

1. Stările structurale ale substanței

După modul de așezare în spațiu a particulelelor constituente ale stărilor condensate, la întâmplare sau într-o anumită ordine, acestea pot prezenta următoarele stări structurale: amorfă, mezomorfă și cristalină.

Starea amorfă

Starea amorfă, corespunde solidului caracterizat printr-o așezare dezordonată a particulelor constituente. Starea amorfă nu este o stare de echilibru, ea apare datorită unor factori cinetici. Din punct de vedere structural ea fiind echivalentă cu starea unui lichid suprarăcit, cu o vâscozitate foarte mare, astfel încât timpii de relaxare, rearanjare în structura cristalină de echilibru, pe seama deplasărilor termice de difuzie ale atomilor, sunt foarte mari, practic infiniți.

Starea amorfă se caracterizează, din punctul de vedere al proprietăților fizice, chimice și mecanice printr-o izotropie perfectă. Starea amorfă prezintă o omogenitate statistică: aceleași fel de particule ocupă poziții diferite în spațiu, nerelizându-se o simetrie în întreg edificiul substanței. În substanța amorfă se poate totuși recunoaște, datorită legăturii chimice, o ordonare în spații restrânse sau o ordine la mică distanță.

Starea mezomorfă

Este o stare intermediară între starea amorfă și starea cristalină. În substanța mezomorfă particulele componente realizează o ordonare după una sau după două direcții. Această stare nu se regăsește decât la combinațiile organice cu molecule mari, așa numitele cristale lichide. Cristalele lichide curg ca și lichidele obișnuite, ele existând numai într-un interval de temperatură, peste care „se topesc”, devenind un lichid izotrop, iar sub acesta cristalizează. După modul de ordonare al particulelor constituente, în cazul acestei stări, se deosebesc următoarele tipuri:

- **starea nematică** este caracterizată printr-un început de ordonare unidimensională a particulelor componente, care sunt în general de formă filiformă.

starea colesterică se caracterizează prin tendința de realizare a unor agregate, formate din particule alungite și spiriforme, cu axe paralele între ele și cu planul stratului

starea smectică se caracterizează prin ordonarea pe două direcții din plan a unor particule de formă tabulară, care sunt perpendiculare pe planul stratului. Straturile suprapuse, în care

- sunt dispuse în acest fel particulele, au un astfel de aranjament încât pe cea de a treia direcție nu se realizează ordonarea particulelor.

Starea cristalină

Cristalele sunt corpuri solide care au o structură atomică spațială, periodic ordonată tridimensional, fapt pentru care, în condiții de formare bine determinate, capătă formă poliedrică. Această structură se întâlnește la cristalele naturale ale mineralelor, care se formează în scoarța Pământului prin procese naturale, sau la cristalele sintetice, crescute în laboratoare. Starea cristalină este o stare de echilibru termodinamic a corpului solid, iar

fiecărei faze solide a unui compus chimic, în condiții termodinamice bine stabilite, îi corespunde o anumită structură cristalină bine determinată.

Starea cristalină a substanțelor se prezintă sub două forme macroscopice: de monocristal sau de policristal.

- Starea monocristalină se caracterizează prin faptul că toți atomii componenți au aceeași ordonare pe cele trei direcții ale spațiului; întreaga structură putând fi obținută prin translația spațială a unei celule elementare.

Starea de monocristal se obține atât prin creșterea naturală în scoarța Pământului sau prin creșterea artificială a acestora în laboratorare, de exemplu prin creștere din tragere din topitură sau prin recristalizare în stare solidă. În cazul în care condițiile de creștere au loc în limita unor anumiți parametri, presiune, temperatură etc., monocristalele iau naștere sub formă de poliedre convexe, existența fețelor naturale plane fiind cea mai evidentă proprietate a aspectului exterior al monocristalelor.

- Starea policristalină se caracterizează prin aceea că este formată dintr-un număr foarte mare de microcristale de formă, dimensiuni și orientări diferite. Într-un policristal aranjarea ordonată și regulată a atomilor constituenți are loc în domenii mici (cristalite), de ordinul sutelor sau miilor de angstromi.

Starea policristalină, caracteristică majorității aliajelor și metalelor, rezultă de regulă în urma procesului de solidificare a topiturii, neregulat și necontrolat din exterior. Uneori cristalitele au o anumită orientare preferențială și atunci se spune că materialul este texturat. Proprietățile policristalelor sunt determinate de caracteristicile structurale ale micilor cristale și de natura atomilor care le formează și de asemenea de mărimea, orientarea reciprocă și de forțele de interacțiune dintre acesta.

2. Omogenitatea macroscopică a substanței cristaline

Noțiunea de omogenitate macroscopică înseamnă că în orice porțiune a substanței cristaline toate proprietățile ei, sunt identice. În orice loc al monocristalului s-ar considera o porțiune de substanță orientată la fel, de o anumită formă și de anumite dimensiuni, oricare ar fi proprietățile ei, fizice (optice, mecanice, termice etc.), fizico-chimice (solubilitatea suprafeței, adsorbția pe ea a unor anumite substanțe, compoziția chimică, starea de fază), acestea vor fi aceleași. Proprietatea care se consideră poate să fie scalară (căldura specifică, densitatea), vectorială (intensitatea câmpului electric sau magnetic) sau, în general, tensorială (elasticitatea). În corpurile omogene proprietățile vectoriale au aceeași valoare în toate direcțiile paralele. Omogenitatea macroscopică reprezintă invarianța proprietăților în raport cu orice translație arbitrară a originii axelor de coordonate în substanța cristalină.

3. Anizotropia substanței cristaline

Dacă o substanță prezintă proprietăți care depind de direcție, adică forma expresiei mărimii ce exprimă această proprietate depinde de orientarea sistemului de coordonate, atunci substanța respectivă se numește anizotropă.

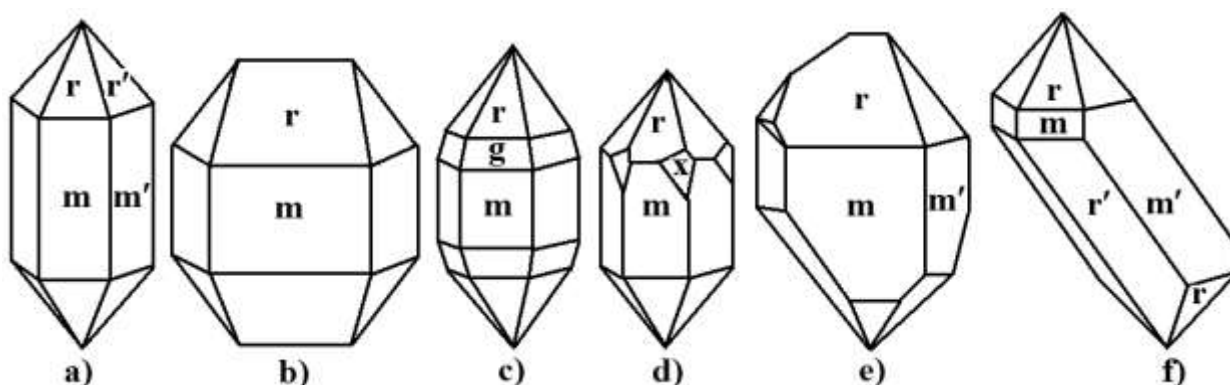
4. Legea Euler-Descartes

Această lege se aplică tuturor poliedrelor convexe, deci și celor cristaline. O formă poliedrică este din punct de vedere geometric un corp solid terminat prin fețe plane (F), care se întretaie între ele după linii drepte, numite și muchii (M). Unghiurile solide care rezultă din întretăierea a mai mult de două fețe se numesc colțuri (C). Euler și Descartes au remarcat că între numărul fețelor F, numărul muchiilor M și numărul colțurilor C există relația:

$$F + C = M + 2$$

5. Legea constanței unghiurilor diedre

Forma geometrică a fețelor poliedrelor cristaline este foarte variată. Fețele unui cristal pot fi triunghiuri (echilaterale, isoscele și scalene), patrulatere (pătrate, dreptunghiuri, romburi, paralelograme, deltoide, trapeze), pentagoane, hexagoane, deci poligoane de orice formă. De asemenea, mărimile și formele poliedrelor cristaline nu sunt aceleași la toți indivizii cristalini ai unui mineral, ci pot fi foarte variate, datorită dezvoltării neegale pe care o au fețele, atât în ce privește forma lor cât și în ceea ce privește mărimea lor. Dacă condițiile de creștere ar fi ideale, datorită specificității creșterii conforme cu structura internă, pentru fiecare specie cristalină cristalul ar avea o formă poliedrică caracteristică speciei, numită idiomorfă.



Abaterea cristalelor de cuarț de la forma morfologică ideală: a) - forma ideală; b, c, d, e, f) - diferite forme determinate de condițiile de cristalizare

În urma măsurătorilor repetate s-a constatat că unghiurile pe care le fac între ele două fețe sau două muchii corespondente la diferiți indivizii ai unei specii cristaline sunt totdeauna egale, dacă măsurătorile au fost efectuate în aceleași condiții de temperatură și presiune.

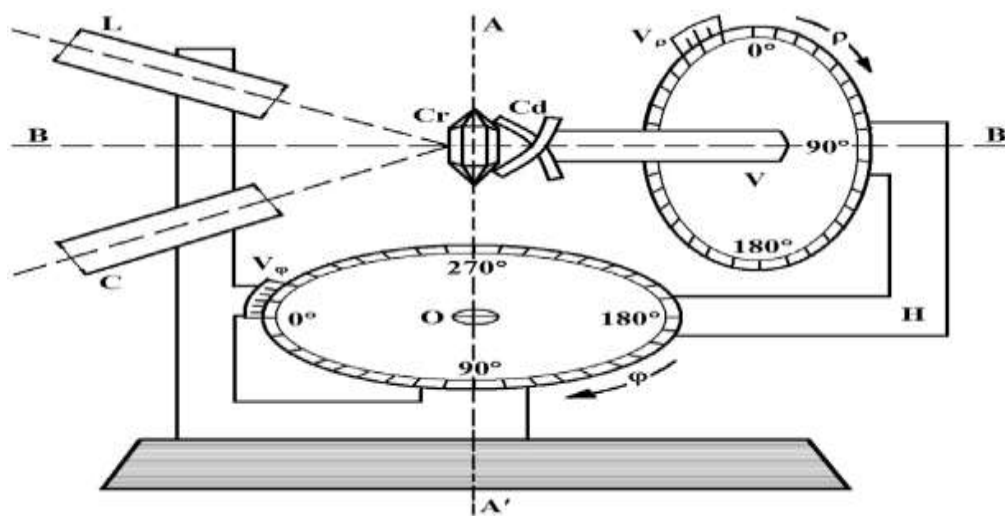
În concluzie în toată diversitatea geometrică a cristalelor unui mineral există o proprietate a formei poliedrice care nu variază și anume unghiurile corespondente ale formei poliedrice.

Constanța unghiurilor diedre dintre fețele unui cristal rezultă direct din structura sa reticulară. După cum se cunoaște, fețele cristalului corespund, planurilor reticulare de densitate mare de atomi, iar muchiile la șiruri reticulare dense, aceste elemente geometrice având o poziție bine determinată în rețea. Astfel, unghiurile între aceste elemente geometrice sunt constante, pentru aceeași specie cristalină formată în aceleași condiții termodinamice.

În concluzie se poate afirma că un cristal este determinat prin unghiurile formate de fețe între ele, care reprezintă date constante și importante pentru studiul cristalelor. Aceste unghiuri sunt constante caracteristice pentru poliedrele cristaline ale aceleiași substanțe (elemente sau compuși chimici), deoarece sunt determinate de structura lor periodică, care rămâne neschimbată într-un interval de temperatură și presiune bine determinat.

6. Precizați modul de măsurare a unghiurilor dintre fețele cristalelor cu ajutorul goniometrului teodolit

Goniometrul cu două cercuri, unul orizontal (ecuatorial) și altul vertical (meridian), este numit și goniometrul teodolit.



Schema de principiu a goniometrului teodolit: V – cercul vertical; O – cercul orizontal; L – luneta; C – colimatorul; Cr – cristal montat în capul cardanic Cd ; $V\rho$, $V\varphi$ – verniere pentru citirea unghiurilor pe cercurile vertical și orizontal

Colimatorul C și luneta L sunt fixe. Cele două cercuri sunt prevăzute cu verniere fixe, care permit citirea unghiurilor cu o precizie de până la un minut.

De cercul orizontal, care se poate roti în jurul axei verticale AA' , este fixat brațul H ce susține cercul vertical, care se poate roti în jurul axei orizontale BB' . Axa BB' se găsește totdeauna în planul orizontal care bisectează unghiul dintre axa lunetei și cea a colimatorului.

Goniometrul trebuie pus la punct astfel încât axele optice ale colimatorului și lunetei, axul vertical al cercului orizontal și axul orizontal al cercului vertical să fie cuprinse în același plan vertical, iar direcțiile celor patru axe menționate să se intersecteze într-un singur punct, pe fața de cristal

Pentru determinarea unghiurilor dintre fețe, cristalul se montează cu ajutorul piesei cardanice Cd astfel încât o direcție determinată așa (axa principală de simetrie) să coincidă cu axa AA' . Pentru a se obține reflexia luminii în lunetă, de pe o față oarecare Fl , este necesar ca cercul orizontal să fie rotit cu un unghi ρ , iar cercul vertical să fie rotit cu un unghi φ astfel încât normala la acea față să fie adusă pe direcția bisectoarei unghiului dintre axa lunetei și axa

colimatorului. Pentru această valoare a unghiului φ_1 , se rotește cercul vertical (cristalul) în jurul axei BB' și se obțin pe rând reflexele tuturor fețelor, ρ_1 , ale căror normale sunt situate în planul vertical de unghi φ_1 . Se rotește apoi cercul orizontal cu unghiul φ_2 până se obține reflexia pe fața alăturată a cărei

normală se află într-un alt plan vertical. Și de această dată pentru valoarea unghiului φ_2 , prin rotațiile cercului vertical se obțin reflexiile unei alte serii de fețe, care au normalele situate în acest plan nou vertical. Procedându-se în acest mod se pot măsura unghiurile φ și ρ corespunzătoare tuturor normalelor fețelor cristalului.

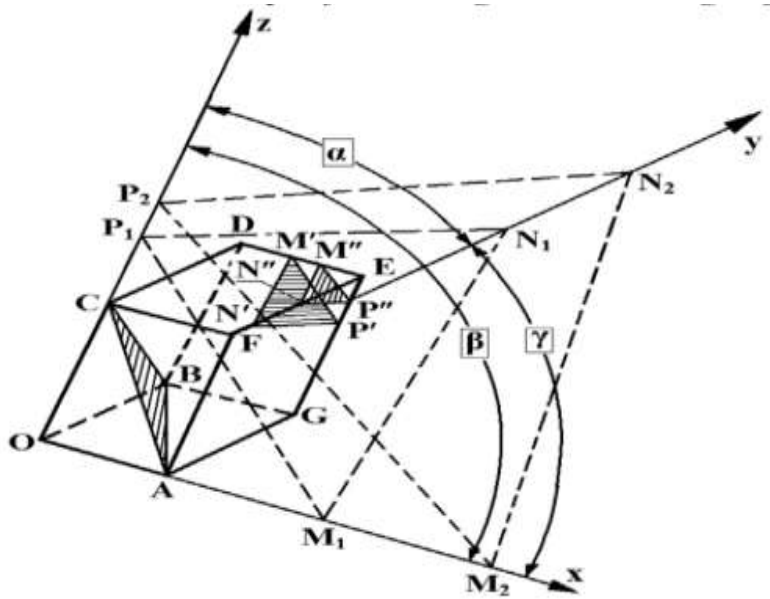
Deoarece cercul orizontal al goniometrului corespunde planului ecuatorial al sferei, iar cercul vertical al acestuia corespunde unui plan meridian al acesteia, rezultă că măsurătorile efectuate cu goniometrul teodolit permit determinarea polilor sferici corespunzători fețelor de cristal. Coordonata φ este longitudinea geografică a polului și se măsoară pe cercul ecuatorial de la un meridian ales ca origine, iar coordonata ρ , care este complementul latitudinii geografice, se numește distanța polară, și se măsoară de la diametrul vertical al sferei în planul meridian. Prin precizarea pe sferă a perechilor de puncte (φ, ρ) se realizează proiecția sferică a fețelor cristalului.

Pe baza cunoașterii coordonatelor sferice (φ, ρ) a două fețe de cristal, se poate calcula unghiul dintre ele cu ajutorul triunghiurilor sferice sau cu ajutorul proiecției stereografice.

7. Legea raționalității indicilor

Această lege mai este cunoscută și ca legea trunchierilor raționale, legea rapoartelor raționale ale parametrilor, sau legea lui *Haüy*. Este legea fundamentală a cristalografiei geometrice deoarece stabilește legalitatea de aranjare a fețelor poliedrelor cristaline și explică de ce la cristale sunt posibile numai un anumit fel de fețe. Presupusă, mai întâi, pe baza unor considerații teoretice, aceasta este confirmată ulterior după măsurători goniometrice pe cristale. În anul 1784 *R.J.Haüy*, în urma observării formei exterioare a cristalelor, a ajuns la concluzia ca un cristal oarecare poate fi considerat ca rezultatul modificărilor aduse unei forme fundamentale paralelipedice prin trunchieri făcute pe colțuri sau muchii. Formulată ca lege a trunchierilor raționale, ea se enunță astfel: *orice poliedru cristalin poate fi considerat că derivă prin trunchierea rațională a unui paralelipiped fundamental morfologic, care stă la baza unui sistem cristalografic, ale cărui caractere specifice se regăsesc la întregul grup de poliedre cristaline ce derive astfel din el.*

Pentru justificarea acestei legi, se consideră paralelipipedul fundamental *OABCDEFG* raportat la un sistem de axe *Ox, Oy, Oz*, luat după trei muchii neparalele concurente în punctul *O*.



Paralelipipedul fundamental este perfect definit prin laturile sale a, b, c și prin unghiurile $\alpha = yOz$, $\beta = zOx$ și $\gamma = xOy$. Dacă se ține seama că fețele se pot deplasa paralel cu ele însele, conform legii constanței unghiurilor, rezultă că din punct de vedere cristalografic paralelipipedul este definit cunoscând rapoartele $a:b:c$ și unghiurile α, β, γ .

Se observă că fața ABC , obținută prin trunchierea paralelipipedului fundamental, este definită prin distanțele, $OA = a$, $OB = b$, $OC = c$, la care aceasta taie cele trei axe de coordonate. O față oarecare $M'N'P'$ obținută prin trunchierea colțului E , taie axele de coordonate în punctele $M_1N_1P_1$ la distanțele $OM_1 = m_{x1}$, $ON_1 = n_{y1}$ și $OP_1 = p_{z1}$, segmentele m_{x1} , n_{y1} și p_{z1} fiind parametrii acestei fețe.

Analog o altă față oarecare $M''N''P''$, obținută prin trunchierea colțului E , taie axele de coordonate în $M_2N_2P_2$ și are parametrii: $OM_2 = m_{x2}$, $ON_2 = n_{y2}$ și $OP_2 = p_{z2}$. Legea rapoartelor raționale se enunță în modul următor: *rapoartele duble ale parametrilor a două fețe oarecare ale unui cristal sunt totdeauna raționale și exprimate în general prin numere simple*. Rezultă că pentru cele două fețe considerate $M'N'P'$ și $M''N''P''$, rapoartele:

$$\frac{m_{x1}}{m_{x2}} \div \frac{n_{y1}}{n_{y2}} \div \frac{p_{z1}}{p_{z2}}$$

sunt raționale și în general exprimate prin numere simple. Această lege a fost dedusă experimental, iar justificarea ei este dată de structura internă a cristalelor. Ea arată că un cristal poate să fie mărginit numai de un anumit număr restâns de fețe, deci nu orice poziție a unui plan poate fi și o față de cristal.

Poziția unei fețe de cristal se precizează cu ajutorul indicilor Miller introduși în paranteze rotunde, fără virgulă, (hkl) , care se citesc separat, ca cifre. Legea lui Haüy se mai poate enunța sub forma: *indicii oricărei fețe de cristal sunt numere întregi și mici*.

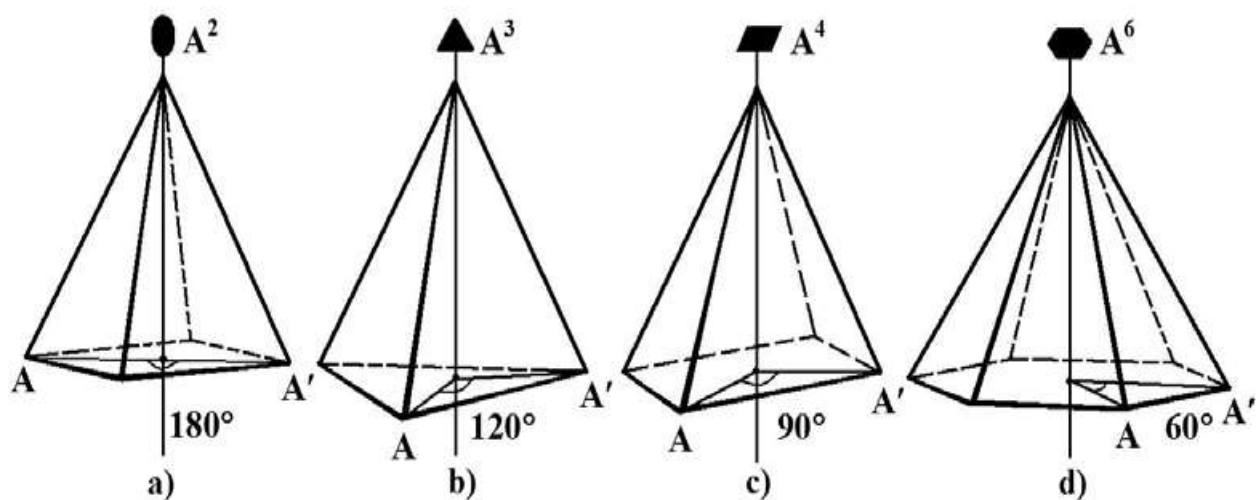
8. Axele de simetrie de rotație

Se mai numesc și axe simple de simetrie (gire), axe de rotație sau axe de simetrie. Axa de simetrie este o direcție în cristal, în jurul căreia dacă se rotește cristalul cu 360° , acesta se prezintă în timpul rotației de n ori în poziții aparent identice cu cea inițială. Se face precizarea că este vorba de poziții aparent identice deoarece este vorba numai de identitatea așezării geometrice a fețelor și muchiilor, și nu de identitatea punctelor materiale. Numarul n este ordinul axei de simetrie și este întotdeauna un număr întreg.

Poliedrele geometrice pot avea axe de orice ordin, adică n poate lua orice valoare de la 1 la ∞ . Poliedrele cristaline pot avea numai axe de ordinul 1, 2, 3, 4 și 6, deoarece axele de ordinul 5 și de ordine mai mari decât 6 conduc la fețe care nu satisfac legea rapoartelor raționale ale parametrilor.

Axa de ordinul 1 corespunde absenței oricărei simetrii de rotație. Unghiurile de rotație α corespunzătoare se calculează cu ajutorul relației: $\alpha = 360^\circ/n$, având pentru cazurile enumerate, respectiv valorile: 180° , 120° , 90° și 60° .

Notăția în literatura cristalografică a acestor axe se face cu A^1 , A^2 , A^3 , A^4 și A^6 sau L^1 , L^2 , L^3 , L^4 și L^6 . Notăția actuală, utilizată internațional, este: 1, 2, 3, 4 și 6. În figură se prezintă grafic axele de simetrie de rotație posibile la cristale, iar în tabel se prezintă ordinul axelor, unghiurile de rotație, simbolurile și denumirile.



Axe de simetrie: a) binară b) ternară c) cuaternară d) senară

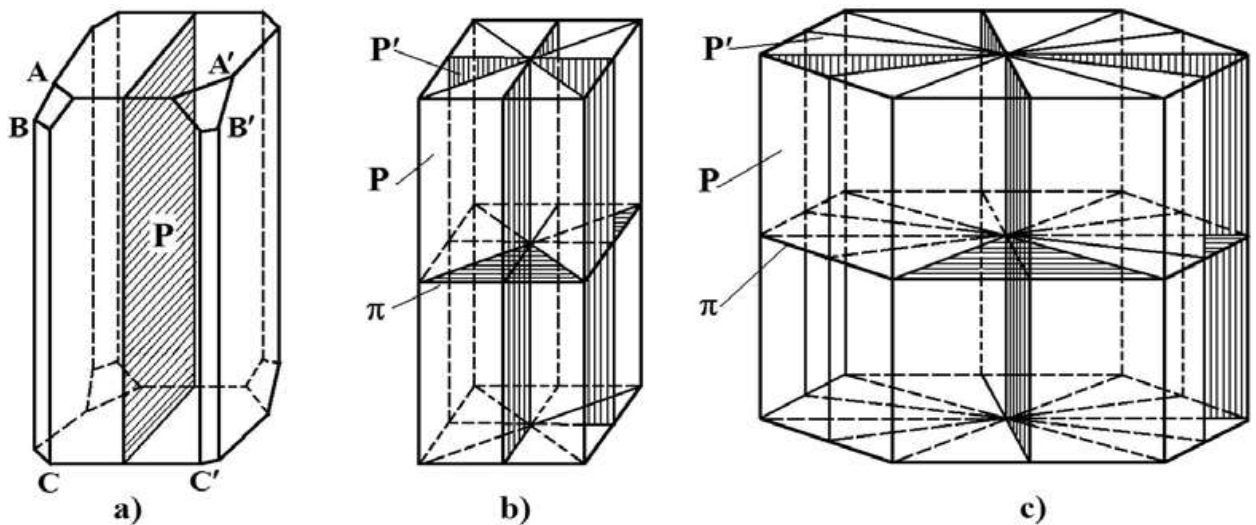
Axele de simetrie simple (gire)

Ordinul axei, n	Unghiul de rotație, α	Simbolul			Denumire
		uzual	inernațional	grafic	
1	360°	A^1, L^1	1	●	monogiră
2	180°	A^2, L^2	2	◐	binară, diagonală, digiră
3	120°	A^3, L^3	3	▲	ternară, trigonală, trigiră
4	90°	A^4, L^4	4	■	cuaternară, tetragonală, tetragiră
6	60°	A^6, L^6	6	⬠	senară, hexagonală, hexagiră

9. Plane de simetrie

Planul care împarte un cristal în două jumătăți egale, așa încât față de acesta una este imaginea în oglindă a celeilalte, se numește plan de simetrie. Operația de simetrie prin care o jumătate a cristalului se obține din cealaltă jumătate se numește reflexie sau oglindire.

Astfel, în situația cristalului prezentat în figură, planul P este un plan de simetrie deoarece punctelor A, B, C, \dots , situate în partea stângă a acestuia, le corespund prin oglindire punctele A', B', C', \dots , care sunt situate în partea dreaptă și plasate la aceeași distanță față de plan pe normalele construite din primele la planul P .

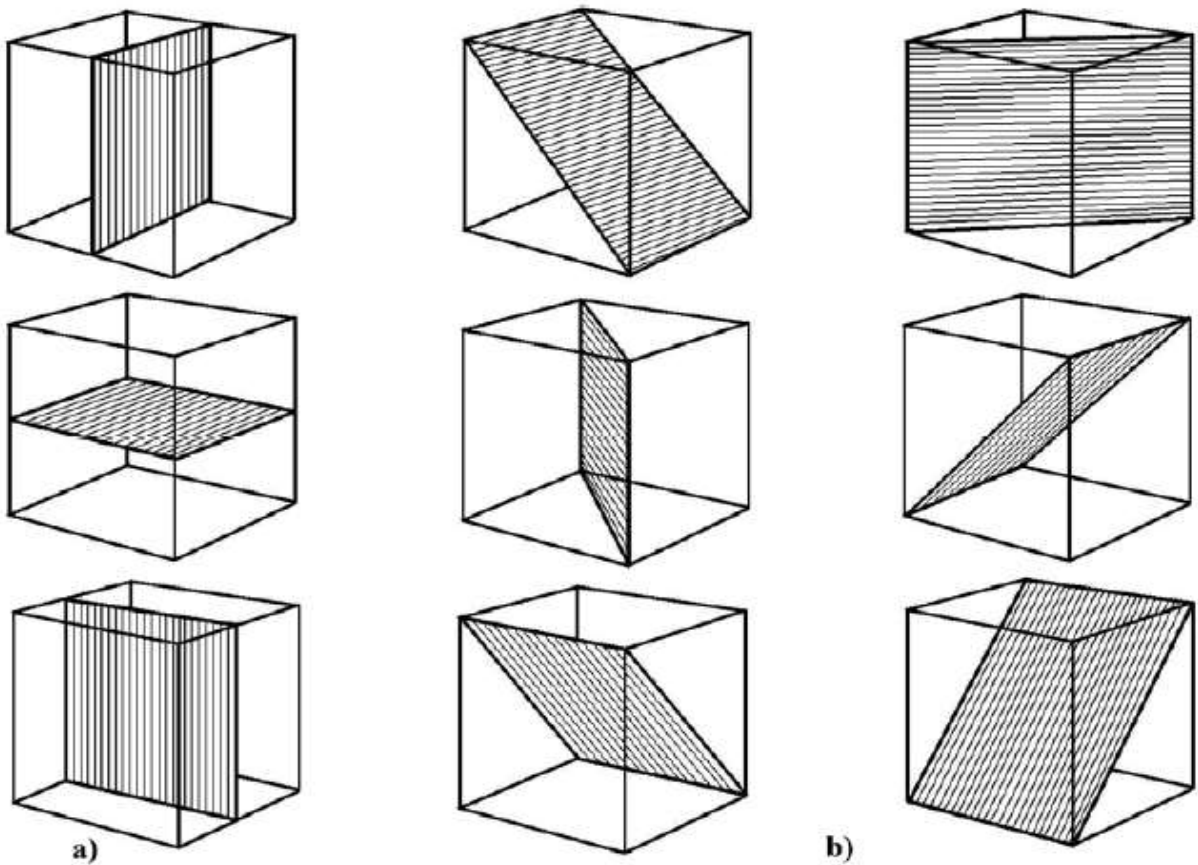


Planul unic de simetrie al unui cristal a) și planele de simetrie ale prisme tetragonale b) și ale prisme hexagonale c)

Planele de simetrie pot să fie fețe posibile ale cristalelor, caz în care sunt perpendiculare pe o muchie a acestuia. În notația uzuală planele se notează cu litera P , iar dacă sunt perpendiculare pe axele principale de simetrie se notează cu π sau cu P^4, P^6 (prin indice indicându-se ordinul axei pe care sunt perpendiculare) și se numesc plane principale de simetrie. În cazul în care planele de simetrie sunt perpendiculare pe axe de ordinul 2 diferite (A^2, A''^2, A'''^2) acestea se notează cu P', P'', P''' .

Cristalele pot să aibe un singur plan de simetrie sau mai multe, dintre care unele pot să fie echivalente. Astfel, la prisma tetragonală se deosebește un plan de simetrie π perpendicular pe axa principală A^4 , două plane P și două plane P' , perpendiculare pe axele binare A^2 și A'^2 , iar la prisma hexagonală se observă un plan principal π , trei plane P perpendiculare pe axele A^2 și trei plane P' perpendiculare pe axele A'^2 .

Cubul are trei plane principale π perpendiculare pe axele A^4 și șase plane perpendiculare pe axele A^2 .



Planele de simetrie ale cubului: a) - planele π și b) - planele P

10. Centrul de simetrie

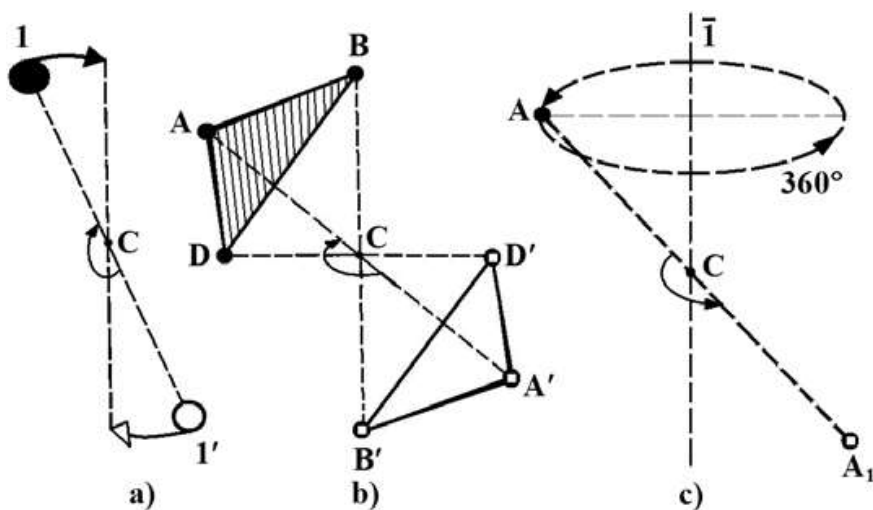
Centrul de simetrie sau centrul de inversiune este punctul imaginar, din interiorul cristalului, față de care punctele cristalului aflate pe drepte care trec prin acest punct sunt stituate de ambele părți ale lui la distanțe egale. Aceste puncte se numesc puncte analoge (corespondente) ale cristalului.

Astfel, centrul de simetrie înjumătățește toate dreptele limitate de fețele, muchiile și colțurile cristalului. Existența centrului de simetrie la un cristal presupune ca acesta să prezinte fețe paralele, egale și identice după toate direcțiile cristalografice. Astfel, cubul prezintă centru de simetrie, deoarece toate fețele sunt paralele două câte două, pe când o pramidă care nu are fețe paralele între ele nu are centru de simetrie.

Transformarea simetrică în centrul de simetrie este o reflexie față de un punct, care întoarcere o figură „de pe față pe dos“.

Astfel, dacă se consider punctul A , pentru a obține simetricul acestuia A' , față de centrul de simetrie C , se unește A cu C , iar de partea cealaltă a punctului C pe această dreaptă se precizează punctul A' la distanța $AC = CA'$. Deoarece punctul A' se poate considera reflexia în oglindă a lui A față de C , această operație de simetrie se mai numește și inversiune, de aceea și centrul de simetrie C mai poartă numele de centru de inversiune.

Prin inversiunea tuturor punctelor planului ABC față de C se obține planul $A'B'C'$ paralel cu acesta, ale cărui laturi sunt îndreptate în sens invers.



Modul de acțiune al centrului de inversiune

Datorită existenței centrului de simetrie la cristale, fețele pătratice, dreptunghiulare etc., apar în același timp direct și invers paralele.

Deformarea si ruperea materialelor

1. Comportarea materialelor la încercarea statică la tracțiune

Principalele caracteristici mecanice ale materialelor se pot determina prin încercări statice de tracțiune. Se folosesc epruvete de forme prevăzute în norme, care se întind cu viteză constantă pe mașina de încercare.

Prin înregistrarea continuă sau la anumite intervale de timp a alungirii Δl_i , care corespunde unei anumite forțe de încărcare F_i , se trasează curba de încercare statică la tracțiune (figura 1.1).

Rezultatele măsurate sunt dependente de dimensiunile epruvetei (forța de încărcare necesară pentru obținerea unei anumite alungiri este proporțională cu aria secțiunii transversale, iar alungirea obținută la o valoare dată a forței este proporțională cu lungimea epruvetei).

Pentru a defini comportarea materialului, se trasează curba caracteristică a materialului (figura 1.2).

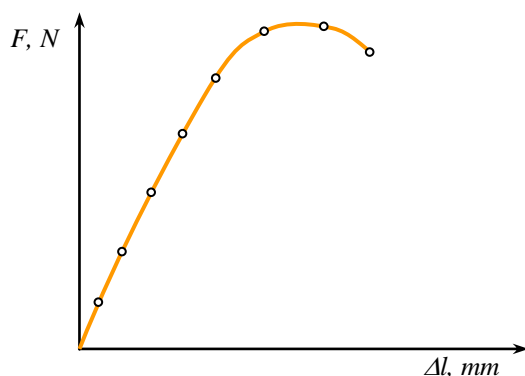


Figura 1.1 Curba caracteristică a epruvetei

Într-o secțiune transversală a epruvetei tensiunea este constantă și se calculează cu relația:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

unde:

S – aria secțiunii transversale, variabilă în timpul încercării.

Alungirea se exprimă prin valoarea relativă:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.2)$$

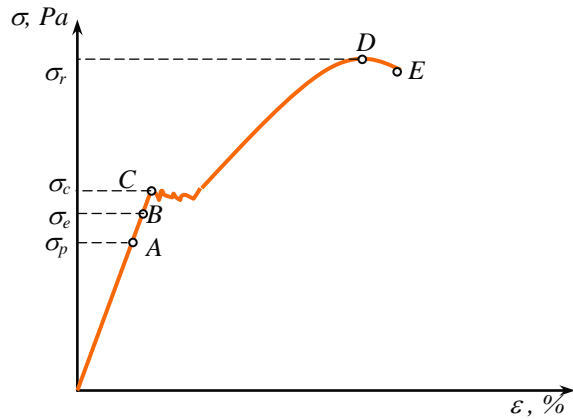


Figura 1.2 Curba caracteristică a materialului

Deoarece S este variabil pe lungimea epruvetei și pe durata încercării, pentru a determina valorile tensiunii și deformației, se înlocuiesc:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{cu} \quad R = \frac{F}{S_0} \quad (1.3)$$

și

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{cu} \quad A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (1.4)$$

unde:

S_0 – secțiunea inițială a epruvetei;

L_0 – lungimea inițială între repere;

L_u – ultima lungime între repere;

σ - tensiunea efectivă;

ε - deformația relativă.

Analiza curbei din figura 1.2 permite o serie de aprecieri privind comportarea elastică și plastică a materialului:

- Până la o anumită valoare a lui σ , notată cu σ_e (limita de elasticitate), materialul se deformează exclusiv elastic, iar relația se reprezintă printr-o dreaptă.

- Până la valoarea tensiunii σ_p relația dintre tensiune și deformație se poate exprima

conform legii lui Hooke: $\sigma = E \cdot \varepsilon$; $E = \text{tg} \alpha$, $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, (E este modulul de elasticitate longitudinal).

- Peste această valoare, materialul trece în stare plastică, iar relația $\sigma = f(\varepsilon)$ este reprezentată printr-o curbă.

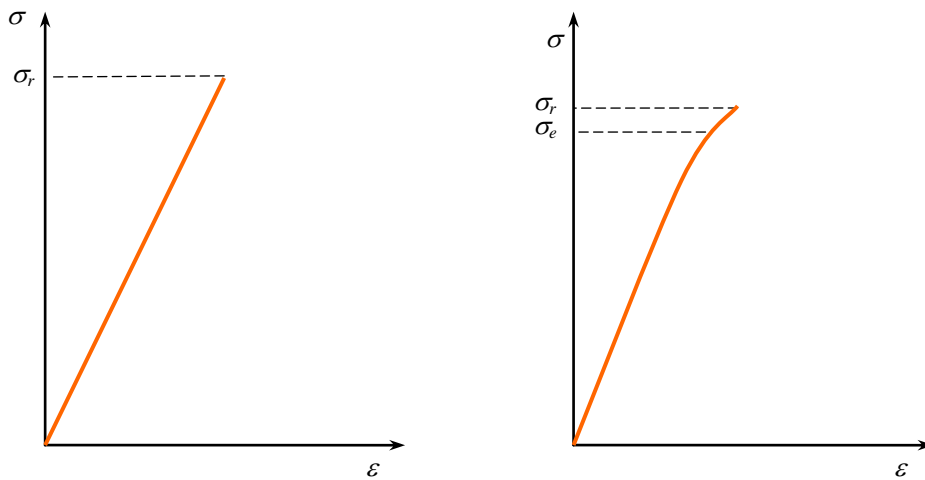
În prima fază a deformării plastice, tensiunea rămâne constantă la valoarea σ_c (limita de curgere) sau oscilează între două valori (limita superioară și limita inferioară de curgere), aparând pe curbă o zonă orizontală (zona de curgere), după care crește monoton până la

$$\sigma_r = \frac{F_{\max}}{S_0}$$

valoarea maximă σ_r , numită *rezistență la rupere* R_m . Rezistența la rupere se mai notează și cu R_m .

Pentru aceste materiale, tensiunea la care apare curgerea se exprimă prin mărimea *limită de curgere convențională* $R_{p0,2}$ (valoarea tensiunii la care alungirea totală a epruvetei este 0,2%).

În cazul unui material complet fragil (elastic-fragil), ruperea se produce aproape de limita de elasticitate, deformarea plastică fiind mai mică de 1% (figura 1.4 a). Din această categorie fac parte ceramicele masive și sticlele. La alte materiale fragile (numite și materiale plastic-fragile), înaintea ruperii se produce o deformarea plastică relativ redusă (figura 1.4 b). Acest comportament este tipic pentru metalele care cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat.



a)

b)

Figura 1.4 Curbele de tracțiune pentru materialele fragile: a) Rupere elastic-fragilă;

b) Rupere plastic-fragilă

Există și materiale fragile a căror curbă de încercare la tracțiune indică un comportament special denumit quasi-fragil. În cazul acestor materiale, după o încărcare la un nivel inferior limitei de rupere, se constată o scădere importantă a rigidității ca urmare a producerii unor microfisuri în volumul materialului. Acest comportament neliniar este specific materialelor compozite având matrice și particule de durificare ceramice.

Un comportament similar se întâlnește și în cazul betonului solicitat la compresiune (în cazul solicitării la tracțiune, betonul clasic are caracteristici mai slabe, curba de încercare la tracțiune fiind de tip elastic-fragil).

Betoanele armate moderne au un comportament qvasi-fragil și la solicitarea la tracțiune.

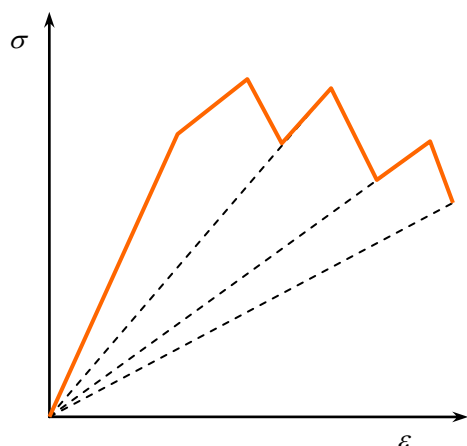


Figura 1.5 Curba de tracțiune pentru încărcarea repetată la un material qvasi-fragil

În cazul materialelor plastice, curbele de încercare la tracțiune (figura 1.6) pot indica un comportament fragil, o plasticitate ridicată (polimeri termoplastici) sau o elasticitate foarte mare (elastomeri).

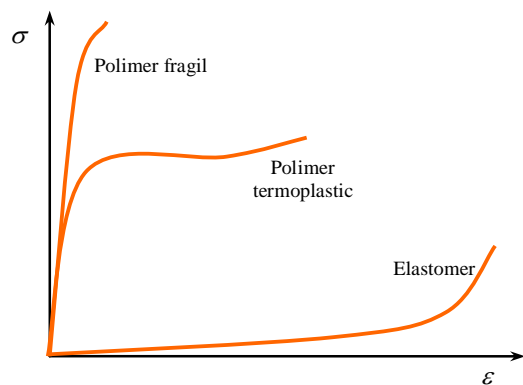


Figura 1.6 Curbe caracteristice specifice polimerilor

2. Determinarea schemei stării de tensiune

În cazul general, asupra unui punct material, reprezentat printr-un cub elementar, acționează o stare de tensiune caracterizată prin componentele: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – tensiuni normale pe direcțiile Ox, Oy, Oz ; $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{zy}, \tau_{xz}$ – tensiuni tangențiale pe planele xOy, xOz, yOz .

Pornind de la aceste valori, se poate determina valoarea tensiunilor σ și τ , care acționează asupra unui plan definit prin cosinusurile directoare l, m, n . Pentru aceasta, se determină valoarea p a tensiunii totale de pe acest plan ABC (figura 1) prin componentele sale:

$$p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2} \quad (1)$$

unde p_x, p_y, p_z sunt proiecțiile lui p pe cele 3 axe de coordonate:

$$\begin{aligned} p_x &= \sigma_x \cdot l + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n \\ p_y &= \tau_{yx} \cdot l + \sigma_y \cdot m + \tau_{yz} \cdot n \\ p_z &= \tau_{zx} \cdot l + \tau_{zy} \cdot m + \sigma_z \cdot n \end{aligned} \quad (2)$$

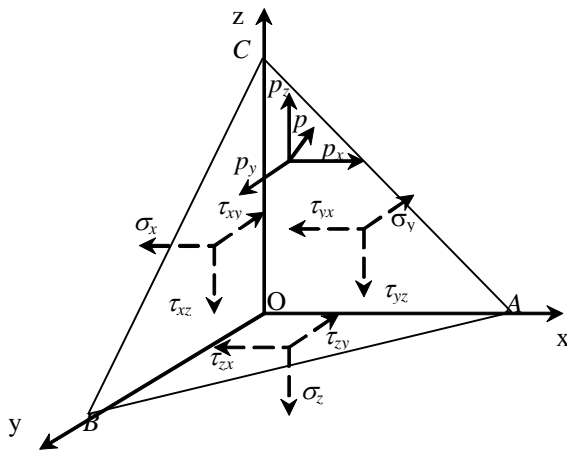


Figura 1 Componentele tensiunii principale σ pe cele 3 plane de coordonate

Tensiunea totală p se poate descompune în componentele σ (după direcția normală la plan) și τ (cuprinsă în planul considerat).

Conform figurii 1:

$$\sigma = p_x \cdot l + p_y \cdot m + p_z \cdot n \quad (3)$$

Se pot deduce relațiile:

$$\sigma = \sigma_x \cdot l^2 + \sigma_y \cdot m^2 + \sigma_z \cdot n^2 + 2(\tau_{xy} \cdot l \cdot m + \tau_{yz} \cdot m \cdot n + \tau_{zx} \cdot n \cdot l) \quad (4)$$

și

$$\tau = \sqrt{p^2 - \sigma^2} \quad (5)$$

Dacă planul ABC este un plan principal (un plan pe care tensiunea tangențială este nulă), tensiunea p poartă numele de *tensiune principală* și se notează cu σ .

Din condiția de echilibru a tetraedrului $OABC$ rezultă sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned}
(\sigma - \sigma_x)l - \tau_{xy} \cdot m - \tau_{xz} \cdot n &= 0 \\
-\tau_{yx} \cdot l + (\sigma - \sigma_y)m - \tau_{yz} \cdot n &= 0 \\
-\tau_{zx} \cdot l - \tau_{zy} \cdot m - (\sigma - \sigma_z)n &= 0
\end{aligned} \tag{6}$$

Pentru ca acest sistem să aibă soluții diferite de cele banale, e necesar ca determinantul format din coeficienții lui l, m, n să fie egali cu 0, ceea ce conduce la ecuația.

$$\begin{aligned}
\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \cdot \sigma^2 + (\sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_z \cdot \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) - \\
- (\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{zx} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 - \sigma_y \cdot \tau_{zx}^2 - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2) = 0
\end{aligned} \tag{7}$$

Se folosesc notațiile:

$$\begin{aligned}
\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z &= i_1 \\
\sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_z \cdot \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 &= i_2 \\
\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + 2 \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{zx} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 - \sigma_y \cdot \tau_{zx}^2 - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2 &= i_3
\end{aligned} \tag{8}$$

Unde: i_1, i_2, i_3 se numesc *invarianți* ai stării de tensiune.

Rădăcinile $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, ale ecuației (7) reprezintă tensiunile principale care acționează pe fețele cubului elementar. Rădăcinile ecuației (6) reprezintă cosinusurile directoare ale planului principal.

Cunoscând valorile tensiunilor principale, se poate determina schema stării de tensiune, conform tabelului 1.

Tabelul 1

σ_1	-	+	-	-	+	-	-	-	+
σ_2	0	0	-	+	+	-	-	+	+
σ_3	0	0	0	0	0	-	+	+	+
simbolul schemei	L_1	L_2	P_1	P_2	P_3	S_1	S_2	S_3	S_4
tipul schemei	liniară			plană			spațială		

Cu aceleași valori ale tensiunilor principale se poate scrie:

- tensorul tensiunii:

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ \cdot & \sigma_2 & 0 \\ \cdot & \cdot & \sigma_3 \end{pmatrix} \tag{9}$$

- tensorul sferic al tensiunii:

$$T_{\sigma}^0 = \begin{vmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ \cdot & \sigma_m & 0 \\ \cdot & \cdot & \sigma_m \end{vmatrix} \quad (10)$$

unde:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (110)$$

(σ_m – tensiunea medie)

- deviatorul tensiunii:

$$D_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_1 - \sigma_m & 0 & 0 \\ \cdot & \sigma_2 - \sigma_m & 0 \\ \cdot & \cdot & \sigma_3 - \sigma_m \end{vmatrix} \quad (12)$$

Cunoscând componentele deviatorului tensiunii, se poate reprezenta grafic starea de deformare a corpului (sensul deformațiilor principale $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ care acționează asupra cubului elementar), deoarece deviatorul tensiunii caracterizează schimbarea formei corpului aflat sub stare de tensiune (figura 2).

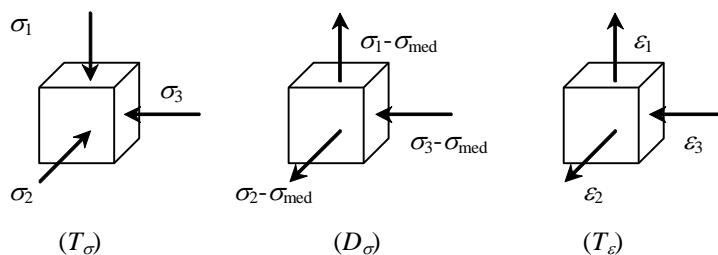


Figura 2

3. Comportarea materialelor metalice la deformare plastica

Metalele și aliajele metalice prelucrate prin deformare plastică la cald sau la rece pot fi încadrate în grupa materialelor plastice (materiale care suportă deformații permanente de valori mari, opunând o rezistență a cărei valoare depinde de gradul de deformare aplicat și nu depinde de viteza de deformare și presiunea hidrostatică aplicată) sau în grupa materialelor vâscoase (materiale care suportă deformații permanente foarte mari, la care forța de deformare depinde de viteza de deformare, de presiunea hidrostatică și nu depinde de gradul de deformare).

Pentru proiectarea produselor obținute prin deformare plastică și a proceselor tehnologice este necesar să se cunoască proprietățile care caracterizează deformabilitatea materialelor metalice (plasticitatea și rezistența la deformare), precum și modul în care aceste proprietăți sunt influențate de parametrii tehnologici ai procesului.

a) Plasticitatea

Plasticitatea reprezintă capacitatea materialelor metalice de a se deforma plastic, respectiv de a suferi schimbări permanente ale formei și dimensiunilor inițiale sub acțiunea unor forțe exterioare fără a-și distruge integritatea structurală.

Plasticitatea este influențată atât de către factori dependenți de natura materialului, cât și de către parametrii procesului de deformare.

Factorii dependenți de natura materialului, care influențează plasticitatea, sunt compoziția chimică și structura.

În ceea ce privește *compoziția chimică*, s-a stabilit că metalele pure au o plasticitate mai bună decât aliajele lor. Elementele de aliere influențează plasticitatea atât prin obținerea unor constituenți noi, cât și prin favorizarea unor transformări de fază în aliaje.

Structura materialelor metalice afectează plasticitatea prin natura constituenților (aliajele monofazice au plasticitatea mai bună decât cele bifazice), prin tipul de rețea cristalină (constituenții care cristalizează în sistemul CFC sunt mai plastici decât cei care cristalizează în sistemul CVC sau HC) sau prin forma și dimensiunile grăunților (structura de turnare conferă o plasticitate mai redusă decât structura de deformare).

Dintre parametrii tehnologici, cea mai mare influență asupra plasticității o au următorii factori:

a) *Temperatura de deformare* - parametrul cu cea mai mare influență. În general, creșterea temperaturii produce o creștere a plasticității ca urmare a creșterii amplitudinii oscilațiilor atomilor în jurul pozițiilor de echilibru. Există și situații în care transformările de fază sau creșterea granulației la temperaturi mari pot produce scăderea plasticității.

b) *Viteza de deformație* - influențează plasticitatea funcție de raportul dintre procesele de ecruisare și recristalizare. Dacă prin creșterea vitezei de deformație procesul de ecruisare se desfășoară mai rapid decât recristalizarea, materialul se durifică și plasticitatea scade.

c) *Gradul de deformare* - are o influență mai evidentă la materialele cu plasticitate redusă. La acțiunile turnate se constată o creștere accentuată a plasticității până la modificarea structurii de turnare, după care plasticitatea nu se mai modifică semnificativ.

d) *Starea de tensiune* - conduce la mărirea plasticității dacă predomină tensiunile de comprimare și reduce plasticitatea dacă predomină tensiunile de întindere. Rezultă că, pentru un anumit material, starea de tensiune cea mai favorabilă pentru mărirea plasticității este S_1 , iar cea mai nefavorabilă S_4 .

Pentru aprecierea plasticității materialelor metalice, nu este stabilită o metodă care să stabilească o mărime absolută pentru această proprietate, ci se folosesc o serie de metode indirecte, pe cât posibil apropiate de condițiile concrete din procesul de deformare.

Cele mai folosite metode sunt:

- a) *metoda încercării la tracțiune* (SR EN 10002-1: 1995) – la care plasticitatea este apreciată prin valoarea alungirii relative sau a găturii la rupere; valorile mari ale acestor indici arată o plasticitate ridicată a materialului;

Deși schema mecanică a deformării ($S_4 - D_{III}$) nu este caracteristică pentru nici un proces de deformare, metoda se folosește datorită simplității și utilizării unor mașini de încercat relativ răspândite.

- b) *metoda încercării la compresiune sau refularea* (STAS 2233-80) – permite aprecierea plasticității prin valoarea gradului de deformare relativă, aplicat unei probe cilindrice în momentul apariției primei fisuri; un grad de deformare mare indică o plasticitate bună a materialului;

Schema mecanică a deformației la această încercare este $S_1 - D_I$, care corespunde proceselor de deformare prin forjare și parțial proceselor de laminare și extruziune.

- c) *metoda încercării la torsiune* – permite aprecierea plasticității prin numărul de răsuciri necesar până la ruperea unor probe cilindrice;
- d) *metoda încercării la încovoiere* – se poate aplica prin îndoire prin șoc sau reziliență (SR EN 10045-1: 1993, SR 13170: 1970) sau îndoire alternantă (SR EN ISO 7799: 2003);
- e) *metoda întinderii prin forjare* - care se aseamănă cu încercarea la compresiune, având avantajul că ține seama și de influența zonelor vecine de material, care rămân în afara zonei de deformare și îngreunează deformarea; plasticitatea este apreciată tot prin gradul de reducere;
- f) *metoda laminării* – apreciază plasticitatea prin gradul de reducere ε în secțiunea în care a apărut prima fisură (laminarea unor probe sub formă de pană între cilindri cu table netedă sau laminarea unor probe paralelipipedice în cilindri cu calibre periodice (figura1));

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

unde:

H – este grosimea probei paralelipipedice înainte de deformare sau grosimea inițială a probei sub formă de pană la secțiunea în care a apărut prima fisură;

h – este grosimea probei laminate sub formă de pană, în dreptul primei fisuri sau grosimea după laminare a probei care inițial avea formă de pană (figura1).

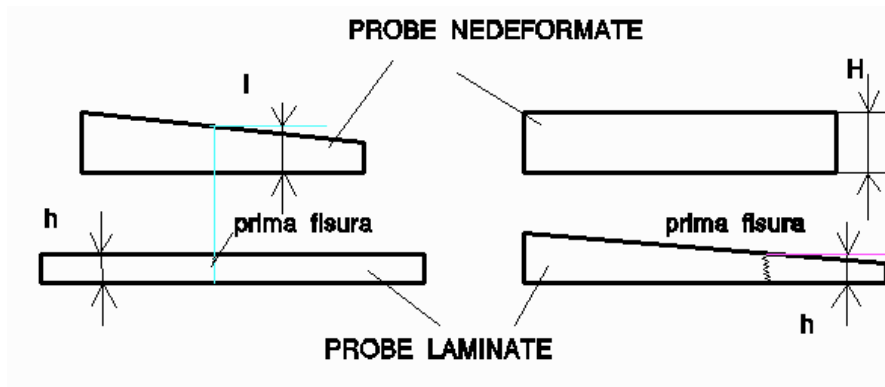


Figura 1

Metoda are avantajul că încercarea se realizează în condiții reale specifice deformării prin laminare și dezavantajul că necesită un laminor experimental adecvat.

b) Rezistența de deformare

Rezistența de deformare reprezintă rezistența pe care materialul o depune deformării plastice în condițiile concrete ale procesului tehnologic de deformare.

Pornind de la ecuația simplificată a plasticității:

$$\sigma_1 = \beta \sigma_c + \sigma_3 \quad (1)$$

se poate scrie expresia generală a rezistenței de deformare sub forma:

$$p = K + q \quad (3)$$

în care:

K - este rezistența la deformare specifică a materialului, corespunzătoare unei stări de tensiune liniară, care depinde numai de proprietățile materialului;

q - este componenta rezistenței la deformare, datorată efectului condițiilor de frecare.

Rezistența de deformare este influențată de următorii factori:

- condițiile de frecare;
- compoziția chimică a materialului deformat;
- temperatura de deformație;
- gradul de deformare;
- schema stării de tensiune.

Referitor la influența condițiilor de frecare, este dovedit că, un coeficient de frecare mare între scule și material presupune un randament scăzut al prelucrării, deci energii și forțe mari de deformare.

Compoziția chimică, temperatura de deformare, viteza de deformație și gradul de deformare modifică proprietățile materialului și deci componenta K a rezistenței la deformare în sensul prezentat la analiza plasticității materialului.

Forma sculelor de deformare modifică rezistența la deformare prin modificarea componentei q (figura 2).

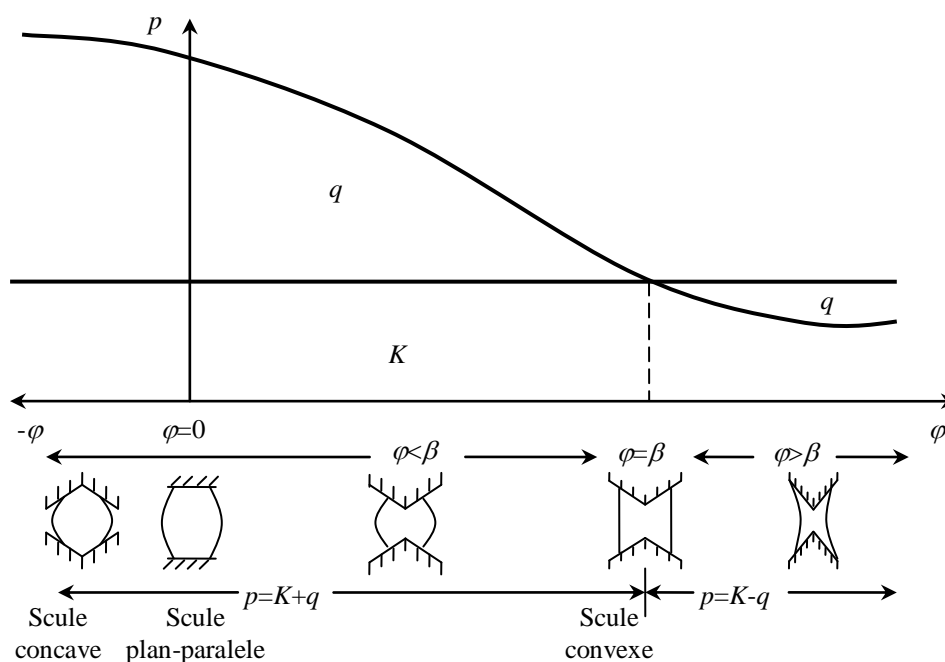


Figura 2

Starea de tensiune influențează rezistența la deformare prin direcția și mărimea tensiunilor ce acționează în planul suprafețelor de contact. Deoarece o singură tensiune realizează deformarea (cea maximă), iar celelalte se opun deformării sau o ajută, rezistența la deformare crește de la starea S_4 spre S_1 .

Pentru determinarea experimentală a rezistenței la deformare se folosesc aceleași metode ca și la determinarea experimentală a plasticității:

- metoda încercării la tracțiune* – se determină limita de curgere și rezistența la rupere a materialului;
- metoda refulării* – se poate determina valoarea tensiunii la refularea pe prese $p = P/S$ ($P =$ forța de deformare, $S =$ aria suprafeței de contact);
- metoda de încercare la torsiune* – se determină momentul de torsiune maxim, necesar pentru ruperea epruvetei;
- metoda încercării la încovoiere (reziliența)* – permite aprecierea rezistenței la deformare prin lucrul mecanic specific de rupere;
- laminarea unei probe în formă de pană* – rezistența la deformare se poate aprecia prin valoarea forței de laminare corespunzătoare secțiunii în care a apărut prima fisură.

4. Deformarea plastică la rece

Are loc la temperaturi mai mici decât temperatura de recristalizare specifică fiecărui material metalic.

Evoluția structurii metalelor și aliajelor în timpul deformării plastice la rece depinde, în principal, de natura materialului, tipul de deformare plastică și de gradul de deformare aplicat.

Sub acțiunea forțelor de deformare, grăunții cu plasticitate și tenacitate mare se vor deforma în direcția forțelor, iar constituenții fragili vor fi sfărâmați, orintându-se sub formă de șiruri în direcția de alunecare a materialului.

Dacă se analizează cazul trefilării unei sârme din oțel recopt (structura formată din grăunți de ferită plastică și insule de perlită mai fragilă), se poate observa alungirea grăunților de ferită în direcția axei sârmei. Această alungirea devine tot mai evidentă pe măsură ce gradul de deformare crește, dar la atingerea reducerii de 80% grăunții nu mai pot fi distinși.

Scăderea clarității limitelor de grăunți se explică prin faptul că, la deformare, grăunții de ferită se rotesc, astfel încât direcția cristalografică [110] să fie orientată în direcția axei sârmei, ceea ce reduce diferența de comportare la atac metalografic. Fenomenul se numește *texturare* și are ca efect obținerea unei structuri cu aspect fibros. Din punct de vedere practic, apariția texturii conduce la o puternică anizotropie a proprietăților, care este nedorită în majoritatea situațiilor. În unele cazuri, textura este obținută în mod voit (la aliajele Fe-Si folosite pentru miezuri magnetice).

În timp ce cristalele de ferită se alungesc, se produce și sfărâmarea lamelilor de cementită din perlită și a incluziunilor nemetalice fragile din oțel. Grăunții de dimensiuni mici rezultați sunt ordonați sub formă de șiruri în matricea formată din grăunți alungiți de ferită.

Deoarece grăunții plastici își modifică doar forma, păstrându-și volumul constant, din examinarea formei lor se poate aprecia atât valoarea gradului de deformare aplicat materialului, cât și modul în care materialul a fost deformat.

Astfel:

- tablele laminate la rece au grăunți alungiți în direcția de laminare, turtiți în direcția normalei pe suprafață și puțin lățiți în direcția transversală;
- sârmele trase au grăunții alungiți în direcția axei și turtiți în secțiune transversală;
- tablele îndoite au pe suprafața întinsă grăunți alungiți, iar pe suprafața comprimată grăunți turtiți.

Modificările structurale produse prin deformare plastică la rece afectează practic toate proprietățile chimice fizice și de exploatare ale materialului.

Cu creșterea gradului de deformare se reduce reziliența și modulul de elasticitate, mărindu-se limita de elasticitate și rezistivitatea. La aliajele feromagnetice cresc pierderile prin histerezis și câmp coercitiv.

Grăunții deformați au o energie internă mai mare și se atacă mai repede având, în general, o rezistență la coroziune mai redusă decât grăunții nedeformați. Tot datorită energiei interne mai mari, grăunții deformați reprezintă zona preferențială pentru separarea fazelor precipitate.

Deformația plastică la rece se caracterizează printr-o calitate bună a suprafeței, o structură uniformă a materialului și toleranțe dimensionale reduse pentru piese și semifabricate. În același timp, se poate produce și o texturare a structurii, care înrăutățește prelucrarea, precum și o instabilitate dimensională a produselor, datorită tensiunilor interne.

Reducerea și eliminarea efectelor deformării plastice la rece (duritate, rezistență și limită de elasticitate ridicate asociate cu alungire, tenacitate și plasticitate reduse) sunt posibile prin ridicarea temperaturii în cadrul recoacerii de recristalizare.

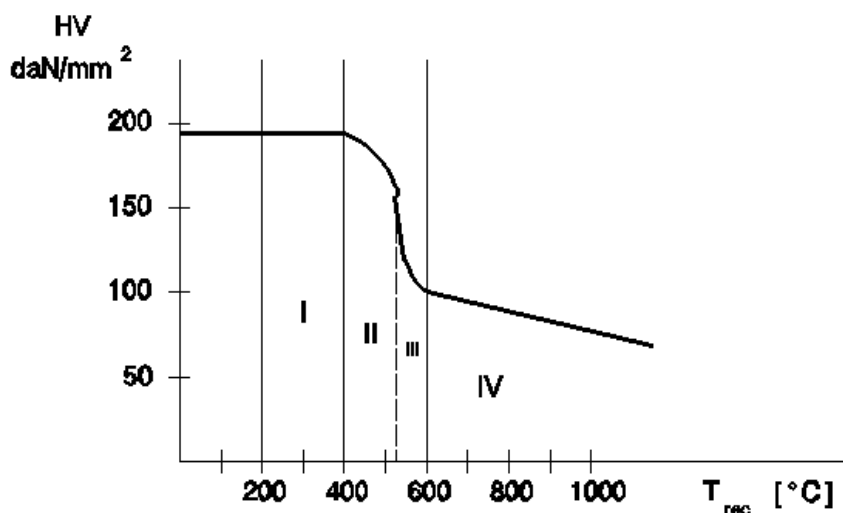


Figura 1

Variația durității funcție de temperatura de recoacere este exemplificată în figura 1 pentru cazul unui oțel moale tras la rece, cu un grad de reducere de 65%.

Se observă existența a patru domenii distincte:

- domeniul I (0 ... 400°C) – în care duritatea nu se modifică;
- domeniul II (400 ... 580°C) – în care apare o reducere a durității, datorită reducerii defectelor de rețea, dar nu se realizează o modificare a structurii cristaline;
- domeniul III (580 ... 600°C) – în care duritatea scade brusc, denumit doemniul recristalizării primare; în acest interval de temperatură, în locul grăunților alungiți apar grăunți noi, echiaxiali, de dimensiuni mici;
- domeniul IV (peste 600°C), domeniul recristalizării secundare - în care duritatea nu se mai modifică mult, iar grăunții fini apăruți anterior se unesc în grăunți de dimensiuni mai mari.

În general, *temperatura de recristalizare* T_r se consideră temperatura la care apar primii grăunți echiaxiali. Această valoare depinde, în primul rând, de temperatura de topire a materialului și se poate calcula cu relația:

$$T_r \approx 0,42 T_t \quad (1)$$

unde temperaturile T_r și T_t sunt măsurate în °K.

Valoarea temperaturii de recristalizare T_r depinde și de gradul de deformare aplicat anterior materialului, fiind cu atât mai joasă cu cât deformarea a fost mai intensă. Dependența se explică prin faptul că, tendința materialului de a trece într-o stare nedeformată, cu energie mai redusă, este mai puternică la grade mari de deformare.

Din același motiv energetic, la o temperatură dată, dimensiunile grăuntelui recristalizat sunt cu atât mai mari cu cât gradul de deformare a fost mai mic, deoarece la grade mici de

deformare există puține locuri puternic deformate, care pot constitui centre de recristalizare, iar grăunții care apar în acești centri cresc fără a se jena reciproc.

Dependența dintre gradul de deformare, temperatura de recoacere și mărimea grăunțului se poate evidenția prin diagramele de recristalizare, care au forma din figura 2 și permit aprecierea mărimii grăunțului pentru un anumit grad de deformare și o temperatură de recoacere cunoscută.

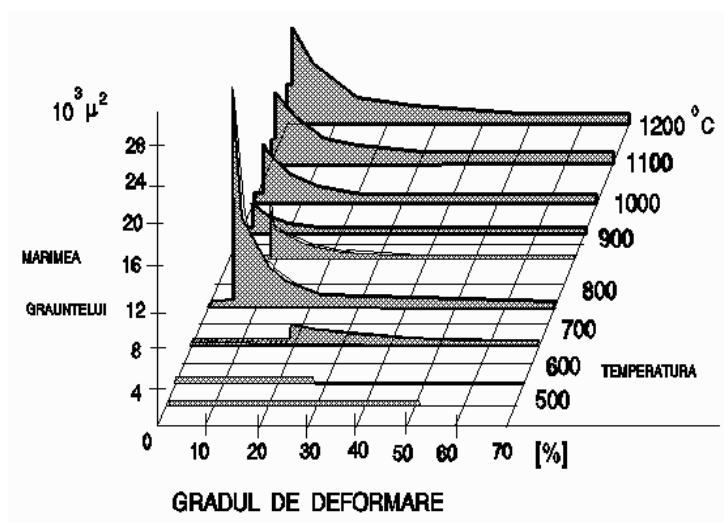


Figura 2

Diagramele de recristalizare se trasează experimental și sunt valabile numai pentru condițiile pentru care au fost întocmite.

Recristalizarea poate conduce la neuniformități structurale pe secțiunea produsului deformat la rece dacă deformarea a fost neuniformă sau localizată.

Grăunțele grosolan, apărut după recoacerea de recristalizare, induce proprietăți necorespunzătoare. De aceea se urmărește ca, înainte de recoacere să se aplice o deformare plastică la rece cât mai omogenă și cât mai intensă.

5. Deformarea plastică la cald

Se execută la temperaturi mai mari decât temperatura de cristalizare, iar efectele deformării (alungirea grăunților, ecrusare, etc.) nu sunt stabile, fiind anulate imediat prin recristalizare.

Structura unui material deformat la cald diferă, totuși, de structura inițială de turnare, ca urmare a acțiunii mai multor fenomene ce au loc prin efectul temperaturii și deformării.

- Golurile de tipul sulfurilor și porozităților sunt reduse sau chiar eliminate, realizându-se astfel o compactizare a materialului turnat. Eliminarea completă a acestor defecte de compactitate este posibilă doar dacă pereții lor nu sunt oxidați, iar gradul de deformare aplicat este suficient de mare.

- Prin acțiunea alternativă a fenomenelor de deformare plastică a grăunților și de recristalizare, se realizează o finisare a granulației, așa încât structura obținută după deformarea plastică la cald este mult mai fină decât cea de turnare.

Mecanismul de finisare pentru cazul laminării la cald este explicat în figura 3.

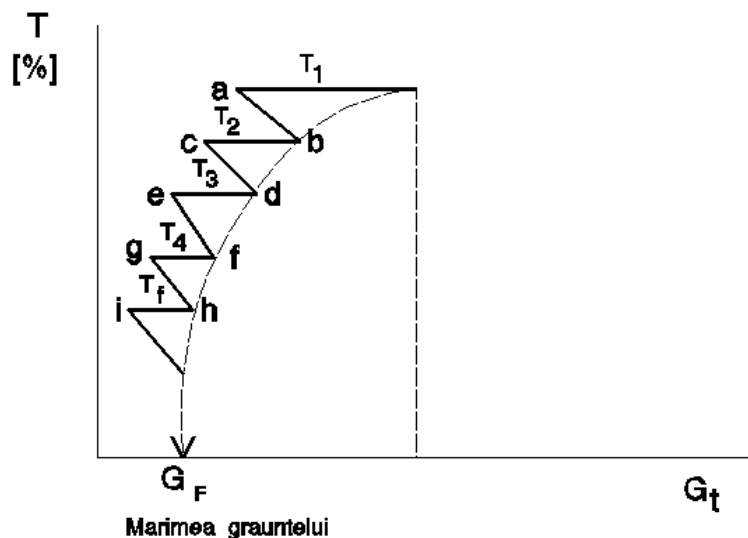


Figura 3

Lingoul turnat, având dimensiuni medii ale grăunților G_t , este adus la temperatura de început de deformare T_1 . La prima trecere, grăuntele este sfărâmat și mărunțit (punctul a). În prima și a doua trecere, temperatura scade de la T_1 la T_2 , iar grăuntele își mărește rapid dimensiunea, datorită temperaturii ridicate (punctul b).

La trecerea a doua are loc o nouă sfărâmare a grăunțului, urmată de o nouă creștere și fenomenele se repetă la atingerea temperaturii de sfârșit de deformare T_f , careia îi corespunde mărimea de grăunte din punctul i . În final, va rezulta un grăunte având mărimea $G_f \ll G_L$.

Deși grăunții metalici obținuți după deformarea plastică la cald au o formă axială, materialul deformat are o *structură fibroasă*, cu direcția fibrelor în direcția principală de alungire, care produce o anizotropie puternică a proprietăților mecanice.

Apariția fibrajului se explică prin faptul că, nu toți constituenții deformați recristalizează și se transformă în grăunți poliedrici.

Incluziunile nemetalice cu plasticitate mare sunt închise, cele fragile sunt sfărâmate și orientate sub forma de șiruri, păstrându-și aceste forme și după recristalizarea matricei metalice. Rezultă deci o structură sub formă de fibre metalice separate prin șiruri de incluziuni nemetalice.

Formarea unor benzi succesive de ferită și perlită în oțelurile hipoeutectoide deformate plastic la cald se explică prin separarea feritei proeutectoide pe formațiunile de incluziuni și respingerea austenitei rămase spre interior, unde se va transforma în perlită.

Orientarea sub formă de șiruri, după deformarea plastică la cald, este specifică și carburilor din oțeluri hipereutectoide care, după turnare, prezintă o rețea de carburi, iar după deformare are o distribuție a carburilor sub formă de șiruri.

În cazul oțelurilor ledeburitice pentru scule, se impune aplicarea unui grad mare de reducere (coroiaj) pentru ca structura cu carburi în șiruri să se transforme într-o structură cu carburi fine și uniform distribuite, pentru a se reduce riscul de distrugere a tășurilor prin sfărâmarea carburilor grosiere și de formare a fisurilor în aglomerările de carburi.

TEHNICI DE ANALIZĂ ȘI CARACTERIZARE A MATERIALELOR

1) Definiți radiația electromagnetică și enumerați parametrii ce caracterizează mișcarea unei unde electromagnetice.

R. Radiația electromagnetică este considerată a fi un fenomen fizic ce constă într-o componentă electrică și una magnetică, aflate în același spațiu, ce se generează reciproc pe măsură ce se propagă. Undele electromagnetice cuprind un domeniu foarte larg al frecvențelor, respectiv al lungimilor de undă, și anume $10^{24} \div 10^0$ Hz (frecvență) și de la aprox. $10^{-16} \div 10^8$ m (lungime de undă), purtând denumiri diferite: unde γ , unde X, unde ultraviolete (UV), unde luminoase, unde infraroșii (IR), microunde, unde radio. Parametrii ce caracterizează mișcarea unei unde sunt: amplitudinea (a), lungimea de undă (λ) și frecvența (ν).

2) Cum se formează radiația X și în ce domenii este utilizată?

R. Radiația X (sau radiația Röntgen) este o radiație electromagnetică ionizantă ce se situează în domeniul de unde electromagnetice cuprinse între 0,1 Å și 100 Å. Această radiație, descoperită în anul 1895 de Wilhelm Conrad Röntgen, ia naștere în tuburi speciale, atunci când electronii emiși de un catod incandescent, având viteză suficient de mare, se ciocnesc cu un material, transformându-și energia cinetică în energie de radiație. Spre deosebire de razele luminoase, radiația X trece prin corpuri opace și este invizibilă. Pe baza acestor proprietăți, radiația X este folosită în radiografia medicală și tehnică, în industria farmaceutică, microradiografie, fotometrie de absorbție, analiza cristalelor prin difracție de raze X, sisteme de securitate.

3) Definiți metodele termice de analiză și exemplificați.

R. Metodele termice de analiză sunt acele metode în care se urmărește variația unui parametru fizic (sau chimic) sau a mai multor parametri ai probei studiate, în funcție de temperatura acesteia sau timp. Cel mai adesea se utilizează varianta dinamică a acestor metode, în care parametrul fizic al probei este urmărit odată cu variația temperaturii probei. În funcție de parametrul urmărit în timpul încălzirii sau răcirii probei, principalele metode termice utilizate sunt: analiză termică simplă și diferențială, analiză termogravimetrică, analiza termomecanică, analiza mecanică dinamică, calorimetria diferențială dinamică.

4) Descrieți pe scurt analiza termogravimetrică și enumerați câteva aplicații practice ale acestei analize.

R. Principiul metodei termogravimetrice (TG) se bazează pe măsurarea masei probei studiate, în timpul încălzirii acesteia. Reprezentarea grafică a masei (sau a procentului masic) în funcție de temperatură $m = f(T)$ constituie curba termogravimetrică (termogramă). Analiza TG presupune utilizarea unei balanțe adecvate (termobalanță) care să permită încălzirea treptată a probei și înregistrarea cu precizie a variației de masă în funcție de temperatură. Această metodă este foarte utilă pentru urmărirea proceselor care sunt însoțite de variație de masă: deshidratări, descompuneri termice, arderi, oxidări, carbonatări, % de reziduu. Analizele termogravimetrice se pot realiza în condiții dinamice, folosind o anumită viteză de încălzire stabilită sau în condiții izoterme, când se încălzește în regim dinamic până la o anumită temperatură, după care se păstrează acea temperatură pentru o anumită perioadă de timp.

Printre aplicațiile analizei termogravimetrice se pot aminti:

- Determinarea domeniilor de stabilitate termică a materialelor cercetate, respectiv a produșilor intermediari formați în timpul tratamentului termic;
- Determinarea intervalelor de transformare și a temperaturilor la care viteza de transformare este maximă;
- Determinarea stoechiometriei reacțiilor de descompunere, respectiv a interacțiunilor materialului analizat cu mediul de lucru (atmosfera din cuptor) – în principal oxidări;
- Studii cu privire la temperaturile critice ale materialelor (temperatură de topire, temperatură de tranziție vitrosă);
- Studii cu privire la conținutul de agent de ranforsare în cazul materialelor compozite;
- Determinarea umidității sau a conținutului în compuși volatili.

5) Enumerați câteva caracteristici microstructurale ce pot fi analizate prin intermediul microscopiei optice.

- Rugozitatea suprafețelor, pituri de coroziune, porozitate;
- Precipități, incluziuni nemetalice;
- Direcția de curgere a materialului la piesele forjate;
- Structuri de solidificare în produse turnate;
- Caracteristici ale unei îmbinări sudate, inclusiv adâncimea de penetrare, dimensiunea zonei de difuzie, numărul de treceri, dimensiunea zonei afectate termic, precum și tipul și densitatea imperfecțiunilor din sudură;
- Mărimea și distribuția incluziunilor de dimensiuni mari;
- Imperfecțiuni de fabricație, cum ar fi suprapuneri, cute în cazul produselor de formabile, porozitate și retasură în cazul produselor turnate;
- Adâncimea și uniformitatea unui strat durificat într-un produs călit;

- Grosimea straturilor depuse prin diferite procedee (pulverizare termică, depunere electrochimică, PVD).

6) Clasificați metodele electrochimice de analiză a materialelor.

Metodele electrochimice reprezintă totalitatea metodelor de analiză ce măsoară potențialul (volți), sarcina electrică (coulomb) și/sau intensitatea curentului electric (amperi) într-o celulă electrochimică ce conține proba de analizat. Pot fi atât metode calitative cât și cantitative, bazate pe fenomenele electrochimice ce au loc la interfața dintre materialul analizat și mediul de testare.

Clasificarea metodelor electrochimice de analiză în funcție de modul de funcționare al celulei:

- Metode statice sau non-faradaice: când celula electrochimică funcționează în absența curentului electric ($i = 0$);
- Metode dinamice sau faradaice: când celula electrochimică funcționează în prezența curentului electric ($i \neq 0$).

Clasificarea metodelor electrochimice de analiză în funcție de parametrul ce se urmărește:

- Metode potențiometrice: se măsoară diferența de potențial dintre electrozi la curent constant (metodă statică de analiză);
- Metode amperometrice: se măsoară curentul la o valoare de potențial impusă.
- Metode voltametrice: se măsoară curentul electric în celulă, în timp ce potențialul celulei este modificat în mod controlat în timp.
- Metode coulometrice: tehnici aplicate la curent constant.

TEHNICI DE ANALIZĂ ȘI CARACTERIZARE A MATERIALELOR

7) Definiți radiația electromagnetică și enumerați parametrii ce caracterizează mișcarea unei unde electromagnetice.

R. Radiația electromagnetică este considerată a fi un fenomen fizic ce constă într-o componentă electrică și una magnetică, aflate în același spațiu, ce se generează reciproc pe măsură ce se propagă. Undele electromagnetice cuprind un domeniu foarte larg al frecvențelor, respectiv al lungimilor de undă, și anume $10^{24} \div 10^0$ Hz (frecvență) și de la aprox. $10^{-16} \div 10^8$ m (lungime de undă), purtând denumiri diferite: unde γ , unde X, unde ultraviolete (UV), unde luminoase, unde infraroșii (IR), microunde, unde radio. Parametrii ce caracterizează mișcarea unei unde sunt: amplitudinea (a), lungimea de undă (λ) și frecvența (ν).

8) Cum se formează radiația X și în ce domenii este utilizată?

R. Radiația X (sau radiația Röntgen) este o radiație electromagnetică ionizantă ce se situează în domeniul de unde electromagnetice cuprinse între 0,1 Å și 100 Å. Această radiație, descoperită în anul 1895 de Wilhelm Conrad Röntgen, ia naștere în tuburi speciale, atunci când electronii emiși de un catod incandescent, având viteză suficient de mare, se ciocnesc cu un material, transformându-și energia cinetică în energie de radiație. Spre deosebire de razele luminoase, radiația X trece prin corpuri opace și este invizibilă. Pe baza acestor proprietăți, radiația X este folosită în radiografia medicală și tehnică, în industria farmaceutică, microradiografie, fotometrie de absorbție, analiza cristalelor prin difracție de raze X, sisteme de securitate.

9) Definiți metodele termice de analiză și exemplificați.

R. Metodele termice de analiză sunt acele metode în care se urmărește variația unui parametru fizic (sau chimic) sau a mai multor parametri ai probei studiate, în funcție de temperatura acesteia sau timp. Cel mai adesea se utilizează varianta dinamică a acestor metode, în care parametrul fizic al probei este urmărit odată cu variația temperaturii probei. În funcție de parametrul urmărit în timpul încălzirii sau răcirii probei, principalele metode termice utilizate sunt: analiză termică simplă și diferențială, analiză termogravimetrică, analiza termomecanică, analiza mecanică dinamică, calorimetria diferențială dinamică.

10) Descrieți pe scurt analiza termogravimetrică și enumerați câteva aplicații practice ale acestei analize.

R. Principiul metodei termogravimetrice (TG) se bazează pe măsurarea masei probei studiate, în timpul încălzirii acesteia. Reprezentarea grafică a masei (sau a procentului masic) în funcție de temperatură $m = f(T)$ constituie curba termogravimetrică (termogramă). Analiza TG presupune utilizarea unei balanțe adecvate (termobalanță) care să permită încălzirea treptată a probei și înregistrarea cu precizie a variației de masă în funcție de temperatură. Această metodă este foarte utilă pentru urmărirea proceselor care sunt însoțite de variație de masă: deshidratări, descompuneri termice, arderi, oxidări, carbonatări, % de reziduu. Analizele termogravimetrice se pot realiza în condiții dinamice, folosind o anumită viteză de încălzire stabilită sau în condiții izoterme, când se încălzește în regim dinamic până la o anumită temperatură, după care se păstrează acea temperatură pentru o anumită perioadă de timp.

Printre aplicațiile analizei termogravimetrice se pot aminti:

- Determinarea domeniilor de stabilitate termică a materialelor cercetate, respectiv a produșilor intermediari formați în timpul tratamentului termic;
- Determinarea intervalelor de transformare și a temperaturilor la care viteza de transformare este maximă;
- Determinarea stoechiometriei reacțiilor de descompunere, respectiv a interacțiunilor materialului analizat cu mediul de lucru (atmosfera din cuptor) – în principal oxidări;

- Studii cu privire la temperaturile critice ale materialelor (temperatură de topire, temperatură de tranziție vitroasă);
- Studii cu privire la conținutul de agent de ranforsare în cazul materialelor compozite;
- Determinarea umidității sau a conținutului în compuși volatili.

11) Enumerați câteva caracteristici microstructurale ce pot fi analizate prin intermediul microscopiei optice.

- Rugozitatea suprafețelor, pituri de coroziune, porozitate;
- Precipități, incluziuni nemetalice;
- Direcția de curgere a materialului la piesele forjate;
- Structuri de solidificare în produse turnate;
- Caracteristici ale unei îmbinări sudate, inclusiv adâncimea de penetrare, dimensiunea zonei de difuzie, numărul de treceri, dimensiunea zonei afectate termic, precum și tipul și densitatea imperfecțiunilor din sudură;
- Mărimea și distribuția incluziunilor de dimensiuni mari;
- Imperfecțiuni de fabricație, cum ar fi suprapuneri, cute în cazul produselor de formabile, porozitate și retasură în cazul produselor turnate;
- Adâncimea și uniformitatea unui strat durificat într-un produs călit;
- Grosimea straturilor depuse prin diferite procedee (pulverizare termică, depunere electrochimică, PVD).

12) Clasificați metodele electrochimice de analiză a materialelor.

Metodele electrochimice reprezintă totalitatea metodelor de analiză ce măsoară potențialul (volți), sarcina electrică (coulomb) și/sau intensitatea curentului electric (amperi) într-o celulă electrochimică ce conține proba de analizat. Pot fi atât metode calitative cât și cantitative, bazate pe fenomenele electrochimice ce au loc la interfața dintre materialul analizat și mediul de testare.

Clasificarea metodelor electrochimice de analiză în funcție de modul de funcționare al celulei:

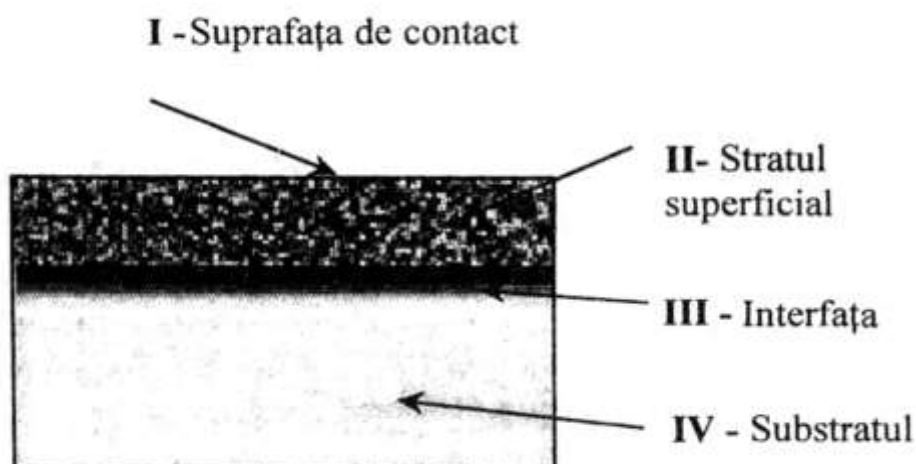
- Metode statice sau non-faradaice: când celula electrochimică funcționează în absența curentului electric ($i = 0$);
- Metode dinamice sau faradaice: când celula electrochimică funcționează în prezența curentului electric ($i \neq 0$).

Clasificarea metodelor electrochimice de analiză în funcție de parametrul ce se urmărește:

- Metode potențiometrice: se măsoară diferența de potențial dintre electrozi la curent constant (metodă statică de analiză);
- Metode amperometrice: se măsoară curentul la o valoare de potențial impusă.
- Metode voltametrice: se măsoară curentul electric în celulă, în timp ce potențialul celulei este modificat în mod controlat în timp.
- Metode coulometrice: tehnici aplicate la curent constant.

1. Reprezentați sistemul strat de suprafață-substrat și precizați zonele aferente?

R. În figura este prezentat schematic sistemul strat de suprafață-substrat, legătura dintre cele două realizându-se printr-o interfață a cărei grosime și structură depinde de natura materialelor și de tehnologia de obținere a stratului.



Sistemul prezintă patru zone distincte:

- **Zona I** – suprafața de contact cu piesa conjugată sau mediu, unde rugozitatea, coeficientul de frecare și stabilitatea chimică sunt elementele cele mai importante pentru sistem;
- **Zona II** – stratul de suprafață unde interesează în special adâncimea, compoziția chimică și microstructura, ele fiind elemente determinante pentru proprietăți ca duritatea, rezistența la rupere, modulul de elasticitate, tenacitatea, etc.;
- **Zona III** – interfața dintre stratul de suprafață și substrat unde aderența și interacțiunea chimică dintre acestea sunt proprietăți hotărâtoare pentru sistem;

Zona IV – substratul (miezul/materialul de bază) ale cărui proprietăți sunt rezistența la rupere, tenacitatea, duritatea, modulul de elasticitate și densitatea.

2. Care sunt obiectivele specifice ingineriei Suprafetelor?

R. Principalele obiective ale Ingineriei Suprafetelor pot fi sintetizate astfel:

- să confere unei piese proprietăți superficiale de natură fizică, chimică sau mecanică, pe care materialul de bază nu le posedă în volumul său;
- creșterea performanțelor și a durabilității produselor;
- economisirea de materii prime și materiale deficitare și valorificarea superioară a acestora;
- reducerea consumurilor energetice în procesele de fabricație și îmbunătățirea raportului cost/performanță;
- elaborarea de materiale noi cu proprietăți deosebite;
- reducerea gradului de poluare în tratamentele de suprafață

Realizarea acestor obiective presupune în primul rând, cunoașterea și aplicarea judicioasă a tehnologiilor de tratare a suprafețelor. Tehnologiile avansate de ingineria suprafețelor alături de tehnologiile de tratare volumică oferă o gamă largă de soluții pentru proiectarea și fabricarea de piese performante pe bază de materiale metalice, ceramice, polimerice și compozite.

3. Care sunt caracteristicile unui strat depus prin pulverizare termică?

R. Un strat depus prin pulverizare termică se caracterizează prin: aderență, structură și densitate sau porozitate.

Aderența este una din caracteristicile de bază ale microstratului depus care condiționează rezistența și durabilitatea lui, precum și gradul de protecție al piesei pe care este aplicat. Ea se definește ca un complex de factori care concură la realizarea legăturilor între stratul depus și metalul de bază.

În majoritatea cazurilor pregătirea suprafețelor în vederea depunerii unui microstrat prin pulverizare termică se face prin sablare.

Mecanismul aderenței între particule de pulbere și metalul de bază, precum și între particule este un fenomen complex și constă din:

- ancorarea mecanică a particulelor în rugozitatea suprafeței piesei;
- existența unor forțe de atracție moleculară;
- existența condițiilor de apariție a unor microsuduri;
- apariția fenomenului de difuzie între MB și materialul depus.

Porozitatea

Porozitatea este prezentă în marea majoritatea straturilor depuse prin pulverizare termică și variază în intervalul 0,1-15%. Porozitatea în straturile depuse prin pulverizare termică poate fi cauzată de o serie de factori:

- energie de impact redusă (particule netopite/ viteză redusă),

- efecte de "umbră" (particule netopite/ unghi de pulverizare),
- efecte datorate tensiunilor ce apar în strat (contractii, întinderi).

Porozitatea în straturi are efecte negative atunci când se impun anumite cerințe de rezistență la coroziune, uzură sau duritate dar poate fi corectată și manipulată prin modificarea și optimizarea parametrilor procesului de depunere precum și a materialelor de depus.

Oxizii

Majoritatea straturilor metalice sunt susceptibile la oxidare în timpul procesului de depunere realizate în aer. Producții de oxidare sunt uzual incluși în structura stratului, în general fiind mai dure decât materialul original. Straturile cu conținut ridicat în oxizi sunt în multe cazuri dure și posedă o bună rezistență la uzură, dar oxizii pot avea un efect negativ în ceea ce privește cerințele de rezistență la coroziune, prelucrabilitate, etc..

Tensiunile interne

Una dintre problemele majore ce intervin adesea în procesele de pulverizare termică este prezența tensiunilor interne în straturile rezultate, în special în cazul straturilor de grosimi mari.

Apariția tensiunilor interne are la bază două efecte

- efectul bimetalic ce descrie dilatarea termică neuniformă la încheierea procesului de depunere, resimțită atât de strat cât și de substrat (tensiuni interne de întindere și compresiune).
- efectul jetului de pulbere ce apare adesea în cazul pulberilor cu duritate ridicată: materialul pentru strat (particulele de metal topit) cu o duritate ridicată este proiectat pe substrat ce posedă o duritate mai redusă, producându-se o densificare la suprafața de contact și având ca rezultat apariția tensiunilor interne de compresiune.

4. Particularitățile procesului de reconditionare prin încărcarea prin sudare

R. Procedeele de încărcare a pieselor prin sudare se folosesc în scopul depunerii de material pentru funcționalizarea suplimentară a unor materiale, pentru compensarea uzărilor, a recuperării pieselor cu fisuri, crăpături sau spărturi, pentru îmbinarea unor piese rupte sau a elementelor componente ale unor dispozitive sau construcții sudate.

Aceste procedee au următoarele avantaje:

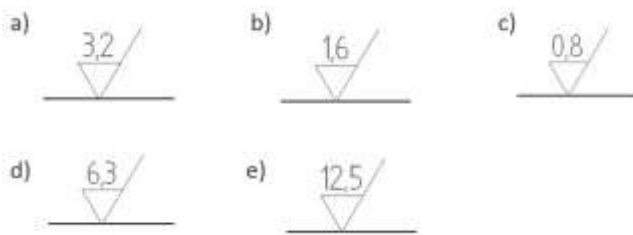
- nu necesită utilaje complexe, costisitoare, complicate;
- straturile depuse prin sudare pot avea grosimi variabile;
- operațiile pregătitoare ale suprafețelor nu sunt complicate, de cele mai multe ori, reducându-se la simple spălări și degresări
- sunt productive, eficiente și au un cost redus, putându-se mecaniza și automatiza;
- pot fi recondiționate piese care înglobează o mare valoare de manoperă și material.

În comparație cu alte procedee de acoperire, procedeele prin sudare prezintă următoarele dezavantaje:

- stratul depus este neuniform, cu denivelări crescând volumul prelucrărilor mecanice ulterioare;
- temperaturile ridicate realizate în timpul depunerii prin sudare modifică structura materialului de bază al piesei;
- obținerea unui anumit grad de diluție cu efect nefavorabil asupra proprietăților de exploatare ale stratului depus.

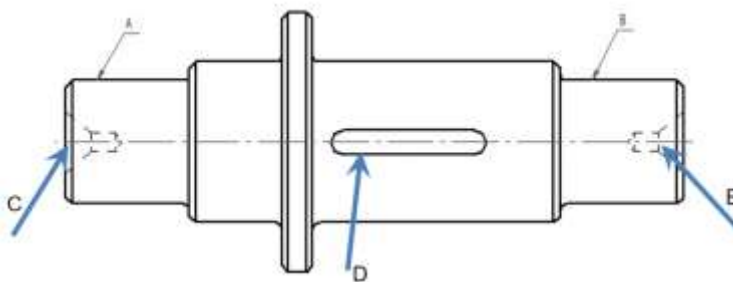
Proiectare asistată

1. Care dintre următoarele simboluri indică suprafața cu prelucrarea cea mai fină?



R: c)

2. Pe arborele din figura alăturată se fixează o roată dințată, cu ajutorul unei pene. Unde este introdusă pana?



R: D

3. Denumiți sau explicați semnificația următoarelor simboluri de toleranțe:

	Symbols
A	—
B	▭
C	○
D	⊘
E	⌒
F	⌒
G	∥
H	⊥
I	∕
J	⊕
K	⊗
L	⊖
M	⌢

R: A toleranta la rectalinitate

B toleranta la planeitate

C toleranta la circularitate

D toleranta la cilindricitate

E toleranta la forma data a profilului

F toleranta la forma data a suprafetei

G toleranta la parallelism

H toleranta la perpendicularitate

I toleranta la inclinare

J toleranta la pozitia nominala

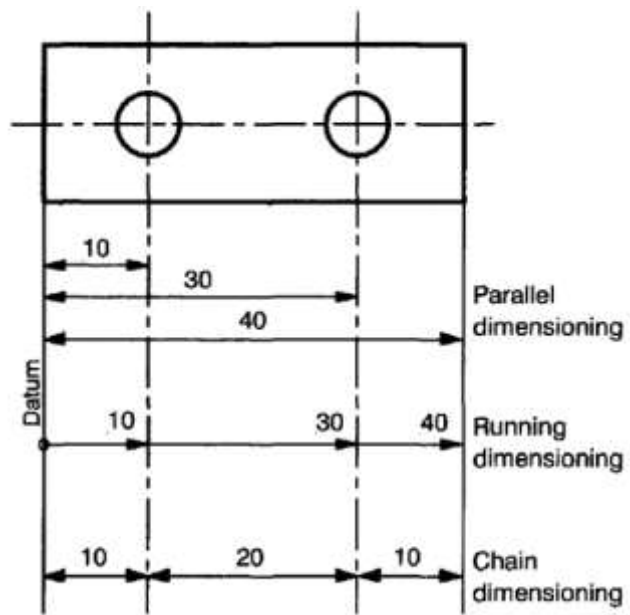
K toleranta la coaxialitate si concentricitate

L toleranta la simetrie

M toleranta a bataii radiale si a bataii frontale

4. În ce mod de cotare obțineți o piesă cu precizie mai mare, dar preț mai ridicat?

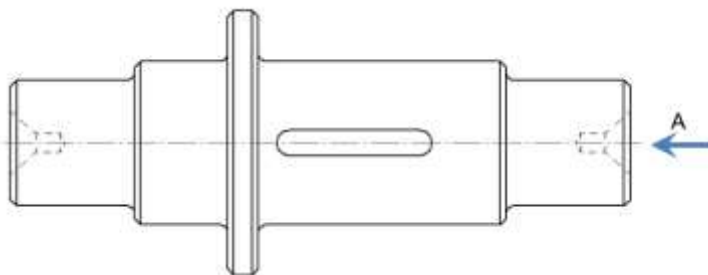
- a) cote înlănțuite (chain dimensioning);
- b) cote paralele (parallel dimensioning);
- c) nu contează modul de cotare;



R: a)

5. În ce parte a vederii principale, din figura alăturată, se plasează vederea din punctul A?

- a) dreapta;
- b) stânga;
- c) deasupra;
- d) dedesubt;



R: b)