

## INTRODUCERE IN STIINTA MATERIALELOR

*Definitie, relatia cu alte ramuri ale stiintelor tehnice.*

*Corelatia compozitie – structura – proprietati – utilizari.*

*Clasificarea materialelor de uz tehnic : metale, ceramici, polimeri, compozite, multimateriale.*

### Bibliografie

1. V.Candea, C.Popa, N.Sechel, V.Buharu – Clasificarea si simbolizarea aliajelor feroase si neferoase, UTPress, in press;
2. V.Candea, C.Popa – Initiere in Stiinta Metalelor, Bucuresti, Ed.Vega 1995;
3. H.Colan, s.a. – Studiul Metalelor, Bucuresti, EDP 1983;
4. M.Radulescu – Studiul Metalelor, Bucuresti, EDP, 1982;
5. S.Gadea, M.Petrescu – Metalurgie Fizica si Studiul Metalelor, vol. 1,2,3, Bucuresti, EDP, 1979 – 1983;
6. D.Constantinescu, s.a. – Stiinta Materialelor, Bucuresti, EDP, 1983
7. D.Askeland – Introduction to Materials Science, J.Wiley & Sons, 1993
8. C. Paul – Materials Science and Engineering, ASM 1991

Stiinta materialelor : Ramura a stiintelor tehnice care studiaza raportul dintre compozitia chimica, structura si proprietatile materialelor de uz ingineresc.

Vechime : ca stiinta, dupa 1840 (microscopul optic)

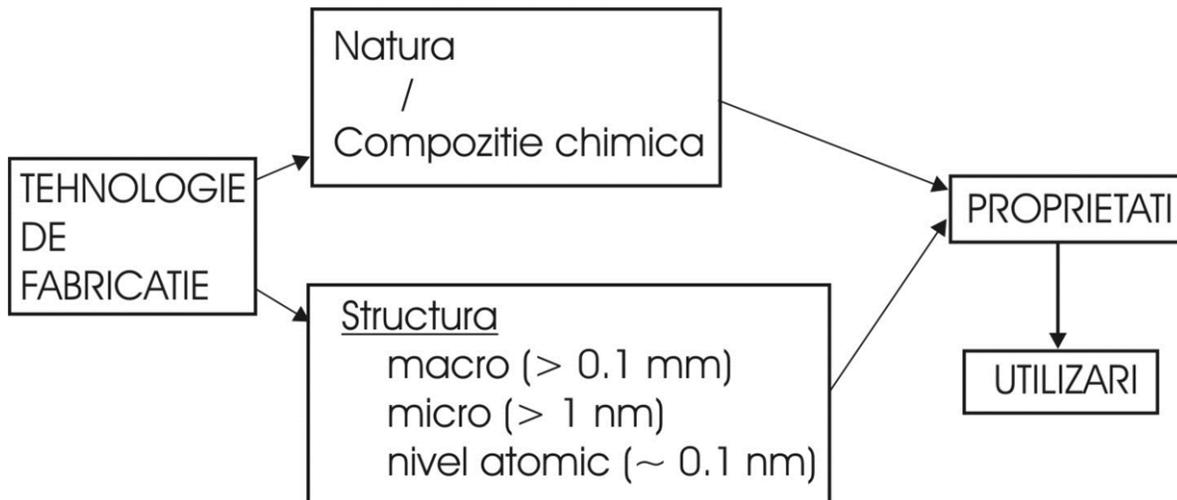


Fig. 1 Interdependentele in cadrul Stiintei Materialelor

Utilizare practica: comportament datorat constructiei si **proprietatilor de material**

→ Caracteristici functionale

*Exemplu*: Caroserie auto      rezistenta mecanica / rigiditate – determinata de material si constructie  
    stabilitate mecanica (stabilitate a formei in timp) – idem  
    rezistenta la coroziune – determinata de material si de tehnologia de  
    imbinare (aluminu / otel, alama,...)  
    masa – determina consumul

Proprietatile materialelor: determina proprietatile de utilizare ale produselor  
Mecanice  
Fizice  
Chimice  
(Tehnologice)

*Evolutia materialelor* – pt. optimizarea proprietatilor de utilizare:  
*clasice*  
*avansate* – proprietati superioare celor clasice  
*inteligente* – raspuns adecvat stimulilor exteriori

Dupa modul de obtinere, materialele sunt naturale (os, roca, lemn, proteine, etc.)  
de sinteza

Clasificarea materialelor dupa natura:

I. METALE

82 in tabelul periodic – caracter electropozitiv, niveluri energetice comune intre banda de conductie si cea de valenta

Practic nu metale pure, ci aliaje

(contin si alte elemente dar sunt pe baza unui metal)

Cele mai folosite – Fe, Al, Cu, Mg, Zn, Ti, Ni, ...

*Caracter metalic:* conductori electrici, rezistivitatea creste cu temperatura;  
conductori termici; luciu metalic;

II. CERAMICI

Materiale formate din compusi anorganici, fara caracter metalic.

General: contin elemente metalice combinate cu elemente puternic nemetalice (O, Cl, F, ....)

Exceptii: C, B

*Clasificare:* A. Clasice (portelan, faianta, lut, ....)  
Tehnice (alumina, zircona, TiN,...)

B. Amorfe – sticle  
Cristaline

III. POLIMERI

Materiale organice macromoleculare constituite din lanturi lungi de atomi (C + H, O, N) ( $M = 10^4 - 10^6$ )

*Clasificare:* termoplasti  
termorigizi  
elastomeri

MATERIALE COMPUSE din categoriile de baza

COMPOZITE – alcatuite din *matrice* (majoritatea volumului, mentine forma piesei)  
+ *constituent de armare*

MULTIMATERIALE STRATIFICATE      Straturi din materiale diferite imbinare solidar,  
care se comporta ca un material unitar

## STRUCTURILE OBTINUTE PRIN TRATAMENT TERMIC

### Structurile de tip perlitic = F + Fe<sub>3</sub>C

1. Perlita grosolana: lamelara (echilibru), globulara (recoacere de globulizare)  
180 – 220 HB, A max.=12%, Rm = 700 – 800 MPa; tenacitate mai mare la globulara

2. Perlita sorbitica: lamelara fina, obtinuta prin racirea austenitei  
max.280 HB, Rm peste 800 MPa

Sorbita: structura lamelara fina, orientata; obtinuta din martensita, prin incalzire  
Rm peste 850 MPa, raport optim rezistenta / tenacitate

3. Troostita: lamelara, foarte fina  
~ 400 HB, rezistenta maxima a perlitelor (Rm>900 MPa)

### Structurile martensitice

Martensita = solutie solida suprasaturata de C in Fe $\alpha$

1. Martensita de calire: plachete (ace) de culoare alba;  
Structura tetragonala, tensionata; Rezistenta maxima (Rm > 1100 MPa), tenacitate minima

2. Martensita de revenire: plachete (ace) de culoare neagra  
Tensiuni mai mici, tenacitate mai mare; obtinuta prin incalzirea martensitei de calire (revenire)

### Structurile bainitice (intermediare)

Bainita = amestec mecanic de ferita suprasaturata cu C si carburi care nu au ajuns la stadiul de Fe<sub>3</sub>C

1. Bainita superioara: asemanatoare troostitei; se obtine izoterm la 400 – 450°C; ~ 450 HB;

2. Bainita inferioara: asemanatoare martensitei de revenire; se obt. izoterm la 300 – 350°C; ~550 HB

## RECOACERILE

Recoacerile = TT caracterizate prin raciri lente (cea mai mare viteza de racire – in aer)

**Recoacerea de detensionare:** destinata eliminarii tensiunilor termice rezultate in urma prelucrarilor la cald (sudare, turnare, etc.)

550 – 600°C pentru oteluri, 2-6 ore, racire in cuptor / nisip

**Recoacerea de recristalizare:** pentru eliminarea ecruisarii

600 – 700°C pentru oteluri

**Recoacerea de omogenizare:** pentru eliminarea segregatiei dendritice

1100 – 1150 °C pentru oteluri, racire in cuptor; rezulta structuri supraincalzite

**Recoacerea de echilibru:** pentru aducerea structurii in starea de echilibru (din diagrama)

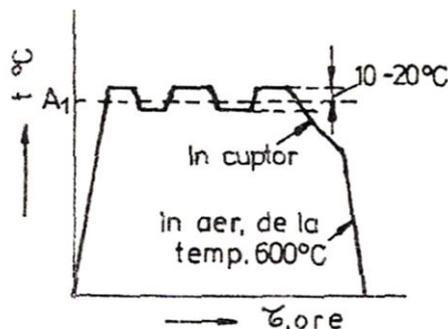
La otelurile hipereutectoide: recoacere de inmuire

Temperatura: 30 – 50°C peste A3 / Acem; RACIRE EXTREM DE LENTA

**Recoacerea de normalizare** (faramitare a graunților): pentru obtinerea unei structuri fine

Temperatura: nu mai mult de 30 – 50°C peste A3 / Acem; racire in aer

**Recoacerea de globulizare a perlitei:** obtinerea perlitei globulare (mai tenace si aschiabila)



*Recoacere pendulara in jurul temperaturii A1*

## CALIREA

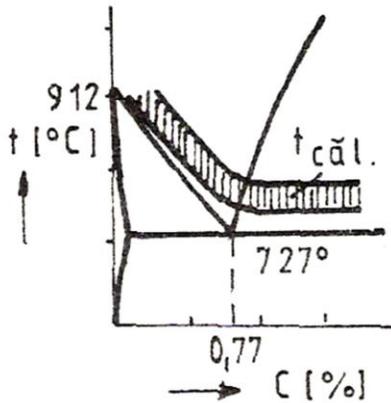
Calirea = incalzire pentru transformare de faza ( P – A in cazul otelurilor), urmata de racire brusca

Oteluri: temperatura cu 30 – 50°C peste A3 (hipoeutectoide) / A1 (hipereutectoide)

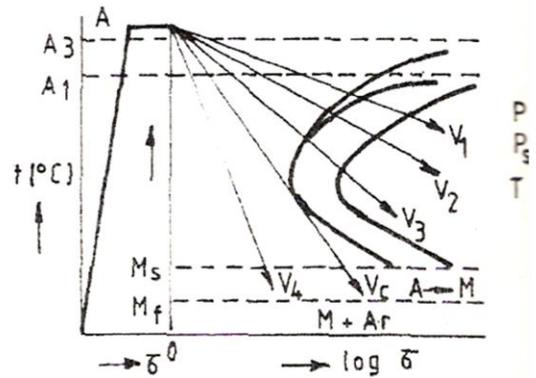
Fiecarui mediu de racire ii corespunde o *intensitate de racire* H:

H = 1 pentru apa la 20°C; (H < 1 pentru ulei, motorina, ...); (H > 1 pentru apa cu Na Cl, apa la 0°C)

**Calirea clasica:** intr – un singur mediu



Temperaturile de calire

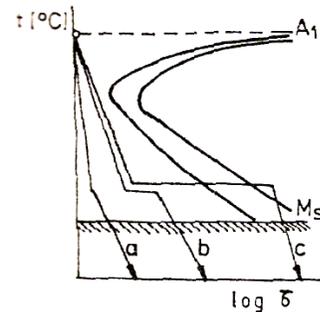


Vitezele de racire la calirea clasica

Dezavantaje: tensiuni termice (intre zone cu sectiuni diferite)  
 structurale (martensita are volumul maxim)

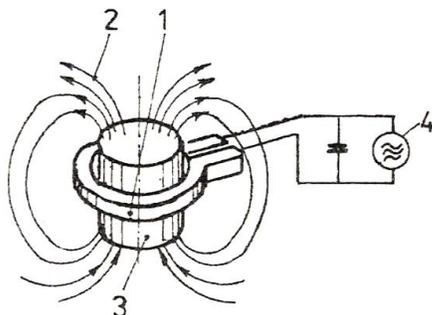
**Procedee speciale de calire:** pentru eliminarea (partiala) a dezavantajelor calirii clasice

- a. Calirea intrerupta (2 medii: apa – ulei)
- b. Calirea in trepte (mentinere pentru egalizarea temperaturii)
- c. Calirea izoterma (pentru obtinerea unei structuri bainitice)



+ calirea criogenica (pentru stabilizare dimensionala)

Metode de călire cu răcire discontinuă.  
 călire întreruptă; b - călire în trepte;  
 c - călire izotermă.



Schema încălzirii prin curenți de înaltă frecvență.  
 1-inductor; 2-câmp magnetic alternativ;  
 3-piesa; 4-generator de înaltă frecvență.

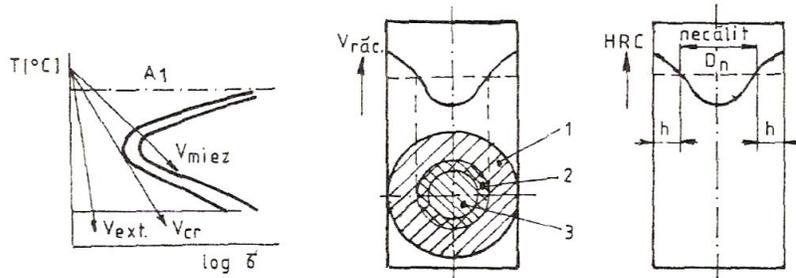
**Calirea superficiala:** numai pentru exteriorul pieselor care devine dur si rezistent; interiorul ramane tenace

**Calirea CIF:** Se induc curenți Foucault in straturile superficiale ale piesei; incalzirea se produce prin efect Joule;  
 Adancimea stratului calit se poate regla prin frecventa curentului si prin viteza de deplasare a inductorului.

**CALIBILITATEA**

Calibilitatea = proprietatea unui oțel de a se cali în profunzime; se determină prin adâncimea de pătrundere a calirii (grosimea stratului calit)

Capacitatea de calire ≠ calibilitate; Capacitatea de calire = duritatea care se obține în urma calirii



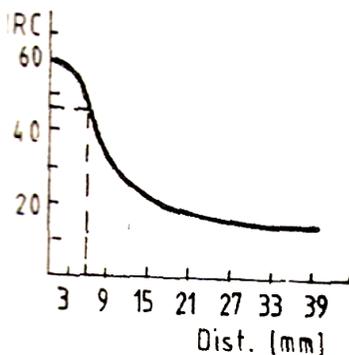
a. Adâncimea de pătrundere a calirii într-o piesă cilindrică.

a-vitezele de răcire;  
 b-straturile obținute în secțiune după călire;  
 c-repartiția durităților în secțiune.

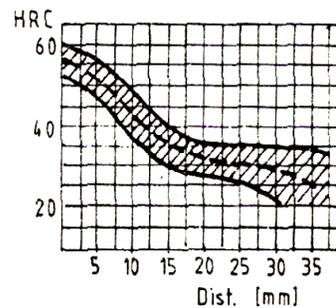
Strat semimartensitic = stratul care are 50% martensita (determinat prin duritate)

Adâncimea de pătrundere a calirii: până la stratul semimartensitic

Mod de determinare: metoda calirii frontale (Jomini) → duritatea = f(distanța de la capatul calit)  
 → Curba de calibilitate → Banda de calibilitate



Curbă de călibilitate.



Bandă de călibilitate.

**$D_0$  – diametrul critic real** = cel mai mare diametru al unei piese care se caleste complet in mediul real de tratament

**$D_\infty$  - diametrul critic ideal** = cel mai mare diametru al unei piese care se caleste complet intr-un mediu de racire ideal ( $H \rightarrow \infty$ )

## REVENIREA

Revenirea = tratamentul termic aplicat dupa calirea martensitica, in vederea obtinerii unei structuri mai stabile si mai putin fragile

### 1. Revenirea joasa: 150 – 300°C

Se obtine martensita de revenire (dura, rezistenta); pentru piese puternic sollicitate la uzare, scule, etc

### 2. Revenirea medie: 300 – 450°C

Se obtine troostita de revenire (rezistenta si elasticitate mare); pentru arcuri

### 3. Revenirea inalta: 500 – 650°C

Se obtine sorbita; pentru piese sollicitate in regim dinamic (roti dintate, arbori, axe, etc)

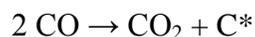
CALIRE + REVENIRE INALTA = IMBUNATATIRE

## TRATAMENTE TERMOCHIMICE

Tratamente termochimice = tratamente de suprafata in cadrul carora stratul exterior al pieselor se imbogateste intr-un anumit element chimic ; numele provine de la elementul chimic (carburare, nitrurare, siliciere,...)

Procesul decurge in 3 etape :

### 1. Disocierea mediului – obtinerea atomilor activi, care participa la procesele ulterioare



### 2. Adsorbția – fixarea atomilor activi pe suprafata piesei

### 3. Difuzia

**Carburarea**

Pentru oțeluri cu conținut de C < 0.2%

Mediu : (solid, lichid), gaz, plasma

Temperatura : 900 – 950°C

Grosimea stratului : 0.2 – 2 mm

Nu este tratament final. Necesita tratament ulterior pentru obtinerea martensitei in stratul exterior.

**Nitrurarea:** imbogatirea stratului exterior in azot

Numai pentru oțeluri aliate cu elemente care formeaza nitruri stabile (Al, Mo, Cr, V, ...)

Mediu: gaz, plasma

Temperatura: 500 – 550°C

Grosime strat: 0.2 – 0.5 mm (foarte dur, > 1000 HV)

Este tratament final

**Carbonitrurarea:** imbogatirea exteriorului pieselor simultan in C si N

Avantaje:     se pot trata si oțeluri nealiate  
                  temperatura este mai scazuta decat la carburare  
                  exista posibilitatea calirii directe dupa tratament  
                  grosimea stratului mai mare decat la nitrurare, duritatea mai mare decat la carburare

## OTELURI ALIATE

OTELURI ALIATE = aliaje complexe cu baza Fe, principal element de aliere C (max. 2%) si alte elemente introduse pentru imbunatatirea unor proprietati – mecanice, fizice (magnetice, termice), chimice (rezistenta la coroziune), tehnologice (calibilitate, sudabilitate,...).

### Influenta elementelor de aliere in oțeluri

#### 1. Influenta asupra transformarilor alotropice ale fierului

**Elemente gamagene:** largesc domeniul de existenta al Fe $\gamma$  (austenita)

In cantitate mare – austenita la temperatura ambianta

***Ni, Mn***

**Elemente alfa gene:** restrang domeniul de existenta a  $Fey$ , largindu-l pe al  $Fe\alpha$  (ferita)  
In cantitate mare – structura preponderent feritica

*Cr, Mo, W, V, Al, Si, Ta, ...*

## 2. Influenta asupra carbonului

**Elemente carburigene** (formeaza carburi si cementite aliate)

*Mo, W, V, Cr, Ti,...* (alfagene) + *Mn* (gamagen)

**Elemente grafitizante**

*Si, Al, Cu, Ni*

## 3. Influenta asupra proprietatilor

- 3.1 Rezistenta feritei creste la adaosuri de Mn, Si, Ni,...
- 3.2 Tendinta de crestere a grauntelui austenitic *scade* la adaosuri de **Mo, W, Cr**  
*creste* la adaosuri de **Mn**
- 3.3 Calibilitatea creste prin aliere (exceptie – Co); efect maxim: Mn

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Ce sunt structurile de tip perlitic? Care sunt acestea?
2. Care este cea mai fina perlita? Dar cea mai rezistenta?
3. Care este structura recomandata pentru organe de masini puternic solificate in regim dinamic? Prin ce tratament se obtine?
4. Ce structura este recomandata pentru arcuri? Cum se obtine?
5. Ce structura este recomandata pentru scule de aschiere? Cum se obtine?
6. Ce recoacere se recomanda dupa sudarea prin topire?
7. Prin ce tratament se elimina efectul unui anterior gresit efectuat?
8. Prin ce tratament se obtine o structura uniforma fina? Care este efectul asupra proprietatilor mecanice?
9. Cum se elimina segregatia dendritica? Tratamentul aplicat are efect asupra segregatiei zonale?
10. Cum se efectueaza calirea clasica? Cum se alege mediul de racire?
11. Care sunt dezavantajele calirii clasice si cum se evita?
12. Ce structura se obtine dupa calirea izoterma?
13. Care sunt avantajele si dezavantajele calirii in doua medii si in trepte?
14. Prin ce difera stratul obtinut prin calire CIF de cel obtinut prin carburare si calire?
15. Care sunt particularitatile stratului obtinut prin carburare?
16. Care sunt avantajele si dezavantajele nitrurarii? Dar ale carbonitrurarii?
17. Ce este calibilitatea? Prin ce difera de capacitatea de calire?
18. Care va fi diferenta intre diametrele critice reale pentru un otel calit in apa si in ulei?
19. Care este consecinta prescrierii prin standard a unei benzi superioare de calibilitate?
20. Care sunt elementele de aliere gamagene? Dar cele alfa-gene de baza?
21. Care elemente formeaza carburi si care nu formeaza? Ce faza este favorizata de acestea?
22. Ce elemente cresc calibilitatea otelurilor?
23. Ce element favorizeaza structurile supraincalzite?
24. Ce elemente favorizeaza structurile fine?



## Otelurile aliate de constructie

Oteluri slab aliate (in general sub 2.5% continut de elemente de aliere)

Au structuri asemanatoare cu otelurile nealiate

### Oteluri aliate de carburare

Continut de carbon: 0.06 – 0.25%

Oteluri cu Cr (pana la max. 1.5%)  
 Cr – Mn (max. 1% Mn pentru calibilitate)  
 Cr – Ni (~ 1% Cr, max. 4% Ni) – miez bainitic

Standardizare SR EN 10028 – 1:1996  $N E_1 E_2 N_1 - N_2$

N - continutul de carbon (sutimi procent);  $E_2, E_1$  – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii;  $N_1, N_2$  – continutul elementelor  $E_1, E_2 \times f$

f – factor = 4 pentru Cr, Co, Mn, Ni, Si, W

### Oteluri aliate pentru calire si revenire

Continut de carbon: 0.25 – 0.6%

Standardizare SR EN 10083 – 1:1994  $NE_1 E_2 N_1$

N - continutul de carbon (sutimi procent);  $E_2, E_1$  – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii;  $N_1$  – continutul elementului  $E_1 \times f$

Oteluri cu	Cr, Cr-Mo	permit calirea in ulei; Ex. 40Cr4, 42CrMo4
	Mn	calibilitate crescuta (si tendinta de supraincalzire); Ex. 35Mn16
	Cr -Ni	rezistenta mare prin tratament dar <i>fragilizare la revenire</i>
		a. 200 – 400°C transformare partiala Ar – M
		b. 500 – 600°C difuzia P
		eliminare: Cr-Ni-Mo
	Cr – V	structura fina si elasticitate mare; Ex. 51CrV4

### Oteluri speciale de constructie

- Oteluri pentru rulmenti: 1%C, 1.5%Cr, Mn (mai mult la cele pentru rulmenti grei), Si

- Oteluri pentru arcuri

Nealiate	C intre 0.55 – 0.85% (solicitari reduse)
Aliate	cu Si cel mai bun raport R / A
	pentru solicitari medii
	cu Cr si V pentru solicitari mari;

### Oteluri cu proprietati fizico-chimice speciale

Oteluri inalt aliate (continut de elemente de aliere > 5%)

Simbolizare SR EN 10027 – 1:1996 X N E<sub>1</sub>E<sub>2</sub> N<sub>1</sub> – N<sub>2</sub>

N - continutul de carbon (sutimi procent); E<sub>2</sub>, E<sub>1</sub> – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii; N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> – continutul elementelor E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> in procente

Ex. X 5 CrNi 18-10

(+G pentru otelurile turnate); Ex. G X 3CrNi 18-8

#### Oteluri inoxidabile

Oteluri rezistente la coroziune (atmosferica si in alte medii)

Contin peste 12% Cr dizolvat in solutie solida (austenita, ferita, martensita)

Rezistent la coroziune datorita formarii peliculei protectoare de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

In functie de structura de normalizare	Austenitice	Cr-Ni, cele mai rezistente la coroziune
	Martensitice	Cr – Ni, autocalibile, R maxim
	Feritice	Cr (peste 13%), cele mai ieftine

#### Oteluri refractare

Oteluri rezistent la temperaturi ridicate (in general, maximum 650 – 700°C)

Refractaritate = stabilitatea proprietatilor mecanice  
 stabilitate structurala: elemente care formeaza carburi intergranulare  
 stabilitate chimica: elemente care formeaza straturi oxidice protectoare  
 Cr, Al, Si

In functie de structura de normalizare:

Austenitice Cr-Ni, mai mult carbon decat cele inoxidabile  
 + elemente stabilizatoare (formeaza carburi stabile): Ti, Mo, ...

Martensitice Cr – Ni + Al, Mo, Si

Feritice (cu carburi) Cr (pana la 30%)  
 ieftine, rezistent scazuta

#### Oteluri rezistente la uzare (manganoase, Hadfield)

Oteluri turnate cu continut mare de Mn (11.4 – 14.5%)

Structura austenitica supraincalzita, ecruisare puternica in timpul uzarii



*Rezistenta la coroziune:* buna in atmosfere corozive, acizi organici, apa (si de mare)

ATENTIE – coroziune electrochimica !!!

Cauza rezistentei la coroziune: stratul oxidic ( $Al_2O_3$ ) aderent, stabil, impermeabil

*Impuritati:* Fe ( $Al_3Fe$  la limitele de graunti) , Si (ca impuritate, dizolvat)

### Aliaje cu baza aluminiu

Clasificare

A. Aliaje de turnatorie

B. Aliaje deformabile

B.1 care nu se intaresc si durifica prin T.T.

B.2 care se intaresc si durifica prin T.T.

In general, aliajele deformabile nu contin eutectice; cele de turnatorie sunt in general aliaje cu eutectic (cel mai des hipoeutectice).

#### A. Aliaje de turnatorie

Au fluiditate buna si contractie mica de solidificare

Cea mai buna turnabilitate: Al – Si (siluminuri)

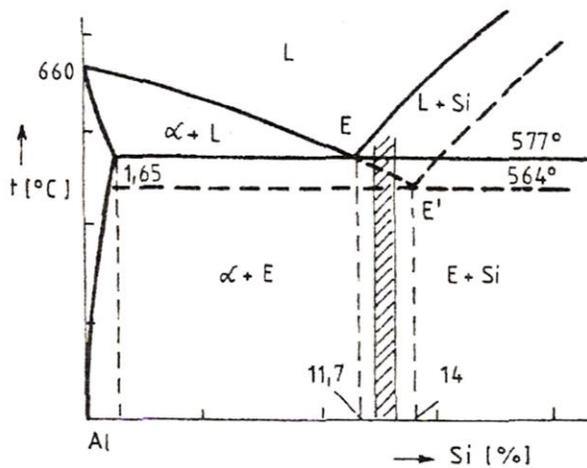
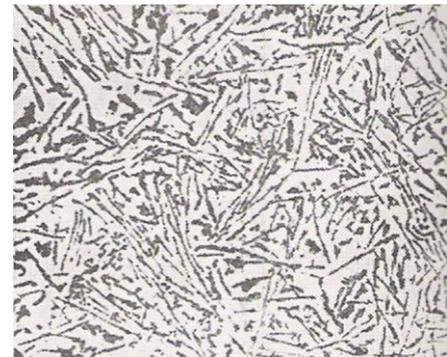
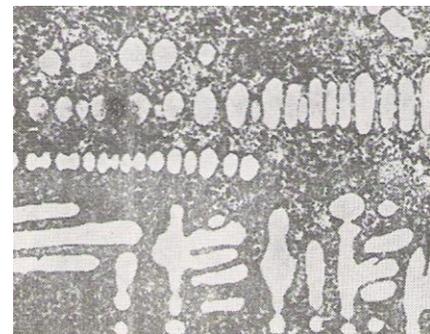


Diagrama Al - Si



Silumin eutectic nemodificat



Silumin hipoeutectic (9% Si) modificat

Aliaje hipoeutectice:  $\alpha + E$

Aliaje hipereutectice: Si (foarte fragil) + E

Siluminurile se modifica pentru obtinerea unui eutectic fin (fibre in loc de lamele)

Modificator: Na (NaF, NaCl) – sub 0.02%

Efect secundar: eutecticul la 13 – 14%

12% Si:  $R_m = 180 - 200$  MPa;  $A = 5 - 8$  %

Prin aliere (Cu, Mg) aliajele se pot trata termic  $\rightarrow R_m > 250$  MPa

Alte aliaje de turnatorie: Al – Cu (mai ales si cu alte elemente), Al – Zn, Al – Mg, ...

Cele mai rezistente aliaje de aluminiu pentru turnatorie: Al – Zn – Mg – Cu ( $R_m > 700$  MPa)

### **B.1 Aliaje deformabile care nu se intaresc / durifica prin TT**

Aliaje monofazice (in general), cu plasticitate f. buna (profiluri laminate, piese extrudate / ambutisate, ...): Al tehnic, Al – Mn (max. 1.6%), Al – Mg (max. 7%)

### **B.2 Aliaje deformabile care se intaresc / durifica prin TT**

Aliaje in care la echilibru se formeaza compusi secundari care la cald se dizolva in solutia solida.

Tratamentul termic dublu:

1. calire pentru punere in solutie (aducerea solutiei solide la temperatura ambienta);
2. imbatranire (intarire / durificare prin precipitarea unor faze afara de echilibru)  
    naturala – la temperatura ambienta  
    artificiala – prin incalzire;

Duraluminurile – aliaje tipice

Aliaje Al – Cu – Mg – Mn: 2 – 5.2% Cu; 0.2 – 1.8% Mg; 0.2 – 1.2% Mn

Efect elemente de aliere:      Cu – cresterea rezistentei prin TT dar scaderea rezistentei la coroziune  
   Mg – cresterea rezistentei prin TT dar si a duratei de omogenizare  
   Mn – eliminarea efectului negativ al Fe

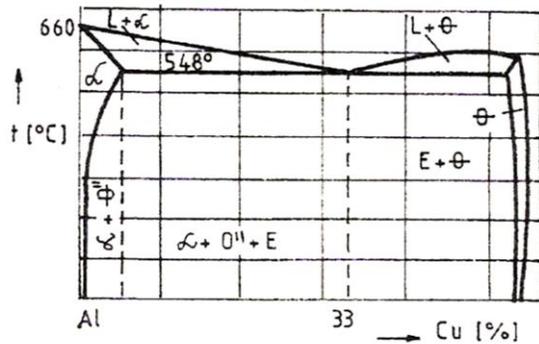


Diagrama de echilibru Al - Cu

Pentru TT: compusi solubili in  $\alpha$   
 $\theta - Al_2Cu$

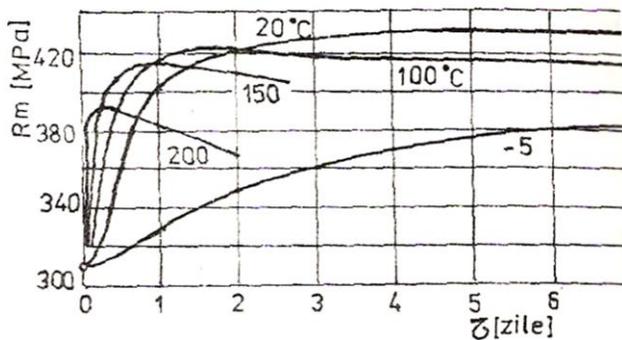
Fazele cu Mg

Prin calire: structura  $\alpha$  (plasticitatea maxima),  
 stabila in primele 2-3 ore

In timpul imbatranirii se formeaza pre-  
 precipitate (zone Guinier-Preston) care  
 tensioneaza retea  $\rightarrow$  rezistenta / duritate

Prin incalzire se pierd tensiunile (SUPRAIMBATRANIRE)  
 $\rightarrow$  pierderea rezistentei / duritatii

Analiza imbatranirii: *curbe de imbatranire*



Curbe de imbatranire pentru AlCu4MgMn

Dezavantajele duraluminurilor:

- rezistenta mica la corozie (sub tensiuni)
- fragilitate la sudarea prin topire
- tensiuni reziduale mari dupa TT

Aliaje care nu prezinta ac. dezavantaje:

- Al - Zn - Mg
- Al - Mg - Si

### Standardizarea aliajelor de aluminiu

**SR EN 1780** – aliaje de turnatorie:

EN AX  $x_1x_2x_3x_4x_5$ , unde X=B (lingou), C (piese turnate), M – (prealiaj);

$x_1$ =grupa de aliaje: 1. aluminiu minim 99%; 2. Al-Cu; 4. Al-Si; 5. Al-Mg; 7. Al-Zn

$x_2$ =grupa de aliere; Ex. 41xxx = Al-Si-Mg-Ti

**SR EN 573** – aliaje deformabile

EN AW  $x_1x_2x_3x_4$

$x_1$ =grupa de aliaje: 1. aluminiu minim 99%; 2. Al-Cu; 3. Al-Mn; 4. Al-Si; 5. Al-Mg; 6. Al-Mg-Si;

7. Al-Zn; 8. alte elemente

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Care este in oteluri efectul cromului, nichelului si manganului?
2. Care este in oteluri efectul wolframului, molibdenului si vanadiului?
3. Ce tip de otel este 15Cr4?
4. Dintre otelurile 35NiCr6 si 39NiCrMo3, care este mai sensibil la fragilitatea de revenire?
5. Care este conditia ca un otel sa fie inoxidabil?
6. Care este cauza pentru care un otel inoxidabil este rezistent la coroziune?
7. Prin ce difera otelurile austenitice refractare de cele austenitice inoxidabile?
8. Ce conditii trebuie sa indeplineasca un otel refractar? Cum se realizeaza?
9. Ce solutie solida trebuie sa apara in structura ambienta a unui otel inoxidabil care poate fi folosit pentru cutite?
10. Care este elementul de aliere in otelurile inalt rezistente la uzare? Care este mecanismul de obtinere a rezistentei la uzare?
11. De ce otelul C120U nu poate fi folosit pentru cutite de strung destinate aschierii otelului?
12. Prin ce difera structura de utilizare a unui otel pentru scule de deformare la rece de cea a unui otel pentru scule de deformare la cald?
13. Care este efectul W si Mo in otelurile rapide?
14. Care sunt caracteristicile aluminiului?
15. Cum se comporta aluminiul la coroziune?
16. De cate tipuri sunt aliajele aluminiului?
17. Care aliaje de aluminiu au cea mai buna turnabilitate?
18. De ce se efectueaza modificarea siluminului? Cu ce se realizeaza? Care este efectul structural al modificarii? Dar asupra proprietatilor?
19. Care sunt etapele tratamentului termic al aliajelor de aluminiu care se intaresc astfel?
20. Ce sunt duraluminurile? Care este rolul fiecaruia dintre elementele de aliere?
21. Care sunt avantajele si dezavantajele imbatranirii artificiale a duraluminurilor?
22. Care sunt dezavantajele duraluminurilor? Ce aliaje nu prezinta aceste dezavantaje?
23. Explicitati complet simbolurile:  
52CrV4; 16CrMo4-4; 28Mn6; 30CrNiMo8; X100CrMoV5; X38CrMo16; X39CrMo 17-1;  
EN-GJS-800-2; EN-GJMW-550-22; EN-GJL-300; EN-GJMB-700-2;



## PROPRIETATILE MATERIALELOR

**Proprietati**    *mecanice*  
                       *fizice*  
                       *chimice*  
                           *tehnologice*

- Abordare din punctul de vedere al utilizatorului de materiale -

### I. PROPRIETATI MECANICE

Proprietățile mecanice caracterizează răspunsul unor eșantioane de material cu forme și dimensiuni standardizate (epruvete) la solicitări simple, de natură pur mecanică. Unei proprietăți mecanice îi este asociată întotdeauna o valoare numerică.

Clasificarea încercărilor:

A. Dupa tipul solicitarii aplicate

Axiala            *Tractiune*  
                           *Compresiune*  
 Incovoiere  
 Forfecare  
 Rasucire  
 Presiune de contact

B. Dupa modul de aplicare a sarcinii

Statica            *Progresiva*  
                           *Regresiva*  
                           *Oscilanta*  
                           *Constanta*  
 Dinamica        *Soc*  
                           *Modul / orientare variabila*

C. Dupa temperatura

Rece (<0°C)  
*Ambiant*  
 Cald (in general <300°C)

Cea mai utilizata: INCERCAREA LA TRACTIUNE

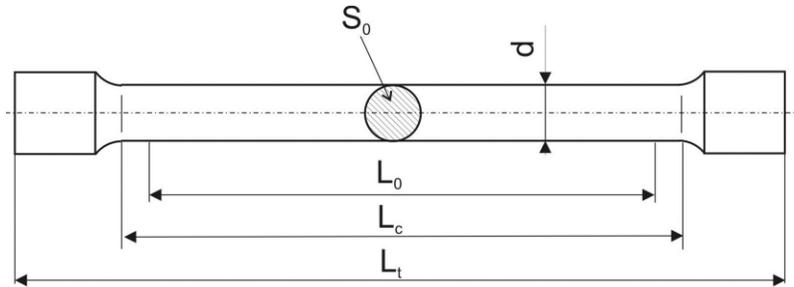


Fig.1 Epruveta cu secțiune rotundă pentru încercarea la tracțiune;  
 $S_0$ -secțiunea inițială;  $L_t$ -lungimea totală;  $L_c$ -lungimea porțiunii calibrate;  
 $L_0$ -lungimea inițială între repere (lungimea măsurată pentru calculul extensiei).

Rezistența mecanică: definită prin reacțiunea cu care materialul se poate opune unui efort la care este supus și se calculează ca raport între forță și secțiunea transversală a epruvetei.

Pentru încercarea la tracțiune: efortul normal  $\sigma = \frac{F}{S}$

$S$  = aria reală; scade continuu

$\sigma$  înlocuit cu rezistența convențională, definită ca raport între forță și secțiunea inițială a epruvetei

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

$$S_0 > S \rightarrow R < \sigma$$

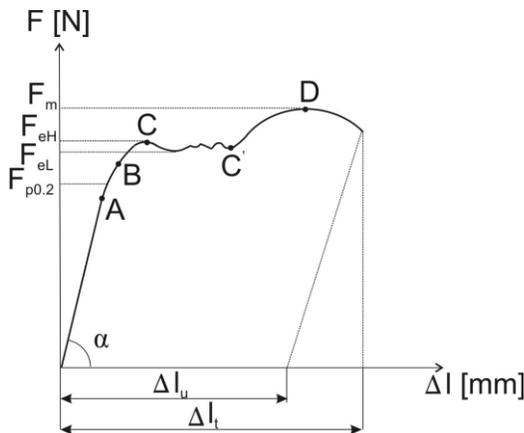


Fig.2 Curba de tracțiune  
 forță - deformație

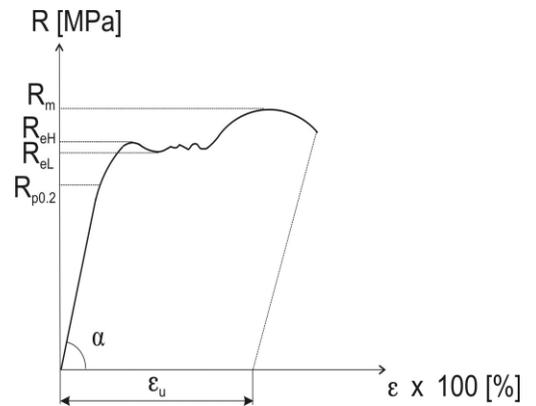


Fig.3 Curba caracteristică  
 la tracțiune a materialului

Zone caracteristice:	deformație elastică	proporțională (O-A) neproporțională (A-B);
	deformație plastică	curgere (B-C') ecruisare (C'-D) gâtuire (D-ruptura)

*Deformația elastică proporțională: legea lui Hooke:*

$$F = \frac{E \times S}{l_0} \Delta l, \quad \sigma = E \times \varepsilon,$$

**Rezistența**                      Rezistența de rupere la tracțiune

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Rezistența de curgere tehnică

Raportul dintre forța care produce o deformare neproporțională prescrisă și secțiunea inițială (cel mai frecvent 0.2%)

$$R_{p0.2} = \frac{F_{p0.2}}{S_0}$$

Performante: metale / compozite > ceramici > polimeri

**Ductilitatea**                      Capacitatea materialului de a se deforma plastic înainte de rupere

(noțiuni conexe: plasticitate, maleabilitate); opusul ductilității = fragilitate

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100 \quad [\%] \qquad Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100 \quad [\%]$$

Performante: polimeri / metale >> ceramici

**Tenacitatea** Masura energiei de rupere a materialului  
(presupune inclusiv rezistenta la socuri)  
Un material tenace: Rezistenta + Ductilitate

Performante: metale / compozite > polimeri >> ceramici

**Rigiditatea** Caracterizeaza modul în care se opun materialele *deformării elastice*  
sub actiunea fortelor exterioare

$$E = tg \alpha$$

Performante: compozite / multimateriale > ceramici / metale >> polimeri

**Duritatea** Capacitatea materialelor de a se opune patrunderii penetratorilor exteriori

Cel mai frecvent se masoara static

Mohs – minerale (ceramici)

Knoop – toate categoriile

Brinell (HB), Rockwell(HRB, HRC,...) – metale

Vickers – metale, ceramici

Shore – polimeri

Performante: ceramici > metale >> polimeri

## II. PROPRIETATI FIZICE

**Densitatea** Performante: metale (Os) > ceramici > polimeri

**Conductivitatea electrica**  $\sigma$

Metale: conductori Ag – Cu – Au – Al - ... – Mn

Ceramici: izolatori (general);

exceptii: C, semiconductori, unii supraconductori

Polimeri: izolatori (general)

exceptii: polimeri conductori

**Conductivitatea termica**  $\lambda =$  energia termică transferată prin material pentru a crește cu un grad temperatura la o distanță de 1 m în timp de 1 s;

In general similar cu  $\sigma$

metalele: conductori Au – Cu – Ag – Al - ....

ceramici, polimeri: izolatori

**Coefficientul de dilatare termica (liniara)**

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta t) \text{ (aproximativ)}$$

In general: polimeri / metale > ceramici  
 exceptii: aliaj invar

**Proprietati magnetice**

$\chi_m$  = susceptibilitatea magnetica;  
 $\mu$  = permeabilitatea magnetica

Metale      diamagnetice ( $\chi_m < 0$ ) (Cu, Ag, Au, ...)  
               paramagnetice ( $\chi_m > 0$ , mic) (Fe $\gamma$ , Al, Ti, ...)  
               feromagnetice ( $\chi_m \gg 0$ ) (Fe $\alpha$ , Ni, Co, sub temperatura Curie)

III.      **PROPRIETATI CHIMICE** numai d.p.d.v. al utilizarii

Esential:

stabilitatea chimica      Timp (problema la polimeri)  
   Caldura + alte radiatii (problema la polimeri)  
   Medii agresive (problema la polimeri si metale)

Metale: coroziune      chimica      reactie cu agenti puternic oxidanti  
   electrochimica      reactie redox in mediu electrolitic  
   metalul care se oxideaza – anod

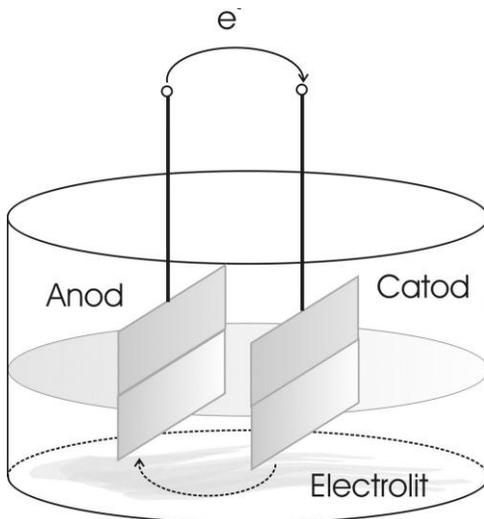
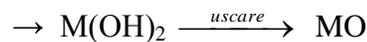
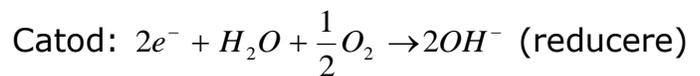
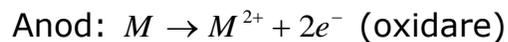


Fig. 4 Celula de coroziune electrochimică



MO – pelicula protectoare daca e stabila chimic  
 aderenta  
 impermeabila

Exemple: Al, Ti, oțel inoxidabil

Cauza polarizarii: diferenta de potential de electrod

Potential „0” de referinta – „electrodul normal de hidrogen”

reactia  $H_2 \Leftrightarrow 2H^+ + 2e^-$  la echilibru, presiunea H = 1 atm.

Metal	Au <sup>+</sup>	Pt <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cu <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ti <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>
Potențial standard [V]	1,692	1,18	0,799	0,521	0	-0,257	-0,28	-0,447	-0,744	-0,76	-1,37	-1,66

$Me_1 / Me_2 = \text{anod} / \text{catod}$     daca     $V_1 < V_2$     si    contact electric  $Me_1 - Me_2$

→  $Me_1$  se corodeaza daca  $Me_1O$  nu e protector

### PROPRIETATI TEHNOLOGICE

Proprietati generale care caracterizeaza modul in care un material se poate prelucra prin diverse tehnologii – turnare, deformare, aschiere, sudare, ...

Exemple:    Turnabilitate  
                   Aschiabilitate  
                   Deformabilitate  
                   Sudabilitate...

**ÎNTREBĂRI DE AUTOEVALUARE**

1. De cate tipuri sunt incercarile mecanice?
2. Care este diferenta dintre rezistenta reala si cea conventionala?
3. Care este unitatea de masura a rezistentei mecanice?
4. Prin ce difera deformatia elastica proportionala de cea neproportionala?
5. Care sunt domeniile de deformare plastica?
6. Ce este ductilitatea? Care este opusul acesteia? Ce inseamna casant?
7. Definiti tenacitatea si rigiditatea.
8. In timpul incercarii la tractiune a unei epruvete cu diametrul calibrat initial de 10 mm, forta maxima inregistrata a fost de 3000 daN. Care este rezistenta de rupere la tractiune a materialului epruvetei?
9. Comentati afirmatiile urmatoare:
  - Ceramica este fragila dar nu neaparat casanta;
  - Un otel de scule este casant;
  - Tenacitatea este rezistenta la socuri a materialului;
  - Cauciucul este ductil;
  - Un aliaj tenace este si ductil;
  - Un aliaj ductil este si tenace.
10. Otelurile sunt mai rigide decat aliajele de aluminiu. Care este mai inclinata dintre portiunile de inceput ale curbelor caracteristice?
11. O duritate mare implica si o rezistenta pe masura?
12. Care este metalul cel mai bun conductor electric? Dar termic?
13. Care este cel mai greu metal? Dar cel mai usor?
14. Cu cat se alungeste o bara din cupru incalzita la 400°C daca la 20°C are o lungime de 300mm?
15. Doua probe din Fe $\alpha$  sunt introduse intr-un camp magnetic constant, una la 20°C, alta la 800°C. Care se magnetizeaza mai intens?
16. Care sunt tipurile de coroziune si prin ce difera ele?
17. Care sunt dezavantajele polimerilor din punctul de vedere al stabilitatii chimice?
18. O proba de aluminiu si una de cupru intre care se realizeaza un contact electric sunt introduse in apa industriala. Care se va coroda si ce se va obtine la anod? Dar in cazul in care in loc de aluminiu se introduce o proba din argint?

## LEGATURILE INTERATOMICE

Proprietatile materialelor – determinate de structura la nivelul aranjamentelor atomice, cauzata de legaturile interatomice

Exemple:      Metalele – conductori  
                  Ceramicile - izolatori

Legaturile interatomice      Legaturi tari  
   Legaturi slabe

### 1. LEGATURI TARI

#### 1.1 LEGATURA IONICA

Se stabileste la diferente mari de electronegativitate; are loc prin schimb de electroni

→ caracter ionic

→ grad minim de mobilitate a electronilor



#### 1.2 LEGATURA COVALENTA NEPOLARA

Intre atomi de acelasi fel, practic fara diferenta de electronegativitate;

Se realizeaza prin partajarea electronilor de valenta → mobilitate mica a electronilor

Esentiala la polimeri ( -C-C-)

#### 1.3 LEGATURA METALICA

Intre atomi ai metalelor (diferenta mica de electronegativitate);

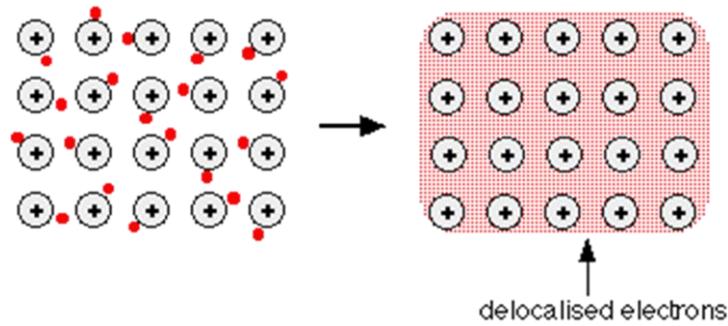
Tot prin partajarea electronilor de valenta – intre toti atomii (niveluri energetice suprapuse)

→ ioni pozitivi

Formeaza retele cristaline

Mobilitate mare a electronilor

Model: retea ionica, „gaz” de electroni de conductie



*Modelul clasic al legaturii metalice*

Consecinta - starea metalica:

luciu metalic  
 conductivitate electrica / termica  
 cresterea rezistivitatii cu temperatura  
 emisie termoelectronica

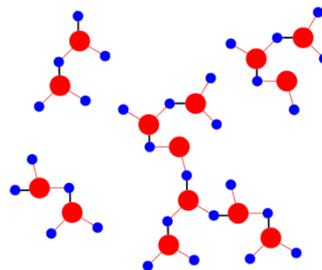
## 2. LEGATURI SLABE

### 2.1. LEGATURA COVALENTA POLARA

Intre un atom cu electronegativitate relativa mare si unul cu  $\chi$  mai mic  
 Exemplu: polimeri C – O – C

### 2.2. LEGATURA DE HIDROGEN

Intre atomi puternic electronegativi (O, N, F) dintr-o molecula si un atom de hidrogen legat covalent de atomi puternic electronegativi in alta molecula.  
 Importanta in polimeri – legare transversala



**2.3. LEGATURA VAN DER WAALS**

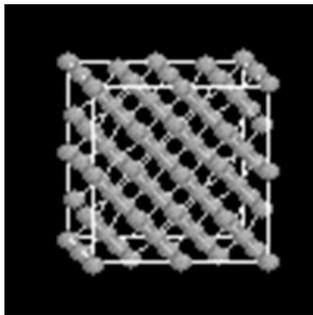
Cauzata de polarizarile de scurta durata ale atomilor prin miscarea electronilor in jurul nucleului;

Exemple: polimeri (polietilena)  
 imbinarea metal / ceramica – polimeri

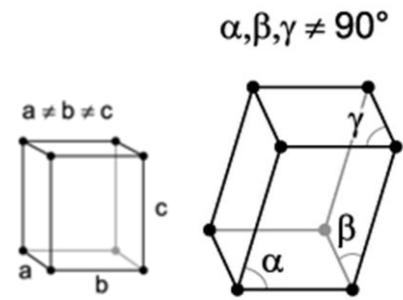
**STRUCTURA CRISTALINA**

Ordine in materiale: apropiata (in jurul unui atom)  
 la distanta

Materiale	Cristaline	ordine apropiata + la distanta	Ex.: metale, unele ceramici
	Amorfe	numai ordine apropiata	Ex.: polimeri, sticle



*Cristal tridimensional*



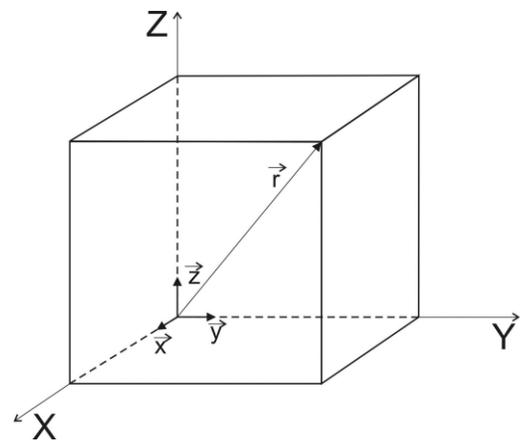
*Parametrii cristalini*

In cristallul tridimensional ideal  $\vec{r} = a\vec{x} + b\vec{y} + c\vec{z}$

Cristallul 3D constituit din plane cristalografice

Celula cristalina: unitatea structurala care pastreaza caracteristicile cristallului 3D. Prin repetare pe cele 3 axe se genereaza cristallul.

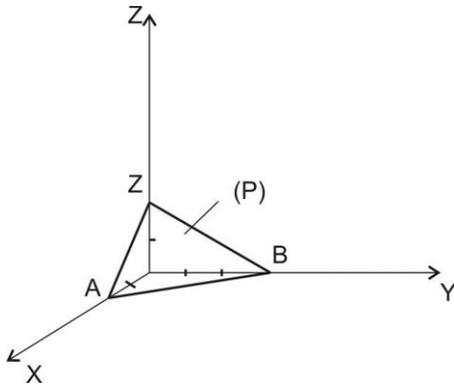
Celula elementara: cea mai mica formatiune 3D de atomi care prin repetare genereaza retea. (diferente la sistemul hexagonal)



*Nod in cristall ideal*

**Notatii cristalografice. Indicii Miller**

**Plane**



(P): A, B, C >>> OA, OB, OC

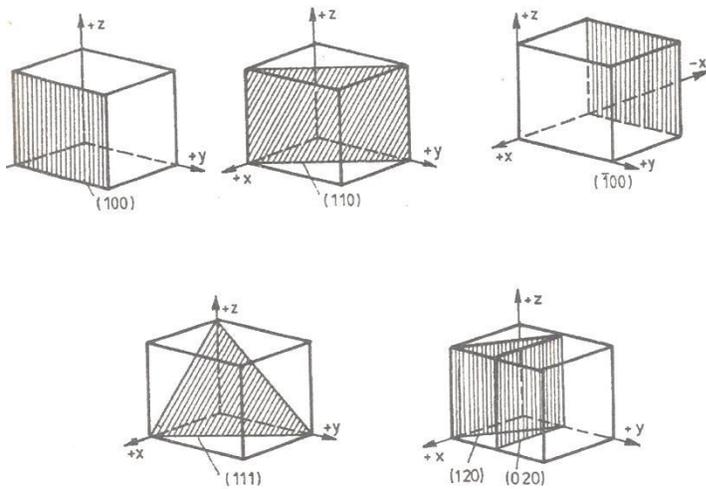
Problema: OA / OB / OC → ∞ ?

Solutie:

↓  
Numitor comun → numai numarator

Ex.  $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{6}, \frac{2}{6}, \frac{3}{6} \rightarrow (323)$

*Plan cristalografic*

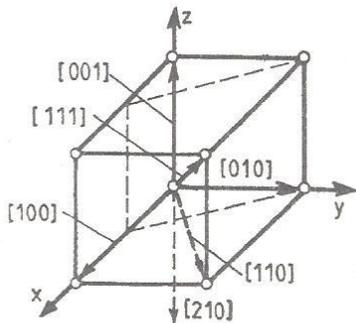


Pt. valori negative:  $\bar{1}, \bar{3}, etc.$

**Familii de plane {xyz}:**

Totalitatea planelor cu aceleasi proprietati dintr-o celula

Ex.: Fetele cubului {100}



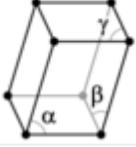
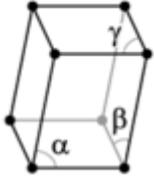
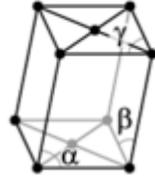
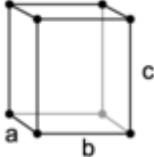
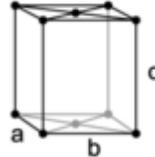
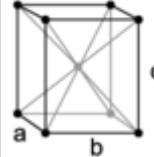
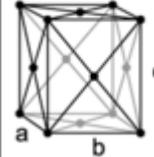
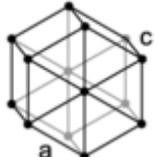
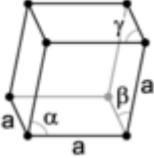
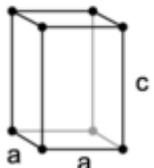
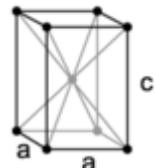
**Directii**

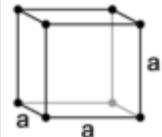
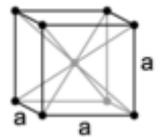
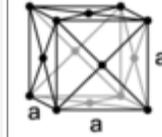
Exprimarea directiilor: 2 variante  
indicii Miller ai planului perpendicular  
proiectiile pe axe (din origine)

**Familii de directii <xyz>:**

$[111] \rightarrow \langle 111 \rangle$

Sisteme cristaline: *rețelele Bravais* 7 fundamentale  
 7 derivate de baza – atomi in centrele volumelor / fetelor  
 + alte sisteme derivate (atomi in alte pozitii)

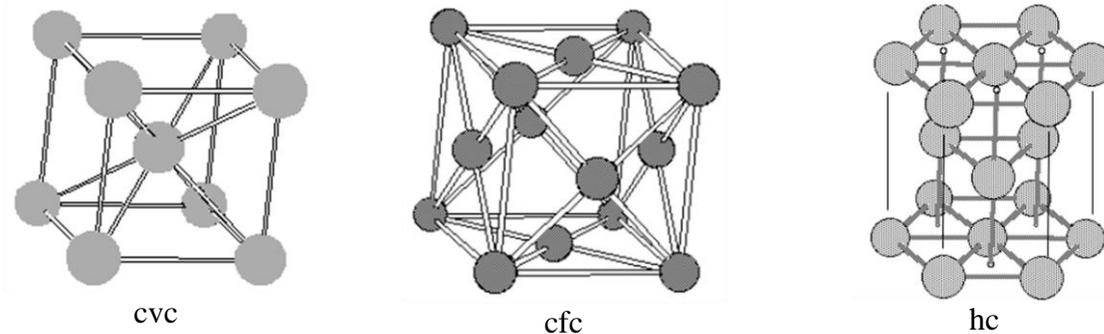
Sistem cristalin	Celule elementare			
triclinic	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
monoclinic	simplicu	centrat		
	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 		
ortorombic	simplicu	baze centrate	volum centrat	fete centrate
	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
hexagonal	$a \neq c$ 			
romboedric (trigonal)	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
tetragonal	simplicu	volum-centrat		
	$a \neq c$ 	$a \neq c$ 		

	simplicu	volum centrat	fete centrate
cubic			

Metale: Cubic cu volum centrat (cvc) – Fe $\alpha$ , Cr, W, V, Mo, Ti $\beta$ , ...  
 Cubic cu fete centrate (cfc) – Fe $\gamma$ , Al, Cu, Au, Ag, ...  
 Hexagonal compact (hc) – Zn, Mg, Ti $\alpha$ , ...

*Alotropie* (pentru metale) = proprietate de a cristaliza in sisteme diferite; trecerea de la o stare alotropica la alta – *transformare alotropica*

Exemplu: Fe $\alpha$ (cvc)  $\xleftrightarrow{912}$  Fe $\gamma$ (cfc)



*Sistemele cristaline ale metalelor*

Plan de alunecare: plan cu numar maxim de atomi in interiorul celulei  
 (plan de densitate atomica maxima)

deformatiile in cristal au loc in principal in planele de alunecare  
 numar mare de plane de alunecare → plasticitate buna

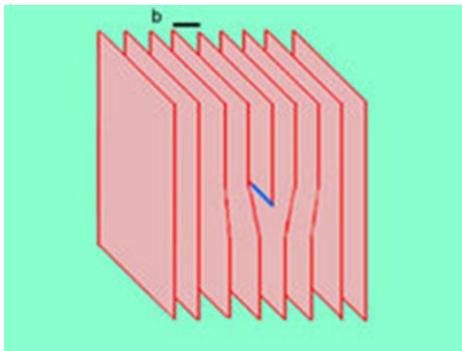
cfc (8) {111} – cea mai buna plasticitate, rezistenta / duritate mica  
 cvc (6) {110} – plasticitate mai scazuta, rezistenta / duritate mare  
 hc (2) (planele de bază) – plasticitate scazuta

## STRUCTURA CRISTALELOR REALE

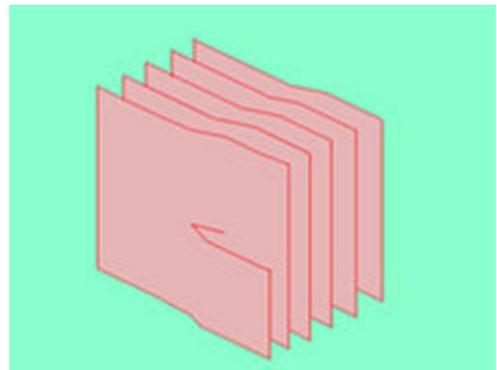
### Defecte ale cristalelor:

1. punctiforme      simple      vacante, atomi interstitiali  
  complexe
2. LINIARE    **DISLOCATII**
3. de suprafata defecte de impachetare

Dislocatiile – determina plasticitatea metalelor; deformarea plastica este terminata de deplasarea dislocatiilor in planele de alunecare



*Dislocatie marginala*



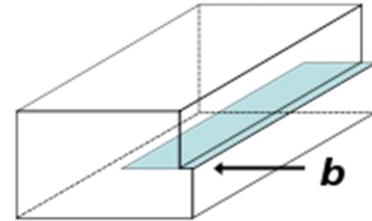
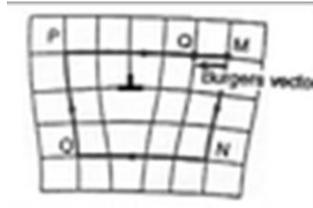
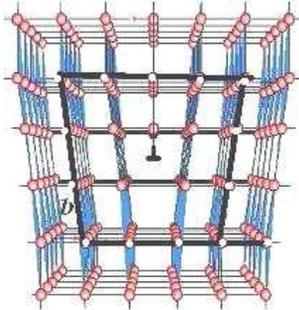
*Dislocatie elicoidala*

In cristal – numar mare de dislocatii (unele de la solidificare, celelalte prin deformare) care se deplaseaza sub actiunea eforturilor

Rezistenta teoretica  $>1000 \times$  Rezistenta reala a metalelor

**DISLOCATII**

**Dislocații marginale**



a.

b.

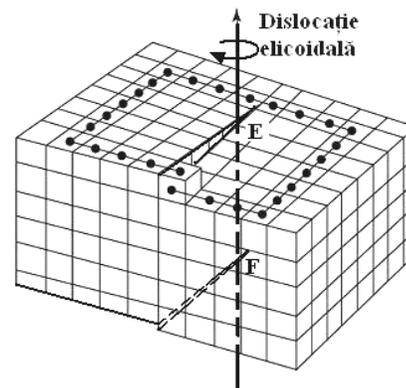
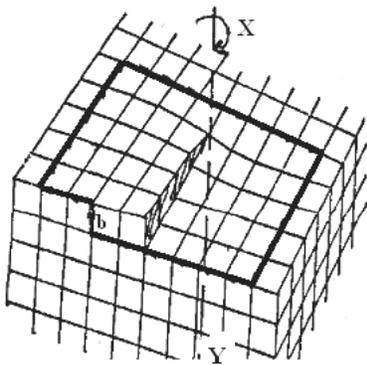
c.

*Dislocație marginală; a – plane de alunecare și semiplan suplimentar în monocristal; b – circuit Búrgers; c – zonă parcursă în planul de alunecare de dislocația marginală în timpul deformării*

$\vec{b}$  = vector Búrgers(de alunecare)

→  
 $b \perp$  dislocatia marginala >>> mobilitate minima

**Dislocații elicoidale**



→  
 $b \parallel$  dislocatia elicoidala >>> mobilitate maxima

**ÎNTREBĂRI DE AUTOEVALUARE**

1. De cate tipuri sunt legaturile interatomice?
2. Cum se realizeaza si de ce tip este legatura in cadrul compusului CsF?
3. Prin ce difera legatura covalenta polara de cea nepolara?
4. Care sunt materialele in care legatura covalenta nepolara este esentiala?
5. Care sunt caracteristicile legaturii metalice? Dar ale starii metalice?
6. Ce legatura se stabileste in cazul apei?
7. Definiti un cristal tridimensional.
8. Ce fel de ordine apare in cazul sticlelor?
9. Care este diferenta intre celula elementara si celula cristalina? In cadrul carui sistem este semnificativa aceasta diferenta?
10. Care sunt parametrii cristalografici in cazul sistemului c.v.c? Dar c.f.c.? Dar h.c.?
11. Cate plane de alunecare prezinta sistemul c.f.c.? Cum se definesc geometric?
12. Scrieti indicii Miller ai tuturor planelor familiei planelor de alunecare in sistemul c.f.c. si in c.v.c.
13. Scrieti indicii Miller ai directiilor de densitate atomica maxima in planul (111) si in planul (101).
14. Cate plane de alunecare prezinta sistemul c.v.c.? Cum se definesc geometric?
15. Prin ce difera  $F_{e\alpha}$  de  $F_{e\gamma}$ ?
16. Ce sistem de cristalizare au cele mai ductile metale?
17. Ce este transformarea alotropica?
18. De cate tipuri sunt defectele cristalelor? Care sunt cele mai importante pentru proprietatile mecanice?
19. Ce sunt si de cate tipuri sunt dislocatiile?
20. Ce este vectorul Burgers? Cum se determina?
21. Care sunt cele mai mobile dislocatii? Care este consecinta mobilitatii acestora?

## CRISTALIZAREA METALELOR

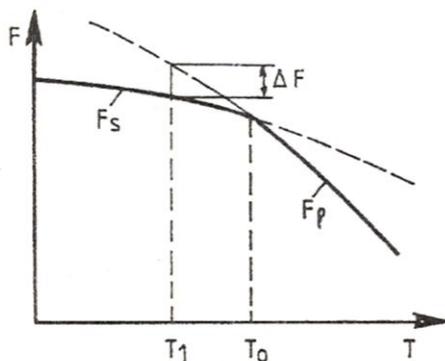
**Topirea:** Trecerea corpurilor de la stare solida la stare lichida (de obicei prin incalzire)  
Prin ruperea partiala a legaturilor interatomice

Materiale cristaline stricarea ordinii la distanta  
temperatura bine definita (*temperatura de topire*)

Materiale amorfe se trece prin stare vascoasa

Se absoarbe *caldura latentă de topire*

**Criztalizarea:** Formarea structurii cristaline. Solidificarea materialelor cristaline.  
Determinata de sensul scaderii energiei libere in sistem  
Se degaja caldura latentă de solidificare



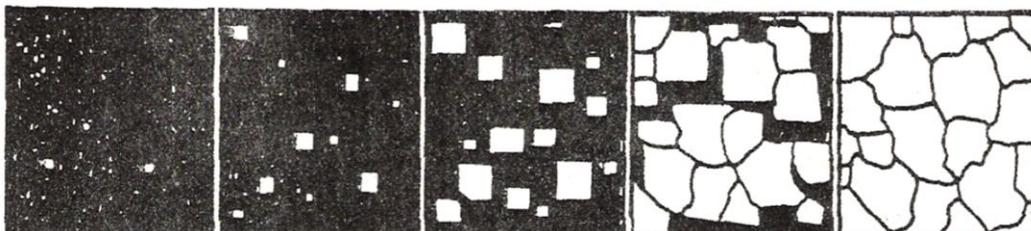
La racirea sub  $T_0$ :

$$F_{\text{faza solida}} < F_{\text{faza lichida}}$$

Cand  $\Delta F$  e suficient de mare – solidificare  
→ solidificare nu la  $T_0$  ci la  $T_1$   
(depinde de viteza de racire)

*Variatia energiei libere la solidificare*

**Procesul cristalizării** are loc in 2 etape: I. Germinarea (formarea germenilor cristalini)  
II. Cresterea germenilor cristalini



I.

II.

*Procesul cristalizării: I. Germinare; II. Cresterea germenilor si formarea structurii*

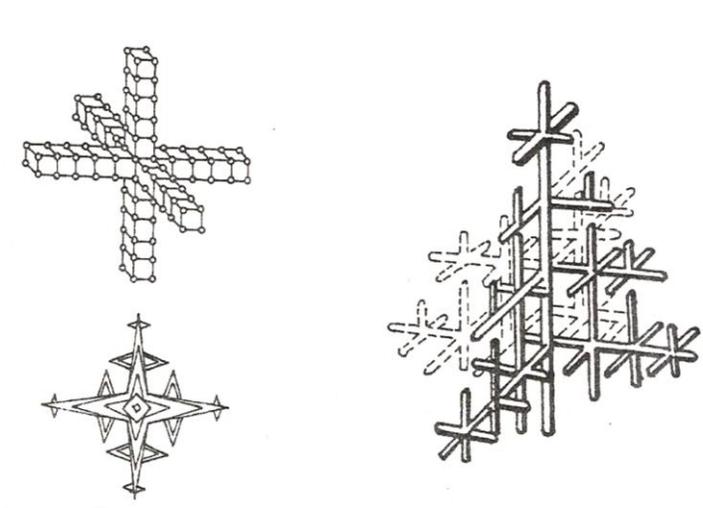
I. Germeni cristalini = particule solide de mici dimensiuni de unde incepe procesul de cristalizare

Germeni omogeni grupuri de atomi de aceeași natură cu topitura  
 eterogeni particule solide de altă natură (în general ceramica)

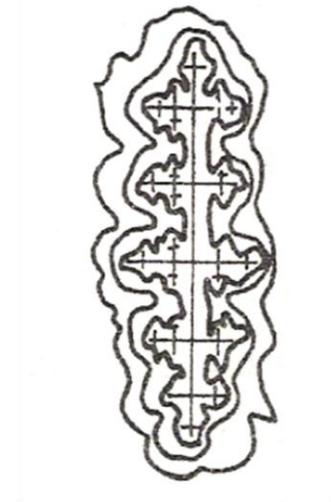
Germinarea eterogena este mult mai probabilă decât cea omogenă

II. Prin creșterea germenilor viabili se formează *agregatul policristalin* – microstructura

De obicei creșterea este *dendritică*

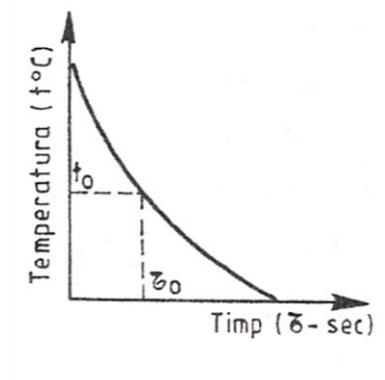


Schema formării dendritelor

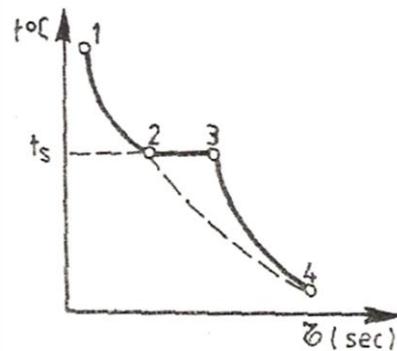


Secțiune în dendrită

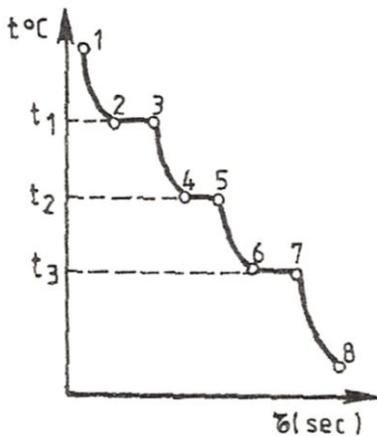
Analiza transformărilor la răcire – curbe de răcire: temperatura = f (timp)



Curba de răcire a unui corp (fără transformări de fază) - exponențială -

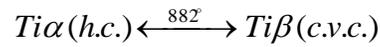


Curba de răcire a unui metal pur (cristalizare la t<sub>s</sub>) - palier



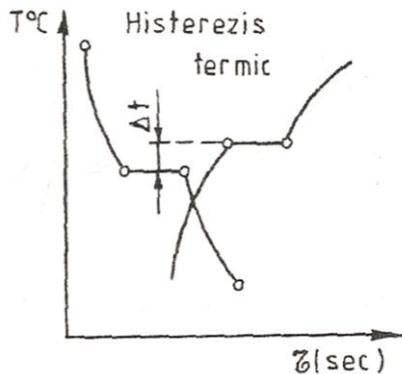
Puncte critice = temperaturi la care au loc transformari in stare solida

*Exemplu:* transformari alotropice

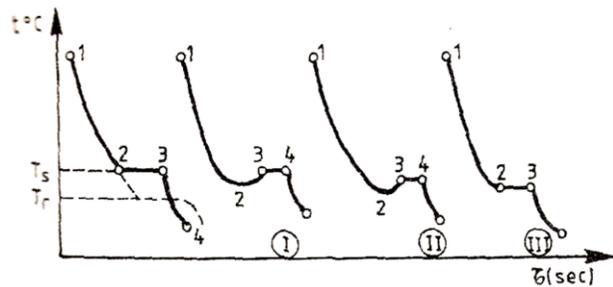


NU INCLUD TEMPERATURA DE CRISTALIZARE

*Curba de racire pentru un metal cu 2 transformari alotropice*



*Curba de racire / curba de incalzire pentru un metal*

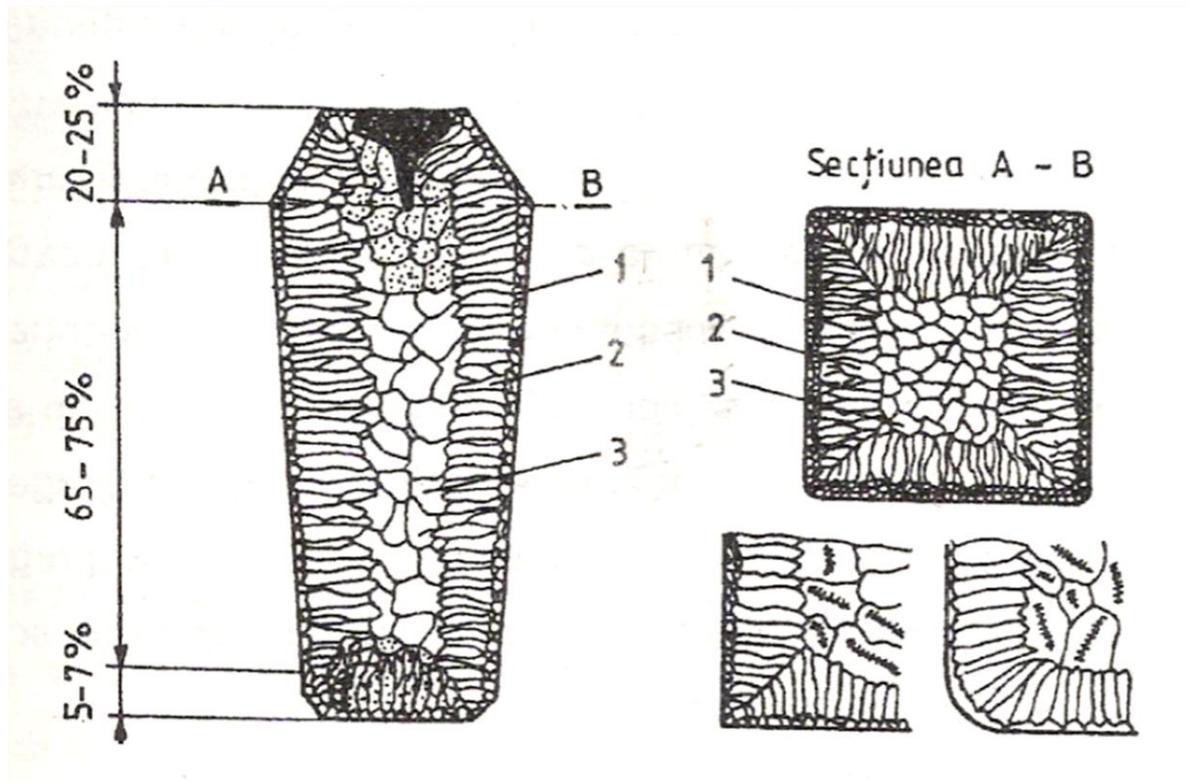


*Fenomenul supraracirii*  
0 – caz teoretic;  $v_I < v_{II} < v_{III}$

Grad de supraracire:  $\Delta T = T_s - T_r$

Elaborarea aliajelor : obtinerea compozitiei chimice dorite (de obicei in stare topita)

Dupa elaborare, aliajele se toarna in lingotiera → LINGOU



*Structura lingoului; partea superioara = maselota*

*1 – zona graunților marginali; 2 – zona cristalitelor columnare; 3 – zona cristalitelor centrale*

1 – zona graunților marginali:

racire foarte rapida (exterior)  
structura fina, echiaxiala

2 – zona cristalitelor columnare:

gradient de temperatura interior (temperatura mare) → exterior (temperatura mai mica)  
cristalite grosolane, alungite

3 – zona cristalitelor centrale

viteza foarte mica de racire, temperatura relativ uniforma  
cristalite echiaxiale, grosolane

### **Defectele lingoului**

1. Retasura – gol rezultat prin contractia de solidificare

superioara

in maselota  
defect de principiu

centrala

defect accidental

dispersata

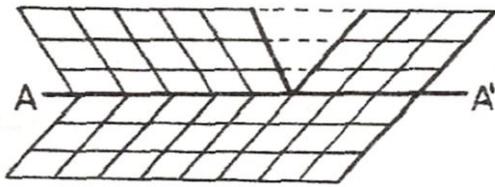
defect accidental



Comportamentul la deformarea plastica – determinat de numarul de variante de alunecare

Metale: c.f.c. – 8 plane de alunecare: {111}  
 c.v.c. – 6 plane de alunecare: {110}  
 h.c. – ~ 2 plane de alunecare: planele de bază

I.2 Deformarea prin maclare = despicarea rețelei cristaline dupa un plan, rezultand zone simetrice  
 → macle



Deformarea prin maclare

Deformari mari prin maclare, mici prin alunecare

Rezulta o reorientare a rețelei (propice pt. metalele cu plane putine de alunecare – h.c.)  
 → noi orientari de plane de alunecare  
 → poate continua deformarea



a.



b.



c.

a – macle mecanice  
 (de deformare)  
 h.c., c.v.c. (rece)

b – macle de recoacere  
 c.f.c.

c – macle de crestere  
 c.f.c.

Tipuri de macle

## II. Deformarea agregatului policristalin

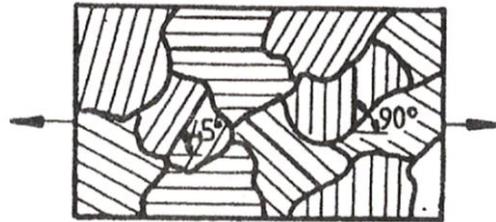
Agregat policristalin – ansamblu de cristalite cu orientare diferita a rețelei

Deformare: fiecare graunte dupa orientarea proprie + deformari la limitele de graunte

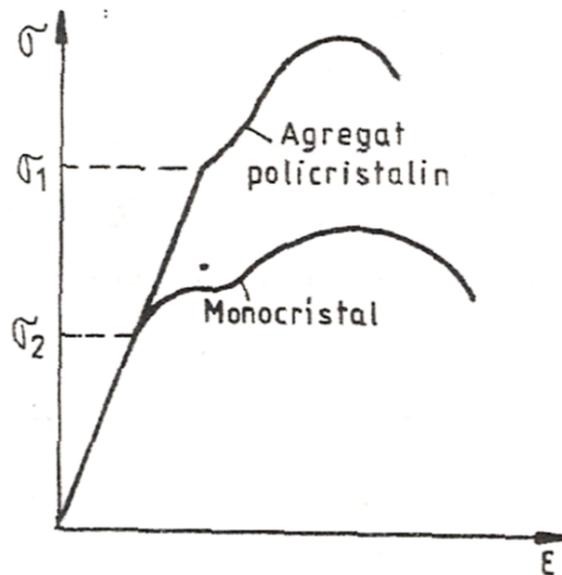
Orientarea cea mai favorabila: 45° fata de axa de solicitare

Orientarea cea mai defavorabila: 0° sau 90°

Interactiuni graunte deformat – graunte nedeformat (prin limitele de graunte) → reorientarea partiala a rețelei in grauntii cu orientare nefavorabila → deformare continua



*Orientarea cristalitelor fata de axa de deformare*



*Curba caracteristica la tractiune pt. monocristal / policristal*

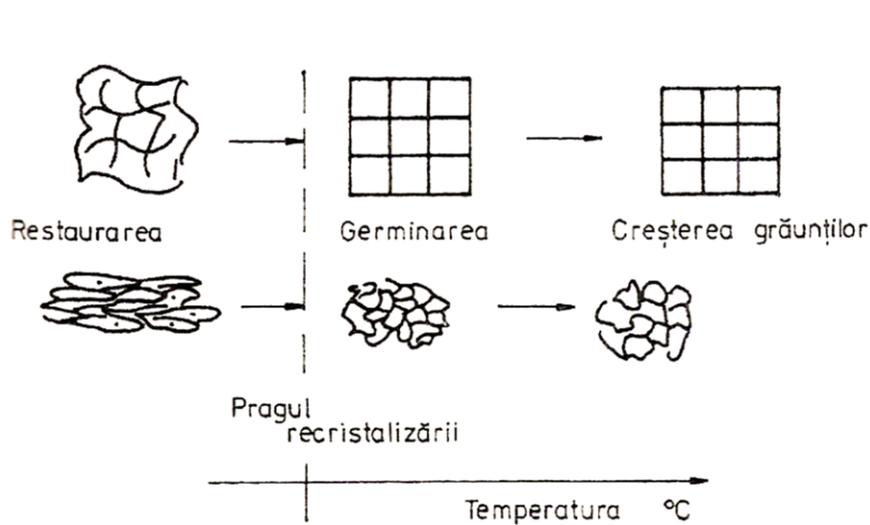
Agregatul policristalin este mai rezistent decat un monocristal cu aceeasi compozitie

**ÎNTREBĂRI DE AUTOEVALUARE**

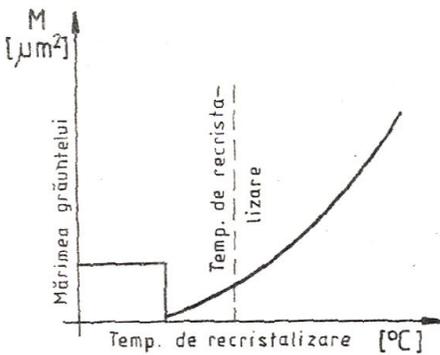
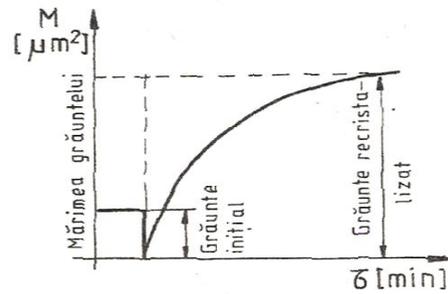
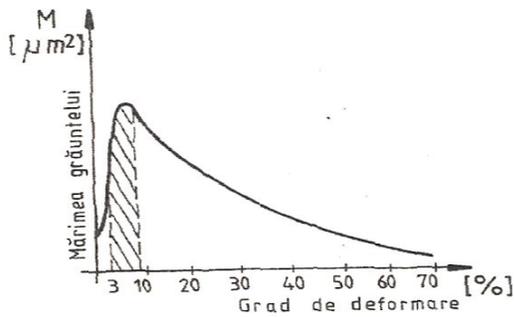
1. Care este diferenta de comportament la solidificare intre materialele cristaline si cele amorfe?
2. Care sunt etapele procesului de cristalizare?
3. Care este diferenta intre germinarea eterogena si cea omogena? Care este mai importanta? Cum se induce germinarea eterogena?
4. Ce este o dendrita?
5. Ce reprezinta supraracirea? Care este legatura cu histerezisul termic?
6. Care sunt zonele de cristalizare in piesele turnate si lingouri?
7. Care sunt defectele lingoului? Definiti-le.
8. Ce este maselota? Care este rolul ei?
9. De cate tipuri este retasura? Care dintre ele nu poate fi evitat pentru lingouri?
10. Care este diferenta intre un por al retasurii dispersate si o suflura?
11. Ce reprezinta anizotropia? Ce este un monocristal?
12. De ce un agregat policristalin netexturat este izotrop?
13. Care este principiul deformarii prin alunecare in monocristal?
14. Ce caracteristica a celulei cristaline determina ductilitatea metalelor?
15. Ce defect de retea cristalina este direct legat de deformarea prin alunecare?
16. Care este principiul maclarii? Cand si la ce metale se produce?
17. Cum decurge deformarea plastica a agregatului policristalin?
18. Care este efectul unei granulatii fine asupra proprietatilor mecanice? De ce?
9. Doua epruvete din aluminiu tehnic de aceeasi puritate sunt supuse incercarii la tractiune. Intr-una dimensiunea medie a grauntilor este de  $20\mu\text{m}$ , in cealalta de  $200\mu\text{m}$ . Cum vor diferi valorile pentru rezistenta? Dar pentru ductilitate?
20. De ce un monocristal este mai putin tenace decat un policristal?



III. Creșterea graunților cristalini: practic, recoacerea cu 150 – 200°C peste  $t_{cr}$

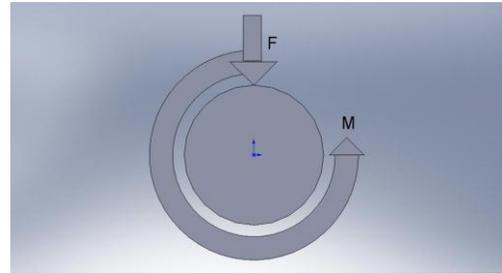
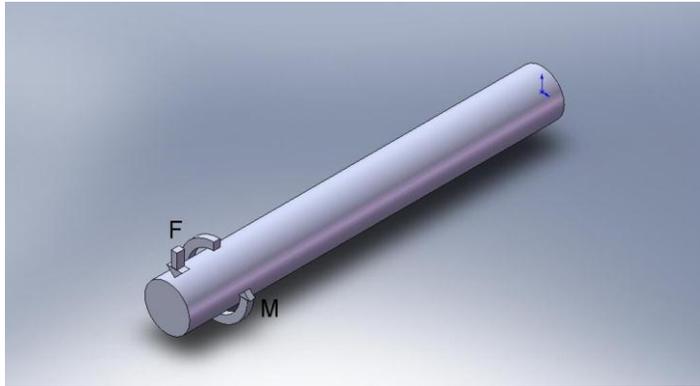


*Etapele recristalizării*

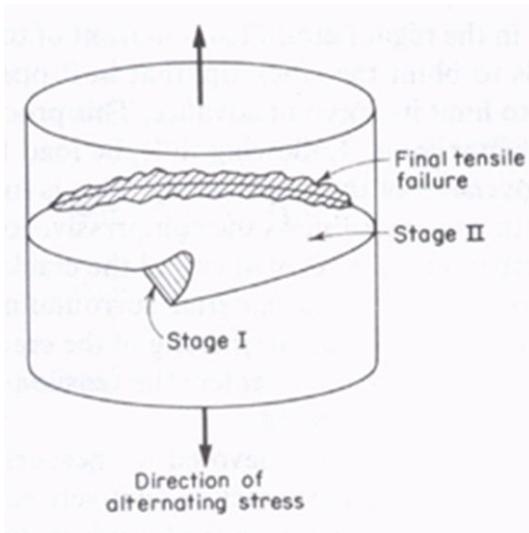


*Efectul parametrilor recristalizării (grad de deformare anterioară, timp, temperatura) asupra mărimii graunților rezultati*

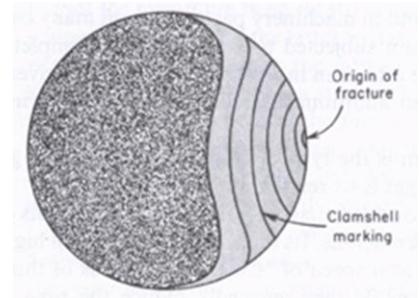
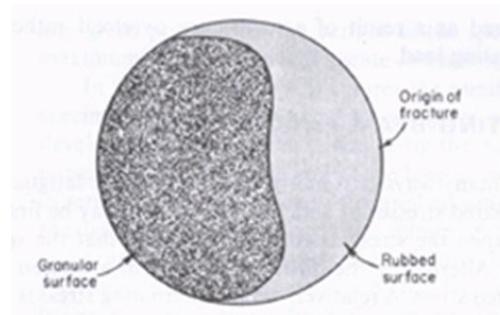




*Solicitarea la oboseala de incovoiere pentru un ax rotitor (un capat liber)*



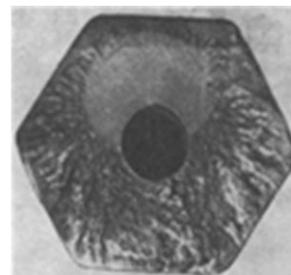
*Schema ruperii la oboseala axiala*



*Aspecte de rupere la oboseala*



*Ax rupt la oboseala de incovoiere*



*Fatigue fracture of boring bit.*

*Scula de gaurire rupta la oboseala*



Compusi (definiti) – au formula  $A_mB_n$   
 au retea cristalina diferita de a componentilor

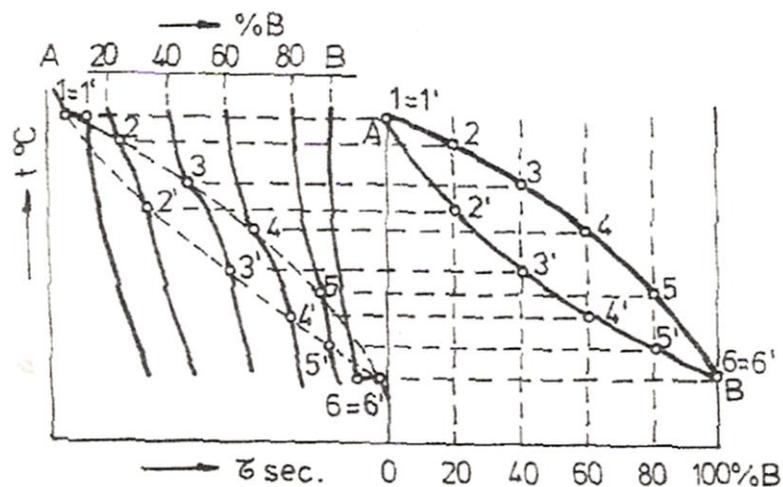
General: duri, fragili  
 temperatura de topire fixa (ca la metalele pure)

### DIAGrame BINARE DE ECHILIBRU

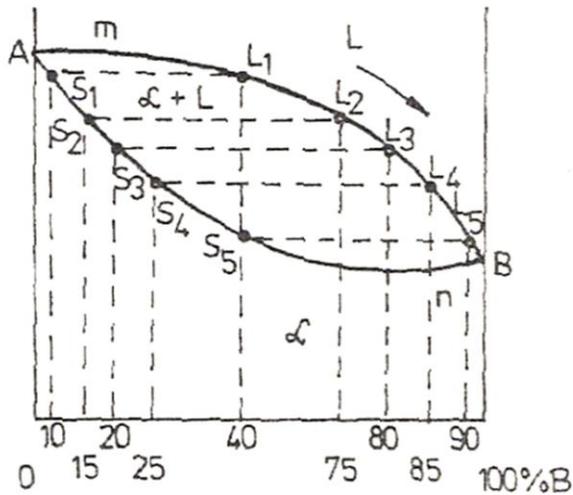
= Reprezentari grafice in coordonate temperatura - concentratie (0 – 100%) pentru sistemele de aliaje. Furnizeaza informatii despre: domeniile de existenta a fazelor; temperaturile la care se produc transformari; structura aliajelor la diferite temperaturi.

#### Diagrama cu solubilitate totala (in stare solida)

Intre A si B – solubilitate nelimitata (0 – 100%) – solutie solida  $\alpha$



*Trasarea diagramei cu solubilitate totala*



Linii caracteristice:

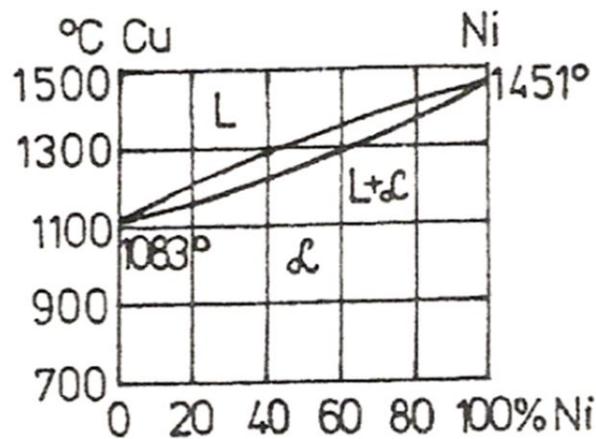
- Linia lichidus >>> margineste domeniul integral lichid;
- Linia solidus >>> margineste superior domeniul integral solidificat;

Intre lichidus si solidus:  
Interval de cristalizare

*Diagrama cu solubilitate totala*

Reguli:

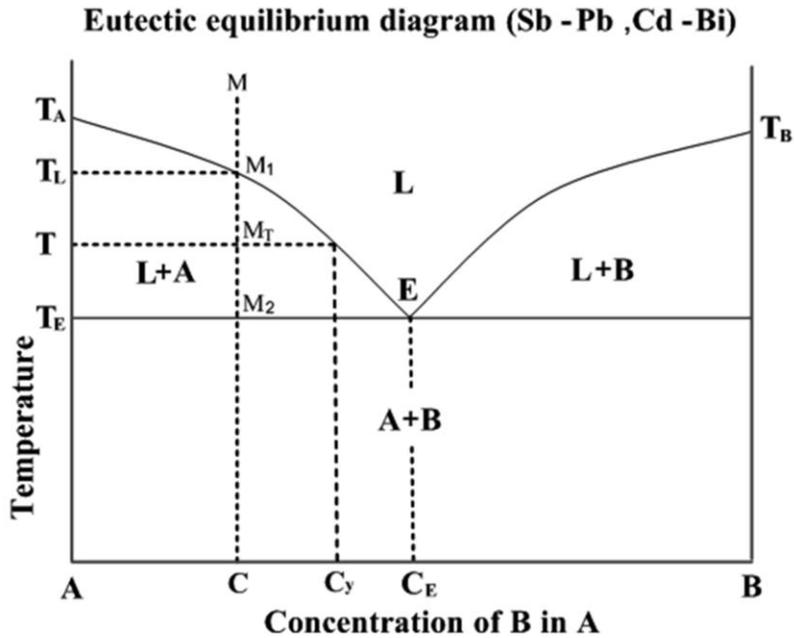
- Domeniile de existenta a fazelor sunt delimitate de linii pline (inclusiv axele);
- Solutiile solide se noteaza cu litere grecesti mici;
- Natura si concentratiile fazelor aflate in echilibru la o anumita temperatura se determina prin intersectia cu liniile de delimitare a domeniului acestora;



*Diagrama Cu - Ni*

**Diagrama cu insolubilitate totala in stare solida si formare de eutectic**

Eutectic = amestec mecanic rezultat prin descompunerea izoterma a unui lichid de concentratie definita



*Diagrama cu insolubilitate totala si formare de eutectic*



Eutecticul in diagrama: linie intrerupta groasa

**Reguli:**

- Domeniile de existanta a constituentilor structurali omogeni / eterogeni sunt delimitate de linii pline / intrerupte;
- Natura si concentratiile constituentilor structurali aflati in echilibru la o anumita temperatura se determina prin intersectia cu liniile de delimitare a domeniului acestora;

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Ce este ecruisarea?
2. Ce proprietati scad prin ecruisare?
3. Ce proprietati cresc prin ecruisare?
4. Ce este recrystalizarea si cum se efectueaza?
5. Care sunt etapele recrystalizarii?
6. Cum arata retea cristalina inainte de atingerea temperaturii critice de recrystalizare?
7. Cum se defineste deformarea plastica la cald?
8. Care este, cu aproximatie, pragul critic de recrystalizare pentru cupru?
9. O sarma din cupru tehnic cu diametrul initial de 8 mm a fost trefilata la un diametru de 7.6 mm si se urmareste ajungerea la un diametru de 4 mm. Se recomanda efectuarea in prealabil a unei recoaceri de recrystalizare?
10. Cum se modifica aspectul de rupere la trecere de la ruperea statica la cea prin soc?
11. Ce indica aparitia ruperii intergranulare?
12. Care este aspectul zonei de rupere statica la temperatura ambianta a unei epruvete din aluminiu?
13. Care sunt tipurile de aspecte ale zonei de rupere statica?
14. Care sunt caracteristicile fracturii de oboseala?
15. Doua piese identice din otel nealiat sunt rupte static, una la  $-40^{\circ}\text{C}$ , cealalta la  $400^{\circ}\text{C}$ . Prin ce difera zonele de rupere?
16. Un ax din otel se fractureaza in urma unei solicitari variabile indelungate, in atmosfera umeda. Cum arata suprafata fracturata?
17. Ce este un aliaj?
18. Care este diferenta dintre componentii si constituentii structurali?
19. Care este diferenta dintre faza si constituent structural?
20. De cate tipuri sunt solutiile solide? Prin ce difera de compusi?
21. Un aliaj binar are, la temperatura ambianta structura formata din compusul  $\text{Fe}_3\text{C}$  si solutia solida de C in  $\text{Fe}\alpha$ . Care sunt componentii aliajului?
22. Daca un aliaj ternar cu baza A contine 30% B, ce conditie limita trebuie impusa pentru C?
23. Daca A este baza si B este dizolvatul, se pot forma in sistemul A-B si solutii solide de substitutie si interstitiale?
24. Pentru compusul  $\text{AuCu}_3$ , calculati concentratia masica.
25. Care este diferenta intre bratele principale si cele secundare ale dendritelor intr-un aliaj Cu – Ni turnat?
26. Ce este un eutectic si cum apare la microscop?
27. Care este ecuatia generala a transformarii eutectice?
28. Sub ce forma apare A intr-un aliaj hipoeutectic in sistemul binar A – B cu insolubilitate totala?
29. Prin ce difera microscopic un aliaj hipoeutectic de unul hipereutectic intr-un sistem binar cu insolubilitate totala?

**DIAGrame BINARE DE ECHILIBRU**

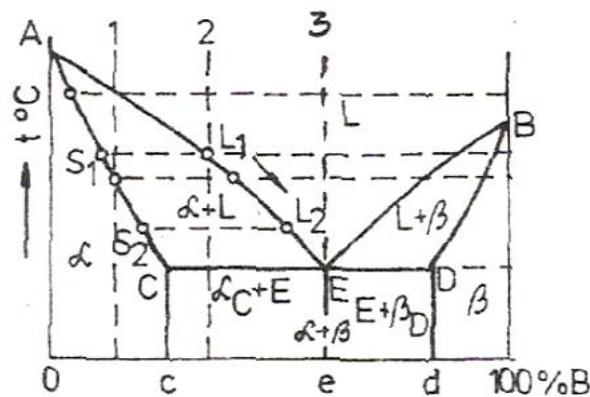
**Diagrama cu solubilitate limitata si formare de eutectic**

Exista o *solubilitate limitata* a componentului B in A (c %) solutia solida  $\alpha$   
 A in B (d %) solutia solida  $\beta$

Componentii A si B nu mai apar liber in microstructura

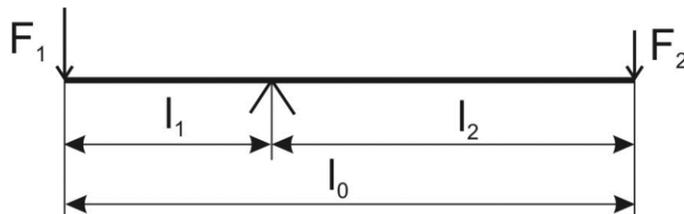
$\alpha, \beta$  – solutii solide marginale

Eutecticul :  $L_E \xrightarrow{t_E} (\alpha + \beta) = E$



**Regula pargiei** - determina *cantitatea procentuala* a fazelor / constituentilor structurali

Parghie de ordinul I in echilibru sub actiunea a 2 forte:



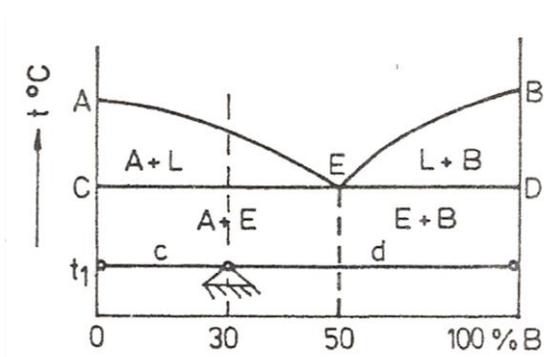
$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2 + F_1} = \frac{l_2}{l_1 + l_2} = \frac{l_2}{l_0}$$

Analogie in aliaj:      Fortele >>> cantitati procentuale de faze / constituinti structurali  
 Parghia >>> izoterma intre concentratiile fazelor / constituintilor

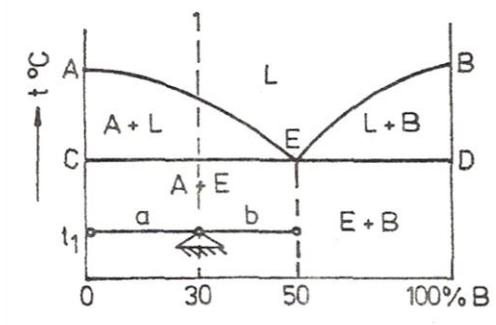
$$\frac{C_1}{100\%} = \frac{l_2}{l_0} \Rightarrow C_1 = \frac{l_2}{l_0} \times 100[\%]$$

$C_1$  = cantitatea procentuala a fazei 1;  $l_2, l_0$  = segmente de concentratie

*Regula parghiei:* Se traseaza segmentul de izoterma intre concentratiile fazelor / constituintilor structurali. Cantitatea procentuala a unei faze / constituint structural este egala cu raportul dintre segmentul de izoterma opus concentratiei si segmentul total.



*Diagrama cu insolubilitate totala; aplicarea regulii parghiei pentru faze*



*Diagrama cu insolubilitate totala; aplicarea regulii parghiei pentru constituintii structurali*

$$A_{faza} = \frac{d}{c + d} \times 100[\%]$$

$$A_{const.struct.} = \frac{b}{a + b} \times 100[\%]$$

$$B_{faza} = \frac{c}{c + d} \times 100[\%]$$

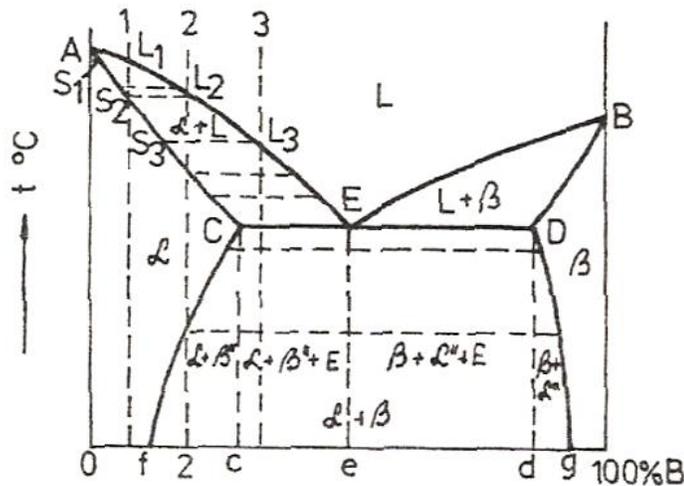
$$E = \frac{a}{a + b} \times 100[\%]$$

**Diagrama cu solubilitate limitata si variabila si formare de eutectic**

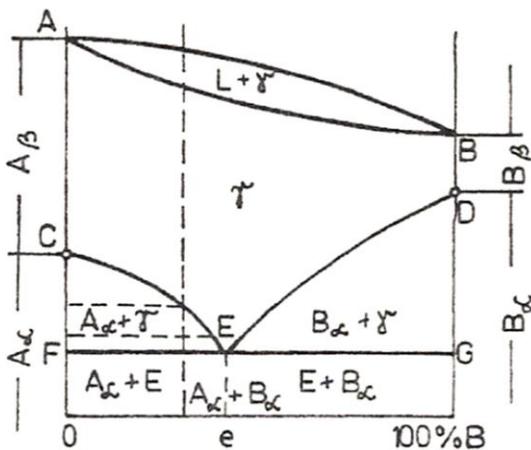
In sistem exista o solubilitate limitata  $A(B) = \alpha$  si  $B(A) = \beta$

Solubilitatea scade cu temperatura (cazul cel mai frecvent)  $\rightarrow$  separare secundara de  $\beta''$  in jurul grauntilor  $\alpha$  si de  $\alpha''$  in jurul grauntilor  $\beta$ ; separarile formeaza o retea

Solutiile solide ating saturatia (concentratia maxima) la temperatura eutectica:  $\alpha_C, \beta_D$



**Diagrame cu transformari alotropice ale componentilor**

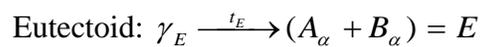


**Diagrame cu eutectoid**

Eutectoid: Amestec mecanic rezultat prin descompunerea izoterma a unei solutii solide de concentratie determinata.

Intre  $A_\beta$  si  $B_\beta$ : solubilitate totala solutia solida  $\gamma$ ;

Intre  $A_\alpha$  si  $B_\alpha$ : insolubilitate totala



## DIAGRAMA Fe-C

**Punctele critice ale fierului** – 2 transformari alotropice + temperatura Curie

$T_s = 1539^\circ\text{C} \rightarrow \text{Fe}\alpha$

$A_4 = 1394^\circ\text{C}$  – transformarea alotropica  $\text{Fe}\alpha \xrightarrow{1394^\circ\text{C}} \text{Fe}\gamma$ ;

$A_3 = 912^\circ\text{C}$  – transformarea alotropica  $\text{Fe}\gamma \xrightarrow{912^\circ\text{C}} \text{Fe}\alpha$ ;

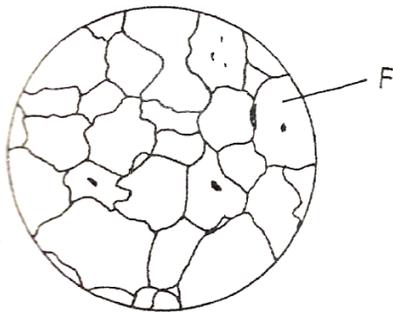
[ $A_2 = 770^\circ\text{C}$  (temperatura Curie)]

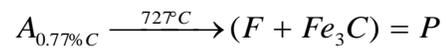
Sistemul stabil: Fe – grafit -----

Sistemul metastabil: Fe –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (cementita) \_\_\_\_\_

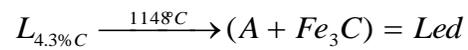
### Faze si constituenți structurali

<b>1. Faze</b>	<u>Ferita</u>	solutie solida $\text{Fe}\alpha(\text{C})$ – c.v.c. (~80 – 90 HB, $R_m \approx 250 - 300$ MPa, $A \approx 25 - 40$ %);
	<u>Austenita</u>	solutie solida $\text{Fe}\gamma(\text{C})$ – c.f.c. (ductilitate mare) in aliajele binare nu apare la temperatura ambianta;
	<u>Cementita</u>	compus chimic cu formula $\text{Fe}_3\text{C}$ 6.67% C duriate mare (>700 HB), fragilitate;

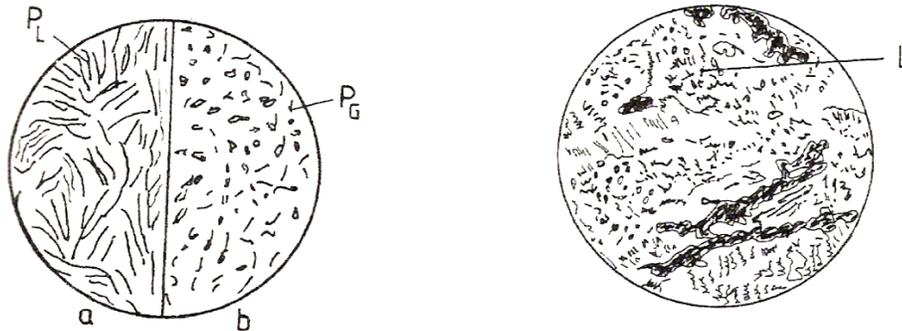


**2. Constituenti eterogeni** Perlita**eutectoid**

(200 – 220 HB,  $R_m \approx 750 - 800$  MPa,  $A \approx 10 - 12$  %)  
la echilibru, lamele de cementita pe fond de ferita;

Ledeburita**eutectic**

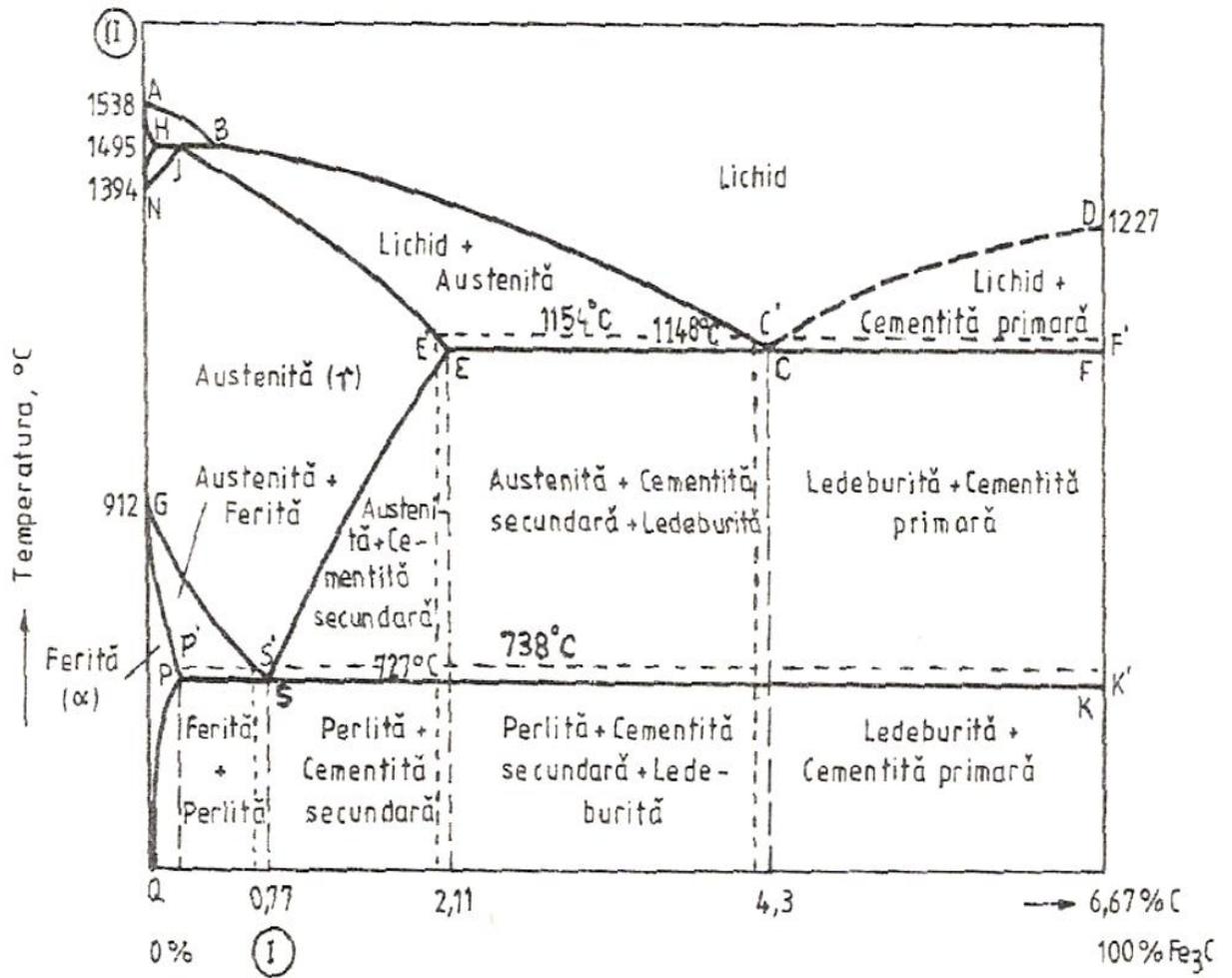
dura si fragila  
constituent tipic in fontele albe;



P<sub>L</sub> – perlita lamelara (echilibru)

P<sub>G</sub> – perlita globulara (prin tratament ulterior)

L – ledeburita (temperatura ambianta)



**Oteluri** – aliajele de la 0 la 2.11% C feritice (max.0.05% C)

hipoeutectoide (0.05 – 0.77% C)  $F + P$

eutectoide (~0.77% C)  $P$

hipereutectoide (0.77 – 2.11% C)  $P + C''$

**Fonte albe** – aliajele de la 2.11 la 6.67% C hipoeutectice (2.11 – 4.3% C)  $P + C'' + Led$

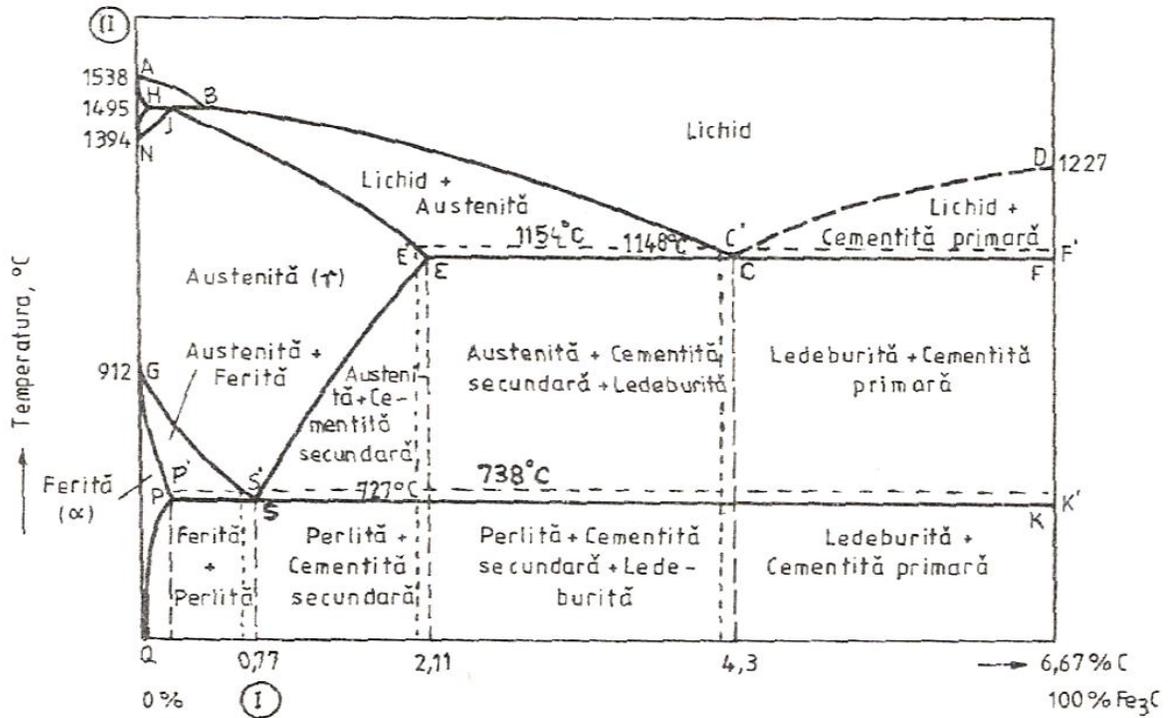
eutectice (~4.3% C)  $Led$

hipereutectice (4.3 – 6.67% C)  $Led + C''$

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

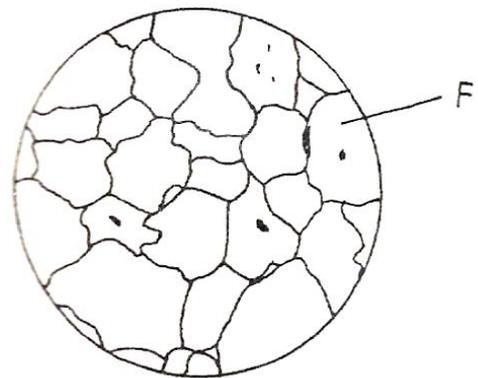
1. Ce sunt solutiile solide marginale?
2. Din ce este alcatuit, la temperatura ambianta, eutecticul in diagrama cu solubilitate limitata? Dar in cea cu solubilitate limitata si variabila?
3. Prin ce difera eutecticele in doua sisteme, unul cu insolubilitate totala, celalalt cu solubilitate limitata?
4. Cum apar la microscop solutiile marginale in sistemele de aliaje cu solubilitate limitata si variabila?
5. Care este aspectul fazelor secundare in diagrama cu solubilitate limitata si variabila?
6. Intr-un sistem de aliaje A-B cu solubilitate limitata, saturatia solutiei solide  $\alpha$  este 30% B, saturatia solutiei solide  $\beta$  este 20% A iar eutecticul are 60% B. Care este concentratia procentuala a fazelor si constituentilor structurali in aliajul cu 45% B la temperatura ambianta?
7. Intr-un sistem de aliaje A-B cu solubilitate limitata si variabila, saturatia solutiei solide  $\alpha$  este 25% B la temperatura eutectica si 5% B la temperatura ambianta. Care este concentratia procentuala a fazelor si constituentilor structurali in aliajul cu 15% B la temperatura ambianta?
8. Care sunt punctele critice ale fierului?
9. In ce stare se gaseste fierul la 800°C? Care sunt proprietatile lui?
10. Prin ce difera sistemul stabil Fe-C de cel metastabil?
11. Care sunt solutiile solide in diagrama Fe-C?
12. Definiti fazele sistemului Fe-Fe<sub>3</sub>C. Care sunt proprietatile lor?
13. Ce este perlita? Dar ledeburita?
14. Ce constituent structural eterogen este specific fontelor albe?
15. Din ce aliaje Fe-C poate lipsi ferita la temperatura ambianta?
16. Ce sunt otelurile? Dar fontele albe?
17. Ce constitienti structurali au otelurile hipoeutectoide? Dar cele hipereutectoide?
18. Ce constitienti structurali au fontele albe hipoeutectice? Dar cele hipereutectice?
19. De cate tipuri structurale sunt otelurile nealiate? Care sunt acestea?

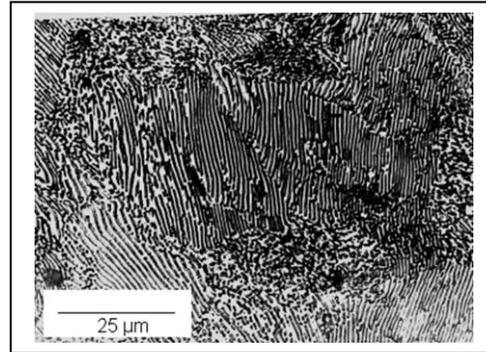
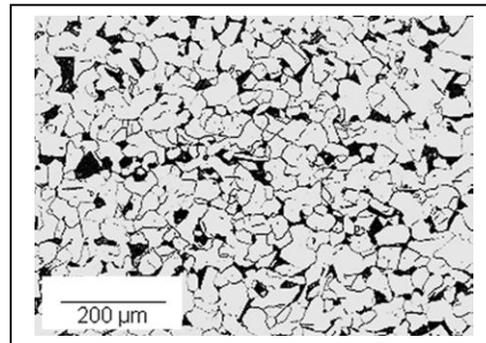
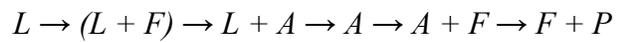
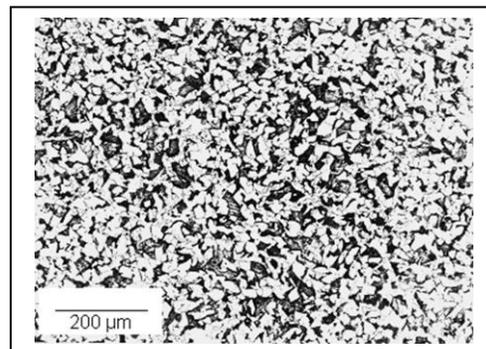
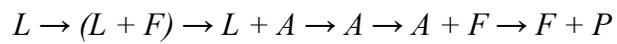
**CRISTALIZAREA ALIAJELOR IN SISTEMUL Fe – Fe<sub>3</sub>C**

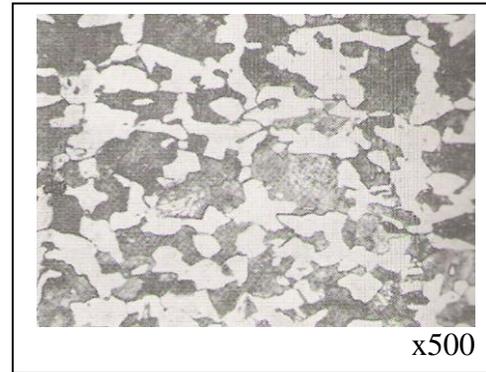
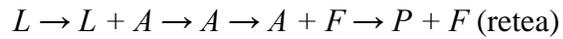
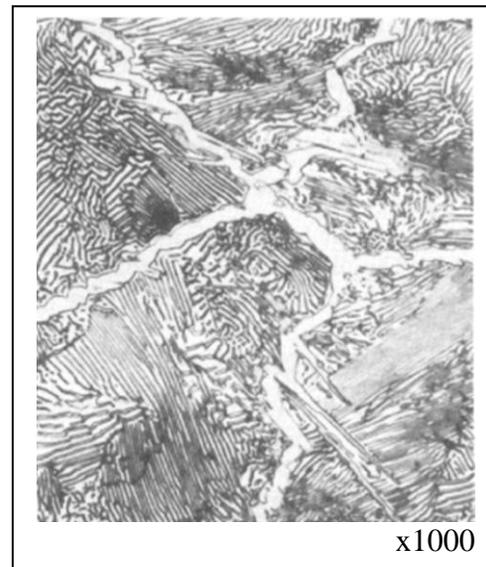
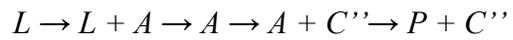
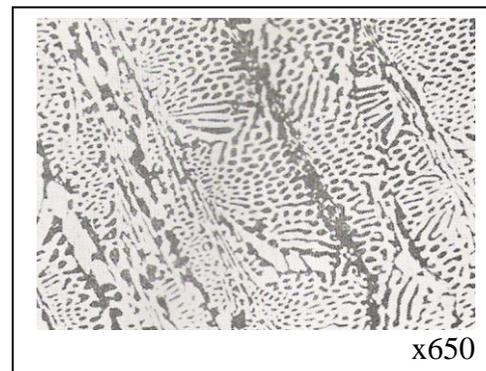
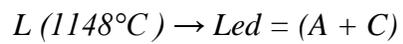


**Otel cu 0.01%C**

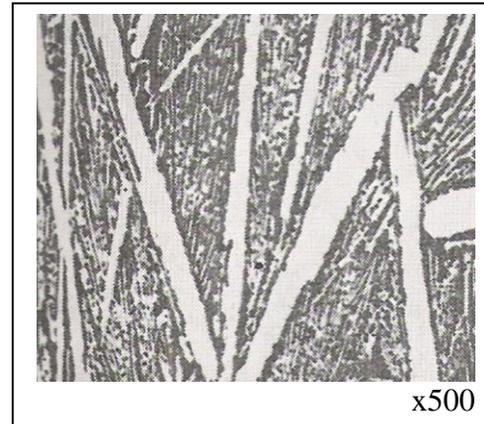
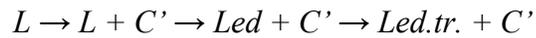
$L \rightarrow (L + F \rightarrow F \rightarrow F + A) \rightarrow A + F \rightarrow F$



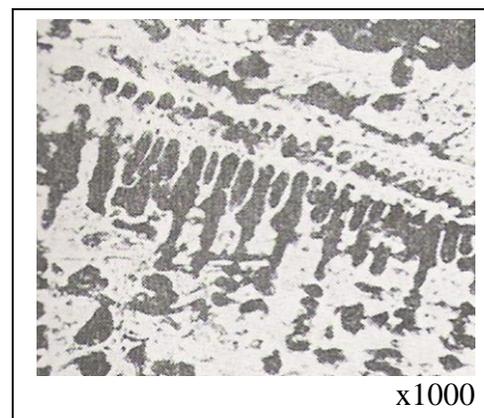
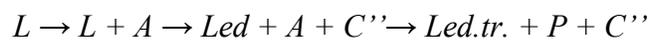
**Otel cu 0.77% C (eutectoid)****Otel cu 0.2% C (hipoeutectoid)****Otel cu 0.35% C (hipoeutectoid)**

**Otel cu 0.65% C (hipoeutectoid)****Otel cu 1.4% C (hipereutectoid)****Fonta alba eutectica (4.3%C)**

**Fonta alba 5%C (hipereutectica)**

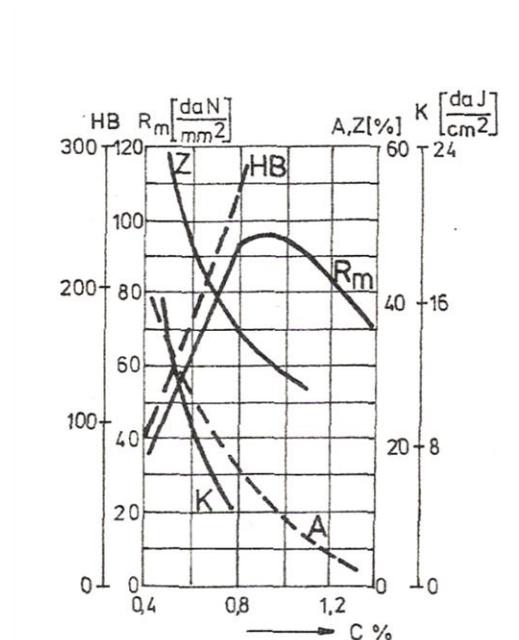


**Fonta alba 3%C (hipoeutectica)**



**OTELURILE NEALIATE**

Aliaje cu baza fier, continand carbon sub 2% si alte elemente chimice in cantitate mica (elemente insotitoare)



*Influenta continutului de carbon asupra proprietatilor otelurilor nealiate fara tratament termic*

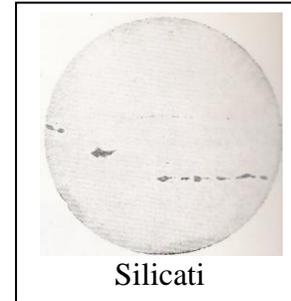
## ELEMENTE INSOTITOARE IN OTELURI

**Si** : maximum 0.5%

Provine de la elaborare (sau dezoxidare)

Apare dizolvat in ferita (creste rezistenta)

Incluziuni nemetalice (silicati, oxizi)



Silicati

**Mn** : in otelurile nealiate max. 0.8% (0.9%)

Se adauga la dezoxisare si desulfurare

Apare dizolvat in ferita

In cementita dubla  $(FeMn)_3C$

$Mn_3C$

$MnS$ , oxizi

**P** : max. 0.05% (general)

Provine din minereu

Apare dizolvat in ferita

$Fe_3P$ ,  $Fe_2P$

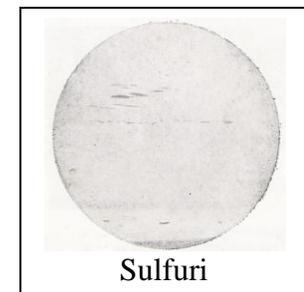
Fragilizeaza la rece

Formeaza fibrajul in oteluri – crestere a rezistentei pe directia de deformare la cald

**S** : max. 0.05% (in general)

Provine din minereu, cocs, gaze de ardere

Formeaza eutectic Fe – FeS (topire la 985°C) → fragilitate la cald



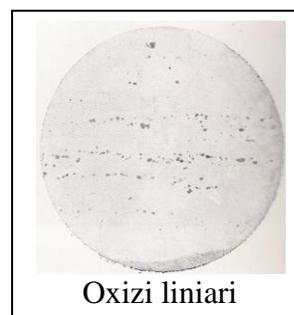
Sulfuri

**O** : max.0.05%

Din atmosfera si oxizi

Oxizi :  $FeO$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$

Formeaza incluziuni fragile



Oxizi liniari

**N** : Max. 0.03%

Din atmosfera

Apare dizolvat in ferita si in  $Fe_4N$  (precipitate care duc la imbatranirea feritei)

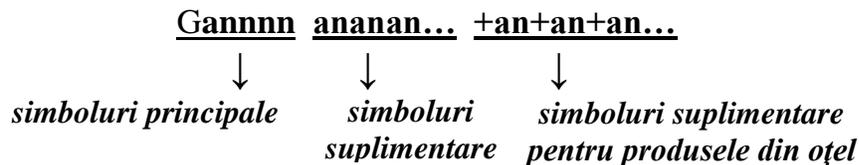
## CLASIFICAREA SI SIMBOLIZAREA OTELURILOR NEALIAATE

- A. Dupa clasele de calitate / compozitie chimica
- |                 |                  |  |
|-----------------|------------------|--|
| <i>nealiata</i> | A- de uz general |  |
|                 | B -de calitate   |  |
|                 | C -speciale      |  |
| <i>aliata</i>   | D -de calitate   |  |
|                 | E -speciale      |  |
- B. Dupa structura
- |                 |         |
|-----------------|---------|
| hipoeutectoide  | F + P   |
| eutectoide      | P       |
| hipereutectoide | P + C'' |
- C. Dupa modul de obtinere a semifabricatelor
- |  |                   |
|--|-------------------|
|  | turnate           |
|  | deformate plastic |
- D. Dupa destinatie
- |  |   |
|--|---|
|  | generala  |
|  | precizata (tevi, masini unelte automate, cazane, ...) |

### Simbolizarea SR EN a otelurilor

- SR EN 10027-1:2006 *Sisteme de simbolizare a otelurilor. Partea 1: Simboluri alfanumerice;*
- SR EN 10027-2:1996 *Sisteme de simbolizare a otelurilor. Partea 2: Sistemul numeric;*

### SIMBOLIZAREA ALFANUMERICA



### Oteluri nealiata de uz general: Tip + rezistenta (Rp0.2) + simboluri suplimentare

#### Oteluri nealiata de constructie SR EN 10025 : 1994

##### - Oteluri pentru constructii in general

S + Rp0.2 [MPa] + (JR, J0, J2, K0, K2) + G1,2,3,4

##### - Oteluri pentru constructii mecanice

E + Rp0.2 [MPa] + (JR, J0, J2, K0, K2) + G1,2,3,4

Simboluri suplimentare:

J = energia de rupere (minim 27 J) + R (20°C); Q (0°C); 2 (-20°C); K = energia de rupere (minim 40J); L = energia de rupere (minim 60J)

G = grad de calmare 1 (necalmat) – 4 (calmat)

Ex. **S355 J2G4**, **E360 JRG3**

**Oteluri de uz general cu destinație precizată:** P – recipiente sub presiune; L – tevi destinate conductelor; B – pentru armarea betonului; Y – pentru beton precomprimit; R – sine de cale ferată, etc.

**Oteluri de calitate: compoziția apare în simbol**  
**– pt. nealiat conținutul de C (în sutimi de procent)**

**Oteluri pentru calire și revenire** SR EN 10083:94

*Nealiat* – parte a standardului

$C + \%C \times 100 + E, R [+ H; HH; HL + T + \text{indicarea stării de TT}]$

$E - S \text{ max.} = 0.035\%; R - S \text{ max.} = 0.02-0.04\%$

Ex. C45E HH-TA

H – prescripții normale de călibilitate; HH – bandă superioară de călibilitate; HL – bandă inferioară de călibilitate

Starea de tratament termic:

TS – pentru așchiabilitate îmbunătățită; TA – recoacere de înmuiere;

TN – normalizat; TQ+T – călit și revenit

**Oteluri pentru scule** SR EN ISO 4957:2002

*Nealiat* – parte a standardului

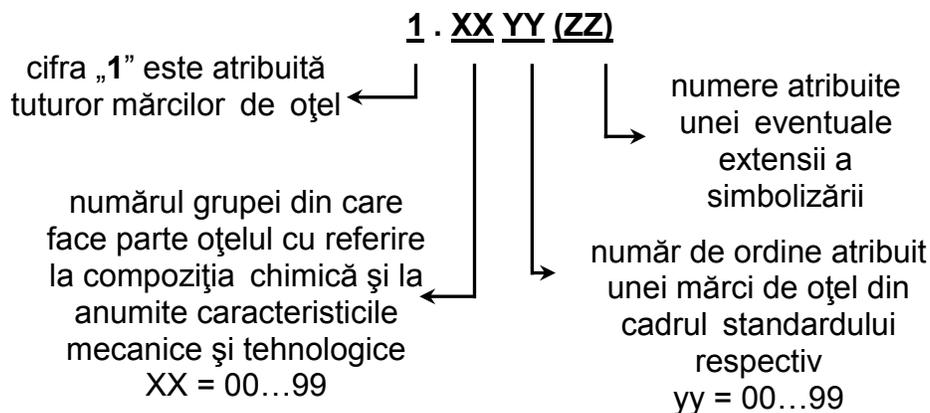
C45U, C70U, C80U, C90U, C105U, C120U

**+ Oteluri pentru piese turnate**

**SR EN 10293:2005** *Oțeluri turnate pentru utilizări generale*

G + marca de oțel (simbolizare alfanumerică)

**SIMBOLIZAREA NUMERICĂ**



Ex. 1.0420 = GE 200

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Ce constituenți structurali are orice oțel hipoeutectoid?
2. Ce constituenți structurali are orice oțel hipereutectoid?
3. Care sunt fazele într-un oțel hipoeutectoid? Dar într-unul hipereutectoid?
4. Ce structură are un oțel cu 0.5%C la 650°C?
5. Ce structură are un oțel cu 1.8%C la 750°C?
6. Ce structură are un oțel cu 0.2%C la 800°C?
7. Care sunt constituenții structurali în fontele albe hipoeutectice?
8. Care sunt constituenții structurali în fontele albe hipereutectice?
9. Prin ce diferă ledeburita de la 800°C de cea de la 200°C?
10. Care sunt aliajele binare Fe-C în care nu apare perlita la temperatură ambiantă?
11. Care este conținutul de perlită într-un oțel cu 0.35%C? Dar într-unul cu 1.5%C?
12. Care este conținutul de ferită liberă într-un oțel cu 0.55%C? Cum apare aceasta?
13. Care este conținutul de cementită liberă într-un oțel cu 1.3%C? Cum apare aceasta?
14. Care este diferența dintre aspectul rețelei de ferită într-un oțel cu 0.6%C și al celei de cementită într-un oțel cu 1.2%C?
15. Care este cantitatea de ferită într-o fontă albă cu 3.5%C? Cum apare aceasta?
16. Care este cantitatea totală de ferită într-un oțel cu 0.45%C?
17. Ce sunt oțelurile nealiat?
18. Care sunt principalele elemente însoțitoare în oțeluri?
19. Care este elementul însoțitor care fragilizează oțelurile la cald? Cum se anulează acest efect?
20. Care sunt elementele care fragilizează la rece?
21. Care sunt efectele fosforului în oțeluri?
22. Explicitați complet simbolurile:

C80 U, GE240, C20E, C35RJ2G4, E360, S185, C105 U, G S235, C15E HH TS;

## FONTE DE TURNATORIE

Fonte de turnatorie: aliaje Fe – C continand peste 2% C, destinate pieselor turnate, in a caror structura apare grafitul

Cantitatea de grafit determinata prin raportul Si (grafitizant) / Mn (antigrafitizant)

Si (+ continut mare de carbon) – favorizeaza structurile de tip ferita + grafit

Mn – favorizeaza formarea cementitei (inclusiv din perlita) in dauna grafitului

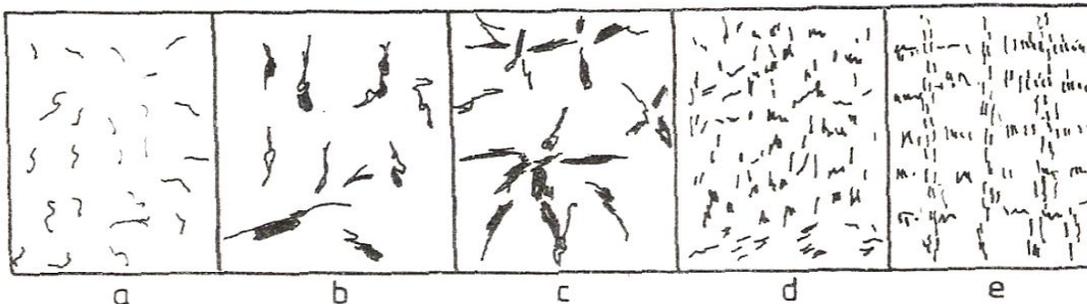
Clasificare dupa forma grafitului:

1. Fonte cenusii – grafit lamelar; [+ vermicular, coral]
2. Fonte maleabile – grafit in cuiburi;
3. Fonte cu grafit nodular

## FONTE CENUSII

Compozitie: 2.8 – 3.5% C (general); 0.5 – 3.5% Si; 0.1 – 1% P; 0.02 – 0.15% S

Clasificarea grafitului: dupa marime, forma, distributie



Grafit lamelar în fontele cenușii.

- a - grafit lamelar fin repartiție uniformă;
- b - grafit lamelar grosolan repartiție uniformă;
- c - grafit lamelar in rozetă;
- d - grafit interdendritic neorientat;
- e - grafit interdendritic orientat.

a, b, d – difera prin capacitatea de germinare (racire diferita, particule pt. germinare eterogena)

c – la fonte hipereutectice

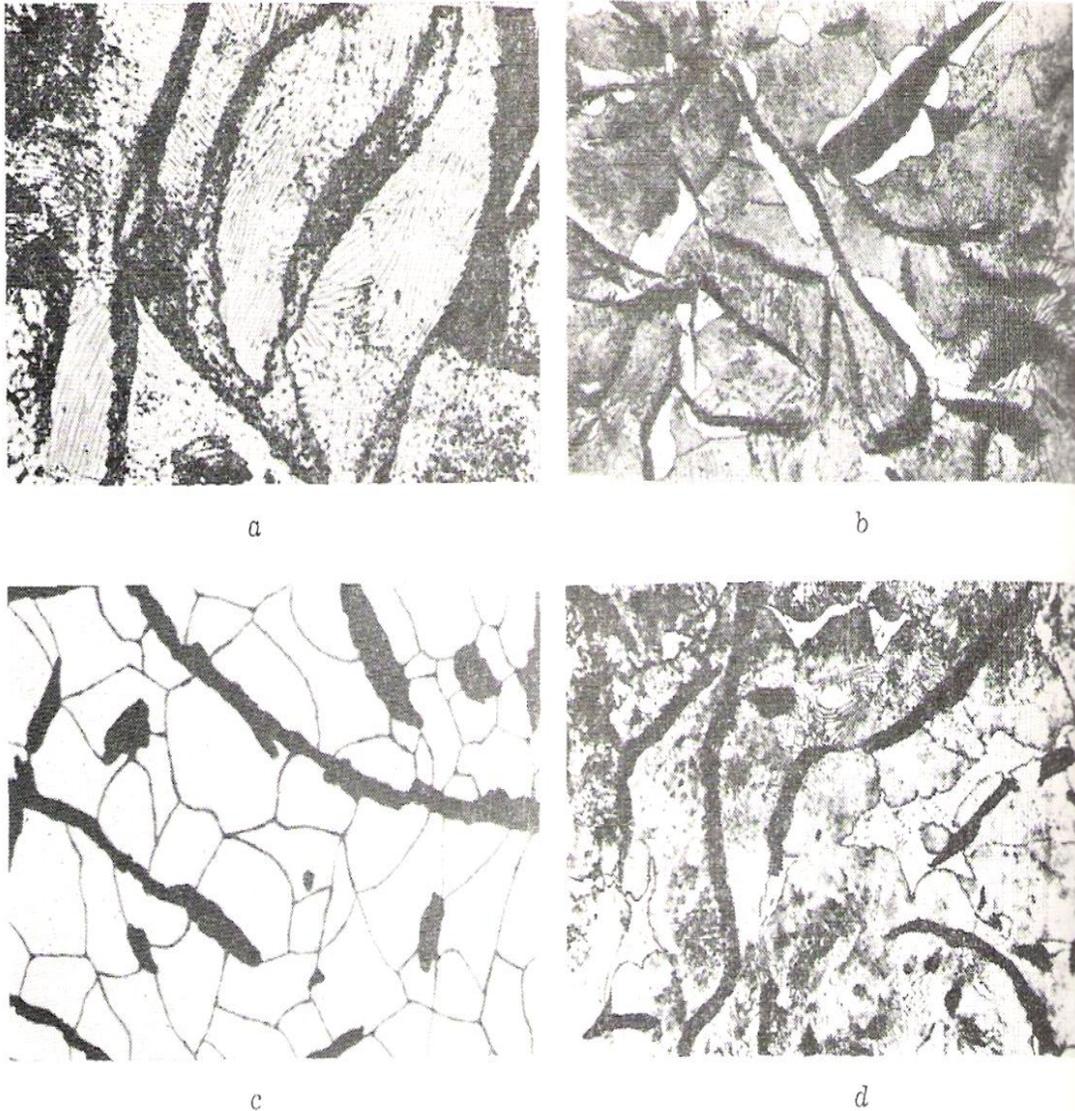
d, e – fonte hipereutectice; e numai prin germinare eterogena;

Marimea grafitului – esentiala pentru rezistenta (si tenacitatea) fontei: grafit fin → fonta mai tenace

Matricea metalica (la marcile standardizate): F + P, P, [+ eutectic fosforos]

Eutectic fosforos – intre Fe $\alpha$ , C, P; favorizeaza turnabilitatea dar fragilizeaza

Cresterea cantitatii de perlita – cresterea rezistentei



*a* – fontă cenușie perlitică 500 : 1; *b* – fontă cenușie ferit-perlitică 500 : 1;  
*c* – fontă cenușie feritică 500 : 1; *d* – fontă cenușie fosforoasă 300 : 1.

Rezistența fontelor cenușii: 100 – 400 MPa

Ductilitatea: foarte mică (fragilă)  $A = 0.2 - 0.5\%$

Duritatea: 100 – 300 HB

Fontele cu grafit interdendritic (rezistență mare) – *modificate*

Modificare = schimbarea caracteristicilor structurii de turnare prin introducerea unor inoculanți (modificatori) în cantitate mică (sub 1%)

Modificatori pt. fontele cenușii:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  – germeni eterogeni

## Standardizarea fontelor cenușii

SR EN 1561:1999 (fonte cu grafit lamelar) EN-GJL- Rm [MPa]

Ex. EN-GJL-100, 150, ..., 350

Exista si exprimare numerica si prin duritate

## FONTE MALEABILE

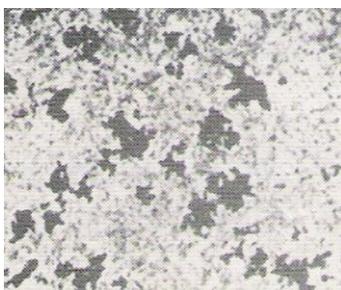
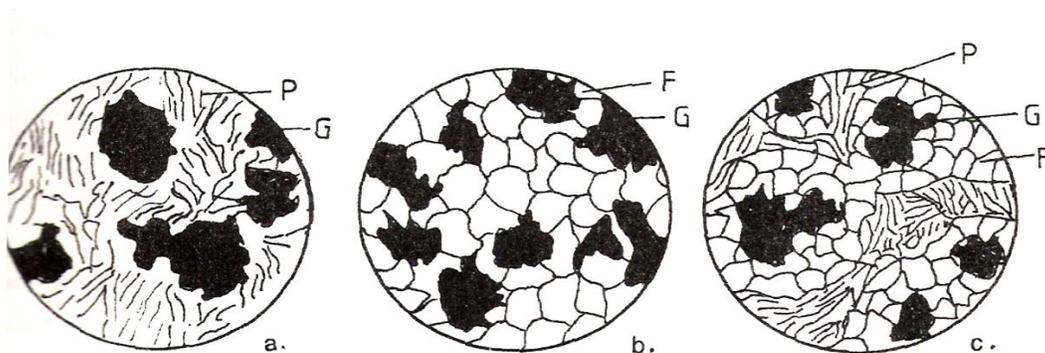
Contin grafit sub forma aglomerata neregulata – in CUIBURI (GM)

Se obtin prin tratament termic – RECOACERE DE MALEABILIZARE – aplicat unor fonte albe

### Clasificare – dupa aspectul casurii

(dependenta de conditiile de tratament, respectiv de structura matricii metalice)

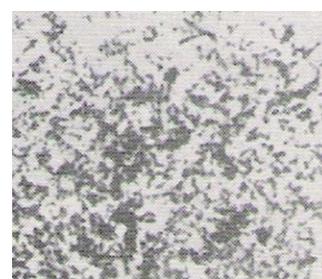
1. Fonte maleabile cu miez negru – F + GM (b.), P + GM (a.)
2. Fonte maleabile cu miez alb – F + P + GM (c.)



a.



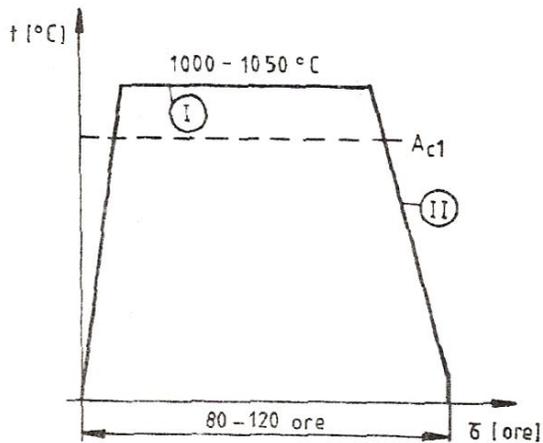
b.



c.

**Fonte maleabile cu miez alb - maleabilizarea in mediu oxidant**

~ 3.2% C;



Recoacerea de maleabilizare: prima etapa de maleabilizare – descompunerea cementitei libere (cementita secundara, cementita ledeburitica);

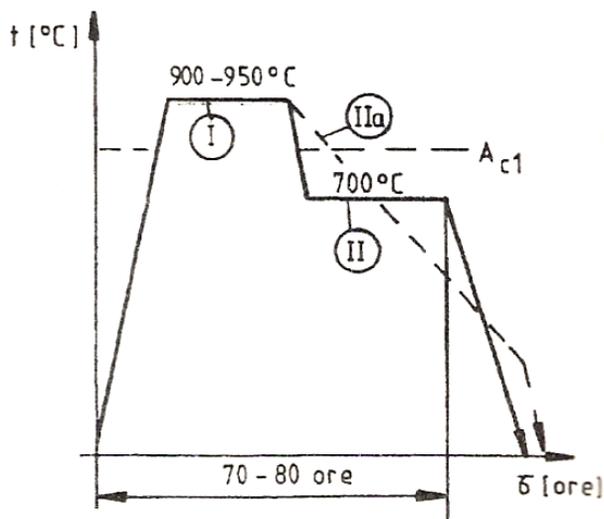
$R_m = 270 - 570 \text{ MPa}$

$A = 3 - 16\%$

200 – 250 HB

**Fontele maleabile cu miez negru - maleabilizare in mediu neutru**

~ 2.8% C,

Cele mai folosite - pret de tratament, compromis favorabil intre  $R_m / A$ 

Recoacerea de maleabilizare:

etapa 1 - descompunerea cementitei libere

etapa 2 – descomp. cementitei din perlita

$R_m = 300 - 550 \text{ MPa}$

$A = 1 - 10\%$

150 – 320 HB

**Fonte maleabile cu miez perlitic – varianta a fontelor maleabile cu miez negru**~ 2.7% C, maleabilizare – prima etapa dar in *mediu neutru*Cele mai rezistente fonte maleabile:  $R_m = 450 - 650 \text{ MPa}$ Ductilitate mica:  $A = 2 - 4\%$

## Standardizarea fontelor maleabile

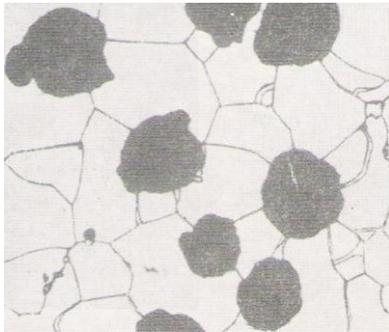
- SR EN 1562:1999    I – fonte decarburate (miez alb)  
                          II – fonte nedecarburate (~ miez negru)
- I. EN-GJMW- Rm [MPa] – A [%]  
    Ex. EN-GJMW-350-4, EN-GJMW-550-4
- II. EN-GJMB- Rm [MPa] – A [%]  
    Ex. EN-GJMB-300-6; EN-GJMB-500-5

## FORTE CU GRAFIT NODULAR

Fonte cu ~3.5% C, cu grafitul in noduli obtinut prin *modificare*  
Modificatori: Mg, Ce, ... – formeaza pelicule pe suprafata grafitului

Cea mai favorabila forma de grafit (efectul minim de concentrare a tensiunilor)

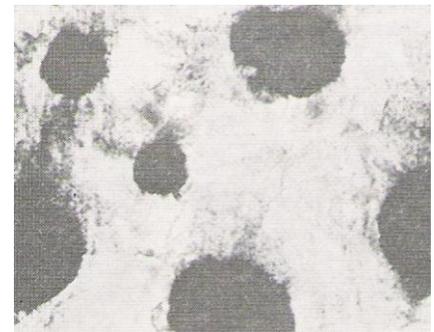
Rm = 370 – 700 MPa; A = 2 – 18%; 140 – 300 HB



F + GN



F + P + GN



P + GN

## Standardizarea fontelor cu grafit nodular

- SR EN 1563:1999:    EN-GJS- Rm [MPa] – A [%]  
    Ex. EN-GJS-350-22, EN-GJS-350-22-LT (rezilienta determinata la rece)

## TEORIA TRATAMENTELOR TERMICE

**Tratamente termice:** procedee tehnologice constand din incalziri, mentineri la anumite temperaturi si raciri in anumite conditii pentru *imbunatatirea unor proprietati prin modificarea structurii*.

Clasificare:

1. Dupa pozitia TT in procesul tehnologic de fabricatie

Preliminare  
Intermediare  
Finale

2. Dupa tipul mecanismelor din timpul tratamentului

2.1 TT propriuzise

Recoaceri  
Caliri  
Reveniri

2.2 T Termochimice

2.3 T Termofizice

T termomecanice  
T termomagnetice

**DIFUZIA**

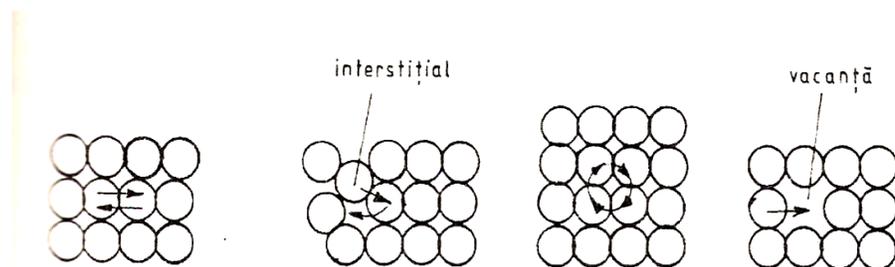
(General): Modificarea pozitiei atomilor / ionilor in solide, lichide sau gaze;  
Numai pentru grupuri mari de atomi (ioni)

*Heterodifuzia* – determinata de un gradient de concentratie

*Autodifuzia*

Mecanisme:

Inlocuire  
reciproca  
Prin internoduri  
Ciclica  
Prin vacante

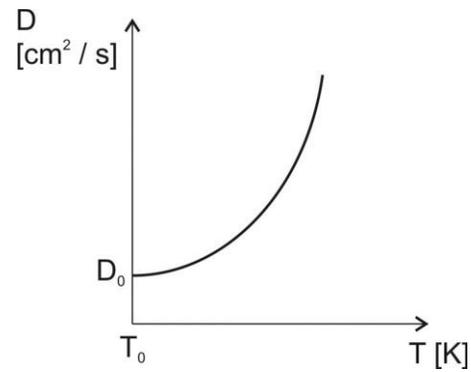


Majoritatea transformarilor din materiale (solidificare, transformari in stare solida, recristalizare,...):  
*cu difuzie*

Transformare cu difuzie: necesita un timp mai lung de desfasurare

**Coeficient de difuzie:** numarul de atomi care difuzeaza printr-o suprafata unitara perpendiculara pe fluxul de atomi, intr-o secunda, la un gradient de concentratie unitar

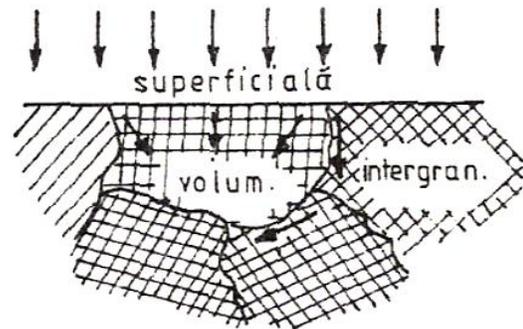
$$D = D_0 \times e^{-\frac{Q_a}{RT}}$$



Tipuri de difuzie: Superficiala  
Intergranulara  
In volum

$$Q_s < Q_i < Q_v$$

$$D_s > D_i > D_v$$



**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

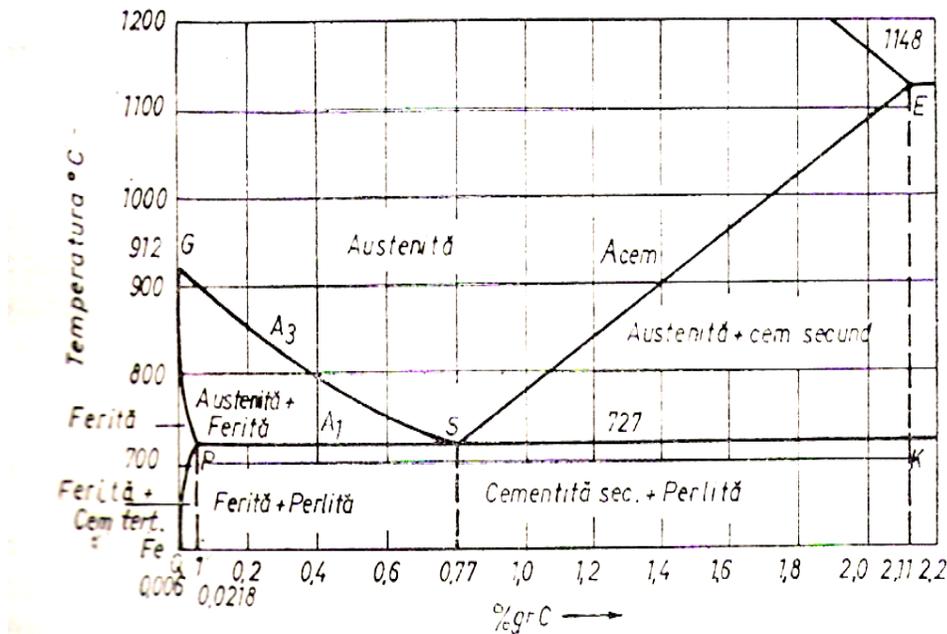
1. Ce sunt fontele de turnătorie?
2. Cum se reglează cantitatea de grafit în fontele de turnătorie?
3. Care sunt formele de grafit în fonte? Care dintre ele este cea mai puțin dăunătoare?
4. Care este forma grafitului în fontele cenușii?
5. În ce categorie de fonte, din punctul de vedere al poziției față de eutectic se plasează toate fontele standardizate de turnătorie?
6. Ce caracteristici structurale determină rezistența și tenacitatea fontelor de turnătorie? În ce mod?
7. Care sunt tipurile standardizate de matrice metalică în fontele cenușii?
8. Cum se realizează modificarea fontelor cenușii? De ce se aplică modificarea?
9. Ce sunt fontele maleabile? Cum se obține forma grafitului?
10. Care sunt tipurile de fontă maleabilă? Prin ce diferă acestea?
11. Care este diferența între fontele decarburate și cele nedecarburate?
12. Cum se efectuează tratamentul de maleabilizare pentru fontele maleabile cu miez alb?
13. Cum se efectuează tratamentul de maleabilizare pentru fontele maleabile cu miez negru?
14. Cum se obțin nodulii de grafit?
15. Ce combinații de constituenți structurali pot apărea în matricea metalică a fontelor cu grafit nodular?
16. Explicați complet simbolurile:  
EN-GJS-370-15, EN-GJL-250, EN-GJS-350-22, EN-GJMB-320-5, EN-GJMW-450-7
17. Ce tip de tratament termic este recoacerea de recristalizare? Dar cea de maleabilizare?
18. Ce este difuzia?
19. Ce este coeficientul de difuzie? Cum variază cu temperatura?
20. Care tip de difuziune necesită cea mai mică energie de activare? Dar cea mai mare?

## TRATAMENTE TERMICE APLICATE OTELURILOR

### Punctele critice ale oțelurilor

- la incalzire:  $A_c$   $A_{c1}, (A_{c2}), A_{c3}, A_{cem}$

- la racire:  $A_r$   $A_{r1}, (A_{r2}), A_{r3}, A_{rcem}$



$A_{r3}, A_{rcem}$ : inceputul separarii fazei proeutectoide

$A_{c3}, A_{cem}$ : sfarsitul dizolvarii fazei proeutectoide

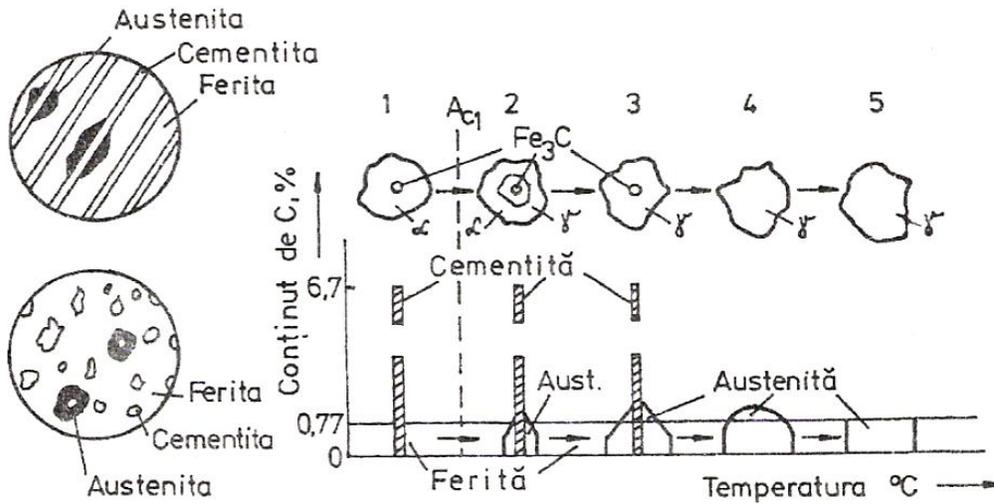
$A_1$ : temperatura eutectoida (+ c / r = inceput / sfarsit dizolvare / separare faza proeutectoida)

(faze proeutectoide: ferita – oțeluri hipeutectoide; cementita secundara – oțeluri hipereutectoide)

### Transformari in oțeluri la incalzire

Transformarea P-A: la temperaturi peste  $A_{c1}$  (practic: 30 – 50°C peste  $A_1$ ).

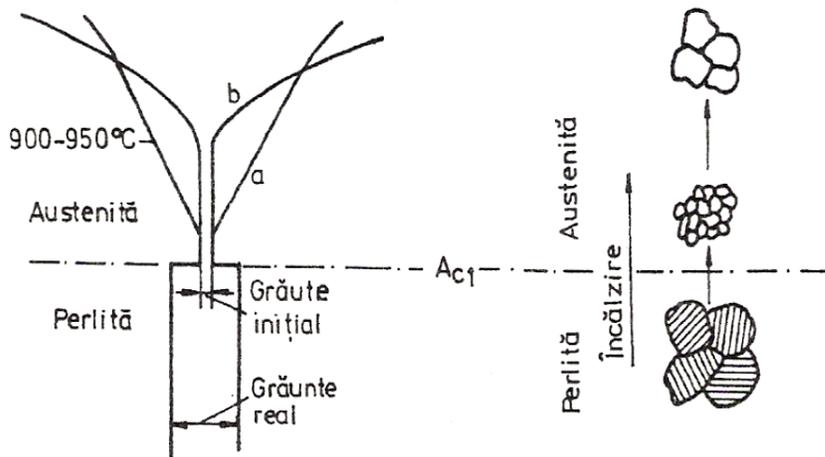
Majoritatea tratamentelor termice incep cu o austenitizare >>> austenita omogena



**Ereditatea otelurilor:** tendinta de crestere a grauntilor de austenita la incalzire

Erediate      fina (oteluri aliate, in general)  
                  grosolana (oteluri nealiate)

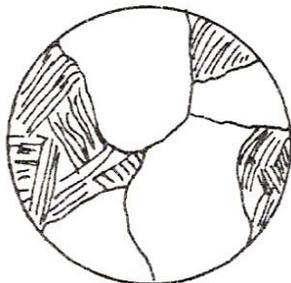
Graunte      *Initial*              imediat dupa transformarea P – A  
                          *Real*                      in conditii practice  
                          *Ereditar*                    obtinut in conditii standard (~930°C)



a – oțel cu ereditate grosolana  
 b – oțel cu ereditate fina

## Defecte ca urmare a incalzirii otelurilor

1. Supraincalzirea = obtinerea unei structuri grosolane (fragile)



a.



b.

Oteluri hipoeutectoide supraincalzite; a – racite lent; b – racite mai rapid (struct. Widmanstatten)

2. Oxidarea = formarea de oxizi la suprafata pieselor;

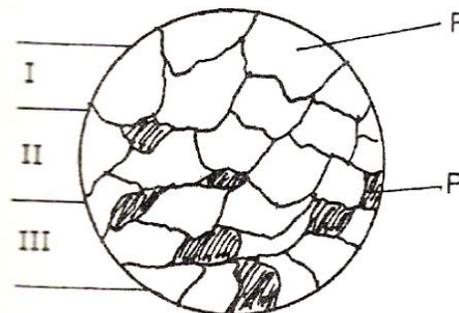
3. Decarburarea = scaderea continutului de carbon in stratul superficial

*Straturi:*

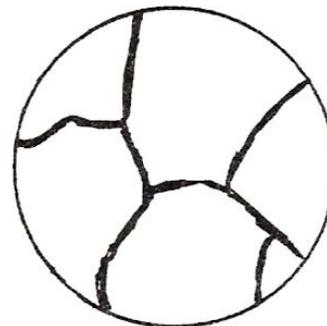
I – decarburat complet (F)

II – partial decarburat

III – materialul de baza (P + F)



4. Arderea = formarea de pelicule intergranulare groase de oxizi  
urmare a incalzirii aproape de linia solidus



### Transformari in oteluri la racirea din domeniul austenitic

Racire: *Izoterma*      scadere brusca a temperaturii pana la un palier de mentinere izoterma

*Continua*      scadere continua a temperaturii pana la temperatura ambienta  
cu o viteza de racire, caracteristica mediului de racire

#### Transformarea perlitica: A – P

La racire continua lenta (maximum aer) sau izoterma (550 – 700°C) – CU DIFUZIE

#### *Structurile perlitice: Ferita + Cementita !!!*

Gradul de finete creste cu viteza de racire (scaderea temperaturii de mentinere izoterma)

In ordinea cresterii vitezei de racire: Perlita lamelara grosolana (de echilibru)  
Perlita sorbitica (fina)  
Troostita (cea mai fina perlita)

#### Transformarea martensitica: A – M

*Martensita* = solutie solida suprasaturata de C in Fe $\alpha$  rezultata prin racirea brusca a austenitei

Tetragonala

Dura, rezistenta, fragila

#### *Caracteristicile transformarii:*

Rapida (ordinal  $10^{-7}$  s)

FARA DIFUZIE

Compozitia chimica a M – identica cu a A

M e orientata precis in raport cu A (plane habitale)

$\{111\}_\gamma \parallel \{011\}_\alpha$

Ireversibila la oteluri

*exista aliaje unde e reversibila*

*Ex.: Aliajele cu memoria formei*

In interval de temperatura Ms – Mf (sub 0°C)

A nu se transforma integral in M (ramane austenita reziduala)

#### Transformarea bainitica: intermediara intre transformarile perlitica si martensitica

*Bainita* = amestec mecanic de ferita suprasaturata cu carbon si carburi care nu au ajuns la stadiul de cementita (nu au 3 atomi de Fe pt. un atom de C)

Se produce izoterm: *Bainita superioara* la 400 – 450°C      asemanatoare troostitei  
*Bainita inferioara* la 300 – 350°C      asemanatoare martensitei (de revenire)

**DIAGRAMA TTT**  
(transformare – temperatura – timp)

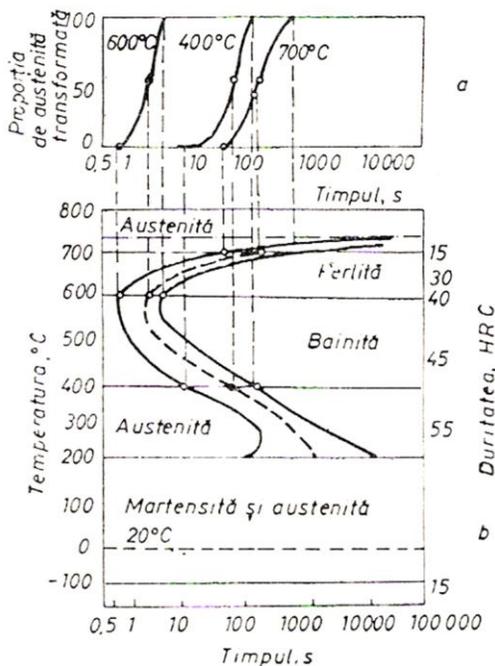
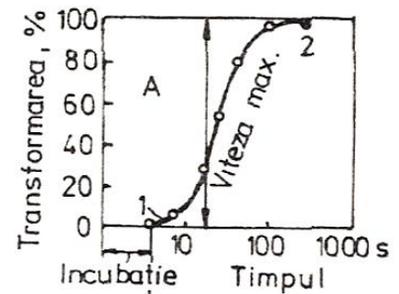
Prin *racire izoterma* se pot obtine structuri perlitice (gradul de finete creste cu scaderea temp.) bainitice

Martensita se obtine **numai** la *racire continua* (brusca)



Tipurile de structuri obtinute prin *racirea izoterma* a austenitei

Analiza cineticii transformarilor –  
prin **curbe cinetice de transformare**:  
procentul transformat din structura  
=  $f(\text{timp})$  pentru o temperatura de mentinere izoterma



**Diagrama TTT** – determina tipurile de structuri obtinute la o anumita temperatura de mentinere izoterma si dupa o anumita durata de timp

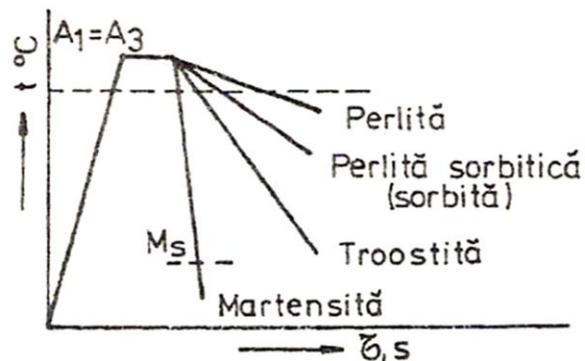
*Trasarea diagramei TTT din curbele cinetice pentru diverse temperaturi sub A1 (otel eutectoid)*

*Liniile* diagramei TTT: linia de inceput de transformare  
 linia de sfarsit de transformare  
 linia inceputului transformarii martensitice (la racire brusca)

*Domeniile* in diagrama TTT: austenitic (la stanga liniei de inceput de transformare)  
 perlitic (la dreapta liniei de sfarsit de transformare, peste 500°C)  
 bainitic (la dreapta liniei de sfarsit de transformare, 300 - 450°C)  
 de transformare (intre liniile de inceput si de sfarsit de transformare)  
 martensitic (+austenita reziduala)(sub Ms, numai la racire continua)

### DIAGRAMA TRC (transformare la racire continua)

Prin *racire continua* se obtin *structuri perlitice* (gradul de finețe crește cu viteza de racire)  
*martensita*



*Tipurile de structuri obtinute la racirea continua a austenitei*

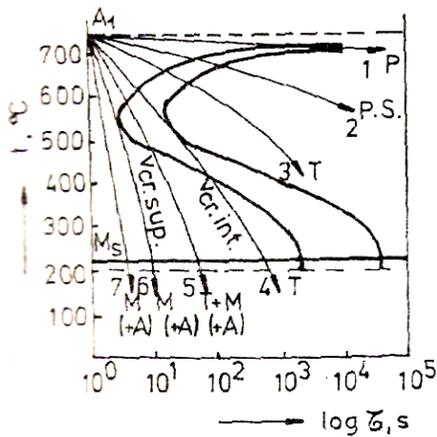
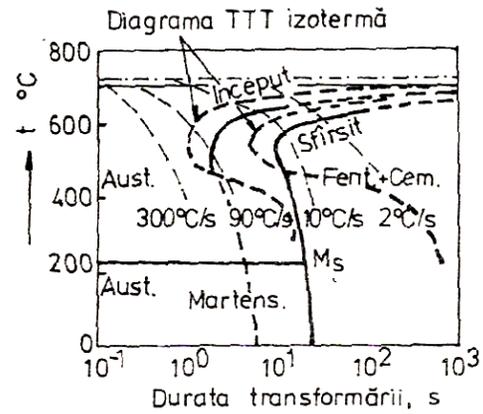


Diagrama T.R.C. a unui oțel eutectoid.



Compararea diagramelor T.T.T. și T.R.C. pentru un oțel eutectoid.

Vitezele critice:

**viteza critica inferioara** (curba tangenta la linia de sfarsit al transformarii)  
 = viteza minima la care apare martensita in structura

**viteza critica superioara** (curba tangenta la linia de inceput al transformarii)  
 = viteza minima la care intreaga structura este martensitica (+austenita reziduala)

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Definiți punctele critice  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{ccem}$ ;
2. Definiți punctele critice  $A_{r1}$ ,  $A_{r3}$ ,  $A_{rcem}$ ;
3. Care este faza proeutectoidă într-un oțel cu 0.6%C?
4. Care sunt etapele transformării austenitice?
5. Ce este ereditatea oțelurilor? Care este deosebirea între ereditatea fină și cea grosolană?
6. Ce este supraîncălzirea? Când apare?
7. Ce este oxidarea? Dar decarburarea? Cum se evită?
8. Ce este arderea oțelurilor?
9. Ce sunt structurile de tip perlitic? Care sunt acestea?
10. Ce este martensita?
11. Care sunt caracteristicile transformării martensitice?
12. Ce este bainita? Care sunt tipurile de bainită? Ce caracteristici au?
13. La ce tip de răcire se obține martensita? Dar bainita?
14. Care sunt coordonatele unei curbe cinetice de transformare?
15. Prin ce difera diagrama TTT de cea TRC?
16. Ce structură au oțelurile răcite izoterm înainte intersectării liniei de început de transformare? Dar înainte intersectării liniei de sfârșit de transformare?
17. Definiți vitezele critice.
18. Ce structură are un oțel răcit din domeniul austenitic cu o viteză mai mică decât cea critică inferioară?
19. Ce structură are un oțel răcit din domeniul austenitic cu o viteză mai mică decât cea critică superioară?
20. Un oțel eutectoid este răcit de la 750°C cu o viteză peste cea critică superioară. Ce se va întâmpla cu austenita?

## STRUCTURILE OBTINUTE PRIN TRATAMENT TERMIC

### Structurile de tip perlitic = F + Fe<sub>3</sub>C

1. Perlita grosolana: lamelara (echilibru), globulara (recoacere de globulizare)  
180 – 220 HB, A max.=12%, Rm = 700 – 800 MPa; tenacitate mai mare la globulara

2. Perlita sorbitica: lamelara fina, obtinuta prin racirea austenitei  
max.280 HB, Rm peste 800 MPa

Sorbita: structura lamelara fina, orientata; obtinuta din martensita, prin incalzire  
Rm peste 850 MPa, raport optim rezistenta / tenacitate

3. Troostita: lamelara, foarte fina  
~ 400 HB, rezistenta maxima a perlitelor (Rm>900 MPa)

### Structurile martensitice

Martensita = solutie solida suprasaturata de C in Fe $\alpha$

1. Martensita de calire: plachete (ace) de culoare alba;  
Structura tetragonala, tensionata; Rezistenta maxima (Rm > 1100 MPa), tenacitate minima

2. Martensita de revenire: plachete (ace) de culoare neagra  
Tensiuni mai mici, tenacitate mai mare; obtinuta prin incalzirea martensitei de calire (revenire)

### Structurile bainitice (intermediare)

Bainita = amestec mecanic de ferita suprasaturata cu C si carburi care nu au ajuns la stadiul de Fe<sub>3</sub>C

1. Bainita superioara: asemanatoare troostitei; se obtine izoterm la 400 – 450°C; ~ 450 HB;

2. Bainita inferioara: asemanatoare martensitei de revenire; se obt. izoterm la 300 – 350°C; ~550 HB

## RECOACERILE

Recoacerile = TT caracterizate prin raciri lente (cea mai mare viteza de racire – in aer)

**Recoacerea de detensionare:** destinata eliminarii tensiunilor termice rezultate in urma prelucrarilor la cald (sudare, turnare, etc.)

550 – 600°C pentru oteluri, 2-6 ore, racire in cuptor / nisip

**Recoacerea de recristalizare:** pentru eliminarea ecruisarii

600 – 700°C pentru oteluri

**Recoacerea de omogenizare:** pentru eliminarea segregatiei dendritice

1100 – 1150 °C pentru oteluri, racire in cuptor; rezulta structuri supraincalzite

**Recoacerea de echilibru:** pentru aducerea structurii in starea de echilibru (din diagrama)

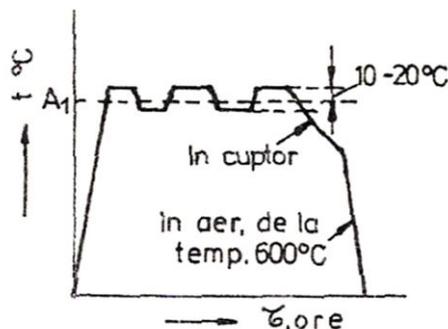
La otelurile hipereutectoide: recoacere de inmuire

Temperatura: 30 – 50°C peste A3 / Acem; RACIRE EXTREM DE LENTA

**Recoacerea de normalizare** (faramitare a graunilor): pentru obtinerea unei structuri fine

Temperatura: nu mai mult de 30 – 50°C peste A3 / Acem; racire in aer

**Recoacerea de globulizare a perlitei:** obtinerea perlitei globulare (mai tenace si aschiabila)



*Recoacere pendulara in jurul temperaturii A1*

## CALIREA

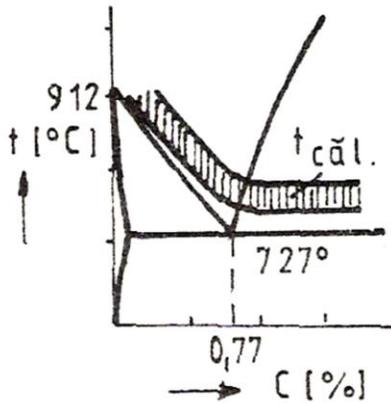
Calirea = incalzire pentru transformare de faza ( P – A in cazul otelurilor), urmata de racire brusca

Oteluri: temperatura cu 30 – 50°C peste A3 (hipoeutectoide) / A1 (hipereutectoide)

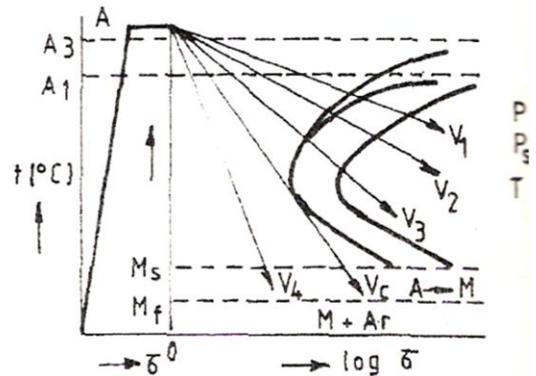
Fiecarui mediu de racire ii corespunde o *intensitate de racire* H:

H = 1 pentru apa la 20°C; (H < 1 pentru ulei, motorina, ...); (H > 1 pentru apa cu Na Cl, apa la 0°C)

**Calirea clasica:** intr – un singur mediu



Temperaturile de calire

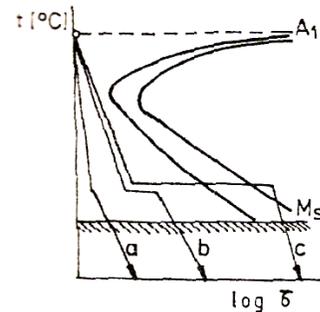


Vitezele de racire la calirea clasica

Dezavantaje: tensiuni termice (intre zone cu sectiuni diferite)  
 structurale (martensita are volumul maxim)

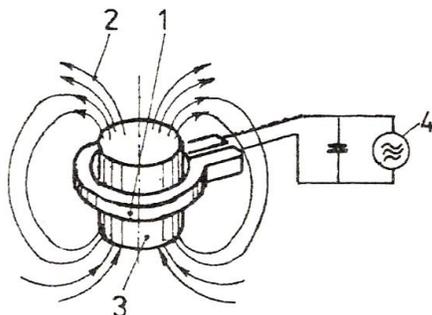
**Procedee speciale de calire:** pentru eliminarea (partiala) a dezavantajelor calirii clasice

- a. Calirea intrerupta (2 medii: apa – ulei)
- b. Calirea in trepte (mentinere pentru egalizarea temperaturii)
- c. Calirea izoterma (pentru obtinerea unei structuri bainitice)



+ calirea criogenica (pentru stabilizare dimensionala)

Metode de călire cu răcire discontinuă.  
 călire intreruptă; b - călire în trepte;  
 c - călire izotermă.



Schema încălzirii prin cureni de înaltă frecvență.  
 1-inductor; 2-câmp magnetic alternativ;  
 3-piesa; 4-generator de înaltă frecvență.

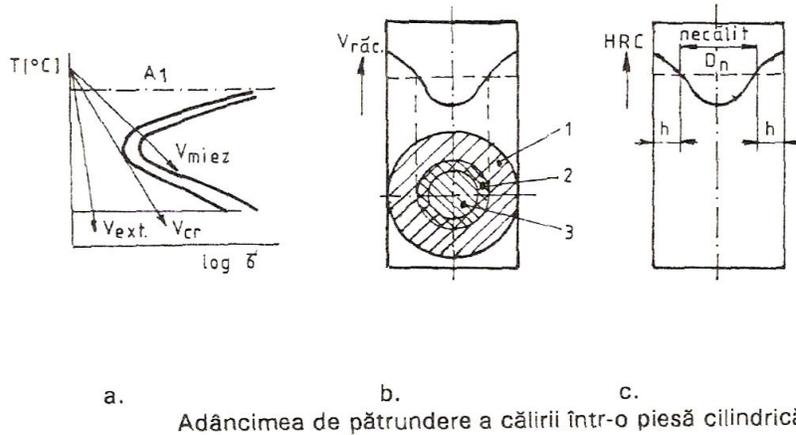
**Calirea superficiala:** numai pentru exteriorul pieselor care devine dur si rezistent; interiorul ramane tenace

**Calirea CIF:** Se induc curenti Foucault in straturile superficiale ale piesei; incalzirea se produce prin efect Joule;  
 Adancimea stratului calit se poate regla prin frecventa curentului si prin viteza de deplasare a inductorului.

**CALIBILITATEA**

Calibilitatea = proprietatea unui oțel de a se cali în profunzime; se determină prin adâncimea de pătrundere a calirii (grosimea stratului calit)

Capacitatea de calire ≠ calibilitate; Capacitatea de calire = duritatea care se obține în urma calirii

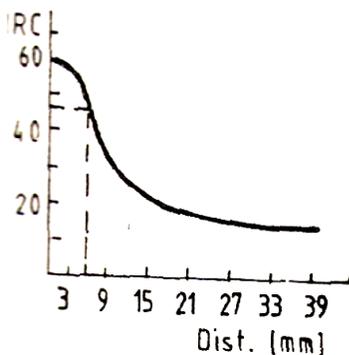


a-vitezele de răcire;  
 b-straturile obținute în secțiune după călire;  
 c-repartiția durităților în secțiune.

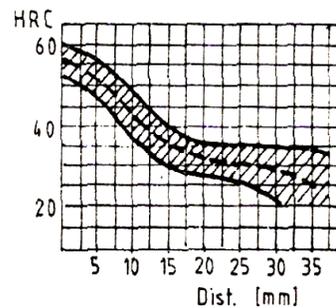
Strat semimartensitic = stratul care are 50% martensita (determinat prin duritate)

Adâncimea de pătrundere a calirii: până la stratul semimartensitic

Mod de determinare: metoda calirii frontale (Jomini) → duritatea = f(distanța de la capatul calit)  
 → Curba de calibilitate → Banda de calibilitate



Curbă de călibilitate.



Bandă de călibilitate.

**$D_0$  – diametrul critic real** = cel mai mare diametru al unei piese care se caleste complet in mediul real de tratament

**$D_\infty$  - diametrul critic ideal** = cel mai mare diametru al unei piese care se caleste complet intr-un mediu de racire ideal ( $H \rightarrow \infty$ )

## REVENIREA

Revenirea = tratamentul termic aplicat dupa calirea martensitica, in vederea obtinerii unei structuri mai stabile si mai putin fragile

### 1. Revenirea joasa: 150 – 300°C

Se obtine martensita de revenire (dura, rezistenta); pentru piese puternic sollicitate la uzare, scule, etc

### 2. Revenirea medie: 300 – 450°C

Se obtine troostita de revenire (rezistenta si elasticitate mare); pentru arcuri

### 3. Revenirea inalta: 500 – 650°C

Se obtine sorbita; pentru piese sollicitate in regim dinamic (roti dintate, arbori, axe, etc)

CALIRE + REVENIRE INALTA = IMBUNATATIRE

## TRATAMENTE TERMOCHIMICE

Tratamente termochimice = tratamente de suprafata in cadrul carora stratul exterior al pieselor se imbogatesc intr-un anumit element chimic ; numele provine de la elementul chimic (carburare, nitrurare, siliciere,...)

Procesul decurge in 3 etape :

### 1. Disocierea mediului – obtinerea atomilor activi, care participa la procesele ulterioare



### 2. Adsorbția – fixarea atomilor activi pe suprafata piesei

### 3. Difuzia

**Carburarea**

Pentru oțeluri cu conținut de C < 0.2%

Mediu : (solid, lichid), gaz, plasma

Temperatura : 900 – 950°C

Grosimea stratului : 0.2 – 2 mm

Nu este tratament final. Necesita tratament ulterior pentru obtinerea martensitei in stratul exterior.

**Nitrurarea:** imbogatirea stratului exterior in azot

Numai pentru oțeluri aliate cu elemente care formeaza nitruri stabile (Al, Mo, Cr, V, ...)

Mediu: gaz, plasma

Temperatura: 500 – 550°C

Grosime strat: 0.2 – 0.5 mm (foarte dur, > 1000 HV)

Este tratament final

**Carbonitrurarea:** imbogatirea exteriorului pieselor simultan in C si N

Avantaje:     se pot trata si oțeluri nealiate  
                  temperatura este mai scazuta decat la carburare  
                  exista posibilitatea calirii directe dupa tratament  
                  grosimea stratului mai mare decat la nitrurare, duritatea mai mare decat la carburare

## OTELURI ALIATE

OTELURI ALIATE = aliaje complexe cu baza Fe, principal element de aliere C (max. 2%) si alte elemente introduse pentru imbunatatirea unor proprietati – mecanice, fizice (magnetice, termice), chimice (rezistenta la coroziune), tehnologice (calibilitate, sudabilitate,...).

### Influenta elementelor de aliere in oțeluri

#### 1. Influenta asupra transformarilor alotropice ale fierului

**Elemente gamagene:** largesc domeniul de existenta al Fe $\gamma$  (austenita)

In cantitate mare – austenita la temperatura ambianta

***Ni, Mn***

**Elemente alfa gene:** restrang domeniul de existenta a  $Fey$ , largindu-l pe al  $Fe\alpha$  (ferita)  
In cantitate mare – structura preponderent feritica

*Cr, Mo, W, V, Al, Si, Ta, ...*

## 2. Influenta asupra carbonului

**Elemente carburigene** (formeaza carburi si cementite aliate)

*Mo, W, V, Cr, Ti,...* (alfagene) + *Mn* (gamagen)

**Elemente grafitizante**

*Si, Al, Cu, Ni*

## 3. Influenta asupra proprietatilor

- 3.1 Rezistenta feritei creste la adaosuri de Mn, Si, Ni,...
- 3.2 Tendinta de crestere a grauntelui austenitic *scade* la adaosuri de **Mo, W, Cr**  
*creste* la adaosuri de **Mn**
- 3.3 Calibilitatea creste prin aliere (exceptie – Co); efect maxim: Mn

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Ce sunt structurile de tip perlitic? Care sunt acestea?
2. Care este cea mai fina perlita? Dar cea mai rezistenta?
3. Care este structura recomandata pentru organe de masini puternic solificate in regim dinamic? Prin ce tratament se obtine?
4. Ce structura este recomandata pentru arcuri? Cum se obtine?
5. Ce structura este recomandata pentru scule de aschiere? Cum se obtine?
6. Ce recoacere se recomanda dupa sudarea prin topire?
7. Prin ce tratament se elimina efectul unui anterior gresit efectuat?
8. Prin ce tratament se obtine o structura uniforma fina? Care este efectul asupra proprietatilor mecanice?
9. Cum se elimina segregatia dendritica? Tratamentul aplicat are efect asupra segregatiei zonale?
10. Cum se efectueaza calirea clasica? Cum se alege mediul de racire?
11. Care sunt dezavantajele calirii clasice si cum se evita?
12. Ce structura se obtine dupa calirea izoterma?
13. Care sunt avantajele si dezavantajele calirii in doua medii si in trepte?
14. Prin ce difera stratul obtinut prin calire CIF de cel obtinut prin carburare si calire?
15. Care sunt particularitatile stratului obtinut prin carburare?
16. Care sunt avantajele si dezavantajele nitrurarii? Dar ale carbonitrurarii?
17. Ce este calibilitatea? Prin ce difera de capacitatea de calire?
18. Care va fi diferenta intre diametrele critice reale pentru un otel calit in apa si in ulei?
19. Care este consecinta prescrierii prin standard a unei benzi superioare de calibilitate?
20. Care sunt elementele de aliere gamagene? Dar cele alfa-gene de baza?
21. Care elemente formeaza carburi si care nu formeaza? Ce faza este favorizata de acestea?
22. Ce elemente cresc calibilitatea otelurilor?
23. Ce element favorizeaza structurile supraincalzite?
24. Ce elemente favorizeaza structurile fine?



## Otelurile aliate de constructie

Oteluri slab aliate (in general sub 2.5% continut de elemente de aliere)

Au structuri asemanatoare cu otelurile nealiate

### Oteluri aliate de carburare

Continut de carbon: 0.06 – 0.25%

Oteluri cu Cr (pana la max. 1.5%)  
 Cr – Mn (max. 1% Mn pentru calibilitate)  
 Cr – Ni (~ 1% Cr, max. 4% Ni) – miez bainitic

Standardizare SR EN 10028 – 1:1996  $N E_1 E_2 N_1 - N_2$

N - continutul de carbon (sutimi procent);  $E_2, E_1$  – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii;  $N_1, N_2$  – continutul elementelor  $E_1, E_2 \times f$

f – factor = 4 pentru Cr, Co, Mn, Ni, Si, W

### Oteluri aliate pentru calire si revenire

Continut de carbon: 0.25 – 0.6%

Standardizare SR EN 10083 – 1:1994  $NE_1 E_2 N_1$

N - continutul de carbon (sutimi procent);  $E_2, E_1$  – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii;  $N_1$  – continutul elementului  $E_1 \times f$

Oteluri cu	Cr, Cr-Mo	permit calirea in ulei; Ex. 40Cr4, 42CrMo4
	Mn	calibilitate crescuta (si tendinta de supraincalzire); Ex. 35Mn16
	Cr -Ni	rezistenta mare prin tratament dar <i>fragilizare la revenire</i>
		a. 200 – 400°C transformare partiala Ar – M
		b. 500 – 600°C difuzia P
		eliminare: Cr-Ni-Mo
	Cr – V	structura fina si elasticitate mare; Ex. 51CrV4

### Oteluri speciale de constructie

- Oteluri pentru rulmenti: 1%C, 1.5%Cr, Mn (mai mult la cele pentru rulmenti grei), Si

- Oteluri pentru arcuri

Nealiate	C intre 0.55 – 0.85% (solicitari reduse)
Aliate	cu Si cel mai bun raport R / A
	pentru solicitari medii
	cu Cr si V pentru solicitari mari;

### Oteluri cu proprietati fizico-chimice speciale

Oteluri inalt aliate (continut de elemente de aliere > 5%)

Simbolizare SR EN 10027 – 1:1996 X N E<sub>1</sub>E<sub>2</sub> N<sub>1</sub> – N<sub>2</sub>

N - continutul de carbon (sutimi procent); E<sub>2</sub>, E<sub>1</sub> – elementele de aliere in ordinea descresterii importanteii; N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> – continutul elementelor E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> in procente

Ex. X 5 CrNi 18-10

(+G pentru otelurile turnate); Ex. G X 3CrNi 18-8

#### Oteluri inoxidabile

Oteluri rezistente la coroziune (atmosferica si in alte medii)

Contin peste 12% Cr dizolvat in solutie solida (austenita, ferita, martensita)

Rezistenta la coroziune datorita formarii peliculei protectoare de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

In functie de structura de normalizare	Austenitice	Cr-Ni, cele mai rezistente la coroziune
	Martensitice	Cr – Ni, autocalibile, R maxim
	Feritice	Cr (peste 13%), cele mai ieftine

#### Oteluri refractare

Oteluri rezistenta la temperaturi ridicate (in general, maximum 650 – 700°C)

Refractaritate =        stabilitatea proprietatilor mecanice  
    stabilitate structurala: elemente care formeaza carburi intergranulare  
    stabilitate chimica: elemente care formeaza straturi oxidice protectoare  
    Cr, Al, Si

In functie de structura de normalizare:

Austenitice    Cr-Ni, mai mult carbon decat cele inoxidabile  
    + elemente stabilizatoare (formeaza carburi stabile): Ti, Mo, ...

Martensitice    Cr – Ni + Al, Mo, Si

Feritice (cu carburi)    Cr (pana la 30%)  
    ieftine, rezistenta scazuta

#### Oteluri rezistente la uzare (manganoase, Hadfield)

Oteluri turnate cu continut mare de Mn (11.4 – 14.5%)

Structura austenitica supraincalzita, ecruisare puternica in timpul uzarii



*Rezistenta la coroziune:* buna in atmosfere corozive, acizi organici, apa (si de mare)

ATENTIE – coroziune electrochimica !!!

Cauza rezistentei la coroziune: stratul oxidic ( $Al_2O_3$ ) aderent, stabil, impermeabil

*Impuritati:* Fe ( $Al_3Fe$  la limitele de graunti) , Si (ca impuritate, dizolvat)

### Aliaje cu baza aluminiu

Clasificare

A. Aliaje de turnatorie

B. Aliaje deformabile

B.1 care nu se intaresc si durifica prin T.T.

B.2 care se intaresc si durifica prin T.T.

In general, aliajele deformabile nu contin eutectice; cele de turnatorie sunt in general aliaje cu eutectic (cel mai des hipoeutectice).

#### A. Aliaje de turnatorie

Au fluiditate buna si contractie mica de solidificare

Cea mai buna turnabilitate: Al – Si (siluminuri)

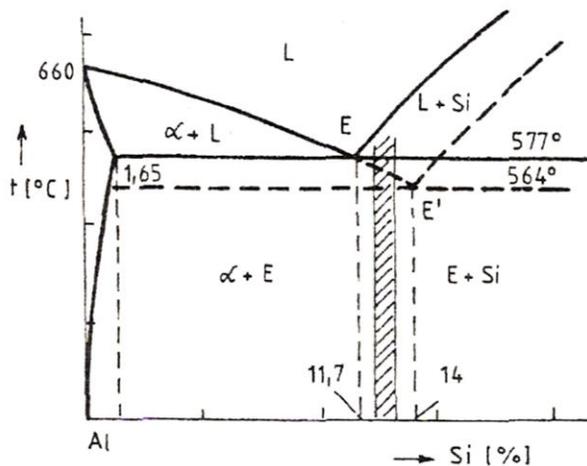
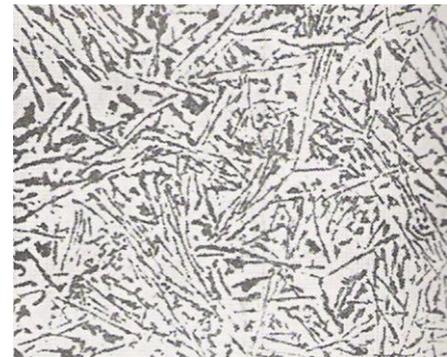
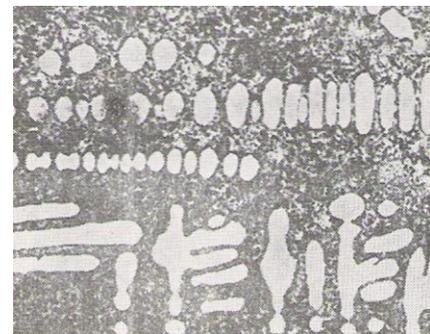


Diagrama Al - Si



Silumin eutectic nemodificat



Silumin hipoeutectic (9% Si) modificat

Aliaje hipoeutectice:  $\alpha + E$

Aliaje hipereutectice: Si (foarte fragil) + E

Siluminurile se modifica pentru obtinerea unui eutectic fin (fibre in loc de lamele)

Modificator: Na (NaF, NaCl) – sub 0.02%

Efect secundar: eutecticul la 13 – 14%

12% Si:  $R_m = 180 - 200$  MPa;  $A = 5 - 8$  %

Prin aliere (Cu, Mg) aliajele se pot trata termic  $\rightarrow R_m > 250$  MPa

Alte aliaje de turnatorie: Al – Cu (mai ales si cu alte elemente), Al – Zn, Al – Mg, ...

Cele mai rezistente aliaje de aluminiu pentru turnatorie: Al – Zn – Mg – Cu ( $R_m > 700$  MPa)

### **B.1 Aliaje deformabile care nu se intaresc / durifica prin TT**

Aliaje monofazice (in general), cu plasticitate f. buna (profiluri laminate, piese extrudate / ambutisate, ...): Al tehnic, Al – Mn (max. 1.6%), Al – Mg (max. 7%)

### **B.2 Aliaje deformabile care se intaresc / durifica prin TT**

Aliaje in care la echilibru se formeaza compusi secundari care la cald se dizolva in solutia solida.

Tratamentul termic dublu:

1. calire pentru punere in solutie (aducerea solutiei solide la temperatura ambianta);
2. imbatranire (intarire / durificare prin precipitarea unor faze afara de echilibru)  
    naturala – la temperatura ambianta  
    artificiala – prin incalzire;

Duraluminurile – aliaje tipice

Aliaje Al – Cu – Mg – Mn: 2 – 5.2% Cu; 0.2 – 1.8% Mg; 0.2 – 1.2% Mn

Efect elemente de aliere:      Cu – cresterea rezistentei prin TT dar scaderea rezistentei la coroziune  
   Mg – cresterea rezistentei prin TT dar si a duratei de omogenizare  
   Mn – eliminarea efectului negativ al Fe

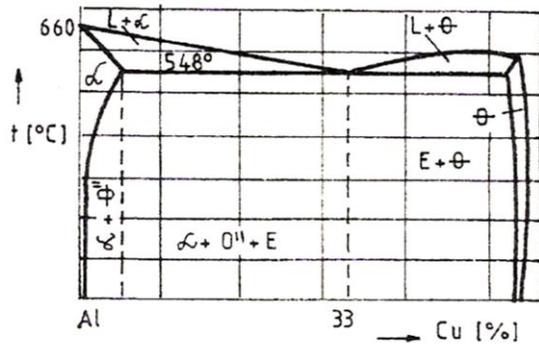


Diagrama de echilibru Al - Cu

Pentru TT: compusi solubili in  $\alpha$   
 $\Theta - Al_2Cu$

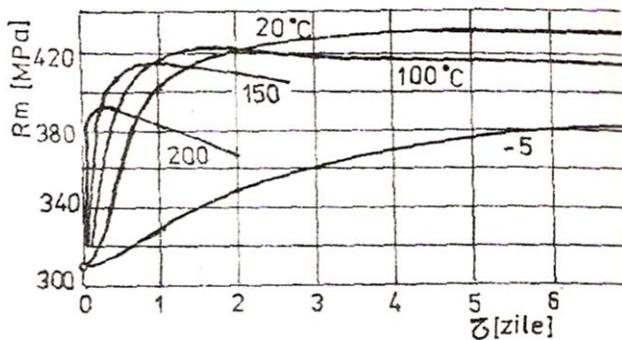
Fazele cu Mg

Prin calire: structura  $\alpha$  (plasticitatea maxima),  
 stabila in primele 2-3 ore

In timpul imbatranirii se formeaza pre-  
 precipitate (zone Guinier-Preston) care  
 tensioneaza retea  $\rightarrow$  rezistenta / duritate

Prin incalzire se pierd tensiunile (SUPRAIMBATRANIRE)  
 $\rightarrow$  pierderea rezistentei / duritatii

Analiza imbatranirii: *curbe de imbatranire*



Curbe de imbatranire pentru AlCu4MgMn

Dezavantajele duraluminurilor:

- rezistenta mica la corozie (sub tensiuni)
- fragilitate la sudarea prin topire
- tensiuni reziduale mari dupa TT

Aliaje care nu prezinta ac. dezavantaje:

- Al - Zn - Mg
- Al - Mg - Si

### Standardizarea aliajelor de aluminiu

**SR EN 1780** – aliaje de turnatorie:

EN AX  $x_1x_2x_3x_4x_5$ , unde X=B (lingou), C (piese turnate), M – (prealiaj);

$x_1$ =grupa de aliaje: 1. aluminiu minim 99%; 2. Al-Cu; 4. Al-Si; 5. Al-Mg; 7. Al-Zn

$x_2$ =grupa de aliere; Ex. 41xxx = Al-Si-Mg-Ti

**SR EN 573** – aliaje deformabile

EN AW  $x_1x_2x_3x_4$

$x_1$ =grupa de aliaje: 1. aluminiu minim 99%; 2. Al-Cu; 3. Al-Mn; 4. Al-Si; 5. Al-Mg; 6. Al-Mg-Si;

7. Al-Zn; 8. alte elemente

**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. Care este in oteluri efectul cromului, nichelului si manganului?
2. Care este in oteluri efectul wolframului, molibdenului si vanadiului?
3. Ce tip de otel este 15Cr4?
4. Dintre otelurile 35NiCr6 si 39NiCrMo3, care este mai sensibil la fragilitatea de revenire?
5. Care este conditia ca un otel sa fie inoxidabil?
6. Care este cauza pentru care un otel inoxidabil este rezistent la coroziune?
7. Prin ce difera otelurile austenitice refractare de cele austenitice inoxidabile?
8. Ce conditii trebuie sa indeplineasca un otel refractar? Cum se realizeaza?
9. Ce solutie solida trebuie sa apara in structura ambienta a unui otel inoxidabil care poate fi folosit pentru cutite?
10. Care este elementul de aliere in otelurile inalt rezistente la uzare? Care este mecanismul de obtinere a rezistentei la uzare?
11. De ce otelul C120U nu poate fi folosit pentru cutite de strung destinate aschierii otelului?
12. Prin ce difera structura de utilizare a unui otel pentru scule de deformare la rece de cea a unui otel pentru scule de deformare la cald?
13. Care este efectul W si Mo in otelurile rapide?
14. Care sunt caracteristicile aluminiului?
15. Cum se comporta aluminiul la coroziune?
16. De cate tipuri sunt aliajele aluminiului?
17. Care aliaje de aluminiu au cea mai buna turnabilitate?
18. De ce se efectueaza modificarea siluminului? Cu ce se realizeaza? Care este efectul structural al modificarii? Dar asupra proprietatilor?
19. Care sunt etapele tratamentului termic al aliajelor de aluminiu care se intaresc astfel?
20. Ce sunt duraluminurile? Care este rolul fiecaruia dintre elementele de aliere?
21. Care sunt avantajele si dezavantajele imbatranirii artificiale a duraluminurilor?
22. Care sunt dezavantajele duraluminurilor? Ce aliaje nu prezinta aceste dezavantaje?
23. Explicitati complet simbolurile:  
52CrV4; 16CrMo4-4; 28Mn6; 30CrNiMo8; X100CrMoV5; X38CrMo16; X39CrMo 17-1;  
EN-GJS-800-2; EN-GJMW-550-22; EN-GJL-300; EN-GJMB-700-2;



## CUPRUL SI ALIAJELE CU BAZA CUPRU

Cuprul : metal rosiatic, foarte bun conductor electric / termic, foarte plastic

*Densitate*:  $8950 \text{ kg/m}^3$

*Temperatura de topire*:  $1083^\circ\text{C}$

*Sistem de cristalizare*: c.f.c.

*Foarte bun conductor*

electric (dupa Ag)  $\rho_{el} \approx 0.015 \mu\Omega \text{ m}$

termic (dupa Au)

*Rezistenta mecanica*: 200 – 240 MPa (recopt, in functie de puritate)

*Rezistenta la coroziune*: buna in atmosfera, apa (si de mare)

### Alamele = aliaje Cu – Zn

Alamele tehnice: max.45% Zn

Structura  $\alpha$  – pana la 39% Zn

$\alpha + \beta'$  – peste 39% Zn ( $\beta'$  = solutie / comp. CuZn)

Turnabilitate buna, deformabilitate f. buna (monofazice)

Se introduce Pb pentru aschiabilitate

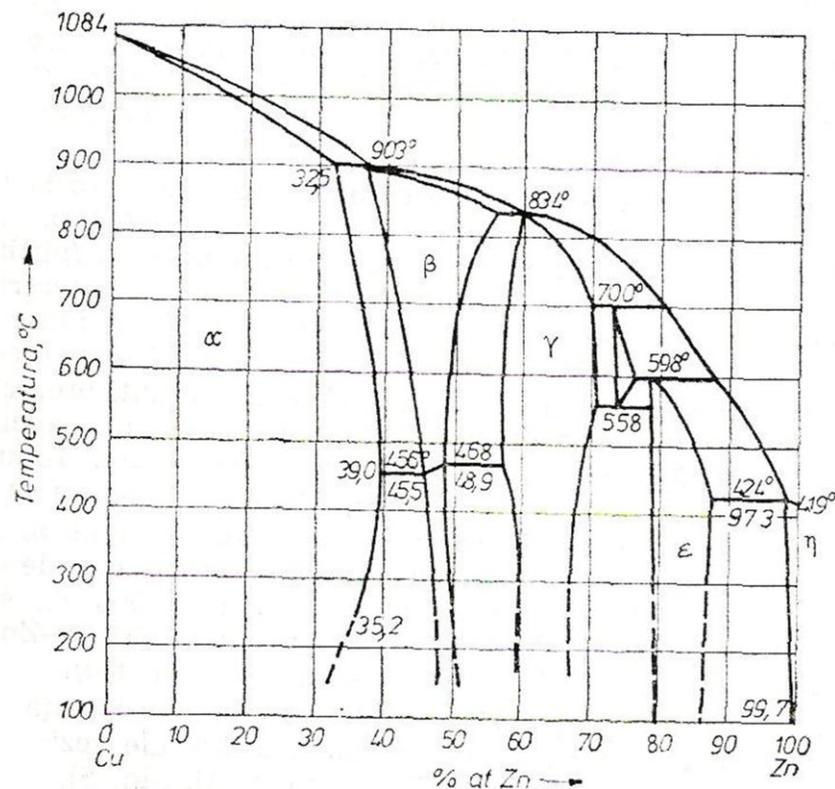


Diagrama de echilibru Cu-Zn.

**Bronzuri** = aliaje in care predomina cuprul (cu exceptia alamelor)

Bronzurile cu Sn – cele mai vechi aliaje utilizate

Tehnice: max. 25% Sn

Structura  $\alpha$  – pana la 5-6% Sn - plastice

$\alpha + (\alpha + \delta)$  – dure, rezistente la uzare

Rezistenta max.: 400 – 500 MPa

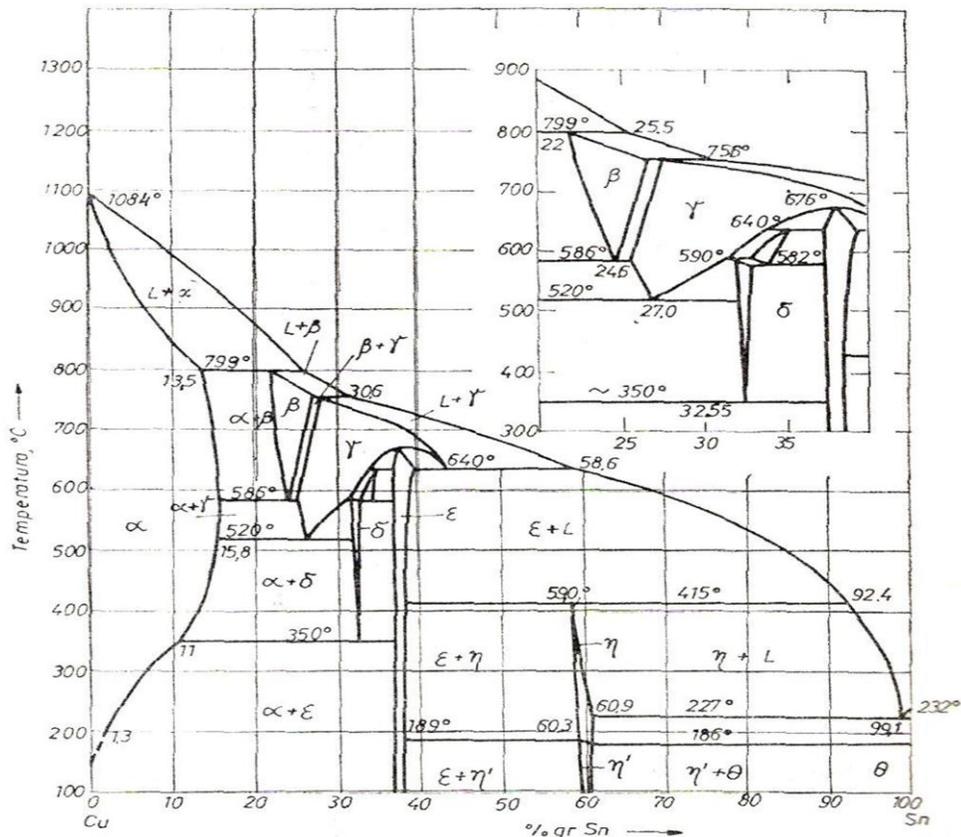


Diagrama de echilibru Cu-Sn.

*Rezistenta la coroziune:* buna in apa (si de mare), solutii neutre  
slaba in HCl, HNO<sub>3</sub>

Bronzuri cu Al – Rm > 560 MPa, rezistenta la coroziune > decat Cu-Sn

Bronzuri cu Si – ieftine, fluide, rezistente la coroziune si eroziune

Bronzuri cu Be – Rm > 700 MPa, antiscantei, elastice

**MATERIALE CERAMICE**

Def. (general) – Materiale formate din compusi anorganici, fara caracter metalic; contin elemente metalice (Al, Si, Ca, Zr, Mg, ...) si elemente nemetalice (O, F, Cl, S, ...)

Exceptie: C si B sunt considerate materiale ceramice

**Clase de ceramici**

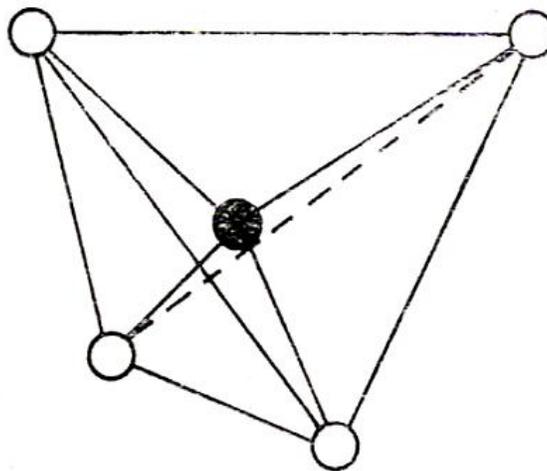
A. Ceramici clasice  
Ceramici tehnice

B. Amorfe – sticle – grupuri de atomi se solidifica din lichid  
→ structura din starea topita se transfera in cea solida

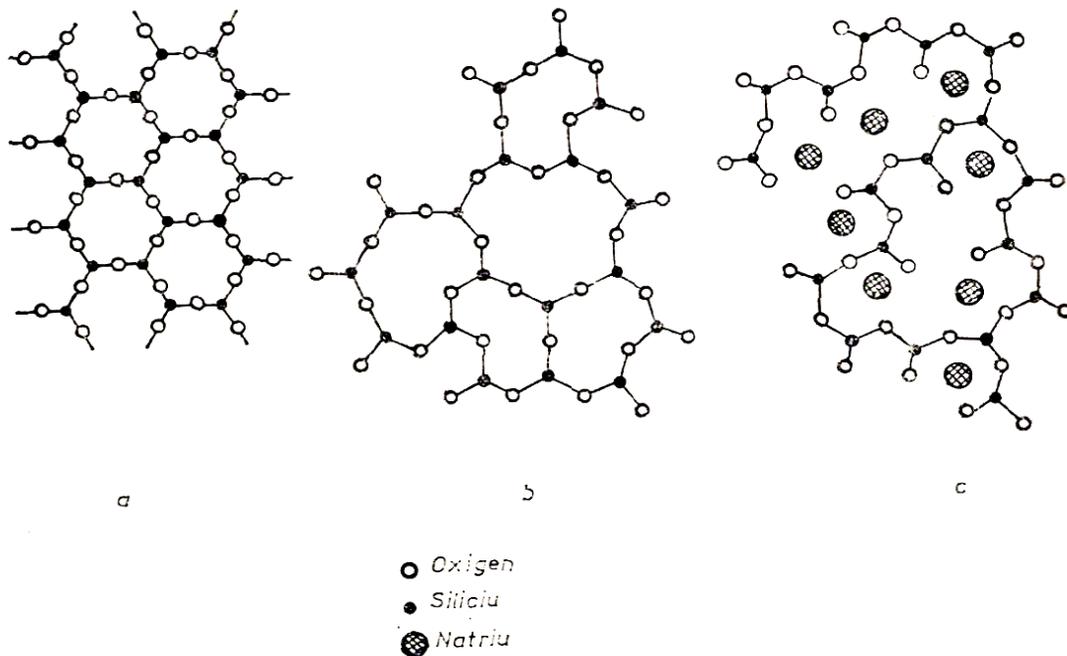
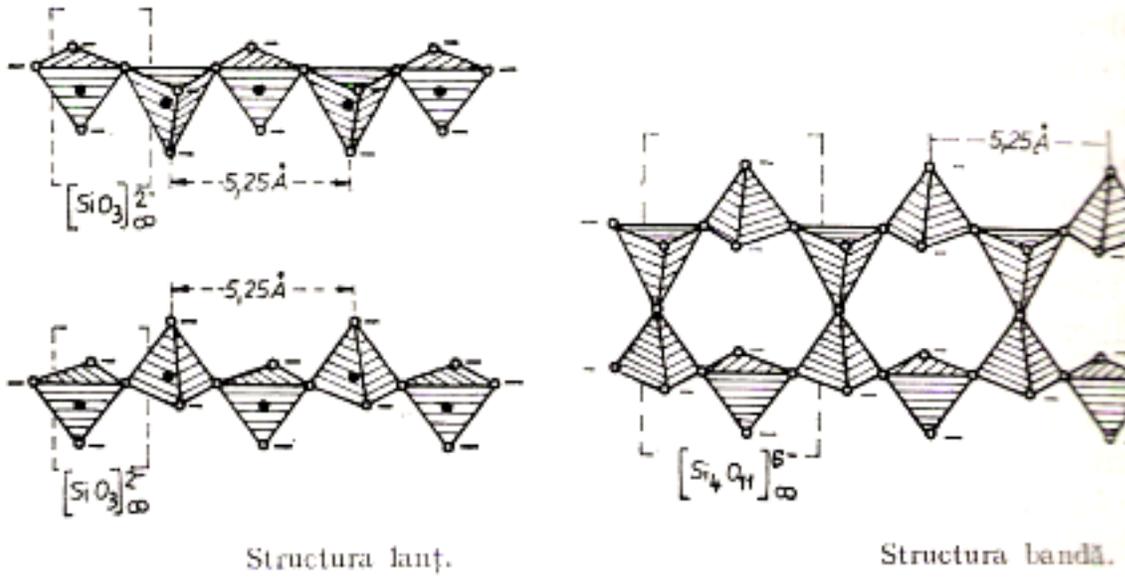
Cristaline – dure, stabile chimic, indice de refractie mare, dielectrice, rezistenta / stabilitate dimensionala la cald, refractaritate

Cele mai utilizate: **ceramicile silicatiche** – ieftine, gama larga de compozitii / proprietati

Structura – tetraedre  $\text{SiO}_4^{4-}$  legate prin puncti de oxigen; echilibrarea sarcinii prin aport de cationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , ...)



Grupa de coordinaire tetraedrică  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ : ● –  $\text{Si}^{4+}$ ;  
○ –  $\text{O}^{2-}$



Reprezentarea schematică, bidimensională pentru:  
 a – structura cristalină a silicei; b – structura rețiculară a sticlei de silice ( cuarț ); c – sticlă silico-sodică.

Portelanul tehnic: SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (general)

$R_m = 40-50\text{MPa}$ ;  $R_c = 400-900\text{MPa}$ ;  $2.5 - 3.1\text{ g / cm}^3$ ;  $\rho_{el} = 10^{18} - 10^{19}\ \Omega\text{ cm}$ ;

Smalturi (pentru metale - otel, fonta, Al, ...), glazura (ceramica) : 3.5 – 6 Mohs;

Sticla tehnica

Sticla silicatica – SiO<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>O, CaO (alte elemente)

Borosilicati (+13% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – inmuiere la 820°C; max. 500°C temp. utilizare;

Sticla de cuarț – topirea la 2000°C a cuarțului; utilizare lunga la 1000°C;

Alte ceramici tehnice:**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**Alumina

99.5%:  $3.89\text{ g / cm}^3$ ;  $R_c = 2600\text{MPa}$ ;  $E = 375\text{GPa}$ ; max.  $t = 1750^\circ\text{C}$  (fără eforturi);  $\rho_{el} > 10^{14}\ \Omega\text{ cm}$

Corindon

Natural: rubin, safir (9 Mohs – al doilea mineral după diamant);

$3.95 - 4.1\text{ g / cm}^3$ ;  $t_{topire} = 2044^\circ\text{C}$ ;

Electrocorindon

**3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 2SiO<sub>2</sub> (mulit)**

$2.8\text{ g / cm}^3$ ;  $R_c = 1310\text{MPa}$ ; 1080 HV; max.  $t = 1650^\circ\text{C}$ ;  $E = 151\text{GPa}$ ;  $\rho_{el} > 10^{13}\ \Omega\text{ cm}$

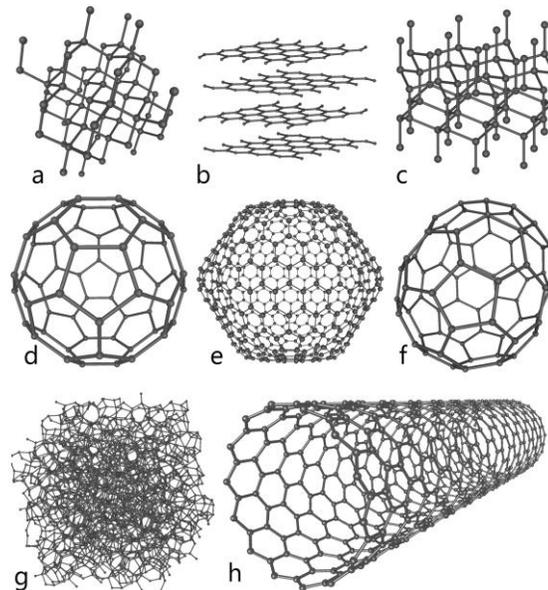
**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x MgO (spinel): MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**

$3.64\text{ g / cm}^3$ ; 8 Mohs;

**ZrO<sub>2</sub>**

$5.68\text{ g / cm}^3$ ;  $t_{topire} = 2715^\circ\text{C}$ ; max.  $t = 2400^\circ\text{C}$ ;  $E = 200\text{GPa}$ ; 1100 HV;  $R_c = 1800 - 4820\text{MPa}$

**Carbon**



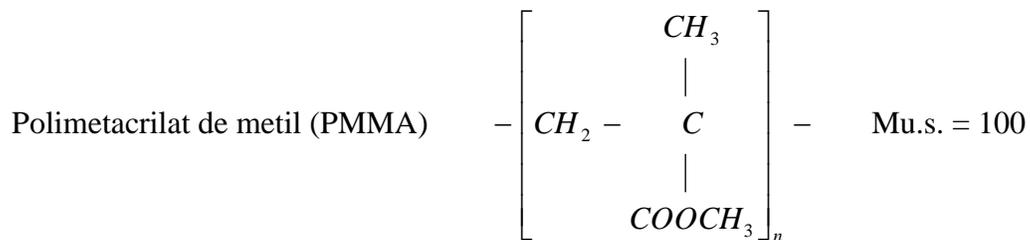
a- diamant; b – grafit; c – lonsdaleit; d – f fullerene; g – amorf; h - nanotuburi

**POLIMERI**

Def.: Materiale organice macromoleculare constituite din lanturi lungi ( $M = 10^4 - 10^6$ ) - C - C - (legatura covalenta) la care se asociaza si alti atomi (H, O, N, F, ...)

Polimerii sunt alcatuiti din *unitati structurale* care se repeta

Ex. Polietilena (PE)  $-(CH_2 - CH_2)_n-$  Mu.s. = 28



Homopolimeri / Copolimeri

aleatori	A-B-A-B-B-B-A-A-
alternanti	A-B-A-B-A-B-A-B-
in blocuri	A-A-A-A-B-B-B-B-



<b>Polimeri</b>	<b>Amorfi</b>	catena liniara / ramificata
	<b>Semicristalini</b>	catena reticulata – prin ordonare in siruri semiparalele <i>Grad de cristalinitate</i> = raportul fractie ordonata / cantitate totala  <i>Cristalizare</i> – la cald, sub sarcini mecanice, chimic

Masa macromoleculii:  $M = n \times M_{u.s.}$ ,  $n =$  grad de polimerizare; ( $n < 100$  pt. oligomeri)

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

$M_n$  – masa moleculară medie numerică;  $M_w$  – masa moleculară medie masică

*Polimerii industriali*:  $M_n = 25,000 - 100,000$ ;  $M_w = 50,000 - 300,000$

$i = M_w / M_n$  – indice de polidispersitate;

Polimerii de sinteză – amestecuri de macromolecule cu grade diferite de polimerizare

Polimeri comerciali:  $i = 1.5 - 5$ ; polimeri naturali:  $i \sim 1$  (general)

Masa moleculară influențează major proprietățile polimerului:

*Exemplu* – polietilena

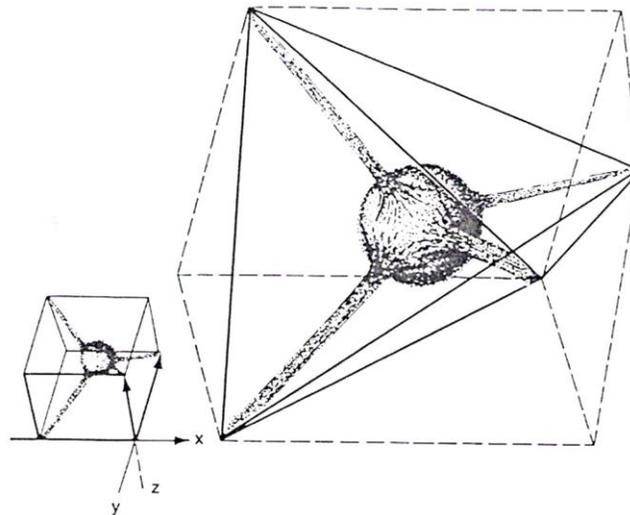
PE-HD ( $0.945-0.960 \text{ g/cm}^3$ ):  $R = 22-30 \text{ MPa}$ ;  $A = 500-800$ ;  $t_{\max} = 70-80^\circ\text{C}$

PE-LD ( $0.915-0.924 \text{ g/cm}^3$ ):  $R = 9-11 \text{ MPa}$ ;  $A = 500-650$ ;  $t_{\max} = 60^\circ\text{C}$

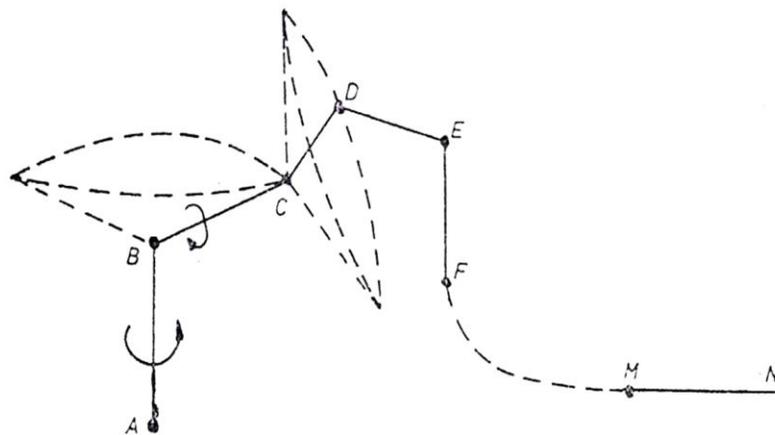
**INTREBARI DE AUTOEVALUARE**

1. La ce temperatura se topeste cuprul? Care sunt sistemul de cristalizare si densitatea lui?
2. Ce sunt alamele?
3. Care sunt constituintii structurali in alamele de uz industrial?
4. Ce structura au cele mai rezistente alame? Dar cele mai ductile?
5. Care este diferenta intre intervalele de cristalizare ale alamelor si bronzurilor cu staniu? Care este consecinta acesteia asupra structurii de turnare?
6. Care sunt constituintii structurali in bronzurile cu staniu de uz industriali?
7. Care este structura bronzurilor celor mai rezistente la uzare?
8. Care sunt caracteristicile generale ale bronzurilor cu Al, Si sau Be?
9. Ce sunt materialele ceramice?
10. De cate tipuri sunt materialele ceramice?
11. Care este unitatea structurala a ceramicilor silicaticice?
12. Care este rolul cationilor in sticlele silicaticice?
13. Ce fel de sticle sunt cele rezistente la cald?
14. Numiti 3 tipuri de oxid cristalin de aluminiu. La ce se folosesc?
15. Care sunt caracteristicile zirconiei? Prin ce difera de alumina?
16. Ce este un mulit? Dar un spinel?
17. Ce sunt polimerii?
18. De cate tipuri structurale sunt polimerii?
19. Ce este indicele de polidispersitate?
20. Care este diferenta intre un homopolimer si un copolimer?
21. Cum se poate modifica gradul de cristalinitate a unui polimer?

## POLIMERI



*Cele 4 legaturi simple ale atomului de carbon definesc un tetraedru regulat*



*Legatura C-C se poate roti in jurul axei proprii  
→ conformatii diferite care tind la forma de "ghem"*

**Sinteza polimerilor** – pornind de la monomeri (etilena, propilena, benzen, ...);  
se rup legaturi duble si se formeaza noi legaturi simple

Poliaditie - PE, PP, PVC, PS, PUR, ...

Policondensare – se elimina o molecula mica ( $H_2O$ ,  $HCl$ ) – PA (Nylon), PF, ...

**Clasele de polimeri**

a. Termoplasti – trec in stare vascoasa la cald ( $T > T_c$ )  
catene liniare / lanturi laterale

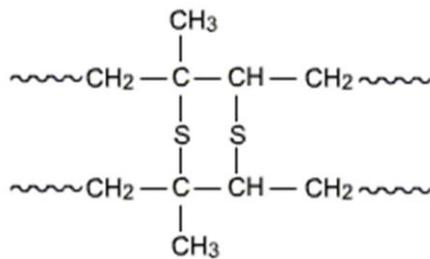
b. Elastomeri (cauciucuri) – legaturi transversale slabe

**cauciucuri polisulfurice (tiocauciucuri)**

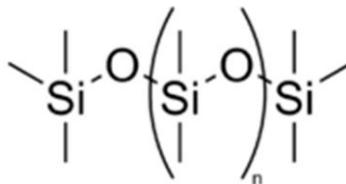
prin vulcanizare → legaturi transversale de sulf

continutul de S (3 – 25%) → rigiditate / duritate

[peste 50% - ebonita]



*Vulcanizarea cu S a cauciucului (natural)*

**cauciucuri siliconice**

*Cauciucul siliconic*

Interval de temperaturi de lucru:  $-120^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$

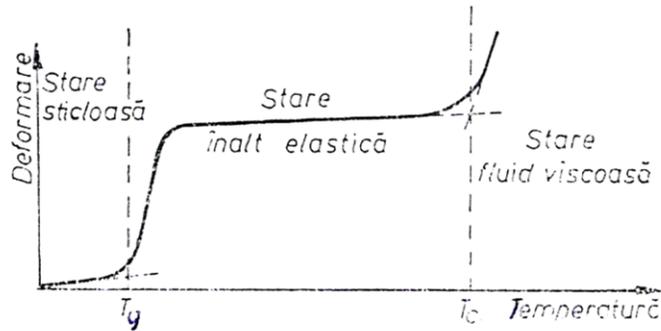
Duritate Shore A: 10 - 90

Poliizopren – sintetic, similar cauciucului natural;

Polietilena clorurata – rezista la cald in hidrocarburi lichide;

Polibutadienic / polibutadienstirenic – rezistenta buna sub  $0^\circ\text{C}$  >>> in anvelope;

Poliacrilic – rezistent in produse petoliere;



Curba termomecanică pentru polimeri amorfși;

$T_g$  – temperatura tranziției sticloase;

$T_c$  – temperatura de curgere;

$T_g > T_{ambiant} \rightarrow$  termoplasti;  $T_g < T_{ambiant} \rightarrow$  elastomeri

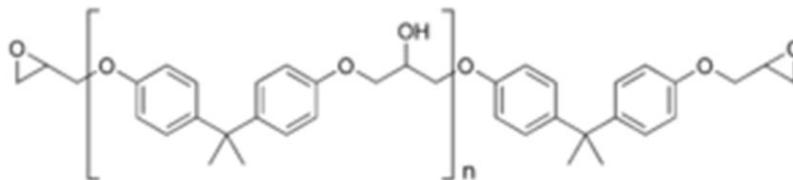
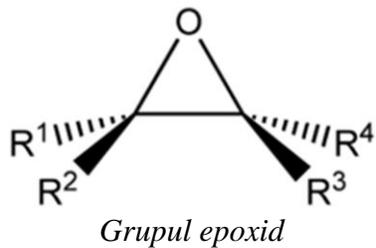
c. Termorigizi (duromeri) – polimeri la care întărirea (la cald -  $>200^\circ$ ; prin reacție – epoxi; prin iradiere) este ireversibilă

Prin încălzire se distruge macromolecula, nu apare înmuierea

Au legături transversale tari

### Polimerii epoxidici

Polimerizarea prin reacție între o rasină epoxidică (având grupuri epoxid la capete) și un întăritor (poliamină)



Rășina epoxidică

## POLIMERI UZUALI

Polimer	Structura	Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]	A [%]	R [MPa]	Temp. max. lucru [°C]
a. Termoplasti					
PE-HD	inalt cristalin	0.945-0.960	500-800	22-30	70-80
PE-LD	slab cristalin	0.915-0.924	500-650	9-11	60
PP	inalt cristalin	0.900-0.906	500-1000	22-35	100-110
PVC	amorf	1.38-1.4	20-40	<55	55-65
PS	amorf	1.05	<4	34-51	50-70
ABS	amorf	1.03-1.07	15-25	45-58	75-85
PA (Nylon)	semicristalin	1.13-1.14	40-150	45-65	80-120
PTFE	semicristalin	2.14-2.17	100-250	13-16	260
b. Termorigizi					
Poliester (EP)	3D compact	1.1-1.3	3-6	40	150
Fenoli (PF)	3D compact	1.25	1-1.5	55	130-150

## MATERIALE COMPOZITE

Def. – Materiale compuse din matrice / constituenți de armare de naturi diferite  
[pot fi și stratificate]

## Clasificare

A. Dupa forma constituentului de armare

A.1 Fibre      A.1.1 Monostrat      A.1.1.1 Fibre lungi      unidirectionale  
bidirectionale

A.1.1.2 Fibre scurte

A.1.2 Multistrat

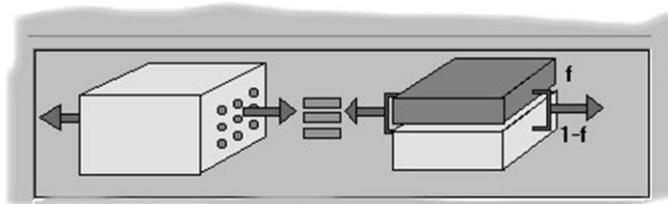
A.2 Particule

B. Dupa materialul matricii

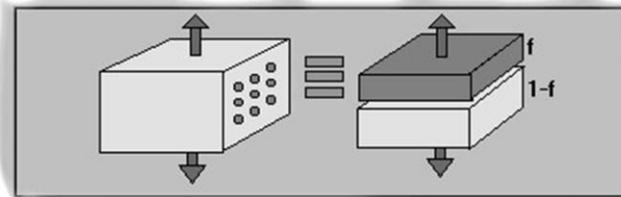
B.1 **Polimerica** – mai rezistente si rigide decat polimerii; imbatranire la cald + radiatii

B.2 Metalica – armare cu fibre / particule ceramice pentru cresterea rigiditatii, refractaritatiei, rezistentei

B.3 Ceramica – armare cu fibre metalice pentru cresterea tenacitatii; ceramice pentru refractaritate



*Compozit cu fibre lungi solicitat longitudinal;  
Deformatiile fibrelor / matricii sunt identice*



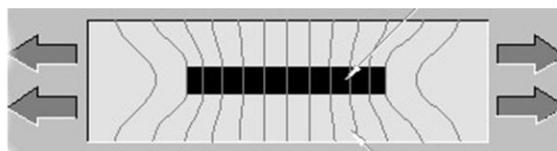
*Compozit cu fibre lungi solicitat transversal;  
Deformatiile fibrelor / matricii se aduna*

Compozite cu matrice polimerica:  $E_{\text{fibre}} \gg E_{\text{matrice}}$

→ problema pentru compozite monostrat → **compozite multistrat**

**Compozite cu fibre scurte** – mai usor de pus in forma

Proprietati mecanice mai scazute – depind si de rezistenta la interfata  
[lungime critica a fibrelor]



*Compozit cu fibre scurte solicitat longitudinal*

MATERIALUL MATRICII

Matrice	Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]	E [GPa]	Rm [MPa]	A [%]	E/ρ [GPa/Mg/ m <sup>3</sup> ]	Rm/ρ [MPa/Mg/ m <sup>3</sup> ]
a. Ceramica						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.87	382	332	0	99	86
ZrO <sub>2</sub>	5.92	170	900	0	29	152
b. Metalica						
Al	2.7	69	77	47	26	29
CuZn30	8.5	100	550	70	12	65
otel	7.86	210	460	35	27	59
TiSn2.5	4.56	112	792	20	24	174
c. Polimerica						
EP	1.12	4	50	4	4	36
PA6.6	1.14	2	70	60	18	61
PS	1.05	3	50	2	3	48

MATERIALUL FIBRELOR

Material	Forma	E [GPa]	Rm [MPa]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	monolitic	0.82	332
	fibre	300	2000
carbon	monolitic	10	20
	fibre	290	3100
sticla	monolitic	0.4	26
	fibre	172	2964

ADEZIVI

Clasificare

- A. Compozitie
  - epoxidici, poliuretani, siliconi, acrilati, cianoacrilati, ...
- B. Forma de prezentare
  - pasta, lichid, film, peleti, banda, ...
- C. Mod de actiune
  - topituri calde, topituri calde reactive, termorigizi, de contact,                      sensibili la presiune, ...
- D. Capacitatea de incarcare
  - structuruali, semistructuruali, nestructuruali