



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

Modulul 10: Proprietăți mecanice și tehnologice ale materialelor metalice. Aliaje metalice utilizate în construcții. Diagrame de stare.

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

Scop



Modulul 10 al cursului de *Materiale de Instalații* își propune să vă prezinte proprietățile mecanice și tehnologice ale materialelor metalice precum și aliajele folosite în construcții. De asemenea, vă sunt explicate diagramele lor de stare.

Obiective



La finalul Modulului 10 cursantul va putea să:

1. Precizeze care sunt proprietățile mecanice ale materialelor metalice.
2. Precizeze care sunt proprietățile tehnologice ale materialelor metalice.
3. Explice diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu componenți total solubili în stare lichidă și în stare solidă (soluție solidă totală).
4. Explice diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu componenți total solubili în stare lichidă și total insolubili în stare solidă (amestec mecanic).
5. Explice diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu solubilitate limitată a componenților în stare solidă.

Durată



Durata medie de studiu individual: 2-3 ore.

10.1. Proprietăți mecanice

Proprietățile mecanice ale materialelor arată modul lor de comportare al materialelor metalice la solicitările exterioare și se determină prin intermediul încercărilor. Acestea trebuie efectuate în condițiile prevăzute de norme și standarde pentru ca rezultatele obținute să fie corecte și comparabile.

a) Rezistența la tracțiune (R_m) este cea mai relevantă proprietate pentru aprecierea calității unui metal sau a unui aliaj metalic, în special oțel. Se execută pe epruvete standardizate, cu ajutorul mașinilor de încercat, iar tracțiunea se aplică în direcție longitudinală cu solicitare la ambele capete (vezi Modul 2 fig. 2.11). Prin măsurarea simultană a sarcinii și alungirii epruvetei se obține curba efort-deformație sau curba caracteristică $\sigma = f(\epsilon)$. Pentru un oțel moale aceasta a fost prezentată și explicată în Modulul 2.

În timpul solicitării la tracțiune epruveta metalică suferă deformații elastice și plastice. În timpul deformațiilor plastice (zona de curgere din curba efort-deformație) materialul își consolidează structura, prin ecruisare, adică poate să preia eforturi mai mari fără să se rupă.

Ecruisarea reprezintă proprietatea unui metal sau a unui aliaj metalic de a suferi deformații plastice la rece, la un efort corespunzător **limitei de curgere tehnică $R_{p0.2}$** (fig. 2.8). În zona de curgere se pun în evidență o limită inferioară și o limită superioară, de aceea curba efort-deformație se simbolizează în zig-zag (fig 10.1b I), iar planele reticulare se orientează în direcția solicitării, prin alunecare, începând de la cele care au unghiurile cele mai mici față de direcția forței aplicate (fig. 10.1a).

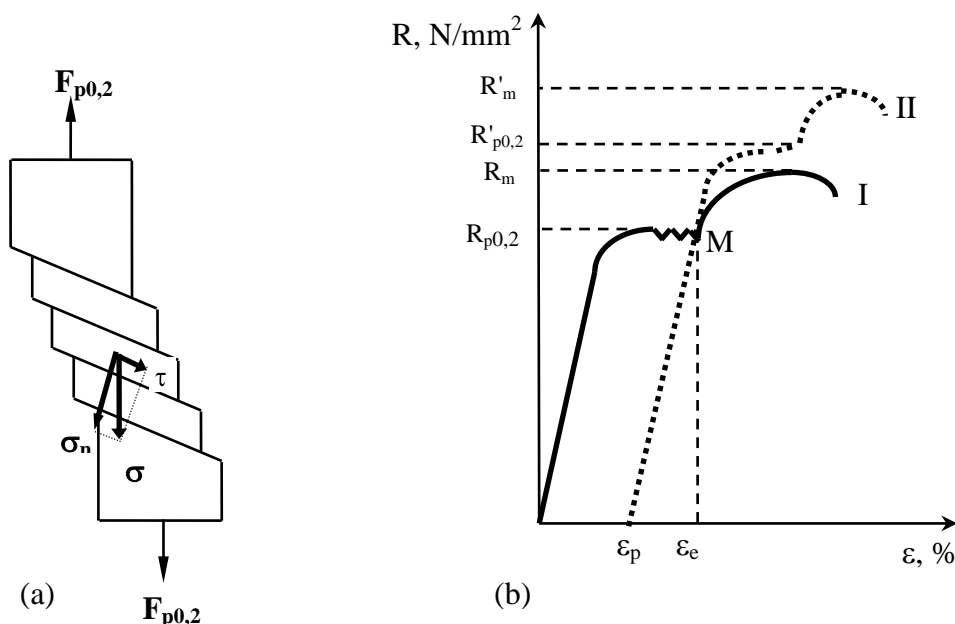


Figura 10.1. Alunecarea planelor reticulare într-un monocristal metalic în timpul deformării plastice (a); curba caracteristică (b)

În timpul ecruisării materialul se durifică deoarece grăunții cristalini se alungesc, în sensul solicitării (fig. 10.2a), iar după ecruisare planele lor reticulare se orientează în direcția solicitării, rezultând o structură fibroasă (fig. 10.2b).

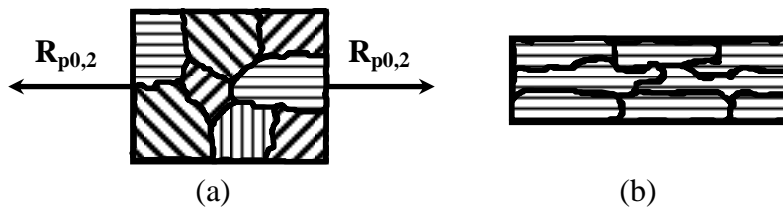


Figura 10.2. Structura unui metal: (a) înainte de ecrusare (b) după ecrusare

Astfel, după ce materialul este ecrusat pentru a putea fi prelucrat în continuare, prin deformare plastică, trebuie să fie supus unui tratament de **recoacere de recrystalizare** pentru restabilirea structurii și pentru *eliminarea tensiunilor interne* care apar prin ecrusare. Materialul care a suferit acest tratament, dacă este supus din nou la tracțiune, va avea o curbă caracteristică cu limita de curgere și rezistența la tracțiune ($R'_{p0,2}$, R'_m) (fig. 10.1b II) mai mari decât cele inițiale ($R_{p0,2}$, R_m).

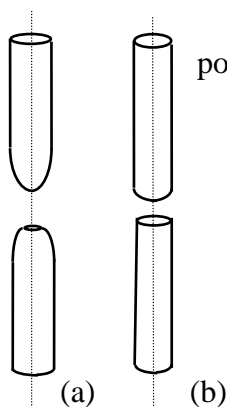
Materialele ecrusate fără a fi urmate de un tratament termic de recoacere se folosesc pentru obținerea sârmei de mare rezistență, a sârmei coardă de pian, a armăturii pentru beton etc.

Materialele care prezintă deformații plastice mari înainte de rupere se numesc **ductile**. La acestea poate sau nu să se producă o consolidare a structurii (ecrusare) în timpul deformațiilor plastice; astfel, materialele ductile sunt **tenace** (fig. 2.8) sau **maleabile** (fig. 2.7).

Tenacitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma mult înainte de rupere, având proprietăți plastice pronunțate și rezistență mare la rupere. De aceea materialele tenace suportă tensiuni mari fără să se rupă și prezintă o siguranță mai mare în exploatare față de materialele maleabile. Această proprietate a metalelor se pune în evidență cu ajutorul rezilienței (vezi Modulul 2) care poate preciza dacă metalul este susceptibil de rupere fragilă sau tenace.

Maleabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma mult, fără ecrusare. Aceste materiale pot fi întinse în foi subțiri la o temperatură inferioară celei de topire.

Ruperea materialelor metalice se produce atunci când solicitarea exterioară, aplicată lor, este mai mare decât tăria legăturilor dintre atomii metalului. Dacă ruperea este precedată de deformații plastice vizibile, **ruperea este ductilă** (fig. 10.3a), iar dacă ruperea are loc brusc, fără deformații plastice vizibile, atunci **ruperea este fragilă** (casantă) (fig. 10.3b).



Dacă se face o analiză microscopică a rupturii materialelor metalice aceasta poate fi:

- **rupere intracristalină**, care se produce în interiorul grăunților cristalini de-a lungul unor plane de alunecare (fig. 10.4a); se întâlnește, de obicei, în cazul ruperilor la rece;
- **rupere intercristalină**, care se produce la limita dintre grăunții cristalini (fig. 10.4b) unde se găsesc impurități, eutectice etc.; la temperaturi mari acestea se înmoaie sau se topesc favorizând ruperea; această rupere este întâlnită, în special, în cazul solicitărilor la cald.

Figura 10.3. Ruperea materialelor
(a) ductilă, (b) casantă

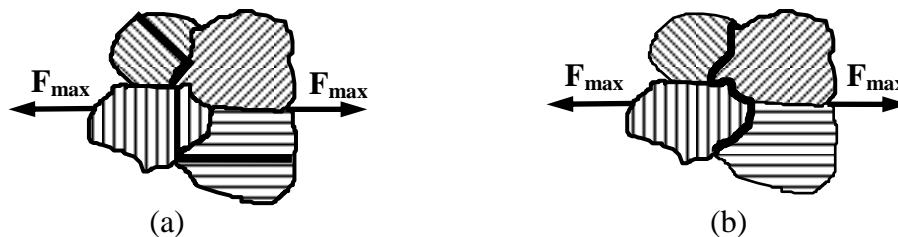


Figura 10.4. Ruperea intracristalină (a); ruperea intercristalină (b).

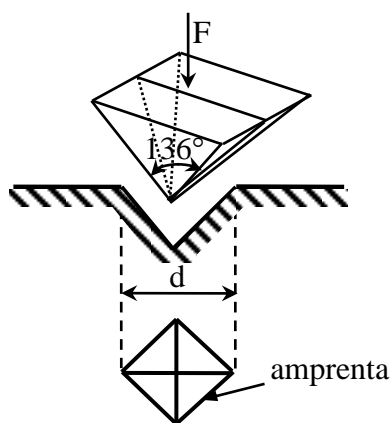
Tipul de rupere este determinat de natura și structura metalului, de tipul solicitării (longitudinală, transversală) și de condițiile de încercare (forma și dimensiunile epruvetei, temperatură etc.)

b) Duritatea metalelor este proprietatea acestora de a se opune pătrunderii în stratul lor superficial a unui obiect dintr-un material mai dur și nedeformabil. Determinarea durității se face prin metode statice (Brinell, Vickers, Rockwell) și metode dinamice (Poldi și Shore).

În funcție de valorile durității, Friederich MOHS, geologist și mineralogist german, a inventat o scară a durității mineralogice (1820) în 10 trepte, formată din următoarele materiale: talc, ghips, calcit, fluorină, apatit, ortoză, cuarț, topaz, corindon, diamant, ultimul fiind cel mai dur. Metalele dure au pe scara MOHS durități cuprinse între 4 și 8.

b1) Duritatea Brinell (vezi Modulul 2)

b2) Duritatea Vickers se determină prin aplicarea unei forțe, un timp dat, de către un penetrator sub formă de piramidă din diamant, cu unghiul la vârf de 136° , asupra materialului metalic de încercat (fig. 10.5). Aceasta se calculează ca raportul dintre forța aplicată și suprafața amprente lăsate:



$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2F \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \text{ N/mm}^2 \quad (10.1)$$

Figura 10.5. Reprezentarea schematică a determinării durității Vickers

b3) Duritatea Rockwell se determină prin apăsarea unui penetrator conic din diamant sau a unui penetrator sferic din oțel, de forme și dimensiuni standardizate (fig. 10.6), pe materialul metalic de încercat în trei timpi astfel:

- în primul timp se acționează penetratorul cu o forță inițială F_0 , sub acțiunea căreia acesta pătrunde în material la o adâncime h_1 ;

- în cel de al doilea timp, asupra penetratorului, se aplică o forță suplimentară F_1 , sub acțiunea căreia acesta pătrunde mai adânc, în material, la o adâncime h_2 ;
- în cel de al treilea timp se ridică F_1 , menținându-se forța inițială F_0 , timp în care penetratorul rămâne la adâncimea h_3 .

Diferența $h_3 - h_1 = h$ reprezintă **adâncimea remanentă a amprentei penetratorului**, care este o consecință a deformării plastice a materialeului metalic.

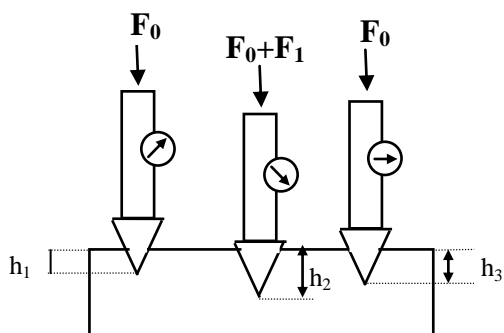


Figura 10.6. Reprezentarea schematică a determinării durității Rockwell

Exprimarea durității Rockwell se face în 11 scări (SR EN ISO 6508-1) care diferă între ele prin natura penetratorului care poate fi: con cu diamant, bilă din oțel dur, bilă din metal dur, prin valorile forței inițiale F_0 și prin valorile forței suplimentare F_1 .

Duritatea Rockwell se calculează ca fiind egală cu: $N - h/U$ (10.2)

unde: N și U sunt două constante ce depind de scara aleasă, iar o unitate Rockwell corespunde unei adâncimi fie de 0,002 mm, fie de 0,001 mm în funcție de scară.

b4) Duritatea Poldi se determină cu aparatul Poldi care este compus dintr-o bilă de oțel, o bară metalică etalon (E), a cărei duritate este cunoscută, și un ciocan (fig. 10.7). Determinarea folosește principiul Brinell și constă în lovirea cu ciocanul a bilei de oțel care lasă două amprente: una pe bara etalon și alta pe proba de încercat (P).

Duritatea Poldi se calculează ca raportul dintre diametrele, determinate experimental, ale celor două amprente lăsate de bila de oțel înmulțit cu duritatea cunoscută a etalonului:

$$HB_P = HB_E \times \left(\frac{d_p}{d_e} \right)^2 \quad (10.3)$$

unde: HB_P și HB_E sunt duritățile Poldi ale probei respectiv etalonului, iar d_p și d_e sunt diametrele amprentelor lăsate de bila de oțel pe probă, respectiv etalon.

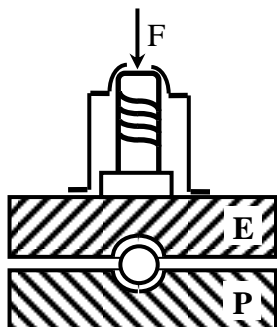


Figura 10.7. Determinarea durității Poldi

b5) Durețea Shore se determină cu aparatul numit scleroscop Shore (fig. 10.8). Principiul determinării acestei dureții constă în măsurarea înălțimii de recul h , a unei greutate cu vârf de diamant, care cade liber de la o înălțime H pe suprafața probei de încercat. Înălțimea de recul se exprimă în unități convenționale Shore (**HS**).

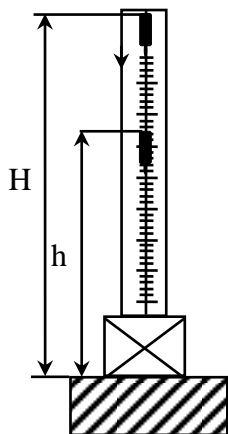


Figura 10.8. Determinarea dureții Shore

- c) **Rezistența la încovoiere prin șoc sau reziliență** (vezi Modulul 2)
- d) **Rezistența la oboseală** (vezi Modulul 2)
- e) **Rezistența la uzură** (vezi Modulul 2)

10.2. Proprietăți tehnologice

Proprietățile tehnologice ale materialelor metalice arată comportarea acestora la diferite procedee de prelucrare, la cald sau la rece cum ar fi: turnabilitatea, deformabilitatea, sudabilitatea, călibilitatea, așchiabilitatea.

a) Turnabilitatea este proprietatea materialelor metalice topite de a umple interiorul unei forme, la turnare, și de a reproduce forma acesteia, după solidificare, funcție de caracteristicile de turnare ale materialelor metalice; acestea pot fi:

- **Fluiditatea** - proprietatea unui material topit de a curge cu ușurință și de a umple interiorul formei în care este turnat;
- **Segregarea** - fenomenul de separare a elementelor chimice ale unui aliaj, cu temperaturi de topire diferite, în timpul cristalizării; aceasta este nedorită deoarece conduce la o neomogenitate chimică a piesei turnate;
- **Adsorbția de gaze** - proprietatea metalelor de a dizolva gaze, din ce în ce mai mult odată cu creșterea temperaturii de turnare; și aceasta este o proprietate nedorită deoarece conduce la apariția suflurilor în piesele turnate.

b) Deformabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma și de a lua o altă formă, sub acțiunea unor forțe exterioare, fără ca acestea să se rupă. În practică ea este caracterizată prin:

- **Maleabilitate** - proprietatea materialelor metalice de a se prelucra ușor în table și foi subțiri (vezi pag. 3);
- **Ductilitate** – proprietatea materialelor metalice de a fi trase în fire subțiri sau trefilate;



- *Forjabilitate* - proprietatea materialelor metalice de a suferi deformații plastice, la rece sau la cald, prin lovire sau presare.

Exemple:

- ✓ Metale și aliaje maleabile: aur, cupru, aluminiu, alamă, oțeluri moi;
- ✓ Metale și aliaje ductile: cupru, aluminiu, alamă, oțeluri moi.

c) *Sudabilitatea* reprezintă aptitudinea tehnică a materialelor metalice de a realiza îmbinări sudate. Sudarea se poate realiza prin topire sau prin presiune, cu sau fără adaos de material, și este caracterizată prin:

- *Comportarea la sudare*, care depinde de proprietățile metalurgice ale metalelor de bază și de adaos;
- *Siguranța la sudare*, care este dată de capacitatea materialelor metalice de a-și păstra plasticitatea și după sudare și de a nu căpăta tendința de rupere fragilă.

d) *Călibilitatea* este proprietatea materialelor metalice de a se durifica ca urmare a răcirii bruște de la o anumită temperatură.

Exemplu:

- ✓ Materiale călibile: fontele și oțelurile, bronzul, unele aliaje ale aluminiului și nichelului.

e) *Așchiabilitatea* este proprietatea materialelor metalice de a fi prelucrate prin așchiere, prin intermediul sculelor așchietoare sau a diverselor mașini unelte, obținându-se, astfel, piese finite.

Exemplu:

- ✓ Majoritatea materialelor metalice pot fi prelucrate prin așchiere cu excepția: fontelor albe, oțelurilor călite și aliajelor foarte dure.

10.3. Încercări tehnologice (uzinale)

Aceste încercări se realizează cu scopul de a măsura deformabilitatea, la rece sau la cald, a materialelor și semifabricatelor metalice, pentru a urmări deformația maximă pe care o poate suporta un material metalic fără ca pe suprafața lui să apară fisuri, exfolieri, crăpături sau alte defecte vizibile.

a) *Încercarea la îndoire* se realizează pe sârme, table, benzi etc. Epruvetele de încercat pot avea secțiune rotundă, dreptunghiulară sau poligonală și sunt supuse la deformare prin încovoiere, într-un singur sens, cu scopul de a aprecia aspectul acestora în partea întinsă a zonei îndoite. Această încercare se efectuează cu ajutorul unui utilaj de îndoire care poate fi: o matriță cu profil, la care se stabilește unghiul sau raza la care se face îndoirea (fig. 10.9a) sau un dispozitiv cu dorn cilindric și două role mobile (fig. 10.9b). Pentru îndoiri la 180^0 cele două laturi ale epruvetei se poziționează paralel, una față de cealaltă, între care se stabilește o distanță prescrisă (fig. 10.9c).

Rezistența la îndoire se poate exprima, fie prin valoarea unghiului α până la care nu apar defecte vizibile, pe partea întinsă a zonei îndoite (fig. 10.9a), fie prin diametrul minim al dornului D la



care se produce fisurarea epruvetei prin îndoire (fig. 10.9b), fie prin analizarea aspectului părții îndoite (fig. 10.9c).

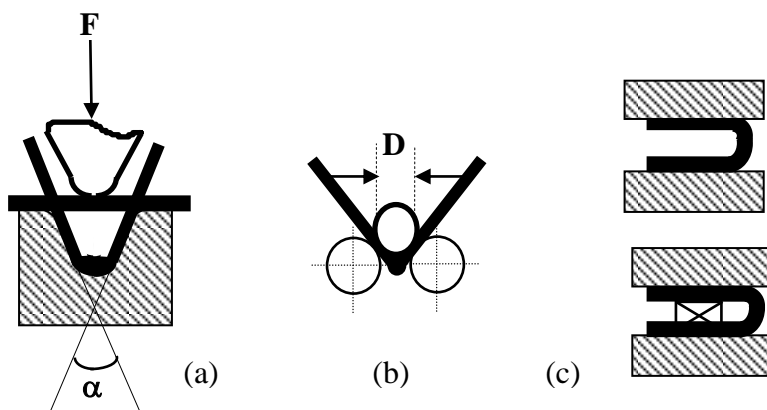


Figura 10.9. Încercarea la îndoire

b) Încercarea la răsucire se realizează pe epruvete din sârmă sau bară subțire, de lungimi date, care se răsucesc la rece până la rupere; se determină numărul de răsuciri pe care le suportă epruveta până la rupere. Cu această încercare se pot identifica defectele de suprafață și de volum ale semifabricatelor.

c) Încercarea de ambutisare a tablelor după metoda Erichsen. Ambutisarea reprezintă operația tehnologică de deformare plastică, la rece sau la cald, prin presare, a tablelor plane cu scopul obținerii unor piese care prezintă cavități variabile (capace, cutii etc.). În urma acestei încercări se determină adâncimea de ambutisare, în mm, (indicele Erichsen) până la care nu apar în epruvetă fisuri pătrunse (fig. 10.10).

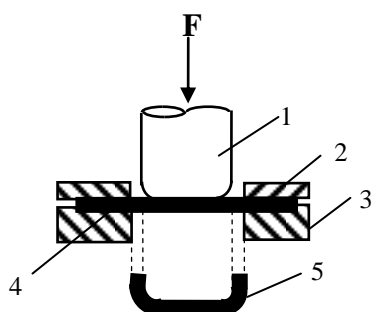


Figura 10.10. Încercarea de ambutisare a tablelor: 1 – poanson; 2 –inel; 3 – matriță; 4 – piesa înainte de ambutisare; 5 – piesa după ambutisare

d) Încercarea de îndoire a produselor tubulare se realizează prin îndoirea lentă și continuă a unei epruvete tubulare în jurul unei role, profilate la diametrul exterior al acesteia, până la valoarea unghiului de îndoire prescris α . În urma încercării se apreciază aspectul epruvetei în zona întinsă (fig. 10.11a).

e) Încercarea de aplatizare se realizează pe epruvete tubulare prin aplatizarea acestora, între două plăci de apăsare, pe direcție perpendiculară cu direcția generatoarei, până la atingerea unei distanțe prescrise z . (fig. 10.11b)

f) Încercarea de lărgire a țevelor constă în lărgirea unui capăt al acestora prin introducerea unui mandrin tronconic, până la atingerea unui diametru exterior maxim D_e , fără ca pe suprafața lărgită să apară crăpături, fisuri (fig.10.11c).

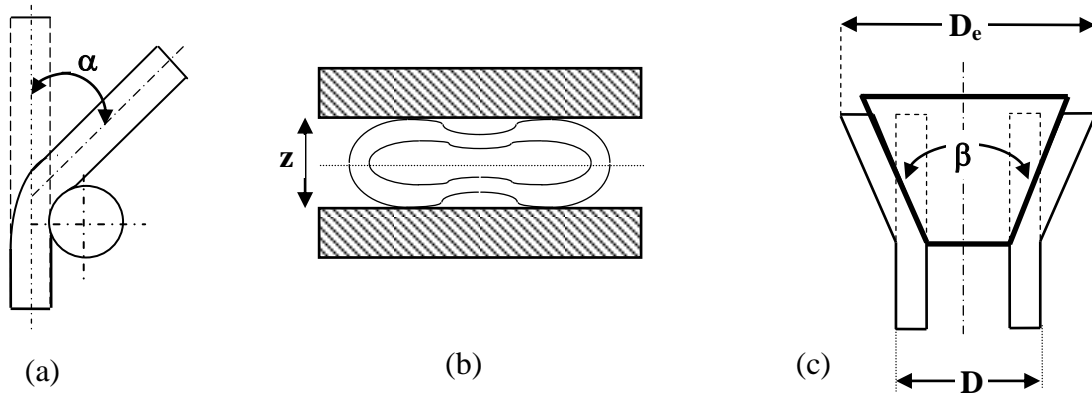


Figura 10.11. Încercarea de îndoire (a), de aplatizare (b) și de lărgire (c) a produselor tubulare

Unghiul β , de la vârful mandrinului, poate avea valorile: 30° , 45° , 60° sau 120° , iar lărgirea relativă maximă realizată se exprimă în procente astfel:

$$\frac{D_e - D}{D} \times 100, \%$$

unde: D este diametrul țevii, iar D_e este diametru exterior maxim al țevii după lărgire.

10.4. Aliaje metalice. Diagrame de stare

Aliajele metalice sunt amestecuri omogene sau eterogene alcătuite din două sau mai multe elemente chimice, din care cel puțin unul este metal și, de obicei, se află în cantitate mai mare. La fel ca și metalele au o structură policristalină, constituite din conglomerate de cristale microscopice – grăunți cristalini, cu dimensiuni între 25 – 150 μm , aflate în contact intim.

S-a constatat experimental că formarea unui aliaj este un proces fizico-chimic, asemănător procesului de dizolvare și depinde de capacitatea de difuziune, în stare solidă, a atomilor elementelor componente. Elementul de bază A (metalul), în procent mai ridicat, în care se introduce elementul de adaos B, se comportă ca un solvent. În stare topită atomii elementelor componente se amestecă, formând o soluție omogenă adică, un sistem monofazic. La solidificare aceștia își pot menține omogenitatea, rezultând *aliaje soluție solidă* sau se pot dezomogeniza, rezultând *aliaje amestec mecanic*.

La examinarea microscopică, fazele dintr-un material metalic, care se numesc **constituenți structurali sau metalografici**, prezintă aspecte structurale caracteristice.

Constituenții metalografici pot fi grupați în patru categorii distincte: metale pure, soluție solidă, compus chimic și amestec mixt.

Proprietățile aliajelor sunt determinate de tipul fazelor prezente în aliaj, dar și de modul în care sunt distribuiți constituenții metalografici, de forma și de raportul lor cantitativ. După numărul de componenți aliajele pot fi: binare, ternare sau polinare.

a) **Diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu solubilitate totală a componentelor în stare lichidă și solidă (soluție solidă totală)**

Aliajele binare cu componente complet solubili în stare lichidă și în stare solidă, se mai numesc sisteme binare de **soluție solidă totală**. Componentii A și B ai aliajului sunt solubili în orice proporție atât în stare lichidă, cât și în stare solidă.

În fig. 10.12. este prezentată diagrama de echilibru (de stare) a unui sistem binar de soluție solidă totală.

Pe baza curbilor de răcire, care sunt prezentate în partea stângă a figurii, se trasează diagrama de stare (partea dreaptă a figurii).

Curbele de răcire ale componentelor puri (100% A și 100% B) prezintă palier, iar cele ale amestecului componentelor (50% A și 50% B) au două puncte de inflexiune, care corespund începutului respectiv sfârșitului de solidificare.

Trasarea diagramei de stare se face, mai întâi, prin proiectarea punctelor de început și sfârșit de solidificare ale curbilor de răcire, din coordonate temperatură/timp în coordonate temperatură/compoziție. Apoi, se conturează locul geometric al tuturor punctelor de început de solidificare, care reprezintă curba **lichidus**, și locul geometric al tuturor punctelor de sfârșit de solidificare, care reprezintă curba **solidus**. Deasupra curbei lichidus, aliajul este constituit într-o singură fază, de topitură (lichidă), iar sub curba solidus aliajul este în fază solidă (soluție solidă totală α). Între curbele lichidus și solidus aliajul se află în două faze de echilibru: faza de topitură (T) și faza de soluție solidă totală (α).

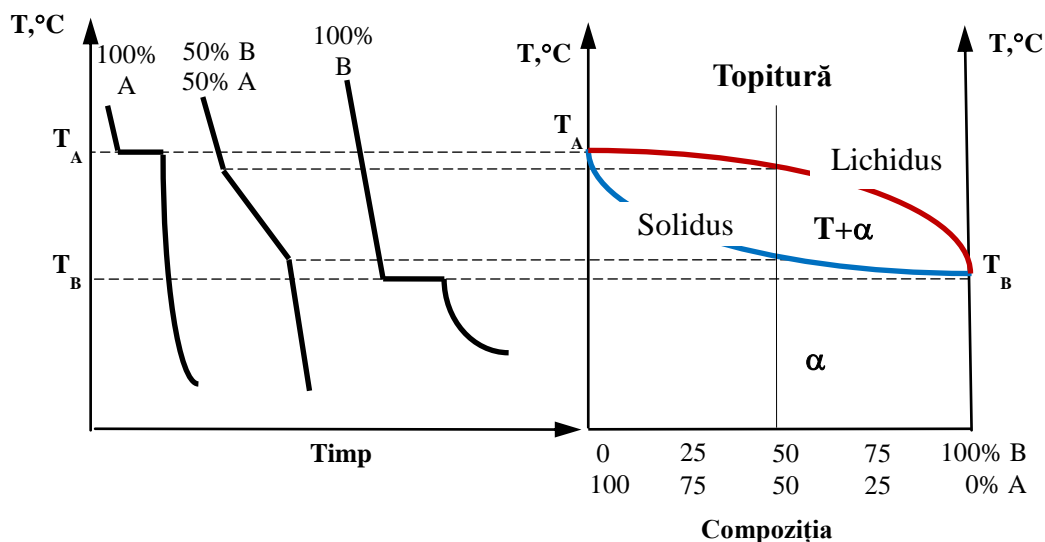


Figura 10.12. Trasarea diagramei de echilibru a unui aliaj binar de soluție solidă totală

Exemplu:

- ✓ Analiza diagramei de stare a unui aliaj binar soluție solidă totală, de compoziție 35% B și 65% A, reprezentat de dreapta figurativă I (fig. 10.13a).

Prin analizarea dreptei figurative I se constată că:

- Aliajul care se răcește rămâne în stare de topitură (lichidă) până la temperatura T_1 când începe solidificarea, reprezentată de punctul 1 pe curba lichidus; dacă se duce o izotermă

- prin acesta, până intersectează curba solidus se obține punctul 1' care, proiectat pe axa compoziției, arată că faza solidă este formată din germeii de cristalizare ce conțin 4% B;
- Prin răcirea în continuare a aliajului la temperatura T_2 , pe dreapta figurativă I se înregistrează punctul 2; ducând o izotermă prin acesta, la intersecția cu curba lichidus se află punctul 2'', iar la intersecția cu curba solidus se află punctul 2' a cărei proiecție pe axa compoziției arată că aliajul conține 10% fază solidă de component B format prin depunerea, în continuare, de cristale pe germeii de cristalizare deja existenți (fig. 10.13b);
 - La temperatura T_3 , printr-un raționament similar cu cel de la temperatura T_2 , compoziția în fază solidă a aliajului, dată de punctul 3', este de 25% B;
 - La temperatura T_4 s-a terminat solidificarea ultimelor picături de topitură ce conțin 95% B (punctul 4'' de pe curba lichidus);
 - Sub temperatura T_4 aliajul se află doar în stare solidă, sub formă de cristale de soluție solidă totală α .

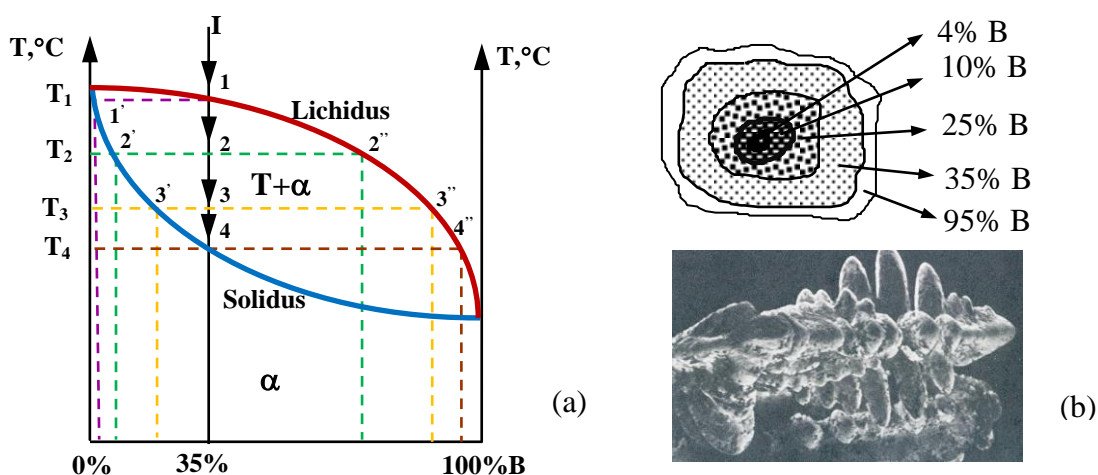
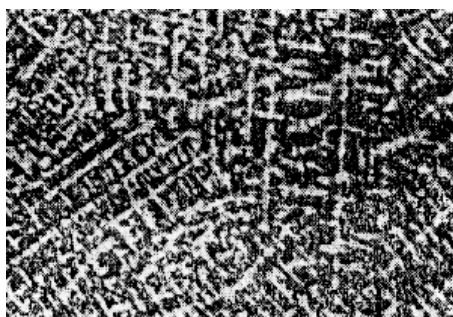


Figura 10.13. Diagrama de echilibru a unui aliaj binar soluție solidă totală (a); compoziția neomogenă a unui grăunte cristalin după solidificare (b)

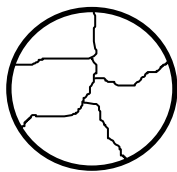
Astfel, în timpul solidificării compoziția fazei solide variază foarte mult, între 4 și 95% B, iar compoziția medie este de 35% B și 65% A, identică cu cea a topiturii. Prin urmare, faza solidă este neomogenă în grăunți cristalini, neomogenitate care se numește **segregare dendritică** (fig. 10.14).



Axele dendritelor se formează primele și sunt sărace în component B, pe când zonele dintre axe dendritelor se formează ultimele și sunt bogate în component B.

Figura 10.14. Segregarea dendritică văzută la microscopul metalografic

Segregarea dendritică este o stare în afara echilibrului sistemului, care apare atunci când răcirea aliajului nu se face foarte lent și atomii componentului B nu se omogenizează cu atomii componentului A pentru a forma o compoziție uniformă de grăunți cristalini.



Omogenizarea se realizează, de obicei, prin tratamentul termic de **recoacere de omogenizare**; constă în încălzirea produsului turnat, la o temperatură ridicată, sub curba solidus, astfel încât prin agitație termică să crească mobilitatea atomilor și tendința de omogenizare a compoziției; se obțin cristale omogene care, la microscopul metalografic, se vor vizualiza prin marginea grăunților (fig. 10.15).

Figura 10.15. Microstructura unui aliaj după recoacerea de omogenizare

b) Diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu solubilitate totală a componentelor în stare lichidă și insolubilitate totală în stare solidă (amestec mecanic)

În cazul acestui aliaj, componentii A și B au o solubilitate totală în stare lichidă dar sunt complet insolubili în stare solidă. În urma răcirii topiturii rezultă un **amestec mecanic de cristale**.

Diagrama de echilibru construită pe baza curbelor de răcire este prezentată în fig. 10.16. în care AEB este curba lichidus, iar AA'EB'B este curba solidus. T_A și T_B sunt temperaturile de topire ale componentelor puri A respectiv B, iar T_E este temperatura de solidificare a unicului aliaj, din amestecul binar de componente A și B, cu compoziția la echilibru C_E , de 60% B și 40% A în acest caz, care se determină numai experimental, și care solidifică la temperatura cea mai joasă. Acest aliaj se numește **aliaj eutectic** și este format din amestec mecanic de faze solide A și B. Temperatura lui de solidificare T_E este constantă, la fel ca a unui metal pur (prezintă palier) și se numește **temperatura de solidificare a eutecticului**.

Dacă se analizează varianța sistemului în punctul E (fig. 10.16.) se constată că sistemul este invariant deoarece: în sistem există doi componente A și B, adică $c = 2$, sunt în echilibru trei faze (două faze solide A și B și una lichidă/topitura) adică $\phi = 3$ și există un singur factor fizic de echilibru, temperatura, adică $f = 1$. Astfel varianța sistemului, calculată cu relația cunoscută, este: $v = c + f - \phi = 2 + 1 - 3 = 0$. Prin urmare punctul E este bine definit experimental prin compoziție și temperatură (C_E și T_E).

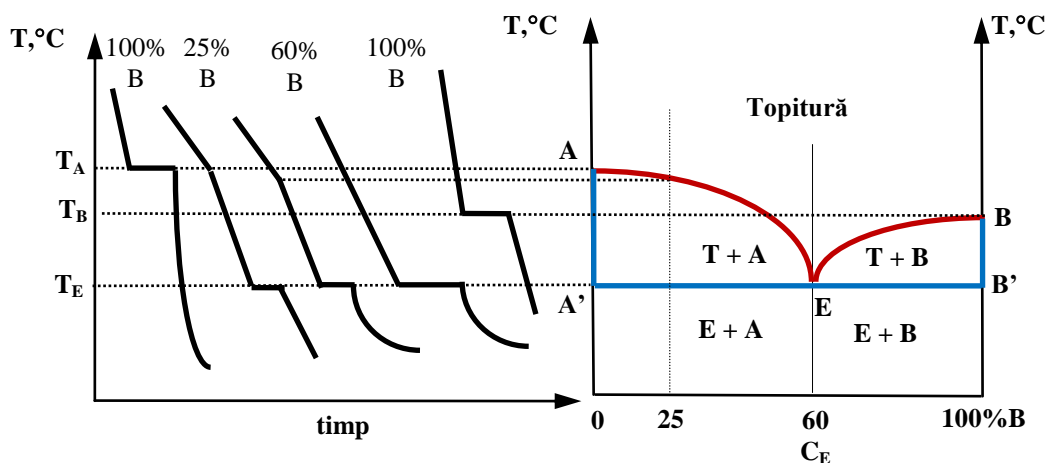


Figura 10.16. Curbele de răcire și diagrama de echilibru a unui amestec mecanic de cristale

Aliajele a căror compoziție se găsește în partea stângă a compoziției eutecticului C_E se numesc **aliaje hipoeutectice** ($< 60\%$). În acest caz componentul A va cristaliza primul deoarece se află, din punct de vedere al compoziției, într-un procent mai mare față de cel al eutecticului. Aliajele care se găsesc în partea dreaptă a compoziției eutecticului C_E se numesc **aliaje hipereutectice** ($> 60\%$), iar

componentul care va cristaliza primul, în acest caz, va fi componentul B deoarece se află, din punct de vedere al compoziției, în procent mai mare față de eutectic.

Dacă se face o analiză microscopică metalografică a aliajului eutectic de amestec mecanic de cristale, după solidificare, acesta poate avea: fie o **structură lamelară** (lamelle alternante de A și B), fie o **structură globulară** (unul din componenți se află sub formă de globule, de exemplu B, și este înglobat în masa celuilalt component, de exemplu A). În ambele situații este vorba de un **amestec eterogen** (fig. 10.17 b,c).

Aliajul hipoeutectic de amestec mecanic de cristale, văzut la microscopul metalografic, după solidificare, este format din cristale mari de A, care sunt în plus față de compoziția eutecticului și care au cristalizat primele, și cristale fine de eutectic care au cristalizat ultimele (fig. 10.17a).

Aliajul hipereutectic se vizualizează la microscopul metalografic, după solidificare, sub formă de cristale B, aflate în exces față de eutectic, care cristalizează primele, într-o masă de eutectic (fig. 10.17d).

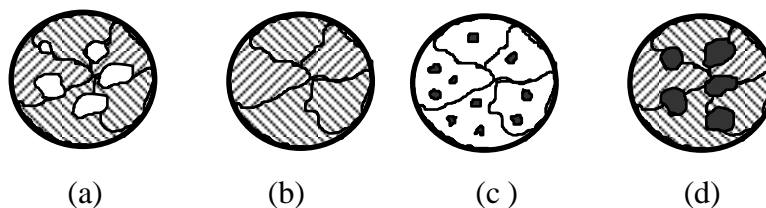


Figura 10.17. Structura metalografică a unui aliaj hipoeutectic (a); aliaj eutectic cu structură lamelară (b); aliaj eutectic cu structură globulară (c); aliaj hipereutectic (d)

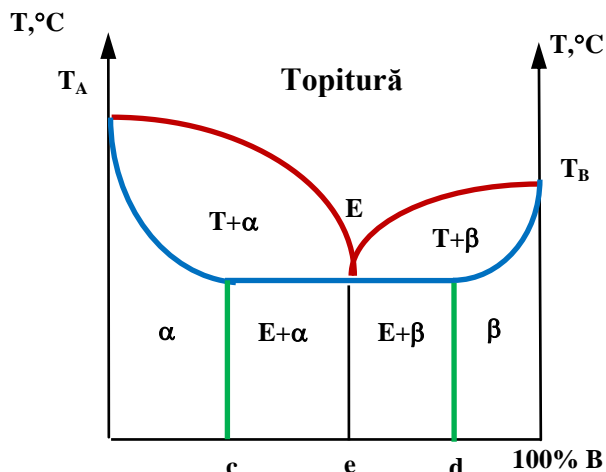
Exemple:

- ✓ Aliaje amestec mecanic: Ge-Sb, Pb-Sb, Si-Be, Si-Au, Mg-Si, Cu-Bi, Cd-Bi, Be-Al, Pb-Ag etc.
- ✓ Aliajul Pb-Sb este un aliaj eutectic E cu compoziția de 87% Pb, 13% Sb și are $T_E = 246^\circ\text{C}$, cea mai mică, față de temperaturile de topire ale Pb de 327°C și Sb de 630°C ;
- ✓ Aliajul de lipit, de sudare, Sn - Pb este și el un aliaj eutectic E cu o compoziție de 60% Sn și 40% Pb, iar temperatura de topire a eutecticului $T_E = 183^\circ\text{C}$ este cea mai mică, față de temperaturile de topire ale Sn de 231°C și Pb de 327°C ;
- ✓ Siguranțele fuzibile sunt obținute din aliaje eutectice și sunt folosite la cuptoarele industriale sau la instalațiile de încălzit, pentru a avertiza sonor, de exemplu, dacă se depășește temperatura maximă admisă;
- ✓ Aliajele ușor fuzibile, folosite ca *siguranțe de protecție*, în special contra incendiilor, sunt construite pe baza sistemului Sn-Bi cu conținut de plumb sau cadmiu.

c) Diagrama de echilibru a unui aliaj binar cu solubilitate limitată a componenților în stare solidă

Sunt tipuri de aliaje binare în care componenții au solubilitate totală, până la anumite concentrații, când formează soluții solide totale, iar în afara acestor concentrații componenții sunt insolubili formând amestecuri mecanice de cristale.

În figura 10.18 este prezentată diagrama de stare a unui astfel de aliaj.



Pe diagrama de echilibru, se evidențiază soluțiile solide α și β astfel: componentul B se dizolvă în componentul A, în topitură, până la limita de solubilitate a lui B în A (punctul c) și formează o soluție solidă α ; componentul A se dizolvă în componentul B, în topitură, până la limita de solubilitate a lui A în B (punctul d) și formează soluția solidă β . Eutecticul de află între cele două soluții solide (punctul e), iar amestecul mecanic de cristale este format din soluțiile solide α și β și eutectic.

Figura 10.18. Diagrama de stare a unui aliaj binar cu solubilitate limitată a componentelor, în stare solidă

Bibliografie



1. Ion Robu, Maria Popescu, *Matériaux de Construction*, 3, Institut de Construction, Bucharest, 1996.
2. Maria Popescu, *Materiale de Construcții*, Institutul de Construcții București, 1990.
3. Maria Gheorghe, *Materiale de Construcție, II*, Editura Conspress, București, 2011, ISBN 978-973-100-107-4.
4. Liliana Crăciunescu, Eugenia Popa, *Materiale de Construcție*, Editura Matrix Rom, București, 2004, ISBN 973-685-787-5.
5. Ioan Lucian Bolundă, *Știința și Ingineria Materialelor*, Editura Tehnică-Info, Chișinău, 2010, ISBN 978-9975-63-313-0.
6. William D. Callister, David G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An integrated approach*, 4th edition, John Wiley and Sons Inc, 2012, ISBN 1118061608, 9781118061602.
7. Donald R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, PWS-KENT Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1984, ISBN 0-534-029157-4.
8. Horațiu Vermeșan, Pavel Mudura, George Vermeșan, Alexandru Berar, *Bazele teoretice ale tratamentelor termice*, Editura universității din Oradea, 2001, ISBN 973-8083-91-5.



Test de autoevaluare – MODULUL 10

Completați spațiile libere:

1. Rezistența la tracțiune (R_m) este cea mai relevantă proprietate pentru aprecierea unui metal sau a unui aliaj metalic, în special oțel.
2. Ecruisarea reprezintă proprietatea unui metal sau a unui aliaj metalic de a suferi..... la rece.
3. Ruperease produce în interiorul grăunților cristalini de-a lungul unor plane de alunecare.
4. Ruperease produce la limita dintre grăunții cristalini unde se găsesc impurități, eutectice etc.

Bifați căsuța corespunzătoare:

5. Deformabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma și de a lua o altă formă, sub acțiunea unor forțe exterioare fără ca acestea să nu se rupă.

Adevărat ☐

Fals ☐

6. Ambutisarea reprezintă operația tehnologică de deformare plastică, la rece sau la cald, prin presare, a tablelor plane.

Adevărat ☐

Fals ☐

7. Aliajele metalice sunt amestecuri omogene sau eterogene alcătuite din două sau mai multe elemente chimice, din care cel puțin unul este metal și, de obicei, se află în cantitate mai mare.

Adevărat ☐

Fals ☐

8. Aliajele binare cu componenți complet solubili în stare lichidă și în stare solidă, se mai numesc și sisteme binare de soluție lichidă totală.

Adevărat ☐

Fals ☐

9. Neomogenitatea unei faze solide se numește segregare dendritică.

Adevărat ☐

Fals ☐

10. Aliajul care solidifică la temperatura cea mai ridicată se numește aliaj eutectic.

Adevărat ☐

Fals ☐





Răspunsuri

- 1. Calității (pag 2)**
- 2. Deformații plastice (pag. 2)**
- 3. Intracristalină (pag. 3)**
- 4. Intercristalină (pag. 3)**
- 5. Fals (pag 6)**
- 6. Adevărat (pag 8)**
- 7. Adevărat (pag. 9)**
- 8. Fals (pag. 10)**
- 9. Adevărat (pag. 11)**
- 10. Fals (pag. 12)**

