

## **1. DEFORMAREA PLASTICA**

1. Clasificați modelele utilizate în analiza cu element finit (FEA), din punctul de vedere al numărului de dimensiuni al modelului geometric.

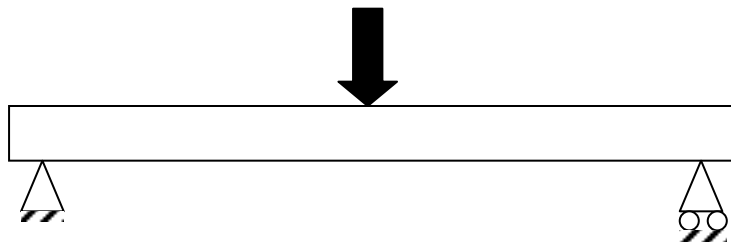
**Răspuns:**

- ❖ Simulări plane
  - stări plane de tensiuni
  - stări plane de deformății
  - modelul axisimetric
- ❖ Simulări tridimensionale (3D)
  - simulări cu grinzi (zăbrele)
  - simulări cu condiții de simetrie sau antisimetrie
  - modele superficiale (plate sau shell)
  - modele de volum

2. Comentați modelul stării plane de tensiuni

**Răspuns:**

Modelarea stării plane de tensiuni este modelarea cea mai comună și des utilizată. Problema tipică a rezistenței materialelor, o grindă simplu sprijinită este un exemplu tipic al utilizării acestei simplificări (figura 1.1).



**Figura 1.** Modelul stării plane de tensiuni

O metodă recomandabilă pentru a găsi cazurile în care se poate aplica modelarea stării plane de tensiuni este identificarea obiectelor 3D care sunt obținute prin extrudarea unor schițe plane. Sarcinile și constrângerile trebuie definite astfel încât acestea să rămână în planul inițial. Deformațiile după direcția perpendiculară pe planul inițial considerat se calculează cu ajutorul numărului lui Poisson. Una dintre condițiile care trebuie verificate la aplicarea stării plane de deformări este ca extrudarea să nu fie constrânsă (mai exact, corpul trebuie să se poată dilata sau contracta liber pe direcția perpendiculară pe plan). În caz contrar, starea de tensiuni nu va fi una plană, iar modelul nu este corespunzător realității.

Utilizarea modelului stării plane de tensiuni implică și următoarele presupuneri:

- 1) comportamentul piesei în studiu rămâne planar;
- 2) efectele asupra stării de tensiune a eventualelor abateri geometrice ale piesei de la modelul planar sunt neglijabile.

De obicei, adâncimea extrudării este mică în comparație cu cel puțin una din dimensiunile secțiunii considerate, dar aceasta nu este o condiție necesară utilizării modelului stării plane de tensiuni. Principalul avantaj al modelării 2D este viteza de calcul, rezultatele obținându-se în timpi de ordinul zecimilor de secundă. Astfel sunt foarte ușor de verificat diverse geometrii candidate la forma finală a piesei, diverse materiale sau efectele abaterilor constructive asupra performanțelor piesei. La modelarea prin simplificarea la starea plană de tensiuni, se introduc pentru fiecare suprafață grosimile de material, iar sarcina totală se aplică ca și cum s-ar lua în considerare modelul 3D. Precauții trebuie luate la definirea corectă a constrângerilor, fiind absolut necesară selectarea muchiilor din planul secțiunii considerate (planul în care se face discretizarea). În cazul în care se selectează o muchie paralelă cu planul respectiv, constrângerea sau sarcina respectivă nu va fi transmisă modelului. De asemenea, trebuie avut în vedere că unele softuri nu permit decât utilizarea planului XoY pentru modelări 2D. Unele softuri permit construcția de contururi geometrice în interiorul solverului, altele preiau numai prin selectare forma și dimensiunile suprafeței obiectului 3D. Dacă este posibilă construcția de contururi geometrice în interiorul solverului este recomandat să refaceți aceste contururi, sarcină facilă, mai ales că de cele mai multe ori e suficient să folosiți metoda „copy & paste”. Refacerea conturilor va pune mai puține probleme decât importarea conturilor unui obiect 3D. Un alt aspect care trebuie avut în vedere este că tranzițiile de la o grosime la alta se fac brusc (colțuri drepte). De asemenea, trebuie avut în vedere că marea majoritate a solverelor vor considera modelul extrudat simetric față de planul considerat al simplificării la starea plană de tensiuni.

### 3. Comentați modelul stării plane de deformații

#### **Răspuns:**

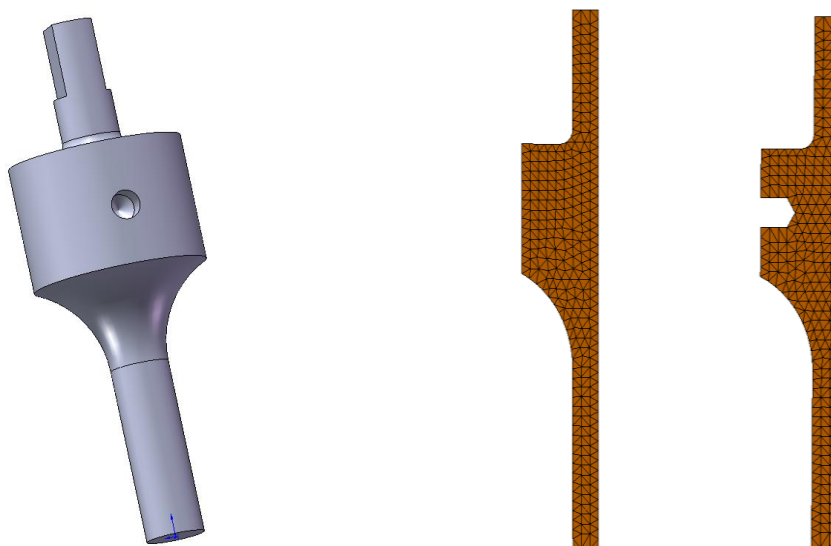
Modelarea stării plane de deformații este similară celei anterioare, marea majoritate a observațiilor fiind valabile și pentru acest model. Totuși, există și diferențe. Acestea sunt: (a) adâncimea extrudării este mare în comparație cu oricare dintre dimensiunile secțiunii considerate și (b) constrângerile și sarcinile în direcția perpendiculară pe planul ales sunt neglijabile. Mai mult decât atât, datorită adâncimii mari a extrudării se consideră că sarcinile normale la suprafața considerată în model sunt nule. Pornind de la această presupunere, putem considera că adâncimea extrudării nu are semnificație și, de obicei, este egală cu unitatea. Un exemplu clasic pentru acest tip de simplificare a modelului este problema unei țevi supusă la o presiune statică. Modelarea cu stări plane de tensiune este utilizată cel mai frecvent de către inginerii structuriști la calculul structurilor de tipul barajelor sau digurilor.

### 4. Comentați modelul axisimetric

#### **Răspuns:**

Modelul axisimetric presupune că atât conturul geometric cât și condițiile la limită se rotesc în jurul unei axe cu  $360^\circ$ . Cel mai adesea modelul axisimetric se utilizează la calculul vaselor sub presiune și al rezervoarelor. Piese candidate la utilizarea modelului axisimetric sunt piesele obținute prin operații de tip revolve, deci piese cu simetrie axială. Exemple de piese candidate la utilizarea modelului axisimetric sunt: supapele motoarelor termice, cilindrii pneumatici și hidraulici, pistoanele motoarelor termice, flanșe, capace, etc. Ca și în cazurile modelelor simplificatoare prezentate anterior este de preferat, dacă softul utilizat vă permite, să reconstruiți geometria plană ce va sta la baza modelului axisimetric. În cazul în care o piesă de revoluție are protuberanțe sau orificii de dimensiuni mici raportate la dimensiunile generale ale

piesei, atunci piesa rămâne un candidat la modelul axisimetric, problema fiind rezolvată în ambele cazuri, cu și fără detaliile respective. Viteza de calcul este și în acest caz foarte mare, mai ales în cazul pieselor supuse la deformări plastice, neliniare. În cazul în care se utilizează un model 3D, în funcție de complexitatea problemei, timpul de calcul, chiar utilizând operații de simetrie, poate fi de ordinul zilelor. În cazul utilizării modelului plan axisimetric timpul necesar rezolvării problemei poate fi de ordinul secundelor sau minutelor. Unele softuri necesită specificarea axei de simetrie a modelului, altele impun ca aceasta să fie axa Oz sau Oy. În ceea ce privește sarcina aplicată, unele softuri calculează rezultatele pe baza sarcinii totale aplicate, altele necesită ca sarcina să fie împărțită la factorul  $2\cdot\pi$ . Modelele axisimetrice necesită constrângeri paralele cu axa de simetrie. Modelul axisimetric fiind un model planar nu sunt permise mișcări de rotație sau translație în afara planului considerat. O constrângere suplimentară este dată chiar de axa de simetrie a modelului. Modul de constrângere al modelului, așa cum este de așteptat, influențează rezultatele simulărilor, inginerul proiectant având responsabilitatea alegerii corecte.

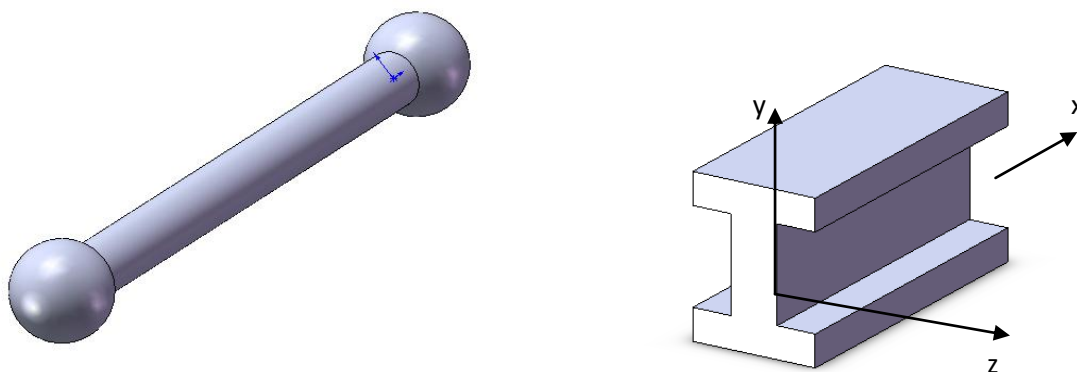


**Figura 4.** Piesa 3D și modelele axisimetrice corespunzătoare

#### 5. Comentați modelul simulărilor cu grinzi

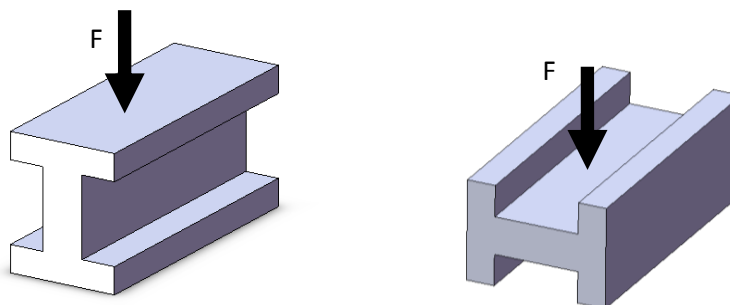
##### **Răspuns:**

În general, elementele de tip grindă se împart în două categorii: elemente care pot transmite momente și elemente care nu pot transmite momente. Unele softuri fac diferența între aceste două tipuri de grinzi, altele nu. Pentru softurile care fac diferența între cele două tipuri de grinzi, există nume separate pentru cele două: beam (cele care transmit momentele) și rod (cele care nu transmit momentele). Grinzile care nu transmit momentele pot fi privite ca niște bare lungi fixate la capete în lagăre sferice. Cum aceste tipuri de elemente transmit numai forțele axiale și nu transmit momente ele nu se pot îndoi (pentru a îndoi o bară avem nevoie de moment!), ci doar comprima sau alungi, asemeni unui resort. De altfel, uneori se folosesc acest tip de elemente pentru a modela resorturile, mai ales dacă acestea au un comportament neliniar sau dependent de temperatură.

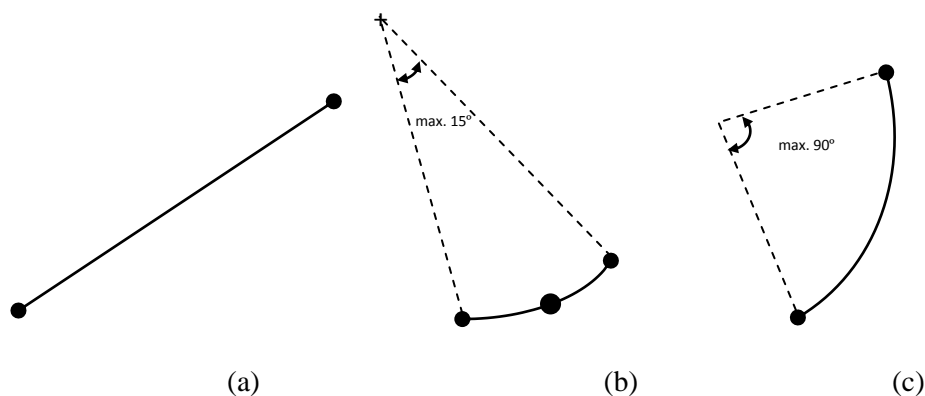


**Figura 5.1.** Modele 3D al unor grinzi care nu pot transmite și, respectiv, care pot transmite momente

Elementele de tip grindă sunt caracterizate din punct de vedere geometric de cele două puncte care definesc capetele grinzii, de forma secțiunii (sunt foarte importante aria și momentul de inerție), precum și de momentul de torsiune (rigiditatea la torsiune). Una dintre ipotezele modelării cu grinzi este faptul că secțiunea grinzii rămâne planară și perpendiculară pe axa grinzii. Cele mai multe solve acceptă pentru elementele de tip beam secțiuni conice sau se poate specifica poziția fibrei neutre în cazul în care aceasta este diferită de axa grinzii. De obicei, solvele au o bibliotecă de secțiuni ce pot fi utilizate sau chiar permit desenarea secțiunii grinzii în cazul în care aceasta lipsește din bibliotecă. Solverul calculează apoi automat momentele de inerție și aria secțiunii. Poziția fibrei neutre este, dacă nu se specifică altfel centrul de coordonate al planului secțiunii. Trebuie remarcat că în majoritatea covârșitoare a cazurilor solvele folosesc un sistem de coordonate orientat identic celui din figura 5.1, astfel că fiecare grindă va avea propriul sistem de coordonate. Din acest motiv este foarte importantă ainierea corectă a elementelor de tip grindă, cea mai uzuală eroare fiind rotirea grinzii cu  $\pm 90^\circ$  față de poziția corectă (figura 5.2). Pentru cazuri mai complexe se pot folosi elemente neliniare care vor asigura o mai bună discretizare în cazul în care grinzile au axă neliniară. Elementele neliniare pot fi cuadratice și de tip p (figura 5.3).



**Figura 5.2.** Modul de orientare al grinzilor afectează capacitatea portantă a acestora



**Figura 5.3.** Elemente tip grinzi (a) liniare, (b) cuadratice, (c) tip p.

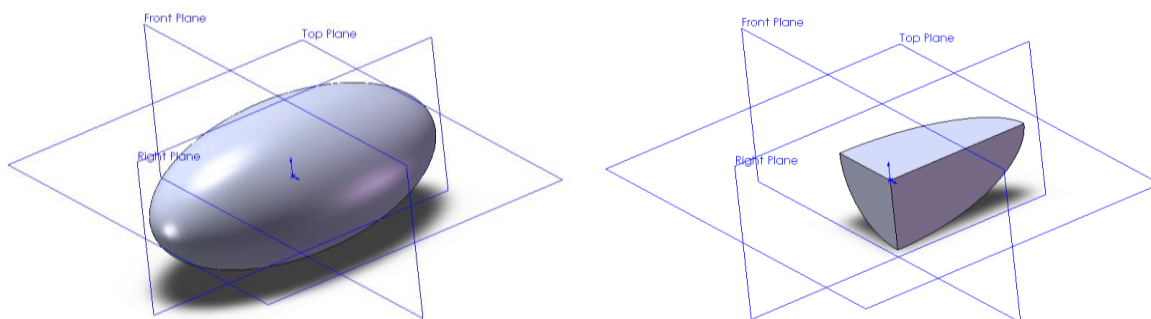
Elementele cuadratice sunt approximate printr-o funcție de gradul 2 ce trece prin cele două puncte ce formează limita elementului și are vârful în punctul din mijloc. Elementele de tip p sunt polinoame de grad p, ce trec prin cele două capete ale elementului, nu au nici un punct de inflexiune între cele două puncte, iar orientarea este stabilită din condiții de tangență. Elementele de tip grinzi sunt utilizate cel mai adesea de inginerii constructori (structuriști) pentru determinarea frecvențelor proprii de vibrație a structurilor (clădiri, poduri), pentru determinarea răspunsului în frecvență a structurilor (răspunsul la seisme) sau pentru determinarea stării de tensiuni a grinzilor ce formează structura.

## 6. Comentarii asupra aplicării condițiilor de simetrie sau antisimetrie în modelarea FEA

### Răspuns:

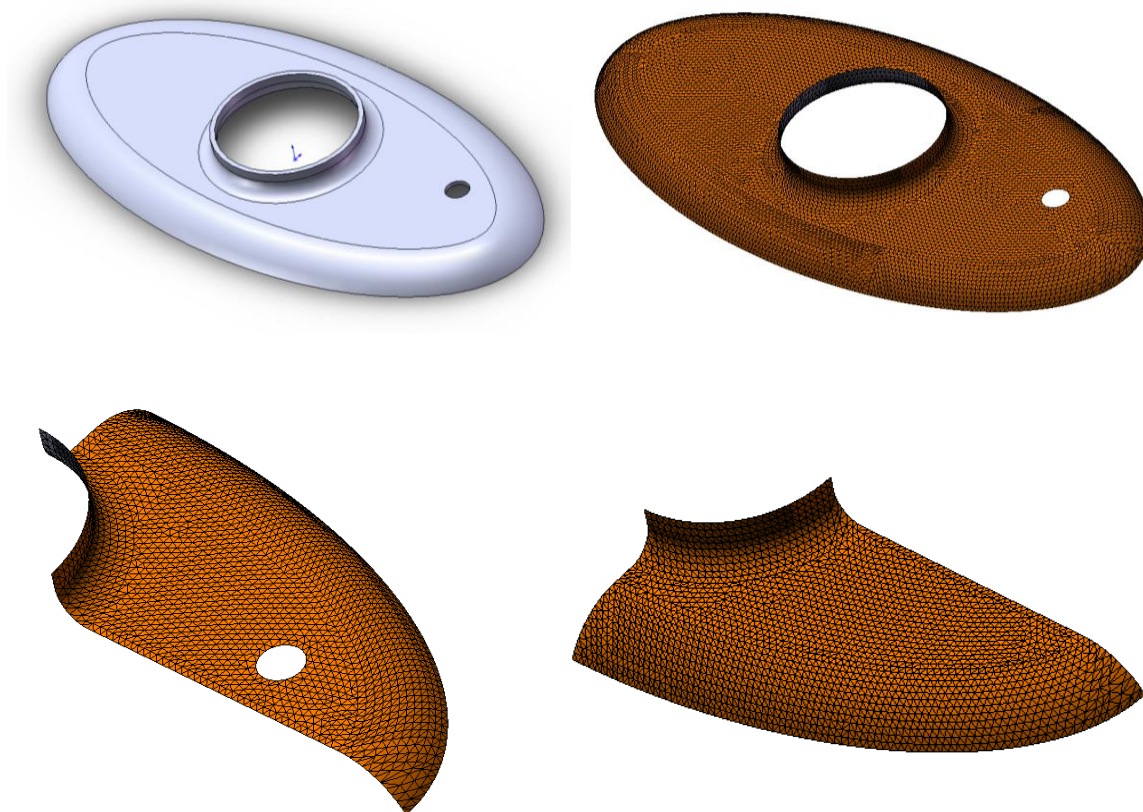
Simularea cu condiții de simetrie se poate aplica în esență oricărui model, fie el planar sau 3D, dar se aplică, de obicei, modelelor 3D, întrucât acest tip de modele necesită o putere de calcul mai mare. În cazul în care la o problemă statică puteți utiliza simetria nu ezitați să o faceți. Nu este recomandată utilizarea simetriei în cazul calculării frecvențelor proprii de vibrație (veți pierde modurile de vibrație asimetrice) și în cazul în care la un model planar, timpul în care impuneți condițiile de simetrie poate depăși timpul în care se efectuează calculele. Simetria presupune utilizarea a două tipuri de condiții de simetrie: simetrie planară și simetrie ciclică.

Simetria plană mai este numită de către unele solve și simetrie reflexivă, întrucât piesa analizată se va reflecta în ea însăși în planul de simetrie ales. Orice model 3D poate avea cel mult 3 plane ortogonale de simetrie, în care sarcinile, geometria, proprietățile de material, constrângerile sunt echivalente. Prin utilizarea condițiilor de simetrie, numărul punctelor se înjumătățește cu fiecare plan de simetrie utilizat (în condițiile a 3 plane de simetrie de 8 ori mai puține, figura 6.1). Este evident că un număr de 8 ori mai mic de puncte va însemna utilizare unor timpi de procesare de aproape 8 ori mai mici.



**Figura 6.1.** Model 3D cu 3 plane de simetrie, volumul piesei reduse este de  $2^3$  ori mai mic.

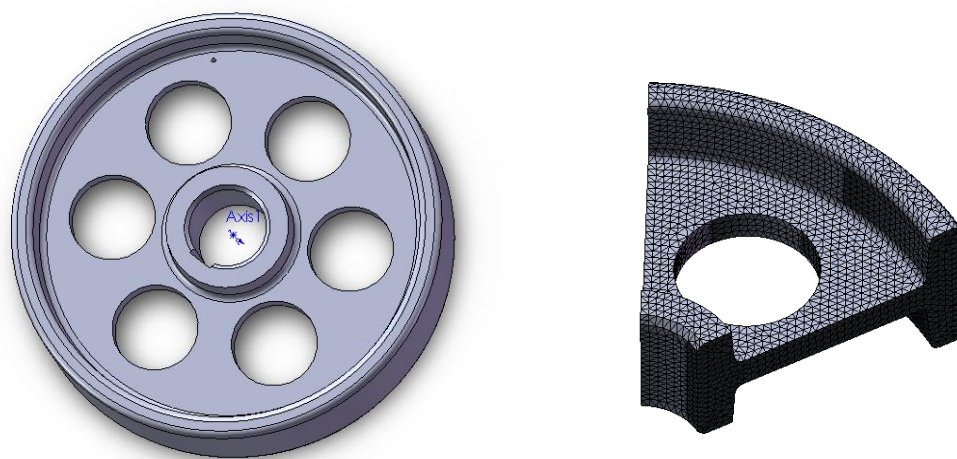
Simulările cu condiții de simetrie pot fi aplicate și în cazurile în care apar abateri de la simetria piesei (așa numita quasi-simetrie), dar aceste abateri (protuberanțe sau găuri) au un volum mic prin comparație cu volumul piesei. Simularea se va efectua în ambele cazuri: atât cu abaterea de la simetrie cât și fără abaterea de la simetrie (figura 6.2).



**Figura 6.2.** Model 3D cu 1 plane de simetrie și un plan cuasi-simetric, rezultă două modele pentru FEA

În cazul în care se folosesc condiții de simetrie, sarcinile vor fi micșorate corespunzător. Astfel, dacă se utilizează un plan de simetrie sarcina se va înjumătăți, pentru două plane de simetrie sarcina se va micșora de 4 ori, pentru 3 plane de simetrie sarcina se va micșora de 8 ori. Observația precedentă nu este valabilă în cazul în care se utilizează sarcini de tip presiune sau sarcini a căror mărime este dependentă de aria suprafeței.

Condițiile de simetrie ciclică se aplică de obicei corpurilor de rotație care au fost create cu comenzi de tipul „circular patern”. Cazurile tipice de aplicare a condițiilor de simetrie ciclică sunt roțile pentru curele, turbine, ventilatoare, rotoare de motoare electrice, etc (figura 6.3).



**Figura 6.3.** Modelul 3D al unei roți de curea lată cu simetrie ciclică

Condițiile la limită impuse modelelor cu simetrie ciclică trebuie să aibă și ele simetrie. Abaterea de la această regulă va invalida modelul. Spre exemplificare, jențile automobilelor sau motocicletelor vor avea o componentă verticală permanentă care va invalida modelul ciclic. Sarcinile centrifugale și prin extensie orice sarcină cu direcție radială sau sarcinile orientate de-a lungul axei de simetrie a piesei sunt conforme cu conceptul de simetrie ciclică. O turbină care este solicitată centrifugal și care trebuie să facă față și solicitărilor produse de forța de rezistență a apei constituie un candidat corect la modelul simplificat al simetriei ciclice. În cazul în care softul utilizat nu beneficiază de opțiunea de simetrie ciclică o abordare pragmatică o constituie modificarea densității de discretizare. Astfel se vor folosi elemente de discretizare de dimensiuni mici în zona care formează modelul de ciclicitate și elemente de discretizare de dimensiuni mari în restul modelului 3D.

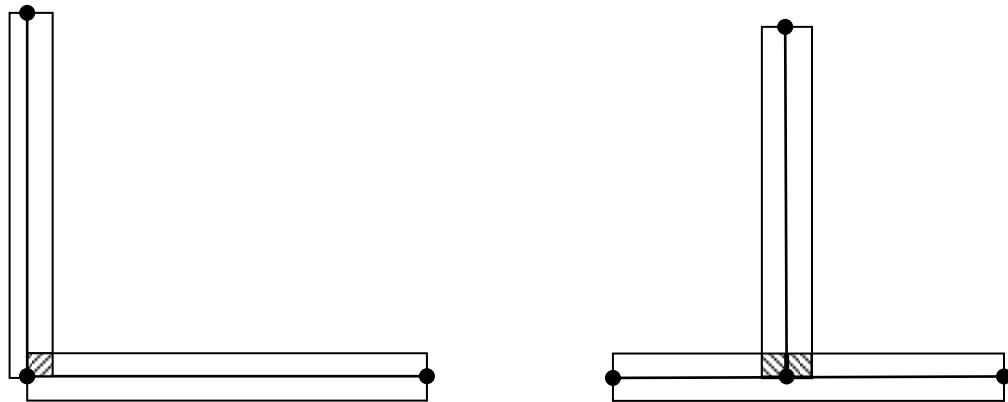
O modalitate de verificare a corectitudinii modelării unei probleme este o aplicație indirectă a simetriei: pentru corpurile simetrice la care nu s-au utilizat constrângerile specifice simetriei, dacă valorile obținute

pentru tensiuni sau deformații nu sunt identic simetrice, atunci există un indiciu clar că problema respectivă nu este corect simulată.

7. Comentați modelarea cu elemente de tip shell sau plate.

**Răspuns:**

Modelarea cu elemente superficiale a corpurilor 3D este utilizată pentru reprezentarea pieselor cu pereți subțiri. Elementele utilizate se numesc plate sau shell, dar nu există nici o diferență între acestea, ambele cuvinte reprezentând aceeași noțiune a reprezentării suprafețelor complicate, cu geometri tridimensională. Piese candidate la modelarea 3D cu elemente superficiale sunt piesele cu pereți subțiri. Pentru a defini noțiunea de perete subțire trebuie utilizată următoarea relație: dacă grosimea peretului este mai mică de aproximativ 10 ori decât cea mai mică dimensiune a suprafeței respective atunci se poate aplica modelarea cu elemente superficiale. În multe cazuri este dificil de apreciat care dimensiune trebuie luată în considerare pentru verificarea raportului de 1/10, de aceea e bine să se utilizeze și următorul test: dacă în urma modelării cu elemente superficiale „esența” piesei rămâne vizibilă înseamnă că modelarea cu elemente superficiale este corectă. Dacă există variații de grosime sau poziția suprafeței rezultate prin utilizarea simplificării cu elemente superficiale nu este cea corectă atunci piesa respectivă nu este un candidat pentru simularea cu elemente superficiale. Exemplele tipice pentru simularea cu elemente superficiale sunt: piesele din tablă (flanșe, table îndoite), piesele injectate cu pereți subțiri (recipienți, cutii) Trebuie avut în vedere la modelarea cu elemente superficiale că la discretizarea colțurilor solverul va suprapune material, astfel încât rigiditatea locală simulată va fi mai mare decât cea reală (figura 7.1). Pentru evitarea acestor probleme uneori este utilă folosirea comezii de racordare, „filet”. La modele neliniare cu deformații mari, cum este cazul simulărilor pieselor din materiale plastice sau cauciuc, efectul suprapunerii virtuale de material este neglijabil.

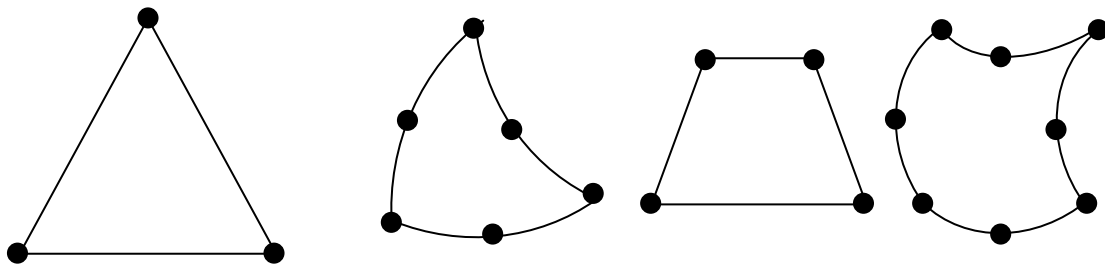


**Figura 7.1.** Suprapunerea virtuală de material la simularea colțurilor cu elemente superficiale.

Elementele superficiale pot fi triunghiulare sau patrulatere. În general, o discretizare cu elemente superficiale triunghiulare duce la rezultate mai puțin exacte decât una care folosește patrulatere de aceeași



dimensiune. Marea majoritate a solverelor utilizează patrulaterare sau încearcă să folosească o discretizare cu un număr maxim de patrulaterare și vor folosi triunghiuri numai în zonele în care nu se reușește discretizarea cu patrulaterare la dimensiunea dată. Elementele superficiale liniare își pierd acuratețea în cazul în care datorită sarcinilor aplicate își pierd planeitatea (observație valabilă doar în cazul patrulaterelor, triunghiurile vor rămâne planare indiferent de situație). Din acest motiv este recomandabil să se utilizeze elemente superficiale neliniare. Elementele superficiale neliniare vor fi modelate cu un număr mai mare de puncte (câte un punct suplimentar pe mijlocul fiecărei laturi a elementului superficial, figura 7.2). În cazul modelelor cu suprafețe complicate este o condiție aproape obligatorie utilizarea elementelor de ordin superior (neliniare).



**Figura 1.17.** Elemente superficiale liniare și de ordin superior (neliniare).

Acuratețea modelelor superficiale poate fi mai bună decât cea a modelelor tridimensionale volumice în cazurile în care, datorită resurselor limitate (fixe) de memorie, numărul de elemente maxim utilizabil într-o simulare este și el limitat superior (cu sistemul de operare windows XP, spre exemplu, memoria maximă utilizabilă este 2GB). Astfel, dimensiunile elementelor vor deveni destul de mari în comparație cu modelul 3D și nu vor avea aceeași acuratețe ca elementele superficiale de ordin superior, care vor fi mult mai fine. De asemenea, rezolvarea problemei se va face într-un timp mult mai scurt, permițând inginerului proiectant să introducă modificări de design foarte rapid. Evident că viteza de procesare va crește și mai mult atunci când se utilizează proprietățile de simetrie ale modelelor. Una dintre caracteristicile care este de cele mai multe ori ignorată este utilizarea în cadrul aceleiași simulări de elemente de tipuri diferite (combined). Astfel pentru un singur model se pot utiliza simultan elemente 3D de volum și elemente 3D superficiale. Beneficiile unei astfel de abordări sunt evidente: viteza de calcul mărită în condițiile unei acurateți mărite prin posibilitatea micșorării dimensiunii elementelor.

## 8. Comentați modelarea comportamentului vâscoplastic.

### Răspuns:

Modelul vâscoplastic este un model neliniar care poate fi utilizat pentru studierea cu ajutorul analizei cu element finit a următoarelor fenomene:

- Deformarea polimerilor

- Deformarea lemnului
- Deformarea metalelor aflate la temperaturi ultraînalte

Pentru studierea comportamentului vâscoplastic pot fi utilizate atât legea Norton-Hoff cât și legea Hansel-Spittel. Ambele legi sunt formulări echivalente ale răspunsului materialului la viteza de deformare.

Conform legii Norton-Hoff legătura dintre deformare ( $\varepsilon$ ), viteza de deformare ( $\dot{\varepsilon}$ ), temperatură, proprietățile de material și starea de tensiuni ( $\sigma$ ) este exprimată prin relația:

$$\sigma = 2 \cdot K(T, \bar{\varepsilon}, \dots) \cdot (\sqrt{3} \cdot \dot{\varepsilon})^{m-1} \cdot \dot{\varepsilon}$$

unde:  $K$  este consistența materialului,  
 $m$  este sensibilitatea materialului la viteza de deformare.

În cazul particular în care  $m$  este egal cu 1, avem de a face cu medii newtoniene în care sunt valabile legile hidrodinamicii.

Există două relații care descriu consistența materialului:

$$K(T, \bar{\varepsilon}) = K_0 \cdot (\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n \cdot e^{\frac{\beta}{T}}$$

$$K(T, \bar{\varepsilon}) = K_0 \cdot (\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n \cdot e^{-\beta \cdot T}$$

unde componenta  $(\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n$  reprezintă durificarea materialului prin deformațiile plastice. Trebuie menționat că în realitate  $n$  este o funcție de temperatură:  $n = n_0 + n_1 \cdot T$ .

Legea Hansel-Spittel se exprimă analitic prin relația:

$$\sigma_f = A \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot T^{m_9} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} \cdot (1 + \varepsilon)^{m_5 \cdot T} \cdot e^{m_7 \cdot \varepsilon} \cdot \dot{\varepsilon}^{m_3} \cdot \dot{\varepsilon}^{m_8 \cdot T}$$

unde:  $A, m_1, m_2, \dots, m_9$  coeficienți de material  
 $\varepsilon_{ss}$  valoarea maximă a deformației la care mai are loc durificarea materialului

9. Comentați modelarea frecării la interfața corp-matriță.

### Răspuns:

Pentru modelarea frecării la interfața corp-matriță se poate utiliza unul din cele 5 modele:

- modelul frecării ‘fără contact’ (neglijabilă)
- modelul frecării vâscoplastice
- modelul frecării Coulomb
- modelul frecării Tresca
- modelul frecării Neumaier

Modelele sunt valabile în următoarele cazuri:

- modelul fără contact, la calcule preliminare, când geometria nu este încă finalizată (în realitate, niciodată)
- modelul vâscoplastic, la corpuri cu comportament vâscoplastic, cu  $m$  și  $p$  mari (supraunitare) și la frecarea cu lubrifianț
- modelul Tresca, la corpuri cu comportament vâscoplastic, cu  $m$  și  $p$  mici (subunitare)
- modelul Coulomb, la corpuri cu comportament vâscoplastic, elasto-vâscoplastic, elastoplastic
- modelul Neumaier, la corpuri cu comportament elastoplastic

Modelarea vâscoplastică a frecării la interfața corp-matriță, în cazul în care este prezent un lichid lubrifiant se exprimă prin următoarea relație analitică:

$$\tau = -\alpha \cdot K(T, \bar{\varepsilon}) \cdot \Delta v^{p-1} \cdot \Delta v$$

unde:  $\alpha$  este coeficientul de frecare corp-matriță

$\Delta v$  viteza dintre corp și matriță

$K$  este consistența materialului, exprimată analitic prin una din cele două relații de mai jos:

$$K(T, \bar{\varepsilon}) = K_0 \cdot (\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n \cdot e^{\frac{\beta}{T}}$$

$$K(T, \bar{\varepsilon}) = K_0 \cdot (\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n \cdot e^{-\beta \cdot T}$$

unde componenta  $(\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n$  reprezintă durificarea materialului prin deformările plastice. Trebuie menționat că în realitate și  $n$  este o funcție de temperatură:  $n = n_0 + n_1 \cdot T$ .

Modelarea Tresca a frecării la interfața corp-matriță, în cazul în care este prezent un lichid lubrifiant se exprimă prin următoarea relație analitică:

$$\tau = -\bar{m} \cdot K(T, \bar{\varepsilon}) \cdot \frac{\Delta v}{\Delta v}$$

Modelarea Tresca a frecării la interfața corp-matriță, în cazul în care nu este prezent un lichid lubrifiant se exprimă prin următoarea relație analitică:

$$\tau = -\bar{m} \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta v}$$

unde  $\sigma_0$  se calculează cu ajutorul relației:

$$\sigma_0 = \sqrt{3} \cdot K(T, \bar{\varepsilon}, \dots) \cdot (\sqrt{3} \cdot \dot{\varepsilon})^{m-1} \cdot \dot{\varepsilon}$$

10. Comentăți ruperea materialului în cazul modelului Cockfort & Latham.

### Răspuns:

Conform Cockfort & Latham ruperea are loc când lucrul mecanic efectuat de tensiunea principală maximă atinge o valoare critică:

$$\int_0^{\varepsilon_{eq,f}} \sigma_1 \cdot d\varepsilon_{eq} = C \text{ [MPa]}$$

unde:

$$\varepsilon_{eq} = \int_0^t \dot{\varepsilon} \cdot dt$$

iar C este o constantă de material.

În varianta normalizată a criteriului Cockfort & Latham constanta C este normalizată prin împărțirea la valoarea limitei la curgere a materialului,  $\sigma_c$ .

$$\int_0^{\varepsilon_{eq,f}} \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \cdot d\varepsilon_{eq} = C$$

C devine o constantă adimensională de material.

## 2. MATERIALE COMPOZITE

1. Enumerați clasele principale de materiale compozite din punctul de vedere al *forme* și *distribuției* elementelor de armare:

Răspuns:

- a. Compozite tip sandwich (stratificate);
- b. Compozite armate cu particule (armare discontinuă);
- c. Compozite armate cu fibre lungi (armare continuă).

2. Să se explice pe scurt efectul de transfer de sarcină (*stress transfer*) la compozite

Răspuns:

Sarcinile mecanice aplicate din exterior matricei se transmite mai departe către ranforsant care care fiind mai rigid preia o mare parte din sarcină aplicată. Apare îndeosebi la fibrele lungi și presupune existența unei legături suficient de puternice fibră-matrice, fie a unei forțe de adeziune, fie existența unei interfețe dintr-o fază distinctă

3. Să se explice pe scurt efectul de fixare a dizlocațiilor (*dislocation pinning*) la compozite

Răspuns:

Apare la compozitele cu matrice metalică (MMC) atunci când deplasarea dizlocațiilor produse de deformația plastică în rețeaua cristalină a matricei metalice este împiedicată de prezența unor particule ceramice microscopice sau a unor nanoparticule. Dacă deplasarea dizlocațiilor este împiedicată, tensiunea mecanică necesară deformării este mai mare, astfel încât se produce creșterea proprietăților mecanice (limita de curgere, rezistența mecanică, modul de elasticitate).

4. Enumerați avantajele compozitelor cu matrice metalică față de cele polimerice.

Răspuns:

- a. Necesită doar armare unidirecțională;
- b. Sunt stabile la temperaturi înalte;

- c. Preiau și sarcini transversale pe direcția fibrelor;
- d. Sunt mai rezistente la coroziune;
- e. Se prelucerează cel mai asemănător materialelor clasice;
- f. Au bune proprietăți funcționale, precum conductivitatea termică și electrică.

5. Dați 3 exemple de materiale folosite pentru realizarea fibrelor anorganice.

Răspuns:

Carbon, sticlă, alumina, carbura de siliciu, bor, azbest, carbură de bor, cuarț etc.

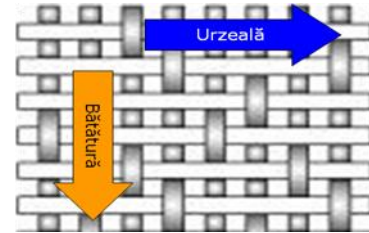
6. Cum se numește semifabricatul de fibre țesute din figura alăturată? Care sunt avantajele și dezavantajele utilizării sale?

Răspuns:

Tesătura de fibre este numită satin.

Avantaje: cele mai reduse curburi ale fibrelor, planeitatea cea mai bună, cea mai bună micromecanică

Dezavantaje: se destramă mai ușor, manevrare dificilă.



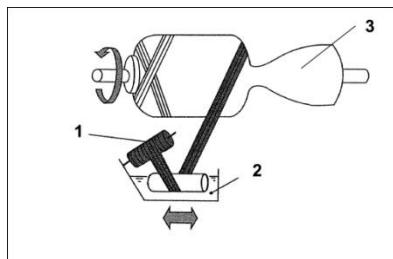
7. Care sunt principalele caracteristici ale fibrelor de carbon

Răspuns:

Proprietăți mecanice ridicate, densitate redusă, stabilitate fizico-chimică și termică, în absența oxigenului, coeficient de dilatare termică redus, conductivitate electrică, puternică anizotropie.

8. Analizați figura de mai jos:

- a) Cum se numește și la ce tip de compozite se aplică ?;
- b) Care este semnificația cifrelor?
- c) Care sunt principalele aplicații și avantajele aplicării ?
- d) Descrieți tehnologia;



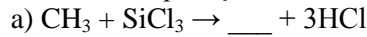
Răspuns:

- a) Procedul înfășurării filamentelor (filament winding) pentru compozite polimerice armate cu fibre lungi
- b) 1-fibre de sticlă sau kevlar, 2-rășină; 3 – mandrină demontabilă

c) Se aplică rezervoarelor de lichide sau gaze sub presiune, poziționarea tangențială a fibrelor favorizează preluarea de către ele a înaltei presiuni

d) mănunchiurile de fibre sunt desfășurate de pe bobine, imersate în rășină și înfășurate pe mandrină după traiectorii elicoidale, pe mai multe straturi.

9. Completați următoarea reacție:



b) Să se descrie procedeul realizat.

Răspuns:

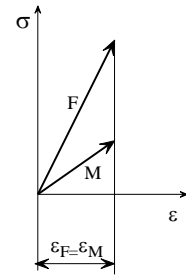
a) SiC

b) Reprezintă reacția folosită la producerea prin depunere chimică din stare de vapori (Chemical Vapor Deposition) a carburii de siliciu pe un fir subțire de wolfram pentru realizarea fibrelor din carbură de siliciu.

10. Să se explice semnificația diagramei tensiune - deformație din figura alăturată, indicele F referindu-se la materialul fibrei iar indicele M la cel al matricei

Răspuns:

Diagrama exemplifică comportamentul diferit al celor 2 materiale în ceea ce privește rigiditatea. Astfel cele 2 componente fiind în contact, fiind legate prin forțe puternice ce azeziune se deformează sub acțiunea unei forțe exterioare cu aceeași valoare  $\epsilon_F = \epsilon_M$ . Având în vedere diferența importantă de rigiditate, la aceeași deformație fibra va prelua o sarcină mult mai mare ( $\sigma_F \gg \sigma_M$ ), ceea ce va face ca fibra să fie principalul element portant al materialului compozit.



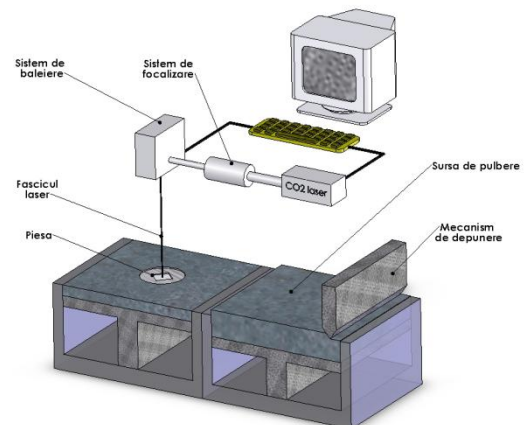
### 3. METALURGIA PULBERILOR

1. Analizați figura alăturată și răspundeți la următoarele întrebări:

a) Ce clasă de procedee tehnologice reprezintă (2 puncte)

b) Prezentați o clasificare a acestor procedee (3 puncte)

c) Descrieți pe scurt funcționarea (5 puncte)



Răspuns:

a) Schema prezentată reprezintă sinterizarea selectivă cu laser (Selective Laser Sintering – SLS) folosită pentru prototiparea rapidă (rapid prototyping) sau producerea rapidă a sculelor (rapid tooling) pe bază de pulberi metalice, ceramice sau compozite.

b) Sinterizarea selectivă cu laser poate fi directă, atunci când fasciculul laser de mare putere produce topirea parțială și sinterizarea pulberilor metalice folosite, sau indirectă când particulele sunt lipite prin intermediul unei anvelope polimerice care înconjoară fiecare particulă. Varianta indirectă este urmată de un tratament termic ardere a polimerului, sinterizare și infiltrare cu un aliaj metalic neferos.

c) Informațiile dimensionale despre piesă sunt conținute într-un fișier de tip CAD, iar computerul instalației comandă prin intermediul unui sistem de baleiere deplasarea unui fascicul laser focalizat pe suprafața unui pat de pulbere. Acolo unde fasciculul laser întâlnește patul de pulbere are loc încălzirea și unirea particulelor alăturate, pe o adâncime de câteva zecimi de milimetru. Fiecare trecere a fasciculului laser realizează o felie a piesei. Patul de pulbere este coborât cu grosimea feliei, iar un mecanism de depunere presară un strat nou de pulbere provenit de la sursa de pulbere. Urmează o nouă baleiere și se produce o nouă felie de piesă. Procesul se repetă până la realizarea pas cu pas a întregii piese.

2. Să de ordoneze în ordine succesivă logică fazele tehnologice de realizare a compactizării:

- a. Comprimarea elastică a materialului ecruisat;
- b. Deformare plastică omogenă;
- c. Rearanjarea particulelor;
- d. Deformare elastică și plastică localizată.

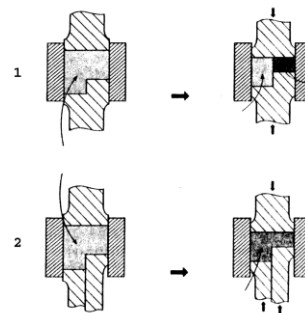
I. \_\_\_\_, II. \_\_\_\_, III. \_\_\_\_, IV. \_\_\_\_,

Răspuns:

I. c, II. d, III. b, IV. a,

3. Analizați semnificația figurii alăturate:

- a. Ce procedeu reprezintă? (3p)
- b. Ce reprezintă cifrele? (3p)
- c. Care dintre ele asigură o mai bună calitate și de ce? (2p)
- d. Care dintre ele este mai economică și de ce? (2p)



Răspuns:

- a. Compactizarea uniaxială cu dublă acțiune prin presare la rece.
- b. Varianta 1 reprezintă compactizarea cu poanson inferior în trepte. Varianta 2 reprezintă compactizarea cu poanson inferior inferior multiplu (sau cu mai multe poasoane inferioare)

c. Varianta 2 asigură o calitate mai bună a materialului deoarece pulberile sunt compactizate în aceeași măsură ( același grad de compactizare) densitatea aparentă a presatului fiind mult mai uniformă. Din acest motiv materialul sinterizat este mai omogen ca proprietăți, contracțiile sunt mai uniforme, iar precizia dimensională este mai bună.

4. Care sunt avantajele și dezavantajele formării prin injectare în matriță a pulberii metalice (Metal Injection Molding)?

Răspuns:

Avantaje

- Tehnologie este asemănătoare injectării maselor plastice;
- Posibilitatea realizării de piese complicate
- Posibilitatea producerii în serii mari în condiții de înaltă productivitate.

Dezavantaje

- Pieselor nu se produc direct în formă finală, consolidată fiind necesară sinterizarea;
- Contracțiile mari la sinterizare afectează precizia finală a piesei
- Costuri mari ale echipamentelor
- Nu se pot produce materiale care se sinterizează cu fază lichidă

5. Care sunt avantajele și dezavantajele aplicării metalurgiei pulberilor?

Răspuns:

Avantaje

- Coeficient ridicat de utilizare a materialului – eliminarea adaosurilor;
- Compoziții precise și reproductibile;
- Posibilitatea realizării pieselor la dimensiunile și forma geometrică finală;
- Productivitate ridicată;
- Posibilitatea producerii de materiale compozite;
- Posibilitatea realizării unor piese de formă complexă;
- Posibilitatea mecanizării, automatizării, robotizării.



Dezavantaje:

- Costul ridicat al pulberilor metalice;
- Scăderea proprietăților datorită prezenței porilor;
- Costuri ridicate legate de scule și utilaje;
- Nu se pot realiza piese de dimensiuni mari.

6. Descrieți succesiunea operațiilor producerea pieselor pe baza formării prin presarea izostatică la rece (CIP).

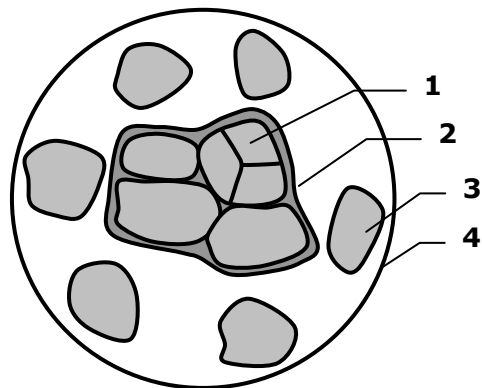
Răspuns :

- Fabricarea anvelopei polimerice;
- Umplerea cu pulbere, vibrare, degazare, sigilarea anvelopei polimerice;
- Imersarea în fluid și aplicarea presiunii izostatice;
- Tratament termic de ardere a anvelopei polimerice și sinterizare.

7. Să se specifice în figura alăturată elementele de terminologie specifice metalurgiei pulberilor.

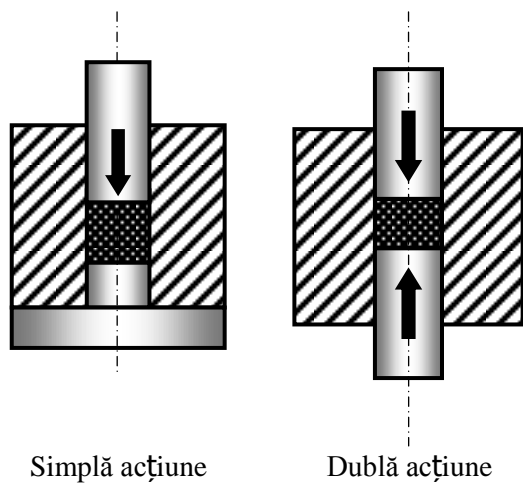
Răspuns:

- 1 – grăunte
- 2 – aglomerat (granulă)
- 3 – particulă
- 4 – pulbere



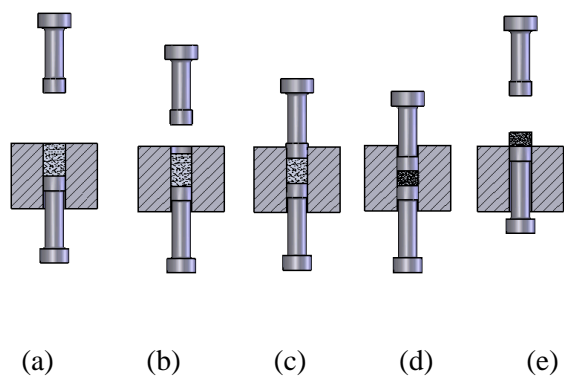
8. Să se reprezinte schematic compactizare uniaxială cu simplă acțiune și cea cu dublă acțiune. Care dintre ele este mai favorabilă din punctul de vedere al distribuției de presiune?

Răspuns:



Compactizarea cu dublă acțiune asigură o distribuție mai uniformă a presiunii rezultând un material cu proprietăți mai omogene

9. Să se enumere fazele operațiunii de compactizare prin presare uniaxială în matriță figurate în figura de mai jos:



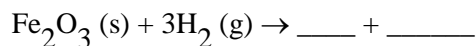
Răspuns:

a – umplere matriță

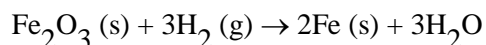
b- retragerea poansonului inferior și angajarea celui superior

- c – începutul presării,
- d – finalizarea presării
- e – extragerea presatului

10. Să de completeze reacția chimică de mai jos. Să se precizeze ce reprezintă.



Răspuns:



Reprezintă reacția de reducere a oxidului de fier în atmosferă de hidrogen pentru obținerea pulberii de fier prin metodă chimică cu reactant solid.

#### **4. PROPRIETATILE MATERIALELOR**

##### **1. Materiale functionale:**

Materiale care sunt sensibile la modificari ale mediului in care se afla (temperatura, presiune, camp electric sau magnetic, valoarea pH-ului etc) si care produc un raspuns dependent de caracteristicile acestui mediu.

##### **2. Reflexia totala interna si indicele de refractie:**

Reflexia totala interna este un fenomen optic care apare atunci cand o raza de lumina atinge suprafata de separatie a mediului din care provine la un unghi mai mare decat un unghi critic fata de normala la suprafata. Daca indicele de refractie de partea cealalta a suprafetei de separatie este mai mic, toata lumina este reflectata. Unghiul de incidenta peste care apare reflexia totala interna se numeste unghi critic.

##### **3. Supraconductibilitatea si teoria BCS:**

Supraconductibilitatea este un fenomen in care rezistivitatea electrica a unui material tinde la zero, daca temperatura sa este mai mica decat o anumita valoare specifica materialului, numita temperatura critica. Teoria BCS (Bardeen, Cooper, Schrieffer) se refera la formarea perechilor de electroni cu momente cinetice și momente magnetice de spin egale și de semn contrar, care se pot deplasa liber în material, fără să interacționeze cu rețeaua cristalină. La depasirea temperaturii critice, specifica materialului, aceste perechi se distrug.

##### **4. Fluaajul:**

Tendinta unui material de a se deforma permanent, in timp, sub actiunea unei tensiuni. Este influentata de proprietatile materialului, timpul si temperatura de expunere, respectiv de sarcina aplicata.

##### **5. Spectroscopia mecanica:**

Spectroscopia mecanica este o tehnica utilizata pentru caracterizarea materialelor, bazata pe analiza spectrelor de absortie a energiei mecanice in conditiile aplicarii periodice a unei solicitari mecanice externe.

**6. Magnetostrictiunea:**

Proprietatea materialelor feromagnetice prin care acestea isi modifica forma sau dimensiunile in procesul de magnetizare.

**7. Superelasticitatea (Pseudoelasticitatea):**

Defineste raspunsul elastic la aplicarea si inlaturarea unei tensiuni, ca urmare a transformarii martensitice in anumite aliaje cu memorie a formei. Se caracterizeaza prin faptul ca in domeniul platoului superelastice asociaza variatii mari ale deformatiei la variatii mici ale tensiunii.

**8. Efectul de memorie a formei:**

Capacitatea unui material de a isi recupera forma avuta inaintea unei deformari plastice, prin incalzirea peste o temperatura caracteristica.

**9. Conductibilitatea termica:**

Proprietatea unui material de a transporta energie termica in conditiile existentei unui gradient termic

**10. Factori de dependenti de material, care influenteaza prelucrabilitatea prin aschiere:**

Materialul de prelucrat (compozitie chimica, starea sau tratamentul termic, structura, proprietati) si Materialul sculei (compozitie chimica, starea sau tratamentul termic, structura, proprietati)

**5. SUDAREA METALELOR SI PROCEDEE CONEXE (SIM) :**

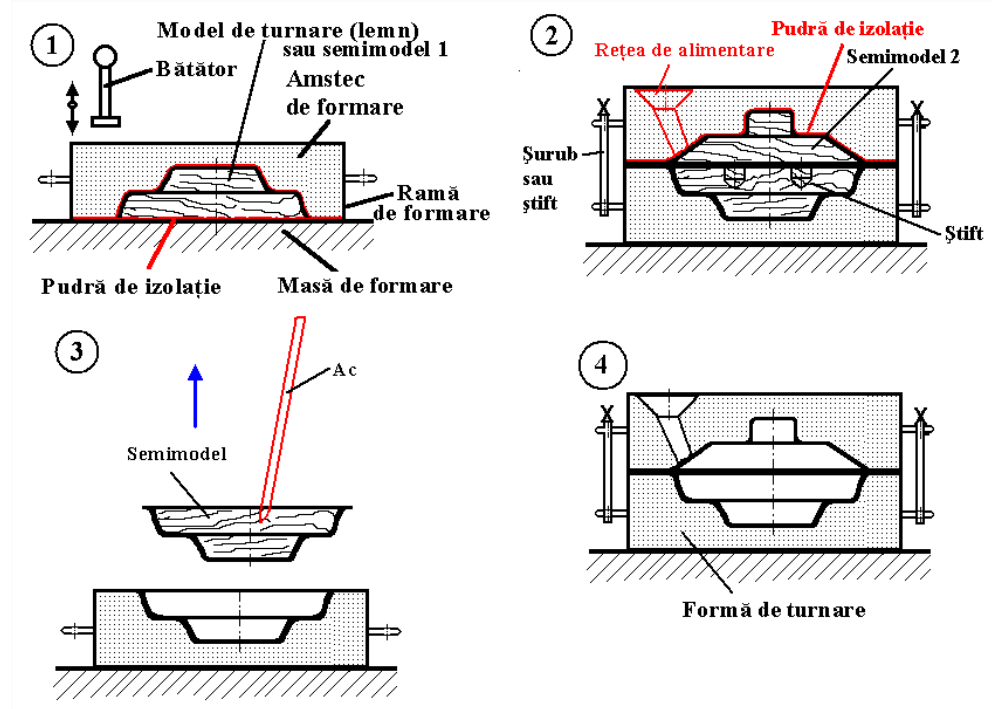
1. Care sunt efectele preincalzirii la sudare ?
  - uniformizarea campului termic, micșorarea vitezei de racire, evitarea structurilor dure în afara de echilibru, etc.
2. Modalitati de sprijinire a radacinii la sudare
  - pe suport platbanda din acelasi material ca cel pe care-l sudam, pe suport ceramic, pe suport din flux de sudare, etc.
3. Care sunt problemele la sudarea oțelurilor inoxidabile ?
  - carburile de crom, faza sigma și fisurarea la cald
4. care fonta poate fi sudata și în ce scop ?
  - se sudeaza doar fonta cenușie cu grafit nodular (fonta maleabilă) și numai în scopul de a repara piese.
5. La sudarea aluminiului, oxidul de aluminiu  $Al_2O_3$ , ce fel de efecte are ?
  - Oxidul de aluminiu este izolator electric și termic împiedecând amorsarea arcului electric, și în general desfasurarea procesului de sudare. Oxidul este higroscopic ,iar apa face rau sudarii introducand în spatiul arcului electric oxigen și hidrogen.
6. Hidrogenul este benefic la sudarea cuprului ?
  - Nu , poate produce așa numita boala de hidrogen a cuprului care se manifesta prin craparea piesei, datorita formarii pungilor de vapori de apa sub presiune.

7. De ce trebuie protejat titanul dupa sudare, pana atinge temperatura sub 250 °C ?
- Titanul este avid fata de gazele din atmosfera atunci cand se afla la temperaturi ridicate, iar efectul absorbtiei gazelor este fragilizarea puternica.

## **6. ELABORAREA ȘI SOLIDIFICAREA MATERIALELOR**

Concept: 1. Forma de turnare

- Enunț: Fazele principale la confecționarea unei forme de turnare
- Rezolvare: Se descrie principiul:

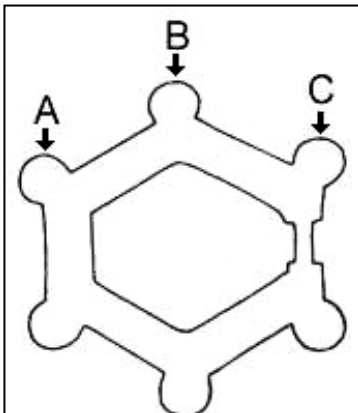


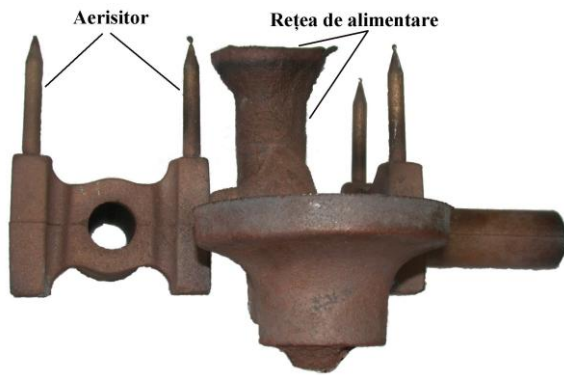
2. Concept: Lianți

- Enunț: Clasificarea lianților (organici, anorganic, hidrofilii, hidrofobi, sintetici, naturali)
- Rezolvare: Se prezintă principalele tipuri (de exemplu bentonita, silicatul de Na)

3. Aerisirea formelor de turnare

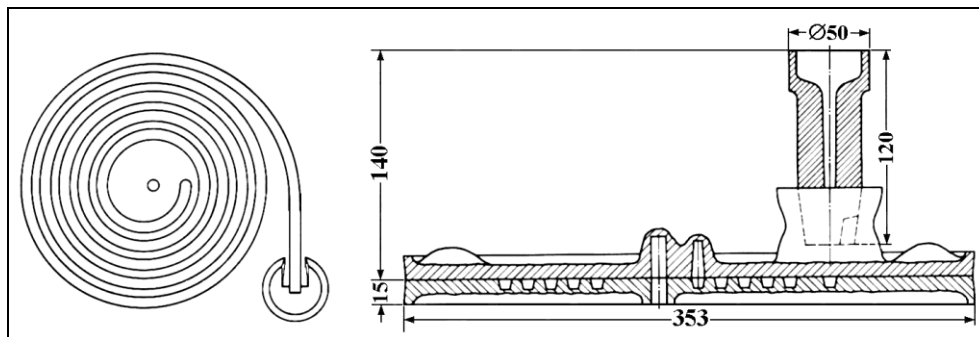
- Principiul evitării formării de sufluri
- Se prezintă principal diverse soluții constructive și tehnologii





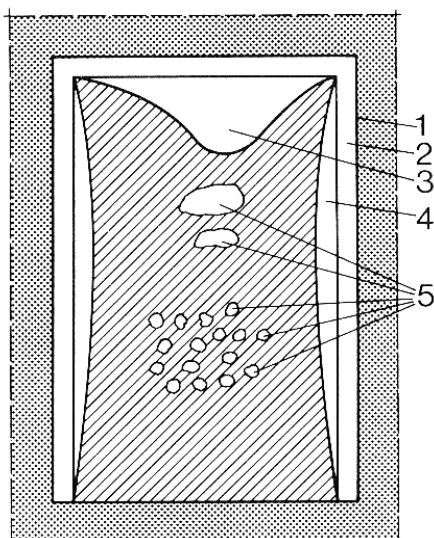
#### 4. Proprietăți de turnare

- Care sunt proprietățile de turnare? Ce este capacitatea de curgere?
- Se enumeră proprietăți: interval de solidificare, tipuri de solidificare (exogene, endogene, cu pereți netezi, cu pereți rușoși, spongios, păstos, păstos cu formare de crustă), apoi lungimea de curgere, capacitatea de umplere, capacitatea de alimentare, tendința de formare de retasură, contracția la solidificare și răcire. Se prezintă modul de testare a capacității (lungimii) de curgere:

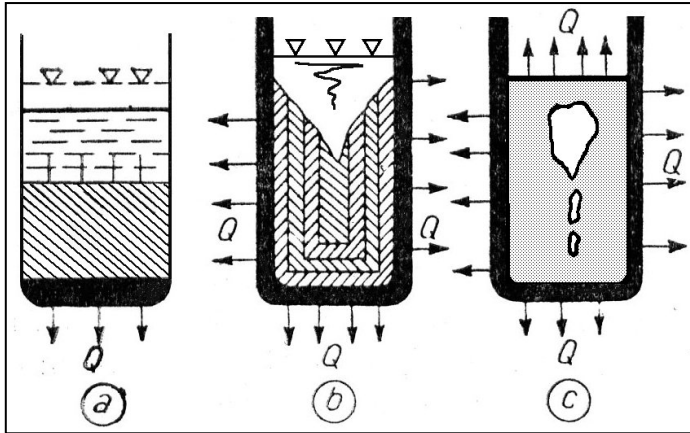


și influența unori factori.

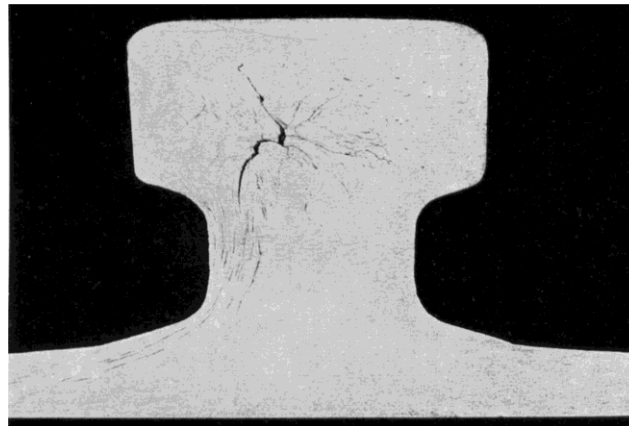
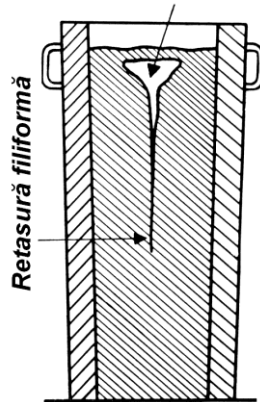
#### 5. Retasura



- Ce este și cum se formează retasura. Ce este retasura filiformă
- Se definesc contracțiile la solidificare, se prezintă schema simplificată a formării de retasuri și retasura filiformă și pericolul asociat acesteia:



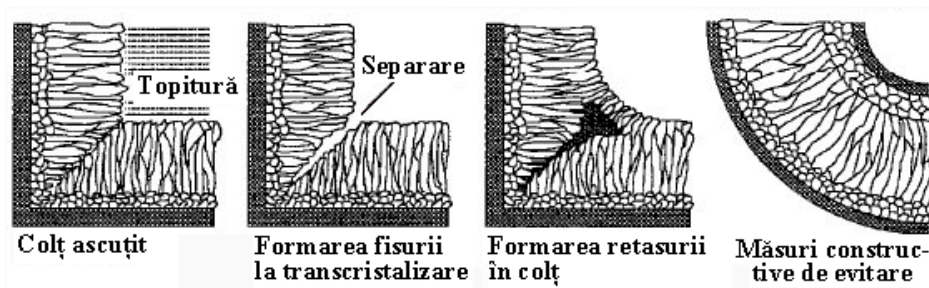
**Retasură macroscopică**



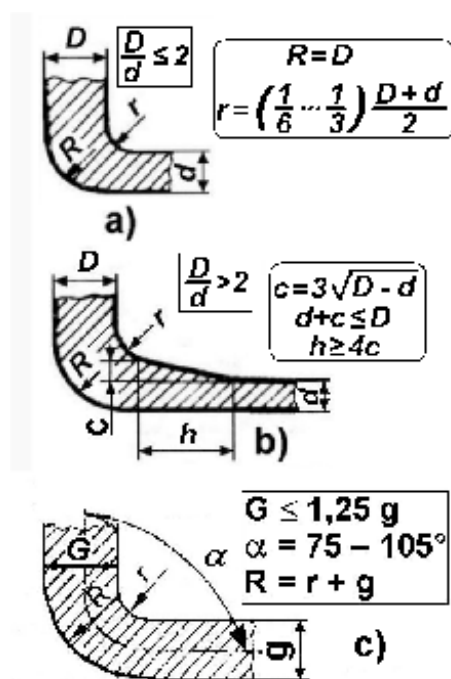
## 6. Principii de proiectare a pieselor turnate: raze de racordare

- Necesitatea rotunjirii muchiilor la piese turnate

-

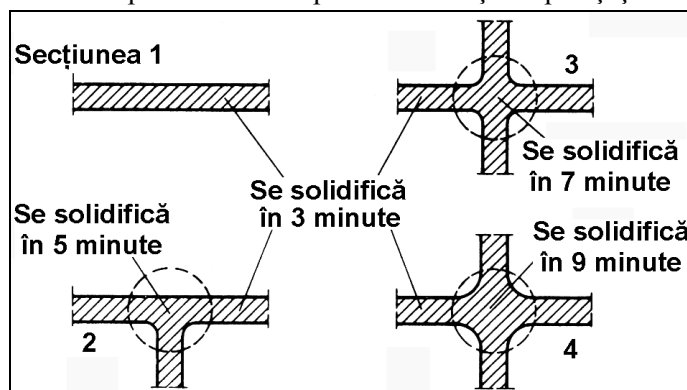


Exemplu de realizare:

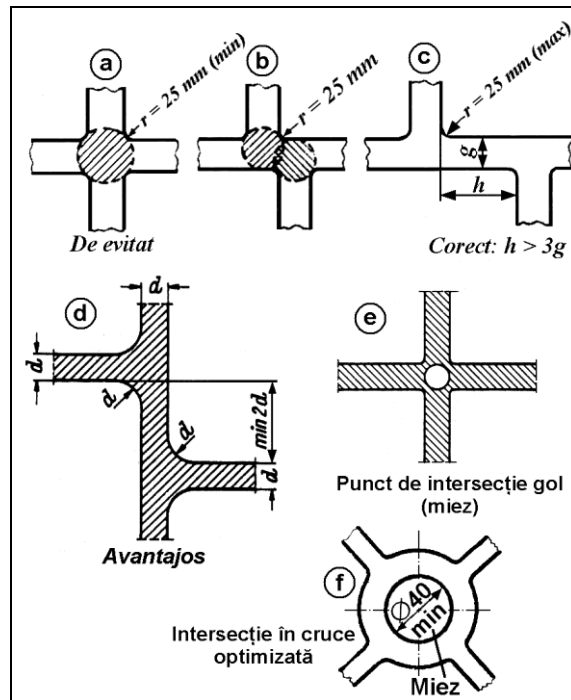


7. Principii de proiectare a pieselor turnate: intersectare de pereți

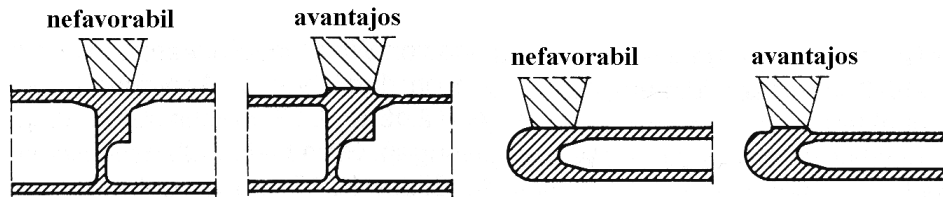
- Care sunt problemele ce apar la intersecții de pereți și ce soluții de rezolvare există?



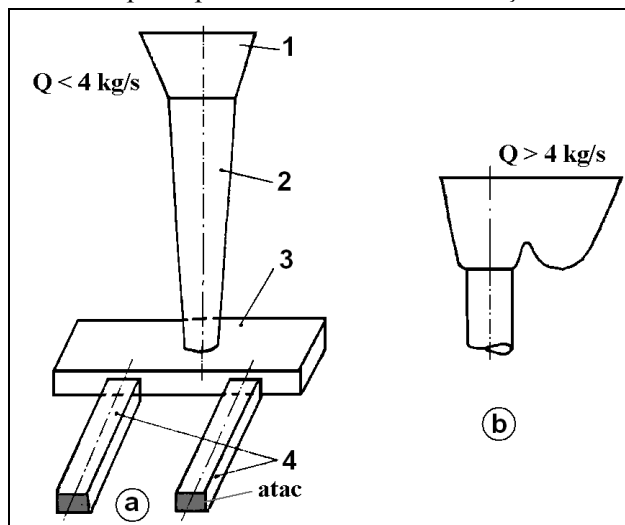




8. Principii de proiectare a pieselor turnate: Proiectarea pieselor turnate sub aspectul curățirii lor
- Care sunt problemele care apar la șutarea rețelei de alimentare și ce soluții sunt avantajoase?

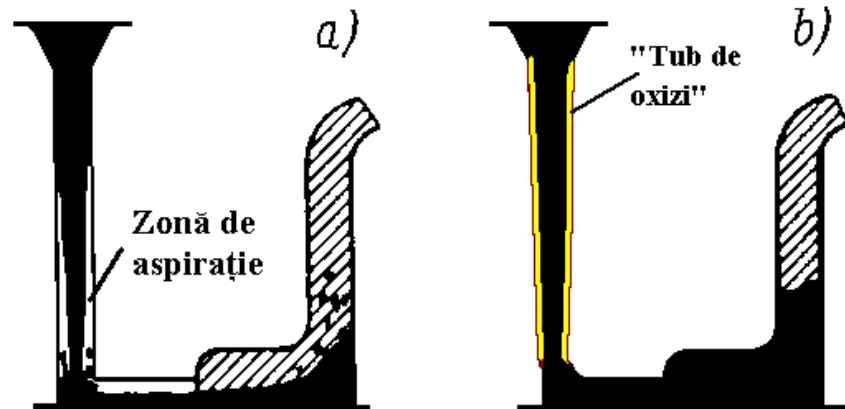


9. Elementele unei rețele de alimentare
- Care sunt principalele elemente ale unei rețele de alimentare?



10. Forma piciorului pâlniei de alimentare
- Care este forma recomandată pentru piciorul pâlniei de alimentare și de ce?

- Piciorul pâlniei de alimentare trebuie să fi tronconic, pentru a evita aspirația de gaze, umiditate și amestec de formare:



## **7. MATERIALE METALICE II – MATERIALE NEFEROASE)**

### **1. Concept: De ce aluminiu**

- Enunț: Care sunt argumentele pentru utilizarea aluminiului?
- Rezolvare: Densitate mică ( $\rho = 2.700 \text{ kg/m}^3$ );

Bune propr. mecanice

Rezistență la coroziune și în apă de mare

Deformabilitate

Așchiabilitate

Sudabil, se poate lipi + îmbinări prin împănare

Tratarea suprafeței (eloxare)

Fără schânteii, nu arde

Conductibilitate electrică  $\chi$  bună

Conductibilitate termică  $\lambda$  bună

Bune proprietăți optice (reflexie)

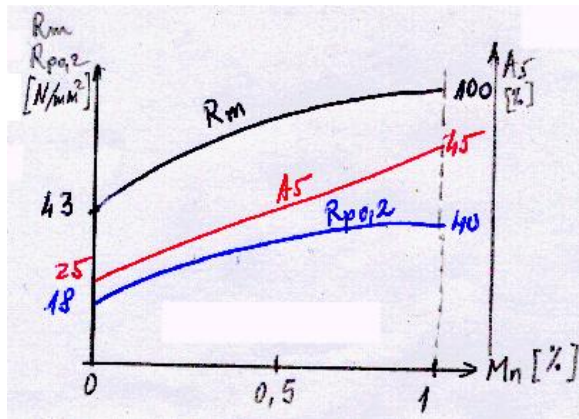
Neutralitate magnetică

Comportare după iradiere → timpi de înjumătățire deosebit de mici

Nu este dăunător sănătății, poate fi curățat, sterilizat

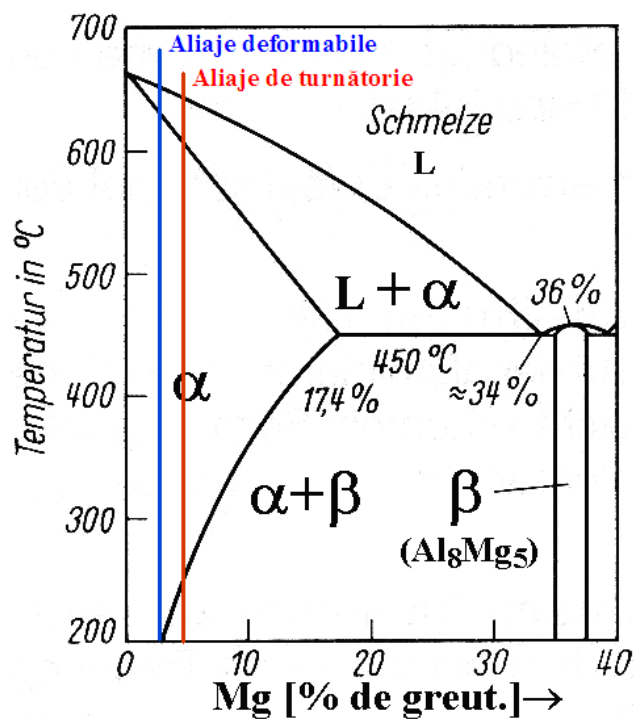
### **2. Aliaje aluminiu-mangan**

- Ce anomalie produce manganul asupra proprietăților aliajelor Al-Mn?



### 3. Aliaje aluminiu-magneziu

- Ce compoziție chimică au aliajele de turnătorie și cele deformabile?
- Aliajele aluminiu-magneziu fac parte din familia aliajelor durificabile doar prin ecrisare; acoperă un domeniu compozițional de:
- 0,5 ... 5,5% Mg;
- 0 ... 1,1% Mn și
- 0 ... 0,35% Cr

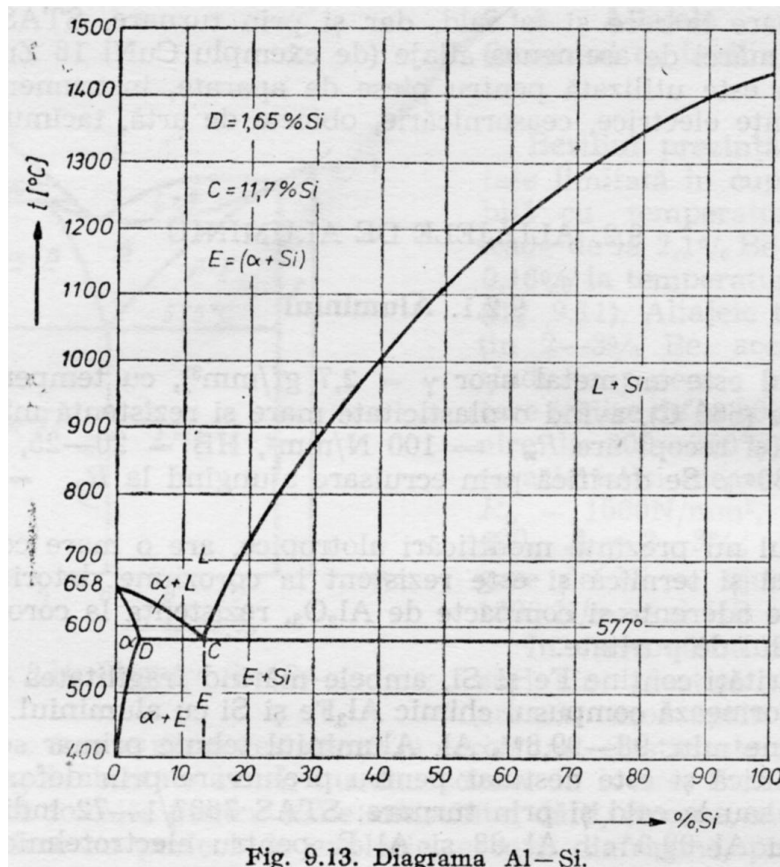


### 4. Aliaje aluminiu-litiu

- De ce se utilizează aliajele Al-Li și care proprietate mecanică este în mod special garantată la aceste aliaje?
- Aliajele Al-Li au greutatea specifică mică (aplicații aerospațiale) și modul de elasticitate ridicat. Se garantează în plus tenacitatea la rupere  $K_{IC}$

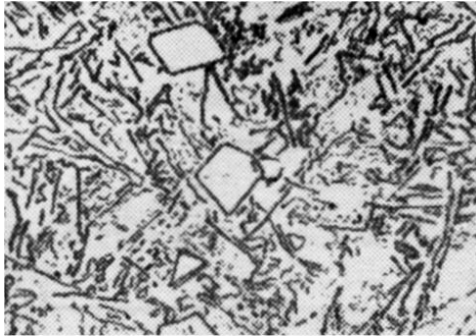
5. Concept: Aliaje aluminiu-siliciu

- Se dă diagrama următoare:



Precizați:

- Ce fel de diagrama este și la ce servește?
  - Cum se numesc aceste aliaje în limbaj industrial
  - Poziționați pe ea domeniul aliajelor tipice de turnătorie
  - Structura și proprietățile acestora
  - Ce măsuri tehnologice se pot lua pentru modificarea structurii și implicit pentru îmbunătățirea proprietăților.
- Este o diagramă de echilibru fazic; aliajele se cheamă siluminiuri; poziționarea se face în jurul concentrației de 11,7 % Al (punctul eutectic); structura este formată din cristale de siliciu



primar și bastonașe de siliciu eutectic în matrice de alpha eutectic. Structura grosolana diminuează proprietățile mecanice. Remediu: modificare cu Na sau NaF, sau mai modern cu stronțiu.

#### 6. Aliajele cuprului

- Cum se numesc aliajele cuprului?
- Toate aliajele cuprului se numesc bronzuri, cu excepția aliajelor Cu-Zn care se numesc alame și a aliajelor Cu-Ni-Zn care se numesc alpacale. După elementul principal de aliere avem bronzuri de staniu, de aluminiu, de beriliu etc.

#### 7. Aliaje Cu-Cr-Zr

- De ce tind bronzurile de crom-zirconiu să înlocuiască pe cele clasice Cu-Cr și Cu-Zr?
- CuCr → la temperaturi ridicate: sensibil la efect de creștătură!!; CuCrZr → nu ⇒ Aliajele CuCrZr sunt mai bune decât cele binare: **Rezistență ridicată la Ta; Temperatura de înmuiere (recristalizare) ridicată; Rezistența la fluaj mărită**, chiar și la temperaturi ridicate. **Sensibilitatea la temperaturi ridicate față de creștături absentă.**

#### 8. Bronzuri de beriliu

- Care este compoziția chimică a unui bronz de beriliu modern?
- Bronzurile de beriliu conțin 1,7 – 2 % Be. Cele moderne sunt aliate și cu 0,2 – 0,6 % Ni+Co, care măresc proprietățile mecanice și aptitudinea de tratament termic (durificare structurală)

#### 9. Bronzuri de aluminiu

- Care sunt tipurile de bronzuri de aluminiu folosite industrial și când se utilizează?
- Se folosesc bronzuri de aluminiu binare monofazice alpha sau pluricomponente plurifazice. Eficiente sunt bronzurile de aluminiu complex aliate cu Fe+Ni+Mn (scumpe) dacă în exploatare apar simultan solicitări mecanice ridicate; mediu coroziv și uzură abrazivă sau prin cavotație.

#### 10. Concept: Superaliaje

- Ce sunt superaliajele? De unde derivă denumirea lor?
- Superaliaje: aliaje complexe pentru utilizări la temperaturi ridicate. Baza: **Ni**, Fe, Pt, Cr, Co. Elemente de aliere : Elemente Co, Ni, Fe, Cr, Mo, W, **Re**, Ru, Ta, Nb, Al, Ti, Mn, Zr, C și B. Sunt de regulă refractare – rezistente la oxidare la cald și de **înaltă rezistență la cald**. Materiale policristaline se pot exploata până la 80% din  $T_f$  iar cele monocristaline (!!! – palete de turbine) până la 90% din  $T_f$ .

Mărci: Stellite®, Tribaloy®, Hastelloy®, Incoloy®, Inconel®, NIMONIC®, R88DT®, Waspaloy®, X-40®... Se durifică prin dispersia de faze incoerente, prin durificare structurală cu faze coerente și prin durificarea soluției solide.

## **8. METALE AMORFE**

**1. Întrebare:** Care sunt stările structurale ale materiei?

**Răspuns:** Stările structurale ale materiei sunt:

- starea de gaz, ce presupune o dezordine totală în aranjamentul atomic;
- starea de lichid și solid amorf, caracterizată prin lipsa de ordine la lungă distanță însă distribuția în spațiu a atomilor nu este complet întâmplătoare, ci gruparea atomilor vecini în jurul unui atom dat are anumite trăsături geometrice caracteristice, constituind ordinea la scurtă distanță, pe un domeniu restâns de 15...20 Å;
- starea cristalină, ce reprezintă o ordine totală în aranjamentul spațial al atomilor.

**2. Întrebare:** Ce sunt metalele amorfe?

**Răspuns:** Metalele amorfe sunt metale caracterizate printr-un aranjament dezordonat al atomilor în spațiu la scară oricât de mică, cu excepția ordinii la scurtă distanță în care sunt implicați numai atomii vecini, cei mai apropiați de un atom dat.

**3. Întrebare:** Cum se evidențiază structura amorfă la metale?

**Răspuns:** Structura amorfă a metalelor se evidențiază prin analiza structurală prin difracție de raze X. Dacă în imaginea de difracție nu apar maxime de intensitate nete la unghiuri de incidență precise, atunci structura este amorfă.

**4. Întrebare:** Ce informații oferă funcția de distribuție radială care caracterizează structura amorfă?

**Răspuns:** Funcția de distribuție radială oferă următoarele informații:

- distanțele la care se află amplasați în spațiu atomii din jurul unui atom de referință (razele sferelor de coordinație);
- numărul de atomi aflați la o anumită distanță de atomul de referință (numărul de coordinație în fiecare sferă de coordinație).

**5. Întrebare:** Care sunt grupele de aliaje amorfizabile?

**Răspuns:** Sistemele de aliaje amorfizabile se pot clasifica în trei grupe.

- Grupa I: metal de tranziție – metaloid;
- Grupa II: metal de tranziție – metal de tranziție;
- Grupa III: metale simple, netranziționale cu sau fără participarea metalelor din grupa pământurilor rare.

**6. Întrebare:** Ce este viteza critică de răcire pentru amorfizare?

**Răspuns:** Viteza critică de răcire pentru amorfizare este definită ca viteza de răcire minimă pentru realizarea tranziției vitroase prin suprimarea cristalizării topiturii.

**7. Întrebare:** Prin ce metode se pot obține aliajele amorfe?

**Răspuns:** Metodele de obținere a aliajelor amorfe sunt:

- metode de obținere prin depunere;
- metode de obținere prin reacții în stare solidă;
- metode de solidificare rapidă a topiturii.

**8. Întrebare:** Care este principiul metodei melt-spinning?

**Răspuns:** Metoda melt-spinnig presupune răcirea ultrarapidă a topiturii pe un bloc de răcire (cilindru) aflat în mișcare de rotație.

**9. Întrebare:** Ce eprezintă temperatura de cristalizare a metalelor amorfe?

**Răspuns:** Temperatura de cristalizare a metalelor amorfe reprezintă temperatura de încălzire la care debutează procesul de cristalizare a fazei amorfe.

**10. Întrebare:** Care sunt modurile de cristalizare a metalelor amorfe?

**Răspuns:** În cazul metalelor amorfe sunt posibile următoarele moduri de cristalizare:

- Cristalizarea primară, ce este caracterizată prin precipitarea unei faze cristaline de compoziție chimică distinctă într-o matrice amorfă.
- Cristalizarea eutectică, ce conduce la separarea simultană din faza amorfă a două faze cristaline.
- Cristalizarea polimorfă, caz în care faza cristalină rezultată are aceeași compoziție chimică ca și faza amorfă din care provine.

## **9. METODE MODERNE DE INVESTIGATIE.**

1) Pentru a genera radiația X cu ce fel de tensiune este alimentat tubul de radiații X: a) monofazică; b) trifazică; c) continuă; d) 380 V; e) 220 V; f) 20.....50 KV.

2) Cât la sută din puterea tubului de radiații X se regăsește în puterea fasciculului de radiații X: a) 5%; b) 10%; d) 20%; e) 1%.

3) Prin ce proces este emis, de tubul de radiații X, spectrul continuu de radiații X: a) frânarea atomilor, b) prin frânarea protonilor și electronilor; c) expulzarea electronilor din nucleu; d) expulzarea electronilor de pe nivelele energetice; e) prin frânarea electronilor catodici.

4) Din ce material sunt construite ferestrele tubului de radiații X: a) Al; b) Au; c) W; d) Be; f) Pb.

5) Prin ce proces este emis, de tubul de radiații X, spectrul caracteristic de radiații X : a) prin frânarea atomilor, b) prin frânarea protonilor și electronilor; c) expulzarea electronilor din nucleu; d) expulzarea electronilor de pe nivelele energetice; e) prin frânarea electronilor catodici; f) prin dezintegrarea atomilor anticatodului.

6) Referitor la spectrul caracteristic care din următoarele relații este corectă:

a)  $\nu_K : \nu_L : \nu_M : \dots = (1/1^2) : (1/2^2) : (1/3^2) : \dots$

b)  $I_{K\alpha 1} : I_{K\alpha 2} : I_{K\alpha \beta} : \dots = (1/1) : (1/2) : (1/5) : \dots$

$$\text{c) } I_{i,f} \approx (h \cdot \nu_{i,f}) \cdot g_f \cdot F_f \cdot A_{i,f}; \text{ d) } F_f = \frac{U - U_f}{U_f}$$

7) Care din următoarele relații exprimă legea absorbției radiațiilor X:

$$\text{a) } I = I_0 \exp(-\mu x); I = I_0 \exp(-\mu \rho)$$

8) Precizați căror procese se datorează formarea muchiilor de absorbție, din graficul coeficient de absorbție – lungime de undă a radiațiilor X: a) difuziei radiațiilor X; b) absorbției reale a radiațiilor X; c) difuziei și absorbției reale a radiațiilor X.

9) Care din următoarele legi guvernează procesul de difracție al radiațiilor X:

$$\text{a) } \vec{a} \cdot (\vec{s} - \vec{s}_o) = H \cdot \lambda; \text{ b) } \vec{b} \cdot (\vec{s} - \vec{s}_o) = K \cdot \lambda; \text{ c) } \vec{c} \cdot (\vec{s} - \vec{s}_o) = L \cdot \lambda;$$

$$\text{d) } 2 d_{(hkl)} \sin \theta = n \lambda; \text{ e) } \frac{\vec{s} - \vec{s}_o}{\lambda} = \vec{r}_{HKL}^*; \text{ d) } r_{HKL}^* = \frac{1}{d_{HKL}}$$

10) Care din următoarele permit aflarea direcția maximelor de difracție și calculul distanțelor interplanare: a) legea lui Laue; b) legea lui Bragg; c) construcția Ewald.

## 10. SELECȚIA MATERIALELOR

4. Definiție/enunțuri/pași/formule conexe pentru teoreme/metode/algoritmi de uz practic în exercitarea profesiei de inginer de materiale din 4 discipline de studiu, considerate de cea mai mare utilitate inginerească – altele de cât matematică și fizică (min 5/disciplină, max 15/disciplină).

4.1 Care este proprietatea principală după care se face selecția unui oțel pentru arcuri?

**R:** Principala proprietate a unui oțel pentru arcuri este călibilitatea, respectiv capacitatea materialului de a fi durificat printr-un tratament termic de călire. Aceasta depinde în principal de conținutul în carbon, respectiv cu cât conținutul în carbon este mai ridicat, cu atât oțelul se va căli mai ușor, dar și de celelalte elemente de aliere existente în oțel. Pentru a evalua influența tuturor elementelor din compoziția chimică a unui oțel asupra călibilității se calculează conținutul de carbon echivalent.

Recomandarea AWS – American Welding Society este:

$$CE = \%C + \left( \frac{\%Mn + \%Si}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right)$$

4.2 Care este structura optimă a unui oțel recomandat pentru execuția arcurilor?



**R:** Oțelul recomandat pentru realizarea arcurilor trebuie să aibă, după tratamentul termic de călire volumică, o structură complet martensitică (99% martensită) la suprafață și cel puțin 80% martensită în centrul secțiunii. Pe lângă aceasta, gradul de puritate trebuie să fie cât mai ridicat, iar defectele de suprafață să lipsească, deoarece din această zonă cu tensiuni maxime în timpul exploatării, fisurile se vor extinde spre interiorul materialului.

#### **4.3** Ce soluții eficiente puteți recomanda pentru creșterea durabilității la oboseală a arcurilor?

**R:** Soluțiile eficiente pentru creșterea durabilității la oboseală sunt: pretensionarea și sablarea. Pretensionarea produce tensiuni reziduale de compresiune în straturile de suprafață, peste care se vor adăuga tensiunile de lucru de întindere (se însumează algebric și astfel suma lor va da o valoare mai mică a tensiunilor totale). Sablarea produce și ea la rândul ei tensiuni reziduale de compresiune, pe lângă faptul că finisează suprafața materialului și reduce rugozitatea.

#### **4.4** Care sunt mecanismele de creștere a rezistenței la fluaj a oțelurilor?

**R:** Mecanismele creșterii rezistenței la fluaj sunt similare celor utilizate pentru creșterea rezistenței mecanice al temperatura camerei:

- blocarea deplasării dislocațiilor prin precipitarea fazelor secundare, care se realizează printr-o călire de punere în soluție urmată de îmbătrânire și
- blocarea deplasării dislocațiilor prin mărirea lungimi granițelor grăunților, care se realizează prin finisarea granulației.

#### **4.5** Care este matricea de proprietăți pentru materialele recomandate a fi utilizate în medii criogenice?

**R:** Materialele utilizabile în medii criogenice trebuie să îndeplinească următoarele cerințe în ceea ce privește proprietățile:

- bune caracteristici de rezistență mecanică, ductilitate, tenacitate (la temperatură inferioară celei de exploatare);
- bună stabilitate dimensională (fără transformări de fază în domeniul temperaturilor de exploatare);
- coeficient de dilatație termică liniară redus;
- conductivitate termică redusă;
- rezistență mare la coroziune;
- sensibilitate mică la îmbătrânire;
- preț rezonabil.

#### **4.6** Ce este coroziunea?

**R:** Coroziunea este o formă de degradare în timp, a unui material sub acțiunea mediului ambiant (mediului de lucru). Comportarea la coroziune a unui material este determinată de:

- parametrii mediului corosiv;
- parametri de proiectare ai piesei;
- caracteristicile materialului piesei.

#### **4.7** Care sunt principalele forme de coroziune care se pot manifesta la materialele metalice?

**R:** Principalele forme de coroziune întâlnite la metale sunt:

- coroziune generalizată sau uniformă – constă din corodarea uniformă a suprafeței materialului, diminuarea grosimii, având avantajul că e o formă de coroziune controlabilă;
- coroziune localizată (pitting) – afectează anumite porțiuni din suprafața pe care se formează cratere, care în timp conduc la perforarea pereților, are dezavantajul că nu este controlabilă (foarte periculoasă), are două etape: amorsarea și propagarea;
- coroziune intercristalină – afectează limita dintre grăunți ca urmare a modificării compoziției chimice în aceste zone, în urma unor tratamente termice sau termochimice;
- coroziune selectivă – afectează preferențial numai anumiți componenți din structură;
- coroziune sub tensiune – apare ca urmare a acțiunii conjugate a tensiunilor și a mediului corosiv, oricare dintre aceste două elemente este înlăturat, coroziunea încetează;
- coroziune-eroziune – produsă de un fluid care circulă cu viteză ridicată, care produce destrămarea stratului de oxizi, protector, de la suprafața materialului;
- coroziune-cavitație – este predominant mecanică și se produce prin percuția suprafeței materialului ca urmare a imploziei bulelor gazoase aflate în masa unui lichid (temperatura rămâne constantă, dar presiunea scade sub o valoare critică);

**4.8** Care sunt principalii parametri de care depinde intensitatea fenomenului de coroziune umedă?

**R:** Principalii parametri care influențează intensitatea fenomenului de coroziune sunt:

- pH-ul mediului corosiv;
- temperatura mediului;
- compoziția chimică (concentrația în cloruri, sulfuri, etc.);
- puterea oxidantă sau reducătoare a mediului;
- cuplaje galvanice;
- modul de expunere (imersie permanentă, alternantă, etc.);
- abraziune;
- degradare mecanică a suprafeței;
- nivelul tensiunilor mecanice;
- geometrie;
- starea suprafeței și eventualele straturi protectoare;
- condiții tranzitorii de serviciu (opriri, porniri, etc.).

## **11. S.U.M**

### **1. Factorii decizionali ai ciclului de realizare a unui produs finit.**

- furnizorul de material, care influențează atât proprietățile tehnologice cât și pe cele de întrebuințare,
- mecanicul prelucrător, care influențează proprietățile de întrebuințare,
- utilizatorul de produs, care beneficiază de acțiunea primilor doi factori.

### **2. Principalele etape de selecție a materialelor.**

- tematica selecției,
- matricea de cerințe ale elementului de construcție
- profilul de cerințe ale materialelor candidate

- procedee și criterii de selecție

### **3. Elementele de bază ale selecției materialelor la realizarea de produse noi.**

- cerințele impuse soluției constructive adoptate,
- cerințele impuse soluției tehnologice adoptate,
- proprietățile invariabile impuse materialelor candidate,
- procedee și criterii de selecție.

### **4. Elemente de bază ale selecției materialelor în cadrul fabricației.**

- soluția constructivă și/sau tehnologică modificată,
- proprietățile de întrebuințare și/sau tehnologice modificate,
- cerințe modificate ale materialului,
- decizia de selecție.

### **5. Cerințele de performanță ale materialelor.**

- cerințe funcționale,
- cerințe de procesabilitate,
- costul,
- cerințe de fiabilitate,
- cerințe de durabilitate.

### **6. Mărimile de calcul la metoda costului pe unitatea de proprietate.**

- tensiunea de lucru,
- costul materialului pe unitatea de masă,
- densitatea materialului.

### **7. Mărimile de influență ale indexului de performanță la metoda proprietăților ponderate.**

- valorile proprietăților scalate ale materialelor,
- valorile factorilor de pondere ai fiecărei proprietăți

### **8. Tipurile de solicitări preluate de organele de mașini executate din oțeluri pentru îmbunătățire.**

- tracțiunea pură,
- forfecarea,
- încovoierea,
- șoc,
- uzare abrazivă.

#### **9. Matricea de cerințe impuse oțelurilor pentru carburare.**

- călibilitatea strat și miez,
- deformabilitatea,
- prelucrabilitatea prin așchiere,
- tenacitate,
- cost.

#### **10. Modalități tehnologice de creștere a duratei de viață la oboseală.**

- sablare cu alică,
- nitruarea,
- călirea de suprafață prin curenți de inducție,
- laminarea suprafeței.