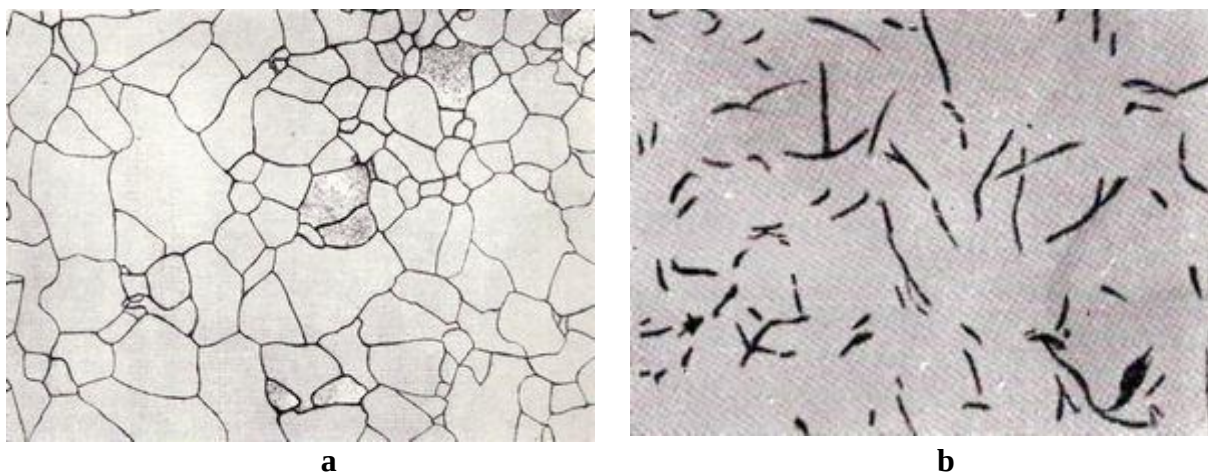


Figura 9. Microstructura elementelor pure. a – metal turnat, x300; b – carbon grafit lamelar, 100:1, /3/.

Soluțiile solide sunt amestecuri atomice realizate prin difuzie, având diferite proporții între componenții sistemului. Spre deosebire de metalele pure care se solidifică la temperatură constantă, soluțiile solide cristalizează într-un interval de temperatură.

După modul de alcătuire al rețelei cristaline soluțiile solide se împart în două categorii:

- soluții solide de substituție sau de înlocuire, la care atomii unui element înlocuiesc o parte din atomii rețelei metalului;
- soluții solide de interstiție sau de pătrundere, când atomii unui element pătrund în spațiile libere ale rețelei celui alt element.

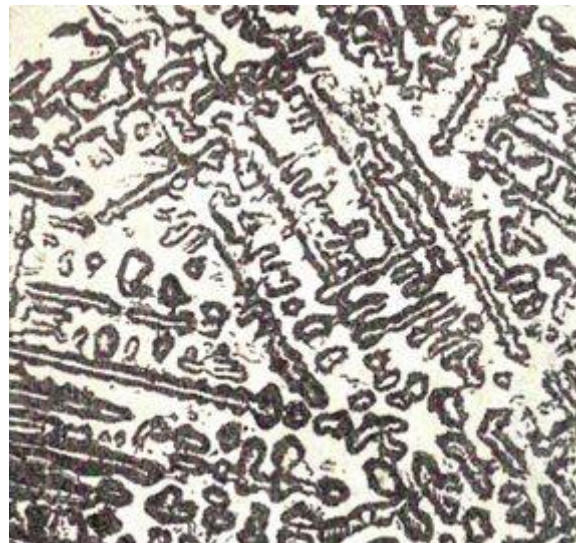
La analiza metalografică, soluțiile solide prezintă în aliajele turnate un aspect neomogen dendritic (fig. 10a), după recoacerea de omogenizare ele căpătând un aspect de grăunți poliedrici omogeni (fig. 10b). În urma deformării plastice și a recoacerii în structură apar grăunți maclați.

Maclele sunt benzi în interiorul cristalitelor mărginite de linii drepte, formate prin deplasarea, sub acțiunea tensiunilor mecanice (interne sau externe), a unei părți din grăuntele cristalin simetric (în raport cu un plan cristalografic numit plan de maclare) față de cealaltă parte a acestuia. În general, maclele apar la microscop de nuanțe diferite față de restul cristalitului, deoarece în urma deplasărilor care au avut loc s-a modificat orientarea planelor cristalografice în raport cu direcția fascicolului de lumină incident, precum și faptul că diferitele regiuni ale grăuntelui maclat vor fi diferențiat corodate de reactivii chimici utilizați.

Formarea soluțiilor solide influențează în special proprietățile fizice. În comparație cu metalul pur respectiv ele au o rezistivitate mult mai mare, conductibilitate termică și electrică mai reduse, plasticitate și turnabilitate scăzute.



a



b

Figura 10. Microstructura soluțiilor solide; a – dendritică, 300:1; b – poliedrică maclată, 250:1, /2, 6/.

Compușii chimici din structura aliajelor metalice se formează atunci când forțele de atracție dintre diferite specii de atomi sunt mai mari decât forțele de respingere dintre aceștia. Întrucât acestor faze le corespund anumite proporții între atomii diferiți, ele se numesc faze intermediare (au o compoziție cristalină specifică, diferită de cea a componenților A și B).

Compușii chimici (compușii intermetalici, fazele intermediare) se pot clasifica după mai multe criterii cum ar fi: modul de respectare a legilor valenței; lărgimea domeniului de concentrație în care există ca fază unică; modul de comportare la topire; factorul care predomină în determinarea energiei libere, etc.

De exemplu, unii compuși chimici sunt extrem de stabili, având puncte de topire mult mai ridicate decât ale metalelor componente; acești compuși se topesc în mod congruent (sunt

stabili până la temperatura de topire când trec în fază lichidă). Alți compuși au stabilitate mai mică și se descompun la încălzire înainte de topire (topire incongruentă).

La microscop compușii chimici apar de culoare deschisă, sub formă cubică, aciculară, lamelară, globulară sau în rețea (fig. 11). Compușii chimici și intermetalici sunt caracterizați prin duritate și fragilitate ridicată, fiind însă deosebit de rezistenți la atacul cu reactivi metalografici.



Figura 11. Compuși chimici și intermetalici de formă poliedrică și aciculară, 100:1, /6/.

Amestecurile mecanice reprezintă sisteme eterogene formate din două sau mai multe faze care pot fi separate mecanic sau vizual la microscopul metalografic optic. Astfel, amestecul mecanic, care este un agregat cristalin, poate fi format din amestecul componentelor sistemului, amestecul unor soluții solide diferite sau din amestecul unui compus chimic și al unei soluții solide.

La topire și solidificare amestecurile mecanice se comportă identic cu un metal pur sau cu un compus chimic, adică au un punct fix de topire și solidificare, totdeauna mai mic decât punctele critice respective ale componentelor.

Dacă amestecul mecanic se obține din descompunerea unor soluții lichide (transformare primară) se numește eutectic, iar dacă se obține din descompunerea totală a unei soluții solide se numește eutectoid. Eutectoidul este format din cristalite cu dimensiuni mici, distribuite uniform, imprimându-i aliajului caracteristici mecanice superioare față de eutectic.

La analiza metalografică, la puteri de mărire obișnuite, eutectoidul apare sub formă de insule închise la culoare, iar la puteri mai mari de mărire sub formă lamelară (alternând lamele albe cu lamele negre – fig. 12a), în timp ce eutectoidul este reliefat sub forma unor zone cu puncte negre pe un fond alb strălucitor, fig. 12b.



a



b

Figura 12. Amestecuri mecanice: eutectic (a, 500:1) și eutectoid (b, 500:1), /6/.

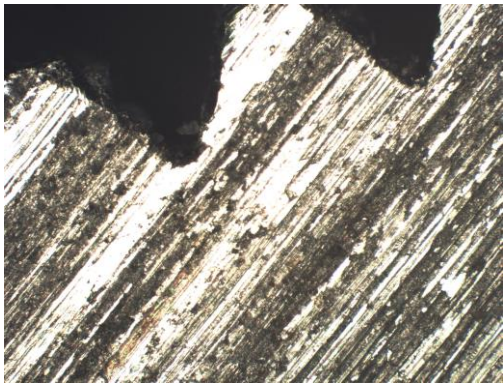
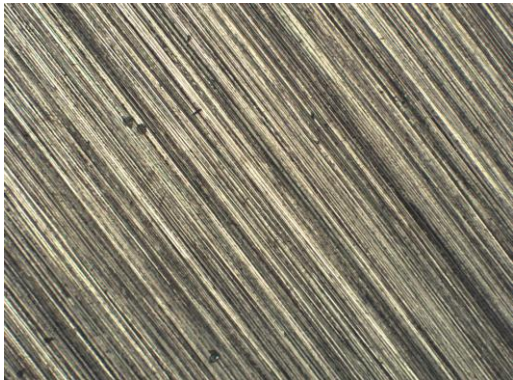
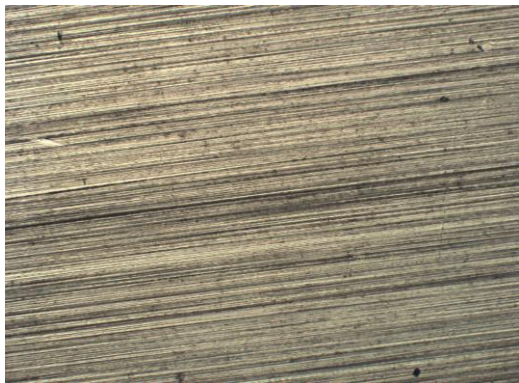
3. Modul de lucru

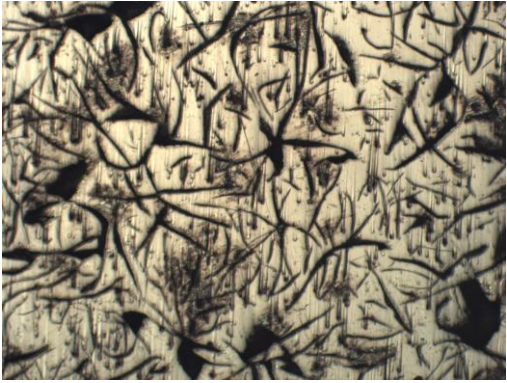
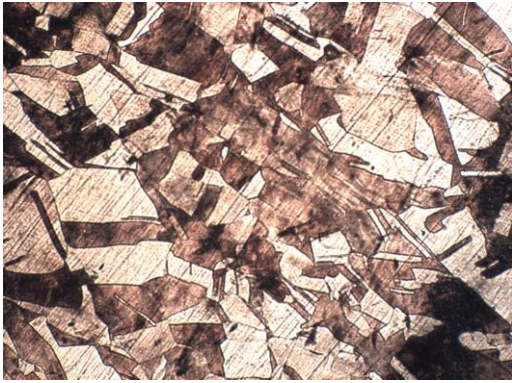
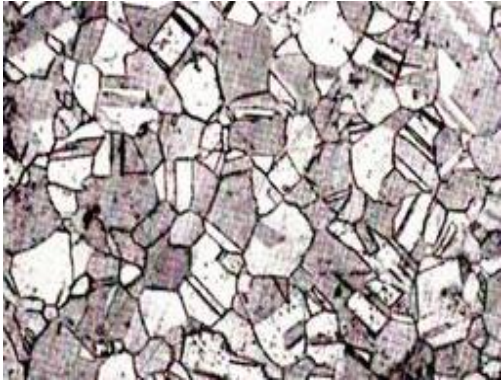
În prima parte a lucrării de laborator se va studia construcția și modul de utilizare a microscopului optic tip Meiji Techno prevăzut cu cameră OPTIKAM 4083.B5 microscopy digital USB și software OPTIKAM B5. De asemenea, se va studia modul de pregătire a probelor metalografice precum și a informațiilor ce se pot obține cu acestea. Studiul probelor metalografice cu ajutorul microscopului metalografic optic dă informații utile asupra structurii materialului metalic obținut prin diferite procese de prelucrare. În timpul lucrării de laborator se vor studia părțile componente ale microscopului metalografic optic și modul de pregătire a probelor metalografice pentru microscopia optică.

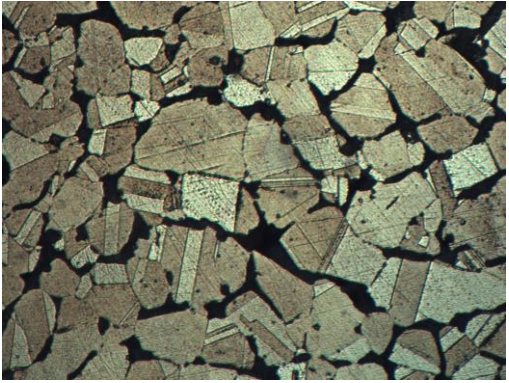
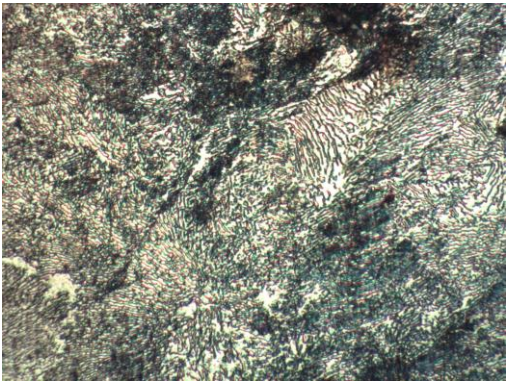
În partea a doua a lucrării se vor identifica, pe probe pregătite și atacate chimic și cu ajutorul microscopelor metalografice optice (cu diverse puteri de mărire), componenții metalografici (elemente pure, soluții solide, compuși chimici și amestecuri mecanice).

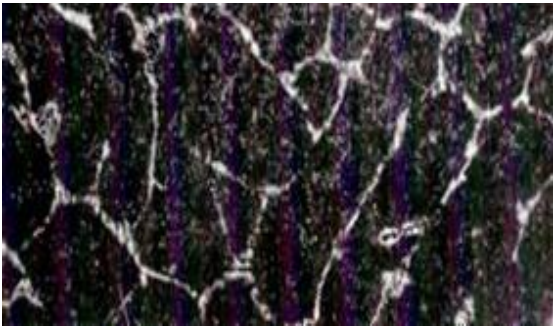
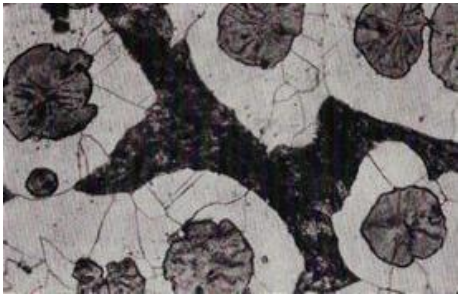
Se fixează probele metalografice pe microscopul optic, se determină zonele caracteristice de pe suprafața lor, identificându-se după formă, culoare și distribuție componenții metalografici prezenți. Pe micrografiile corespunzătoare se va indica cu ajutorul unor săgeți componenții specifici.

4. Prelucrarea datelor experimentale

Nr. crt.	Microstructura materialului metalic	Denumirea materialului, observații
0	1	2
1.	Probă obținută prin aşchiere  100:1	Probă debitată cu fierăstrăul dintr-o duză pentru combustibil lichid. Se observă rizuri paralele adânci rezultate în urma tăierii cu discul; în partea superioară se poate observa filetul duzei.
2.	Probă şlefuită cu hârtie metalografică de 360  100:1	Probă şlefuită cu hârtie abrazivă grosolană; se observă rizuri paralele, adânci, groase şi rare.
3	Probă şlefuită cu hârtie metalografică de 800  100:1	Probă şlefuită cu hârtie abrazivă cu granulație mai mică; se observă rizuri paralele, fine şi apropiate.

4	Probă lustruită  100:1	Probă din fontă cenușie lustruită: incluziuni nemetalice sub forma lamelilor de carbon grafit primar (lamelle grosolane) și secundar (lamelle fine). Nu se mai observă rizuri paralele de la șlefuire.
Probe atacate chimic		
5	Cupru electrolitic (puritate 99,95%)  (200:1)	Atac chimic: persulfat de amoniu. La microscop se observă: un constituent metalografic tip element chimic pur sub formă de grăunți cristalini poligonali, unii dintre ei macლაți (macles de recoacere).
6	Fier tehnic pur (cu mai puțin de 0,00218% C)  (200:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. . La microscop se observă: un constituent metalografic tip soluție solidă interstițială sub formă de grăunți cristalini poligonali, numită ferită alfa ($F\alpha$) și un constituent metalografic tip compus chimic numit cementită terțiară (C_{III}), dispus la limita grăunților de $F\alpha$.

7	Alamă monofazică (CuZn10)  (500:1)	Atac chimic: clorură cuprică amoniacală. La microscop se observă: un constituent metalografic tip soluție solidă de substituție omogenă (numită s.s.s.α), prezentă sub formă de grăunți poligonali, unii dintre ei macલાți (macle de recoacere).
8	Aliaj antifricțiune (Y-Sn83)  (100:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. La microscop se observă: doi constituenți metalografici tip: compus chimic definit numit SnSb, cristalizat primar, prezent sub formă de plăci albe poligonale și un compus chimic, numit Cu₃Sn cristalizat primar, prezent sub formă de ace albe; un constituent metalografic tip soluție solidă (numită s.s.s.α), prezentă sub formă de câmp luminos
9	Oțel carbon eutectoid  (100:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. La microscop se observă: un constituent metalografic tip amestec mecanic eutectoid numit perlită (P), dispus sub formă de colonii, prezentând aspect lamelar (lamelle de Fα și cementită secundară) și culoare întunecată.

10	Oțel carbon hipereutectoid  (100:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. La microscop se observă: un constituent metalografic tip amestec mecanic eutectoid, numit perlită (P), prezent sub formă de insule negre și un constituent metalografic tip compus chimic, numit cementită secundară (Ce_{II}), prezent sub formă de rețea continuă, de culoare alb-strălucitoare și dispusă în jurul insulelor de perlită.
11	Fontă albă hipereutectică  (100:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. La microscop se observă: un constituent metalografic tip amestec mecanic eutectic, numit ledeburită secundară (Le_{II}), prezent sub formă de insule mici globulare pe fond alb și un constituent metalografic tip compus chimic, numit cementită primară (Ce_I), prezent sub formă aciculară și culoare alb-strălucitoare.
12	Fontă cenușie ferito-perlitică  (300:1)	Atac chimic: reactiv nital 4%. Se observă: un constituent metalografic tip element chimic pur, numit grafit (C_g), prezent sub formă de noduli negri), un constituent metalografic tip soluție solidă, numită F_α, sub formă de grăunți poliedrici albi dispuși în jurul grafitului și un constituent metalografic tip amestec mecanic eutectoid, numit perlită (P), prezent sub formă de insule negre).

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr.5

MICROSTRUCTURA DE ECHILIBRU A OȚELURILOR CARBON ȘI ALIATE

1. Scopul lucrării

Lucrarea prezintă noțiuni teoretice necesare identificării constituenților metalografici specifici structurii de echilibru a oțelurilor carbon și oțelurilor aliate.

Cunoscându-se proprietățile mecanice ale constituenților structurali și ponderea lor în structură se vor aproxima proprietățile mecanice ale oțelurilor studiate.

2. Considerații teoretice

2.1. Microstructura de echilibru a oțelurilor carbon

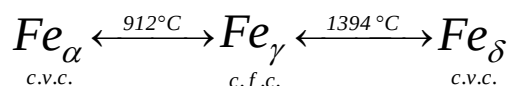
Fierul este un metal cu largă răspândire în natură, fiind utilizat atât în stare de puritate tehnică, cât și sub formă de aliaje metalice.

Fierul tehnic are proprietăți de rezistență scăzute ($R_m=200 \text{ N/mm}^2$; $R_c=100 \text{ N/mm}^2$; $HB=80 \text{ daN/mm}^2$), proprietăți plastice ridicate ($A_5=50\%$; $Z=80\%$; $KCU=25 \text{ daJ/cm}^2$), permeabilitate magnetică mare, forță coercitivă și conductivitate electrică mici, pierderi mici prin histerezis magnetic.

Fierul poate prezenta, în funcție de temperatură mai multe stări alotropice, care diferă între ele prin sistemul de cristalizare, proprietăți magnetice și capacitatea de dizolvare a carbonului.

În mod corespunzător, proprietățile fizico-chimice și mecanice sunt specifice diferitelor stări alotropice.

În cazul fierului sunt puse în evidență următoarele transformări alotropice:



În stare pură, fierul are domenii limitate de utilizare. Cea mai largă utilizare o au aliajele pe bază de fier, reprezentate prin oțeluri carbon, fonte obișnuite, oțeluri și fonte aliate.

Cel mai important element de aliere al fierului este carbonul.

Oțelurile sunt aliaje fier- carbon, cu un conținut de carbon cuprins între 0,0....2,11% carbon.

Oțelurile carbon se studiază folosind diagrama de echilibru termodinamic Fe-Fe₃C – sistem metastabil (Anexa 3).

2.1.1. Faze și constituenți structurali în sistemul metastabil Fe-Fe₃C

În sistemul metastabil Fe-Fe₃C sunt prevăzute patru faze:

- soluția lichidă (L);
- ferita (F_α, F_δ);
- austenita (F_γ);
- cementita (Ce)

și doi constituenți de tip amestec mecanic:

- ledeburita (Le);
- perlita (P).

Soluția lichidă (L) este formată din amestecul intim al atomilor de fier aflat în stare lichidă și carbon.

Ferita (ferita alfa F_α și ferita delta F_δ) este o soluție solidă interstițială de carbon dizolvat în fier alfa (Fe_α), cristalizat în rețea c.v.c.

Ferita existentă la temperaturi mai mari de 1394 °C poartă denumirea de ferită delta (F_δ), este nemagnetică și poate dizolva maxim 0,09 %C la temperatura de 1495 °C.

Ferita existentă la temperaturi mai mici de 912 °C se numește ferită alfa (F_α), ea este magnetică sub temperatura de 770 °C (punctul Curie al fierului) și dizolvă maxim 0,0218 %C la temperatura de 727 °C.

Cele două ferite reprezintă una și aceeași fază, deosebindu-se doar parametrul rețelei cristaline care este mai mare la ferita δ .

La temperatura ambiantă ferita α dizolvă maxim 0,002 %C.

Proprietățile feritei sunt foarte apropiate de cele ale fierului pur:

$R_m=30 \text{ daN/mm}^2$; $KCU=200 \text{ daN/cm}^2$; $HB=80 \text{ daN/mm}^2$; $A=40\%$ și $Z=70\%$.

La microscopul optic, în urma atacului cu nital, ferita apare sub formă de grăunți poliedrici sau rețea de culoare albă (fig. 1).

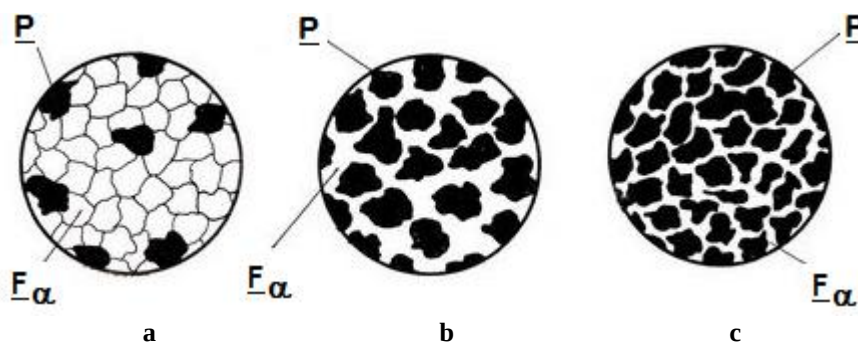


Figura 1. Aspectul microscopic al feritei alfa

- oțeluri cu până la 0,4 %C;
- oțeluri cu 0,4÷0,6 %C;
- oțeluri cu 0,6÷0,77 %C.

Austenita(A) este o soluție solidă interstițială de carbon dizolvat în fier gama (Fe_γ), cristalizat în rețea c.f.c.

Fiind cristalizată în rețea c.f.c. are mai multe sisteme de alunecare și este cea mai plastică fază a aliajelor Fe- Fe_3C ; ea poate dizolva maxim 2,11 %C la temperatura de 1148°C.

În oțelurile carbon, în condițiile de echilibru, austenita există numai la temperaturi mai mari de 727 °C.

În urma studiului cu microscopul vacuterm s-a constatat că austenita apare sub formă de grăunți poliedrici, de culoare albă, ușor geometrizați (fig. 2).

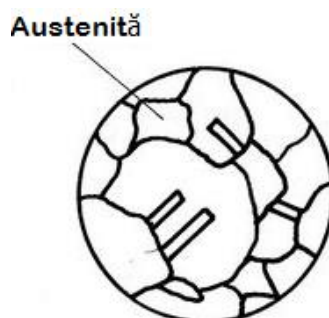


Figura 2. Aspectul microscopic al austenitei

Cementita (Ce) este un compus definit, care poate fi:

- cementită primară (Ce_I);

- cementită secundară (Ce_{II});
- cementită terțiară (Ce_{III}).

Toate cele trei tipuri de cementită cristalizează în sistem ortorombic, au aceeași compoziție chimică, deosebindu-se doar prin gradul de dispersie (Ce_I fiind cea mai grosolană, Ce_{III} fiind cea mai fină).

La răcire, sub temperatura de 210 °C (punctul Curie al cementitei), cementita devine feromagnetică.

Cementita este faza cea mai dură: $HB=750 \text{ daN/mm}^2$ și cea mai fragilă.

La microscop, după atac chimic, ea apare sub formă de câmp, lamelară, globulară, ace sau rețea de culoare albă (fig. 3).

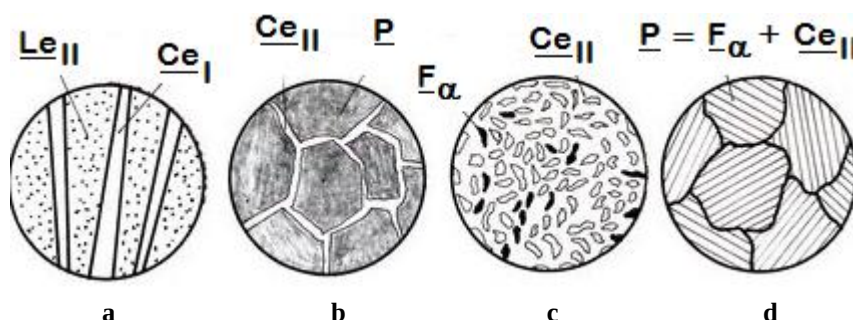
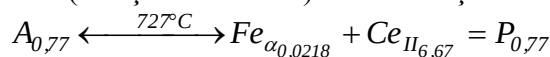


Figura 3. Aspectul microscopic al cementitei

- cementită aciculară – cementită sub formă de câmp;
- cementită sub formă de rețea;
- cementită globulară;
- cementită lamelară.

Perlita (P) este un amestec mecanic bifazic, format în urma descompunerii totale a austenitei la temperatura de 727 °C (reacția eutectoidă) în ferită α și cementită.

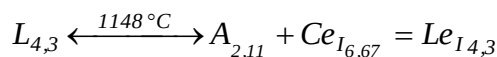


Proprietățile mecanice ale perlitei au valori intermediare între cele ale feritei α și cementitei:

$$HB=205 \text{ daN/mm}^2; R_m=85 \text{ daN/mm}^2; A=15; KCU=3 \dots 6 \text{ daJ/cm}^2.$$

La microscop, în urma atacului intim, perlita apare sub forma unor insule întunecate la puteri de mărire de peste 300:1 se poate distinge aspectul lamelar sau globular al acestora (fig. 3.d.).

Ledeburita primară (Le_I) este un amestec mecanic bifazic, format prin descompunerea soluției lichide, conform reacției eutectice:



Ledeburita secundară (Le_{II}) este un amestec mecanic format prin descompunerea austenitei din Le_I în ferită α și cementită secundară. Deci, ledeburita secundară este formată din perlită și cementită primară.

Ledeburita este un constituent structural dur și fragil, cu turnabilitate bună.

La microscop apare sub formă de insule mici de perlită dispuse pe un fond alb de cementită (fig. 3. a).

2.1.2. Proprietățile fizico-mecanice ale oțelurilor carbon

Proprietățile fizice și mecanice ale oțelurilor carbon variază odată cu procentul de carbon, datorită modificărilor cantitative a constituenților structurali.

Oțelurile carbon posedă proprietăți bune de rezistență mecanică, plasticitate mare, tenacitate mare, elasticitate considerabilă, conductivitate termică și electrică medii, sudabilitate bună, călibilitate suficientă, deformabilitate corespunzătoare, așchiabilitate mare.

Dar, în comparație cu unele materiale metalice neferoase sau materiale nemetalice sunt caracterizate de greutate specifică mare și rezistență mică la coroziune.

Cunoscându-se faptul că proprietățile mecanice ale aliajelor Fe-Fe₃C variază aproximativ liniar cu proporția constituenților structurali și cu procentul de carbon al acestora, se vor putea determina, cu aproximație, valorile caracteristicilor mecanice ale oricărui oțel (tab. 1).

Tabelul 1

Caracteristicile fizico-mecanice ale constituenților structurali de echilibru din aliajele Fe-Fe₃C

Constituentul	Densitatea [kg/dm ³]	Duritatea Brinell (HB) [daN/mm ²]	Rezistența la rupere (R _m) [daN/mm ²]	Alungirea la rupere (A) [%]
Ferită α	7,86	80	30	35
Cementita	7,62	750	-	-
Perlita	Foarte fină	250	110	10
	Normală	205	85	15
	Grosolană	185	55	25
Ledeburita	-	700	-	-

Aplicație practică: Să se determine caracteristicile mecanice pentru un oțel cu structura formată din 74 % perlită foarte fină și 26 % ferită α (determinate cu regula pârgheiei).

1. Rezistența la rupere:

$$R_m = \frac{110 \cdot 74}{100} + \frac{30 \cdot 26}{100} =$$

2. Duritatea:

$$HB = \frac{250 \cdot 74}{100} + \frac{80 \cdot 26}{100} =$$

3. Alungirea la rupere:

$$A = \frac{10 \cdot 74}{100} + \frac{35 \cdot 26}{100} =$$

Cu creșterea procentului de carbon proprietățile variază astfel:

- cele de rezistență mecanică (R_m și R_c) cresc odată cu creșterea conținutului de carbon până la 1 %, după care scad datorită prezenței unei cantități mari de Ce_{II}, fragilă.

Duritatea Brinell (HB) crește continuu cu procentul de carbon; reziliența (KCU); alungirea (A) și gătuirea (Z) scad pe măsura creșterii procentului de carbon (fig. 4).

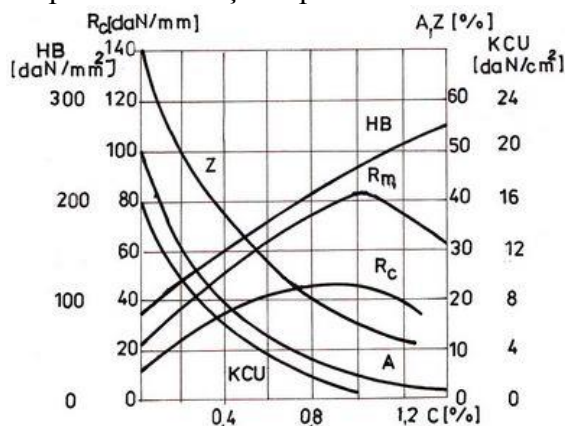


Figura 4. Variația proprietăților mecanice ale oțelurilor în funcție de conținutul de carbon

Proprietățile fizice se modifică astfel cu creșterea procentului de carbon, greutatea specifică (γ), saturația magnetică ($4\pi \cdot I \cdot \omega$), inducția magnetică (Br), permeabilitatea magnetică (μ_{max}) scad, iar forța coercitivă (H_c) și rezistivitatea electrică (ρ) cresc cu creșterea cantităților de carbon în oțeluri (fig. 5).

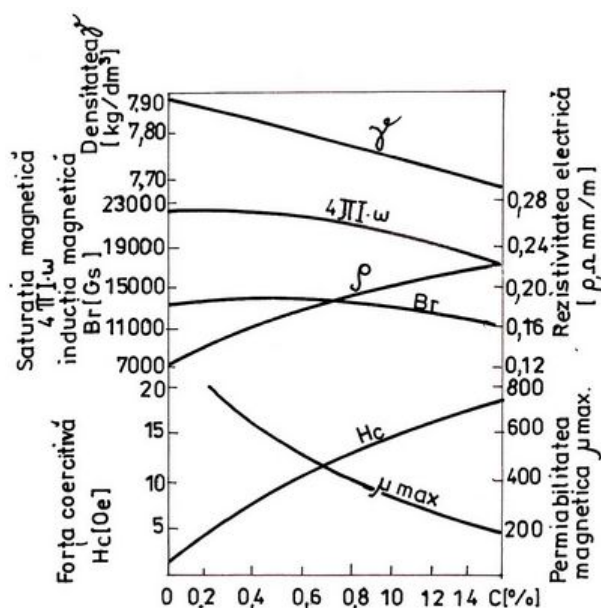


Figura 5. Variația în procentul de carbon a proprietăților fizice ale oțelurilor carbon

Și proprietățile tehnologice sunt influențate de creșterea cantității de carbon. Astfel, turnabilitatea crește, deformabilitatea la cald și la rece scad, sudabilitatea se reduce accentuat, iar călibilitatea și așchiabilitatea cresc până la un anumit procent de carbon după care se reduc.

Trebuie remarcat că nu numai cantitatea constituenților structurali influențează caracteristicile oțelurilor ci și forma, dimensiunile și modul de distribuție a acestor constituenți. Astfel, în oțelurile hipereutectoide prezența cementitei proeutectoide sub formă de rețea continuă, duce la micșorarea într-o măsură mai mare a rezistenței la rupere, în comparație cu cementita liberă aciculară. De asemenea, perlita sub formă globulară conferă oțelului o așchiabilitate mai mare și duritate mai mică decât perlita lamelară, în schimb, perlita lamelară permite obținerea în urma așchierii a unei suprafețe de calitate superioară (rugozitate mică).

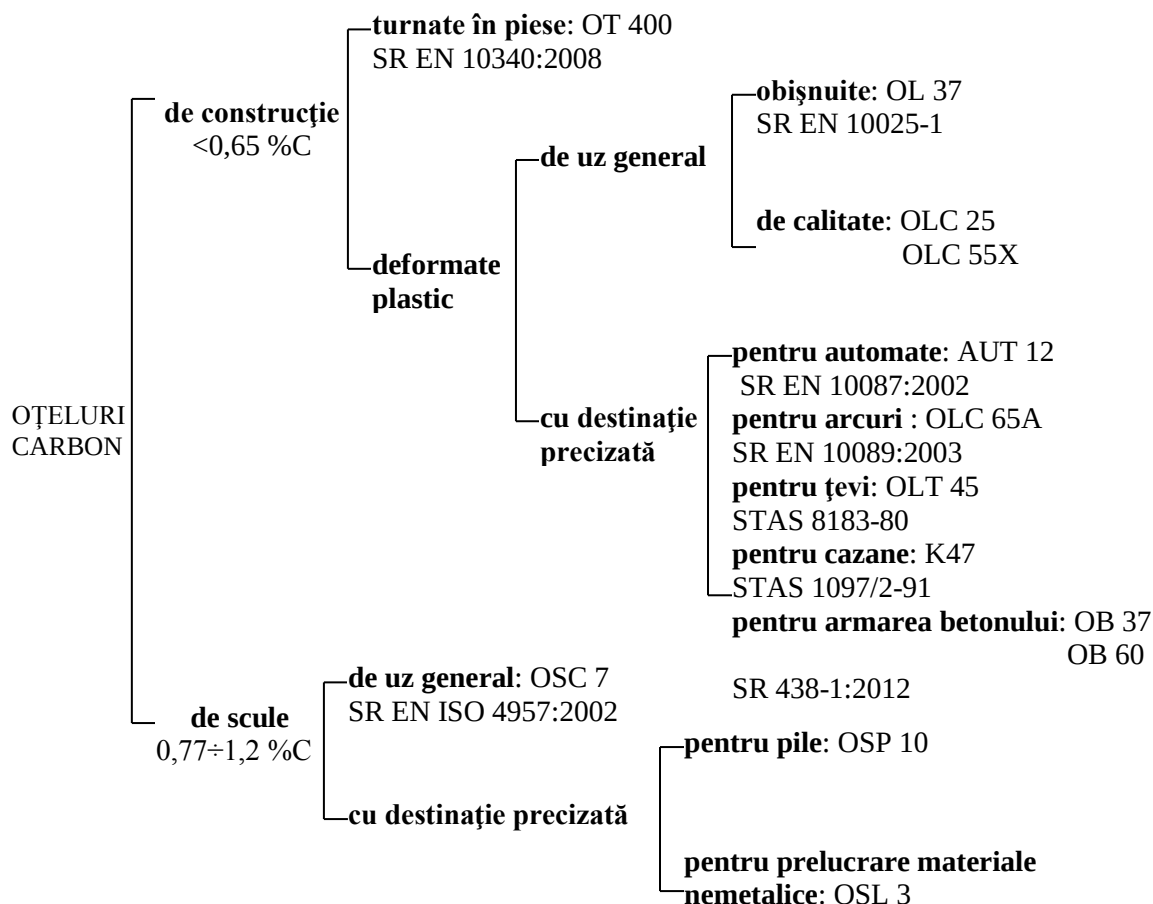
Mărimea grăunților influențează foarte mult proprietățile fizico-mecanice și tehnologice. Grăunții mari determină rezistență mecanică, plasticitate și călibilitate reduse etc.

2.1.3. Clasificarea și simbolizarea oțelurilor carbon

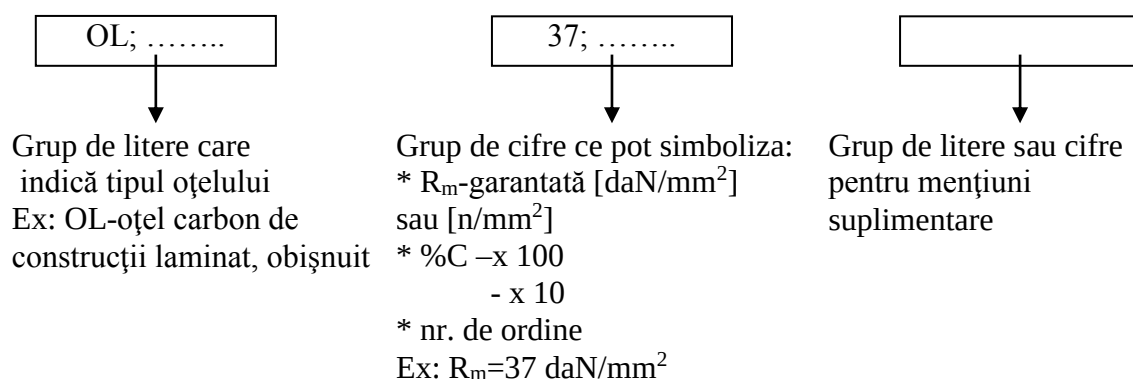
Există mai multe criterii de clasificare a oțelurilor carbon:

- din punct de vedere al structurii de echilibru: -hipoeutectoide: $0 \div 0,77 \%C$;
-eutectoide: $0,77 \%C$;
-hipereutectoide: $0,77\% \div 2,11\%C$.
- din punct de vedere al utilajului de elaborare: - de convertizor;
- de cuptor electric;
- de creuzet.
- din punct de vedere al tehnologiei de prelucrare: - turnate;
- deformate plastic, etc.

Cea mai importantă clasificare a oțelurilor este după destinație:



Simbolizarea oțelurilor carbon se face în modul următor:



2.2. Microstructura de echilibru a oțelurilor aliate

Oțelurile aliate sunt aliaje complexe ale fierului cu carbonul, care conțin în mod voit un al treilea element (de aliere) într-o cantitate suficient de mare pentru că produce modificări sensibile în proprietățile fizico-chimice, mecanice și tehnologice ale acestor aliaje.

Elementele de aliere folosite în mod curent sunt: Cr, Ni, Mn, Si, W, V iar mai rar: Co, Ti, Al, Cu, Nb, Zr, etc.

Oțelurile aliate pot fi:

- ternare: când conțin un singur element de aliere: Cr, Ni, Mn....
- cuaternare: conțin două elemente de aliere: Cr-Ni, Cr-Mn....
- polinare: când conțin mai multe elemente de aliere: Cr-Ni-Mo; Cr-Mn-Si.

Modificările aduse proprietăților oțelurilor aliate sunt în funcție de natura, numărul și cantitatea elementelor de aliere adăugate, precum și de comportarea lor față de principalii componenți ai oțelului: fierul și carbonul.

În funcție de comportarea față de fier, elementele de aliere pot fi clasificate:

- elemente inerte - nu se dizolvă și nu reacționează cu Fe, regăsindu-se sub formă de element liber: Pb, Ag, Cu, Ca;
- elemente solubile - ce formează soluții solide de substituție parțială (Si, Mo, W, Ti, Zr, Nb) sau totale (Ni, Cr, V, Co, Mn) sau de interstiție (B, H, O, N);
- elemente care în concentrații mari reacționează și se combină cu fierul (Cr, V, Si, Zn, Al, B) formând compuși intermetalici.

Prezența elementelor de aliere influențează:

- transformările alotropice ale fierului, deplasând pozițiile punctelor critice A_3 și A_4 (Anexa 3). Din acest punct de vedere elementele de aliere pot fi:
 - I. Elemente de aliere gamagene – coboară temperatura punctului critic A_3 și ridică temperatura punctului critic A_4 , lărgind domeniul de existență al fierului γ (Ni, Mn, Co, Pt, Cu, Zn, N);
 - II. Elemente de aliere alfa-gene – ridică temperatura punctului critic A_3 și coboară temperatura punctului critic A_4 , lărgind domeniul de existență al fierului (Cr, W, V, Zr, B, O, Si, Ti, Be, Al, Nb, etc.).

După efectul asupra carbonului, elementele de aliere se grupează astfel:

- elemente neutre, care nu formează carburi în oțeluri și nu au efecte grafitizante: Pb, Ag, Pt, Zn;
- elemente grafitizante, care dizolvate în fier reduc stabilitatea celorlalte carburi care se descompun în Fe+Cgr: Si, Ni, Cu și Al;
- elemente carburigene, a căror afinitate față de carbon, respectiv stabilitatea carburilor pe care le formează crește în ordinea, a căror afinitate față de carbon, respectiv stabilitatea carburilor pe care le formează crește în ordinea: Fe→Mn→Cr→Mo→W→Nb→V→Zr→Ti→Hf→Ta.

Cele mai stabile carburi în prezența fierului le vor forma elementele din stânga fierului, cu cât se găsesc la distanțe mai mari de acesta, stabilitatea lor chimică descrește în ordinea: Ti→V→W→Cr→Mn→Fe.

2.2.1. Clasificarea oțelurilor aliate

Clasificarea oțelurilor aliate se face ținând cont de mai multe criterii:

- din punct de vedere al gradului de aliere:
 - oțeluri slab aliate: $\sum E < 5\%$;
 - oțeluri mediu aliate: $\sum E < 10\%$;
 - oțeluri înalt aliate: $\sum E > 10\%$,

unde: E reprezintă cantitatea totală a elementelor de aliere.

- din punct de vedere al structurii la răcire lentă:
 - hipoeutectoide: $F_{\alpha al} + P_{al}$;
 - hipereutectoide: $F_{\alpha al} + Carb$;
 - ledeburitice: $Le_{al} + P_{al} + Carb$.
- din punct de vedere al structurii la răcire în aer liber (de normalizare):
 - elemente de aliere α -gene: - oțeluri feritice: $F_{\alpha al}$;
 - oțeluri semiferitice: $F_{\alpha al} + P_{al}$;
 - oțeluri ledeburitice: $F_{\alpha al}$, A_{al} sau M în care sunt înglobate carburi

- elemente de aliere γ -gene: - oțeluri austenitice;
- oțeluri semiaustenitice;
- oțeluri ledeburitice.
- din punct de vedere al destinației și utilizării:
 - - oțeluri de construcții: - de uz general,
- cu destinație precizată;
 - oțeluri de scule;
 - oțeluri cu proprietăți fizico chimice și mecanice speciale:
 - de uz general
 - cu destinație precizată.
- din punct de vedere al conținutului de carbon și tratamentelor termice ce li se asociază:
 - oțeluri de cementare ($C < 0,25\%$);
 - oțeluri de îmbunătățire ($C = 0,25 \div 0,6\%$);
 - oțeluri de nitrurare (conținut optim $C = 0,38\%$ și elemente α -gene care stabilizează nitrurile: Al, Cr, Mo, V);
- din punct de vedere al prelucrării primare:
 - turnate în piese
 - deformate plastic la cald (lamine, forjate, matrițate).

2.2.2. Faze și constituenți structurali în oțelurile aliate

Ținând cont de modul de comportare a elementelor de aliere față de fier și carbon, fazele și constituenții structurali specifici oțelurilor aliate vor fi:

- ferita aliată – soluție solidă, mai dură decât ferita nealiată;
- austenita aliată – soluție solidă stabilită la temperatura ambiantă;
- martensita aliată – ferită suprasaturată în carbon, obținută prin subrăcirea austenitei;
- carburile aliate (primare, secundare).

Aceste faze au proprietăți mecanice, fizico-chimice superioare fazelor nealiatate din oțelurile carbon, contribuind la performanțele oțelurilor aliate.

Constituenții structurali prezenți în oțelurile aliate includ pe lângă soluțiile solide și carburile enumerate amestecurile mecanice heterofazice:

- perlita aliată, cu fazele mai fin dispersate și cu un conținut mai mic de carbon decât perlita oțelului carbon, datorită deplasării spre stânga a concentrației punctului S (Anexa 3);
- ledeburita aliată ($Le_{al} = A + (FeCr)_3 + (FeCr)_7C_3$) care include pe lângă cementită și carburi aliate, acest constituent apare în oțelurile aliate la conținuturi mult mai mici de carbon decât 2,11 datorită deplasării spre stânga a concentrației punctului E (Anexa 3);
- bainita – soluție solidă α suprasaturată în carbon și cu carburi aliate foarte fin dispersate.

Din cele arătate mai sus, rezultă că elementele de aliere se regăsesc în structura oțelurilor aliate dizolvate în mod diferențiat în ferită sau în austenită până la limita de solubilitate, iar excesul formează cu carbonul disponibil carburi aliate.

În legătură cu cele prezentate mai sus, se vor studia, în continuare, microstructurile unor oțeluri aliate, prezentându-se și simbolizarea lor în conformitate cu standardele din România.

2.2.3. Oțeluri aliate de construcții (cca. 0,6% C)

Acestea sunt oțeluri slab aliate care fac parte aproape integral din clasa oțelurilor perlitice, ce se folosesc în stare normalizată, tratate termochimic sau în stare îmbunătățită.

În stare de echilibru (starea recoaptă) aceste aliaje au structură fină, formată din ferită aliată și perlită aliată.

Ferita aliată, în mod obișnuit, are formă poliedrică (fig. 6a) obținută prin răcire lentă (recoacere).

Perlita aliată reprezintă un amestec mecanic între ferită și cementită aliată. Se prezintă sub formă de lamele fine, numită adesea și perlită sorbitică (fig. 6b)

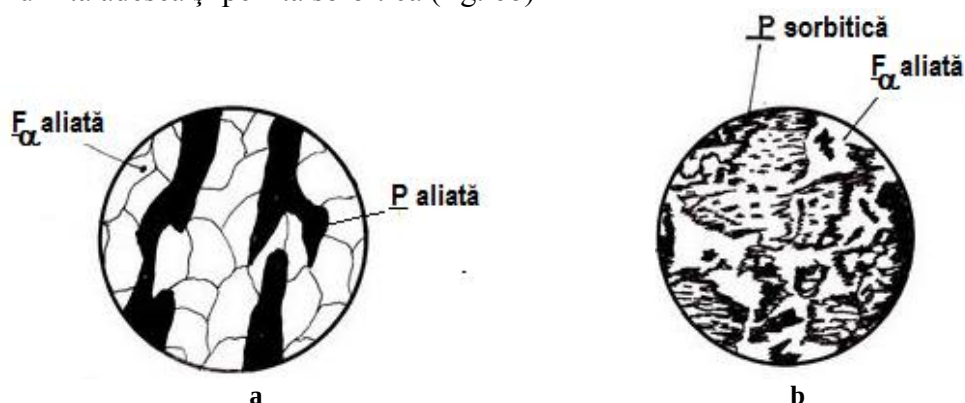


Figura 6

a. Microstructura oțelului 13CrNi30; cristale de culoare deschisă de ferită aliată și perlită aliată dispusă în șiruri;

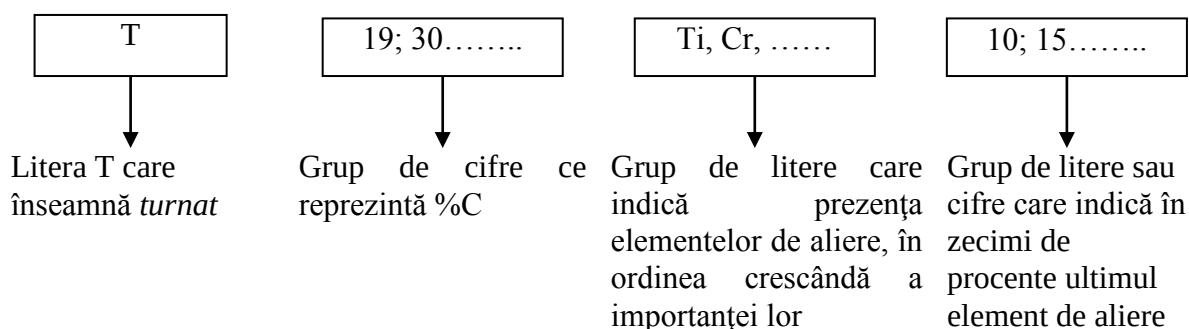
b. Microstructura oțelului 41MoCr11: ferită aliată sub formă de rețea; perlită sorbitică; Atac chimic: nital 4% (500:1)

Oțelurile aliate de construcții, după natura prelucrării lor sunt:

- oțeluri turnate în piese;
- oțeluri deformate la cald (prin laminare, forjare și matrițare), care la rândul lor pot fi:
 - cu destinație generală;
 - cu destinație precizată.

Oțelurile aliate turnate în piese sunt oțeluri aliate cu Cr, Ni, Mn, Si, Mo, V, Ti, cu conținut de 0,3.....0,4 %C.

Simbolizarea acestor oțeluri se face astfel:



De exemplu: T 30 Si Mn 12 – reprezintă un oțel aliat turnat cu un conținut de 0,3 %C, aliat cu Si și Mn, cu un conținut de 1,2 % Mn

Oțelurile aliate de construcții deformate la cald cu destinație generală sunt oțeluri slab aliate și prelucrate prin *deformare* plastică la cald, folosite în stare normalizată sau tratate termic și termochimic.

Simbolizarea acestor oțeluri se face ca și în cazul oțelurilor aliate turnate, numai că dispăre litera T din fața simbolului.

În funcție de conținutul de carbon și de elementele de aliere, aceste oțeluri pot fi:

- de cementare (sub 0,28 %C);
- de îmbunătățire (peste 0,3 %C).

Aceste oțeluri au proprietăți mecanice foarte bune: duritatea Brinell (HB) până la 270 daN/mm²; rezistența la rupere prin tracțiune $R_m = 65 \dots 130 \text{ daN/mm}^2$, alungirea relativă la rupere $A = 8 \dots 15 \%$; reziliența KCU = 66...10 daJ/cm², etc.

Din grupa oțelurilor aliate de construcții deformate la cald, cu destinație precizată fac parte:

- oțeluri pentru arcuri;
- oțeluri pentru recipiente la presiune normală, la temperaturi normale și joase;
- oțeluri pentru țevi destinate industriei petroliere;
- oțeluri pentru țevi de cazane și cuptoare;
- oțeluri pentru ambutisare;
- oțeluri pentru supape de motoare;
- oțeluri pentru arcuri;
- oțeluri pentru rulmenți;
- oțeluri pentru organe de asamblare, etc.

Oțelurile pentru arcuri sunt aliate în principal cu Si, Cr și V, având un conținut de carbon între 0,4 și 0,7 %.

Elementele de aliere măresc elasticitatea, rezistența la oboseală, rezistența la coroziune în mediul de utilizare, călibilitatea.

Simbolizarea acestor oțeluri este identică cu a oțelurilor cu destinație generală deformabile, doar că, se adaugă la sfârșitul simbolului litera "A" (ex. 51 Si 17A).

Oțelurile pentru rulmenți, sunt aliate cu Cr, Mn și Si. Structura de utilizare este formată din martensita de revenire și carburile elementelor de aliere, fiind obținută în urma tratamentelor termice de călire martensitică și revenire joasă.

Simbolizarea acestor oțeluri se face:



Exemplu: RUL 1, RUL 2,

2.2.4. Oțeluri aliate pentru scule (0,6÷0,7 %C)

Sunt oțeluri hipereutectoide și ledeburitice, după structura obținută la răcire în cuptor, dar și martensitice, după structura de răcire în aer liber.

Conțin elemente de aliere ce formează carburi stabile (Cr, W, V, Mo sau Mn, Co), care le măresc duritatea și o mențin la temperaturi ridicate.

Ținând seama de destinație, oțelurile aliate pentru scule pot fi:

- oțeluri aliate pentru scule așchietoare;
- oțeluri aliate pentru scule de deformare plastică;
- oțeluri aliate pentru instrumente de măsură și verificatoare.

a. Oțeluri aliate pentru scule așchietoare

Aceste oțeluri au o duritate mai mare de 60 HRC, sunt rezistente la uzare, prezintă o bună termostabilitate (până la 900°C) și sunt rezistente la șocuri.

Din punct de vedere al gradului de aliere pot fi oțeluri slab și înalt aliate.

Oțelurile slab aliate (SR EN ISO 4957:2002) pentru scule (0,6÷1,3 %C) conțin în special Cr (1,0...4,0 %Cr) apoi W, V, Mo, Mn.

Microstructura după tratament de recoacere este formată din perlită aliată și carburi.

Simbolizarea este aceeași cu a oțelurilor aliate de construcții cu destinație generală deformabile (117V Cr6; 90V Mn20...). Sunt destinate pentru: freze, alezoare, tarozi, burghie, etc. Cele cu destinație precizată sunt oțeluri pentru pile (ex. OSP10 Cr; OSP15 Cr).

Oțelurile înalt aliate pentru scule (0,8÷1,0 %C) conțin : W, Cr, V, Nb.

Ele pot fi:

- foarte rezistente la uzare (20Cr 120);
- rezistente la uzare în medii corozive (40Cr 130);
- oțeluri rapide (Rp1, Rp2).

Microstructura acestor oțeluri este:

- după turnare: ledeburitică (fig. 7a);
- după deformare plastică la cald (forjare): perlită aliată + carburi uniform distribuite în masa materialului (fig. 7b);
- după călire: martensită + A_{rez} + carburi secundare (fig. 7c).

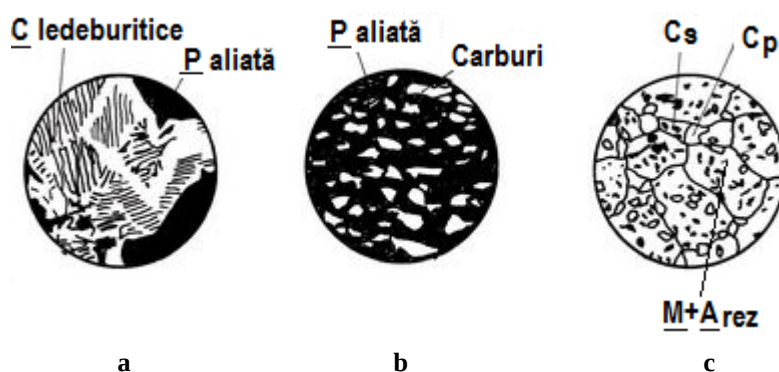


Figura 7. Microstructura oțelului Rp₃

- turnat: perlită aliată + carburi ledeburitice
- forjat: perlită aliată + carburi
- călit la 1000°C: carburi primare (C_p) + carburi secundare (C_s) + M + austenită reziduală (A_{rez})
Atac chimic : nital 4 % (500 :1)

b. Oțeluri aliate pentru scule de deformare plastică

Sunt oțeluri cu duritate ridicată, rezistente la uzare și tenace.

În funcție de temperatura la care vor lucra sculele de deformare plastică, se clasifică astfel:

- oțeluri pentru scule de deformare plastică la rece (poonsoane, dălți, filiere etc.);
- oțeluri pentru scule de deformare plastică la cald (matrițe, fălci de ciocane etc.).

Cele destinate deformării plastice la rece sunt slab sau mediu aliate cu Cr, W, V, Mo, tratate termic prin călire și revenire joasă (microstructura : M_{rev} + carburi) sau pot fi oțeluri înalt aliate ledeburitice.

Oțelurile pentru scule de deformare plastică la cald au un conținut redus de carbon (0,25÷0,6 %C) dar o cantitate mare de elemente de aliere (W, Cr, Ni, Mo, V, Si).

Simbolizarea acestor oțeluri este identică cu a oțelurilor de construcții deformabile de uz general.

c. Oțeluri aliate pentru instrumente de măsură și verificatoare (șublere, calibre, șabloane, ehere, micrometre etc.)

Fac parte din clasa oțelurilor pentru scule așchietoare, dar se pot folosi și unele oțeluri din grupa celor pentru deformare plastică.

2.2.5 Oțeluri aliate cu proprietăți speciale

Aceste oțeluri sunt înalt aliate în scopul obținerii unor proprietăți chimice, fizice și mecanice cu valori ridicate ca: rezistența la coroziune, refractaritate, rezistivitate electrică, permeabilitate magnetică, stabilitate termică, rezistență la uzare etc.

a. Oțeluri anticorozive – rezistente la temperatura ambiantă, la coroziunea atmosferică și în medii agresive. Deosebim două categorii: inoxidabile și patinabile.

Oțelurile inoxidabile (SR EN 10088-1:2015) pot fi: aliate cu crom, cu crom și nichel și maraging. Cromul imprimă starea inoxidabilă când depășește 12-13 %Cr din compoziția chimică a aliajului. Oțelurile inoxidabile aliate cu crom pot avea structură feritică, ferito-martensitică sau martensitică și sunt oțeluri feromagnetice. Oțelurile inoxidabile cu crom și nichel au microstructura austenitică (fig. 8) și sunt paramagnetice (ex.: 10Cr130, 22NiCr170, 10TiMoNiCr175 ș.a.).

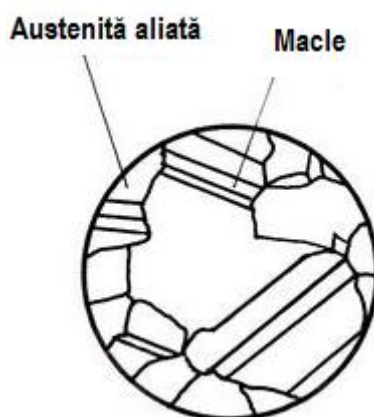


Figura 8. Microstructura oțelului 10Cr130: austenită aliată și macle de recoacere
Atac chimic: reactiv Vilella (250:1)

Oțelurile patinabile sunt slab dar complex aliate (Cu, Cr, Ni, Si, Mn, V, Mo) și au un conținut mic de carbon. Se cunosc mărcile: RCA 37 și RCB 52 (cifrele reprezintă rezistența medie la rupere, măsurată în daN/mm²). La aceste oțeluri elementele de aliere formează treptat pe suprafața materialului o peliculă compactă și aderentă der oxizi, împiedicând, astfel, contactul acestora cu mediul natural agresiv.

b. Oțelurile refractare – prezintă stabilitate chimică mare (prin aliere cu Cr, Al, Ni, Si) și rezistență mecanică ridicată (prin aliere cu Mo, V, W) la temperaturi înalte.

Pot fi :

- feritice ;
- perlitice (temperatura de lucru până la 500 °C);
- austenitice (temperatura de lucru până la 1000 °C).

Exemple : 10AlCr180, 12NiCr250, 15SiNiCr250, 20VniMoCr120, 20VniWMoCr120 ș.a.

c. Oțeluri criogenice – rezistente la temperaturi scăzute (sub 0°C), microstructura acestor oțeluri putând fi : feritică, ferito-perlitică, austenitică sau martensitică.

d. Oțeluri maraging (0,03 %C; 18-26 %Ni ; 0,15–1,6 %Ti ; 0,15-0,4 %Al ; 8-10 %Co ; 3-5 %Mo ; 0,3-0,5 %Nb) sunt oțeluri de mare rezistență ($R_m=220-250$ daN/mm²), inoxidabile; microstructura este martensitică.

e. Oțeluri cu proprietăți magnetice deosebite se împart în :

- oțeluri pentru remagnetizare în ciclu, având microstructură feritică;
- oțeluri paramagnetice, bogat aliate cu elemente gamagene, microstructura fiind austenitică.

f. Oțeluri cu proprietăți termice deosebite au un coeficient de dilatare liniară cu temperatura foarte mică și sunt aliate cu Ni sau Ni și Cr. Astfel de oțeluri sunt:

- *invarul* (0,3 %C; 36 %Ni; restul Fe), cu microstructură austenitică (sunt utilizate la confecționarea etaloanelor de lungime, cronometrelor etc.) și care practic nu se dilată în intervalul $-80^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$;
- *superinvarul* (0,3 %C; 30-34 %Ni; 4-6 %Co; restul Fe);
- *kovarul* (0,3 %C; 29 %Ni; 18 %Co; restul Fe);
- *platinitul* (0,3 %C; 42-48 %Ni; restul Fe) având coeficientul de dilatare egal cu al sticlei și platinei (sunt folosite la confecționarea soclurilor unor becuri cu incandescență etc.);
- *elinvarul* (0,3-0,4%C; 35-38 %Ni; 8-12 %Cr; restul Fe) având un coeficient de dilatare mic și un modul de elasticitate ce nu se modifică cu temperatura până la 100°C (se fabrică pendule, arcuri de ceasornicărie etc.)

3.Modul de lucru

În cadrul lucrării de laborator se folosește microscopul metalografic tip Mc 6 sau Mc 9, complet utilat și cutia cu probe metalografice

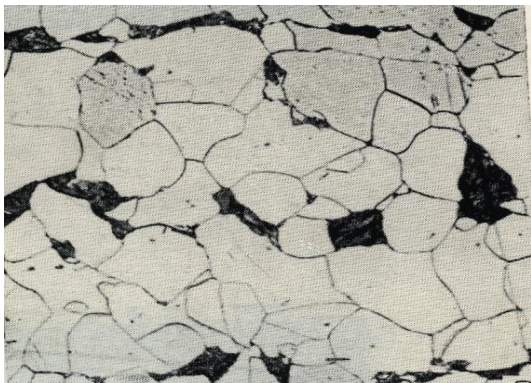
Respectând indicațiile privind modul de lucru la microscopul metalografic optic, se vor studia probe metalografice din oțeluri carbon și oțeluri aliate.

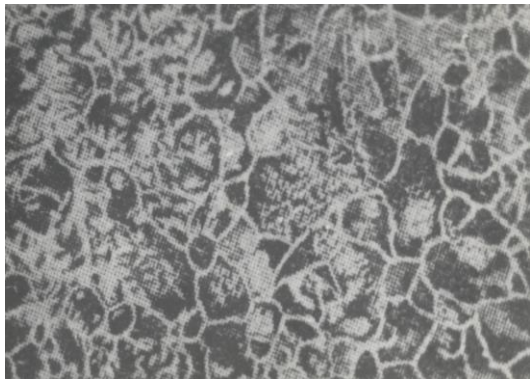
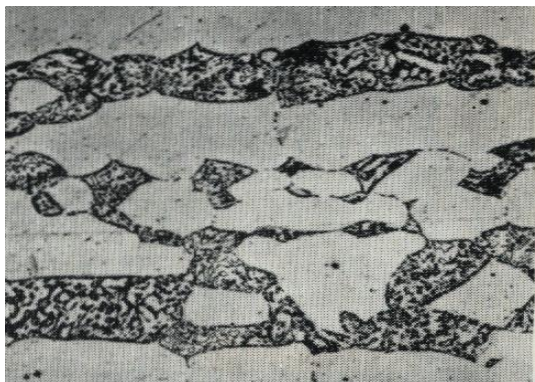
După efectuarea lucrării de laborator, studenții sunt în măsură să recunoască microscopic și să caracterizeze oțelurile obișnuite și cele aliate, având cunoștințe teoretice de bază pentru aprofundarea ulterioară a acestora.

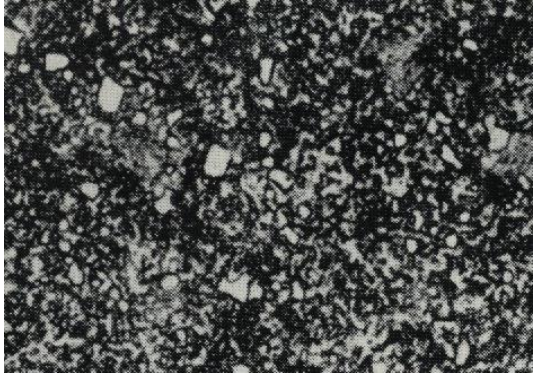
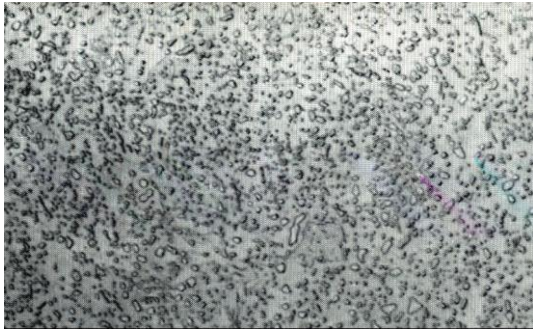
4. Prelucrarea datelor experimentale

Pe microstructurile redată grafic vor fi identificați constituenții structurali pentru fiecare probă, în funcție de forma, culoarea și distribuția acestora. Constituenții identificați vor fi indicați pe desen cu ajutorul unor săgeți. Cunoscând proprietățile constituenților structurali specifici oțelurilor carbon și aproximând cantitățile de constituenți structurali din probele studiate, se vor determina, cu aproximație, valorile caracteristicilor mecanice ale acestora.

Tabelul 2

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Oțel-carbon de calitate OLC10  (500:1)	(~ 0,1% C) Atac chimic: Nital 3%. Microstructura conține: - ferită alfa (F_{α})-grăunți poligonali de soluție solidă interstițială, de culoare deschisă; - perlită (P)-amestec mecanic eutectoid sub formă de insule izolate de culoare întunecată
2.	Oțel carbon de calitate OLC45  (500:1)	(~ 0,45% C) Atac chimic cu nital 3%. Microstructura conține: - ferită alfa (F_{α})-rețea grosolană cu ochiuri mari de soluție solidă interstițială, de culoare deschisă; - perlită (P)-amestec mecanic eutectoid, lamelară
3.	Oțel carbon pentru scule OSC7  (500:1)	(~ 0,7% C) Atac chimic cu nital 3%. Microstructura conține: - perlită (P)-câmp de colonii de perlită lamelară pe care se pot distinge lamelele albe, groase, de ferită alfa și cele întunecate, subțiri, de cementită secundară

0	1	2
4.	Oțel carbon pentru scule OSC11  (500:1)	(~ 1,1% C) Atac chimic cu nital 3%. Microstructura conține: - perlită ($\underline{P}$)-amestec mecanic eutectoid, lamelară; - cementită secundară ($\underline{Ce_{II}}$) – compus intermetalic geometric interstițial, sub formă de rețea albă fină
5.	Oțel inoxidabil cu crom și nichel 5 NiCr180  (500:1)	(~ 0,05% C; 2% Mn; 1% Si; 8,5-10,5% Ni, 18% Cr; rest Fe) Atac chimic Villela. Microstructura conține: - austenită aliată ($\underline{A_{al}}$)-grăunți poligonali, unii maculați, de culoare deschisă, de soluție solidă; - carbură de crom ($\underline{Carb_{Cr}}$) – formațiuni globulare precipitate
6.	Oțel aliat de construcție 13CrNi30  (250:1)	(~ 0,13% C; 0,3-0,6% Mn; 0,17-0,37% Si; , 0,6-0,9% Cr; 3% Ni) Atac chimic Nital 4%. Microstructura conține: - ferită alfa aliată ($\underline{F_{\alpha al}}$)-grăunți poligonali de culoare deschisă, de soluție solidă; - perlită aliată ($\underline{P_{al}}$)-șiruri întunecate de amestec mecanic eutectoid

0	1	2
7.	Oțel aliat pentru scule așchietoare (rapid) Rp3  (200:1)	(~ 0,7-0,78% C; max. 0,4% Mn; max. 0,45% Si; 0,6% Mo; 3,8-4,5% Cr; rest Fe) Atac chimic Nital 4%. Microstructura conține: - perlită aliată ($\underline{P}_{al}$)-fond întunecat; - carburi primare de Cr și Mo ($\underline{Carb}_{prim}$)- formațiuni globulare, albe, mari; - carburi secundare de Cr și Mo ($\underline{Carb}_{sec}$) – formațiuni globulare, albe, mici
8.	Oțel aliat de construcție, deformat la cald, cu destinație precizată (de rulmenți) RUL1  (250:1)	(~ 0,95-1,1% C; 0,2-0,45% Mn; 0,17-0,37% Si; 1,3-1,65% Cr; rest Fe) Atac chimic Nital 4%. Microstructura conține: - perlită aliată ($\underline{P}_{al}$)-fond întunecat; - carburi complexe ($\underline{Carb}_{compl}$)- formațiuni globulare, albe, mari;

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrare de laborator nr.6

MICROSTRUCTURA DE ECHILIBRU A

Fontelor obișnuite și aliate

1. Scopul lucrării

Lucrarea are ca scop prezentarea tipurilor de constituenți structurali caracteristici structurii de echilibru a fontelor albe, fontelor cenușii și fontelor aliate.

De asemenea, sunt prezentate principalele proprietăți fizico-chimice și mecanice ale fontelor și domeniile lor de utilizare.

2. Considerații tehnice

Fontele sunt aliaje ale fierului cu carbonul ce conțin între 2,11÷6,67 % carbon.

Carbonul se găsește în fonte fie legat în compusul Fe_3C (cementită), dizolvat în fierul α , formând soluția solidă ferită alfa sau liber sub formă de C_{gr}.

Când tot carbonul se găsește sub formă legată, iar grafitul lipsește-fonta este albă, reacțiile de la solidificare având loc în totalitate conform diagramei de echilibru a sistemului metastabil Fe- Fe_3C (Anexa 3).

Când solidificarea se face în totalitate sau parțial conform diagramei de echilibru stabil Fe-C_{gr} se obțin fonte cenușii, caracterizate de prezența grafitului în stare liberă.

Când în structura fontelor apare atât cementita cât și carbonul grafit, fontele sunt de tranziție sau pestrițe.

Îmbunătățirea proprietăților funcționale ale fontelor este posibilă prin alierea acestora. Principalele elemente de aliere sunt Ti; Zr; V; Cr; Ni; Mn; Cu.

În funcție de compoziția chimică, fontele aliate au anumite proprietăți specifice care le impun domeniul de utilizare.

2.1. Structura de echilibru a fontelor albe

Fontele albe sunt denumite astfel datorită aspectului argintiu al casurii, conținutul de carbon fiind între 2,11÷6,67 %.

Factorii ce favorizează obținerea fontelor albe sunt:

- viteza de răcire la solidificare mai mare decât cea corespunzătoare echilibrului termodinamic;
- conținut ridicat de Mn (sau alte elemente cu efect carburigen ca Mo, V, Cr etc);
- conținut redus de Si (element grafitizant).

Transformările care au loc în fontele albe la răcire sau la încălzire pot fi interpretate conform diagramei de echilibru metastabil Fe- Fe_3C (Anexa 3).

În funcție de conținutul de carbon, fontele albe pot fi clasificate astfel:

- a). Fonte albe hipoeutectice: 2,11÷4,3 %C;
- b). Fonte albe eutectice: 4,3 %C;
- c). Fonte albe hipereutectice: 4,3÷6,67 %C.

a. Fontele albe hipoeutectice conțin 2,11÷4,3 %C și au structura de echilibru, la temperatura ambiantă, formată din perlită (P), cementită secundară (Ce_{II}) și ledeburită transformată (fig. 1).

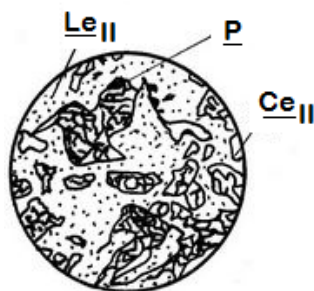
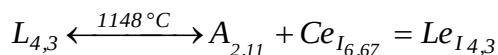


Figura 1. Microstructura unei fonte albe hipoeutectică cu 3% C:
perlită (P)+ledeburită (LeII) + cementită (CeII)
Atac chimic: nital 3%

Ledeburita (Le) reprezintă eutecticul aliajelor Fe-Fe₃C. În funcție de temperatura la care se formează, ea poate fi:

- ledeburită primară (Le_I);
- ledeburită secundară (Le_{II}).

Ledeburita primară (Le_I) este un amestec mecanic bifazic format prin descompunerea soluției lichide, conform reacției eutectice:



Ledeburita secundară (Le_{II} transformată) este un amestec mecanic format prin descompunerea austenitei din Le_I în ferită α și cementită secundară.

Deci, ledeburita secundară este compusă din perlită și cementită primară.

Ledeburita este un constituent structural dur și fragil, cu turnabilitate bună.

Deoarece provine dintr-o transformare primară, ledeburita prezintă o structură mai grosolană decât cea a perlitei.

La microscop, apare sub formă de insule mici de perlită dispuse pe un fond alb de cementită.

b. Fontele albe eutectice conțin 4,3 %C și au structura alcătuită, la temperatura ambiantă, din ledeburită transformată (Le_{II}), amestec mecanic eutectic (fig. 2).

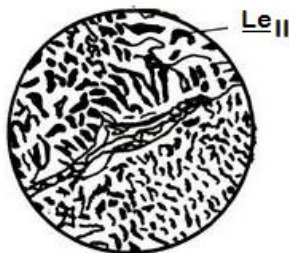


Figura 2. Microstructura unei fonte albe eutectică cu 4,3% C: ledeburită (LeII)
Atac chimic: nital 3%

c. Fontele albe hipereutectice conțin 4,3÷6,67 %C și au structura alcătuită, la temperatura ambiantă, din cementită primară (Ce_I) și ledeburită (LeII)(fig. 3).

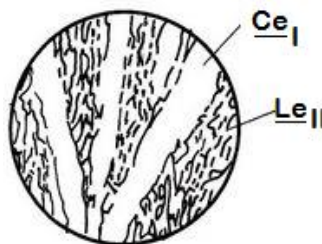


Figura 3. Microstructura unei fonte albe hipereutectică cu 5% C:
ledeburită (LeII)+cementită primară (CeI)

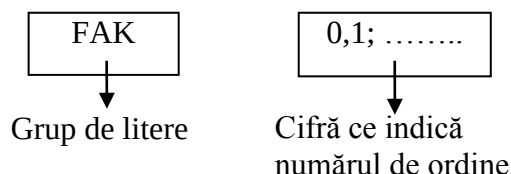
Fazele existente în structura fontelor albe la temperatura ambiantă sunt:

- soluția solidă de carbon dizolvat în fierul α (F_α , ferită $_\alpha$);
- cementita Fe_3C (primară Ce_I ; eutectică, secundară Ce_{II} , eutectoidă, terțiară Ce_{III}).

Datorită componenților care alcătuiesc structura la temperatura ambiantă, fontele albe de interes practic sunt dure ($HB=350\div600$ daN/mm²) și deosebit de fragile, fiind lipsite de plasticitate.

Fontele albe sunt folosite, în general, la elaborarea fontelor cenușii și a oțelurilor, turnarea pieselor fără solicitări importante în exploatare (ornamentale), turnarea pieselor rezistente la uzare (cilindri de laminor, fălci concasor), turnarea pieselor supuse tratamentului de maleabilizare.

Simbolizarea fontelor albe se face astfel:



Exemple: FAK0; FAK1

2.2. Structura de echilibru a fontelor cenușii

Din punct de vedere practic fontele cenușii reprezintă cele mai importante și ieftine aliaje turnate.

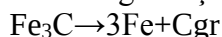
Fontele cenușii sunt aliaje ale fierului cu carbonul, în care reacțiile de la solidificare și răcire au avut loc în totalitate sau parțial conform diagramei de echilibru termodinamic a sistemului Fe-Cgr.

Diagrama de echilibru Fe-Cgr corespunde liniilor de transformare, trasate discontinuu în diagrama de echilibru a sistemului Fe- Fe_3C (Anexa 3).

În structura fontelor cenușii, carbonul se găsește și în stare liberă, sub formă de carbon grafit (Cgr), cristalizat în sistem hexagonal.

Prezența lui în structura fontei se explică astfel:

- prin separarea direct din soluția lichidă;
- prin descompunerea cementitei în carbon grafit și fier conform reacției:



Există mai mulți factori care determină procesul de descompunere a cementitei, cei mai importanți fiind:

- compoziția chimică a topiturii;
- viteza de răcire;
- capacitatea de germinare a topiturii.

Structura fontelor cenușii depinde de modul în care este distribuit carbonul în stare liberă (Cgr) și cea legată.

În fonte, carbonul se poate găsi în stare legată:

- formând cu fierul compusul chimic Fe_3C (cementită) – C_{leg} ;
- sau dizolvat în Fe_α (fierul alfa), formând soluția solidă F_α (ferită alfa) – C_{sol} .

Prin urmare, cantitatea totală de carbon, C_T , din structura fontelor poate fi determinată cu relația:

$$C_T = C_{leg} + C_{sol} + C_{gr} = C_{mb} + C_{gr}, \text{ în care}$$

$$C_{mb} = C_{leg} + C_{sol} \text{ reprezintă carbonul masei metalice de bază.}$$

În funcție de raportul reciproc dintre aceste forme de separare ale carbonului se disting:

- fonte albe: $C_{gr} = 0$ iar $C_T = C_{leg} + C_{sol}$, deoarece $C_{sol} < 0,01 \%$ rezultă că, practic tot carbonul se găsește sub formă legată ($C_T \approx C_{leg}$), iar grafitul lipsește;
- fonte pestrițe pentru care $C_{gr} \approx (0,3 \div 0,5)C_T$; iar $C_{leg} < C_{sol} < C_T$; ele prezintă în structură atât ledeburită cât și grafit, având caracter de tranziție între fontele albe și cele cenușii;
- fonte cenușii pentru care: $C_{gr} = C_T - (C_{leg} + C_{sol})$, iar $C_{leg} \leq C_{sol} < C_T$;
 - dacă $C_{mb} \approx C_{sol} \approx 0,01 \%$, fonta cenușie are masa metalică de bază feritică, iar $C_{gr_{max}} = C_T$;
 - dacă $C_{sol} < C_{mb} < C_s$; $C_{leg} < C_{gr} < C_s$, fonta cenușie are masa metalică de bază ferito-perlitică;
 - dacă $C_{mb} = C_s = 0,77 \%$; $C_{gr} = C_T - C_s$, fonta cenușie are masa metalică pe bază de perlită.

Se constată că masa metalică de bază poate fi influențată prin compoziție chimică, viteză de răcire la solidificare, tratamente termice.

Alături de masa metalică de bază, grafitul reprezintă un factor structural cu rol decisiv în asigurarea calității fontelor cenușii.

Din acest punct de vedere, grafitul este caracterizat prin:

- cantitate;
- formă;
- mărime;
- distribuție.

Forma grafitului reprezintă cel mai important criteriu de clasificare a acestei incluziuni nemetalice, caracterizând gradul de compactitate a separărilor de grafit, respectiv gradul de creștere a masei de bază și procesul de formare a concentratorilor de tensiuni interne.

În funcție de compoziția chimică a fontei, de factorii tehnologici de turnare (temperatura de supraîncălzire, temperatura de turnare, natura formei în care se toarnă, dimensiunile pereților piesei, viteza de răcire etc.), grafitul se poate afla sub diverse forme:

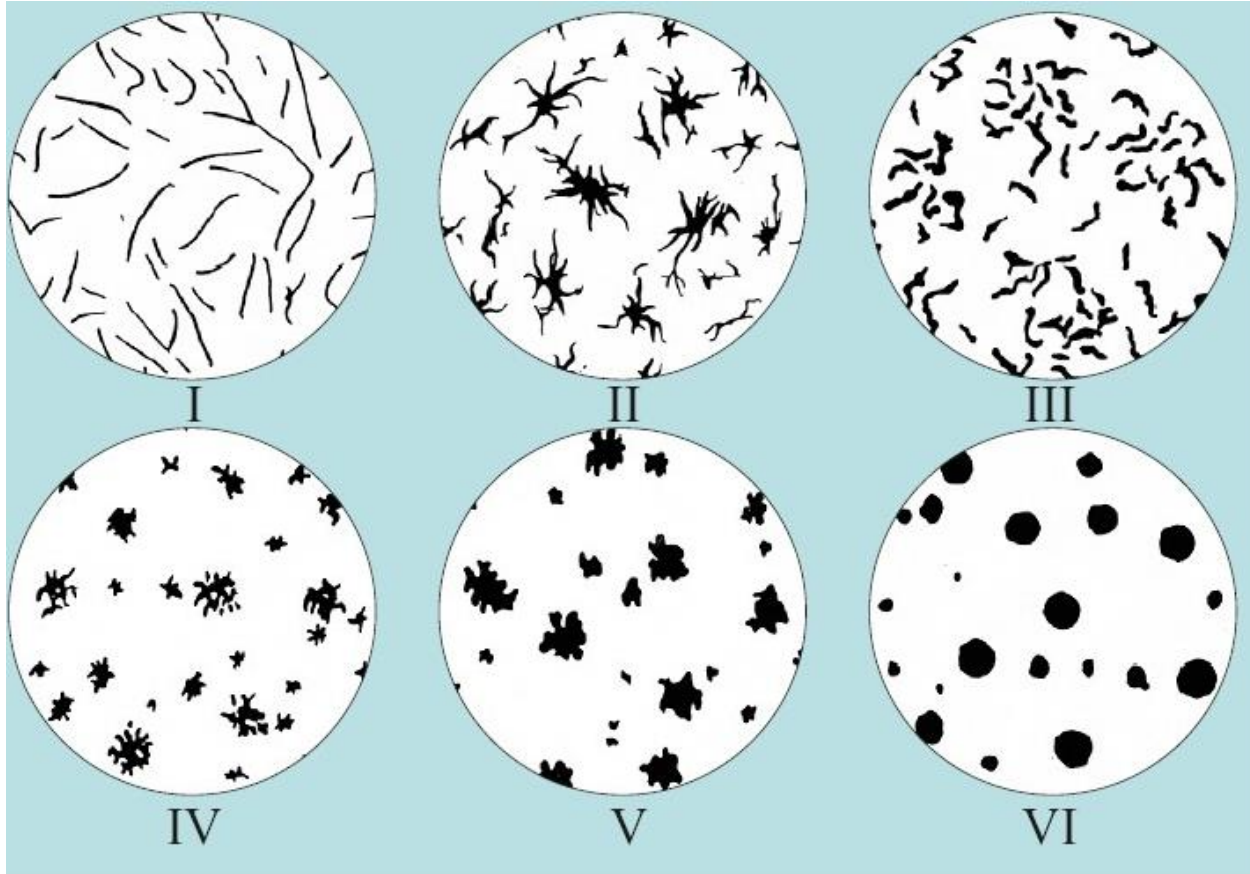


Figura 4. Tipuri de grafit în fonte

- grafit lamelar fin (I);
- grafit lamelar cu dispunere în rozete (II);
- grafit lamelar grosolan (III);
- grafit lamelar cu tendință de dispunere în rețea (IV);
- grafit în formă de cuburi – specific fontelor maleabile (V);
- grafit sub formă sferoidală – specific fontelor nodulare (VI).

2.2.1. Influența grafitului asupra proprietăților fontelor cenușii

Prezența grafitului modifică toate proprietățile:

- fizice;
- mecanice;
- tehnologice

ale fontelor, nu numai prin cantitatea sa, ci și prin formă, mod de repartizare, dimensiuni și orientare.

a. Proprietăți fizice. Grafitul micșorează temperatura de fuziune a fontelor: cu cât cantitatea de grafit în topitură crește, cu atât temperatura de topire a fontelor cenușii scade apropiindu-se de temperatura de sfârșit de topire a fontelor albe (1148°C).

Grafitul fiind un element ușor ($\gamma = 2,22 \text{ Kg/dm}^3$) produce scăderea greutății specifice a fontelor. De asemenea grafitul micșorează conductivitatea termică și electrică a fontelor și reduce luciul metalic.

b. Proprietăți mecanice. Asupra proprietăților mecanice, grafitul are o influență net defavorabilă, deoarece prezența lui micșorează secțiunea portantă a pieselor.

Rezistența la rupere prin tracțiune a fontelor cenușii este mult mai mică decât a oțelurilor. Forma și modul de repartizare a grafitului au de asemenea influență hotărâtoare asupra rezistenței la rupere. Astfel, forma lamelară, cu distribuție neuniformă este cea mai dăunătoare rezistenței mecanice, datorită faptului că slăbește mult compactitatea și coeziunea între volumele din masa fontei. Cele mai bune însușiri le va avea fonta în care grafitul ocupă o suprafață minimă, fiind sub formă de filamente izolate, mici și uniform distribuite, în cuiburi sau sub formă de noduli. Limita de curgere, alungirea, rezistența la încovoiere și la răsucire a fontelor cenușii au valori mici. Asupra rezistenței la rupere prin compresiune și asupra durității, grafitul nu are o influență considerabilă. Toate aceste proprietăți sunt determinate în cea mai mare măsură de structura bazei metalice a fontelor.

Principalele proprietăți mecanice ale fontelor cenușii, în comparație cu oțelurile, sunt date în tabelul 1.

Tabelul 1

Proprietățile mecanice comparative ale fontelor și oțelurilor

Aliajul Fe-C	R [N/mm ²]	R _{p 0,2} [N/mm ²]	A ₅ [%]	HB [daN/mm ²]	KCU [daJ/cm ²]
Fontă feritică (Fc 200)	200	-	0,5	156-285	-
Fontă perlitică (Fc 350)	350	-	0,5	207-351	-
Fontă maleabilă (Fmn 370)	370	210	14	150	-
Fontă nodulară feritică (Fgn 400-12)	400	280	12	150-200	2,8
Fontă nodulară perlitică (Fgn 600-2)	600	400	2	210-280	1,5
Fier tehnic	350	210	30	80	20
Oțel carbon normalizat (OLC 25)	460	280	24	170	-

Oțel carbon îmbunătățit (OLC 45)	660	400	17	-	6
Oțel cu perlită globulară (1% C)	560	320	30	-	-
Oțel aliat îmbunătățit (1% C)	1750	1400	1	200	-

Rezistența la uzare a fontelor cenușii este superioară oțelurilor, deoarece grafitul are rol de lubrifiant. Rezistența la oboseală a fontelor cenușii este foarte mică, mai ales când grafitul este lamelar cu vârfuri ascuțite, deoarece lamelele de grafit se comportă ca niște microfisuri care se constituie în amorse de distrugere prin oboseală a fontelor. Fontele cenușii posedă capacitate foarte mare de amortizare a vibrațiilor.

c. *Proprietăți tehnologice.*

Turnabilitatea. Grafitul are o influență favorabilă asupra turnabilității; el micșorează contracția, mărește fluiditatea și scade temperatura de topire a fontelor.

În timpul solidificării, fontele cenușii își măresc volumul datorită formării grafitului și acest lucru contribuie la umplerea completă a formei de turnare, asigurând reproducerea fidelă a modelului.

Sudabilitatea. Grafitul micșorează sudabilitatea fontelor cenușii. Fontele cenușii sunt mai greu sudabile decât oțelurile, însă mai ușor sudabile decât fontele albe.

Așchiabilitatea. Grafitul înrăutățește așchiabilitatea fontelor. Fontele cenușii se așchiază mai greu decât oțelurile, cu o viteză de așchiere mică, folosindu-se numai scule armate cu plăcuțe dure din carburi metalice, obținându-se o calitate a suprafeței inferioară.

Deformabilitatea. Datorită prezenței grafitului, fontele cenușii sunt materiale fragile care nu pot fi deformate plastic la rece sau la cald; ele se prelucrează numai prin turnare și așchiere. Fontele cenușii sunt materiale puțin sensibile la defectele de suprafață (crestături, creșteri bruște de la un diametru la altul etc.) deoarece ele conțin un număr mare de “defecte interioare” cauzate de prezența grafitului.

2.3. Structura de echilibru a fontelor pestrițe

Fontele pestrițe reprezintă o categorie intermediară, între fontele albe și fontele cenușii.

Microstructura fontelor pestrițe este formată din lamele de carbon grafit, perlită, cementită secundară și ledeburită.

În figura 5 este reprezentată microstructura unei fonte pestrițe cu grafit fin, sub formă de filamente, zone punctate de ledeburită, zone albe de cementită și insule întunecate de perlită.

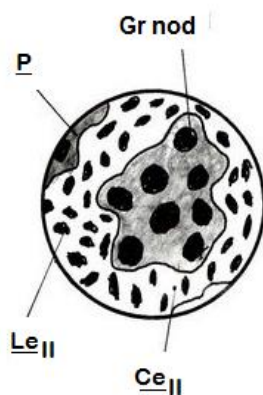


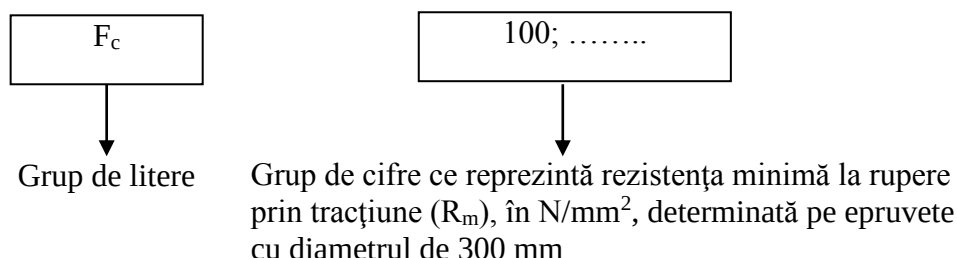
Figura 5. Fontă pestriță

Fontele pestrițe au o structură neomogenă și proprietăți necorespunzătoare pentru utilizări practice. Astfel, deși duritatea fontei pestrițe nu este prea ridicată, prelucrabilitatea prin așchiere este influențată defavorabil de prezența cementitei în structură.

2.4. Structura de echilibru a fontelor cenușii obișnuite pentru turnătorie

Sunt fonte cenușii cu grafitul lamelar nemodificat, folosite pentru turnarea de piese pentru construcția de mașini, reprezentând 70 % din totalul materialelor metalice turnate.

Simbolizarea acestora se face astfel:



Exemplu: $F_c 200$ – fontă cenușie cu rezistența minimă la rupere prin tracțiune $R_m = 200 \text{ N/mm}^2$.

Sunt standardizate 7 mărci de fonte care sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Caracteristicile mecanice și structura fontelor cenușii cu grafit lamelar

Marca fontei	R [N/mm ²]	σ_i [N/mm ²]	HB	Structura	Utilizare
$F_c 100$	100	-	100-150	$F_\alpha + P + C_{gr}$	Piese cu rezistență mică
$F_c 150$	150	290	140-190	$P + F_\alpha + C_{gr}$	
$F_c 200$	200	350	170-210	$P + F_{\alpha \text{ urme}} + C_{gr}$	Piese cu rezistență medie
$F_c 250$	250	410	180-240	$P_{fină} + C_{gr. fin}$	
$F_c 300$	300	470	200-260	$P_{sorbitică} + C_{gr. fin}$	Piese cu rezistență mare
$F_c 350$	350	530	210-280	$P_{sorbitică} + C_{gr. fin}$	
$F_c 400$	400	590	230-300	$P_{sorbitică} + C_{gr. fin}$	

Se observă că rezistența la rupere prin încovoiere este cu 50...95 % mai mare decât rezistența la rupere prin tracțiune; pe măsura micșorării conținutului de carbon, siliciu, sulf și fosfor din fonte, crește rezistența la rupere, iar perlita și carbonul grafit sunt din ce în ce mai fine.

2.5. Structura de echilibru a fontelor modificate

Prin fonte modificate se înțeleg toate categoriile de fonte cenușii care prezintă o altă formă de grafit decât cea lamelară, rezultat al dirijării procesului de solidificare cu ajutorul unor măsuri tehnologice sau prin adaosuri de elemente grafitizante.

Se știe că proprietățile mecanice ale fontelor sunt cu atât mai bune cu cât suprafața ocupată de grafit este mai mică, cu cât grafitul este mai fin, mai uniform distribuit și mai izolat.

Prezența unui număr mare de germeni străini de cristalizare sub formă de particule solide fine, nedizolvate în masa lichidă a fontei, determină creșterea vitezei de germinare ceea ce favorizează obținerea unui grafit mărunț.

Din punct de vedere al formei grafitului, se deosebesc trei categorii de fonte modificate:

- cu grafit lamelar;
- cu grafit vermicular;
- cu grafit nodular.

a. Fontele modificate cu grafit lamelar se obțin prin adăugarea în oală, înainte de turnare, sau în jetul de turnare a unei cantități mici (maximum 0,2....1 %) de ferosiliciu și silicocalciu – ca modificatori și adaosuri minore de Ba, Zr, Al, Ti – ca elemente de aliere. În timp ce elementele de microaliere modifică structura și proprietățile masei metalice a fontei alindu-se cu aceasta, modificatorii acționează asupra dimensiunii și repartiției grafitului fără a se alia cu constituenții fontei. Prin combinare cu oxigenul și cu alte elemente dizolvate, în fonta lichidă se formează compuși chimici (TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiN , ZrN , AlN , TiC , ZrC) care rămân în suspensie în masa lichidă, constituindu-se în germeni străini de cristalizare.

În urma modificării cu aceste substanțe se obțin fonte cu structură perlitică, fără cementită liberă și cu eutectic fosforos în cantitate mică și izolat; grafitul este sub formă lamelară cu vârfurile rotunjite, foarte fin, izolat, uniform distribuit (fig. 6).

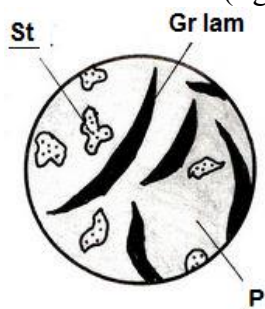


Figura 6. Fontă perlitică modificată cu grafit fin

b. Fontele modificate cu grafit vermicular conțin grafit vermicular distribuit într-o masă de bază predominant feritică, creșterea cantității de perlită fiind posibilă prin aliere cu Ni, Cu, Mn, Sn etc. sau prin normalizare (fig. 7).

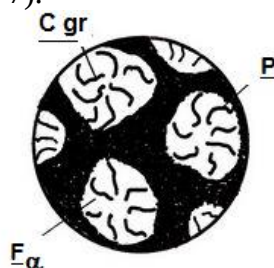
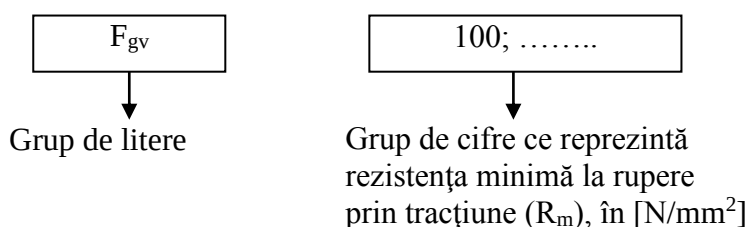


Figura 7. Fontă perlitică modificată cu grafit vermicular

Se utilizează simultan modificatori nodulizanți, ca Mg, Ce, Y și antinodulizanți, cum sunt: Ti, Al, Sb, Sn etc.

Modificarea se face la 1400°C 1450°C după o supraîncălzire la 1450°C 1550°C . Aceste fonte au proprietăți foarte bune de turnare și tendință scăzută de formare a crăpăturilor.

Simbolizarea acestor fonte se face astfel:



Exemplu: F_{gv} 350;

Există următoarele mărci de fonte:

F_{gv} 300, F_{gv} 350 și F_{gv} 400

Fontele modificate cu grafit vermicular au caracteristici mecanice superioare:

$R_m = 300...650 \text{ N/mm}^2$; $HB = 120...280$; $E = 12000...17000 \text{ daN/mm}^2$; $A_5 = 1...10\%$. Ele posedă rezistență mare la oxidare și la șoc termic, etanșeitate bună, așchiabilitate mare și capacitate de amortizare a vibrațiilor, cuprinsă între fontele cu grafit lamelar și fontele nodulare. Se folosesc la turnarea formelor metalice, a lingotierelor, a componentelor de motoare termice, armăturilor industriale, a pieselor filetate etc.

c. Fontele modificate cu grafit nodular sunt fonte la care carbonul se separă sub formă de globule sau noduli.

Aceste fonte se obțin, dacă în fontele obișnuite de turnare, la temperatura de $1400-1450^\circ\text{C}$, cu puțin timp înainte de a se efectua turnarea sau chiar în jetul de turnare, se adaugă modificatorii: magneziu sau un aliaj de magneziu-aluminiu, ceriu – în cantitate de până la 1%.

În acest caz, grafitul se obține sub formă sferoidală, repartizat într-o masă metalică de bază feritică (fig. 8a), ferito-perlitică (fig. 8b) sau perlitică.

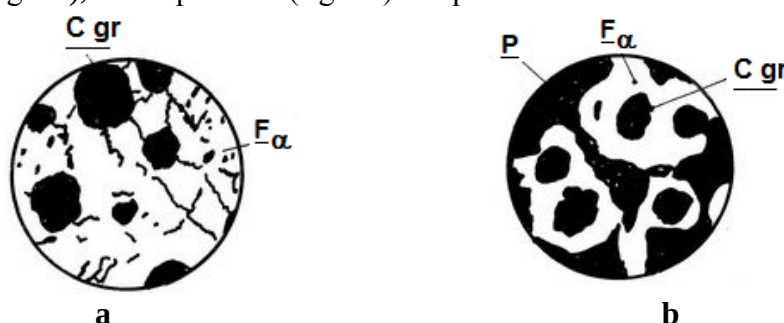
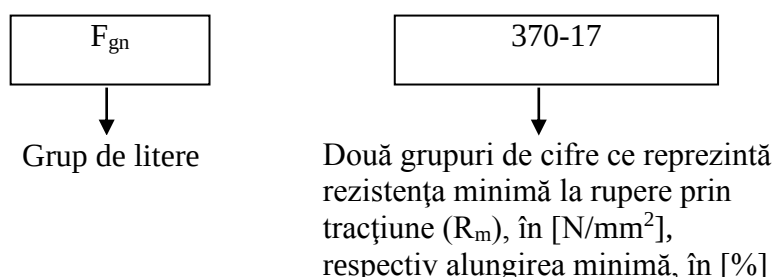


Figura 8. Fonte cu grafit nodular:
a. feritică; b. ferito-perlitică

Forma sferoidală a grafitului este cea mai avantajoasă, deoarece posedă o suprafață minimă la aceeași cantitate de grafit, nu dă efect de pană (microfisuri) și nu se întretaie, ceea ce determină obținerea unor proprietăți mecanice superioare, apropiate de cele ale oțelurilor.

Fontele cu grafit nodular se simbolizează conform SR ISO 5922-95 prin:



Exemplu: $F_{gn} 400-12$ reprezintă o fontă cu grafit nodular, cu 400 N/mm^2 , rezistență minimă la rupere prin tracțiune și cu 12% alungirea.

Există opt mărci de fonte cu grafit nodular conform tabelului 3:

Tabelul 3

Fonte modificate cu grafit nodular

Marca fontei	R [N/mm ²]	R _{p 0,2} [N/mm ²]	A ₅ [%]	KCU [daJ/cm ²]	HB [daN/mm ²]	Structura
$F_{gn} 370-17$	370	230	17	16	140-150	Ferită α
$F_{gn} 400-12$	400	250	12	-	150-200	Ferită α
$F_{gn} 450-5$	450	320	5	-	160-220	Ferită α
$F_{gn} 500-7$	500	350	7	-	170-240	Ferită α + Perlită
$F_{gn} 600-2$	600	400	2	-	210-280	Perlită
$F_{gn} 700-2$	700	450	2	-	230-300	Perlită
$F_{gn} 800-2$	800	450	2	-	-	Perlită

În prezent, din fontă cu grafit nodular se execută cele mai variate piese care necesită o rezistență mecanică bună, rezistență bună la uzare atât la frecare cu ungere cât și la frecare uscată, capacitate medie de a absorbi vibrațiile, cum sunt: arbori cotiți, axe cu came, segmenti de pistoane, roți dințate, piese pentru turbine, piese pentru mașini agricole, piese rezistente la fenomenul de creștere a fontelor (lingotiere, matrițe), elice de vapoare etc.

Rezistențe mecanice mai mari ($800 \dots 1400 \text{ N/mm}^2$) se obțin prin călirea izotermă a acestor fonte, când structura masei de bază este formată din bainită fină.

2.6. Structura de echilibru a fontelor maleabile

Fontele maleabile sunt fonte cenușii formate dintr-o bază metalică asemănătoare cu cea a oțelurilor în care este inserat grafitul sub formă de cuiburi cu marginile neregulate, caracterizat prin raportul $l/g = 1,5 \dots 2$.

Fontele maleabile se obțin prin: grafitizarea fontei albe cu 2,2...3,1% C; 0,6...1,4% Si; 0,4% Mn; maximum 0,2% P și maximum 0,1% S, printr-un tratament termic numit recoacere de maleabilizare.

Fabricarea pieselor din fonte maleabile cuprinde două faze distincte:

- turnarea pieselor din fontă albă hipoeutectică;
- tratamentul termic de maleabilizare prin care se trece de la fonta albă dură și fragilă la fonta cenușie cu o oarecare maleabilitate.

În funcție de structura masei metalice de bază prin tratamentul de maleabilizare rezultă trei tipuri de fonte maleabile:

- a) cu miez alb;
- b) cu miez negru;
- c) perlitice.

a. Fontele maleabile cu miezul alb sunt fonte a căror structură este constituită din perlită sau perlită și ferită în care se află grafit, în cuiburi (fig. 9).

Ele se obțin când mediul în care se face maleabilizarea este oxidant (hematită). Aceste fonte sunt decarburate superficial, structura fiind formată din ferită α și grafit. Datorită cantității mari de ferită și mici de grafit, aceste fonte au miezul în casură de culoare albă. Grafitul se obține numai din descompunerea cementitei libere, în timp ce perlita rămâne nedescompusă.

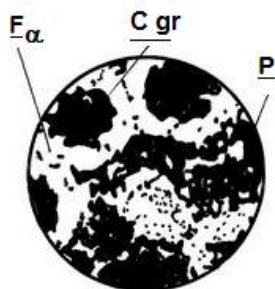


Figura 9. Fontă maleabilă cu miez alb

b. Fontele maleabile cu miez negru sunt fonte a căror structură este formată din ferită și carbon grafit în cuiburi (fig. 10).

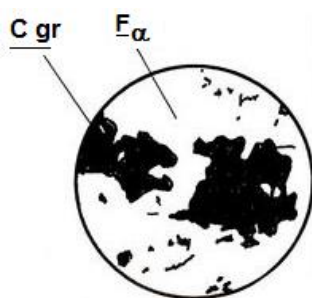


Figura 10. Fontă maleabilă cu miez negru

Ele se obțin prin grafitizare completă în mediu neutru (nisip), când toată cantitatea de cementită din fonta albă (liberă și cea legată în perlită) se descompune în ferită α și grafit. Datorită cantității mari de grafit, aceste fonte au în casură culoarea neagră. Fonta maleabilă neagră are duritatea mai mică decât fonta maleabilă albă, însă prezintă proprietăți plastice superioare.

c. Fontele maleabile perlite sunt fonte a căror structură este formată în totalitate din perlită sau alți constituenți rezultați din transformarea la răcire a austenitei (sorbita, troostita) și din grafit în cuiburi. Dintre fontele maleabile, aceasta prezintă rezistența mecanică cea mai mare ($R_m = 700 \text{ N/mm}^2$; $R_{p0,2} = 500 \text{ N/mm}^2$; $A = 2\%$; $HB = 280$).

Fontele maleabile se simbolizează:

$F_{ma}; F_{mn}; F_{mp}$

Grup de litere

300

Grup de cifre ce reprezintă rezistența minimă la rupere prin tracțiune (R_m), în $[\text{N/mm}^2]$, determinată în epruvete cu diametrul de 15 mm

Există 12 mărci de fonte maleabile ale căror simboluri și caracteristici sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4

Caracteristicile mecanice și structura fontelor maleabile

Grupa	Marca	$R_m \text{ min}$ [N/mm ²]	$R_{p0,2} \text{ min}$ [N/mm ²]	$R_{p0,5} \text{ min}$ [N/mm ²]	A_5 [%]	HB [daN/mm ²]	Structura
Fontă maleabilă cu miez alb	$F_{ma} 350$	360	-	-	3	240	Ferită α + perlită
	$F_{ma} 400$	420	24	260	4	220	
Fontă maleabilă cu miez negru	$F_{mn} 300$	300	-	-	6	160	Ferită α (perlită puțină)
	$F_{mn} 320$	320	-	-	8	160	
	$F_{mn} 350$	350	17	19	10	150	
	$F_{mn} 370$	370	19	21	12	150	
Fontă maleabilă perlitică	$F_{mp} 450$	450	26	28	7	220	Perlită
	$F_{mp} 500$	500	30	32	5	240	
	$F_{mp} 550$	550	33	36	4	260	
	$F_{mp} 600$	600	36	39	3	270	
	$F_{mp} 650$	650	39	43	3	270	
	$F_{mp} 700$	700	50	55	2	280	

Din fonta maleabilă se execută piese mici cu formă complexă, cu masa până la 1Kg și cu grosimea uniformă de 3...30 mm. Fonta maleabilă neagră se folosește la piese mai mari, cu grosimea pereților inegală (3...40 mm), cum sunt tambure de frână, carcase etc.

Din fontele perlitice se execută piese cu rezistență mecanică mare, rezistente la șocuri, pentru construcția de mașini agricole, mașini textile, utilaje de transport etc.

Tratamentul termic denumit recoacere de maleabilizare constă în încălzirea pieselor turnate din fontă albă cu circa 3% C (împachetate în medii oxidante – pentru fontele maleabile cu miez alb, sau medii neutre - pentru fontele maleabile cu miez negru), până la temperaturi de 910°C...1000°C și răcirea ulterioară dirijată, conform ciclogramelor din figura 11.

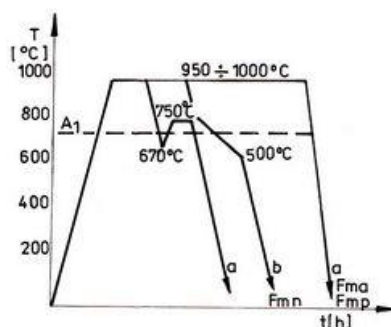


Figura 11. Ciclogramele recoacerii de maleabilizare a fontelor

Curba de răcire “a” se referă la obținerea prin maleabilizare a fontei maleabile perlitice, când are loc descompunerea numai a cementitei libere, perlita rămânând nedescompusă. Curba de răcire “b” se referă la obținerea prin maleabilizare a fontelor cu miez negru, când atât cementita liberă, cât și cementita din perlită se descompun în ferită α și grafit. Curba “c” reprezintă o metodă rapidă de maleabilizare.

2.7. Structura de echilibru a fontelor aliate

Elementele de aliere exercită o influență puternică asupra proprietăților funcționale, determinând astfel și criteriul de clasificare a acestora:

- fonte rezistente la uzare abrazivă;
- fonte antifricțiune;
- fonte anticorozive;
- fonte refractare;
- fonte nemagnetice.

Principalele elemente de aliere sunt: Ni, Mo, Mn, W, Ti, V.

Atât structura cât și modul de prezentare al grafitului sunt influențate de prezența elementelor însoțitoare și de aliere.

În funcție de compoziția chimică, fontele aliate au anumite proprietăți care le impun domeniul de utilizare.

2.7.1. Fonte rezistente la uzare

Rezistența la uzare este determinată de constituția structurală a masei metalice de bază și de cantitatea, mărimea și forma grafitului.

Sunt fonte cenușii și fonte albe.

Fontele cenușii pot fi:

- de antifricțiune;
- de fricțiune.

Structura microscopică a fontelor antifricțiune conține pe lângă steadită (eutectic fosforos binar: $\underline{F}_\alpha$ și Fe_3P sau ternar: Fe_3P , $\underline{F}_\alpha$ și Fe_3C) grafit (lamelar, nodular sau în cuiburi) și o bază metalică perlitică obținută prin aliere cu Cr, Ni, Cu, Ti, Si sau austenitică, prin aliere cu Mn, Al, sau baza metalică mai poate fi aliată cu Pb, Sb, Ta, Nb. Sunt folosite pentru lagăre de alunecare. Fontele de fricțiune pot avea structură perlito-sorbică cu multă steadită sau martensitică. Sunt aliate cu Ni, Cr, Mo, uneori cu Cu.

Exemple:

- fonte cenușii: FcA1, FcA2;
- fonte cu grafit nodular: FgnAl;
- fonte maleabile: FmA1;
- fonte albe aliate cu Cr și Ni: FaNiCr1;
- fonte albe aliate cu Cr și Mo: FaCrMo1, FaCrMo2 ș.a.

Litera “A” face referire la destinația materialului (“A” = antifricțiune). Cifrele din simbol reprezintă clasele de calitate dictate de compoziția chimică a aliajului.

2.7.2. Fonte aliate rezistente la temperaturi înalte

Sunt aliate cu: Cr, Si, Ni, Al. După forma grafitului pot fi cu grafit lamelar sau nodular. Fontele aliate cu nichel au microstructura austenitică iar cele aliate cu crom au microstructura feritică.

Fontele cu conținut ridicat de aluminiu, la care microstructura este feritică, se mai numesc și *fonte refractare* (simbol Fr), ele fiind rezistente până la temperaturi cuprinse între 650°C-1800°C. Exemple: FrCr1,5; FrSi16; FrZnSi 5 ș.a.

Cifrele din simbolul aliajului indică procentul elementului de aliere (FrSi16 reprezintă o fontă refractară aliată cu 16% Si).

2.7.3. Fonte aliate rezistente la temperaturi joase

Sunt fonte cu grafit nodular aliate cu Ni, Cr, Mn, având și urme de Mg. Alierea cu Ni (21-26% Ni) face ca aceste fonte să prezinte o microstructură austenitică, fiind folosite în stare recoaptă, păstrându-și reziliența până la -30...-150°C.

Exemple: FagnNiMn13. 7 este o fontă cu grafit nodular aliată cu 13% Ni și 7% Mn; FagnNiSiCr20. 5. 2 ș.a.

3. Modul de lucru

Pentru efectuare lucrării de laborator se folosește: microscop metalografic tip Mc 6 sau Mc 9 ; transformator 220 / 6V și cutia cu setul de probe metalografice.

După conectarea transformatorului la rețea și alimentarea sursei de iluminare, se iau probele din cutie, fără a deteriora suprafața pregătită, se fixează pe placa metalică cu ajutorul plastilinei și cu ajutorul preseii de mână se planează.

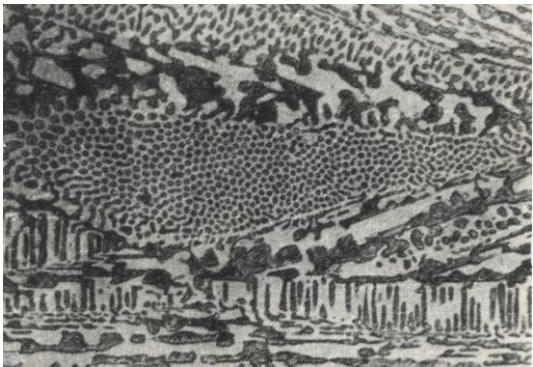
Placa metalică se așează pe masa microscopului și privind prin ocular, deplasăm vertical, lent masa microscopului până când în câmpul vizual a apărut structura probei.

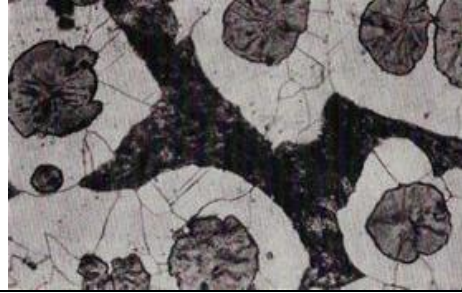
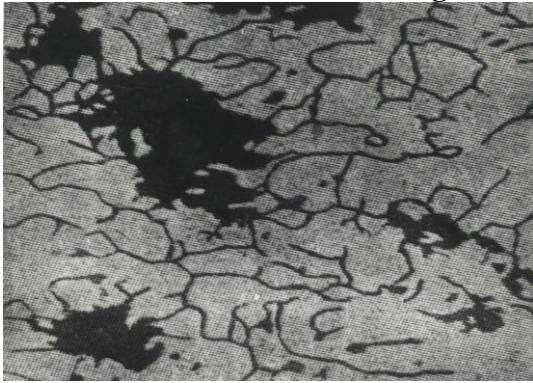
4. Prelucrarea datelor experimentale

Pe microstructurile redate grafic în anexa lucrării de laborator se vor identifica constituenții structurali observați microscopic.

În funcție de natura, forma, mărimea și modul de distribuție în microstructură a constituenților structurali, vor fi approximate caracteristicile mecanice și tehnologice pentru materialele din care au fost prelevate probele.

Tabelul 5

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Fontă albă hipoeutectică  (300:1)	(~ 2,5% C) Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - perlită (P) – amestec mecanic eutectoid sub formă de insule întinse; - ledeburită secundară (Le_{II}) – amestec mecanic eutectic cristalizat secundar, sub formă de câmp alb punctat; - cementita secundară (Ce_{II}) – compus intermetalic sub formă de rețea albă
2.	Fontă albă eutectică  (300:1)	(~ 4,3% C) Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - ledeburită secundară (Le_{II}) – câmp alb punctat;
0	1	2
3.	Fontă albă hipereutectică  (300:1)	(~ 5% C) Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - ledeburită secundară (Le_{II}) – câmp alb punctat; - cementita primară (Ce_I) – formă de benzi albe mari
4.	Fontă pestriță	Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - ledeburită secundară (Le_{II}) – câmp alb punctat; - cementita secundară (Ce_{II}) – zone albe;

	 (100:1)	- perlită ($\underline{P}$)- fond întunecat; - grafit nodular ($\underline{Cgr}_{nodular}$)- insule globulare întunecate
5.	Fontă ferito-perlitică cu grafit nodular  (300:1)	Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - carbon grafit nodular ($\underline{Cgr}_{nodular}$)- insule globulare întunecate ; - ferită alfa ($\underline{F}_\alpha$)-grăunți poligonali deschiși la culoare; - perlită($\underline{P}$)- câmp întunecat
0	1	2
6.	Fontă maleabilă cu miez negru  (450:1)	Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - ferită alfa ($\underline{F}_\alpha$)-grăunți poligonali albi; - grafit de recoacere ($\underline{Cgr}_{rec}$)- sub formă de cuiburi
7.	Fontă albă hipoeutectică aliată cu crom, rezistentă la uzare  (500:1)	(2,1-2,3% C; 0,6-0,8% Mn; max. 0,6% Si; 18-21% Cr; rest Fe) Atac chimic cu Nital 4%. Microstructura conține: - ledeburită secundară aliată ($\underline{Le}_{IIal}$) - insule albe punctate; - cementită secundară aliată($\underline{Ce}_{IIal}$) - zone albe; - perlită aliată ($\underline{P}_{al}$)-insule întunecate mari; - carburi complexe de crom (CrFe_7C) - globule albe mici.

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrare de laborator nr.7

MICROSTRUCTURI ALE ALIAJELOR

PE BAZĂ DE Cu, Al, Zn, Sn ȘI Pb

1. Scopul lucrării

Aliajele neferoase, deși au un preț de cost mai ridicat și o pondere mai mică în producția mondială decât aliajele feroase, sunt deosebit de importante pentru dezvoltarea tehnicii moderne.

Datorită unor proprietăți superioare fontelor și oțelurilor, cum ar fi: conductivitate termică și electrică, rezistență la coroziune, greutate specifică redusă, proprietăți de turnare bune, prelucrabilitate prin așchiere și deformare plastică, există domenii în care metalele și aliajele neferoase sunt indispensabile .

Lucrarea pune la dispoziția studenților cunoștințe teoretice de bază, necesare caracterizării tipurilor reprezentative de aliaje pe bază de cupru, aluminiu, zinc, staniu și plumb.

2. Considerații teoretice

Prin materiale metalice neferoase se înțelege totalitatea materialelor metalice (metale și aliaje) cu excepția fierului și aliajelor sale.

Metalele neferoase tehnice (ușor accesibile, cu fragilitate naturală scăzută) sunt : Cu, Al, Ni, Mg, Zn, Pb, Sn, Bi, Cd. Dintre metalele neferoase tehnice, Ni și Sn sunt metale deficitare în natură.

Metalele neferoase, datorită slabelor caracteristici fizico-mecanice, se folosesc mai rar în tehnică în stare pură, folosindu-se foarte des sub formă de aliaje neferoase.

2.1. Cuprul și aliajele lui

Cuprul este un metal de culoare roșiatică , greu ($\gamma = 8,96 \text{ Kg/dm}^3$), care prezintă plasticitate, conductivitate electrică și termică ridicată, rezistență bună la coroziune în atmosferă, în apă de mare, în vapori supraîncălziți, în agenți organici și gaze de combustie. Nu rezistă în amoniac și hidrogen sulfurat.

Cristalizează în rețea c.f.c., se topește la 1083°C și fierbe la 2310°C .

Rezistența la rupere a cuprului laminat și recopt este de $20\text{-}25 \text{ daN/mm}^2$, iar duritatea de $35\text{-}50 \text{ HB}$; prin deformare plastică la rece, cuprul se ecrusează, când rezistența la rupere și duritatea se dublează ($40\text{-}50 \text{ daN/mm}^2$ și $100\text{-}120 \text{ HB}$).

Cuprul prezintă proprietăți proaste de turnare (absorbând multe gaze, cuprul turnat prezintă porozități), în schimb se deformează plastic cu mare ușurință.

Structura metalografică a cuprului este formată din grăunți poliedrici de Cu, unii maculați și insule mici globulare de Cu_2O (fig. 1).



Figura 1. Microstructura cuprului deformat și recopt

Cuprul pur are largă întrebuințare în tehnică: conductoare electrice, răcitoare, cazane, plăci de focare etc.

De asemenea se utilizează sub formă de aliaje de Cu: alame și bronzuri.

2.1.1. Aliaje Cu-Zn (Alame)

Alamele tehnice sunt aliaje de Cu-Zn care conțin maximum 45% Zn; peste această concentrație a Zn, datorită prezenței constituenților foarte duri, alamele sunt foarte fragile și nu se mai întrebuințează în tehnică.

În funcție de numărul elementelor de aliere, alamele pot fi:

- *binare (obișnuite)*;
- *speciale*.

Diagrama de echilibru a aliajelor Cu-Zn tehnice numite alame obișnuite (fig. 2) este o diagramă cu peritectice multiple: conține 5 transformări peritectice cu formare de 6 soluții solide.

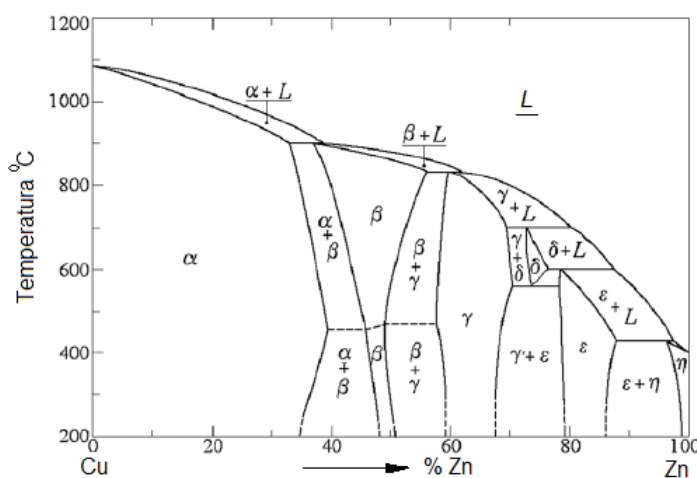


Figura 2 Diagrama de echilibru Cu-Zn

Alamele tehnice obișnuite, în funcție de structura de echilibru, la temperatura ambiantă, pot fi:

- *monofazice*, între 0 și 39% Zn, când sunt formate numai din cristale de soluție solidă α (c.f.c.);
- *bifazice*, între 39 și 49% Zn, când sunt formate dintr-un amestec de cristale de soluție solidă α și soluție solidă β (c.v.c.), pe baza compusului chimic Cu-Zn (c.v.c.)

Solubilitatea zincului în cupru este constantă de 39% Zn până la temperatura de 453°C, după care scade până la 32% Zn, la temperatura de 905°C, deci prezintă o solubilitate inversă.

Soluția solidă ordonată, dură și fragilă β' suportă dezordonarea atomilor la temperatura de 454°C, când prin încălzire ea trece în soluție solidă neordonată β , moale și plastică.

Celelalte faze din alame sunt soluții solide peritectice pe baza unor compuși chimici.

Diferența de structură dintre alamele tehnice monofazice și bifazice se reflectă asupra proprietăților fizico-mecanice și tehnologice. Astfel, alamele monofazice prezintă proprietăți mecanice apropiate de ale cuprului: plasticitate mare, putând fi deformate plastic cu ușurință, atât la rece cât și la cald; rezistență la rupere, limită de curgere și duritatea sunt puțin superioare față de cele ale cuprului.

Alamele bifazice conțin faza mai dură β' , care determină creșterea durității și a rezistenței la rupere a acestor alame. Datorită plasticității reduse, alamele bifazice se prelucerează prin deformare plastică la cald (peste 500°C).

Proprietățile de turnare ale alamelor bifazice sunt în general bune.

Datorită intervalului mic de solidificare (distanța dintre curba lichidus și curba solidus este mică), alamele au tendință redusă de segregare, fluiditate bună și tendința de a forma retasuri concentrate.

Plasticitatea alamelor monofazice cu mai puțin de 30% Zn este maximă la temperatura ambiantă; ea scade în intervalul de temperaturi cuprins între 300 și 700°C, ca apoi să crească din nou. Aceste alame sunt destinate fabricării tablelor, sârmelor și pieselor cu pereți subțiri, prin tragere, extrudare și matrițare la rece.

Alamele monofazice până la 32% Zn, neprezentând transformări secundare, nu se pot trata termic; proprietățile acestor alame pot fi crescute numai prin ecruisare. Alamele cu peste 32% Zn, care prezintă variația solubilității zincului în cupru, pot fi tratate termic; prin răcirea lor rapidă din domeniul $\alpha + \beta$ se poate obține la temperatura ambiantă, în afară de echilibru, soluția solidă β pe lângă soluția solidă α . Alamele monofazice cu peste 20% Zn ecruisate corodează intercrystalin în atmosfere umede, producându-se fenomenul de autofisurare. Acestea trebuie în mod obligatoriu recristalizate.

Alamele cu mult cupru au culoarea galbenă-roșietică, iar pe măsura creșterii conținutului de zinc culoarea devine galbenă, apoi galben-deschis până la 39% Zn, după care culoarea devine din nou roșietică, datorită prezenței soluției solide β' .

Alamele prezintă rezistență mare la coroziune și pot fi ușor îmbinate prin sudare.

Alamele monofazice cu peste 80% Cu se numesc tombacuri.

În funcție de prelucrările la care pot fi supuse, alamele se împart în două grupe:

- alame deformabile;
- alame pentru turnătorie.

Alamele destinate deformărilor plastice sunt standardizate prin STAS 95-90, având simbolul format din simbolurile Cu și Zn, urmate de un număr care indică conținutul mediu de Zn, de exemplu: CuZn10; CuZn15; CuZn20; CuZn30; CuZn36; CuZn37.

Alamele deformabile sunt folosite pentru obținerea plăcilor de condensatoare, arcuri, șuruburi, profile, sârmă, benzi, țevi, tuburi, piese prin ștanțare, matrițare, extrudare, necesare în electrotehnică, aeronautică, construcții de mașini, aparatură electronică, în industria chimică, navală, bijuterii, instrumente muzicale de suflat etc.

Alamele pentru turnătorie sunt standardizate prin STAS199/1-86, care se referă la alamele turnate în blocuri și prin STAS 199/2-86, care se referă la alamele turnate în piese. Există 3 mărci de alame turnate obișnuite: CuZn40PbT; CuZn33Pb2T și CuZn32Pb2T și rest Mn, Fe.

Alama CuZn40PbT turnată centrifugal se folosește pentru colivii de rulmenți, iar alama CuZn32Pb2T tunată în forme de nisip se utilizează la piese care nu sunt solicitate mecanic, cum sunt: piese de ornament, armături etc, iar alama CuZn33Pb2T este folosită pentru piese ușor solicitate mecanic.

Alamele speciale sunt aliaje Cu-Zn care conțin, adăugate în mod voit, unul sau mai multe elemente de aliere, în scopul modificării uneia sau mai multor caracteristici fizico-mecanice sau tehnologice.

Staniul se adaugă până la maximum 4%, în scopul creșterii rezistenței la rupere și coroziune în apă de mare, precum și a creșterii durității.

Manganul (maximum 4%Mn) determină creșterea rezistenței la rupere, a elasticității și a rezistenței la coroziune în apă de mare.

Aluminiul, în proporție de până la 4%, în alame provoacă creșterea durității, a limitei de curgere, a rezistenței la coroziune și oxidare, a rezistenței la rupere, dar determină și creșterea fragilității. De asemenea, aluminiul permite obținerea de piese turnate din alame, dense și fără pori.

Fierul, în proporție de maximum 3,5%, provoacă finisarea structurii, mărește tenacitatea și așchieria alamelor.

Nichelul, în proporție de până la 14,4%, mărește rezistența la rupere, elasticitatea, alungirea și refractaritatea alamelor.

Siliciul crește rezistența la coroziune a alamelor, rezistența mecanică, proprietățile de turnare și sudabilitatea lor.

Alamele speciale sunt standardizate prin aceleași standarde ca și alamele obișnuite. Există 15 mărci de alame speciale pentru deformare: CuZn31Si; CuZn36NiAlMnFePb; CuZn38PbMn; CuZn39Ni etc., livrate sub formă de bare, țevi, profile, destinate fabricării pieselor puternic solicitate mecanic și chimic: țevi pentru piese hidraulice, lagăre, colivii de rulmenți etc. Alamele destinate țevelor pentru condensatoare conțin 0,01...0,03% Sb și 0,9...1,3% Sn.

Alamele speciale destinate turnării se simbolizează astfel: CuZn40PbSnT, CuZn40Mn2AlT, CuZn38Pb2Mn2T, CuZn35Mn2FeAlNiT, CuZn40Mn3FeT și CuZn30Al5Fe3Mn2T, unde cifrele reprezintă procentul mediu de Zn și de elemente de aliere menționate înaintea lor. Alamele speciale turnate au proprietăți mecanice în funcție de procedeul de turnare: sub presiune, în cochilă sau în formă de nisip (ultimul procedeu dă proprietățile cele mai scăzute). Alamele speciale turnate sunt destinate pieselor puternic solicitate mecanic, la uzură, piese ce lucrează în apă de mare: elici de vapoare, arbori, lagăre, bușe. De asemenea din categoria alamelor speciale fac parte și alamele pentru lipituri tari (brazare). Aceste alame sunt aliate cu 0,8...1,2% Sn sau 0,2...0,3% Si.

Sunt standardizate prin STAS 204-77, care cuprinde 2 mărci destinate îmbinării prin lipire a alamelor, bronzurilor și fontelor: Cu58Zn900 (50..62% Cu; 0,2...0,3% Si, maximum 0,3% Sn și maximum 0,5% Pb + Fe + Sn, restul Zn) și Cu59Zn900 (59-61% Cu; 0,2-0,3 Si; 0,8-1,2% Sn; maximum 0,5% Pb + Fe + Sb, restul Zn). Alamele pentru lipit au temperatura de fuziune cuprinsă între 820 și 900°C.

Microstructura alamei monofazice, binară laminată la rece și recoaptă este formată din soluție solidă substituțională de Zn dizolvat în Cu (α).

După atac chimic, la microscop se observă grăunți poligonali și uniformi, cu macule de recoacere, de soluție solidă substituțională (α).

În cazul alamei bifazică binară, turnată, în microstructură pe lângă soluția solidă α , care microscopic se observă sub formă de grăunți alungiți de culoare deschisă, apare o a doua soluție solidă substituțională de Zn dizolvat în compusul intermetalic electronic CuZn, ordonată sub 453°C (β'), cu pronunțat caracter dendritic dictat de cristalizarea primară.

2.1.2. Aliaje cupru-staniu (bronzuri)

Bronzurile obișnuite (normale) sunt aliaje Cu-Sn, care prezintă o diagramă cu patru transformări peritectice, cu formare de șapte soluții solide, care prezintă transformări secundare bazate pe solubilitatea Sn în Cu și pe descompunerea totală a soluției solide cu formare de eutectoid.

Bronzurile obișnuite tehnice conțin maximum 25% Sn (fig. 3), peste această concentrație bronzurile sunt foarte fragile, datorită constituenților foarte duri care se formează.

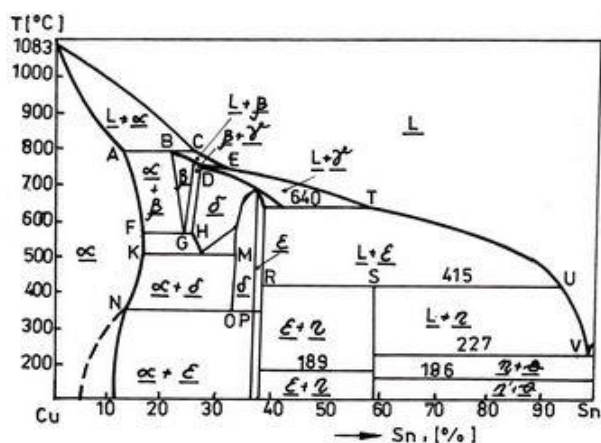


Figura 3. Diagrama de echilibru Cu-Sn

Bronzurile obișnuite prezintă interval mare de solidificare, motiv pentru care se obțin, în urma turnării, segregării puternice și chiar aliaje în afară de echilibru. Astfel, în aliaje cu peste

5% Sn, care la echilibru sunt monofazice, apare foarte frecvent (în afară de echilibru) faza δ pe lângă soluția solidă α .

În funcție de structura de echilibru, bronzurile tehnice se împart în:

- bronzuri monofazice, formate din soluția solidă α cristalizată în rețea c.f.c.;
- bronzuri bifazice, care conțin pe lângă soluția α , într-un eutectoid, soluția ϵ pe bază de compusul Cu_3Sn cristalizată în rețea h.c.

Eutectoidul $\alpha + \epsilon$ se obține prin descompunerea soluției solide δ formată pe baza compusului Cu_3Sn .

La temperaturi mai mari se află fazele β – soluție solidă pe baza compusului CuSn cristalizată în rețea c.f.c.

Bronzurile mai conțin: fazele η care este un compus intermetalic Cu_3Sn și soluție solidă θ izomorfă CuSn .

Bronzurile monofazice care conțin sub 6% Sn se pot prelucra prin deformare plastică. Apariția eutectoidului ($\alpha + \epsilon$) în bronzuri exclude posibilitatea deformării plastice la rece și, ca atare, aceste bronzuri se prelucurează numai prin turnare.

Bronzurile prezintă proprietăți fizice foarte bune de turnare: au fluiditate mare, o contracție redusă; în schimb, prezintă tendință de segregare foarte accentuată.

Proprietățile mecanice ale bronzurilor vor depinde de cantitatea fazelor α și β prezente în structura lor.

Astfel, pe măsura creșterii cantității de staniu, rezistența la rupere și duritatea cresc, iar alungirea și reziliența scad.

Bronzurile obișnuite posedă rezistență la coroziune foarte bună și rezistență la uzare mare. Particulele dure de faza ϵ implantate în masa metalică relativ moale (soluția solidă α) determină un coeficient mic de frecare, capacitate bună de ungere și în consecință rezistență mare la uzare.

Bronzurile bifazice pot fi supuse tratamentului termic de călire și revenire: prin călire devin moi, iar prin revenire se durifică.

Bronzurile monofazice pot fi ecruisate, când proprietățile mecanice de rezistență cresc foarte mult.

În funcție de structura bronzurilor la temperatura ambiantă și de prelucrările la care pot fi supuse, bronzurile ca și alamele se împart în două grupe:

- bronzuri deformabile;
- bronzuri pentru turnătorie.

Bronzurile deformabile au până la 10% Sn. STAS 93-80 indică trei mărci de bronzuri laminabile notate cu CuSn6 , CuSn8 , CuSn4Pb4Zn4 , unde cifrele înseamnă cantitatea medie de Sn, Pb sau Zn. Aceste bronzuri se livrează sub formă de bare, table, sârme, diverse profile, etc. Prezintă rezistență bună la rupere (35...50 daN/mm², alungire mare (50...80%) și duritate bună (70...130 HB). Bronzurile deformabile sunt destinate confecționării de arcuri, membrane, lamele arcuite, piese rezistente la frecare, piese rezistente la coroziune, etc.

Bronzurile pentru turnătorie conțin peste 10% Sn, sunt bifazice și posedă proprietăți excelente pentru turnare.

De asemenea, bronzurile pentru turnare au rezistență bună la coroziune, ceea ce determină utilizarea lor pentru armături. Pentru micșorarea prețului de cost al bronzurilor obișnuite, staniul fiind deficitar, este posibilă înlocuirea parțială a acestuia cu zincul sau cu plumbul, iar bronzurile respective se numesc bronzuri roșii.

STAS 197-83 indică patru mărci de bronzuri cu staniu pentru turnare, simbolizate prin CuSn14 ; CuSn12 ; CuSn10 și CuSn12Ni , unde grupul de cifre indică conținutul mediu de Sn. Aceste bronzuri au rezistență la rupere de 20 daN/mm², alungirea de 2...10% și duritatea de 60...85 HB. Sunt destinate confecționării de lagăre, șuruburi melc și roți melcate puternic solificate, axe, diverse piese pentru instalații hidraulice etc.

Același standard indică 6 mărci de bronzuri roșii CuSn10Zn2 ; CuSn9Zn5 ; CuSn6Zn4Pb4 etc., la care o parte din Sn este înlocuit cu Zn sau Pb. Aceste bronzuri sunt mai ieftine, dar sunt

mai puțin rezistente: $R=15\ldots 20 \text{ daN/mm}^2$; $HB=55\ldots 60$; $A=5\ldots 10\%$. Sunt destinate fabricării de armături care lucrează la presiuni mari în instalații de apă și abur, pentru lagăre de material rulant etc.

Bronzurile speciale sunt aliaje complexe care pe lângă Sn și Cu pot să conțină și alte elemente adăugate în mod voit în scopul îmbunătățirii caracteristicilor fizico-mecanice. De asemenea, tot din categoria bronzurilor speciale fac parte și aliaje binare în care Sn este înlocuit total cu alte elemente cum sunt: Al, Pb, P, Be, Si, Mn etc.

a. Bronzurile cu aluminiu (Cu-Al) sunt cele mai bune înlocuitoare ale bronzului cu staniu. Diagrama de echilibru a bronzurilor tehnice cu aluminiu este asemănătoare diagramei Cu-Sn. Bronzurile tehnice de aluminiu conțin până la maximum 11% Al, peste această cantitate, bronzurile sunt foarte dure și fragile. Bronzurile cu 5...10% Al au proprietăți mecanice și tehnologice foarte bune; ele sunt aliaje monofazice; au plasticitate foarte bună, de asemenea, au fluiditate mare și formează retasură concentrată în urma turnării. Acestea au în structură soluția solidă α izoformă cu cuprul.

Bronzurile bifazice, conțin pe lângă faza α și faza γ , care este o soluție solidă pe baza compusului $\text{Cu}_{32}\text{Al}_{19}$. Aceste faze provin din descompunerea eutectoidă a fazei β la 565°C .

Bronzurile cu aluminiu bifazice pot fi călite și revenite; prin răcire cu viteză mare se obține o structură aciculară asemănătoare oțelurilor călite. Prin tratamente termice, proprietățile mecanice pot fi îmbunătățite.

b. Bronzurile cu plumb sunt aliaje cu caracteristici de antifricțiune superioare, înlocuiesc foarte bine bronzurile antifricțiune Cu-Sn și aliajele antifricțiune Pb-Sn, deficitare. Cuprul și plumbul formează un sistem cu solubilitate limitată în stare lichidă și insolubilitate în stare solidă.

Structura acestor aliaje turnate este formată dintr-o bază de cupru în care se află grăunți de plumb repartizați neuniform. Plumbul având o greutate specifică mare formează segregatii după greutatea specifică accentuată. Segregația plumbului și dispersia grosolană, se combat prin adăugare de 1...2% Ni, prin răcirea rapidă a băii topite sau prin vibrarea băii topite în timpul solidificării. Bronzul cu plumb posedă proprietăți foarte slabe de rezistență mecanică, motiv pentru care bronzul cu plumb se toarnă în carcase de oțel, formând cuzineți. Se folosesc bronzuri cu plumb cu până la 30% Pb pentru lagăre de alunecare la motoare cu ardere internă, lagăre pentru turbine, pentru locomotive etc.

De asemenea, bronzurile cu plumb, având rezistență la coroziune bună în acizi, se folosesc la piese pentru industria chimică, industria alimentară, cuzineți pentru lagăre de mașini unelte etc. STAS 1512-88 cuprinde trei mărci de bronzuri cupru – plumb - staniu: CuPb15Sn8 ; CuPb10Sn10 și CuPb5Sn10 , unde cifrele reprezintă conținutul mediu de Pb și Sn. Majoritatea mărcilor de bronzuri cu plumb conțin și staniu. Creșterea proprietăților mecanice, finisarea structurii și micșorarea segregatiei se face prin aliere cu Ni, Fe, Co, Mn, P, Ag, Sb, Bi etc.

Bronzurile cu plumb au rezistență la rupere scăzută $5\ldots 25 \text{ daN/mm}^2$, alungire mică (2,5...14%), duritate suficientă (23...80 HB) și elasticitate redusă.

c. Bronzurile fosforoase sunt bronzuri destinate confecționării lagărelor de alunecare. Fosforul formează un eutectoid complex cu Cu și Sn, care conferă bronzurilor duritate. De asemenea, este puternic dezoxidant în bronzuri; fosfura de cupru și fosfura de staniu au afinitate mare față de oxigen formând fosfați și astfel împiedică formarea oxizilor Cu_2O și SnO_2 , care cauzează fragilitatea bronzurilor.

d. Bronzurile cu mangan sunt bronzuri care își păstrează rezistența mecanică până la temperaturi de $400\ldots 450^\circ\text{C}$. Bronzurile cu mangan cu până la 5%Mn, sunt destinate confecționării de conducte, armături, robinete pentru aburi supraîncălziți, iar bronzurile de Mn cu până la 5% Mn cu adaosuri de până la 10% Zn, 10% Al, 3% Si și 4% Ni sunt destinate confecționării pieselor foarte solicitate în construcția de mașini. Aliajele cu 12% Mn și 2...4% Ni, denumite manganine, posedă rezistență la coroziune în apă marină, bună refractaritate și rezistivitate electrică constantă la variația temperaturii.

2.2. Alumiul și aliajele de alumiul

Alumiul este un metal cristalizat în rețea c.f.c. caracterizat prin: greutate specifică mică ($\gamma=2,7 \text{ Kg/dm}^3$, temperatură de fuziune mică 660°C , plasticitate mare și caracteristici mecanice scăzute $R_m=10 \text{ daN/mm}^2$, $20\ldots 25 \text{ HB}$, $A=35\ldots 40\%$ și $Z=80\%$, conductibilitate termică și electrică mare $\rho=2,7 \text{ }\Omega/\text{cm}$), capacitate mare de reflexie, rezistență mare la coroziune până la temperaturi de $300\ldots 400^\circ\text{C}$ (se acoperă cu o peliculă protectoare de Al_2O_3); turnabilitate slabă și sudabilitate bună etc. Prin eloxare (alumiul – oxid - electrolic) se impregnează superficial cu diverse substanțe obținându-se o varietate mare coloristică cu interes pentru bijuterii, obiecte de artă, jaluzele etc.

Alumiul, prin deformare plastică la rece, se ecrusează, când își dublează rezistența la rupere, micșorându-și plasticitatea. Alumiul tehnic conține $99\ldots 99,8\%$ Al și restul impurități de fier și siliciu. Atât fierul cât și siliciul măresc fragilitatea alumiului prin eutecticele pe care le formează compusul chimic Al_3Fe și Si cu Al.

Alumiul se folosește mai rar în stare pură: pentru conductoare electrice, la dezoxidarea oțelului, la sudarea aluminotermică; el se folosește foarte des sub formă de aliaje binare sau complexe cu alte metale. Astfel, alumiul formează în mod curent cinci grupe de aliaje binare: - Al-Cu; Al-Mg; Al-Zn; (mai rar: Al-Fe, Al-Ni, Al-Ti) – și mai multe grupe de aliaje complexe (duralumin, aliaje de alumiul pentru pistoane etc).

În funcție de prelucrările pe care le pot suporta, aliajele de alumiul se clasifică în:

- aliaje de alumiul deformabile, care la rândul lor pot fi:
 - durificabile prin tratamente termice (Al-Cu);
 - nedurificabile prin tratamente termice (Al-Mn; Al-Mg).
- aliaje de alumiul de turnătorie:
 - care se pot durifica;
 - care nu se pot durifica prin tratamente termice (Al-Cu, Al-Si, Al-Mn), efectul tratamentului scăzând pe măsura creșterii cantității de eutectic. Aliajele de alumiul posedă diagrama de echilibru cu solubilitate limitată și cu formare de eutectic (fig. 4), limita de separație dintre aliajele deformabile și aliajele de turnătorie constituie limita de solubilitate maximă parțială, C_α .

Aliajele de alumiul monofazice situate la stânga limitei de solubilitate C_0 posedă plasticitate mare, în timp ce aliajele bifazice (situate la dreapta limitei maxime de solubilitate C_α) posedă proprietăți foarte bune de turnare.

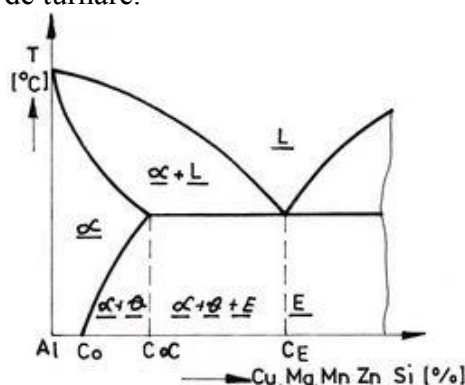


Figura 4. Diagrama generală de echilibru a aliajelor de alumiul

2.2.1. Aliaje de alumiul complexe durificabile prin tratamente termice

Specific aliajelor de alumiul complexe din această grupă este aliajul denumit duralumin, care este un aliaj pe bază de Al-Cu-Mg aliat cu Mn și Fe ($3,8\ldots 4,8\%$ Cu; $0,4\ldots 0,8\%$ Mg; $0,4\ldots 0,8\%$ Mn, maximum $0,7\%$ Si și maximum $0,7\%$ Fe).

Duraluminul este un aliaj deformabil plastic și durificabil prin tratamente termice; pe măsura creșterii conținutului de Cu și Mn posibilitatea durificării prin precipitare (călire și îmbătrânire) crește, însă se micșorează plasticitatea și prelucrabilitatea prin deformare plastică. Duraluminul se deformează plastic, în general la temperatura de 450...480°C. Duraluminul este un aliaj cu proprietăți mecanice bune: $R=42...50 \text{ daN/mm}^2$ și $HB=150$; în schimb prezintă rezistență la coroziune mai mică decât aluminiul, de aceea piesele din duralumin se plachează cu aluminiu pur. În stare de echilibru, structura duraluminului este formată din soluție solidă α în care sunt înserați compușii intermetalici: CuAl_2 ; CuMnAl_2 ; Mg_2Si etc.

Duraluminul se folosește pe scară largă în aeronautică, în construcția autovehiculelor, pentru confecționarea articolelor de larg consum, a elicelor, a rezervoarelor etc. STAS 7608-88 indică mai multe mărci de duralumin obișnuit: AlCu4MgMn ; AlCu4Mg1Mn , AlCuMgMnSi etc.

Din categoria aliajelor complexe de aluminiu durificabile mai fac parte și aliajele de aluminiu cu rezistență mecanică mare, din sistemul Al-Cu-Mn-Zn și aliaje de Al rezistente la temperaturi înalte Al-Cu-Mg-Ni-Fe- folosite la confecționarea pistoanelor, chiulaselor etc.

Nichelul conferă acestor aliaje un coeficient de dilatare redus și refractaritate bună. În același standard, sunt cuprinse și mărcile de aliaje complexe de aluminiu cu rezistență mecanică mare și refractaritate bună: AlCu2Mg1 ; 5Ni1,3Fe1SiTi ; AlZn6Mg2,5Cu1,5 ; AlSi12CuMgNI etc.

Aliajele de aluminiu complexe se laminează la cald sau se extrudează la rece sub formă de bare rotunde, hexagonale, table, profile etc.

2.2.2. Aliaje de aluminiu pentru turnare

Sunt aliaje binare Al-Cu, Al-Si, Al-Mg și aliaje complexe, care conțin o cantitate mai mare de elemente de aliere decât aliajele deformabile și au în structură obligatoriu eutectic.

Sunt aliaje bifazice hipoeutectice, eutectice sau hipereutectice care posedă proprietăți de turnare foarte bune: fluiditate bună, tendință de segregare mică, compactitate bună și rezistență mare la tensiunile de contracție după turnare.

Aliajele de aluminiu pentru turnătorie pot fi sau nu durificate prin tratamente termice, în funcție de natura și cantitatea componentelor; aliajele care pot fi durificate prin îmbătrânire prezintă un efect al durificării mai scăzut decât la aliajele deformabile, efect ce scade pe măsura creșterii cantității de eutectic.

a. Aliajele Al-Cu pentru turnare conțin 8...12% Cu și se întrebuințează la fabricarea pieselor turnate: pistoane, cuzineți etc. Aceste aliaje au rezistență mecanică bună, însă posedă reziliență scăzută. Pentru a îmbunătăți reziliența se adaugă cantități mici de Mn, Mg, Ti.

b. Aliaje Al-Si (siluminuri) prezintă o diagramă de echilibru cu solubilitate limitată (fig. 5), siliciu se dizolvă maxim 1,65% Si în aluminiu, la temperatura de 577°C, iar la temperatura ambiantă siliciul este insolubil în aluminiu. Aliajele Al-Si au un eutectic format la temperatura de 577°C și la procentul de 11,7% Si. Aliajele Al-Si prezintă proprietăți de turnare foarte bune; au fluiditate mare, contracție mică la solidificare și capacitate de absorbție a gazelor minimă.

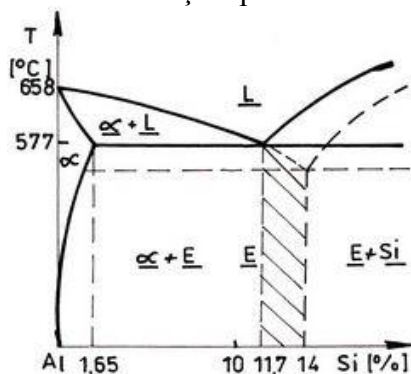


Figura 5. Modificarea aliajelor de Al-Si

Aliajele Al-Si nu se pot durifica prin tratamente termice datorită solubilității foarte scăzute a Si în Al. Cele folosite pentru turnare sunt aliaje hipereutectice, apropiate de concentrația eutecticului, care conțin 12...13%Si; acestea au structură formată din eutectic în care sunt înserate plăci și ace de siliciu. Proprietățile mecanice ale aliajelor de Al-Si hipereutectice sunt slabe datorită prezenței cristalelor primare de siliciu. Pentru a îmbunătăți proprietățile, se adaugă în momentul turnării la temperatura de 780...800°C, o cantitate mică (0,08...0,12% din greutatea întregului aliaj) sodiu metallic sau o cantitate de 1-2% din greutatea aliajului de amestec de NaF și NaCl în raport de 2/3. această operație se numește “modificare”, iar substanțele respective care se adaugă se numesc “modificatori”. În urma modificării, liniile lichidus și solidus sunt deplasate în jos și la dreapta, astfel încât aliajele cu 12...13% Si din hipereutectice, dure și fragile devin hipoeutectice, lipsite de fragilitate. Prin modificare, rezistența la rupere crește de la 15 la 20 daN/mm², iar alungirea crește de la 3 la 8%. Pentru a măări rezistența mecanică a siluminurilor se folosesc adaosuri de Cu, Mg și Mn când se obțin aliaje ce pot fi durificate prin tratamente termice și au proprietăți mecanice superioare.

2.3. Aliajele metalelor grele ușor fuzibile (Pb, Sn, Sb, Zn)

2.3.1. Aliajele plumbului

Sunt aliaje ușor fuzibile, cu rezistență mecanică redusă, folosite pentru executarea literelor de tipar, plăcilor de acumulator, conductelor de apă, armăturilor, mantalelor pentru cabluri electrice de forță, aliajelor pentru lipituri moi, aliajelor antifricțiune etc.

2.3.1.1. Aliaje Pb-Sn

Aceste aliaje constituie un sistem cu solubilitate limitată a Sn în Pb și cu formare de eutectic pentru 61,9% Sn, la temperatura de 183°C. Solubilitatea maximă a staniului în plumb este de 19,5% Sn la temperatura de 183°C și scade aproape la 0 la temperatura ambiantă.

Aliajele Pb-Sn cu adaosuri de stibiu sunt destinate pentru îmbinarea etanșă fără condiții de rezistență a pieselor din oțel sau din cupru prin lipire moale (când se topește numai aliajul fără a se topi local și materialele de îmbinat). Aceste aliaje au un punct scăzut de topire (180...300°C), nu difuzează în materiale de lipit ci pătrund doar în golurile și neuniformitățile suprafețelor pieselor realizând lipirea lor.

STAS 96-87 indică 40 mărci de aliaje pe bază de Sn, Pb, Zn, Cd destinate lipiturilor moi, simbolizate astfel: LSn97Cu; LSt95Ag; LSt35PbSb; LSt95Sn etc. Aliajele pentru lipituri moi au rezistență mecanică foarte slabă (5...7 daN/mm²); de aceea ele asigură doar etanșeitatea îmbinării nu și rezistența lor mecanică.

2.3.1.2. Aliaje Pb-Sb

Constituie un sistem de aliaje cu solubilitate redusă și cu formare de eutectic pentru 13% Sb la temperaturi de 245°C. Solubilitatea Sb în Pb este de maximum 2,94% Sb la temperatura de 245°C și scade la 0 la temperatura ambiantă.

Adaosul de stibiu în plumb determină creșterea durtății și a rezistenței mecanice la rupere. Aceste aliaje sunt destinate confecționării de mantale pentru cabluri electrice de forță, conducte de apă, armături, piese pentru pompe centrifuge, plăci de acumuloare și lagăre de alunecare.

STAS 672-80 indică mărci de aliaje plumb-stibiu: PbSb3; PbSt6; PbSb12; PbSb20; PbSb30 unde cifrele dau cantitatea în procente de stibiu.

2.3.1.3. Aliaje antifricțiune

Aliajele Pb, Sn, Sb în anumite concentrații constituie materiale cu punct scăzut de topire, cu proprietăți excelente antifricțiune, utilizate la confecționarea prin turnare a cuzinetelor de lagăre de alunecare.

Aliajele antifricțiune trebuie să satisfacă următoarele condiții:

- să posedă proprietăți bune de turnare: fluiditate mare, concentrație mică, tendință de segregare redusă și tendință de formare a porozităților mică;
- să posedă rezistență bună la compresiune;
- să aibă capacitate bună de a se mula pe fus în perioada de rodaj;
- să posedă rezistență bună la uzare;
- să posedă suficientă duritate, dar nu prea mare pentru a nu provoca uzura fusului;
- să prezinte coeficient mic de frecare, să asigure capacitate bună de ungere;
- să prezinte conductibilitate termică bună;
- să posedă rezistență bună la coroziune.

Deci, aliajele antifricțiune trebuie să fie în același timp dure, pentru a rezista la uzare și la compresiune, și moi pentru a se uza înaintea axului (deoarece cuzinetul este mai ieftin și se înlocuiește mai ușor decât axul) și pentru a se mula pe fus într-o perioadă minimă de rodaj. Aceste două condiții, care la prima vedere ar părea că se exclud reciproc, sunt realizate de aliajele antifricțiune cu punct scăzut de topire pe bază de Pb, Sn, Sb care au structură eterogenă, formată dintr-o bază moale (soluție solidă) în care sunt inserate particule foarte dure (compuși chimici).

În timpul rodajului, baza moale se va uza cu ușurință realizându-se mularea cuzinetului pe fus, iar particulele dure vor rămâne în relief constituind puncte cu suprafață mică de sprijin a fusului și realizând un spațiu între fus și baza metalică a cuzinetului în care poate exista un film continuu de lubrifiant (fig. 6).

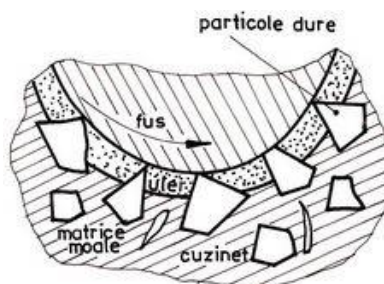


Figura 6. Asamblare mobilă fus-lagăr de alunecare

Aliajele antifricțiune pe bază de Pb, Sn, Sb sunt cunoscute sub denumirea de *babbitturi*.

2.3.2. Aliajele zincului

Principalele aliaje tehnice ale zincului sunt: Zn-Al și Zn-Cu. Aluminiul până la 4% determină creșterea rezistenței la tracțiune de la 10 la 30 daN/mm², a rezilienței de la 5 la 40 daJ/cm² și a găturii de la 5 la 80%. Pb, Si, și Cd sunt considerate impurități periculoase deoarece favorizează coroziunea selectivă.

Aliajele Zn-Al-Cu cu 4% Al și 1% Cu se folosesc pe scară largă la obținerea armăturilor, carcaselor de aparate, pieselor pentru mașini de scris, corpuri de carburatoare etc.

Aliajele Zn-Al-Cu, denumite “zamak” pot fi prelucrate bine prin turnare (în amestec de formare, în cochile cu sau fără presiune) și prin deformare plastică la rece (presare, laminare, tragere etc.).

Aliajele Zn-Al au proprietăți bune de antifricțiune și proprietăți mecanice relativ mari, de exemplu aliajul cu 4% Al și 0,03% Mg (adăugat pentru împiedicarea procesului de coroziune selectivă) denumit Zamak 3 are: $R=2...27$ daN/mm²; $A=1...4\%$; $HB=70...90$; $KCU=2...4$ daJ/cm².

3. Modul de lucru

Se folosește un montaj complet pentru investigații microscopice optice: transformator 220/6v, microscop metalografic optic tip Mc6 sau Mc9, complet utilat și cutia cu setul de probe.

Din cutia de probe, se ia proba pregătită în vederea studierii la microscop, fără a deteriora suprafața pregătită.

Se fixează proba pe lamela metalică a microscopului și cu ajutorul presei de mână se planează suprafețele.

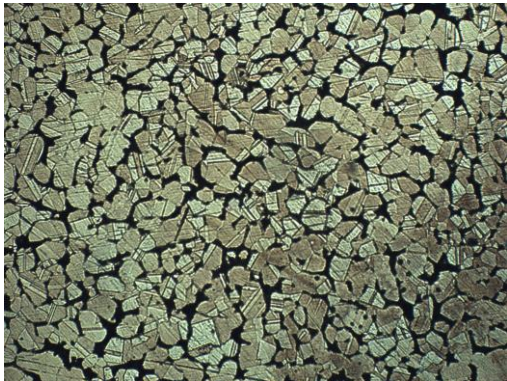
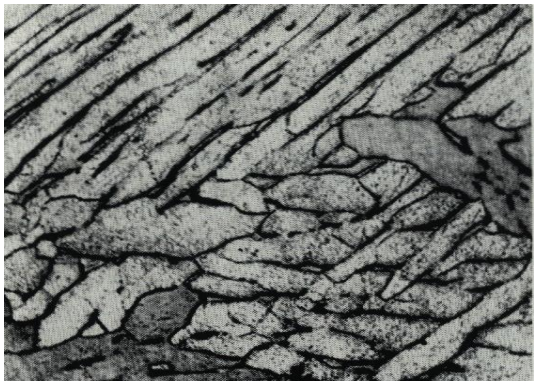
Astfel pregătită, proba se așează pe masa microscopului și se începe investigația.

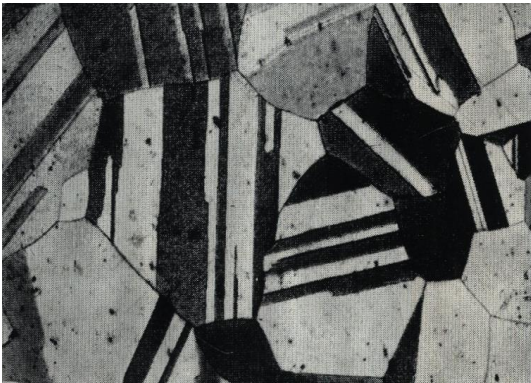
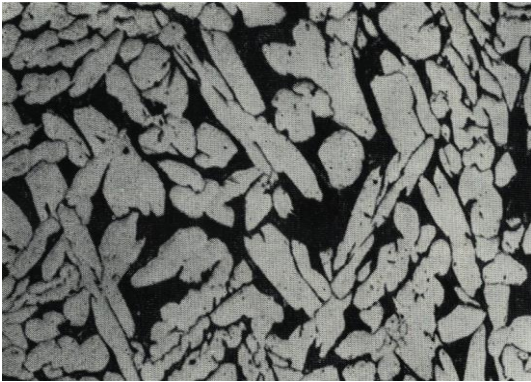
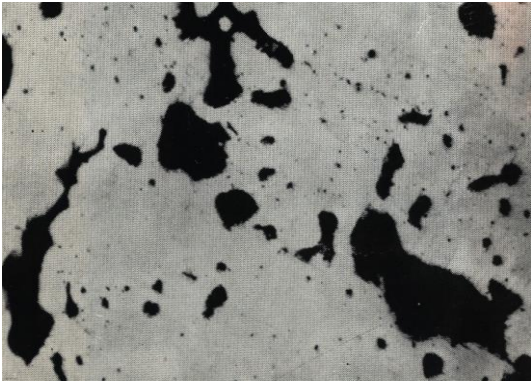
Constituenții structurali identificați microscopic se vor nota pe microstructurile redată grafic în anexa lucrării de laborator.

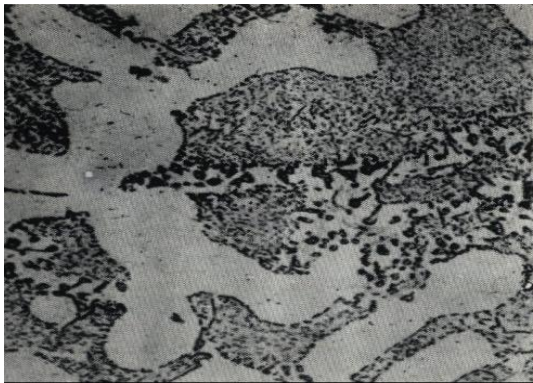
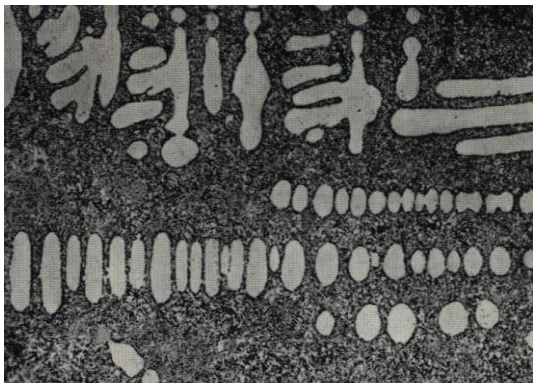
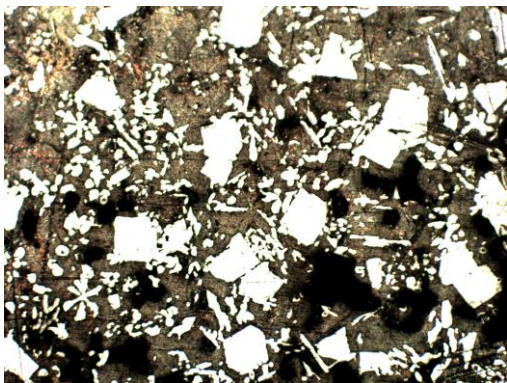
4. Prelucrarea datelor experimentale

Constituenții structurali identificați microscopic se vor nota pe microstructurile redată grafic în anexa lucrării de laborator.

Tabelul 1

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Alamă monofazică binară, laminată la rece și recoaptă CuZn10  (200:1)	Atac chimic: 30% HNO₃ în apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți alungiți, de culoare deschisă;
2.	Alamă bifazică binară turnată CuZn40T  (250:1)	Atac chimic: 30% HNO₃ în apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți alungiți, de culoare deschisă; - soluție solidă de substituție beta (β') – fond întunecat

0	1	2
3.	Bronz obișnuit monofazic binar laminat și recopt CuSn6  (250:1)	Atac chimic: 30% HNO₃ în apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți poligonali, uniformi și maclați;
4.	Bronz obișnuit bifazic, binar, turnat în piese CuSn14  (250:1)	Atac chimic: 30% HNO₃ în apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți dendritici de culoare deschisă și pori; - amestec mecanic eutectoid (E_d) – fond întunecat.
5.	Bronz special cu plumb, turnat CuPb25  (500:1)	Neatacat. Microstructura conține: - plumb pur – formațiuni dendritice de culoare întunecată - cupru pur- fond deschis

0	1	2
6.	Aliaj de aluminiu pentru turnătorie, de tip silumin, modificat parțial ATSi12  (100:1)	Atac chimic: 10g NaOH + 100cm³ apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți albi cu capete rotunjite; - amestec mecanic eutectic (E) – acicular; - plăci și ace de siliciu – de culoare albă.
7.	Aliaj de aluminiu pentru turnătorie, de tip silumin, modificat total ATSi12  (100:1)	Atac chimic: 10g NaOH + 100cm³ apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți albi cu capete rotunjite; - amestec mecanic eutectic (E) – punctiform.
8.	Aliaj antifricțiune SnSbCu (babbitt turnat) YSn83  (100:1)	Atac chimic cu Nital 3%. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – câmp închis la culoare; - compus intermetalic SnSb – sub formă de plăci albe, mari; - compus intermetalic Cu₃Sn – sub formă de ace albe mici.

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr.8

MICROSTRUCTURI SPECIFICE MATERIALELOR METALICE PRELUCRATE PRIN TURNARE, DEFORMARE PLASTICĂ ȘI SUDARE

1. Scopul lucrării

Pentru a putea fi folosite sub formă de produse (semifabricate sau piese), materialele metalice sunt supuse unor prelucrări tehnologice.

Metodele de prelucrare (turnare, deformare plastică, sudare) exercită o influență considerabilă asupra formării structurii și asupra proprietăților.

Pe de altă parte, structura și proprietățile unui material determină modul de prelucrare al acestuia.

Prin noțiunile teoretice și probele metalografice ce vor fi studiate microscopic, lucrarea de laborator are ca scop punerea în evidență a interdependenței dintre structura, proprietățile și modul de prelucrare tehnologică a materialelor.

2. Considerații teoretice

2.1. Microstructura materialelor metalice prelucrate prin turnare

Prelucrarea unui produs metalic are ca scop general modificarea formei geometrice și a dimensiunilor acestuia, fie la cald (turnare, deformare plastică, sudare) fie la rece (deformare plastică, așchiere). Cu excepția prelucrărilor prin așchiere (strunjire, frezare, găurire, rectificare, rabotare), care produc cel mult o deformare plastică la rece a stratului superficial al materialelor metalice, celelalte metode de prelucrare (turnare, deformare plastică, sudare) exercită o influență apreciabilă asupra formării structurii și prin aceasta și asupra proprietăților acestora.

Cele mai multe metale se întâlnesc în scoarța Pământului sub formă de combinații chimice naturale (oxizi, sulfuri, silicați, carbonați etc.) numite *minerale*. Unele metale ca: aurul, argintul, platina pot fi întâlnite și în stare nativă. Mineralele se găsesc în roci, asociate cu alte minerale, împreună cu care formează *minereurile* (ex.: calcopirita, CuFeS_2 , aproximativ 34%; Cu-minereu de cupru; blenda, ZnS , aproximativ 67,1%; Zn-minereu de zinc etc.). din minereuri sunt extrase prin diferite procedee *metalele*. Metalele extrase din minereuri conțin o cantitate mare de elemente însoțitoare (impurități), care sunt eliminate parțial prin operații ulterioare de purificare (rafinare).

Aliajele se obțin prin retopirea elementelor componente (ce pot fi: două sau mai multe metale sau metale cu diferite nemetale) după care sunt turnate în *lingouri* sau în piese.

Lingourile sunt blocuri de masă metalică, rezultate în urma solidificării unui metal sau aliaj, turnat în *lingotieră*. Aceasta din urmă este o formă metalică, executată de obicei din fontă, destinată turnării, în special a oțelului lichid.

Turnarea reprezintă operația de introducere a metalului sau aliajului lichid, în cavitatea formei de turnare (forme ce pot fi din: nisip de turnătorie, fontă, oțel, ceramică etc.), cavitate care reproduce forma geometrică a reperului turnat. Prin solidificarea metalului sau aliajului lichid (topitura) rezultă piesa turnată sau semifabricatul dorit. În acest caz, solidificarea aliajului (sau a metalului) decurge prin cristalizare, neuniform, când în anumite puncte preferate din masa de aliaj lichid, apar mai întâi centrele de cristalizare, care vor crește treptat (mai întâi pe direcții principale, apoi pe cele secundare, terțiare ș.a.) prin depunere de atomi din topitură pe ele, până

la epuizarea posibilităților de creștere, devenind în final cristale (grăunți cristalini) vizibile microscopic sau chiar macroscopic.

În general, microstructura materialelor metalice după turnare poate fi:

- grăunți cristalini alotriomorfi (grăunți cu contur geometric neregulat sau poliedrici, forme care nu reflectă structura cristalină internă a materialului) echiași (fig. 1);

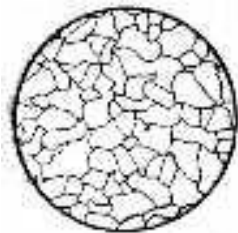


Figura 1. Microstructura fierului tehnic după turnare:
grăunți cu contur geometric neregulat echiași.
Atac chimic: nital 2%. (100:1)

- dendritică, formată din grăunți dendritici, neomogeni, de formă arborescentă (fig.2). Neomogenitate dendritică a metalelor și aliajelor poate fi înlăturată astfel:
 - printr-o recoacere de omogenizare, când în structura materialului, datorită difuziei, se vor forma grăunți cristalini cu contur geometric neregulat (fig. 3); sau
 - prin deformare plastică la rece și recoacere de recristalizare, când rezultă grăunți poliedrici cu macule de recoacere.



a



b

Figura 2. Microstructura oțelului OT400 după:
a – turnare (dendritică neomogenă);
b-recoacere de omogenizare (grăunți cristalini de perlită – negri și ferită alfa – albi); 500:1.

Structura pieselor turnate depinde foarte mult de condițiile tehnologice în care se realizează această operație. Astfel, dacă piesele care se toarnă au dimensiuni mari, structura lor internă, după turnare, va fi neomogenă din punct de vedere al mărimii grăunților cristalini. La exterior, piesele vor avea o granulație mai fină, în timp ce la interior, granulația va fi grosolană. Structura internă grosieră determină o scădere pronunțată a proprietăților mecanice ale pieselor turnate.

La turnarea în cochilă (formă de turnare metalică folosită la turnarea aliajelor neferoase) dimensiunile grăunților cristalini sunt mici, ei prezentând o orientare accentuată pe direcția transmiterii căldurii.

Când turnarea se face în amestec de formare, grăunții sunt mai mari întrucât căldura este eliminată mai greu din metal, astfel încât ei au timp suficient să crească. Piesele turnate în cochilă au, în general, o duritate și o rezistență mecanică mai mare decât cele turnate în amestec de formare.

2.2. Microstructura materialelor metalice prelucrate prin deformare plastică

Ca metodă de prelucrare a materialelor metalice cristaline, deformarea plastică constă în schimbarea formei și dimensiunilor semifabricatelor, sub acțiunea unor forțe exterioare, schimbare ce se păstrează și după îndepărtarea cauzelor care au produs-o (deformare permanentă).

2.2.1. Clasificarea deformării plastice în funcție de temperatura de recrystalizare

Deformarea plastică a materialelor metalice poate avea loc la diferite temperaturi. Ținând cont de o anumită temperatură limită, caracteristică pentru fiecare metal și aliaj, numită temperatură de recrystalizare (T_γ), deformarea plastică poate fi clasificată în:

- deformare plastică la rece, când deformarea are loc la temperaturi inferioare celei de recrystalizare;
- deformare plastică la cald, când deformarea se produce la temperaturi superioare temperaturii de recrystalizare.

Temperatura de recrystalizare poate fi definită ca acea temperatură deasupra căreia începe difuzia și autodifuzia atomilor materialului metalic. Această temperatură este dată de relația:

$$T_r = K \times T_t \quad [K]$$

unde:

T_t – este temperatura de topire a materialului metalic, [K],

K – este un coeficient care depinde de puritatea materialului, având următoarele valori: 0,2 pentru materialele de înaltă puritate; 0,3-0,4 pentru materialele de puritate tehnică; 0,5-0,6 pentru soluții solide concentrate. Exemplu: pentru oțeluri $K=0,4$.

2.2.2. Deformarea plastică la rece și deformarea plastică la cald a materialelor metalice

Prin deformare plastică la rece metalele și aliajele se ecrusează. Ecrusearea este o stare în afară de echilibru a materialelor metalice deformate plastic la o temperatură mai mică decât cea de recrystalizare și care se manifestă prin creșterea rezistenței concomitent cu micșorarea tenacității acestora.

Deformarea plastică la rece determină modificarea formei, dimensiunilor și orientării grăunților cristalini ai materialelor metalice. Astfel:

- grăunții constituenților plastici (ex. ferita alfa din oțeluri) se alungesc în direcția de întindere, se lătesc și se turtesc în direcție transversală (fig. 3.a);

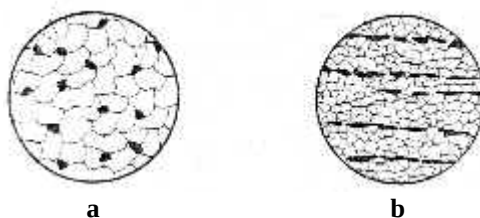


Figura 3. Microstructuri de oțeluri deformate plastic prin tracțiune:

- a) deformat plastic la rece, soluție solidă F_α grăunți alungiți și amestec mecanic P grăunți mai puțin alungiți;
 - b) deformat plastic la cald, structură ferito-perlitică orientată (în șiruri).
- grăunții constituenților mai fragili (ex.: cementita din oțeluri) vor fi ruși și fragmentați, orientându-se în șiruri paralele cu direcția de prelucrare.

Alungirea grăunților plastici și orientarea fazelor fragile dau fibrajul mecanic al pieselor deformate plastic și la rece.

Ca și în cazul deformării plastice la rece, materialele metalice deformate plastic la cald se ecrusează, însă datorită vitezei mari de difuzie, ecrusarea este înlăturată prin recrystalizare, materialul rămânând în stare plastică.

Structura fibroasă, în acest caz, este dată de alungirea incluziunilor nemetalice și de sfărâmarea și dispunerea în șiruri (benzi) paralele a celor fragile.

Între aceste șiruri paralele de incluziuni nemetalice se vor găsi grăunți globulari echiaxiali recrystalizați. Un exemplu în acest sens este microstructura oțelurilor hipoeutectoide deformate plastic la cald (fig. 3.b).

Deformarea plastică a plumbului și staniului, la temperatura camerei, este însoțită de recrystalizare. Din acest motiv, aceste metale nu se ecrusează. Din punct de vedere al proprietăților mecanice, materialele metalice deformate plastic sunt cu mult superioare celor prelucrate prin turnare.

2.3. Microstructura materialelor metalice prelucrate prin sudare

Procesul de sudare reprezintă un ansamblu de fenomene fizico-chimice prin intermediul cărora se realizează îmbinarea dintre două componente.

Sudarea este operația de realizare a unei îmbinări între două sau mai multe piese metalice, prin încălzire sau aplicarea unei presiuni, cu sau fără utilizarea unui metal de adaos. Metalul ajunge în zona îmbinării fie în stare plastică, fie în stare topită, astfel ca, în final, să existe o continuitate în natura materialului pieselor îmbinate.

În practică, cea mai răspândită metodă de sudare este cea prin topire locală, cu arc electric și electrod fuzibil.

Din punct de vedere structural, o îmbinare sudată prin topire cu adaos de material este caracterizată prin prezența cordonului de sudură, care posedă o structură de material solidificat și prin prezența zonelor influențate termic, din vecinătatea cordonului de sudură, care posedă o structură de material supraîncălzit.

În ceea ce privește compoziția chimică, în zona cordonului de sudură, aceasta este un amestec rezultat din topirea electrodului și din topirea locală a materialului care se assemblează.

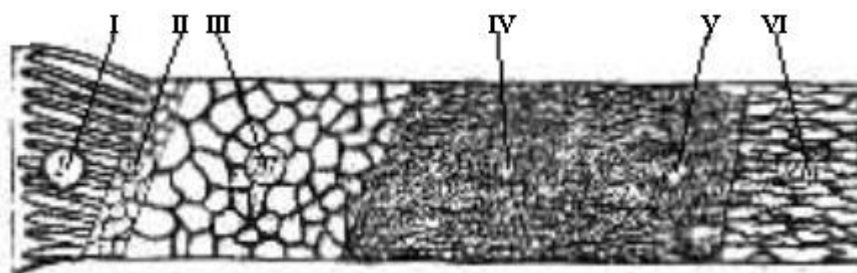


Figura. 4. Microstructura unui oțel carbon sudat.

Modificările structurale produse la încălzire în zona sudurii unui oțel carbon sunt prezentate în fig. 4. Se observă mai multe zone:

a) **Zona materialului solidificat** (ZMS) formată din:

– subzona materialului de adaos (MA), notată (I), este partea îmbinării rezultată în urma solidificării topiturii (amestec omogen de material metalic, electrod fuzibil, cât și eventuale substanțe din învelișul electrodului;

– subzona de trecere (ZT), (II), care face trecerea între cusătură și materialul de bază, a cărei compoziție chimică rezultă din amestecarea materialului electrodului, a substanței

învelișului electrodului și a materialului de bază. Uneori această zonă nu poate fi pusă în evidență.

b) **Zona influențată termic (ZIT)** se compune din următoarele subzone:

– subzona de supraîncălzire (III), la care datorită temperaturii mari este favorizată creșterea grăunților;

– subzona de normalizare (IV) are o granulație foarte fină;

– subzona transformărilor cu recristalizare incompletă (V), cu granulație neomogenă.

c) **Zona materialului de bază (ZMB)**, (VI), este partea din îmbinare a cărei structură și proprietăți nu au suferit nici o modificare în timpul procesului de sudare.

Procesele care au loc la sudarea prin topire sunt, în esență, aceleași cu procesele care au loc în cursul topirii și solidificării metalelor. Totuși, între aceste două procedee tehnologice există o serie de diferențe. Principalele diferențe sunt:

– La un material turnat, topirea și elaborarea aliajului lichid, pe de o parte, și turnarea și solidificarea acestuia, pe de altă parte, sunt două operații tehnologice distincte. Însă, la sudare, topirea metalului și a electrodului, formarea zgurii, precum și solidificarea au loc rapid și constituie, astfel, o singură operație tehnologică.

– Temperatura maximă a topirii și, deci, cantitatea de gaze dizolvată este considerabil mai mare la sudare față de turnare. Riscul apariției suflurilor este mai mare la o cusătură sudată decât într-un material turnat.

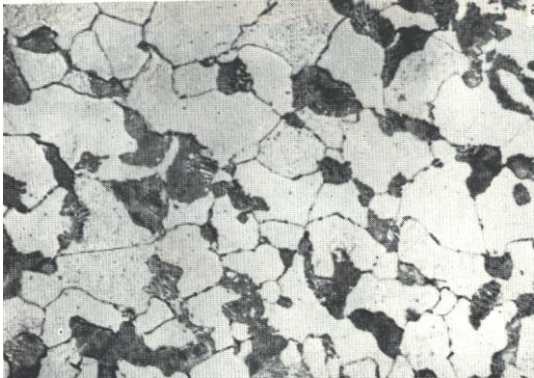
3. Modul de lucru

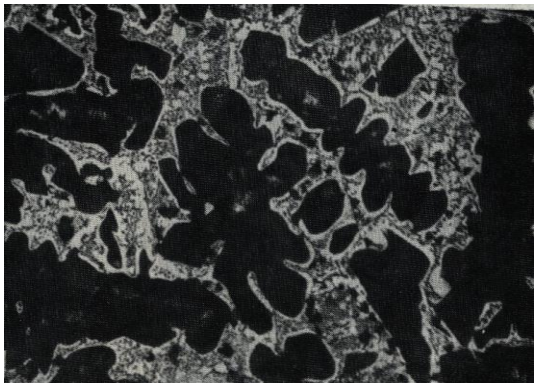
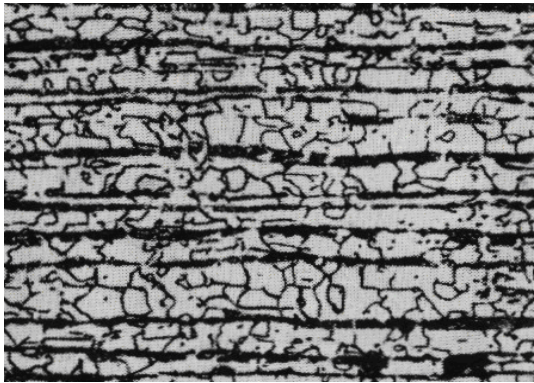
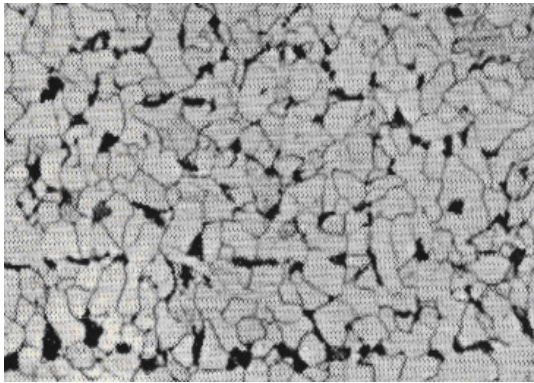
Pentru desfășurarea lucrării se vor folosi microscopice metalografice optice MC6 sau MC9, cu puteri de mărire diferite, în funcție de microstructura analizată. Studiul la microscop se execută pe probe metalografice pregătite în prealabil.

În cadrul lucrării de laborator se vor folosi microscopicele metalografice și probe metalografice din diverse materiale metalice turnate, deformate plastic, sudate.

4. Prelucrarea datelor experimentale

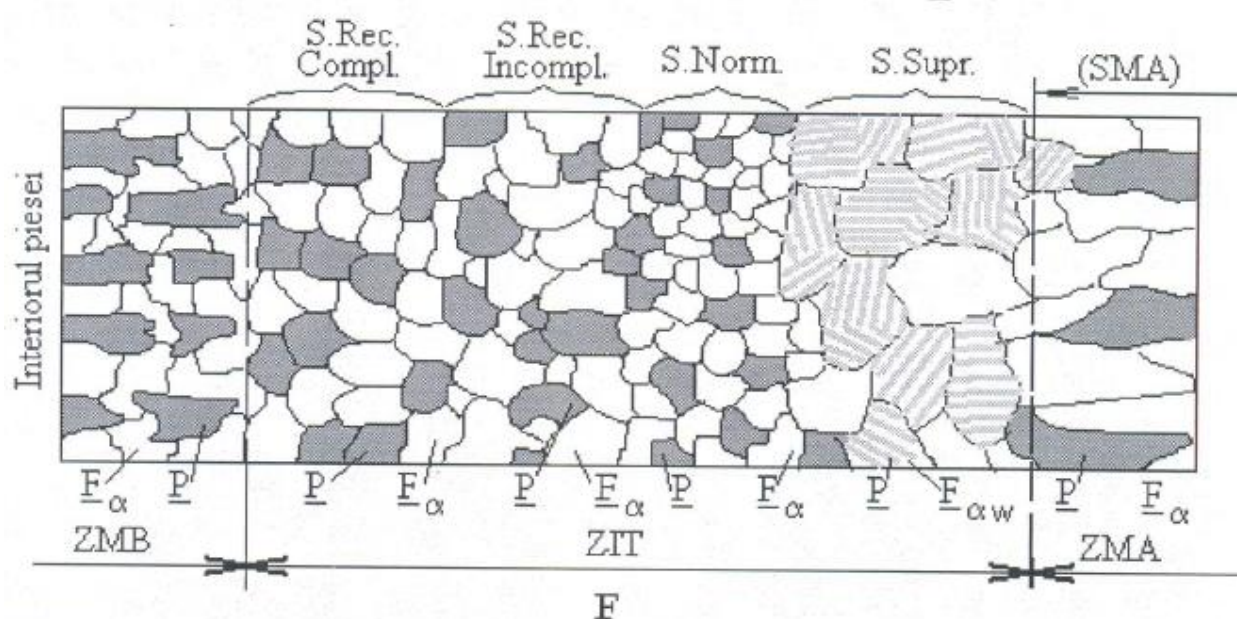
Tabelul 1

Nr. crt.	Proba studiată	Observații
0	1	2
1.	Oțel carbon ,turnat OT450  (500:1)	Atac chimic: Nital 3%. Microstructura conține: - grăunți poligonali grosolani de ferită alfa (F_{α}) de culoare deschisă; - ramificații dendritice întunecate de perlită (P) Proprietăți rezultate (cauza):

0	1	2
2.	Bronz obișnuit bifazic binar, turnat în piese CuSn14  (250:1)	Atac chimic: 30% HNO₃ în apă distilată. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți dendritici de culoare deschisă și pori; - amestec mecanic eutectoid (E_d) – fond întunecat Proprietăți rezultate (cauza):
3.	Oțel carbon de calitate laminat la rece OLC35  (100:1)	Atac chimic: Nital 3%. Microstructura conține: - soluție solidă alfa (α) – grăunți deschiși la culoare, alungiți în direcția de întindere; - perlită (P) – grăunți alungiți, într-o măsură mai mică, în direcția de întindere Proprietăți rezultate (cauza):
4.	Oțel carbon obișnuit, laminat la cald OL37  (100:1)	Atac chimic: Nital 3%. Microstructura conține: - grăunți poligonali recristalizați de ferită alfa (F_α) de culoare deschisă; - șiruri dispuse pe direcția laminării de perlită (P) de culoare închisă. Proprietăți rezultate (cauza):
0	1	2

5.

Oțel carbon de calitate, **sudat electric cu material de adaos**
OLC25



Atac chimic: Nital 3%. Microstructura conține:

- **ZMA** - zona metalului modificat este reprezentată prin subzona materialului de adaos, cu structura cristalizată primar ZIT;

Proprietăți rezultate (cauza):

- **ZIT** – zona influențată termic conține subzonele:
 - S. Supr. – subzona de supraîncălzire cu grăunți caracteristici (Widmannstätten) de F_{α} și insule grosolane de P

Proprietăți rezultate (cauza):

- S. Norm. – subzonă de normalizare, care are atât grăunți de F_{α} și insule de P de dimensiuni reduse

Proprietăți rezultate (cauza):

- S. Rec. Incompl. – subzona de recristalizare incompletă, care are grăunți de F_{α} și insule de P , având mărime neuniformă

Proprietăți rezultate (cauza):

- S. Rec. Compl. – subzonă de recristalizare completă, care are grăunți de F_{α} și insule de P , cu mărime mai uniformă decât inițial, în materialul de bază

Proprietăți rezultate (cauza):

- **ZMB**- zonă a materialului de bază, corespunde unui oțel carbon obișnuit, deformat plastic la cald, cu grăunți poligonali recristalizați de F_{α} și P în benzi

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea de laborator nr. 9

MATERIALE SINTERIZATE, MATERIALE COMPOZITE ȘI MATERIALE SEMICONDUCTOARE

1. Scopul lucrării

Lucrarea prezintă particularitățile structurale, proprietățile tehnologice și de utilizare în exploatare, domeniile în care se folosesc materialele sinterizate, compozite precum și cele semiconductoare.

Noțiunile teoretice vor permite să fie determinate atât aplicațiile strict specifice ale acestor materiale cât și posibilitățile de utilizare ale acestora ca înlocuitoare mai economice sau mai performante ale unor materiale metalice tradiționale.

2. Considerații teoretice

2.1. Materiale sinterizate

Sub denumirea de materiale sinterizate sunt cunoscute materialele obținute printr-un procedeu tehnologic, relativ nou, denumit *metalurgia pulberilor*. Prin această tehnologie de fabricație se pot obține, sub acțiunea presiunii și temperaturii, atât piese finite cât și semifabricate din pulberi metalice.

Tehnologia metalurgiei pulberilor comportă următoarele operații: elaborarea și dozarea pulberii, presarea produselor de pulberi în matrițe, sinterizarea, finisarea, calibrarea și tratamentul termic. În fig. 1 se prezintă schematic principalele operații de obținere a unei piese prin sinterizare.

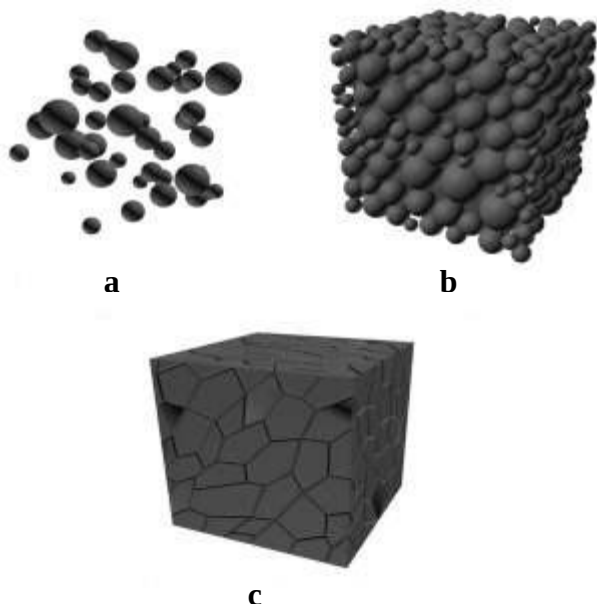


Figura 1. Principalele etape de obținere a unei piese sinterizate, a – obținerea și dozarea pulberii, b – presarea, c – obținerea produsului final după sinterizare.

Pulberea metalică reprezintă particule de metale pure, aliaje, compuși intermediari, etc., a căror dimensiuni variază între 0,001 mm și 0,4 mm. Forma particulelor poate fi sferoidală, poliedrică, lamelară sau aciculară.

Elaborarea pulberilor se poate realiza prin următoarele metode:

- metode mecanice – presupun măcinarea mecanică în diferite tipuri de mori cu bile (producerea pulberilor din carburi metalice întrebuințate la fabricarea materialelor

metaloceramice dure sau pentru obținerea pulberilor din materiale tenace - cupru, fier) sau utilizarea metodelor bazate pe pulverizarea unui jet de lichid

- metode fizico-chimice – se bazează pe reducerea oxizilor de fier (magnetită, limonită, hematită, tunder) cu medii reducătoare solide (praf de cărbune) sau gazoase (hidrogen, gaz metan, oxid de carbon), descompunerea electro-chimică sub formă dispersă, coroziunea intercrystalină.

Pentru a se obține materiale sinterizate de bună calitate, pulberile-metalice trebuie să îndeplinească următoarele condiții: compoziție chimică garantată, absența incluziunilor abrazive (SiO_2), formă a particulelor diferită de cea sferică; suprafață sferică mare; fluiditate ridicată și mărime uniformă a particulelor.

Dozarea pulberilor are drept scop realizarea de pulberi cu particule de mărimi apropiate (când se folosesc metale pure) sau realizarea cantităților necesare de pulbere din componentele unui aliaj. La aliaje, dozarea se finalizează cu *omogenizarea* masei de pulberi, care se face prin amestecare.

Pentru fabricarea pieselor finite sau semifabricate, pulberile metalice se *presează* în matrițe cu formă corespunzătoare pieselor respective, folosind presiuni cuprinse între $2 \div 10 \text{ tf/cm}^2$. Forța de presare limitată a utilajelor folosite (max. 2000 tf) determină limitarea mărimii pieselor (în general se obțin piese mici, cu cât mai puține variații axiale). Produsele presate nu prezintă rezistență mecanică, ele putându-se deteriora la eforturi foarte mici.

Sinterizarea este operația cea mai importantă din tehnologia metalurgiei pulberilor, ea constând dintr-o prelucrare termică aplicată produselor formate și presate în scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice de rezistență. Încălzirea se execută sub punctul de topire al componentului principal din amestecul de pulberi, din care se execută produsul, $T_{\text{sint}} = (0,6 \div 0,8)T_f$. Fenomenele care au loc între particule și în interiorul lor în timpul sinterizării sunt: reacții chimice, transformări alotropice, dilatări termice și fenomene de difuzie, prin care materialul dintr-o granulă pătrunde în materialul granulelor vecine, având loc legarea acestora. Sinterizarea poate avea loc cu sau fără aplicarea unei presiuni asupra piesei. Calitatea pieselor sinterizate depinde de parametrii regimului de sinterizare: temperatura, durata de menținere, mediul protector folosit și presiunea aplicată. În urma sinterizării pieselor devin compacte, posedând proprietăți de rezistență asemănătoare materialelor turnate sau deformate.

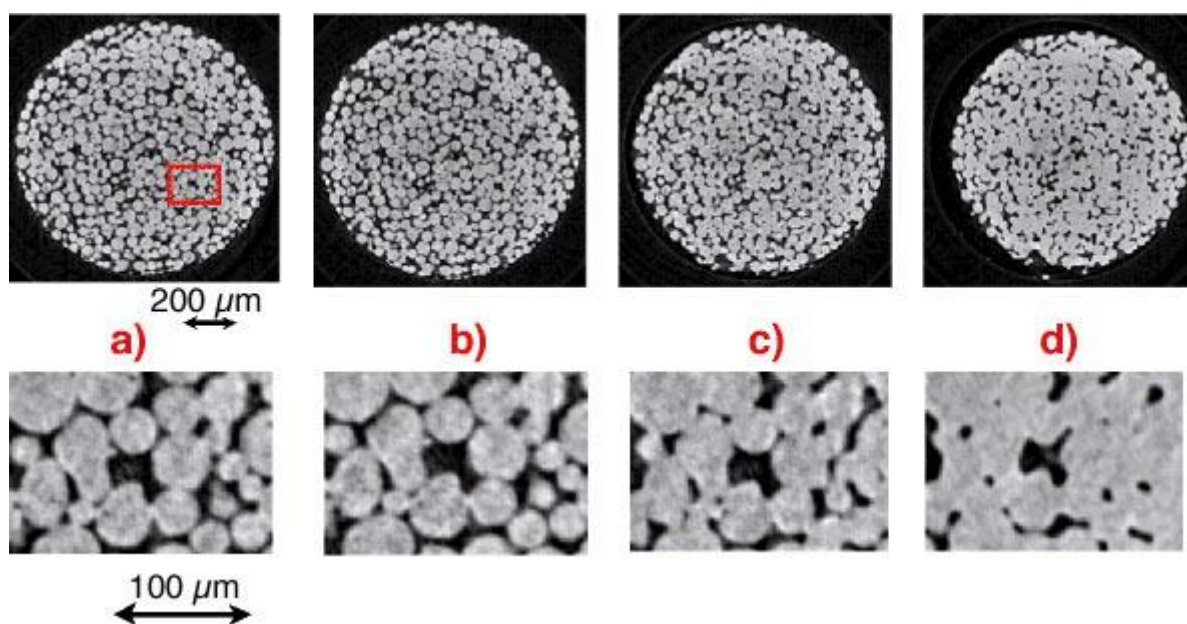


Figura 2. Imagini ale sinterizării unei piese din pulbere de cupru; a – piesa presată, b – începutul sinterizării, c – etapă intermediară, d – finalul sinterizării.

În fig. 2 se prezintă diferite etape din timpul sinterizării (la 1050°C) pentru obținerea unei piese din cupru. Se observă cum are loc pierderea treptată a identității particulelor de cupru precum și apariția porozității (cu scăderea treptată a acesteia în timp). În partea de jos a figurii este prezentată mărit o aceeași regiune din imaginile de sus.

În unele cazuri piesele obținute prin această sinterizare sunt supuse unor operații de *finisare, calibrare și tratament termic*, de exemplu, de prelucrare mecanică prin așchiere pentru a fi aduse la dimensiuni exacte. Materialele sinterizate poroase, pentru lagărele cu autoungere, după calibrare, se impregnează cu lubrifianț. Tratamentele termice finale se aplică doar pieselor sinterizate cu compactitate ridicată, ele putând fi de recoacere de recristalizare, călire, revenire, durificare prin precipitare, călire și îmbătrânire, tratamente speciale, tratamente termochimice (celor pe bază de pulberi din fier).

Prin procedeul metalurgiei pulberilor se pot obține piese cu o porozitate controlată dar cu o densitate diferită. În funcție de aceasta, materialele metalice sinterizate se împart în:

- materiale de mare porozitate, ce au o compactitate de 50%, fabricate pentru filtre
- materiale poroase pentru lagăre cu autoungere, ce au o compactitate de cca. 75%
- materiale compacte, a căror compactitate variază între 85 și 100%, folosite ca piese de rezistență în construcția de mașini.

Funcție de natura pulberilor, forma lor și gradul de compactitate, materialele sinterizate se utilizează în domeniile industriei constructoare de mașini, al industriei electrotehnice, industriei chimice etc. (fig. 3)



Figura 3. Piese obținute prin sinterizare; a – materiale cu proprietăți de frecare impuse și piese de rezistență pe bază de oțeluri și aliaje de cupru, b – filtre din oțel.

Materiale cu proprietăți de frecare impuse: de antifricțiune - materiale poroase pe bază de pulberi din Fe, Cu, Al (Fe-grafit; Fe-Cu - grafit; bronz-grafit) și de fricțiune - fabricate pentru garnituri de frână și ambreiaje, care au un coeficient mare de frecare, rezistență mare la uzare, fiind piese din pulberi din Fe, Cu, bronz, împreună cu pulberi nemetalice din grafit, bioxid de siliciu, azbest etc.

Materiale pentru piese de rezistență: roți dințate, roți lanț, came, pistoane, segmenti, pârgii, furci, manșoane, ghidaje etc. Aceste materiale trebuie să aibă o compactitate mare și porozitate mică. Sunt obținute prin presări și sinterizări succesive. Ele sunt realizate din pulberi de fier (segmenti, roți dințate etc.), cupru (bronz și alamă sinterizată), aluminiu (pistoane, palete de compresoare etc.), cobalt (palete de turbine).

Materiale de mare porozitate pentru filtrare – sunt materiale cu compactitate redusă, a căror porozitate ridicată se obține întrerupând procesul de sinterizare într-un anumit stadiu, când volumul porilor reprezintă minimum 30% din volumul piesei. Porozitatea trebuie să aibă un caracter intercomunicant, deci materialul să prezinte o mare permeabilitate pentru mediul filtrat, asociată cu o rezistență bună la coroziune și rezistență mecanică ridicată. Aceste materiale se

execută din pulberi metalice de bronz, nichel, oțel inoxidabil, argint, carburi metalice, fier și oțeluri carbon.

Materiale refractare sinterizate – sunt caracterizate prin rezistență mare la oxidare la temperaturi ridicate, termostabilitate înaltă și conductibilitate termică bună. Pulberile metalice, pentru obținerea materialelor refractare, sunt formate din oxizi refractari policristalini, inerți din punct de vedere chimic, carburi, nitruri, siliciuri, etc. Aceste materiale se folosesc în tehnica nucleară a reactoarelor etc.

Aliaje dure pentru scule așchietoare – sunt formate din grăunți foarte duri de carburi metalice (carburi de W, Ti, Nb, Ta, Mo), legați printr-un liant (Co, Ni, Fe). În timpul sinterizării, oțelul dizolvă și apoi precipită o parte din carbura de wolfram. Presarea la cald duce la obținerea de materiale sub formă de pastile, practic fără porozitate, foarte dure și rezistente la uzare. Aceste aliaje dure, numite aliaje metaloceramice și mineraloceramice, după componenții folosiți, se utilizează la așchieria cu viteză mare a metalelor, păstrându-și proprietățile așchietoare până la temperaturi de 900°C.

Materiale magnetice sinterizate – sunt de două tipuri: materiale magnetice moi (miezuri magnetice masive) și materiale magnetice tari (magneți permanenți). Fabricarea materialelor magnetice moi se face din pulberi foarte fine de fier (obținute prin reducerea oxizilor de fier cu ajutorul oxidului de carbon), de nichel, de nichel-fier (permalloy), Fe-Si-Al. Materialele magnetice tari au o structură eterogenă, având fazele magnetice din pulberi foarte fine, dispersate într-o masă de bază nemagnetică. Se folosesc pulberi de Fe, Fe-Ni-Al și Mn-Mi. Datorită porozității, caracteristicile magnetice ale acestor materiale sunt mai scăzute decât cele ale magneților obținuți prin turnare.

Materiale pentru contacte electrice – conțin pulberi din metale bune conducătoare de căldură și electricitate și pulberi din metal sau metaloizi duri refractari și rezistenți la uzare. Astfel, sistemele cupru-grafit sau bronz-grafit sunt materiale din care se confecționează perii de contact, iar contactele de rupere se execută din W-Cu, W-Ag, Cu - carburi etc.

2.2. Materiale compozite

Din cele mai vechi timpuri este cunoscută asocierea mai multor materiale pentru obținerea unor proprietăți superioare componentelor de plecare (chirpicii, betonul armat, etc.). În epoca actuală acestea se numesc *compozite sau materiale compozite* moderne, neconvenționale, ele conferind proprietăți ingineresti deosebit de atrăgătoare.

Un material compozit este în principiu format dintr-un mediu de înglobare numit *matrice* și din *elemente de întărire sau ranforsare*.

Matricea poate avea diferite compoziții chimice (polimeri, metale, ceramică) și diverse aranjamente microstructurale. În plus matricea poate conține agenți de umplură (carbonat de calciu, clei, mică, microsfele de sticlă, etc.), de cuplare, de acoperire și/sau de protecție. Rolurile lor se referă la reducerea costului, îmbunătățirea compatibilității ranforsant/matrice, obținerea sau îmbunătățirea unor proprietăți mecanice, fizice etc., producerea unor suprafețe mai netede, colorare, ignifugare, stabilizare la lumină, căldură și radiații cosmice, etc.

Elementele de întărire sau ranforsare pot fi fibre, metale, sau structuri mixte ale acestora (fire, țesături, rețele, materiale nețesute, etc.).

Matricea unui material compozit avansat este o fază continuă care consolidează materialul de ranforsare astfel încât acestea să poată acționa împreună la diferite solicitări. Caracteristicile principale cerute unei matrice sunt: compatibilitatea cu materialele de ranforsare, compatibilitatea cu metodele de obținere folosite pentru fabricarea compozitului și stabilitatea la condițiile impuse pentru domeniul de utilizare.

Matricea în compozite are următoarele roluri:

- transferă eforturile solicitărilor între elementele de ranforsare;
- reprezintă o barieră față de agenții agresivi din mediu;
- protejează suprafața materialelor de ranforsare față de abraziunile mecanice.

Matricea are în principal influență asupra proprietăților mecanice (rezistențele la forfecare, la compresie, la încovoiere) și dictează de asemenea prelucrabilitatea compozitului și rezistența lui la factorii de mediu.

Majoritatea materialelor compozite oferă o combinație de rezistență și modul care sunt compatibile sau chiar superioare materialelor metalice tradiționale, la care se adaugă densitatea mică, rapoarte convenabile rezistență/masă și modul/masă. De aceea compozitele sunt o clasă importantă de materiale performante înlocuitoare de metale în componentele din industriile aerospațială și automobilistică. Materialele tradiționale (de exemplu, oțelul și aliajele de aluminiu) sunt izotrope deoarece prezintă proprietăți similare în toate direcțiile. Proprietățile unor compozite, cum ar fi cele ranforsate cu fibre, depind puternic de direcția de măsurare. Dacă fibrele sunt unidirecțional orientate rezistența și modulul unui compozit sunt maxime în direcția longitudinală a fibrelor, reflectând caracteristicile înalt performante ale fibre; la orice alt unghi de măsurare, aceste proprietăți sunt mai mici, reflectând proprietățile matricei.

Natura anizotropă a materialului compozit creează posibilitatea unică de a se realiza proprietăți „la comandă” conform necesităților. Această flexibilitate în prelucrare poate duce la ranforsarea selectivă a structurii în direcțiile eforturilor majore, crescând rezistența în direcția preferențială, realizându-se panouri curbate fără nici o operație de matrițare, sau producerea de structuri cu coeficient de dilatare termică zero.

În afară de dependența direcțională a proprietăților, există și alte diferențe între metale și compozite ranforsate cu fibre. Metalele prezintă, în general, deformații plastice. Majoritatea compozitelor au comportare elastică la solicitările de întindere-compresiune. Natura eterogenă a acestor materiale permite absorbția de energie la scară microscopică. Astfel, în funcție de tipul și mărimea eforturilor exterioare, un compozit poate prezenta deteriorare gradată a proprietăților, fără să se rupă în mod instantaneu.

Coeficienții de dilatare termică pentru majoritatea compozitelor ranforsate sunt mult mai mici decât cei pentru metale. Ca rezultat, structurile compozite prezintă stabilitate dimensională într-un domeniu larg de temperaturi.

O altă caracteristică specifică majorității compozitelor este capacitatea lor mare de absorbție a vibrațiilor și, în consecință, transmisia lor redusă în structurile vecine (avantaj pentru confortul pasagerilor în transporturile de orice fel).

Tabelul 1 prezintă diferite materiale destinate matricelor. Dintre acestea, polimerii termoreactivi (de exemplu, epoxizii și poliesterii) sunt cel mai mult folosiți, datorită ușurinței lor de prelucrare. Matricele metalice, din carbon sau ceramică sunt destinate pentru aplicații la temperaturi ridicate unde polimerii nu se pot folosi sau în aplicații care necesită caracteristici cum ar fi tenacitatea, conductibilitatea termică sau electrică a metalelor.

Tabelul 1.

Materiale pentru matricele materialelor compozite.

Tipul materialului	Exemple/ domenii de utilizare
Polimeri termorigizi sau termoreactivi	-epoxizi / aeronautică și aplicații aerospațiale -polieterivinilesterici/construcții de automobile, marină, aplicații electrice și chimice -poliimide, polibenzimidazoli, polifenilchinoxalină/ aplicații aerospațiale
Polimeri termoplastici	-poliamide, poliesteri, policarbonați, poliacetali/ aplicații prin injecție pentru diferite domenii tehnice -poliamidimide, polietercetone, polisulfone, polifenilensulfura, polieterimide/ aplicații tehnice la temperaturi moderat de înalte
Metale	Aluminiu și aliajele sale, aliaje de titan, aliaje de magneziu, aliaje pe bază de cupru, superaliaje pe bază de nichel, oțel inoxidabil/ aplicații tehnice la temperaturi ridicate
Ceramică	Oxid de aluminiu, carbon, carbură de siliciu, azotură de siliciu/ aplicații tehnice la temperaturi înalte

Compozitele cu matrici metalice și ceramice sunt relativ noi, iar o clasă specială de compozite sunt cele cu particule de mică, bioxid de siliciu, biluțe de sticlă, etc. În general aceste particule nu contribuie ca transmițători de forțe ci acționează mai mult ca substanțe de umplutură decât ca elemente de ranforsare.

Materialele plastice (polimerii) domină de departe tehnologia și utilizarea comercială a materialelor compozite avansate. Aceasta deoarece, în primul rând, temperaturile de fabricație ale matricelor polimerice sunt relativ joase comparativ cu cele folosite pentru carbon, ceramică sau metale. Se reduc astfel problemele apariției unor tensiuni interne induse prin diferențe între coeficienții de dilatare termică a componentelor și/sau a produșilor de reacție dintre componente. În al doilea rând tehnologia de fabricație este în principiu adaptabilă tuturor sistemelor compozite.

Rășinile epoxidice sunt cele mai importante materiale polimerice folosite ca matrice și aceasta datorită multitudinii proprietăților obținute printr-o prelucrare relativ ușoară. Limitele de performanță sunt determinate de pierderea proprietăților mecanice la temperaturi înalte (de circa 200°C) și de tenacitatea joasă. Rășinile termoreactive imprimă compozitelor rezistență mai bună în condiții de temperatură și umiditate.

Matricea metalică este mai avantajoasă față de cea polimeră în aplicațiile care reclamă o rezistență termică pe termen lung. Un avantaj al folosirii metalelor este și acela că pot fi deformate plastic și iar proprietățile mecanice îmbunătățite prin diverse tratamente termice și/sau mecanice. Metalele prezintă și unele dezavantaje: densități mari, puncte de topire ridicate și o tendință ridicată spre coroziune la interfața fibră/matrice.

Cele mai folosite matrici metalice sunt cele pe bază de aluminiu și titan. Ambele metale au densitate mică, rezistență bună la coroziune și compatibilitate cu majoritatea materialelor de ranforsare.

În scopul de a răspunde unor cerințe, în special a tehnicilor militare avansate, au fost realizate *materialele compozite ranforsate cu fibre*, care au în structură fibre cu modul și rezistență înalte, incluse sau legate într-o matrice cu interfețe distincte între ele. Sub această formă, atât fibrele cât și matricea rețin identitățile lor fizice și chimice, în plus având loc o combinație a proprietăților care nu poate fi atinsă de nici unul dintre componenți, dacă ar acționa separat. În general fibrele sunt cele care suportă acțiunea solicitărilor din compozit, în timp ce matricea, care le înconjoară, le păstrează în poziția și orientarea dorită și acționează ca un mediu de transfer a forțelor între elementele de ranforsare, protejându-le în același de degradări, de temperatură și umidități ridicate.

Principalele fibre folosite pentru compozite sunt: fibrele de sticlă, fibrele carbon, fibrele aramidice (poliamide aromatice).

Cea mai simplă formă de compozit ranforsat cu fibre este laminatul care se obține prin lipirea unui număr de straturi subțiri de fibre și matrice într-o grosime dorită. Orientarea fibrelor din fiecare strat ca și secvența lipirii diferitelor straturi pot fi controlate pentru a general un domeniu larg de proprietăți fizice și mecanice pentru compozitele laminate.

Cele mai cunoscute sunt laminatele epoxidice ranforsate cu fibre continue lungi dar care au o finețe mare (diametru între 5 și 20 μm) și se prelucrează în benzi de 200 până la 12000 filamente.

Obținerea acestor compozitelor presupune următoarele etape:

- îmbinarea fibrelor într-o structură orientată, cu o anumită textură (benzi, țesătură, tricot, material nețesut, împletitură, etc.);
- incorporarea structurilor fibroase în matrice
- solidificarea matricei pentru a fixa structurile fibroase;
- prelucrarea compozitului într-un material finit.

Fabricarea unei structuri compozite începe cu incorporarea unui număr mare de fibre într-un strat subțire de matrice pentru a realiza o lamelă (insertie), fig. 4. Grosimea acestei etichete este cuprinsă între 0,1 și 1 mm. Dacă se folosesc fibre lungi continue, ele se pot orienta unidirecțional sau bidirecțional (fig. 5). Pentru o lamelă ce conține fibre unidirecționale, materialul compozit

are cel mai mare modul și cea mai mare rezistență în direcția longitudinală a fibrelor, iar în direcția transversală aceste proprietăți sunt foarte scăzute. Pentru o lamelă conținând fibre bidirecționale, rezistența și modulul pot fi variate prin folosirea a diferite cantități și a diferite tipuri de fibre pe direcție longitudinală și transversale.

O lamelă poate fi realizată folosind și fibre discontinue (scurte) într-o matrice. Fibrele pot fi aranjate fie într-o orientare unidirecțională fie într-o orientare aleatoare (fig. 5).

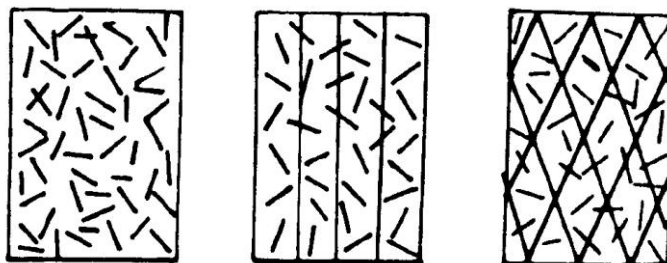


Figura 4. Diferite tipuri de lamele compozite armate cu fibre

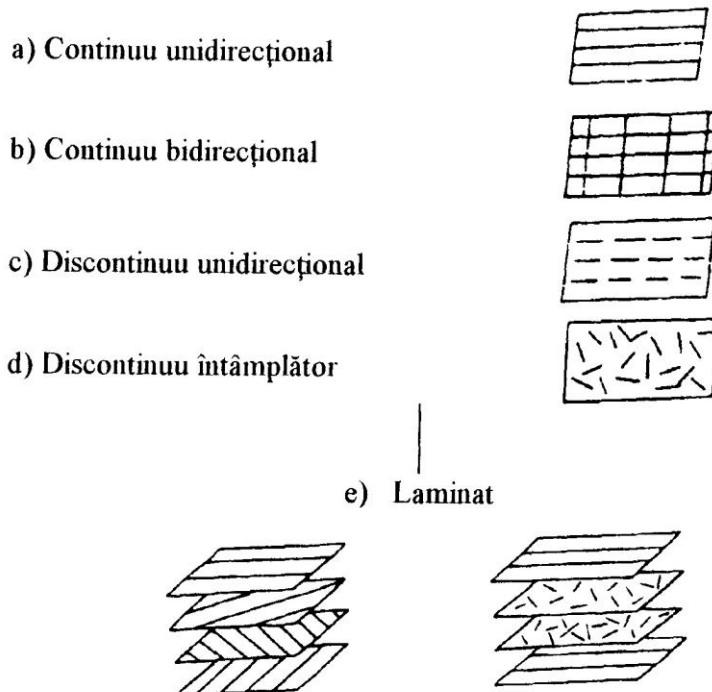


Figura 5. Realizarea compozitelor ramforsate cu fibre.

De multe ori, înainte de includerea în matrice, fibrele se aranjează în diferite moduri, care, în final, vor determina proprietăți specifice ale materialului compozit pe anumite direcții (fig. 6).

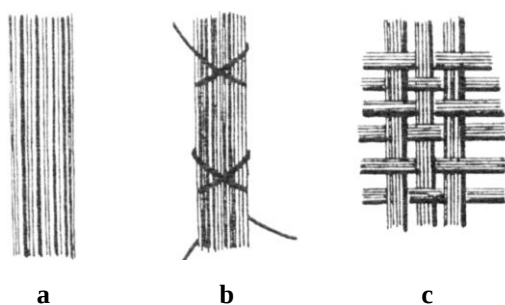


Figura 6. Aranjarea fibrelor prin amestecare (a), înfășurare (b), întrețesere (c).

Compozitele ramforsate cu fibre discontinue au rezistență și modul mai mici decât compozitele cu fibre continue. Totuși, prin orientarea întâmplătoare a fibrelor este posibil să se obțină proprietăți mecanice și fizice apropiate pe orice direcție din planul laminatului.

Grosimea cerută pentru a suporta o forță dată sau menținerea unei îndoiri în structura compozită se obține prin lipirea mai multor lamele în secvențe specifice, pentru a realiza o placă de laminat (fig. 5). Diferitele straturi dintr-o placă de laminat pot conține fibre aflate fie toate în aceeași direcție fie în direcții diferite.

Aplicațiile industriale și comerciale ale compozitelor ranforsate cu fibre sunt atât de diverse încât este imposibil a le enumera pe toate. Amintim doar câteva din domeniile majore de utilizare: aviația și aplicațiile militare, aplicațiile spațiale, automobilismul, articolele sportive, ingineria navală etc.

Utilizarea majoră a compozitelor ranforsate cu fibre este în domeniul *aviației civile și militare*, pentru care reducerea masei este vitală pentru atingerea unor viteze și sarcini utile mai mari. Începând cu anul 1969, când s-au realizat în producție compozite epoxidice ranforsate cu fibre de bor pentru avionul F-14, producția de polimeri ranforșați cu fibre a cunoscut o creștere constantă în industria aeronautică. Fibrele de carbon, fie singure fie împreună cu fibrele aramidice Kevlar 49, au devenit materii prime pentru multe componente ale avionului, reducându-i masa cu 25-35%. Fiabilitatea și durabilitatea acestor componente compozite a determinat utilizarea lor și la alte avioane (Boeing 727, 737, 756, Donnell – Douglas DC-10, Lockheed L- 1011), ajungându-se la utilizarea acestui tip de materiale în peste 70% din masa structurală a avionului.

Compozitele epoxidice sunt folosite pentru realizarea elicelor majorității elicopterelor militare și comerciale. În afară de reducerea masei un avantaj semnificativ este capacitatea de adaptare a frecvențelor dinamice ale elicelor la parametrii de operare. Alt avantaj al utilizării compozitelor constă în flexibilitatea acestor materiale. Compozitele pot fi matrițate în diferite forme de aripi de avioane având costuri scăzute de fabricație. Compozitele ranforsate cu fibre sunt folosite și în construcția de rachete, în scopul reducerii masei, care la rândul ei duce la creșterea razei de acțiune ca și a sarcinii utile. Rășinile epoxidice ranforsate cu Kevlar 49 sau cu fibre de sticlă sunt folosite și pentru carcase de motoare ale rachetelor, micșorând astfel masa acestora.

Compozitele cu fibre de carbon au densități mici și rezistență mecanică mare, proprietăți care au condus la numeroase aplicații în *industria aero-spațială*. Una dintre aceste utilizări este la structura suport pentru oglinzi și lentile ale telescoapelor spațiale, unde este extrem de importantă stabilitatea dimensională, dilatările putând afecta proprietățile optice (temperatura în spațiu variază în limite largi $-100^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$).

Tuburi epoxidice ranforsate cu fibre de carbon sunt folosite în construcția de structuri de lansare pentru sateliți, repere optice, panouri solare, antene reflectoare și alte module. Epoxizi ranforșați cu fibre de carbon sunt preferați metalelor sau compozitelor cu matrici metalice din cauza greutateii lor mai mici și a coeficientului de dilatare termică foarte scăzut.

2.3. Materiale semiconductoare

Materialele semiconductoare sunt materiale simple sau complexe, cu proprietăți electrice deosebite, care au o conductibilitate electrică situată între cea a conductorilor și cea a dielectricilor.

Spre deosebire de celelalte tipuri de materiale, în metalurgia semiconductorilor apar: microtehnologii (se folosesc cantități mici), tehnologii de precizie (număr mare de componente pe suprafețe mici), tehnologii de obținere a microcristalelor și a peliculelor monocristaline, condiții de muncă pretențioase (microclimat, elaborări în vid înaintat sau în atmosferă controlată, control în microvolume, etc.). Elaborarea, purificarea, monocristalizarea, alierea, impurificarea controlată a materialelor semiconductoare reprezintă operații complexe, de durată și costisitoare.

Particularitățile tehnologice ale materialelor semiconductoare sunt determinate de proprietățile impuse acestora: puritate electronică, perfecțiune cristalină, proprietăți electrice deosebite, imperfecțiuni electronice și cristaline, etc.

Materialele se pot caracteriza și prin valoarea conductivității electrice σ . Astfel, substanțele cu conductivitatea $\sigma = (10^7 \div 10^6) \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ se numesc *conductori*, iar cele cu $\sigma = (10^{-8} \div 10^{-16}) \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ se numesc *izolatori* sau *dielectrici*.

Substanțele cu o conductivitate intermediară între cea a conductorilor și dielectricilor sunt denumite *semiconductori*. O asemenea definiție a acestor materiale nu redă particularitățile comportării electrice a acestora. În acest context să examinăm, de exemplu, dependența de temperatură a conductibilității metalelor și materialelor semiconductoare. La metale, odată cu creșterea temperaturii rezistența lor crește, în cazul semiconductoarelor aceasta scăzând rapid.

În figurile 7 și 8 sunt prezentate variațiile rezistenței și conductivității metalelor și semiconductoarelor cu temperatura.

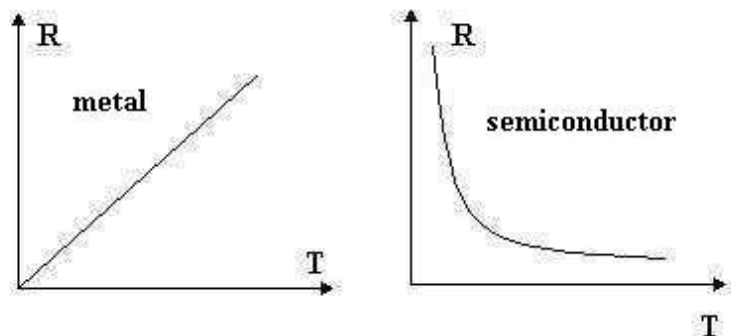


Figura 7. Variația rezistenței cu temperatura, /1/.

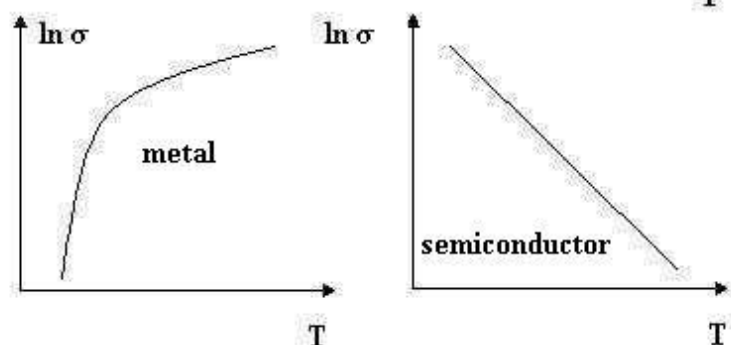


Figura 8. Variația conductivității cu temperatura, /1/.

Pentru a mări conductivitatea unei substanțe semiconductoare este necesar să-i furnizăm energie. Experimentările au arătat că mărirea conductibilității semiconductoarelor se poate face nu numai prin încălzire ci și prin iluminare sau iradiere cu particule nucleare, aplicarea unor câmpuri magnetice sau electrice, variația presiunii exterioare, etc. Rezultă că semiconductoarele sunt substanțe a căror conductibilitate depinde esențial de condițiile exterioare: temperatură, presiune, câmpuri exterioare, iluminare, iradiere.

Influența condițiilor exterioare asupra conductibilității semiconductoarelor se manifestă diferit în funcție de structura și proprietățile substanței. Astfel, în condiții exterioare identice, conductibilitatea unei substanțe este diferită în funcție de forma sub care aceasta există: monocristal pur și perfect, monocristal cu impurități sau policristal.

Ținând cont de cele prezentate, putem defini semiconductoarele ca fiind acele substanțe ce au la temperatura camerei conductivitatea cuprinsă între 10^{-8} și $10^6 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$, valoare ce depinde de felul și cantitatea impurităților, de structura corpului precum și de condițiile exterioare acestuia.

Definiția de mai înainte face o deosebire netă între semiconductori și metale: conductibilitatea metalelor depinde puțin de condițiile exterioare, în timp ce, în cazul semiconductoarelor, realizarea conductibilității lor se face prin aducerea acestora într-o stare excitată (activată); starea de conductibilitate electrică la metale este o stare neactivată.

Există două tipuri de substanțe semiconductoare: *ionice* și *electronice*. În semiconductoarele ionice purtătorii de sarcină sunt ionii substanței, fapt ce face ca structura și compoziția substanței să se modifice la trecerea curentului electric prin acesta. Acești semiconductori nu pot fi utilizați în dispozitive ce folosesc transformarea energiei deoarece aceștia se distrug la trecerea curentului electric prin ei.

În semiconductoarele electronice purtătorii de sarcină sunt electronii și, ca urmare, la trecerea curentului nu se produce nici un transport de substanță în aceștia, fapt ce înseamnă că ei pot fi folosiți în dispozitive electronice.

Există un mare număr de substanțe semiconductoare electronice, doar câteva dintre ele având valoare practică. Dintre toate elementele Tabelului periodic al elementelor (Mendeleev) doar 12 sunt semiconductoare (tabelul 2), cele mai utilizate fiind germaniul și siliciul.

Tabelul 2.

Substanțele semiconductoare simple, /1/.

Perioda	Grupa						
	II	III	IV	V	VI	VII	
II	Be	B	C	N	O		
III		Al	Si	P	S	Cl	
IV		Ca	Ge	As	Se	Br	
V		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
VI			Pb	Bi	Po	At	

Proprietăți semiconductoare au și numeroși compuși binari de tipul $A^x B^{8-x}$, în care A este un element din grupa x, iar B un element din grupa (8-x):

- $A^I B^{VII}$ – AgCl, CuBr, LiF; nu au prea multe aplicații;
- $A^{II} B^{VI}$ – CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, HgTe (sulfuri, telurii, selenuri, oxizi ai metalelor din grupa a doua); sunt intens cercetați și de aceea în viitor vor căpăta numeroase aplicații;
- $A^{III} B^V$ – arsenuri, fosfuri, nitruri ale elementelor subgrupeii a doua din grupa a treia (aluminii, galiu, indiu, bor); sunt cei mai utilizați la ora actuală;
- $A^{IV} B^{IV}$ – cei mai utilizați sunt SiC și SiGe;

În afară de compușii de forma $A^x B^{8-x}$, printre substanțele semiconductoare se numără și compușii de forma $A^{IV} B^{VI}$ (PbS, PbSe, PbTe) sau $A^I B^{VI}$ (CuS, CuO, Cu₂O). Un mare interes îl prezintă compușii mai complecși ($A^x B_1^{8-x} B_2^{8-x}$, $A_1^x A_2^x B^{8-x}$, $A_1^x A_2^x B_1^{8-x} B_2^{8-x}$) și soluțiile solide (GaAsP, InGaSb, ZnCdSeTe).

Prin combinarea diverselor elemente se pot obține compuși semiconductori cu proprietățile cele mai potrivite scopului practic de realizat.

Pe lângă compușii anorganici, printre substanțele cu proprietăți semiconductoare, există și substanțe organice: antracenu, albastru de metil ș.a.

Acțiunile electrice sau mecanice efectuate asupra semiconductoarelor pot produce modificări ale proprietăților electrice prin variația concentrației purtătorilor de sarcină și a mobilității acestora:

- *efectul tensoresistiv* – constă în variația rezistivității odată cu deformarea corpului semiconductor (este de circa 200 ori mai intens în raport cu metalele); efectul este utilizat la construcția tensorezistorilor (traductori) folosiți la măsurarea deformațiilor, accelerațiilor, presiunii.
- *efectul fotorezistiv (fotoelectric)* - variația rezistivității ca urmare a expunerii la lumină, datorită modificării concentrației purtătorilor de sarcină prin absorbția de fotoni; efectul se utilizează pentru realizarea fotorezistorilor;
- *efectul Hall* - constă în aceea că un material semiconductor străbătut de un curent electric și situat într-un câmp magnetic perpendicular pe direcția curentului prezintă o micșorare a conductivității electrice și termice, pe direcția perpendiculară pe câmpul electric și magnetic luând naștere o diferență de potențial și temperatură. Tot în cadrul acestui efect se încadrează și efectul galvano-magnetic datorat acțiunii simultane a câmpului electric și a celui magnetic precum și *efectul termo-magnetic* datorat acțiunii simultane a câmpului electric și temperaturii. Tensiunea Hall care ia naștere prin acest efect poate fi folosită ca semnal de comandă în diverse dispozitive semiconductoare: generatoare Hall, fluxmetre, wattmetre, ampermetre, stabilizatoare, etc;

- *efectul magneto-rezistiv (efectul Gauss)* - efectul constă în modificarea rezistivității semiconductorilor sub influența câmpului magnetic.

- *efecte termoelectrice:*

- *efectul Seebeck* – constă în apariția unei tensiuni termoelectromotoare ΔV într-un circuit format din doi semiconductori diferiți, legați în serie, în momentul în care între punctele de contact există o diferență de temperatură. Dacă circuitul este deschis va apărea o diferență de potențial ΔV , care determină o forță electromotoare, iar dacă circuitul este închis va apare un curent electric de conducție, numit curent termoelectric;

- *efectul Peltier* – se manifestă prin absorbția sau degajarea unei cantități de căldură în regiunea de contact dintre doi semiconductori diferiți, la trecerea unui curent electric. Cantitatea de căldură absorbită sau degajată este direct proporțională cu intensitatea curentului;

- *efectul Thomson* – constă în absorbția sau degajarea locală (suplimentară, pe lângă cea degajată prin efect Joule-Lenz) de căldură într-un semiconductor străbătut de un curent electric și supus unei încălziri neuniforme. În primă aproximație, această cantitate de căldură este proporțională cu intensitatea curentului electric și cu diferența locală de temperatură (se folosește la termocuple).

- *efectul Demer (efectul fotodifuziv)* - constă în apariția unei forțe termoelectromotoare într-un semiconductor omogen supus acțiunii radiațiilor electromagnetice.

Un semiconductor în care numărul de electroni este egal cu numărul de goluri ($n = p$) se numește *semiconductor intrinsec*. În majoritatea cazurilor numărul de goluri este diferit de numărul de electroni din semiconductor, această diferență realizându-se prin introducerea de impurități în material. Conductibilitatea ce apare ca urmare a introducerii de impurități se numește *conductibilitate extrinsecă (semiconductori extrinseci)*.

Un semiconductor în care se sarcina va fi transportată mai ales de către electroni (purători de sarcină majoritari), golurile fiind purători de sarcină minoritari se numește *semiconductor electronic sau de tip n*.

Semiconductorul cu *impurități acceptoare* (care primesc electroni) se numește *semiconductor cu goluri sau de tip p*. Golurile se numesc purători de sarcină majoritari, iar electronii purători de sarcină minoritari.

Deoarece concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductorii extrinseci (cu impurități) depășește concentrația purtătorilor de sarcină din semiconductorii intrinseci (fără impurități), rezistența unor asemenea semiconductori impurificați este mai mică decât rezistența substanței pure. Deci, introducerea de impurități în substanța semiconductoră (*dopare*) scade rezistența acesteia.

Dacă o substanță conține și impurități donoare (cedează electroni) și acceptoare atunci se va produce compensarea reciprocă a sarcinilor, semiconductorul dopat putând deveni intrinsec dacă concentrațiile celor două tipuri de impurități sunt egale. Ultimul tip de semiconductor se numește *semiconductor compensat*, el având o rezistență considerabilă.

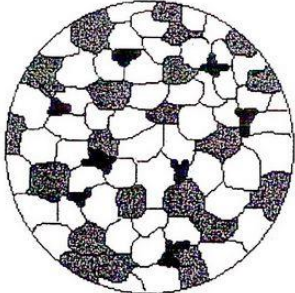
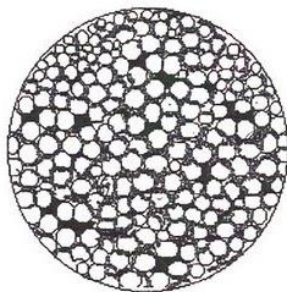
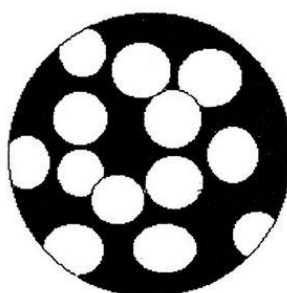
3. Modul de lucru

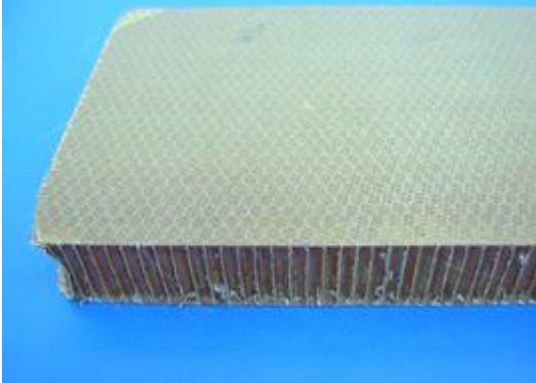
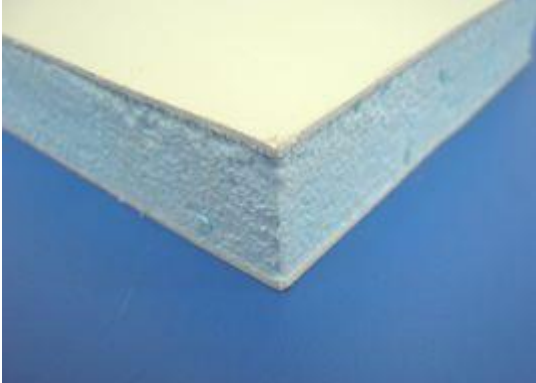
Pentru desfășurarea lucrării de laborator se vor folosi microscopie metalografice optice MC6 cu puteri de mărire diferite, în funcție de microstructura probelor din materiale sinterizate sau semiconductoare. Studiul la microscop se execută pe probe metalografice, pregătite în prealabil.

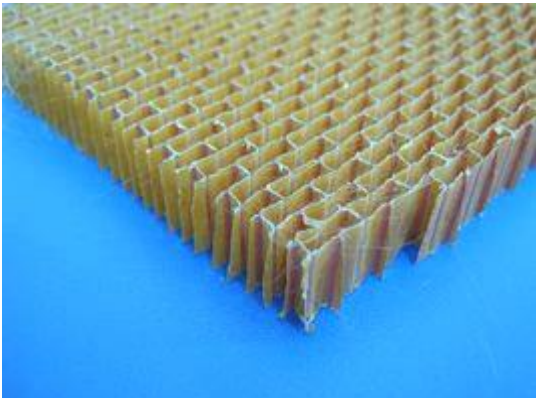
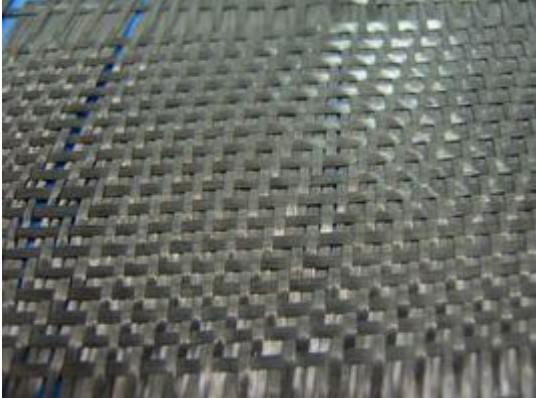
Probele din materiale compozite vor fi studiate cu ochiul liber sau cu aparate de studiu macroscopic.

Se vor indica prin săgeți pe micro sau macrofotografii aspectele esențiale ale structurilor analizate.

4. Prelucrarea datelor experimentale

Nr. crt.	Imaginea (schița) probei	Denumirea materialului, observații
1.	Otel carbon, sinterizat 	Microstructură tipică de oțel carbon hipoeutectoid, (ferită albă și perlită închisă la culoare) cu pori întunecați, datorați compactizării incomplete a pulberii Proprietăți rezultate (cauza):
2.	Bronz grafitat, sinterizat 	Granule de bronz, incluziuni de grafit și pori (mai întunecați decât grafitul) Proprietăți rezultate (cauza):
3.	Filtru din bronz, sinterizat 	Granule de bronz mari și rare, pori negri Proprietăți rezultate (cauza):

Nr. crt.	Imaginea (schița) probei	Denumirea materialului, observații
4.		Material compozit multistrat. Straturi alternante de țesătură simplă și țesătură impregnată cu rășină.
5.		Compozit placat, cu umplutură cu geometrie hexagonală, utilizat în construcțiile aerospațiale
6.		Compozit placat, cu umplutură poliuretanică de tip expandat, pentru izolații termice în construcții
7.		Strat de umplutură, pe bază de aluminiu, tip fagure cu geometrie hexagonală

Nr. crt.	Imaginea (schița) probei	Denumirea materialului, observații
8.		Strat de umplură polimeric, tip fagure cu geometrie dreptunghiulară
9		Material de ranforsare, tip fibră de sticlă, țesută la 90°
10		Material de ranforsare, tip fibră țesută cu mătase, cu orientare unidirecțională
11		Material de ranforsare țesut, tip fibră de carbon

12		Material de umplere, tip fibră celulozică
13		Țesătură din fibră de kevlar (fibră poliamidă aromatică)
14		Material structurat din fibră de sticlă, pregătit pentru impregnarea cu rășini

5. Interpretarea rezultatelor

BIBLIOGRAFIE

- /1/. Baciuc, C., ș.a., **Știința materialelor metalice**, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1998;
- /2/. Munteanu, C., **Studiul materialelor**, Ed. „Gh. Asachi”, Iași, 2001;
- /3/. Askeland, D., **The science and engineering of materials**, PWS-Kent Publishing Company, 1984;
- /4/. Baciuc, C., ș.a., **Studiul metalelor. Îndrumar de laborator**, Rotaprint Iași, 1992;
- /5/. Gâdea, S., ș.a., **Îndrumar de laborator pentru metalurgie fizică**, E.D.P., București, 1967;
- /6/. Mantea, Șt., ș.a., **Metalurgie fizică**, Ed. Tehnică, București, 1970;
- /7/. Rădulescu M., ș.a., **Atlas metalografic**, Ed. Tehnică, București, 1971;
- /8/. Mitelea, I., ș.a., **Studiul metalelor. Indreptar tehnic**, Ed. Facla, Timișoara, 1987;
- /9/. Crăciunescu, M., C., **Materiale compozite**, Ed. Sedona, Timișoara, 1998;
- /10/. Ștefan, M., ș.a., **Materiale semiconductoare**, Ed. Vasiliana-98, 2002;
- /11/. Petrescu, S., ș.a., **Știința materialelor**, Ed. Gheorghe Asachi, Iași, 1995;
- /12/. Popescu, N., ș.a., **Știința materialelor pentru ingineria mecanică**, Vol. I + II, Ed. Fair Partners, București, 1999;
- /13/. Tănăsescu, F., T., ș.a., **Agenda Tehnică**, Ed. Tehnică, București, 1990.
- /14/. J. Reitz, B. Wietbrock, S. Richter, S. Hoffmann, G. Hirt, B. Friedrich, Enhanced Homogenization Strategy by Electroslag Remelting of High-Manganese TRIP and TWIP Steels, *Advanced Engineering Materials* 13(5) (2011) pp. 395 – 399,
- /15/. Robin M. Forbes Jones, Laurence A. Jackman, The Structural Evolution of Superalloy Ingots during Hot Working, *JOM*, 51 (1) (1999), pp. 27-31.
- /16/. <http://www.afsinc.org>
- /17/. <https://www.azom.com>
- /18/. <https://volvo850wagon.wordpress.com>
- /19/. ASM Handbook, Volume 9, Metallography and Microstructure 2004
- /20/. G. V. S. Murthy, Oil field drill pipes failure, *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Oil and Gas Industry*, 2016
- /21/. <http://malayasteel.blogspot.ro>