



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA
TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

Investește în oameni!

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

AXA PRORITARĂ 1 "Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere".

DOMENIUL MAJOR DE INTERVENȚIE 1.3 "Dezvoltarea resurselor umane în educație și formare profesională"

TITLUL PROIECTULUI: "Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti - DidaTec"

COD CONTRACT: POSDRU/87/1.3/S/60891

BENEFICIAR: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Laborator 6: Determinări pe materiale metalice: Încercări mecanice. Analiza structurii metalelor

Autor: S.I. dr. ing. Larisa Meliț ă
Departamentul de Căi Ferate, Drumuri, Poduri și Materiale
Universitatea Tehnică de Construcții București

Scop



Laboratorul 6 de *Materiale de Instalații* vă oferă posibilitatea de a determina experimental și calcula rezistențele mecanice ale materialelor metalice folosite la armarea betonului și nu numai. Tot în cadrul acestui laborator veți efectua și analiza metalografică a unor materiale metalice. În acest scop veți putea lucra practic, folosind presele hidraulice de laborator și microscopul metalografic Euromex ME 2665.

Obiective



La finalul Laboratorului 6 veți putea să:

1. Determinați experimental și să calculați rezistențele mecanice: la tracțiune, duritatea Brinell și reziliența, epruvetelor din materiale metalice OB37 și PC52 și nu numai respectiv, alungirea la rupere și gătuirea acestora.
2. Explicați cum se comportă un material metalic la solicitarea din tracțiune.
3. Corelați duritatea și reziliența materialelor metalice cu proprietățile lor.
4. Explicați care este structura metalografică a unor eșantioane de: perlită lamelară, eșantion din timpul unui tratament termic de recoacere de globulizare, segregare dendritică dintr-o soluție solidă și structura unui aliaj de antifricțiune (babbitt).

Durată



Durata medie de studiu și lucru în grup: 2 ore.

6.1. Încercări mecanice

6.1.1. Generalități

Metalele sunt elemente chimice electropozitive, solide la temperatura obișnuită cu excepția mercurului care este lichid, cu o structură cristalină și proprietăți caracteristice: luciu metalic, opacitate, conductibilitate electrică și termică, ductilitate și maleabilitate.

După natura metalului de bază, materialele metalice se împart în feroase și neferoase.

Fierul aliat cu carbonul și cu alte elemente formează grupa materialelor feroase, din care fac parte oțelurile și fontele, cele mai utilizate în domeniul construcțiilor. Aceste materiale își schimbă proprietățile prin tratamente termice, termochimice și deformări plastice etc.

Caracteristicile mecanice ale metalelor se determină în urma încercărilor, efectuate pe epruvete și exprimate conform standardelor.

În această lucrare sunt prezentate principalele încercări mecanice: *încercarea la tracțiune*, *duritatea Brinell* și *încercarea la încovoiere prin șoc (reziliența)*.

6.1.2. Încercarea de tracțiune (SR EN ISO 6892-1/2010)

a) Principiul determinării

Încercarea constă în aplicarea unei forțe de tracțiune, axial crescătoare, asupra unei epruvete până la rupere, pentru determinarea unor caracteristici mecanice definite; dacă nu sunt alte specificații încercarea se execută la temperatura ambiantă (10°C - 35°C).

b) Mărimi mecanice determinate

Încercarea de tracțiune este o solicitare statică, în care forța crește treptat, cu o anumită viteză, până la rupere.

Ruperea metalelor poate fi:

- *rupere ductilă*, dacă înainte de rupere au loc deformații plastice mari, vizibile;
- *rupere fragilă*, dacă ruperea are loc brusc, fără deformații plastice vizibile.

Se vor încerca două epruvete din oțel beton (două tipuri de armături), una cu profil neted OB37 și una cu profil periodic PC52 (cu nervuri, laminată la cald,); ambele au o rupere ductilă.

Cele două tipuri de armături, din oțel, *cu diametrul nominal de 12 mm*, sunt: OB37 (B255) și PC52 (B355) (fig. 6.1.b, tab. 6.1). Notația OB37 este simbolizarea pentru oțel beton, cu rezistența minimă admisibilă de 360 N/mm^2 , vezi tab. 6.1, și valorile individuale cuprinse în $360 - 440 \text{ N/mm}^2$, și PC52 este simbolizarea pentru oțel beton, cu rezistența minimă admisibilă de 510 N/mm^2 , vezi tab. 6.1, și valorile individuale cuprinse în $510 - 630 \text{ N/mm}^2$. În notația B255 și B355, B vine de la beton iar cifrele 255, 355 reprezintă limita de curgere, în N/mm^2 (vezi tab. 6.1).

Curbele și mărimile caracteristice pentru cele două armături sunt prezentate în fig. 6.1. și în tab. 6.1.

Mărimile determinate experimental în această încercare sunt: forța maximă suportată de epruvetă în cursul încărcării (F_m), forța la curgere (F_p), lungimea după rupere (ultimă, l_u) și secțiunea după rupere (S_u). Cu ajutorul acestor mărimi se calculează: rezistența la tracțiune (R_m), limita de curgere convențională ($R_{p0.2}$), alungirea după rupere (A) și coeficientul de gătuire după rupere (Z).

Tabelul 6.1. Simbolul și mărimile caracteristice ale epruvetelor (armăturilor)

Profil	Simbol		R_m , N/mm^2	R_{p02} , N/mm^2
Neted	OB37*	B255**	360	255
Periodic	PC52*	B355**	510	355

* STAS 438/1-89/A91:2007/C91:2009; **SR EN 10027-1/2006

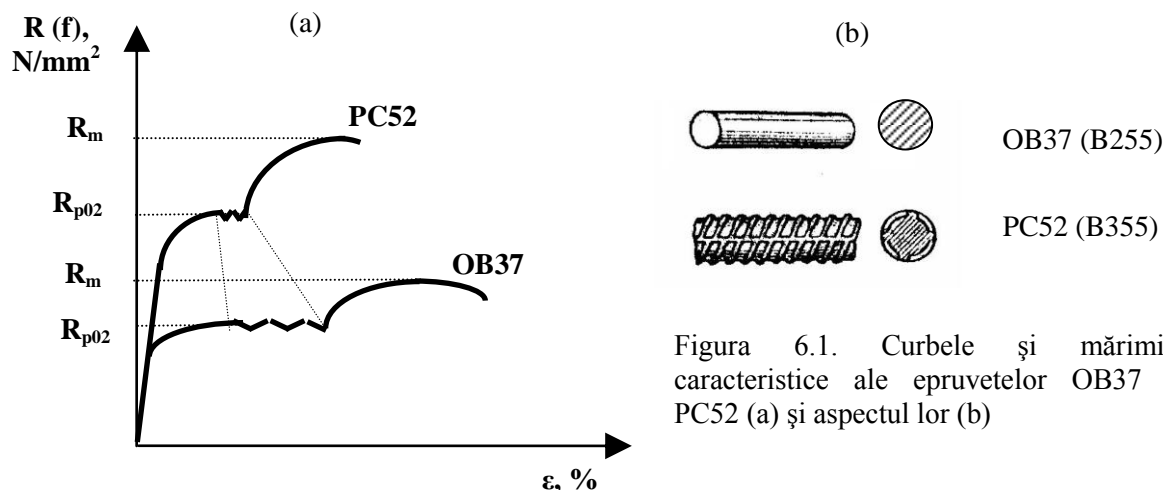


Figura 6.1. Curbele și mărimile caracteristice ale epruvetelor OB37 și PC52 (a) și aspectul lor (b)

b1) Rezistența la tracțiune, R_m , este rezistența corespunzătoare forței maxime, F_m , și reprezintă un indice de calitate al materialelor metalice.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}, \text{ MPa} \quad \text{unde: } F_m - \text{forța maximă, N;} \quad (6.1)$$

$$S_0 - \text{aria secțiunii inițiale a epruvetei, mm}^2.$$

b2) Limita de curgere convențională, R_{p02} , este rezistența corespunzătoare zonei de curgere (limită de la care deformarea plastică depășește 0,2% din deformarea totală); lungimea zonei de curgere și limita de curgere ne dau informații despre plasticitatea materialului și se calculează cu valoarea forței din palierul de curgere, F_p , astfel:

$$R_{p02} = \frac{F_p}{S_0}, \text{ MPa} \quad \text{unde: } F_p - \text{forța din palierul de curge, N;} \quad (6.2)$$

$$S_0 - \text{aria secțiunii inițiale a epruvetei, mm}^2.$$

b3) Alungirea plastică după rupere, A_{pr} (A_5), caracterizează deformarea plastică după rupere:

$$A_{pr} (A_5) = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100, \% \quad \text{unde: } L_0 - \text{lungimea inițială a epruvetei, } 5 \cdot d_0, \text{ mm;} \quad (6.3)$$

$$L_u - \text{lungimea după rupere (ultimă) a epruvetei,}$$

Pentru materialele fragile (casante), alungirea după rupere este aproape nulă.

b4) Coeficientul de gătuirea după rupere, Z , caracterizează deformarea plastică, măsurată după rupere:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100, \% \quad \text{unde: } S_0 - \text{aria secțiunii inițiale a epruvetei, mm}^2; \quad (6.4)$$

$$S_u - \text{aria secțiunii după rupere mm}^2.$$

Materialele metalice cu plasticitate redusă (fragile) nu prezintă fenomenul de gătuire. Materialele sunt cu atât mai plastice cu cât A și Z sunt mai mari.

6.1.3. Determinarea durității prin metoda Brinell (SR EN ISO 6506-1/2006)

Se numește duritate, proprietatea materialelor de a se opune pătrunderii în masa lor a unui corp dur și nedeformabil. Solicitarea Brinell este statică.

Dacă corpul dur este o bilă din oțel dur, duritatea este notată HBS (H-“Hardness”, B- “Brinell”, S-“Steel”). Pentru materialele metalice foarte dure, bila este făcută din carbură de Wolfram iar duritatea se notează HBW.

Pentru ca amprenta lăsată de corpul dur, pe materialul de încercat, să fie măsurabilă este aleasă forța de încercare dintr-o serie standard (1, 2, 5, ..., **62,5**...187,5.....3000 kgf (daN)), diametrul bilei (1, **2,5**, 5 și 10 mm) și timpul de menținere al forței de încercare (10-30 secunde). Aceste 3 mărimi se vor specifica în notație, de exemplu, 600 HBW 1/30/20 reprezintă o duritate de 600 a materialului metalic, măsurată cu o bilă din carbură de Wofram, cu diametrul de 1 mm, sub o forță de încercare de 30 kgf (daN), menținută timp de 20 secunde.

Cea mai mare duritate ce se poate determina prin metoda Brinell este de 650 HBW. Pentru durități mai mari se folosește un penetrometru din diamant, sub formă de piramidă sau con/sferă, iar duritatea se numește Vickers (HV) respectiv Rockwell (HR).

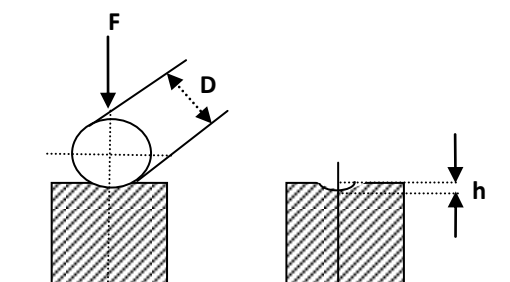
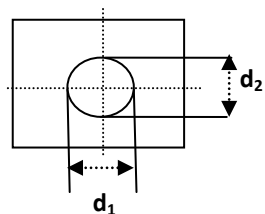


Figura 6.2.
Determinarea
durității Brinell



De obicei, se folosește o notație simplificată a durității în care se omite durata de încărcare aplicată, considerându-se cuprinsă între 10 și 15 secunde; de exemplu, în determinarea din această lucrare duritatea se notează **HB 2,5/62,5** (2,5 este diametrul bilei și 62,5 daN, forța de încărcare aleasă).

a) Principiul determinării

Încercarea constă în aplicarea unei forțe F , cunoscută, a unui penetrator (bilă din oțel dur, cu diametrul D), pe suprafața epruvetei de încercat, un timp dat, și măsurarea diametrului d al amprente lăsată de bilă (fig. 6.2).

b) Aparatura: mașină de încercare; penetrator - bilă polizată din oțel dur; sistem de măsurare a diametrului amprente, atașat mașinii de încercat.

c) Modul de lucru

Încercarea se execută la temperatura ambiantă, între 10 °C și 35 °C;

Epruvetele de încercat trebuie să aibă suprafețele plane și lipsite de defecte, corpuri străine, murdărie, lubrifianti, iar grosimea lor să fie de 8 ori mai mare decât adâncimea amprente;

Mărimea forței cu care acționează penetratorul este aleasă astfel încât diametrul amprente lăsată pe epruvetă să fie cuprins între 0,24 D și 0,6 D;

Pentru ca încercarea să fie reprezentativă, diametrul bilei penetratorului se alege cât de mare. Când grosimea epruvetei de încercat permite, se recomandă să se utilizeze un diametru de 10 mm;

Se așează epruveta pe suportul aparatului și se verifică perpendicularitatea axei penetratorului pe suprafața epruvetei;

Se aduce penetratorul aparatului în contact cu suprafața epruvetei și se aplică forța, perpendicular pe suprafață, fără șoc sau vibrații, până când aceasta atinge valoarea specificată.

Se măsoară diametrul amprentei lăsată de bilă pe epruvetă, pe două direcții perpendiculare (fig. 6.2). Se consideră media aritmetică a două citiri pentru calculul durtății Brinell.

d) *Exprimarea rezultatelor*

Duritatea Brinell este raportul dintre forța de încercare și aria amprente (calotă sferică).

Aria amprente ($A = \pi \cdot D \cdot h$, unde h este înălțimea calotei, vezi fig. 6.2, calculată cu diametrul mediu al amprente (d) și diametrul bilei (D).

Convențional, daN/mm^2 este considerat o unitate Brinell.

Duritatea Brinell este:

$$\text{HB } 2,5/62,5 = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ unități Brinell} \quad (6.5)$$

unde: F – forța de încercare, daN ;

A – aria amprente;

D – diametrul bilei, mm ;

d – diametrul mediu al amprente, $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$, în mm ;

d_1, d_2 – diametrele amprente măsurate la 90° (vezi fig. 6.2).

6.1.4. *Încercarea la încovoiere prin șoc (reziliența) (SR EN ISO 148-1/2011)*

Încercarea se face cu o solicitare dinamică, la care forța acționează cu valoarea ei maximă din momentul zero.

Ciocanul este ales astfel încât ruperea epruvetei să se facă dintr-o singură lovitură; ciocanele au energii potențiale disponibile (nominale, W_0), de : 300, 150 și **100** Jouli; vom folosi în încercare un ciocan de $W_0 = 100 \text{ J}$.

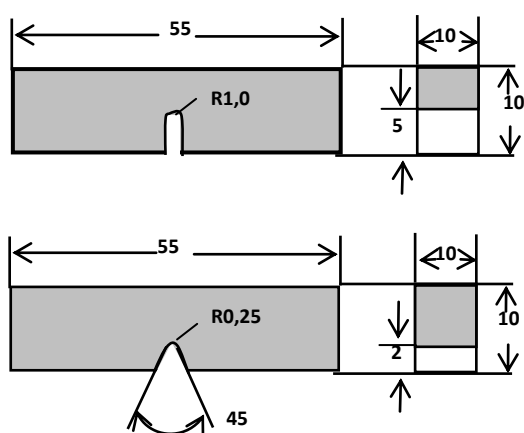


Figura 6.3. Forma și dimensiunile celor mai uzuale epruvete pentru determinarea rezilienței

De obicei, epruvetele standardizate au lungimea de 55 mm, înălțimea de 10 mm și lățimea de 10 mm, dar pot fi folosite și lățimi de 7.5, 5 și 2.5 mm. În mijlocul lungimii epruvetei are o creștătură, fie în formă de V, la 45° , cu adâncimea de 2 mm, fie în formă de U, cu adâncimea de 5 mm fig 6.3.

Dacă temperatura de încercare nu este specificată, ea va fi de $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Această încercare este o măsură a fragilității metalelor, de aceea ea se determină, mai ales, pentru temperaturi scăzute, prin cufundarea epruvetei într-un mediu de răcire lichid sau gazos. La temperaturi scăzute metalul își pierde din plasticitate, caracteristică măsurată prin scăderea rezilienței.

a) Principiul încercării

Încercarea constă în determinarea energiei absorbite la ruperea, dintr-o singură lovitură, cu un ciocan pendul Charpy (fig. 6.4.a), a unei epruvete de dimensiuni standardizate, prevăzută la mijloc cu o creștătură (în U sau în V), care este așezată liber pe două reazeme (fig. 6.4.b). Această energie absorbită caracterizează rezistența la încovoiere prin șoc a materialelor, adică reziliența, notată cu K ("Kerbschlagfestigkeit").

b) Aparatura: mașină de încercare cu ciocan pendul Charpy; șubler.

c) Modul de lucru

Epruveta trebuie sprijinită pe reazeme, astfel încât planul de simetrie al creștăturii să nu se îndepărteze cu mai mult de 0,5 mm de planul de simetrie al reazemelor și așezată astfel încât muchia ciocanului să lovească fața opusă a creștăturii (fig. 6.4.b);

Se lasă să cadă liber ciocanul pendul. Acesta, în căderea sa, va izbi epruveta și o va rupe. Viteza ciocanului în momentul impactului trebuie să fie de 5m/s - 5,5 m/s;

Se citește pe cadranul mașinii energia consumată (absorbită) la rupere.

d) Exprimarea rezultatelor

Rezistența la încovoiere prin șoc (reziliența) KU (KV), se exprimă prin energia absorbită, în Jouli, de epruvetă la ruperea din încovoiere prin șoc.

În notație alături de KU se precizează energia disponibilă a ciocanului ales (100 J) și lățimea epruvetei alese (10 mm).

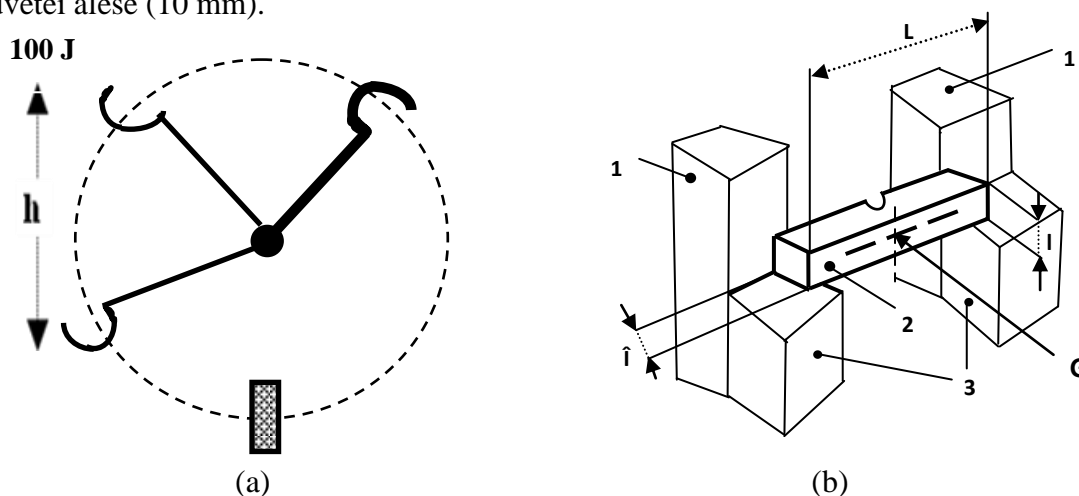


Figura 6.4. Determinarea rezistenței la încovoiere prin șoc

(a) Ciocanul pendul Charpy; (b) poziționarea epruvetei (1-reazeme, 2-epruveta, 3-suporturile epruvetei, Î-înălțimea epruvetei, L-lungimea epruvetei, l-lățimea epruvetei)

Pierdere din înălțime (h, fig. 6.4.a) a ciocanului, după ruperea epruvetei, este o măsură a energiei consumate ($G \cdot h$, unde G este greutatea ciocanului); pe o scală alăturată se citește direct energia pierdută ($G \cdot h$) și astfel:

$$KU_{100/10} = G \cdot h, J$$

Cu cât reziliența este mai mare cu atât metalul este mai plastic; metalele fragile au reziliență mică.

6.2. Analiza structurii metalelor

Cu studiul structurii materialelor metalice se ocupă **metalografia**, parte componentă a metalurgiei fizice, care studiază compoziția, structura și influența acestora asupra proprietăților metalelor și aliajelor lor.

Analiza structurii materialelor metalice prin metalografie optică se poate realiza cu ochiul liber sau prin mărimi mici, cu lupa (până la 50:1), și prin mărimi mari (peste 50:1) cu ajutorul microscopiei.

Structura cristalină vizibilă cu ochiul liber sau la mărimi sub 50 ori se numește **macrostructură**, iar cea vizibilă la mărimi mari, peste 50 ori, se numește **microstructură**.

6.2.1. Analiza macrostructurii (macrografia) reprezintă o metodă de control industrial calitativ și de cercetare. Analiza macrostructurii se efectuează pe secțiuni tăiate din semifabricate mari (lingouri, de exemplu), special pregătite (lustruite și apoi atacate cu reactivi speciali), permițând să se pună în evidență forma și distribuția cristalelor, defectele care privesc compactitatea și neomogenitatea chimică a aliajului.

6.2.2 Analiza microstructurii (micrografia) se realizează pe probe prelevate din materialul de cercetat, special pregătite (probe metalografice cu suprafața bine lustruită și atacată cu reactivi speciali), ce pune în evidență forma și mărimea cristalelor, poziția fazelor care compun aliajul, aspecte ale structurii după diferite prelucrări, precum și defecte mici (fisuri, incluziuni metalice).

Microstructura metalelor se analizează cu raze X, cu microscopie optice și electronice.

6.2.3 Micrografia optică

Observarea microscopică a metalelor se efectuează cu ajutorul *microscopului metalografic*, care diferă sensibil de microscopul biologic prin sistemul de iluminare. Microscopul metalografic folosește lumina reflectată, deoarece metalele sunt opace la radiațiile luminoase. Indiferent de tipul constructiv, acesta se compune din: sistemul de iluminare, sistemul optic și de fotografiere și sistemul mecanic de reglare.

Sistemul optic este alcătuit din obiectiv, ocular, prisme și oglinzi, iar sistemul de iluminare dintr-o sursă de lumină, care se proiectează pe suprafața eșantionului. Există două sisteme de iluminare: oblică și perpendiculară (fig. 6.5).

În primul caz, constituenții structurali, care în urma atacului cu reactivi prezintă o suprafață netedă, apar întunecați în ocular, deoarece razele reflectate de suprafața netedă trec pe lângă lentila obiectivului (fig. 6.5.a). În cel de-al doilea caz, constituenții cu suprafață netedă reflectă lumina în obiectiv, imaginea lor în ocular având o culoare deschisă, iar constituenții atacați de reactivi (suprafața rugoasă) reflectă lumina în afara obiectivului și în acest fel se prezintă în ocular de culoare închisă (fig.6.5.b).

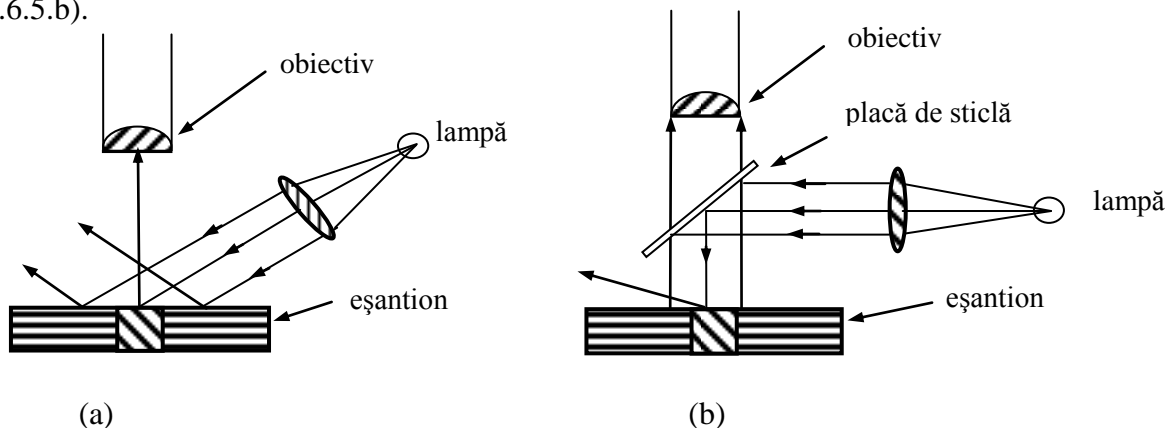


Figura 6.5. Sisteme de iluminare în microscopul metalografic: oblică (a); perpendiculară (b)

Sistemul mecanic de reglare se compune din șuruburi micrometrice, care permit deplasarea atât a obiectivului cât și a probelor.

Imaginea este proiectată de către obiectiv, fie spre ocularul destinat observației directe, fie pe un ecran.

O imagine micrografică este caracterizată de **puterea de mărire, G** ; pentru o observație cu ajutorul unui ocular, mărirea totală este egală cu produsul dintre mărirea făcută de ocular (G_{oc}) și cea făcută de obiectiv (G_{ob}).

$$G = G_{oc} \cdot G_{ob} \quad (6.6)$$

În mod obișnuit, microscopalele metalografice măresc de până la 1500 ori dar, există și aparate care măresc de la 2000 până la 3000 ori. Finețea detaliilor, care pot fi observate, nu crește indefinit cu mărirea; ea este limitată de puterea de rezoluție a aparatului, care corespunde diametrului celui mai mic obiect pe care este posibil să-l distingă. Microscopul nostru (Euromex ME 2665) mărește de maximum 1000 ori. Cele mai bune microscopale optice permit să se distingă obiecte în jur de $0,2 \mu m$ diametru ($2 \cdot 10^3 \text{ \AA}$).

Analiza micrografică oferă informații despre compoziția chimică și structurală iar indirect, asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor metalice prin evidențierea formei și dimensiunilor grăunților, precum și a schimbărilor structurale, care intervin sub influența diferitelor prelucrări termice (recoacări, călire) și mecanice (ecruisaj) aplicate anterior asupra lor.

În cazul metalelor pure sau a aliajelor alcătuite dintr-o singură fază (monofazice), tip soluție solidă, analiza micrografică permite observarea mărimii și orientării grăunților cristalini, a particularităților structurii dendritice și chiar a repartizării dislocațiilor.

La aliajele alcătuite din mai multe faze (polifazice), care prezintă aspecte structurale mai complexe, se pot determina: natura, cantitatea, forma, dimensiunile și repartizarea reciprocă a diferitelor faze în structură.

În continuare, se vor prezenta microstructurile pentru: *constituenți metalografici omogeni* (metal pur, soluție solidă, compus intermetalic), *constituenți metalografici eterogeni* (eutectic, eutectoid), *evoluția unui tratament termic* (recoacere de omogenizare, recoacere de înmuiere (globulizare)), *microstructura unui aliaj de antifricțiune* (babbitt) și *microstructura unor fonte* (cu grafit sferoidal și cu grafit lamelar).

6.2.4. Exemple de microstructuri

a) Microstructura unor constituenți metalografici omogeni

a1) Microstructura unui metal pur, figura 6.6.

În figura 6.6.b este prezentată structura zincului pur, în care grăunții au forme relativ alungite, ce pornesc din centrul barei metalice analizate.

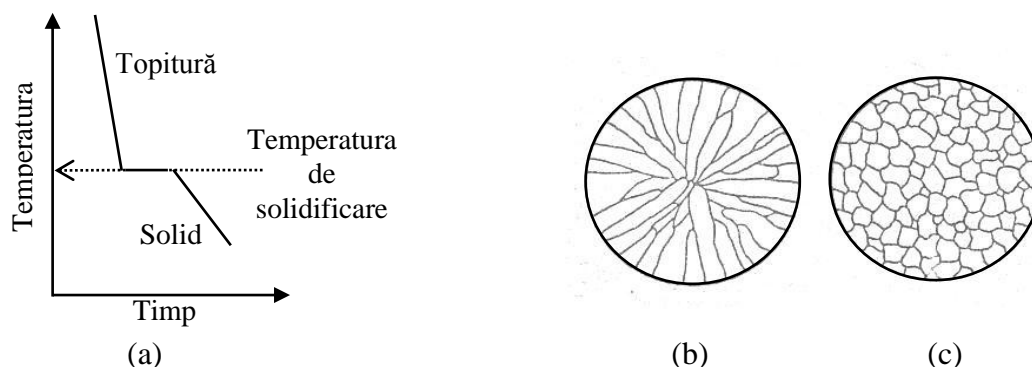


Figura 6.6 Curba de răcire a unui metal pur (a), microstructura unui metal pur (b) și microstructura unui metal impur (c).

În figura 6.6.c este prezentat un eșantion de Zn impur, în care cristalele au forme aproape regulate, echiaxiale și mici. Prezența impurităților solubile sau a elementelor de aliere (germeni numeroși de cristalizare), determină formarea grăunților echiaxiali, mici.

a2) Microstructura unei soluții solide, figura 6.7.

La o soluție solidă, cu o compoziție neuniformă, se observă *structura dendritică*, ce apare în interiorul grăunților ca microsegregări, adică neomogenități interne în compoziția de cristalizare (fig. 6.7 b), așa cum rezultă și din citirea unei solidificări, conform diagramei de stare.

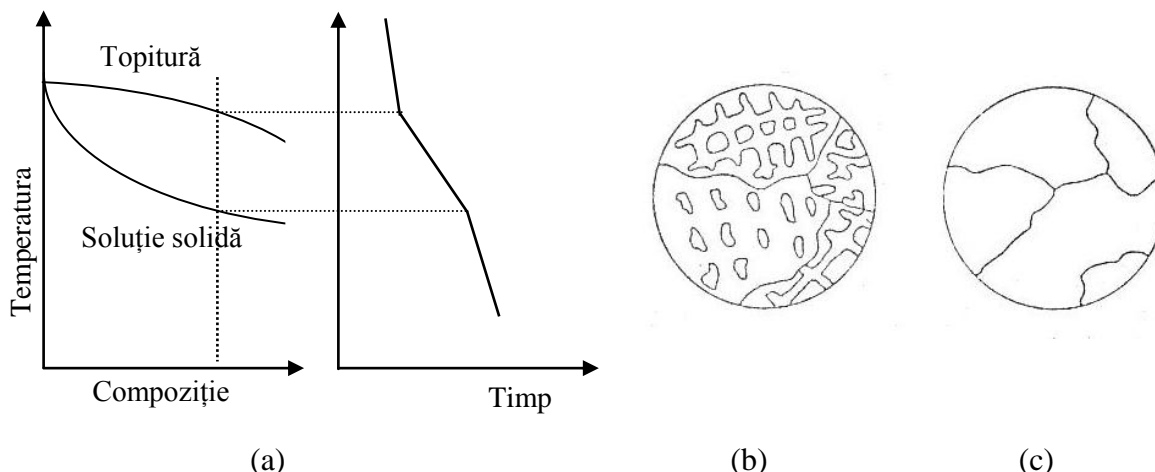


Figura 6.7. Diagrama de stare și curba de solidificare a unei soluții solide (a), microstructura de segregare dendritică (b), microstructura după recoacerea de omogenizare (c)

Segregarea dendritică poate fi diminuată sau eliminată prin *tratamentul termic de recoacere de omogenizare*, adică prin încălzirea aliajului solidificat la o temperatură sub temperatura corespunzătoare curbei solidus, pentru a favoriza procesul de difuziune a constituenților unul spre altul, în vederea obținerii aceleiași concentrații în fiecare punct. După acest tratament structura dendritică se transformă într-o structură alcătuită din cristale omogene (fig. 6.7 c), *la care este vizibilă doar marginea grăunților cristalini*.

În sistemul Fe-C (ferită-cementită) există două soluții solide: *ferita* (soluție solidă de C în α Fe) și *austenita* (soluție solidă de C în γ Fe).

a3) Microstructura unui compus intermetallic (definit), figura 6.8.

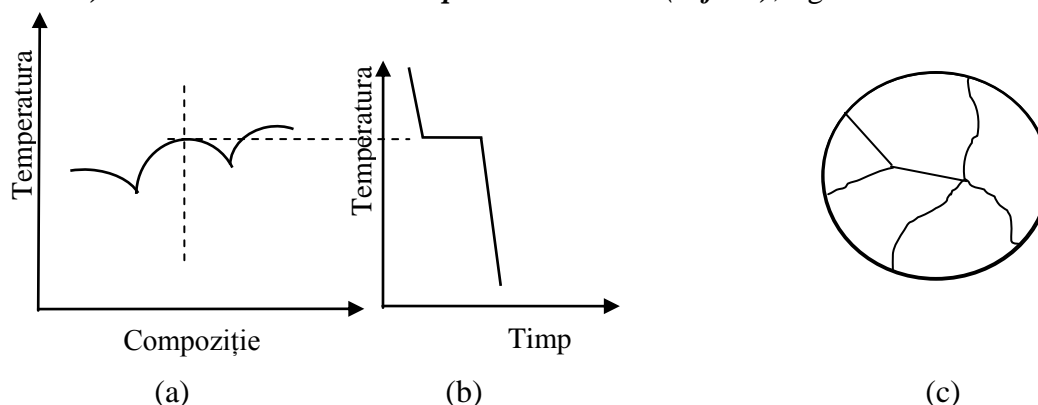


Figura 6.8 Diagrama de stare (a), curba de răcire (b) și microstructura (c)

Grăunți cristalini ai unui compus intermetallic sunt bine delimitați, fig. 6.8 c.

În sistemul Fe-C există un compus definit (Fe_3C), *cementita*, cel mai dur constituent al sistemului ($\text{HB}=700 \text{ daN/mm}^2$).

b) Microstructura unor constituenți metalografici eterogeni (eutectic, eutectoid), figura 6.9.

Într-un aliaj binar, dacă în timpul solidificării (trecerea din topitură în solid) se separă cei doi componenți ai sistemului, sub forma unor lamele alternante ale constituenților, la o compoziție și temperatură definite, spunem că s-a solidificat un *eutectic*; compoziția lui este stabilită numai pe cale experimentală și are cea mai scăzută temperatură din sistem (fig. 6.9 a). Dacă formarea lamelilor are loc la trecerea din solid în solid constituentul se numește *eutectoid* și are o structură mai fină a lamelilor, deoarece mobilitatea este mai mică decât în cazul trecerii din topitură în solid.

La examenul microscopic, se observă că aceste cristale (de eutectic sau de eutectoid) au o structură fină, de formă *lamelară* (fig. 6.9 c) sau *globulară* (în matricea unui component sunt distribuite globule din cel de-al doilea component).

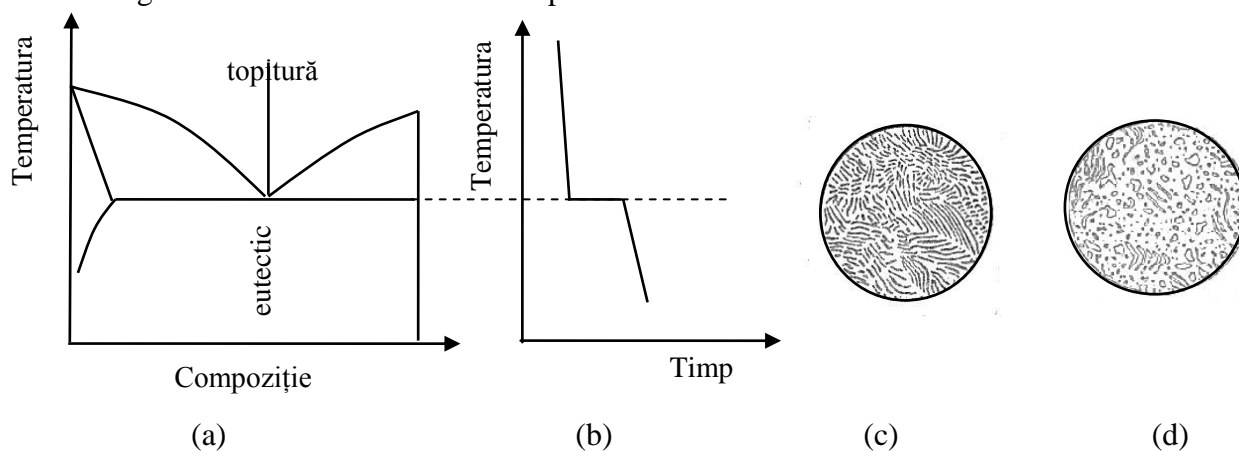


Figura 6.9. Diagrama de stare cu eutectic (a), curba de răcire a eutecticului (b) și structura lamelară (c) și globulară (d) a unui eutectic

În sistemul Fe-C există un *eutectic*, *ledeburita*, alcătuită din lamele alternante de austenită și cementită, și un *eutectoid*, *perlita*, alcătuită din lamele alternante de ferită și cementită. Ledeburita este un constituent al fontelor iar perlita al oțelurilor.

c) Evoluția unui tratament termic

Din punct de vedere a microstructurii perlita, ca orice eutectic sau eutectoid, poate fi lamelară sau globulară. Perlita globulară se obține prin *tratamentul termic de înmuiere sau de globulizare*, făcut cu scopul de a micșora duritatea și rezistența mecanică a perlitei lamelare, pentru a prelucra mai ușor oțelurile prin așchiere și deformare la rece.

Un ciclu de tratament termic constă dintr-o încălzire până la o temperatură citită în diagrama de stare, urmată de o perioadă de izotermie (zona A-B, din fig. 6.10) și finalizată cu o răcire lentă. Perioada de izotermie, exprimată în ore, se poate stabili experimental cu microscopul metalografic, luând probe la diferite intervale de timp și urmărind timpul după care : toate lamelele de perlită s-au transformat în globule (*tratamentul termic de recoacere de înmuiere (globulizare)*) sau când toate dendritele au dispărut transformându-se în constituenți omogeni de soluție solidă (la care se observă doar marginea graunților cristalini), *tratamentul termic de recoacere de omogenizare*, fig. 6.10.

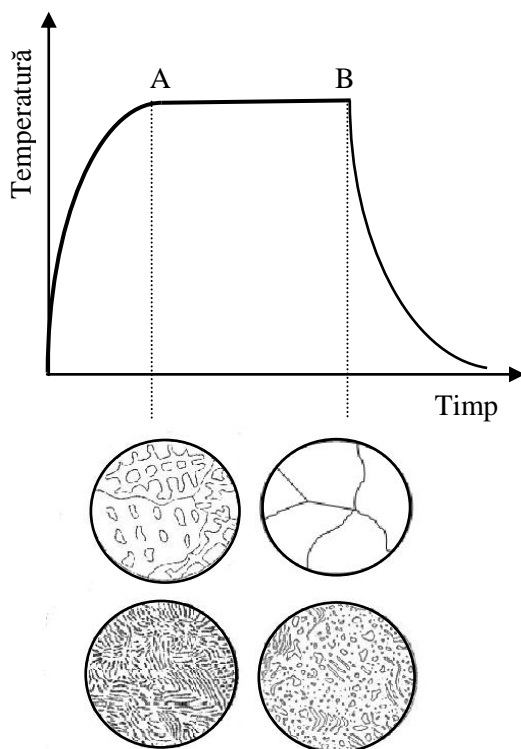


Figura 6.10. Determinarea experimentală a timpului necesar unui tratament termic

e) Microstructura fontei, figura 6.12.



Figura 6.12. Grafit sferoidal și lamelar în fonte

Prin răcirea fontei se precipită grafitul. Proprietățile lubrifiante ale fontelor depind de cantitatea, mărimea și distribuția incluziunilor de grafit, care pot fi sferoidale sau lamelare, fig. 6.11. Fontele cu grafit sferoidal au rezistențe mai mari și proprietăți de lubrifiere mai slabe decât cele cu grafit lamelar.

d) Microstructura unui aliaj de antifricțiune (babbitt), figura 6.11.

Proprietăți de antifricțiune (rezistență la uzură) se întâlnesc, de exemplu, la aliajele “albe” sau “babbiturele” din sistemul Sn-Sb-Cu. Sunt alcătuite din constituenți duri (compuși intermetalici) dispersați într-o masă moale.

De exemplu, aliajul cel mai utilizat, are un conținut de 11 % Sb și 6 % Cu, în Sn, alcătuit dintr-o matrice moale de soluție solidă, α , (HB 40 daN/mm²), de Sb și Cu în Sn, și două tipuri de constituenți duri: cristale poligonale de SnSb (HB = 110 daN/mm²) și cristale mici aciculare sau stelare de Cu₆Sn₅ și Cu₃Sn (HB = 400 daN/mm²), fig. 6.11.

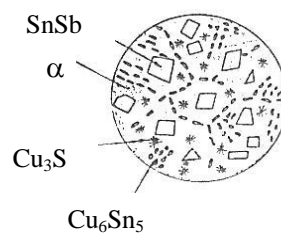


Figura 6.11. Microstructura unui babbitt

6.2.5. Determinările experimentale la microscopul metalografic



Se vor urmări la microscopul metalografic Euromex ME 2665 microstructurile unor eșantioane metalografice de: perlită lamelară, eșantion din timpul unui tratament termic de recoacere de globulizare, segregarea dendritică dintr-o soluție solidă, și structura unui aliaj de antifricțiune (babbitt). Primele două vor fi văzute cu o mărire de 1000 ori iar ultimele două la 100 ori.

Figura 6.13 Microscopul metalografic Euromex ME 2665

6.3. Determinări experimentale în grup (subgrupe de lucru)

Formați echipe de lucru în grup, alcătuite din 3-4 studenți, și parcurgeți următoarele etape:

- a) Se va efectua **încercarea de tracțiune** pe OB37 și PC52, cu următorii pași:
- a1) se măsoară diametrul inițial, d_0 , și lungimea inițială, L_0 , a epruvetei OB37. Cu d_0 se calculează secțiunea inițială S_0 ;
 - a2) se măsoară diametrul inițial, d_0 , și lungimea inițială, L_0 , a epruvetei PC52;
 - a3) pentru a calcula secțiunea inițială a epruvetei PC52, S_0 , care are o formă mai complexă (vezi fig. 6.1.b):
 - se cântărește epruveta; cunoscând masa (m) și densitatea $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ se calculează volumul epruvetei;
 - cunoscând volumul și lungimea inițială, L_0 , a epruvetei, se calculează secțiunea ei S_0 ;
 - a4) se execută experimental încercarea de tracțiune, când se obțin valorile celor două forțe, la curgere și maximă (F_p și F_m), pentru fiecare epruvetă;
 - a5) se calculează limita de curgere convențională ($R_{p0.2}$), rezistența la tracțiune (R_m), alungirea după rupere (A) și coeficientul de gătuirea după rupere (Z). Valorile experimentale măsurate cât și cele calculate vor fi centralizate în tabelul 6.2;

Tabel 6.2. Mărimi măsurate și calculate

Mărimea, unitatea de măsură	OB 37 (B255)	PC 52 (B355)
d_0 , mm		
d_u , mm		
L_0 , mm		
L_u , mm		
$S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$, mm ²		
$S_u = \frac{\pi d_u^2}{4}$, mm ²		
$F_{p0.2}$, N		
F_m , N		
$R_{p0.2} = \frac{F_p}{S_0}$, N/mm ²		
$R_m = \frac{F_m}{S_0}$, N/mm ²		
$A_{pr}(A_5) = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$, %		
$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100$, %		

- b) Se va calcula duritatea Brinell (HB 2,5/62,5) a unei epruvete din oțel folosind aparatul Brinell; parcurgeți modul de lucru de la punctul 6.1.3 și utilizați relația de calcul 6.5.

c) Se va determina rezistența la tracțiune din încovoiere (reziliență) (KU 100/10) pentru o epruvetă metalică standardizată cu lungimea de 55 mm, înălțimea de 10 mm și lățimea de 10 mm, utilizând ciocanul pendul Charpy; folosiți modul de lucru și calculele de la punctul 6.1.4.

d) Pregătiți eșantioanele pentru analiza microscopică metalografică, care să conțină: perlită lamelară, eșantion din timpul unui tratament termic de recoacere de globulizare, segregare dendritică dintr-o soluție solidă și structura unui aliaj de antifricțiune (babbitt) și introduceți-le într-un excicator;

d1) Pregătiți microscopul metalografic Euromex ME 2665 conform instrucțiunilor de lucru, folosind ocularele corespunzătoare pentru fiecare eșantion în parte;

d2) Urmăriți fiecare eșantion la microscopul metalografic observând structura metalografică a acestora.

6.4. Cerințe pentru reprezentarea și interpretarea rezultatelor

- Completați tabelul 6.2 și comentați rezultatele;
- Calculați duritatea Brinell (HB 2,5/62,5) și reziliența (KU 100/10) și interpretați rezultatele;
- După examinarea la microscopul metalografic a eșantionelor metalice analizate se precizează care este structura lor metalografică și se compară cu rezultatele date de literatura de specialitate;
- Notați valorile și concluziile obținute și prezentați-le profesorului coordonator de laborator;
- Urmăriți evaluarea profesorului coordonator cu privire la activitățile desfășurate de dumneavoastră, în cadrul laboratorului, precum și transmiterea concluziilor și recomandărilor.

6.5 Concluzii

- ✓ S-a efectuat **încercarea de tracțiune** pe epruvete OB37 și PC52 și s-a calculat rezistența la tracțiune pentru acestea;
- ✓ S-a determinat **duritatea Brinell** (HB 2,5/62,5) și **reziliența** (KU 100/10) pentru două materiale metalice diferite;
- ✓ S-au analizat la microscopul metalografic Euromex ME 2665 **eșantioane de materiale metalice** care conțin: perlită lamelară, eșantion din timpul unui tratament termic de recoacere de globulizare, segregare dendritică dintr-o soluție solidă și structura unui aliaj de antifricțiune (babbitt);
- ✓ S-au precizat și interpretat rezultatele pentru fiecare determinare în parte.



Bibliografie

1. Popescu, M., Mitu, C., Meliț ă, L., *Materiale de Instalații – Lucrări de laborator*, Editura Conspress, București, 2012, ISBN 978-973-100-199-9, pag. 44-53.

