

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

Competitivitatea economico-industriă a viitorului impune obținerea de produse cu performanțe ridicate, la care concepția geometrico-funcțională se combină cu exploatarea la maxim a proprietăților de material și cu utilizarea tehnologiilor de fabricație adecvate. Acest obiectiv se realizează prin utilizarea de materiale cu proprietăți ridicate, precum și de tehnologii de fabricație adaptate acestor materiale.

Exigențe specifice impun domeniile prioritare ale industriei - energetic, electronic, aerospațial - cauzate de cerințele pe care, procesele sistemelor lor tehnice (reactorii nucleari, calculatoarele și respectiv motoarele cu reacție și rachetele), le ridică.

Nevoile amintite, completate cu necesitatea găsirii unor soluții pentru domeniile blocate de inexistența materialului adecvat și a tehnologiei adaptate lui, au determinat următoarele mutații:

- utilizarea de înlocuitori ai materialelor clasice și elaborarea de materiale noi cu performanțe ridicate și de tehnologii adaptate acestor materiale;
- elaborarea și dezvoltarea tehnologiilor noi, bazate pe introducerea rapidă în procesul de fabricație a descoperirilor științifice, numite tehnologii neconvenționale;
- reciclarea și re folosirea materialelor prin utilizarea de metode și procedee mecanice, chimice și biologice.

Aceste trei direcții se regăsesc în circuitul fizic și fluxul tehnologic al materiilor prime, prezentate în figurile 1.1 și 1.2.

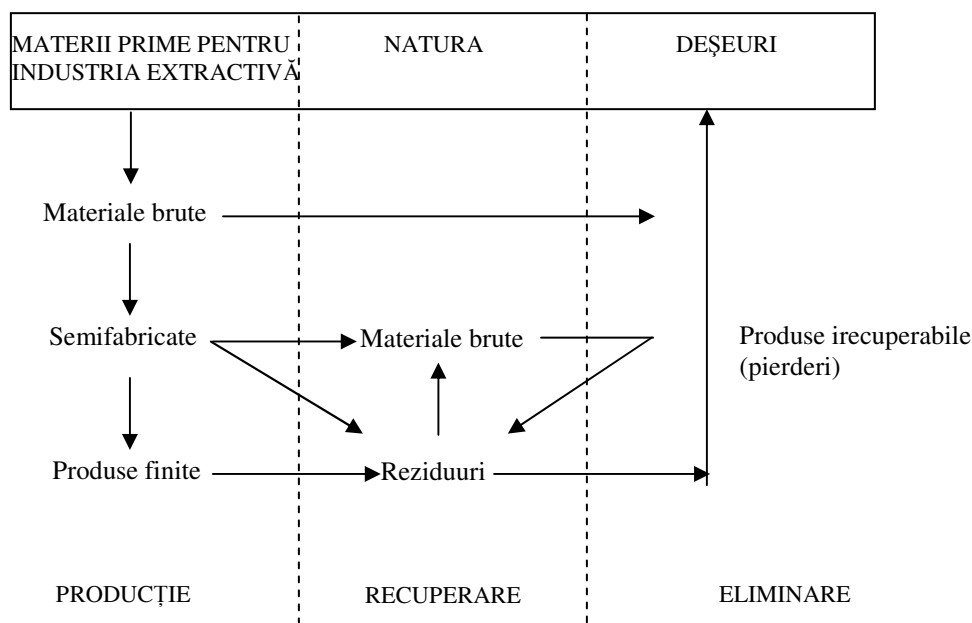


Fig. 1.1. Circuitul fizic al materiilor prime

Ca și în circuitul fizic și în fluxul tehnologic al materiilor prime (fig. 1.1) regăsim activitățile desfășurate în cadrul proceselor de producție, recuperare și eliminare a materialelor, semifabricatelor și produselor.

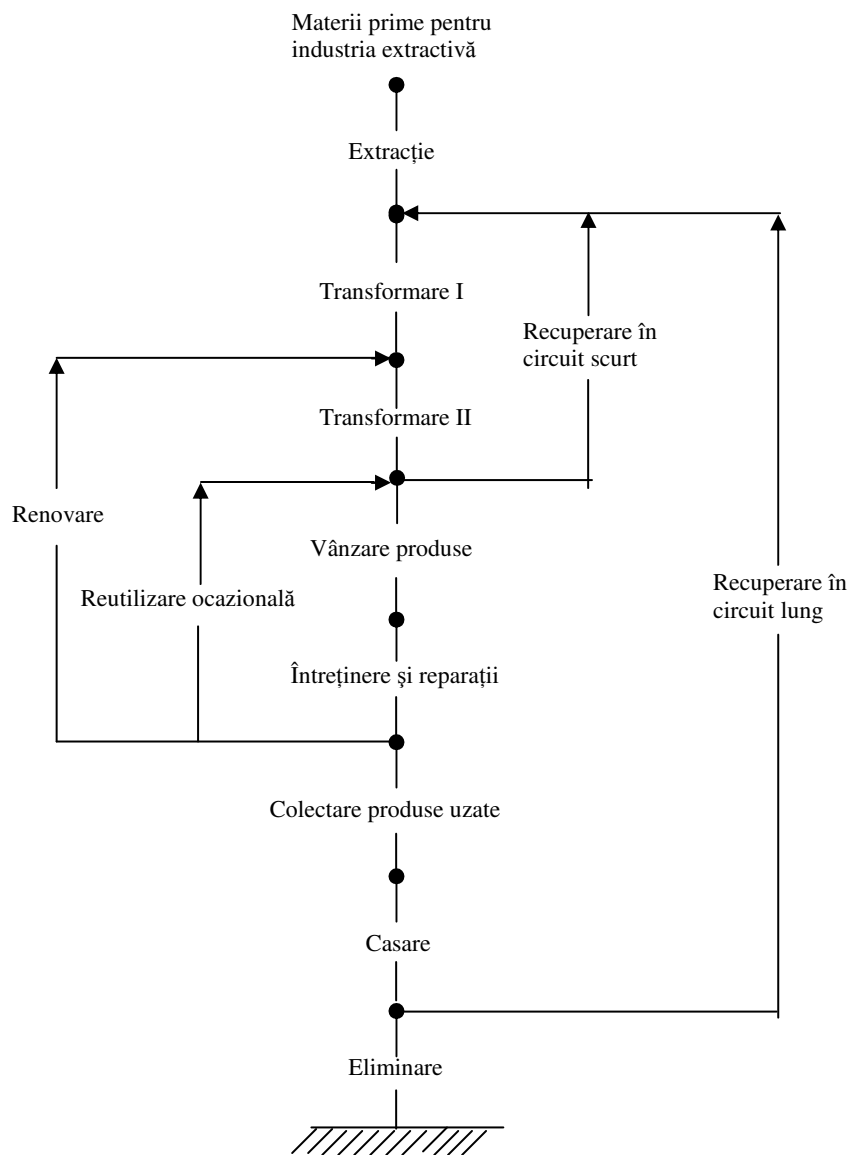


Fig. 2.2. Fluxul tehnologic al materiilor prime

În ultimii ani s-au realizat progrese substanțiale în cercetarea materialelor și tehnologiilor. Există numeroase laboratoare și institute de cercetare, în Europa, implicate în întregul spectru de cercetare.

Centrul de cercetare de la Patten, Olanda, a dezvoltat un laborator special dedicat studiului coroziunii la temperaturi înalte a elementelor din oțel, supuse unor tensiuni mecanice și care lucrează în atmosferă corozivă, cum ar fi cele din industria petrochimică, schimbătoarele de căldură, turbinele cu gaz sau turbinele cu abur.

În 1985, la Lausanne, în Elveția, a fost deschis un centru pentru tratarea suprafețelor materialelor metalice cu ajutorul laserului.

La Mol, în Belgia și la Stuttgart, în Germania, există două laboratoare pentru studiul ceramicilor de înaltă presiune.

Un laborator, destinat analizei suprafețelor prin spectroscopie cu raze X, este deschis la Universitatea din Surrey, Anglia. Cu ajutorul aparaturii din dotarea acestui laborator este posibilă estimarea compoziției chimice atât a suprafeței, cât și a întregului material sau produs.

Institutul Național de Știință și Tehnologie Nucleară, respectiv Centrul de Studii Nucleare de la Gif-sur-Yvette, din Franța, se ocupă cu studiul anihilării pozitronilor. Pornind de la constatarea că defectele, care apar în apropierea suprafeței metalelor și semiconductoarelor, determină durata de viață a pozitronilor, prin măsurarea acestei durate se determină tipurile de defecte și cauzele acestora. Totodată, s-a elaborat și o metodă pentru depistarea timpurie a stadiilor la formarea microfisurilor.

Laboratoarele de cercetare din Karlsruhe, Germania și Grenoble, Franța, studiază modul de determinare a proprietăților materialelor la temperaturi ridicate, prin utilizarea levitației. Fenomenul de levitație este obținut, pentru sfere ceramice, din sticlă sau metalice, utilizându-se unde ultrasonice sau pernă de aer, care asigură studierea materialelor la temperaturi foarte ridicate.

Câteva laboratoare specializate în studiul materialelor, prin utilizarea opticii electronice, există la Universitatea din Oxford, Anglia, respectiv la Departamentul de Metalurgie și Știința Materialelor.

Prin urmare, natura științei materialelor și ingineriei se schimbă. În viitor, mult mai multe procese de selectare a materialelor și proiectare a acestora vor fi realizate cu ajutorul computerului, ținând cont atât de proprietăți, cât și modelând comportarea ulterioară.

Din problematica actuală a științei materialelor, prezentată anterior, *tehnologia reprezintă acea parte care studiază transformările la care este supusă substanța în procesele tehnologice de lucru, în vederea obținerii produselor necesare societății.*

Urmărind un scop practic, tehnologia este o știință tehnică aplicativă care folosește atât legi proprii, cât și legile fizicii, chimiei și altor științe tehnice.

Diferitele tipuri de tehnologii existente au particularitățile ramurii industriale în care se aplică, cum sunt de exemplu: tehnologia extracției materialelor metalice, tehnologia construcțiilor de mașini, tehnologia chimică etc.

În concluzie, categoriile de **produse** care pot fi obținute prin aplicarea tehnologiilor de fabricație sunt: *materiale brute, semifabricate sau semifabricate asamblate prin montaj în mașini, utilaje și instalații și produse finite.*

CAPITOLUL 2

PROCEDEE TEHNOLOGICE DE FABRICAȚIE

2.1. STRUCTURA PROCESELOR TEHNOLOGICE

Procesul tehnologic este o parte componentă a procesului de producție în decursul căruia se efectuează logic și treptat modificările și transformările materialelor necesare obținerii produsului. În cadrul procesului tehnologic, materia primă este supusă unui șir de transformări fizico-chimice (fig. 1.2), în vederea obținerii unui produs cu proprietăți și funcții bine stabilite, în conformitate cu o anumită utilitate socială. În funcție de scopul urmărit, procesele tehnologice utilizate în construcția de mașini și aparate pot conduce la:

- modificarea proprietăților fizico-mecanice ale materialelor;
- modificarea formei, dimensiunilor, poziției reciproce și calității suprafețelor semifabricatelor și pieselor.

Se pot deosebi, astfel, mai multe categorii de procese tehnologice (fig.2.1).

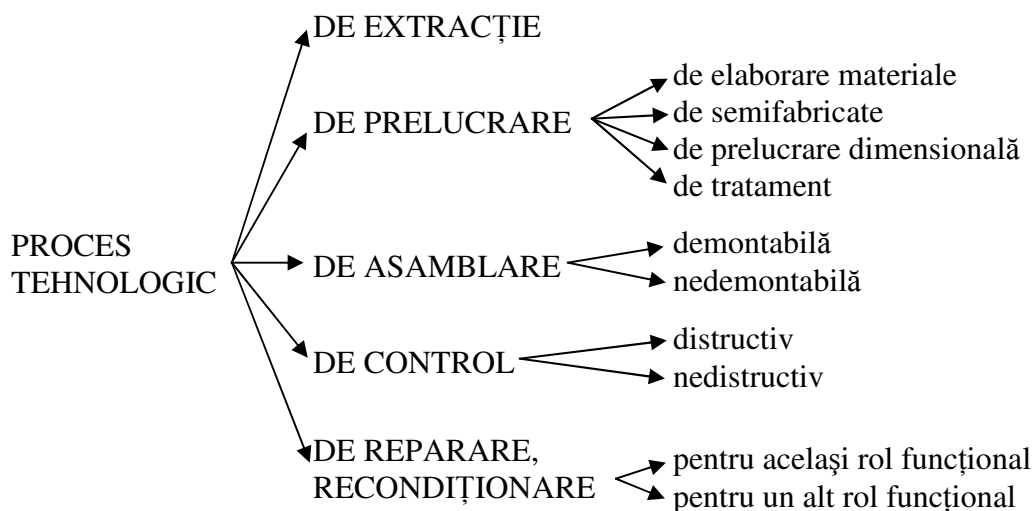


Fig. 2.1. Categoriile de procese tehnologice

Într-o primă etapă, pornind de la resursele naturale, pentru transformarea materiilor prime în substanțe utile se folosesc procese tehnologice de fabricare specifice industriei extractive. După modul în care se regăsesc în produsele fabricate, **substanțele utile** pot fi *materii prime* (când se regăsesc total sau parțial în produsul fabricat) și *materiale auxiliare* (care ajută numai la fabricarea produselor, fără să se regăsească în acestea).

În a doua etapă se folosesc procese tehnologice de prelucrare, în urma cărora se modifică starea sau compoziția materialului, forma, dimensiunile, rugozitatea și poziția reciprocă a suprafețelor. **Procesul tehnologic de prelucrare** poate fi *de elaborare* (pentru a extrage metale sau aliaje industriale din minereuri, respectiv pentru a obține aliaje topite pentru confecționarea pieselor turnate), *de confecționare* (pentru a obține semifabricate sau piese prin modificarea formei, dimensiunilor, poziției reciproce și calității suprafețelor) sau *de tratament* (pentru modificarea proprietăților fizico-chimice ale materialelor și protecția anticorozivă a acestora).

În etapa finală se folosesc **procese tehnologice de asamblare**, fie *rigidă* (care nu dă posibilitatea de mișcare relativă reciprocă în timpul funcționării), fie *nerigidă* (în care piesele au posibilitatea mișcării relative reciproce).

2.2 PROIECTAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE

Pentru fabricarea unei piese se parcurg, în general, următoarele etape: pregătirea tehnică (proiectarea constructivă), elaborarea tehnologiei, organizarea procesului de producție, programarea, lansarea și execuția propriu-zisă.

Pentru întocmirea **documentației tehnologice**, se studiază proiectul constructiv, se alege semifabricatul, ordinea operațiilor, mașinile, dispozitivele și sculele de prelucrare și se normează tipul aferent fiecărei operații. Toate datele se înscriu în **fișa tehnologică**, care este un document deosebit de important în elaborarea planurilor întreprinderii privind aprovizionarea, necesarul de energie, de SDV-uri, de forță de muncă etc.

Pornind de la condițiile impuse procesului de producție, determinate de scopul acestuia, se întocmesc mai multe variante de procese tehnologice, din care se alege, pentru aplicare, cel mai avantajos din punct de vedere economic.

Aprecierea calității proceselor tehnologice se realizează cu ajutorul **indicatorilor tehnico-economici**. Acești indicatori se referă la folosirea utilajelor, a materiilor prime și energiei, la calitatea producției și la condițiile de muncă și sunt prezentați sintetic în figura 2.2.

În categoria **indicatorilor pentru folosirea utilajelor** intră:

- *indicatorul utilizării extensive*, care se calculează cu relația:

$$I_{ue} = \frac{T_{ef}}{T_{cal}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

unde T_{ef} reprezintă timpul efectiv lucrat și T_{cal} este timpul calendaristic. Anumite utilaje lucrează continuu, deci au indicele de utilizare extensiv aproape egal cu 100%. Cu cât acest indicator are valoare mai mare, cu atât folosirea utilajelor este mai eficientă;

- *indicatorul utilizării intensive*, care se calculează cu relația:

$$I_{ui} = \frac{P_r}{P_c} \cdot 100, \quad (2.2)$$

unde P_r reprezintă producția realizată, în unități naturale și P_c este capacitatea de producție a utilajului respectiv, în unități naturale. Uneori, acest indicator se exprimă sub forma capacității producției specifice, adică raportul dintre producția realizată și o unitate fundamentală care caracterizează tehnologic un anumit utilaj (de exemplu: $\text{tone/m}^2\text{h}$ sau tone/m^3).

În categoria **indicatorilor pentru folosirea materiilor prime și energiei** intră:

- *indicatorul de extracție al materiei prime (randamentul de extracție)*, care se calculează cu relația:

$$I_{MP} = \frac{G_2}{G_1} \cdot 100, \quad (2.3)$$

unde G_2 este greutatea regăsită în produs, iar G_1 este greutatea folosită.

- *indicatorul utilizării energiei*, care se calculează cu relația:

$$I_E = \frac{E_2}{E_1} \cdot 100, \quad (2.4)$$

unde E_2 este energia consumată efectiv pentru realizarea unui anumit proces tehnologic (în kWh), iar E_1 este energia primită din sistem.

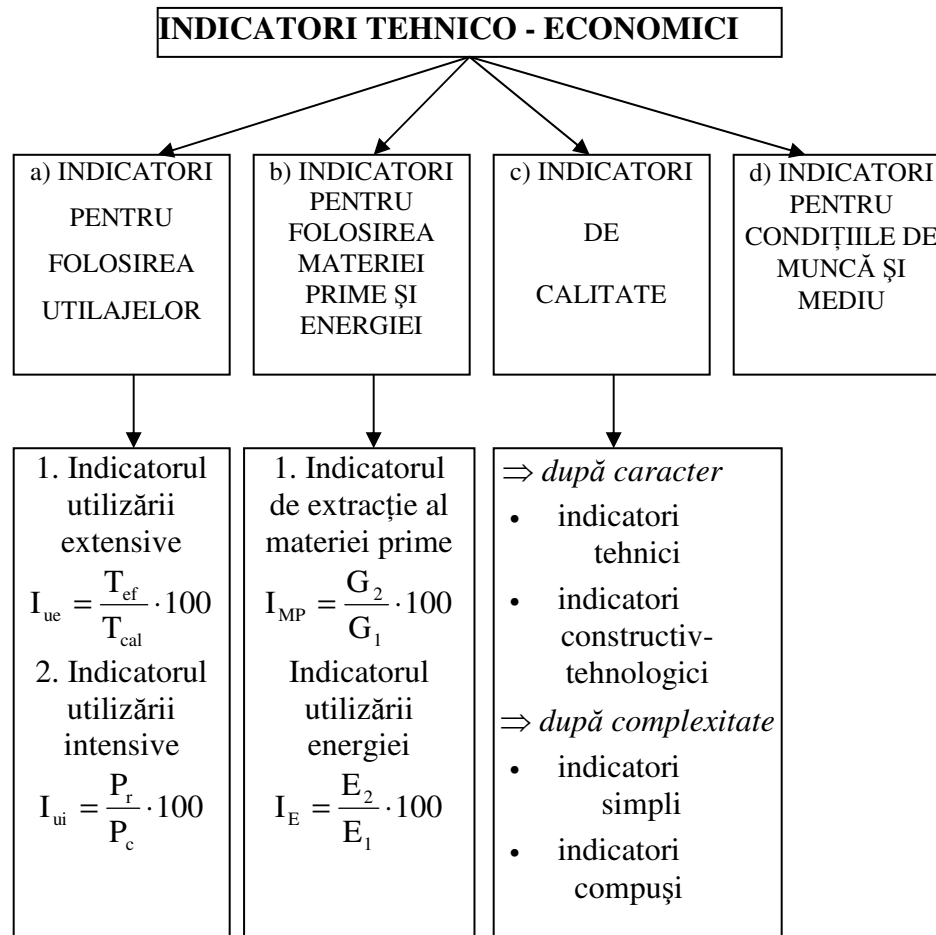


Fig.2.2 Indicatorii utilizați pentru aprecierea calității proceselor tehnologice

Îmbunătățirea acestor indicatori este influențată de nivelul calitativ al proceselor tehnologice proiectate, re folosirea, recondiționarea și reciclarea materialelor din piese.

Condițiile de calitate impuse produselor se exprimă prin **indicatori de calitate**, diferențiați în funcție de următoarele criterii:

1. după caracterul lor, adică:

- *indicatori tehnici*, care caracterizează performanțele tehnice ale produsului;
- *indicatori constructiv-tehnologici*, care definesc dimensiunile de gabarit, masa, gradul de finisare, execuție și montaj.

2. după complexitatea lor, adică:

- *indicatori simpli*, când caracterizează o anumită latură a produsului și se folosesc pentru materiale sau produse simple;
- *indicatori compuși*, când exprimă larg funcționalitatea, durabilitatea, fiabilitatea, conservarea proprietăților de utilizare după un anumit timp etc.

Compararea acestor indicatori se face pe baza prevederilor din STAS, norme etc., obligatorii atât pentru executanți, cât și pentru beneficiari. Determinarea cantitativă a acestora se face prin încercări de laborator, încercări care pot fi distructive (încercări mecanice de tracțiune,

compresiune, încovoiere, forfecare, șoc etc.) sau nedistructive (metode fotoelastice, tensometrice, ultrasonice, termografice etc.).

Asigurarea unei bune protecții a muncii și a mediului înconjurător reprezintă o problemă deosebit de importantă a epocii actuale. Aprecierea calității acestor măsuri se face cu ajutorul **indicatorilor condițiilor de muncă și de mediu**.

Normele stabilite pe cale legislativă sunt obligatorii pentru toate unitățile economice și instituțiile de învățământ. Pentru păstrarea climatului natural al mediului înconjurător, unitățile economice au obligația să execute amenajări care să permită respectarea cantităților maxim admise de substanțe toxice sau poluante eliminate în atmosferă, sol sau apă.

2.3. PROCEDEE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE

Procedeele tehnologice de prelucrare a materialelor metalice cuprind **tehnologiile de prelucrare și tehnologiile de formare**.

Prin tehnologii de prelucrare înțelegem procedeele de prelucrare a materialelor metalice care duc la obținerea pieselor industriale, ca urmare a unei acțiuni de îndepărtare de materie. Fie că această îndepărtare se face prin formare de șpan, ca la tăiere, prin producere de microașchii, ca la rectificare sau, încă, prin fuziune sau evaporare, ca la electroeroziune, în toate cazurile vom spune că este vorba de un proces de prelucrare.

Tehnologiile de formare se opun celor de prelucrare, ele executându-se fără îndepărtare de materie, prin fasonarea piesei până la obținerea formei finale.

Fie că se lucrează cu sau fără îndepărtare de materie, definim o **mașina-unealtă** ca o mașină antrenată de o sursă exterioară de energie, neportabilă în timpul funcționării și care prelucrează materialul metalic prin îndepărtare, formare, procedee electrofizice sau o combinație între aceste tehnici.

În afară de prelucrare, procedeele de fasonare cuprind, deci, procedeele de formare sau de obținere a formei fără îndepărtare de materie și procedeele de asamblare sau obținere a formei prin juxtapunere a materialelor.

Inginerul se confruntă cu problema alegerii celui mai bun procedeu de lucru pentru fabricarea unei piese sau ansamblu. De aceea, el trebuie să cunoască avantajele și dezavantajele diverselor procedee care-i stau la dispoziție, pentru alegerea celui mai bun procedeu.

Între procedeele de prelucrare și cele de formare s-a stabilit, în ultimii ani, o mare concurență, cele de formare tinzând să se extindă în dezavantajul primelor.

Procedeele de formare posedă avantaje evidente (incontestabile), cum ar fi: economia de material, consolidarea materialului prelucrat și o productivitate ridicată, dar prezintă dezavantajul utilizării unor mașini-unelte și unor utilaje costisitoare, foarte specializate și care necesită un material de prelucrare cu calități metalurgice de prim ordin. De asemenea, este improbabil ca ele să preia în totalitate locul procedeelelor de prelucrare cărora le vor rămâne rezervate operațiile de perfecționare (desăvârșire) și care au avantajul realizării unor forme complexe pe echipamente universale.

Suplețea procedeelelor de prelucrare și simplitatea utilajelor folosite au fost completate, în ultimii ani prin introducerea comenzii numerice a mașinilor unelte, și, recent, prin simplificarea programării mașinii respective.

Tehnicile de prelucrare, care au stat tot timpul la baza fabricației mecanice, fac parte în mod obligatoriu din bagajul tehnic al inginerilor mecanici. Acest lucru este justificat de următoarele adevăruri:

1. *Procedeele de prelucrare* reprezintă, în procesul de fabricație mecanică, un volum de cheltuieli impresionant, în asemenea manieră încât, progresele privind aceste procedee, au

repercusiuni considerabile, în valoare absolută, asupra ansamblului producției. Este justificată, deci, consacrarea de eforturi importante în cercetare pentru a pune bazele procedurii de prelucrare, astfel încât să se reducă risipa care domnește încă, adesea, în industrie datorită empirismului metodei de lucru utilizate.

2. *Folosirea unor aliaje noi*, pune problema prelucrărilor mult mai complexe decât cele întâlnite în trecut. Utilizarea unor tehnici de lucru speciale, precum: electroeroziunea, electroliza, fasciculul de electroni, laserul, cerute de complexitatea formelor de realizat și de natura materialelor utilizate, cere cunoașterea posibilităților și limitelor acestor tehnici recente.

Din punctul de vedere al utilizatorului, este necesar să se cunoască proprietățile conferite piesei prin operațiile de prelucrare (tensiunile interne, transformările metalurgice etc.), care sunt indispensabile pentru prevenirea și evitarea defectelor superficiale ale pieselor și care sunt adesea la originea defectării materialelor în funcționare.

Eșecul materialelor foarte scumpe poate fi dat de calitatea suprafeței pieselor funcționale, care n-au rezistat la solicitările din serviciu și care sunt consecința unei prelucrări defectuoase.

3. *Automatizarea* mereu crescândă a fabricației, chiar pentru serii foarte mici a avut drept consecință reducerea timpilor auxiliari. Cercetarea pentru obținerea celei mai bune productivități a condus la selecția condițiilor de prelucrare realizate cu cel mai mic preț.

Cunoașterea legilor de bază ale prelucrării devine, deci, un element fundamental al optimizării procesului mecanic. De altfel, introducerea de date tehnologice, în programele automate, cere o cunoaștere profundă a cerințelor de fabricație în scopul realizării unei fiabilități crescute, indispensabilă pentru o bună execuție a operațiilor de automatizare.

4. *Comanda numerică* a pătruns în toate domeniile de fabricație, copleșind pe cel al seriilor mici și mijlocii pentru care a fost concepută; acum, ea acoperă toate cazurile de fabricație. Nu se poate vorbi de o fabricație automatizată – fără a stăpâni condițiile de prelucrare. Inginerul trebuie, deci, să cuprindă problemele tehnologice, în scopul orientării către cea mai bună soluție.

2.3.1. Operații de prelucrare

Operațiile de prelucrare cuprind ansamblul tuturor operațiilor care sunt însoțite de îndepărtare de șpan și care se execută cu utilaje tăietoare sau abrazive sau pe cale electrofizică.

Operația constă, în principal (fig. 2.3), în a forța o pană (1) în materialul (3) și a îndepărta prin acest procedeu, într-o manieră regulată, un șpan (2) mai mult sau mai puțin gros, în scopul reducerii dimensiunilor piesei brute și de a-i da în mod progresiv forma impusă.

Pentru a realiza această operație, este necesar ca piesa să se deplaseze în fața utilajului sau invers, în scopul realizării unei tăieri continue și fără întreruperi în material.

Pentru realizarea operației de prelucrare, între piesă și utilaj apar o serie de **combinații de mișcări** care dau și denumirea operației.

1. În operațiile de rabotare atât piesa cât și utilajul execută mișcări rectilinii (fig. 2.4).

În cazul mașinilor de rabotat transversal (șepinguri), figura 2.4.a, mișcarea principală, de așchiere, este rectilinie alternativă și o execută berbecul pe care se montează scula (mișcarea 2). Mișcarea secundară, de avans transversal, este executată de masă, pe care se montează piesa de prelucrat (mișcarea 1).

În cazul rabotezelor, figura 2.4.b, piesa are deplasare longitudinală (mișcarea 3), iar utilajul deplasare transversală (mișcarea 4).

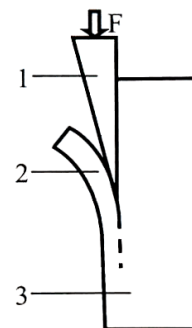


Fig.2.3. Principiul operației de prelucrare: 1-pană; 2-șpan; 3-piesă

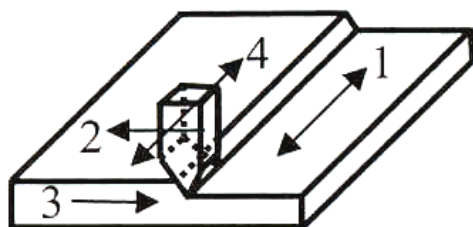


Fig. 2.4. Combinații de mișcări în operațiile de rabotare:
 a – șeping: piesa – deplasare transversală (1),
 utilajul – deplasare longitudinală (2);
 b – raboteză: piesa – deplasare longitudinală (3),
 utilajul – deplasare transversală (4)

2. În **operațiile de strunjire** mișcarea piesei este circulară, iar cea a utilajului este rectilinie (fig. 2.5).

Datorită posibilităților de prelucrare prin așchiere, pe care le oferă strungul, se pot efectua diverse operații de strunjire. În figura 2.5 se prezintă strunjirea cilindrică exterioară (fig. 2.5.a) sau interioară (fig 2.5.b).

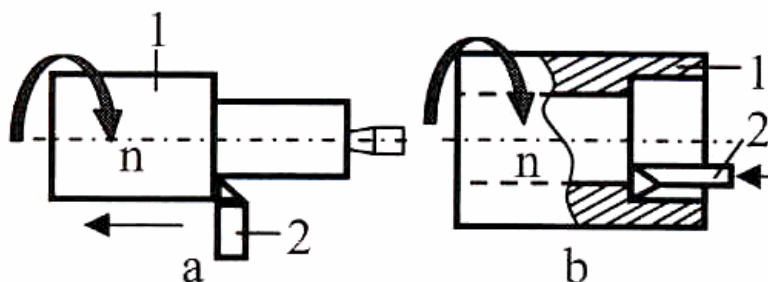


Fig.2.5. Combinații de mișcări în operațiile de strunjire cilindrică:
 a – exterioară;
 b – interioară

În acest caz, piesa are mișcare de rotație (1), iar cuțitul se deplasează cu avans longitudinal (2).

3. În **operațiile de frezare și de rectificare** mișcarea utilajului este circulară, iar a piesei este o mișcare rectilinie sau curbilinie combinată (fig. 2.6).

Frezele sunt mașini unelte care prelucreează metalele prin tăiere cu ajutorul unor scule rotative, cu mai multe tăișuri, numite freze. Mecanismele mașinilor de frezat (fig. 2.6.a) asigură o mișcare principală, de așchiere, care este o mișcare de rotație (2), dată frezei și o mișcare secundară, de avans, care este dată fie frezei, fie mesei mașinii, respectiv piesei de prelucrat (1).

În funcție de sensul reciproc al acestor mișcări putem avea frezare în sensul avansului sau frezare contra avansului.

Prelucrarea prin rectificare (fig. 2.6.b) se execută cu scule abrazive, pe mașinile de rectificat, pentru a obține suprafețe netede și dimensiuni precise ale pieselor.

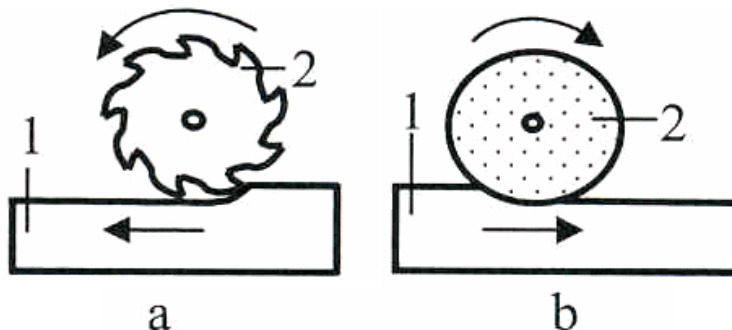


Fig.2.6. Combinații de mișcări în operațiile de frezare și rectificare:
 a – frezare
 b – rectificare

Scula abrazivă execută mișcarea principală, de rotație (2), iar piesa, mișcarea secundară, de avans (1).

4. În operațiile de forare, figura 2.7, mișcarea utilajului este, în general, circulară și rectilinie, piesa fiind în repaus.

În cazul broșării (fig. 2.7.a) utilajul are o deplasare liniară (2), în timp ce piesa rămâne fixă.

În cazul găuririi (figura 2.7.b) utilajul are pe lângă deplasarea liniară și o mișcare de rotație (2), în timp ce piesa rămâne fixă.

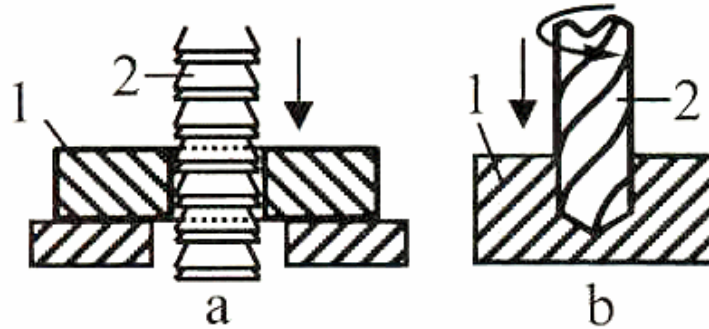


Fig. 2.7. Combinații de mișcări la operația de forare:
a – broșare;
b – găurire

În concluzie, cele mai importante operații de prelucrare prin așchiere sunt: rabotarea, strunjirea, frezarea, broșarea, găurirea, rectificarea, pilirea și polizarea.

Tot în categoria operațiilor de prelucrare intră și operațiile la care îndepărtarea de material se face pe cale electrofizică, cum ar fi prelucrarea prin eroziune. După natura agentului eroziv, prelucrarea prin eroziune poate fi electrică (bazată pe efectul eroziv polarizat al unor descărcări electrice prin impuls, amorțate în mod succesiv între un electrod și piesă) și chimică (realizată prin dezvoltarea chimică pe suprafața piesei a unui agent eroziv chimic).

2.3.2. Operații de formare

Operațiile de formare cuprind ansamblul tuturor activităților care se execută fără îndepărtare de material și pot fi operații de:

1. Turnare: o metodă de fabricare a unei piese prin solidificarea unei cantități determinate de material lichid, introdusă într-o cavitate de formă și dimensiuni corespunzătoare unei forme de turnare date. În funcție de metoda utilizată turnarea poate fi: în forme permanente (cochile), centrifugală, sub presiune, de precizie etc.

2. Prelucrare prin deformare plastică: o metodă de prelucrare prin care se realizează deformarea permanentă a materialelor în stare solidă (la cald sau la rece), fără fisurare macroscopică. În funcție de metoda folosită tehnologiile de deformare plastică sunt de mai multe feluri, ca de exemplu: laminarea (metoda de prelucrare prin deformare plastică, la care materialul este obligat să treacă forțat prin doi cilindri în rotație), tragerea (procesul de deformare plastică a materialelor sub acțiunea unei forțe pentru obținerea barelor, sârmelor sau țevelor, prin trecerea forțată a unui material ductil printr-o matriță a cărei secțiune este mai mică decât secțiunea inițială a materialului) etc.

3. Îmbinarea: o metodă care permite asamblarea pieselor prin sudare sau prin juxtaponere.

CAPITOLUL 3

PROPRIETĂȚILE TEHNICE ȘI TEHNOLOGICE ALE MATERIALELOR

3.1. GERALITĂȚI

De ce smaraldul este verde? De ce sticla este transparentă? Cum poate un material să producă căldură? De ce siliconul este materialul de bază în industria calculatoarelor?

Pentru a răspunde unor întrebări de acest tip, este necesară cunoașterea proprietăților materialelor respective și aceste proprietăți depind de natura legăturilor chimice, aranjamentul atomic și microstructură.

Diversele materiale utilizate în tehnică pot fi clasificate după compoziția, microstructura sau proprietățile lor. Ținând cont de toate acestea, materialele s-au împărțit în trei mari grupe:

- *metalele și aliajele lor;*
- *polimerii organici;*
- *materialele ceramice.*

Metalele, la temperatura ambiantă, sunt în cea mai mare parte *solide atomice*, iar cele mai utilizate sunt cuprul, aluminiul și fierul. *Aliajele metalice* sunt, în general, combinații de două sau mai multe metale, ca în cazul alamelor (aliaje de cupru și zinc), dar mai pot conține și elemente nemetalice. Printre aceste tipuri de aliaje se găsesc, de exemplu, oțelurile (aliaje fier-carbon).

Metalele și aliajele lor sunt, de obicei, foarte bune conducătoare de căldură și electricitate și opace la lumina vizibilă. Ele sunt cel mai adesea dure, rigide și deformabile plastic.

Polimerii organici sunt materiale compuse din molecule formând, în general, lanțuri lungi de atomi de carbon pe care sunt fixate elemente ca hidrogenul sau clorul, ori grupuri de atomi ca radicalul metil ($-\text{CH}_3$). Alte elemente ca sulf, azotul, siliciul etc. pot, de asemenea, să intervină în compoziția lanțului.

Polimerii organici cei mai cunoscuți sunt policlorura de vinil (PVC), polietilena (PE) și polistirenul (PS). Cel mai adesea polimerii sunt cunoscuți prin mărcile lor de fabrică: polimetacrilat de metil (PMMA: Plexiglas), poliamida (PA: Nylon), politetrafluoretilena (PTFE: Teflon). Polimerii organici au proprietăți fizice variate (sticla organică, cauciucurile...). Polimerii organici, în mod curent, sunt izolanți electrici și termici. Sunt ușor de turnat în forme și, contrar metalelor, ei sunt puțin rigizi și nu suportă, pentru mult timp, temperaturi mai mari de 200°C .

Materialele ceramice sunt materiale anorganice care rezultă din combinarea unui anumit număr de elemente metalice (Mg, Al, Fe...) cu alte elemente nemetalice, cel mai uzual fiind oxigenul. Inițial, termenul de ceramică a fost rezervat oxizilor (silicele SiO_2 , alumina Al_2O_3 ...). Există din ce în ce mai mult tendința de a lărgi această clasificare incluzând și alte combinații de atomi cum ar fi carbura de tungsten (WC) sau nitrura de siliciu (Si_3N_4).

Materialele ceramice se disting prin caracterul lor refractar, ceea ce înseamnă că au rezistență mecanică și termică ridicată. În cea mai mare parte, aceste materiale sunt izolanți electrici și termici, deși printre ceramice se găsesc și cele mai bune conductoare termice (diamantul, grafitul etc.). Ceramicile sunt în general foarte dure și fragile. Sticlele minerale, care sunt combinații de oxizi ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$) cu structură amorfă, aparțin de asemenea clasei de materiale ceramice.

Cele trei tipuri de materiale pot fi combinate pentru a forma **materialele compozite**. Un material compozit este format din două sau mai multe materiale diferite care combină în mod sinergetic proprietățile lor specifice. Este cazul rășinilor epoxidice (polimeri) întărite cu fibre de sticlă, care formează un compozit ușor și cu mare rezistență mecanică. Betonul, amestecul de ciment, pietriș și apă, reprezintă un alt exemplu de material compozit.

Împărțirea materialelor în trei clase principale, bazată adesea pe caracteristicile atomice, structurale și pe proprietăți, este comodă dar, ea prezintă un anumit caracter arbitrar. Astfel, diamantul, care poate fi considerat un polimer tridimensional, este un material organic din moment ce el este compus din atomi de carbon. Totuși, duritatea și proprietățile sale mecanice îl leagă mai degrabă de ceramice. La fel, conductivitatea electrică nu este numai apanajul metalelor deoarece anumiți oxizi (VO_2 , un material ceramic) și câțiva polimeri organici sunt conductoare electrice.

Materialele au definit în toate timpurile nivelul de dezvoltare al civilizației noastre. Astăzi, acestea joacă un rol determinant în toate *mutațiile tehnologice*. Oricare ar fi specialitatea inginerului, el nu poate nici să conceapă, nici să construiască noi obiecte fără să țină cont de comportamentul materialelor, întrucât proprietățile lor limitează, adesea, performanțele mașinilor și echipamentelor din care fac parte.

Evoluția tehnicii este, în general, limitată de capacitatea materialelor de a răspunde la solicitările exterioare. Pentru un inginer este primordială cunoașterea nivelului de performanță pe care îl poate atinge materialul. Pentru aceasta, trebuie cunoscute proprietățile caracteristice materialului în cauză.

O clasificare generală a proprietăților materialelor este prezentată sintetic în figura 3.1.

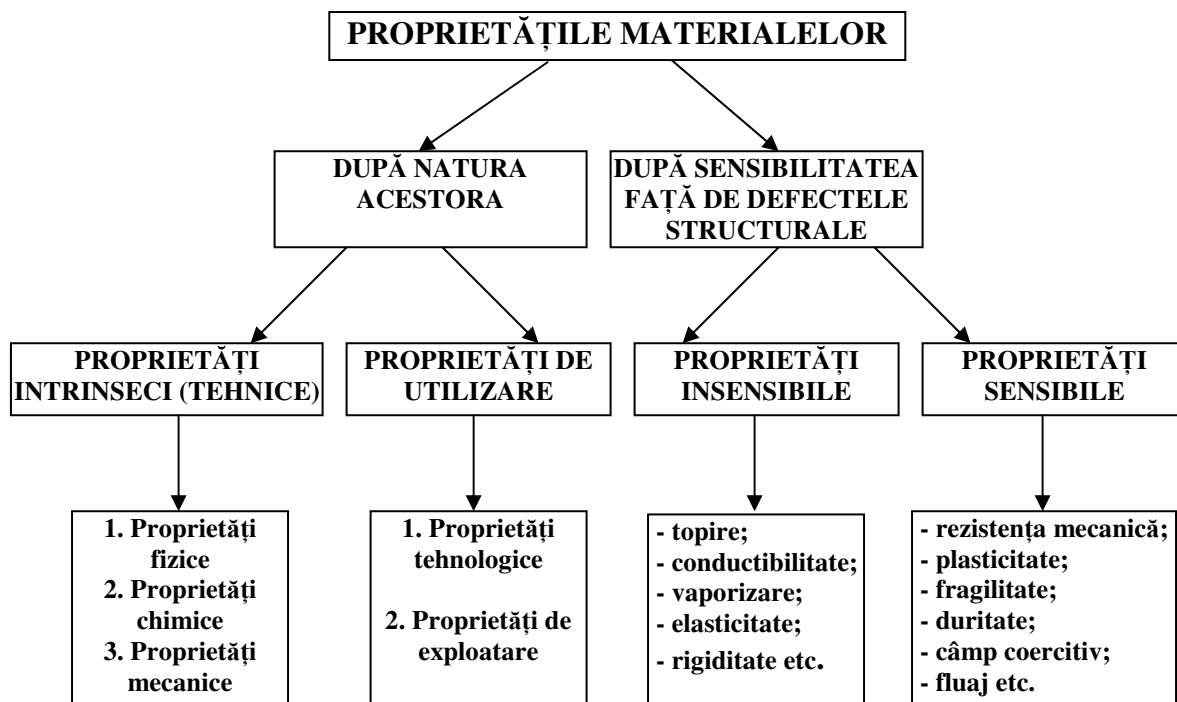


Fig.3.1. Clasificarea proprietăților materialelor

Realizarea proiectelor concepute de un inginer este adesea limitată de proprietățile materialelor disponibile. Orice progres tehnologic important este aproape tot timpul legat de dezvoltarea materialelor dotate cu proprietăți îmbunătățite sau de noile materiale. Astfel, se știe că este posibilă creșterea substanțială a randamentului energetic al turbinelor pe gaz și al motoarelor diesel prin funcționarea lor la temperatură foarte ridicată. Punerea la punct a acestor

motoare performante este condiționată de obținerea noilor aliaje metalice sau a noilor ceramice care să reziste la temperaturi ridicate.

3.2. PROPRIETĂȚILE TEHNICE ALE MATERIALELOR

Materialele metalice prezintă particularități față de celelalte materiale și se disting prin structura cristalină și ductilitatea lor, în opoziție cu ceramicele care sunt, în general, cristaline și uneori amorfе, dar neductile și cu polimerii care sunt, în general, amorfі și uneori semicristalini, ductili, dar neregenerabili printr-un tratament termic fără a-și schimba forma, ca la recristalizarea metalelor. Datorită acestui fapt, materialele metalice rămân de primă importanță pentru inginerie. De aceea majoritatea proprietăților tehnice evidențiate se referă în special la materialele metalice.

Comportamentul unui material este caracterizat de reacția sa la o solicitare.

Proprietatea unui material se definește ca fiind măsura comportamentului său la o încercare. După tipul de solicitări exterioare se pot distinge trei categorii de proprietăți:

- **proprietățile fizice** care măsoară comportamentul materialelor supuse la acțiunea temperaturii, a luminii și a câmpurilor electrice sau magnetice;
- **proprietățile chimice** care caracterizează comportamentul materialelor supuse la un mediu ambiant mai mult sau mai puțin agresiv.
- **proprietățile mecanice** care reflectă comportamentul materialelor deformate de sistemele de forțe;

Anumite proprietăți derivă direct din aranjarea atomilor și din natura legăturilor. Este cazul opacității metalelor, a transparenței sticlelor sau a extensibilității cauciucurilor.

Într-un număr mare de cazuri, structura internă a materialelor este compusă din grăunți sau particule de mărime microscopică, cu o morfologie determinată care constituie **microstructura**. Un număr important de proprietăți fizice, chimice și mecanice ale materialelor depind strict de această microstructură.

3.2.1. Proprietățile fizice

În acest paragraf sunt prezentate cele mai importante proprietăți fizice.

3.2.1.1. Proprietăți termice

Temperatura de topire (T_t) este temperatura la care un metal pur, sub acțiunea căldurii, la presiune atmosferică, trece din stare solidă în stare lichidă. Unele metale au temperatura de topire ridicată, de unde și dimensiunea lor de refractare, precum: wolframul cu $T_t = 3410^{\circ}\text{C}$, tantalul cu $T_t = 3000^{\circ}\text{C}$, molibdenul cu $T_t = 2620^{\circ}\text{C}$; altele au temperaturi de topire joase, precum: staniul cu $T_t = 231^{\circ}\text{C}$, plumbul cu $T_t = 327^{\circ}\text{C}$, cadmiul cu $T_t = 321^{\circ}\text{C}$;

Greutatea specifică ($\gamma = \frac{G}{V}$) este greutatea unității de volum a materialului respectiv, exprimată în N/m^3 sau kgf/dm^3 . Există *metale grele* precum wolframul, cu $\gamma = 19,3 \text{ kgf/dm}^3$, aurul, cu $\gamma = 19,32 \text{ kgf/dm}^3$, platina, cu $\gamma = 21,45 \text{ kgf/dm}^3$ și *metale ușoare* precum aluminiul, cu $\gamma = 2,7 \text{ kgf/dm}^3$, magneziul, cu $\gamma = 1,74 \text{ kgf/dm}^3$.

Dilatate termică (dilatabilitatea) este proprietatea materialelor de a-și varia dimensiunile (lungime, suprafață, volum) la modificarea temperaturii lor.

Coefficientul de dilatare termică liniară reprezintă variația lungimii unei bare datorită variației temperaturii, raportată la lungimea inițială a barei:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{dt} \quad [\text{grad}^{-1}] \quad (3.1)$$

Pentru materialele omogene și izotrope, cunoscând α , coeficienții de dilatație superficială (β) și volumică (γ) pot fi calculați cu formulele aproximative:

$$\beta = 2\alpha; \quad \gamma = 3\alpha \quad (3.2)$$

În comparație cu celelalte materiale, metalele au coeficienți de dilatare relativi mari. Astfel, coeficientul de dilatare liniară pentru fier este $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}^0\text{C}$, pentru aluminiu $23,9 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}^0\text{C}$.

Un exemplu de dilatare termică a metalelor îl prezintă conductoarele electrice din rețelele de distribuție, care iarna sunt foarte întinse, iar vara au o săgeată destul de pronunțată.

Dilatarea termică în lungime se calculează ținând cont de coeficientul de dilatare liniară al materialului din care este executat corpul respectiv.

Determinarea dilatării termice se face încălzind epruveta care are o lungime l_0 cunoscută și măsurând apoi creșterea în lungime Δl , care corespunde la o creștere a temperaturii Δt .

Creșterea lungimii se exprimă prin relația:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \Delta t \quad (3.3)$$

Lungimea totală a corpului dilatat va fi:

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad (3.4)$$

Pentru un anumit metal, dilatarea este cu atât mai mare cu cât dimensiunea piesei și temperatura la care este supus sunt mai mari.

Conductibilitatea termică este proprietatea materialelor de a transmite căldura prin propagare de la o particulă la alta. Ea se apreciază prin *coeficientul de conductibilitate termică* care reprezintă cantitatea de căldură transmisă în unitatea de timp, prin unitatea de suprafață (așezată perpendicular pe direcția fluxului termic), sub un gradient de temperatură egal cu unitatea.

Metalele cele mai bune conducătoare de căldură sunt argintul, cuprul, aluminiul.

3.2.1.2. Proprietăți electrice

Conductibilitatea electrică este proprietatea materialelor de a conduce curentul electric și se exprimă în $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$. În general, materialele conducătoare de căldură sunt și bune conducătoare de electricitate.

Dintre metale, argintul are cea mai bună conductibilitate electrică la temperatură obișnuită.

Rezistivitatea electrică este proprietatea materialelor de a se opune trecerii curentului electric și se exprimă în $\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$.

Permitivitatea relativă ϵ_r caracterizează starea de polarizație electrică a corpurilor și se determină valoric cu relația:

$$\epsilon_r = \frac{C_d}{C_0}, \quad (3.5)$$

unde C_d reprezintă capacitatea condensatorului (de obicei plan) care are ca dielectric materialul studiat, iar C_0 capacitatea aceluiași condensator având ca dielectric aerul. Ia valori cuprinse între 1 (pentru gaze) și 10^{-3} (pentru materiale feroelectrice).

Rigiditatea dielectrică E_{str} reprezintă valoarea minimă a intensității câmpului electric pentru care materialul se străpunge. Se calculează prin raportul dintre tensiunea U_{str} la care are

loc străpungerea corpului (în câmp uniform) și distanța d dintre electrozii între care se află corpul:

$$E_{\text{str}} = \frac{U_{\text{str}}}{d} \quad [\text{V/m}] \quad (3.6)$$

Cum practic, nu se pot obține întotdeauna câmpuri electrice uniforme, mărimea E_{str} astfel calculată reprezintă rigiditatea dielectrică tehnică și se ia în considerare numai dacă se menționează și condițiile fizice în care a fost determinată. Ia valori de ordinul unităților de MV/m, în cazul materialelor poroase și 100...300 MV/m pentru sticlă, mică, folii sintetice etc.

Factorul de pierderi $\text{tg}\delta$ caracterizează mărimea pierderilor totale de energie în dielectrice (materiale izolante), datorită polarizației, conducției și descărcărilor electrice.

Unghiul de pierderi dielectrice δ , al unui material izolant, este unghiul complementar unghiului de defazaj (φ) dintre tensiunea aplicată U și curentul total I , când dielectricul condensatorului este compus exclusiv din acest material.

Pentru un condensator cu dielectric ideal, diferența de fază, dintre curentul I_i și tensiunea U , este de $\pi/2$.

Pentru un condensator cu pierderi, decalarea curentului este mai mică de $\pi/2$, datorită atât efectului de polarizare electrică, cât și curenților de conducție și curenților de suprafață (fig.3.2).

Prin urmare, factorul de pierderi dielectrice ($\text{tg}\delta$), al unui material electroizolant, reprezintă tangenta unghiului complementar celui de defazaj dintre tensiune și curent, în cazul unui condensator real.

Pentru materialele uzuale $\text{tg}\delta$ ia valori cuprinse între 10^{-4} și 10^{-1} .

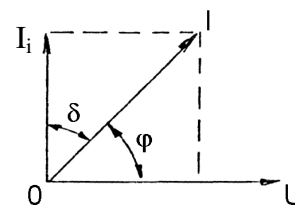


Fig. 3.2. Defazajul între curent și tensiune pentru un condensator

3.2.1.3. Proprietăți magnetice

Magnetismul este proprietatea unor materiale de a se magnetiza în câmp magnetic. După modul în care își păstrează sau nu, într-o măsură suficientă starea de magnetizare (la anularea câmpului magnetizant), materialele magnetice se împart în materiale magnetice moi (când nu rămân magnetizate după anularea câmpului magnetizant) și materiale magnetice dure (când rămân magnetizate după anularea câmpului magnetizant).

Câmpul coercitiv H_c reprezintă valoarea intensității câmpului magnetic pentru care inducția magnetică a unui corp magnetizat în prealabil se anulează (fig. 3.3). Valorile sale (între 0,1 A/m și 30 MA/m) depind de structura, compoziția chimică, anizotropia și dimensiunile particulelor constituente ale corpului, de solicitările mecanice și termice la care acesta a fost supus etc.

Inducția de saturație B_s reprezintă valoarea pe care o ia inducția magnetică atunci când magnetizația corpului M a atins valoarea de saturație M_s . Ia valori între 0,2 și 2,5 T și scade cu temperatura, conținutul de impurități și starea de tensionare a corpului.

Inducția remanentă B_r reprezintă valoarea inducției magnetice care persistă în corpul magnetizat în prealabil la saturație după anularea câmpului magnetizant. Depinde de aceiași parametri ca și câmpul coercitiv și poate ajunge până la 95% din valoarea inducției de saturație.

Indicele de calitate $(BH)_{\text{max}}$ se definește ca valoarea maximă a produsului dintre inducția magnetică și intensitatea câmpului magnetic și este proporțional cu densitatea de energie magnetică înmagazinată de corp în cursul procesului de magnetizare și se exprimă în J/m^3 . Materialele cu valori mari pentru $(BH)_{\text{max}}$ (până la 300 kJ/m^3) se utilizează la fabricarea magneților permanenți.

Permeabilitatea magnetică relativă statică (totală) μ_r reprezintă raportul dintre inducția magnetică B și intensitatea câmpului magnetic H multiplicată cu permeabilitatea magnetică a vidului μ_0 :

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}. \quad (3.7)$$

Permeabilitatea magnetică relativă reversibilă $\mu_{r,rev}$ se definește (fig. 3.3) prin relația:

$$\mu_{r,rev} = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta B}{\mu_0 \cdot \Delta H} \right) \quad (3.8)$$

Dacă din punctul P al caracteristicii de primă magnetizare (fig. 3.3) se scade câmpul cu ΔH și apoi, se crește la valoarea inițială, se parcurge un ciclu de histerezis foarte îngust, care se poate confunda cu dreapta PP' (numită dreaptă sau ciclu de revenire), mai puțin înclinată față de axa OH decât tangenta în punctul P la caracteristica de primă magnetizare.

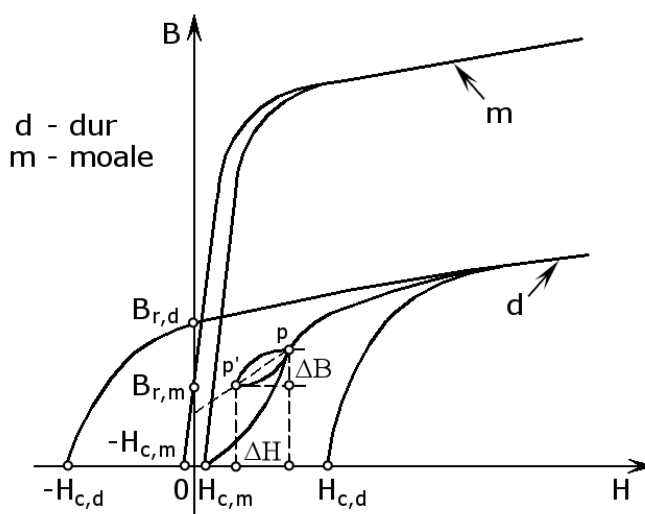


Fig. 3.3. Cicluri de magnetizare pentru materiale magnetice moi (m) și dure (n)

Această transformare reversibilă este caracterizată prin $\mu_{r,rev}$ ale cărei valori, cuprinse între 2 și 7, prezintă o importanță deosebită în cazul magnetizării corpurilor în câmpuri alternative.

3.2.2. Proprietățile chimice

Compatibilitatea reprezintă proprietatea materialelor de a coexista într-un ansamblu de materiale fără a-și degrada reciproc proprietățile.

Coroziunea reprezintă acțiunea distructivă, chimică sau electrochimică, pe care o serie de agenți corozivi ai mediului (oxigenul, apa, acizii etc.) o exercită asupra corpurilor. Din acest punct de vedere, sensibilitatea unui material depinde de natura și gradul său de puritate, de natura și concentrația impurităților pe care le conține, precum și de caracteristicile agenților activi conținuți în mediile cu care materialul vine în contact.

Coroziunea chimică apare în gaze uscate sau în lichide neconductoare. În atmosferă obișnuită agentul corodant cel mai important este oxigenul care formează la suprafața metalelor peliculele de oxizi. Dacă peliculele formate sunt poroase, oxigenul pătrunde prin ele și atacă, în continuare, metalul până la distrugerea completă a acestuia (cum este cazul wolframului la

temperaturi ridicate). Dacă însă pelicula este compactă, fără fisuri și cu coeficient de dilatație liniară apropiat de cel al metalului corodat, aceasta împiedică pătrunderea oxigenului în metal și deci desfășurarea procesului de coroziune. Asemenea tipuri de pelicule formează Cd, Al, Pb, Sn, Cu etc., la temperatura camerei, iar Cr, Ni, la temperaturi ridicate etc.

Coroziunea electrochimică apare, în general, la contactul dintre două metale în prezența unui electrolit. Apa cu care metalele vin în contact conține, de obicei, impurități (acizi, săruri etc.) și constituie un electrolit a cărui concentrație poate diferi de la un punct al suprafeței corpului la altul. Se pot forma astfel pile electrice macroscopice (dacă în contact cu electrolitul se află două metale) sau microscopice (dacă concentrația electrolitului este neuniformă sau dacă suprafața metalului conține impurități). În primul caz se distruge metalul cu *potențial de electrod standard* mai scăzut, iar în cel de-al doilea caz se distruge metalul în cauză. De exemplu, în cazul contactului Cu-Al se va distruge, prin coroziune electrochimică, piesa de aluminiu, care are potențialul de electrod standard de $-1,66\text{V}$ față de cel al cuprului de $0,345\text{V}$.

Potențialul de electrod normal reprezintă diferența de potențial care apare între un metal și o soluție apoasă a unei sări a acestuia care cuprinde un echivalent gram de ioni activi la litru. Valoarea potențialului de electrod normal depinde de natura metalului și a electrolitului, de conținutul de impurități din metal, de starea suprafețelor etc.

Dacă se măsoară valoarea potențialului normal față de potențialul de electrod normal al hidrogenului se obține potențialul de electrod standard. Potențialul standard al aliajelor depinde de compoziția și natura metalelor componente.

Deoarece numai un număr relativ redus de elemente sunt necorodabile (Au, Pt, Ag etc.), în aplicațiile tehnice se iau măsuri speciale de protecție a metalelor împotriva coroziunii. În acest sens, fie se reduce agresivitatea mediului ambiant (prin utilizarea unor soluții alcaline, a amoniacului, inhibitorilor etc.), fie se mărește rezistența corpurilor la acțiunea coroziunii.

Mărirea rezistenței metalelor la coroziune, se realizează prin acoperirea acestora cu materiale necorodabile. *Acoperirile nemetalice* se realizează cu materiale anorganice (oxizi, silicați), lacuri nehigroscopice (bitumuri etc.), pelicule de email (care conțin amestecuri de silicați, borați etc.). *Acoperirile metalice* se realizează cu Sn, Zn, Cu, Cr pentru materiale feroase și cu Ni, Ag, Au etc. pentru materiale neferoase și pot avea caracter *catodic* (când, la apariția coroziunii, se distruge elementul de protejat) sau *anodic* (când este atacat stratul protector fig. 3.4). Executarea acoperirilor metalice se face prin cufundarea pieselor de protejat în băi care conțin metalul de acoperit în stare topită (Zn, Al, Cd, Pb etc.), prin galvanizare (Al, Ag, Au, Cd, Cr, Ni, Pb, W etc.), prin difuzia metalului de protecție la temperaturi ridicate (B, Cr, Zn etc.), prin pulverizarea metalului de protecție (Al, Zn, Cu, Pb etc.), prin placare (prin laminare, sudare, presare) etc.

Dacă corpurile se utilizează la temperaturi înalte, se fac acoperiri cu Al_2O_3 , ZnO_2 , SiO_2 , compuși metalo-ceramici etc. De asemenea, se efectuează acoperiri pe bază de ciment, prin nitrurări sau fosfatări electrostatice și prin electroforeză etc.

Refractaritatea este proprietatea metalelor și aliajelor de a-și menține rezistența mecanică la temperaturi înalte și de a nu forma la suprafața lor un strat de oxizi metalici.

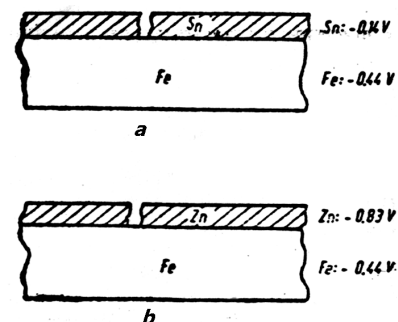


Fig. 3.4. Acoperiri metalice cu caracter catodic (a) și anodic (b)

3.2.3. Proprietățile mecanice

Ele pot fi *statice*, când sarcina se aplică lent și progresiv sau *dinamice*, când sarcina se aplică brusc. De asemenea, ele pot reflecta proprietăți în condiții normale de temperatură sau în condiții diferite, cum sunt temperaturile joase sau temperaturile înalte. În continuare se prezintă cele mai importante proprietăți mecanice.

Rezistența mecanică reprezintă proprietatea metalelor de a rezista la solicitări mecanice de întindere, compresiune, încovoiere, forfecare, răsucire sau solicitări combinate.

În urma deformării unui corp, se vor modifica distanțele și forțele interatomice. În corpul deformat vor apare forțe interioare suplimentare, care se opun deformării acestuia.

În calculele din rezistența materialelor și teoria elasticității se presupune că forțele interioare din corpul nedeformat sunt nule (ipoteza stării naturale).

Dacă se secționează un corp și se consideră un element de suprafață, ΔA , construit în jurul unui punct B aparținând secțiunii, asupra acestuia vor acționa forțe distribuite, a căror rezultantă va fi $\Delta \bar{F}$. Ea va acționa în centrul de greutate al elementului ΔA .

Se poate astfel defini *tensiunea medie totală* sau *efortul mediu total* pe suprafața ΔA , ca fiind:

$$\bar{p}_m = \frac{\Delta \bar{F}}{\Delta A}. \quad (3.9)$$

Limita acestui raport, pentru ΔA tinzând la zero, se numește *tensiune totală* sau *efort unitar total* în punctul B :

$$\bar{p} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{F}}{\Delta A}. \quad (3.10)$$

Tensiunea totală \bar{p} este un vector, ca și forța $\Delta \bar{F}$ din care s-a dedus. Acești vectori au același punct de aplicație și aceeași direcție. Se observă însă că tensiunea totală \bar{p} este determinată atât de mărimea forței elementare $\Delta \bar{F}$, cât și de orientarea elementului de suprafață ΔA .

Unei orientări particulare a elementului de suprafață, ce conține punctul B , îi corespunde o tensiune totală \bar{p} , cu mărimea și direcția bine determinate.

În consecință, tensiunea \bar{p} reprezintă o noțiune mai complexă decât cea vectorială, care se numește mărime tensorială.

Tensiunea totală \bar{p} , pentru o orientare dată a elementului de suprafață ΔA , poate fi descompusă într-o componentă normală la secțiune, numită *tensiune normală* $\bar{\sigma}$ și una conținută în planul secțiunii numită *tensiune tangențială* $\bar{\tau}$. Între aceste tensiuni există relația (fig.3.5):

$$p^2 = \tau^2 + \sigma^2. \quad (3.11)$$

Tensiunile p , τ și σ reprezintă forțe raportate la unitatea de suprafață și se măsoară deci în unități de presiune [Pa].

Tensiunilor normale σ le corespund deformații specifice liniare ε date de relația:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (3.12)$$

în care: Δl este deformația absolută ($\Delta l = l - l_0$), l este lungimea după deformare, iar l_0 este lungimea inițială.

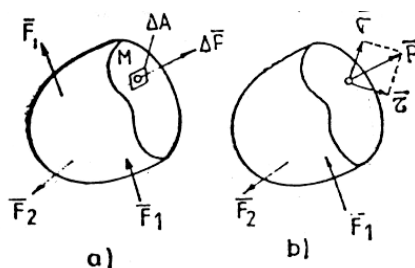


Fig. 3.5. Tensiunea medie și tensiunea totală

Legătura între σ și ε este dată de legea lui Hooke, valabilă numai în limita de elasticitate:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3.13)$$

în care E este modulul de elasticitate longitudinal (modulul lui Young).

Tensiunilor tangențiale τ le corespund deformațiile specifice unghiulare γ . În conformitate cu figura 3.6 deformația unghiulară se exprimă cu relația:

$$\gamma = \frac{x}{h} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.14)$$

în care: x este deplasarea elementului liniei de rețea AB ca urmare a efortului exterior τ , α este unghiul de alunecare, iar h reprezintă distanța față de elementul de rețea OC , paralel și egal cu AB .

Legătura între τ și γ este dată de relația:

$$\tau = \tau G, \quad (3.15)$$

În care G este modulul de elasticitate transversal.

Considerăm că efortul se aplică normal pe suprafață și că, prin urmare nu vom avea tensiuni tangențiale și deformații unghiulare.

În figura 3.7 se indică dependența dintre tensiunea normală σ și alungirea specifică ε a materialului. Pentru valori $\sigma \in [0, \sigma_p]$

tensiunea variază liniar cu alungirea specifică, porțiunea numindu-se „de proporționalitate”. În această regiune comportarea materialului este elastică, respectându-se legea lui Hooke dată de relația (3.13).

Porțiunii PQ a curbei îi corespunde o comportare plastică a materialului, în această zonă putând să apară sau nu și limita de curgere σ_c . *Starea de curgere* este starea în care materialul se deformează când tensiunea rămâne aproximativ constantă. Nu toate materialele prezintă această stare.

Unele materiale prezintă apoi o porțiune QB în care σ crește sensibil cu ε (de obicei mai încet decât pe porțiunea OP); structura lor a devenit, în acest caz, o *structură tare, ecrusată*, în care grăunții cristalini ai materialului au o formă alungită și care conferă acestuia calități mecanice superioare. La o valoare maximă σ_r a tensiunii, corespunzătoare punctului B , materialul se rupe; mărimea σ_r se numește *rezistența de rupere a materialului* și depinde de natura sa. Dacă efortul unitar crește peste σ_c , până la o valoare corespunzătoare unui punct Q , de pe porțiunea CB și apoi se suprimă tensiunea, punctul reprezentativ parcurge dreapta (punctată) $Q\varepsilon_r$ și bara rămâne cu o deformare permanentă ε_r (deformare remanentă).

Elasticitatea se definește ca proprietatea materialelor de a se deforma sub acțiunea forțelor exterioare și de a reveni la forma lor inițială, după ce solicitarea, care a produs deformația și-a încetat acțiunea. În mod convențional, a fost denumită drept limită de elasticitate, valoarea tensiunii la care deformația specifică remanentă este $0,001 \div 0,03\%$, când este valabilă relația (3.13).

Rigiditatea se definește ca proprietatea materialelor de a se opune deformațiilor elastice, contrară elasticității. Măsurarea ei se face prin modulul de elasticitate, din relația $\sigma = E \cdot \varepsilon$; se observă că R este cu atât mai mare cu cât ε este mai mic.

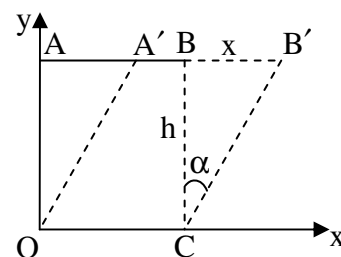


Fig. 3.6 Reprezentarea mărimilor care definesc deformația unghiulară

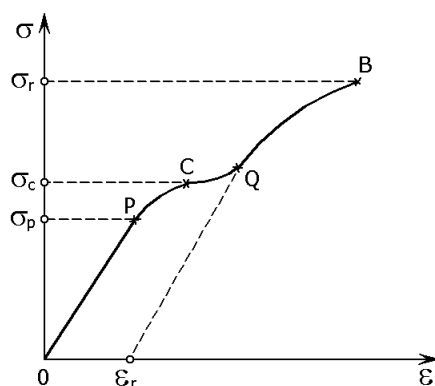


Fig. 3.7. Dependența tensiunii normale σ de deformația specifică ε

Modificări ale valorii lui R , în mică măsură și mai semnificative pentru ε , se pot aduce prin prelucrări tehnologice specifice: turnare, deformare plastică, tratamente termice.

Plasticitatea se definește ca proprietatea materialelor de a se deforma sub acțiunea unor forțe exterioare, fără să-și mai recapete dimensiunile inițiale, după ce forțele exterioare se elimină.

În figura 3.8 se prezintă variația dintre tensiunea normală și deformația specifică pentru oțel, unde se observă că la solicitări superioare limitei de elasticitate, la un moment dat, la creșteri mici ale tensiunii corespund creșteri mari ale deformației; se înregistrează deci un fenomen de curgere al materialului. Acest moment s-a numit *limita de curgere* σ_c și are valoarea tensiunii peste care deformațiile specifice permanente sunt mai mari de 0,2%.

La solicitări și mai mari σ_r , materialul se rupe. Din figură se deprinde faptul că deformația totală însumează atât pe cea elastică cât și pe cea plastică. La prelucrările prin deformare plastică ale metalelor, deformația plastică este mult superioară celei elastice.

Tenacitatea este proprietatea materialelor de a acumula o energie mare de deformație până la rupere. Materialele tenace se rup numai după ce înregistrează deformații mari.

Ea poate fi statică sau dinamică, după cum sunt solicitările care acționează.

Ca măsură a tenacității dinamice s-a introdus reziliența:

$$K = \frac{L}{A}, \quad (3.16)$$

în care:

L = lucrul mecanic de rupere prin șoc și dintr-o singură lovitură

A = aria secțiunii inițiale în zona de rupere a unei epruvete, fără sau cu amorsă în formă de creștătură. Se folosesc epruvete cu creștătură în U sau în V.

Tenacitatea este influențată negativ, la oțeluri și fonte, de temperaturile mai scăzute, adică sub 0°C .

Duritatea se definește convențional în funcție de metodele utilizate pentru măsurarea ei: Brinell, Vickers, Rockwell, Martens, Shore, Poldi. Ea caracterizează capacitatea straturilor superficiale, ale materialului, de a rezista la eforturi de compresiune transmise prin corpuri de dimensiuni mici (din oțel sau diamant).

Factorii determinanți pentru duritate sunt: compoziția chimică a materialului, structura lui, felul solicitării (statice sau dinamice). Duritatea este determinantă pentru rezistența la uzură și de aderență la frecare. Ea poate fi determinată static (metodele Brinell, Vickers, Rockwell, Martens) sau dinamic (metodele Shore, Poldi) și permite obținerea mai rapidă a unora din caracteristicile materialelor cu operativitate și fără distrugere. Metodele de încercare a durității variază în funcție de forma și materialul penetratorului și modul de aplicare a sarcinilor asupra piesei de încercat.

Metoda Brinell, este cea mai utilizată. Prin această metodă (fig. 3.9), duritatea se măsoară prin aplicarea statică a unei forțe P , cu ajutorul unui penetrator sferic (bilă de oțel) de diametru D , pe suprafața lustruită a epruvetei. După înlăturarea sarcinii P , pe epruvetă rămâne o urmă sub forma unei calote

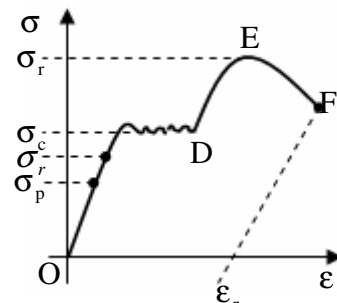


Fig. 3.8. Variația dintre deformație și tensiune

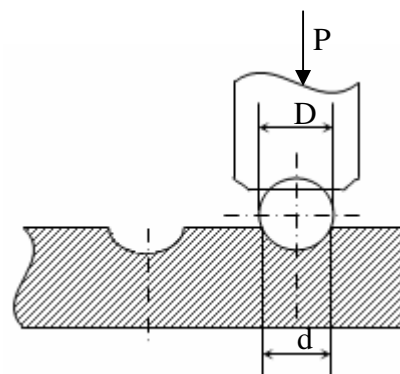


Fig. 3.9. Principiul metodei Brinell

sferice cu baza de diametru d . Duritatea Brinell, HB, este definită ca raport între mărimea forței P , de apăsare și aria urmei lăsate de bilă pe placa de încercat:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{kgf/mm}^2] \quad (3.17)$$

unde: A- aria urmei sferice, în mm^2 ; F- sarcina care apasă pe bilă, în kgf, D- diametrul bilei, în mm; d- diametrul urmei, în mm.

Diametrele bilelor sunt standardizate și au valori de 10,5 sau 2,5 mm. Sarcina F se aplică în mod lent și se menține timp de 15s.

Metoda Martens sau metoda prin zgâriere constă în purtarea unui vârf de diamant cu unghiul de vârf de 90° pe suprafața plană a epruvetei, cu o forță de apăsare care se poate măsura. Pentru măsurarea durității se determină lățimea zgârieturii la diferite sarcini.

Metoda Vickers se deosebește de metoda Brinell prin înlocuirea bilei de oțel cu o piramidă de diamant, cu unghiul diedru al fețelor de 136° . Cifra HV se determină calculându-se raportul dintre sarcina cu care s-a apăsat și suprafața laterală a urmei lăsate de piramidă pe suprafața piesei încercate. Această metodă se folosește pentru piese cu suprafețe foarte dure.

La metoda Rockwell se măsoară adâncimea de pătrundere în material a unui vârf conic de diamant sau a unei bile de oțel sub o anumită creștere de sarcină. Duritatea se citește pe cadranul aparatului care are două scale notate cu B și C.

Metoda Poldi constă în lovirea cu un ciocan a unei bare așezate deasupra unei bile de oțel, sprijinită pe suprafața piesei de încercat. Bara este executată dintr-un material a cărui duritate este cunoscută.

Datorită șocului loviturii date cu ciocanul, bila se imprimă atât în suprafața piesei de încercat, cât și în suprafața barei. Cu ajutorul diametrelor urmelor imprimate pe bară și pe piesă se determină duritatea suprafeței încercate.

Metoda Shore constă din căderea liberă a unui berbec mic cu vârf de diamant, într-un tub de sticlă, de la o înălțime dată, pe suprafața orizontală a epruvetei. Mărimea durității HS este egală cu înălțimea reculului berbecului, care poate fi citită direct pe o scală, determinată empiric.

Fluaj se definește ca proprietatea unor materiale de a se deforma în timp, lent și continuu, sub acțiunea unor sarcini constante, de lungă durată (ani).

Sub acțiunea unor sarcini continui, chiar dacă $\sigma \leq \sigma_c$, componenta permanentă a deformației elastice crește, iar deformația totală va fi permanentă. Cu toate că la temperatura mediului ambiant deformarea plastică la fluaj este mică, ea crește o dată cu temperatura. Această creștere este mai pronunțată dacă $\frac{\theta}{\theta_t} > 0,4$, unde θ este temperatura la care se face încercarea la

fluaj, iar θ_t este temperatura de topire.

Reprezentarea grafică a rezistenței la fluaj se face în funcție de timp și deformația specifică, ca în figura 3.10. În această figură cele trei curbe corespund următoarelor cazuri:

- curba *a* corespunde unui t de valoare mare și σ de valoare mare;
- curba *b* corespunde unui t de valoare mică și σ de valoare mare;
- curba *c* corespunde unui t de valoare mare și σ de valoare mică.

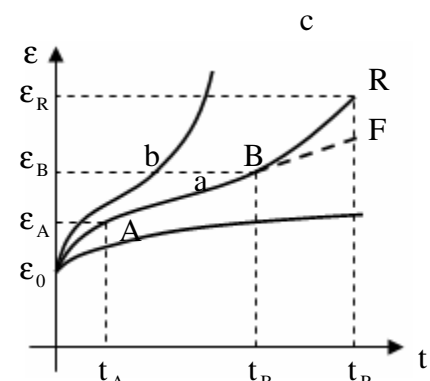


Fig. 3.10. Rezistența la fluaj

Rezistența la oboseală este proprietatea materialelor de a rezista la acțiunea unor sollicitări variabile repetate, adică ciclice. Oboseala este pusă în evidență atunci când asupra unei piese din materialul încercat se aplică:

a) tensiuni alternative de tracțiune și de compresiune (care cresc de la zero până la valoarea maximă, apoi descresc până la zero);

b) tensiuni oscilante, numai de tracțiune sau numai de compresiune, care variază între o valoare maximă și una minimă;

c) tensiuni pulsante, care sunt tensiuni oscilante ce variază între o valoare maximă și zero.

Un ciclu reprezintă trecerea de la tensiunea maximă la cea minimă și înapoi la cea maximă; durata unui ciclu se numește perioadă, iar numărul perioadelor pe secundă se numește frecvență.

La încercările la oboseală, epruveta este supusă la un număr mare de sarcini periodice. Rezistența la oboseală se determină din diagramele Wöhler (fig. 3.11), în care pe ordonată sunt valorile tensiunilor aplicate σ , iar pe abscisă numărul de cicluri N corespunzătoare acestor valori. Cu cât tensiunile aplicate σ sunt mai mici decât rezistența la rupere σ_r , cu atât distrugerea epruvetei are loc după un număr mai mare de cicluri. De asemenea, valoarea cea mai mare a tensiunii aplicate este întotdeauna mai mică decât σ_r și reprezintă, în general, 65% σ_r .

Tensiunea la care epruveta suportă un număr foarte mare de cicluri (de ordinul a 10 milioane) reprezintă rezistența la oboseală σ_0 , în N/m^2 .

Spre deosebire de ruperea provocată de sarcinile statice, care este precedată de o deformație plastică vizibilă a metalului, ruperea provocată prin oboseală nu este precedată de nici o deformație vizibilă și prezintă două zone: o zonă exterioară, unde a apărut fisura de oboseală și o zonă interioară (centrală), cu aspect grăunțos și cu urme de degradare.

Din încercările făcute a reieșit că rezistența la oboseală a metalelor este cu atât mai mare cu cât metalul este mai curat și structura sa interioară (adică forma cristalelor) este mai omogenă.

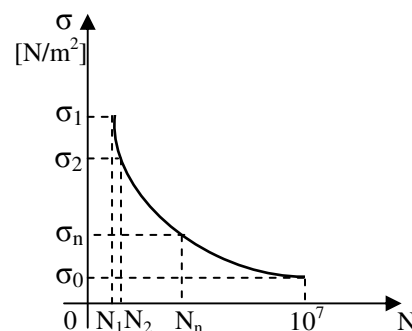


Fig. 3.11. Diagrama Wöhler

3.3. PROPRIETĂȚILE TEHNOLOGICE ALE MATERIALELOR

Acestea arată modul de comportare al materialelor la diferite procedee tehnologice de prelucrare sau formare la rece sau la cald.

Turnabilitatea sau capacitatea de turnare, este proprietatea materialelor (în special a metalelor și aliajelor metalice) de a umple în stare lichidă tot interiorul unei forme de turnare. Proprietățile de turnare sunt cu atât mai bune cu cât materialul are o compoziție mai apropiată de eutectic, punctul cu cea mai mare fluiditate. Verificarea proprietății de turnare se face cu ajutorul unei probe în formă de spirală, cu lungimea de 2000mm.

Fluiditatea se exprimă ca raport între lungimea obținută la turnare și lungimea totală a spiralei, proprietatea de turnare fiind cu atât mai bună cu cât materialul umple o lungime mai mare.

Prelucrarea prin deformare plastică la rece presupune modificări de formă și secțiuni, fără rupere.

Pentru grosimi mici se folosesc ca teste încercările la ambutisare și îndoire, iar pentru cele mari, îndoirea la rece.

Pentru table, țevi și sârme se folosesc încercări specifice.

Tablele se încearcă la ambutisare și îndoire alternată.

Sârmele se încearcă atât la îndoire alternată cât și la răsucire și înfășurare pe dorn.

Țevile se încearcă la îndoire, aplatisare, lărgire și răsfrângere.

Încercarea la aplatisare a țevelor se face între două plăci paralele, până la atingerea unei anumite cote prescrise z fără să apară crăpături și fisuri în zona deformată (figura 3.12).

Încercarea de lărgire a țevelor constă în lărgirea unui capăt de epruvetă, prin introducerea unui mandrin tronconic, până la atingerea unui diametru extern maxim impus, fără să apară crăpături sau fisuri în zona deformată.

Încercarea de răsfrângere a țevelor are scopul de a determina capacitatea metalului de a se supune unei deformații constând din îndoirea peretelui țevii cu 90° .

Metale se încearcă la îndoire și la refulare la rece și la cald. Epruveta în fiecare caz trebuie să aibă anumite dimensiuni.

Încercarea la refulare constă din turtirea cu un ciocan sau cu o presă a unei epruvete cilindrice (figura 3.13) sau prismatice de înălțime h_0 , până la o înălțime h , astfel încât pe suprafața laterală a epruvetei să nu apară fisuri, crăpături, rupturi etc.

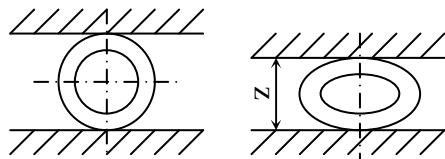


Fig. 3.12. Încercarea țevelor la aplatisare

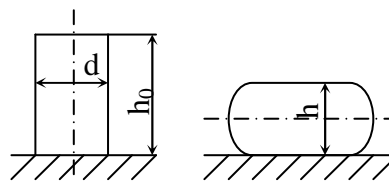


Fig. 3.13. Încercarea metalelor la refulare

Sudabilitatea este proprietatea metalelor și aliajelor de a se îmbina, prin încălzirea locală a capetelor până la starea plastică sau de topire, cu sau fără material de adaos.

Călibilitatea este proprietatea pe care o au anumite aliaje metalice de a se durifica prin încălziri și sarcini controlate, în vederea îmbunătățirii durtății, rezistenței la uzură etc.

Prelucrabilitatea prin așchiere este proprietatea materialelor (metale și aliaje) de a putea fi prelucrate prin așchiere, cu ajutorul unor scule tăietoare cu consum minim de energie și viteze optime.

Maleabilitatea semnifică proprietatea materialelor de a fi trase în foi subțiri.

Ductibilitatea este proprietatea de a putea fi trase în sârme subțiri.

CAPITOLUL 4

TEHNOLOGIA MATERIALELOR METALICE

4.1. GERALITĂȚI

Procesul tehnologic este acea parte a procesului de producție prin care se realizează anumite stadii de transformare a obiectelor muncii în produse finite, pe baza unor tehnologii de fabricație. În funcție de natura acțiunilor ce se desfășoară, procesele tehnologice pot fi: de semifabricare, de prelucrări mecanice, de tratamente termice, de control și de asamblare.

Locul de muncă reprezintă o anumită parte din spațiul de producție dotat cu mașinile-unelte, sculele, dispozitivele, verificatoarele și aparatele de măsură și control corespunzătoare efectuării operației prevăzute.

Tehnologia materialelor metalice este o știință care cuprinde totalitatea cunoștințelor actuale referitoare la metodele și procedeele de obținere a metalelor și aliajelor, de tratare fizico-chimică și de prelucrare a lor.

Proprietățile unui aliaj metalic diferă, într-o măsură mai mare sau mai mică, de proprietățile componentelor.

Tehnologia materialelor metalice este o ramură a tehnicii cu legi și finalități proprii și tendințe permanente de evoluție.

În tehnică sunt și alte ramuri care se referă la alte materiale în afara celor metalice, precum: tehnologia lemnului, tehnologia materialelor compozite, tehnologia materialelor de construcție, a produselor chimice etc.

Materialele metalice pot fi metale sau aliaje metalice.

Metalele au proprietăți bine stabilite și în general cunoscute.

Aliajele metalice sunt alcătuite din mai multe componente dintre care cel puțin una, care se găsește în proporția cea mai mare, este metal. Deși în compoziția unui aliaj apar foarte multe componente, de obicei, se consideră că aliajul este format din acele componente care se găsesc în proporții semnificative.

4.2. STRUCTURA CRISTALINĂ A MATERIALELOR METALICE

Atât metalele cât și aliajele metalice au o structură cristalină, alcătuită din atomi repartizați, în general, după o anumită legitate care se repetă tridimensional.

Rețeaua cristalină spațială, exemplificată în figura 4.1.a, se poate obține prin alăturarea mai multor celule elementare, numite celule unitate (fig. 4.1.b). Există mai multe tipuri de celule elementare, dar cele mai întâlnite sunt cele prezentate în figura 4.2, în care este schițată și dispunerea atomilor.

Majoritatea metalelor uzuale cristalizează în sistemele cubic și hexagonal, cu următoarele tipuri de rețele spațiale: cubică cu volum centrat (CVC), figura 4.2.a, cubică cu fețe centrate (CFC), figura 4.2.b și hexagonală compactă (HC), figura 4.2.c.

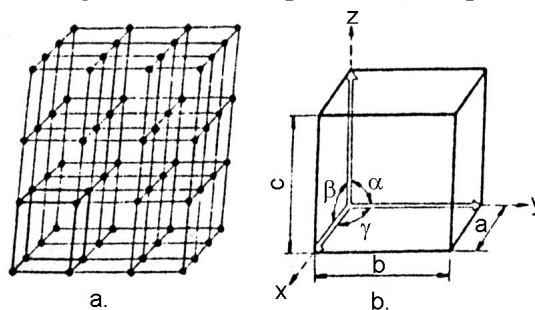


Fig. 4.1. Rețeaua spațială (a) și celula elementară (b)

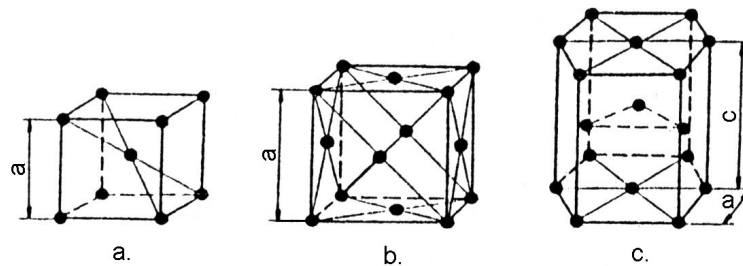


Fig. 4.2. Rețele cristaline (celule elementare) caracteristice metalelor

În realitate nu se obțin asemenea structuri perfecte decât atunci când se folosesc tehnici speciale de elaborare, iar cristalele rezultate sunt filiforme și se numesc whiskerși. La majoritatea materialelor metalice structura cristalină nu este ideală, întâlnindu-se numeroase abateri de la distribuția ordonată a atomilor. Abaterile de la structura perfectă a unui cristal se numesc imperfecțiuni sau defecte de structură. Sub aspect geometric se disting mai multe tipuri de defecte ale rețelei cristaline și anume: punctiforme, liniare, de suprafață și de volum.

4.3. FAZE ÎNTÂLNITE ÎN MATERIALELE METALICE

Prin *fază*, se înțelege o parte omogenă a unui sistem, care se caracterizează prin aceleași proprietăți fizice sau chimice și care este separată de restul sistemului prin suprafețe de separație (de exemplu, o topitură de sare are o fază solidă și alta lichidă).

Exemple:

- gazele se amestecă totdeauna perfect, deci au o fază;
- lichidele nu se amestecă totdeauna perfect, uneori prezintă suprafață de separație, dând mai multe faze;
- solidele se prezintă sub formă de constituenți metalografici solizi: metal pur, soluție solidă, compuși intermetalici care au o fază (monofazici).

Aliajele, deci și cele metalice, sunt substanțe formate din doi sau mai mulți componenți chimici, care posedă, în general, caracteristicile principale ale stării metalice și care sunt formate din una sau mai multe faze.

Examinarea aliajelor, din punctul de vedere al comportamentului fizic, se face în raport cu natura lor.

Pentru simplificare, ne vom referi la aliajele binare, formate din doi componenți pe care-i notăm cu *A* și *B*.

Dacă se introduc atomi străini într-o rețea, numiți și atomi de adaos sau de aliere, noul aranjament atomic obținut va suporta următoarele modificări:

- variația concentrației atomice;
- variația distanței dintre atomi;
- variația concentrației electronice (electroni liberi);
- apariția unor eventuale alte faze etc.

Aceste variații influențează energia internă și entropia sistemului și prin urmare energia liberă:

$$E = W - T\Delta S, \quad (4.1)$$

în care:

- W* = energia internă a sistemului;
- T* = temperatură absolută;
- S* = entropia sistemului.

Deci, dacă se adaugă atomi străini, pentru obținerea unui aliaj, aranjamentul atomic al noului sistem obținut se va ghida astfel încât sistemul să se afle într-o stare de energie liberă minimă pentru ca noua stare să fie stabilă.

În materialele metalice pot fi întâlnite una sau mai multe faze solide cum sunt: elemente chimice pure (metale pure), soluții solide și compuși chimici (faze intermediare).

Faza metal pur este alcătuită dintr-o singură specie de atomi și se caracterizează printr-o rețea cristalină specifică.

Faza soluție solidă este formată din mai multe specii de atomi amestecate intim, la scară atomică. Caracteristica de bază a soluțiilor solide o constituie faptul că pot exista într-un interval de concentrație. Structura cristalină a soluțiilor solide este identică cu structura unuia dintre elementele componente, numit component de bază; această structură conține atât atomii componentului de bază (dizolventului) cât și atomii celorlalți componenți (dizolvaților). Rezultă astfel, că o soluție solidă se obține prin pătrunderea, în rețeaua unui metal pur, a unor atomi de altă natură, numiți atomi străini sau de aliere.

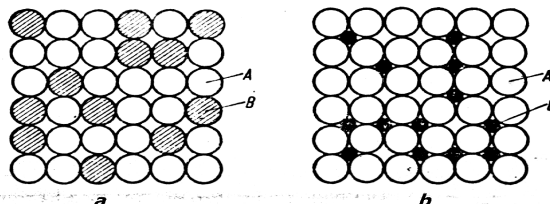


Fig. 4.3. Rețele cristaline ale soluțiilor solide: a – rețea de substituție; b – rețea interstițială

Pătrunderea atomilor străini în rețeaua componentului de bază se poate realiza fie prin substituție, fie prin întănsităție (pătrunderea în interstiții), rezultând astfel soluții solide cu *rețele de substituție*, respectiv *de inserție (interstițiale)*.

În figura 4.3 se reprezintă cele două tipuri de rețele, pentru cazul unei soluții solide binare, obținute numai atunci când metalele impuritate B (sau adaos) sunt solubile în metalul de bază A.

În cazul rețelelor de substituție, metalele componente au același sistem de cristalizare și volume atomice apropiate (diferența dintre diametrele atomilor nu depășește 15 %); metalele se aliază în orice proporții, în nodurile rețelei aflându-se atomi ai ambelor elemente.

Dintre aliajele de acest tip, se remarcă aliajele Cu-Ni, Au-Ag, W-Mo etc.

Dacă diferența dintre diametrele atomice ale metalelor de aliere depășește 15 %, se obțin soluții solide cu rețea interstițială. În acest caz, metalele nu se aliază în orice proporții ci numai până la ocuparea interstițiilor rețelei cristaline a lui A de către ionii lui B (solubilitatea este limitată). Asemenea tip de soluții formează metalele cu hidrogenul, carbonul, azotul, borul, oxigenul etc.

Faza compus chimic (faza intermetalică) se formează atunci când atomi de specii diferite se combină chimic între ei. Caracteristic pentru compușii chimici este faptul că posedă o structură cristalină diferită de cea a elementelor constitutive.

Amestecurile eutectice (mecanice) se obțin din metale insolubile unul în altul (Pb în Fe, W în Cu, Pb în Ag etc.) și prezintă o structură de natură eutectică: cristale mari ale uneia dintre componente, înecate într-un amestec de cristale foarte mici aparținând ambelor componente (numit eutectic).

Cele două metale se amestecă mecanic, componentele păstrându-și caracteristicile proprii. Drept urmare, rezistivitatea electrică a acestor aliaje are o variație liniară cu conținutul componentelor, curbele respective utilizându-se, de foarte multe ori, la determinarea structurii fizico-chimice a aliajelor.

Amestecul mecanic de cristale (eutectic și eutectoid) este format din două sau mai multe faze (bi și trifazic), după numărul de cristale diferite care intră în alcătuirea lor.

Eutectic: amestec mecanic de cristale separate la trecerea din stare lichidă în stare solidă.

Eutectoid: amestec mecanic de cristale separate în stare solidă.

4.4. DIAGrame DE ECHILIBRU PENTRU ALIAJE BINARE

Structura metalelor și aliajelor se apreciază pe baza *diagramei de echilibru structural*. Aceasta exprimă echilibrul dintre doi sau mai mulți compuși, în funcție de temperatură și concentrație, presiunea fiind constantă. Trasarea diagramei de echilibru se face cu ajutorul analizei termice, respectiv a curbelor de răcire.

Legea fazelor spune că, la presiunea obișnuită, *curba de răcire* a unui sistem poate prezenta un *palier*, când numărul fazelor depășește cu o unitate numărul componentelor sau o *deviere*, când numărul fazelor este egal cu cel al componentelor.

Conform legii fazelor, curba de răcire a unui aliaj poate prezenta:

- un *palier*, dacă:

$$n_f = n_c + 1, \quad (4.2)$$

în care:

n_f = numărul fazelor;

n_c = numărul elementelor componente;

- o *deviere*, dacă:

$$n_f = n_c \quad (4.3)$$

Când un aliaj binar are trei faze temperatura de răcire rămâne constantă, iar curba de răcire prezintă un palier (fig. 4.4, dreapta CE), la două faze schimbă direcția de răcire și curba prezintă o deviere (fig. 4.4, curba BC), iar la o fază se răcește continuu (fig. 4.4, dreptele AB, CD, AC, ED).

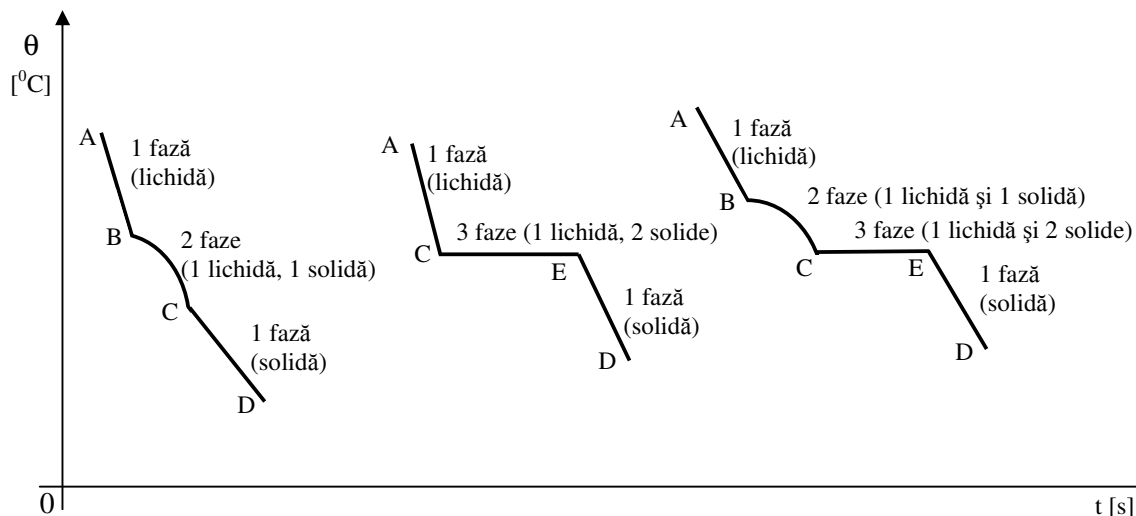


Fig. 4.4. Aspecte ale curbelor de răcire la aliajele binare

Pentru obținerea diagramei de echilibru se construiește un sistem de axe ortogonal, în care pe abscisă se reprezintă concentrația (compozițiile chimice ale aliajelor), în procente și pe ordonată temperatura, în $^{\circ}\text{C}$, presiunea constituind un factor constant, apoi, cu ajutorul curbelor de răcire, se stabilesc punctele de transformare, de început de solidificare și sfârșit de solidificare, de transformări în stare solidă. Unind punctele respective se obțin linii solidus, linii lichidus și linii de transformare în stare solidă.

În toate diagramele, linia care marchează debutul solidificării (la răcire) și sfârșitul topirii (la încălzire) se numește *linie lichidus*. Linia care marchează sfârșitul solidificării (la răcire) și debutul topirii (la încălzire) se numește *linie solidus*.

Metalul pur are o diagramă simplă. Când sistemul are două sau trei componente, atunci intervine și compoziția chimică.

Diagramele binare de echilibru (cu 2 constituenți) se pot împărți în cinci tipuri, care se referă la aliaje complet solubile în stare lichidă, după cum urmează.

Tipul I: cu componenți total solubili în stare lichidă și solidă (ex: diagrama bismut-stibiu).

Diagrama de echilibru, pentru aceste aliaje, este prezentată în figura 4.5 și are aspect de fus.

Cantitatea relativă a fazelor este dată de regula brațelor pârghiei. De exemplu, pentru temperatura θ avem:

$$\frac{l}{s} = I_0 = \frac{\text{cantitatea de lichid}}{\text{cantitatea de solid}}. \quad (4.4)$$

În figura 4.5, C_s reprezintă concentrația fazei solide, iar C_l concentrația fazei lichide, corespunzătoare temperaturi θ . La temperatura θ_l concentrația fazei solide care ar apărea ar fi C_{sl} și la temperatura θ_s concentrația fazei lichide care ar dispărea ar fi C_{ls} .

Tipul II: cu componenți total solubili în stare lichidă și insolubili în stare solidă (ex: diagrama plumb-stibiu).

Aceste materiale nu se pot solubiliza în stare solidă. Ele formează numai amestecuri mecanice. Aici fiecare component se solidifică într-un anumit interval de temperatură. Sfârșitul solidificării, însă, este pentru toate la aceeași temperatură astfel încât aliajul format se solidifică odată.

Cel mai scăzut punct de topire al tuturor aliajelor care se pot forma este punctul E. Aici temperaturile lichidus și solidus coincid. Este punctul eutectic, iar aliajul se cheamă pur eutectic; el se topește și se solidifică brusc. Deci, la punctul de eutectic lichidul separă cristale care dau amestec mecanic. Aliajele din stânga punctului E se numesc *hipoeutectice*, iar cele din dreapta acestui punct *hipereutectice*.

Pe diagramă deosebim cinci domenii:

I – aliajele sunt în stare lichidă;

II – aliajele prezintă două faze: solidă, cristale de metal A (Pb) și lichidă;

III – aliajele prezintă două faze: solidă, cristale de metal B (Sb) și lichidă;

IV – aliajele sunt solidificate și prezintă numai cristale de metal A;

V – aliajele sunt solidificate și prezintă numai cristale de metal B;

VI – aliajele sunt solidificate având metal A plus eutectic (A+B);

VII – aliajele sunt solidificate având metal B plus eutectic (A+B).

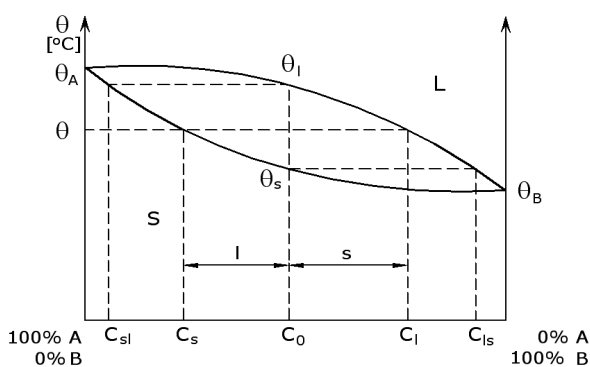


Fig. 4.5. Diagrama de tipul I

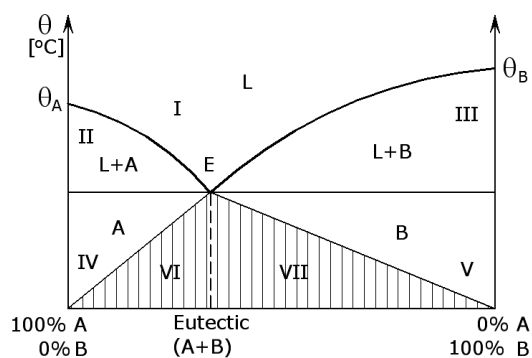


Fig. 4.6. Diagrama de tipul II

Tipul III: cu componenți total solubili în stare lichidă, la solidificare formând un compus chimic definit (ex: diagrama magneziu-plumb).

Compusul chimic este indicat pe diagramă printr-un maxim al uneia din ramurile liniei lichidus. În figura 4.7, abscisa punctului C ne dă compoziția compusului definit $PbMg_2$. El se solidifică la o anumită temperatură și are o rețea cristalină proprie. Compusul $PbMg_2$ are 81% Pb și 19% Mg, iar temperatura de topire este de $531^{\circ}C$.

Diagrama mai prezintă două puncte eutectice, (E_1 , E_2), având fiecare orizontala sa. Eutecticul E_1 are cristale de soluție solidă α plus compusul A_mB_n ($PbMg_2$). Eutecticul E_2 are cristale de metal (Pb) plus compusul A_mB_n ($PbMg_2$).

Tipul IV: cu componenți total solubili în stare lichidă și parțial solubili în stare solidă.

Este cel mai frecvent tip, deoarece cea mai mare parte dintre metale se dizolvă parțial unul în celălalt, în stare solidă. Foarte puține metale nu se dizolvă deloc, iar total se dizolvă mai rar.

În cazul diagramei de tipul IV există mai multe cazuri:

a) Metalul B se dizolvă în A numai până la o anumită concentrație, de exemplu până la 40%, formând în stare solidă soluția solidă α (fig. 4.8).

Peste 40% componenții nu mai sunt solubili în stare solidă; se vor forma, deci, cristale de metal B . Amestecul mecanic eutectic (punctul E) este format din soluția α și din cristale de metal B . Linia verticală MN , din figura 4.8, se numește linie limită de solubilizare.

b) Metalul B se dizolvă în A între două concentrații. La început se formează soluția solidă α , prin dizolvarea lui B în A . Către sfârșit se formează soluția solidă β , prin dizolvarea lui A în B (fig. 4.9). Liniile verticale, MQ și NP , sunt liniile limită de solubilizare.

În cazurile a) și b) liniile verticale (liniile limită de solubilizare) sunt drepte.

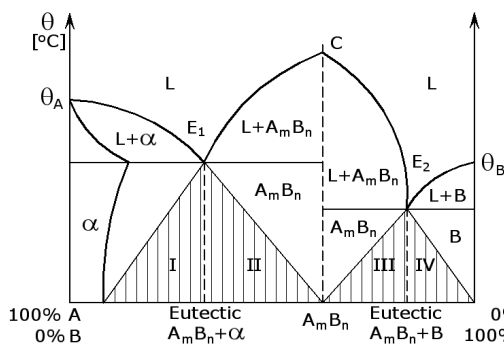


Fig. 4.7. Diagrama de tipul III

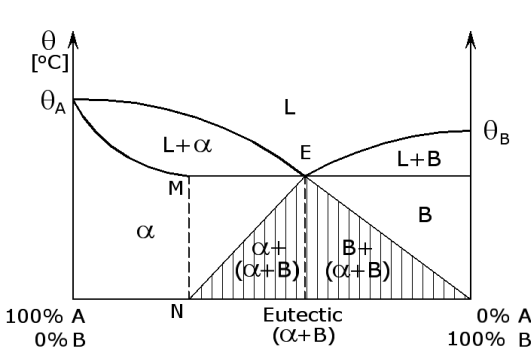


Fig. 4.8. Diagrama de tipul IV a

c) La anumite aliaje se constată după solidificare unele transformări, indicate de liniile limită de solubilizare (fig. 4.10). Astfel, dacă partea (faza) insolubilă este în exces ea se precipită și în acest caz liniile limită de solubilizare devin curbe (fig. 4.10, curbele MQ și NP).

Tipul V: cu componenți total solubili în stare lichidă; la solidificare formează un compus instabil, care apoi se descompune prin transformarea peritectică. Deci, este cazul când aliajul, la solidificare, formează două soluții solide separate de o linie orizontală (fig. 4.11). Formarea lor se datorează unor reacții între lichid și solidul care se dezvoltă. Aceste

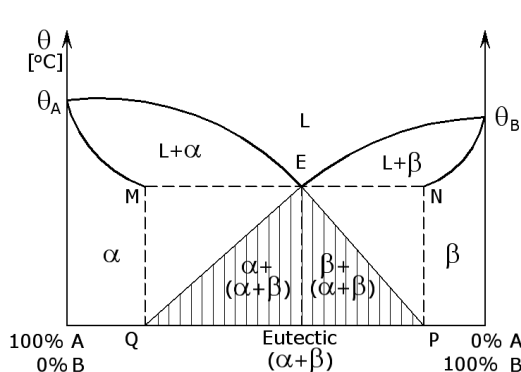


Fig. 4.9. Diagrama de tipul IV b

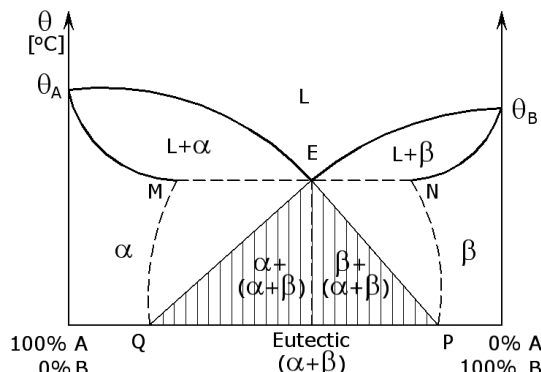


Fig. 4.10. Diagrama de tipul IV c

transformări se numesc peritectice. Ele au loc la temperatură constantă și prin urmare, apar ca linii orizontale care separă cele două soluții solide.

Să analizăm două zone ale diagramei:

Zona I

Din faza lichidă, se trece în faza de începere a solidificării, când apar în lichid cristale ale soluției solide α . La linia orizontală încep transformările peritectice, deoarece solidificarea soluției α este terminată. În urma transformării peritectice rezultă o altă soluție solidă β , formată din combinarea soluției α cu lichidul L din care se dezvoltă. Partea din α care nu se consumă în această combinație rămâne alături de β . În final rezultă, deci, soluțiile solide α și β .

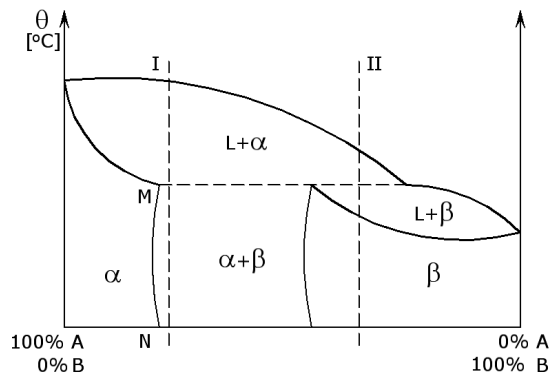


Fig. 4.11. Diagrama de tipul V

Zona II

Prin răcire, se formează întâi soluția solidă α în lichid, apoi aceasta se transformă peritectic în soluția β , care la început mai are și lichid și care, mai departe, răcindu-se formează numai cristale de β .

Utilitatea diagramelor de echilibru constă în:

- studierea unui sistem de aliaje, rezultând direct natura și compoziția fazelor;
- stabilirea temperaturii sau a intervalului de solidificare;
- determinarea comportării aliajelor la turnare și tratamente termice.

4.5. DIAGRAMA Fe-C

Principalul element de aliere al fierului (Fe) este carbonul (C). Oricât de mic ar fi procentul de C, el influențează foarte mult caracterul și proprietățile Fe.

Până la 1,7% aliajele sunt forjabile și se numesc oțeluri. Ele mai au în plus mici procente de Mn, Si, S, P. Între 1,7 - 6,67% C aliajele se numesc fonte. Aceste aliaje fiind fragile nu se mai pot forja; mai frecvent se toarnă. Peste 6,67% se formează aliaje care nu prezintă interes tehnic, deoarece sunt prea dure și fragile.

În aliajele Fe-C, carbonul poate fi regăsit fie sub formă de carbon elementar (grafit sau carbon de recoacere), fie sub formă de combinații chimice cu fier, cum ar fi cementita (Fe_3C).

În figura 4.12 este reprezentată diagrama Fe-C până la cementită (6,67% C).

Pentru obținerea acestei diagrame de echilibru se construiește un sistem de axe ortogonal, în care pe abscisă se reprezintă concentrația (compozițiile chimice ale aliajelor), în procente și pe ordonată temperatura, în $^{\circ}\text{C}$, presiunea constituind un factor constant. Apoi, cu ajutorul curbelor de răcire, se stabilesc punctele de transformare, de început de solidificare și sfârșit de solidificare, de transformări în stare solidă. Unind punctele respective se obțin liniile solidus, liniile lichidus și liniile de transformare în stare solidă.

4.5.1. Puncte de temperatură și linii importante pe diagramă

Din studierea acestei diagrame (fig. 4.12) se desprind datele caracteristice comentate mai jos.

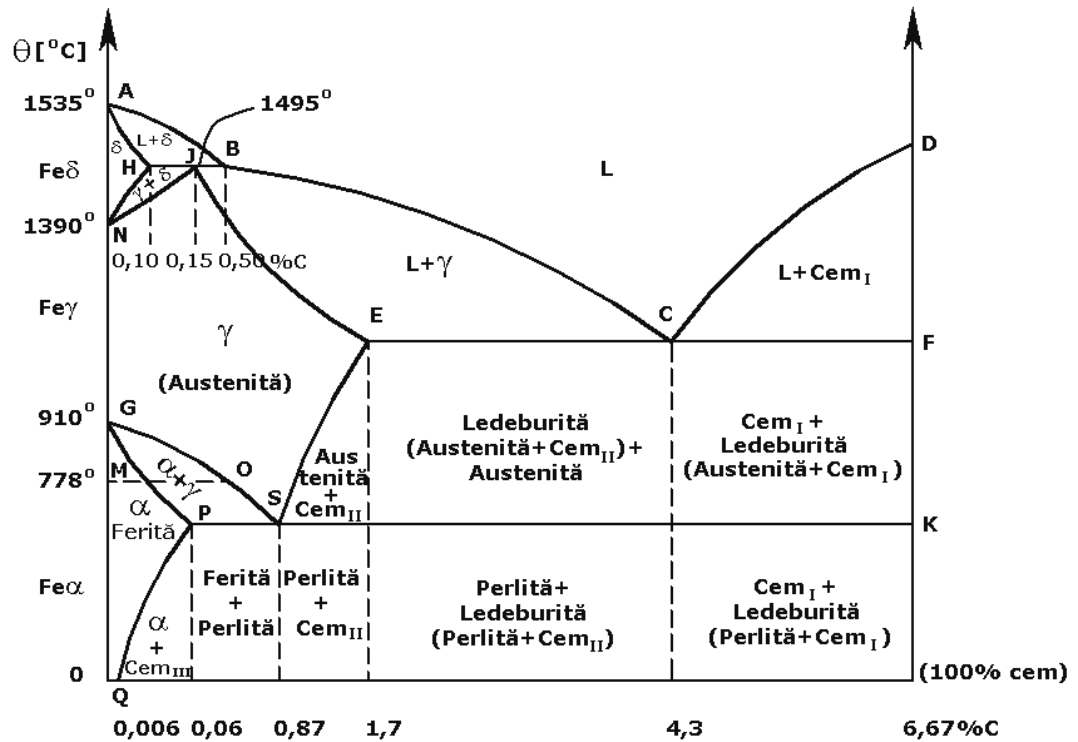


Fig. 4.12. Diagrama Fe-C

4.5.1.1. Puncte de temperatură

În tabelul 4.1 sunt prezentate principalele temperaturi de transformare, însoțite de notația lor pe diagramă, precum și semnificația acestor temperaturi.

Tabelul 4.1. Puncte de temperatură și semnificația lor

Notația pe diagramă	Temperatura [°C]	Semnificația punctelor de pe diagramă
A	1535	Temperatura de solidificare a fierului pur
D	1520	Temperatura de solidificare a compusului Fe_3C
HJB	1495	Temperatura de transformare peritectică
ECF	1130	Temperatura de solidificare a eutecticului ledeburită
G	910	Temperatura de transformare alotropică a Fe_γ în Fe_α
MO	778	Temperatura de pierdere a magnetismului pentru Fe_α
PSK	723	Temperatura de formare a eutectoidului perlită

4.5.1.2. Linii de început și sfârșit de solidificare

Aceste linii unesc punctele de început și sfârșit de solidificare și au următoarele semnificații:

- AB - linia lichidus a soluției solide δ ;
- BC - linia lichidus a soluției solide γ (austenită);
- CD - linia lichidus a Fe_3C (cementită);
- AH - linia solidus a soluției solide δ ;
- JE - linia solidus a soluției solide γ ;
- DF - linia solidus a Fe_3C ;
- ECF - linia solidus a eutecticului ledeburită;
- HJB - linia solidus a transformării peritectice.

4.5.1.3. *Linii de transformare în stare solidă*

Aceste linii unesc punctele de transformare în stare solidă și au următoarele semnificații:

- HN - linie de început de transformare a soluției solide δ în soluție solidă γ ;
- JN - linie de sfârșit de transformare a soluției solide δ în soluție solidă γ ;
- ES - linie limită de solubilitate a carbonului în austenită;
- GS - linie de început de transformare a austenitei în ferită (soluție solidă α);
- GP - linie de sfârșit de transformare a austenitei în ferită;
- PSK - linie eutectoidă, transformarea austenitei în perlită;
- PQ - linie limită de solubilitate a carbonului în ferită.

4.5.2. Diferite aliaje fier-carbon

În funcție de procentul de C avem următoarele situații:

- până la 0,006%C – Fe pur;
- 0,006..0,87%C – oțel hipoeutectoid (oțel cu procent de carbon mai mic decât al perlitei);
- 0,87%C – oțel eutectoid (perlită);
- 0,87...1,7%C – oțel hipereutectoid (oțel cu procent de carbon mai mare decât al perlitei);
- 1,7...4,3%C – fontă hipoeutectică (fontă cu procent de C mai mic decât al ledeburitei);
- 4,3%C – fontă eutectică (ledeburită);
- 4,3...6,67%C – fontă hipereutectică (fontă cu procent de C mai mare decât al ledeburitei).

4.5.3. Constituenții aliajelor fier-carbon

Constituenții aliajelor Fe-C sunt:

- constituenți care conțin carbon în combinație: cementita, ledeburita, perlita;
- constituenți care conțin carbon în soluție solidă: ferita, austenita, soluția solidă δ .

Cunoașterea diagramei Fe-Fe₃C permite conducerea în bune condiții a diferitelor tratamente termice ale oțelurilor în vederea obținerii calității corespunzătoare întrebunțării.

4.5.4. Structura oțelurilor

După conținutul de carbon, în oțel pot exista mai multe tipuri de structuri.

Prin încălzirea aliajului la o anumită temperatură, structura oțelului se schimbă, formându-se grăunți noi de fier în care carbonul se dizolvă.

Caracteristicile acestor componenți structurali sunt prezentate mai jos.

4.5.4.1. *Ferita*

Ferita este o soluție solidă a C în Fe α , care formează rețea cubică cu volum centrat. Este formată din grăunți de Fe aproape pur, dând un oțel moale, plastic, puțin rezistent; are o duritate mică și proprietăți magnetice.

Ferita apare în structura oțelului:

- în stare liberă, numai atunci când procentul de carbon este 0,87% (separându-se din austenită);
- ca amestec mecanic în eutectoidul perlită, fie sub formă de benzi – în perlită lamelară, fie ca fond feritic – în perlita globulară.

4.5.4.2. *Austenita*

Austenita este o soluție solidă a C în Fe γ , care formează rețea cubică cu fețe centrate. Dizolvă 1,7% carbon, la 1130°C și până la 0,87%C la temperatura de 723°C, apoi trece în perlită. Nu este magnetică. Este moale, plastică.

4.5.4.3. Soluția solidă δ

Soluția solidă δ este o soluție a C în Fe δ ; ea apare între temperaturile 1535⁰C și 1390⁰C. Are proprietăți asemănătoare feritei.

4.5.4.4. Perlita

Perlita este un amestec mecanic eutectoid, între ferită și cementită secundară, conținând 0,87% carbon. Se formează pe linia PSK, la 723⁰C, prin descompunerea austenitei și are o rezistență destul de mare, tenacitate și ductibilitate bună.

La analiza microscopică, perlita se prezintă sub forma unui amestec lamelar de cristale fine de ferită, cu cristale de cementită secundară. Perlita are proprietăți cu atât mai bune cu cât cementita se prezintă sub formă de cristale mai fine.

Perlita poate avea formă globulară, în care caz are o structură grăunțoasă sau o formă lamelară. Forma lamelară se obține prin răcire normală, iar forma globulară se obține prin tratament termic. Perlita globulară este mai puțin dură decât cea lamelară și se poate prelucra mai ușor prin așchiere.

4.5.4.5. Cementita

Cementita este un compus chimic conținând 6,67% carbon. Este foarte dură și foarte fragilă. Cementita are proprietăți magnetice care dispar prin încălzirea aliajului la temperatura de 210⁰C. La temperaturi mai înalte devine nestabilă și se descompune în fier și grafit.

Cementita are proprietatea de a dizolva elementele de aliere ale oțelului (Mn, Cr, V, Mo), căpătând proprietăți superioare. Sculele cu structură de cementită aliată sunt rezistente la temperaturi înalte și la uzură.

În cazul oțelurilor, cementita se separă în stare solidă din cristale de austenită, în lungul curbei ES. Datorită faptului că cementita din oțeluri se separă în stare solidă din alt constituent, este numită cementită secundară.

Cementita se găsește în diferite oțeluri, fie sub forma unui amestec mecanic în eutectoidul perlită, fie sub formă liberă în oțeluri care conțin mai mult de 0,87%C.

La analiza microscopică, cementita din oțeluri poate apare ca:

- cementită lamelară în eutectoidul perlită;
- cementită globulară, sub forma unor globule pe un fond de ferită (apare la oțeluri eutectoide și hipereutectoide în urma unui tratament termic de recoacere);
- cementită în rețea, la marginea grăunților de ferită (apare la oțeluri hipereutectoide prin răcire lentă);
- cementită aciculară, dispersată în interiorul cristalelor de ferită (apare la oțeluri hipereutectoide cu conținut mare de carbon).

Din analiza diagramei Fe-C se poate deduce că, dacă procentul de carbon crește, atunci crește duritatea și rezistența aliajului Fe-C și scade plasticitatea și tenacitatea.

Pe măsură ce scade procentul de carbon, crește procentul de ferită și scade cel de perlită, iar pe măsură ce crește procentul de carbon, crește procentul de cementită și scade procentul de perlită.

Structura și caracteristicile oțelului se pot transforma dacă oțelul este încălzit până la o anumită temperatură critică. Temperaturile critice ale oțelului variază cu procentul de C.

Liniile indicate în diagramă reprezintă limitele între zonele cu structură și stări de agregare diferite.

Astfel, curba AC reprezintă curba lichidus, adică orice oțel a cărui temperatură se ridică peste curba AC se găsește în stare lichidă. Pe măsură ce temperatura oțelului scade, astfel încât să fie egală cu temperatura corespunzătoare curbei AC, în dreptul aliajului corespunzător, începe apariția germenilor de cristalizare, deci oțelul începe să se solidifice. Curba AC reprezintă temperatura de început de solidificare.

Curba AE reprezintă curba solidus, adică orice oțel a cărui temperatură se află sub curba AE se găsește în stare complet solidă. Curba AE reprezintă temperatura de sfârșit de solidificare.

În intervalul de temperatură cuprins între curbele AC și AE, oțelul se prezintă sub forma unui amestec de aliaj topit și cristale solide.

Sub curba AE, oțelul este format din grăunți de austenită.

Prin răcire înceată, pe măsură ce temperatura oțelului scade și ajunge la temperatura corespunzătoare curbelor GS și SE, începe descompunerea grăunților de austenită. Pe curba GS începe transformarea austenitei în ferită, pe curba SE are loc separarea cementitei de austenită, iar pe linia eutectoidului PSK, se transformă austenita în perlită.

Între zona cuprinsă între curbele GS și PS, structura oțelului este formată din grăunți de ferită și din grăunți de austenită, iar între curbele SE și SK, structura oțelului este formată din grăunți de austenită și cementită.

Pe linia eutectoidului, aliajul corespunzător punctului S, deci cu 0,87%C, conține în structură numai perlită, aliajele cu conținut mai mic de 0,87%C conțin ferită și perlită, iar cele cu peste 0,87%C conțin perlită și cementită.

În acest fel, prin variația conținutului de C din oțel se pot obține diferite proprietăți ale oțelului.

Temperaturile critice superioare, adică temperaturile la care se termină complet transformările structurale, sunt indicate de curbele GS și SE.

Pentru diferite tratamente termice, oțelurile care conțin mai puțin de 0,87%C trebuie încălzite până la o temperatură de 20-30⁰C peste temperatura corespunzătoare curbei GS, iar oțelurile care conțin peste 0,87%C vor fi încălzite cu 20-30⁰C peste temperatura corespunzătoare curbei SK.

Pentru un oțel cu 0,5%C, la temperatură obișnuită structura este formată din grăunți de ferită și perlită, amestecați între ei. Prin încălzirea oțelului până la o temperatură cu puțin mai mare decât temperatura corespunzătoare punctului de întretăiere a verticalei cu curba PS, adică până la o temperatură ceva mai mare de 723⁰C, perlita din oțel se transformă în austenită, iar grăunții de ferită rămân neschimbați.

Încălzind oțelul peste punctul de întretăiere cu curba GS, ferita se transformă în austenită, deci la această temperatură structura aliajului este formată numai din austenită.

Prin răcire înceată, structura se transformă în ordine inversă, ajungând din nou la perlită și ferită. În acest fel proprietățile oțelului nu se modifică.

Prin răcire rapidă se formează structuri noi, care dau oțelului caracteristici mecanice diferite de cele ale oțelului răcit încet.

4.5.4.6. Structurile caracteristice unei răciri rapide

Structurile caracteristice unei răciri rapide sunt martensita, troostita și sorbita.

Martensita se formează atunci când oțelul este răcit foarte repede în apă. Structura are aspectul de ace încrucișate. Duritatea martensitei este foarte mare, are o rezistență mare la uzură, în schimb este fragilă.

Troostita se formează dacă oțelul este răcit ceva mai încet în aer sau ulei. Troostita are duritate mai mare ca perlita, dar mai mică decât martensita.

Sorbita se formează răcind aliajul și mai încet. Ea se compune dintr-un amestec de particule fine de ferită și cementită, asemănător cu perlita. Duritatea sorbitei este mai mică decât a troostitei, în schimb rezistența la uzură este mai mare decât a perlitei. Oțelul cu o structură sorbitică este cel mai potrivit pentru construcții, deoarece are o bună rezistență, elasticitate și reziliență.

4.5.5. Structura fontelor

Fontele la care carbonul este sub formă de cementită (formă metastabilă) se numesc *fonte albe*, spre deosebire de fontele care au carbonul sub formă de grafit și care se numesc *fonte cenușii*.

Structura fontelor albe hipoeutectice se compune din cementită secundară, perlită și ledeburită, iar structura fontelor albe hipereutectice, din ledeburită și cementită primară. Structura fontei eutectice se compune numai din ledeburită.

Caracteristicile componenților structurali ai fontelor sunt prezentate mai jos.

4.5.5.1. Cementita

Cementita (ale cărei proprietăți au fost arătate mai înainte) are caracteristic, în cazul fontelor, faptul că se poate separa fie în stare solidă, din cristale de austenită, fiind denumită cementită secundară sau se poate separa direct din faza lichidă, fiind denumită cementită primară sau cementită eutectică. La analiza microscopică, cementita din fonte apare sub formă lamelară.

4.5.5.2. Ledeburita

Ledeburita este un eutectic conținând 4,3%C și se prezintă sub forma unui amestec mecanic de austenită cu 1,7%C și cementită primară cu 6,67%C. Este puțin ductilă și foarte fragilă.

Analizând diagrama de echilibru Fe-C, se constată că cementita primară din fonta hipereutectică și cementita primară din ledeburită nu suferă nici o transformare, deoarece linia DFK nu este variabilă.

Austenita din ledeburită sau din fontele hipoeutectice conține 1,7%C, la temperatura 1130°C.

Prin coborârea temperaturii, solubilitatea carbonului din austenită descrește, având loc separarea acestuia sub formă de cementită secundară, până la temperatura de 723°C când austenita rămâne cu 0,87%C și când austenita se transformă în perlită.

Continuând scăderea temperaturii, austenita din fonta hipoeutectică se descompune în eutectoidul perlită.

Structura fontelor cenușii se compune din grafit și masa metalică de bază asemănătoare structurii unui oțel, compus din ferită, perlită și cementită secundară.

Dacă pe lângă grafit există și carbon sub formă de cementită, fonta este denumită *fontă pestriță*.

4.5.5.3. Grafitul

Grafitul se prezintă, în general, sub formă de lamele pe un fond feritic; în acest caz, fonta este foarte fragilă și rezistentă la uzură. Pentru a evita fragilitatea fontei, în fonta topită se adaugă magneziu, care asigură obținerea unui grafit nodular. Fonta cu grafit nodular are o plasticitate mai bună.

4.5.6. Clasificarea, simbolizarea și utilizarea fontelor

Fontele sunt de mai multe tipuri, fiecare având o simbolizare și o utilizare aparte.

4.5.6.1. Clasificarea fontelor și utilizarea lor

Fontele pot fi:

- fonte albe (simbol FK, FX), utilizate la turnarea în piese;
- fonte cenușii (simbol FAK), utilizate la elaborarea oțelurilor;
- fonte aliate (simbol Fs, Fog, Fsog), utilizate ca dezoxidanți sau ca produse de aliere.

4.5.6.2. Simbolizarea fontelor

a) fonte cenușii SR ISO 185/93

Simbolizarea acestor tipuri de fonte se poate face în funcție de:

- caracteristicile de rezistență: se trece marca și rezistența minimă la tracțiune R_m în $[N/mm^2]$. Câteva exemple sunt date în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Simbolizarea fontelor cenușii în funcție de caracteristicile de rezistență

Marca	Rezistența la tracțiune, min R_m $[N/mm^2]$
100	100
150	150
200	200
250	250
300	300
350	350

- duritate: se trece clasa de duritate și domeniul de duritate. Câteva exemple sunt date în tabelul 4.3, în funcție de duritatea Brinell.

Tabelul 4.3. Simbolizarea fontelor cenușii în funcție de duritatea Brinell

Clasa de duritate Brinell	Domeniul de duritate HB
H145	170 max
H175	150 – 200
H195	170 – 220
H215	190 – 240
H235	210 – 260
H255	230 – 280

b) Fonte cu grafit nodular SR ISO 1083/93

Simbolizare: R_m -A, unde: R_m = rezistența minimă la tracțiune $[N/mm^2]$;

A = alungirea minimă la rupere [%].

Câteva exemple sunt date în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. Simbolizarea fontelor cu grafit nodular

Marca	R_m $[N/mm^2]$	A [%]
900 – 2	900	2
800 – 2	800	2
700 – 2	700	2
600 – 3	600	3
500 – 7	500	7
450 – 10	450	10
450 – 15	450	15
400 – 18	400	18
350 – 22	350	22

c) Fontele maleabile, SR ISO 5922/94, pot fi:

- fonte maleabile cu inimă albă, simbolizare: W $R_m/10 - A$;- fonte maleabile cu inimă neagră, simbolizare: B $R_m/10 - A$;- fonte maleabile perlitice, simbolizare: P $R_m/10 - A$,

unde:

 $R_m/10$ = rezistența minimă la tracțiune împărțită la 10, în N/mm^2 ;

A = alungirea minimă, în [%].

Câteva exemple sunt date în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Simbolizarea fontelor maleabile

Marca	R_m [N/mm ²]	A [%]
W 35 – 04	350	4
W 38 – 12	380	12
W 40 – 05	400	5
W 45 – 07	450	7
B 30 – 06	300	6
B 35 – 10	350	10
P 45 – 06	450	6
P 55 – 04	550	4
P 65 – 02	650	2
P 70 – 02	700	2

4.5.7. Clasificarea, simbolizarea și utilizarea oțelurilor

Oțelul este un aliaj al fierului cu conținut maxim de carbon 1,7%. Clasificarea și simbolizarea oțelurilor se poate face în funcție de mai multe criterii care sunt prezentate mai jos.

4.5.7.1. Clasificarea oțelurilor

Clasificarea oțelurilor se poate face astfel:

- a) în funcție de modul de elaborare:
 - oțeluri elaborate în convertizoare;
 - oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin;
 - oțeluri elaborate în cuptoare electrice.
- b) în funcție de destinație:
 - oțeluri de turnătorie;
 - oțeluri de construcție (lamine);
 - oțeluri pentru construcția de mașini;
 - oțeluri pentru scule.
- c) în funcție de calitate:
 - oțeluri carbon, care pot fi obișnuite sau de calitate ;
 - oțeluri aliate;
 - oțeluri cu destinație specială.

4.5.7.2. Simbolizarea și utilizarea oțelurilor

Oțelul turnat, simbol OT $R_{p0,2}$ - R_m W, unde:

$R_{p0,2}$ = limita de curgere superioară, în [MPa] sau [N/mm²];

R_m = rezistența minimă la tracțiune, în [N/mm²];

W = capacitatea de sudare uniformă.

Oțelul turnat se folosește pentru fabricarea pieselor la care se cer rezistență, alungire și tenacitate mari. Este forjabil și sudabil.

În tabelul 4.6 se prezintă corespondența mărcilor de oțel turnat pentru construcțiile mecanice de uz general.

Tabelul 4.6. Corespondența mărcilor de oțel turnat pentru construcțiile mecanice de uz general

Marca de oțel	
STAS 600 – 82	SR ISO 3755 – 94
OT 400-1	-
OT 400-2	-
OT 400-3	200-400; 200-400W
OT 450-1	-
OT 450-2	-
OT 450-3	230-450; 230-450W
OT 500-1	-
OT 500-2	270-480; 270-480W
OT 550-1	-
OT 550-2	-
OT 500-3	340-550; 340-550W

Oțelurile de construcție se elaborează în două clase:

- *oțeluri carbon obișnuite*, simbol OL R_m A B, unde: OL - oțel laminat; R_m - rezistența minimă la rupere prin tracțiune; A - clasa de calitate, cu A=1,2,3; B - gradul de puritate, cu B=n,s,k,kf; n - necalmat (Si max 0,07%); s - semicalmat (Si max 0,17); k - calmat (0,17-0,37% Si); kf - calmat suplimentar (Al max 0,01%). Exemple de simbolizări: OL37, OL42, OL50, OL52, OL60, OL70 (STAS 500/2-80), OL37-3-k.

Oțelurile carbon obișnuite au destinație generală și sunt livrate sub formă de produse semifabricate forjate sau laminate;

- *oțeluri carbon de calitate*, simbol OLC X₁ X S, unde: OLC - oțel laminat de calitate; X₁-%C/100; X - oțel de calitate superioară; S - conținut controlat de sulf. Exemple de simbolizări: (STAS 880-80) OLC10, OLC15, OLC20, OLC25, OLC35, OLC45, OLC50, OLC55, OLC60.

Oțelurile carbon de calitate sunt oțeluri nealiatate, dar cu puritate chimică ridicată și se utilizează în construcții mecanice supuse la solicitări mari și care se tratează termic.

Oțelurile aliate, simbol literar, precedat de cifre care indică conținutul mediu de carbon în sutimi de procente și urmat de cifre care indică conținutul mediu al elementului principal de aliere în zecimi de procente - elementele de aliere neînsoțite de cifre au concentrație sub 1%. Exemplu: 33 MoCrNi 15 se citește oțel cu molibden, crom și nichel având 0,33% carbon, 1,5% nichel și sub 1% crom și molibden.

Aceste oțeluri se utilizează în construcții metalice cu solicitări mari, mai ales în industria mijloacelor de transport. Din această categorie fac parte oțelurile inoxidabile, anticorozive și refractare, care se folosesc în construcții solicitate la coroziune și temperaturi mari.

Oțelurile cu destinație specială sunt cele care se referă la o anumită utilizare, cum ar fi:

- *oțeluri pentru automate*, simbol AUT X₁, unde: AUT - oțel pentru prelucrare pe automate, X₁-%C/100. Exemple: AUT12, AUT40M (M=0,4%Mn), AUT20, AUT30.

- *oțeluri pentru construcții sudate*, simbol OCS X₁, unde: OSC - oțel pentru construcții sudate, X₁=R_m[MPa]. Exemple: OCS44, OCS52, OCS55, OCS58.

- *oțeluri pentru recipienti*, simbol K X₁, sau R X₁, unde: K, R - oțel pentru recipienti, X₁=R_m/10. Exemple: K41, K47, K52, R37, R44, R52, R55, R580.

- *oțeluri de rulmenți*, simbol RUL X₁ V, unde: RUL - oțel de rulmenți, X₁-1,2,3. Exemple: RUL1V, RUL2V, RUL3V.

- *oțeluri de arcuri*, simbol X₁ Si X₂ A, unde: A - oțel de arc, X₁-%C/100, X₂-%Si/100; exemple: 56Si17A, 51VCr11A, 51Si17A, 60Si15A sau simbol OLC X₁ A, unde: A - oțel de arc, X₁-%C/100, OLC - oțel carbon de calitate; exemple: OLC55A, OLC65A, OLC75A, OLC85A.

Oțelurile de scule se împart în:

- *oțeluri carbon de scule*, simbol OSC X₁, STAS 1700-80, unde: OSC - oțel carbon de scule; X₁-%C/10.

Exemple:

OSC 7 - oțeluri pentru scule supuse la lovituri și șocuri;

OSC 8 - oțeluri pentru matrițe, cuțite și foarfece;

OSC 9 - oțeluri pentru fierăstraie circulare;

OSC 10 - oțeluri pentru scule de prelucrare a lemnului;

OSC 11 - oțeluri pentru burghie și filiere;

OSC 12 și OSC 13 - oțeluri pentru freze, filiere și calibre.

- *oțeluri aliate și înalt aliate de scule*, exemple: 117Cr6, 90Vmn18, 105CrW20, 200Cr120, 39VMoCr53, 55MoCr53, 55MoCrNi15, 57MoCrNi17, 30VCrW82; oțeluri rapide: Rp1, Rp2, Rp3, Rp5, Rp9, Rp10. Aceste oțeluri au capacitatea de așchiere mult mai bună decât oțelurile carbon de scule și pot fi pentru scule așchietoare și aparate de măsură sau pentru scule de deformare și scule pneumatice.

CAPITOLUL 5

PROCEDEE DE DEFORMARE PLASTICĂ

5.1. GENERALITĂȚI

Principalele procedee de deformare plastică sunt:

1. *laminarea* constă în trecerea materialului prin doi cilindri rotitori, secțiunea inițială fiind mai mare decât cea finală;
2. *tragerea* constă în a trage un material cu diametru mai mare, printr-un orificiu cu diametru mai mic;
3. *extruderea* constă în a împinge un material cu diametru mai mare printr-un orificiu cu diametru mai mic;
4. *forjarea liberă* reprezintă deformarea materialului cu ciocanul (manual sau mecanic) sau cu presa.
5. *matrițarea* reprezintă forjarea într-o formă (matriță) având profilul piesei;
6. *ambutisarea* constă în deformarea tablelor în forme cave .

Scheme de principiu ale acestor procedee sunt prezentate în figura 5.1.

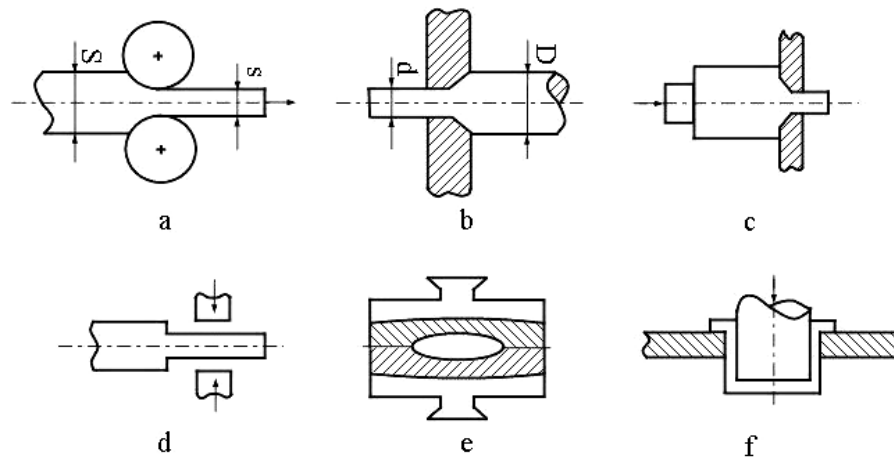


Fig. 5.1. Schemele de principiu ale procedeelelor de deformare plastică:
a - laminare; b - trefilare; c - extrudere; d - forjare liberă; e - matrițare;
f - ambutisare

5.2. LAMINAREA

La trecerea materialului printre cei doi cilindrii, are loc reducerea secțiunii și creșterea lungimii și lățimii:

- Lungimea:

$$\mu_1 = \frac{L}{L_0} = \frac{S_0}{S}, \quad (5.1)$$

în care:

$L_0(S_0)$ = lungimea (secțiunea) inițială;

$L(S)$ = lungimea (secțiunea) finală;

- gradul de laminare:

$$R\% = \frac{S_0 - S}{S_0} 100, \quad (5.2)$$

în care:

S_0 = secțiunea inițială;

S = secțiunea finală.

Gradul de laminare se calculează pentru fiecare trecere.

5.2.1. Determinarea condițiilor de laminare

Pentru a găsi condiții de laminare, trebuie să stabilim inițial forțele care apar în timpul laminării.

Vom considera pentru aceasta doi cilindri de laminare egali (fig. 5.2), O_1 și O_2 , care se rotesc în sensuri inverse. Inițial materialul va avea o grosime h_1 , iar în final h_2 .

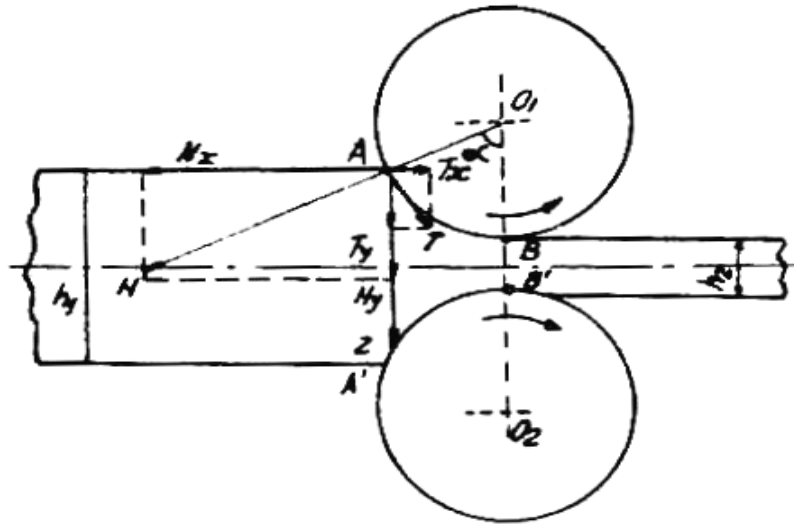


Fig. 5.2. Schema de principiu pentru stabilirea condiției de laminare

Deplasarea materialului se face datorită *forțelor de frecare* și a celor *de presiune* dintre cilindri și material. Aceste forțe acționează pe arcele AB și $A'B'$.

Notății:

T = forța de frecare;

N = forța de apăsare normală;

μ = coeficientul de frecare.

Forța de frecare se poate exprima cu următoarea relație:

$$T = \mu N. \quad (5.3)$$

T este o forță tangențială la cilindru în punctul A , iar N este o forță normală (radială) la cilindru în punctul A . Componentele acestor forțe sunt: N_x și N_y , respectiv T_x și T_y .

Dacă α este *unghiul de atac* rezultă:

$$N_x = N \sin \alpha; \quad T_x = T \cos \alpha; \quad (5.4)$$

$$N_y = N \cos \alpha; \quad T_y = T \sin \alpha. \quad (5.5)$$

Așa cum se observă din figura 5.2, T_x și N_x sunt dirijate în sensuri contrare, iar T_y și N_y sunt dirijate în același sens, dând rezultanta Z care constituie forța de comprimare.

Condițiile de laminare sunt:

$$T_x > \mu N_x \text{ și } N_y > T_y \quad (5.6)$$

sau:

$$T \cos \alpha > \mu N \sin \alpha, \text{ respectiv } N \cos \alpha > T \cos \alpha. \quad (5.7)$$

Raportând cele două inegalități din relația 5.7 rezultă:

$$\frac{T \cos \alpha}{N \cos \alpha} > \frac{\mu N \sin \alpha}{T \cos \alpha}.$$

Cum $\frac{T}{N} = \mu$, rezultă:

$$\mu > \mu \frac{1}{\mu} \operatorname{tg} \alpha,$$

deci:

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.8)$$

Valorile pentru unghiul de atac α se aleg în funcție de tipul cilindrului, astfel:

- pentru cilindrii netezi: $\alpha = 22^{\circ} \div 24^{\circ}$;
- pentru cilindrii profilați: $\alpha = 30^{\circ} \div 32^{\circ}$.

5.2.2. Laminor cu doi cilindri orizontali pentru laminat bare

Laminorul cu doi cilindri orizontali (duo orizontal) este reprezentat în figura 5.3.

Laminorul este alcătuit din următoarele componente:

I. *caja* care cuprinde:

- suporti (1);
- traversă (2);
- șuruburi de reglaj (3);

II. *cilindrii* (4) formați din (fig. 5.4):

- plăcie (a);
- fusuri (b);
- lagăre (c);
- capete canelate (d);
- axe (e);
- cuple (f).

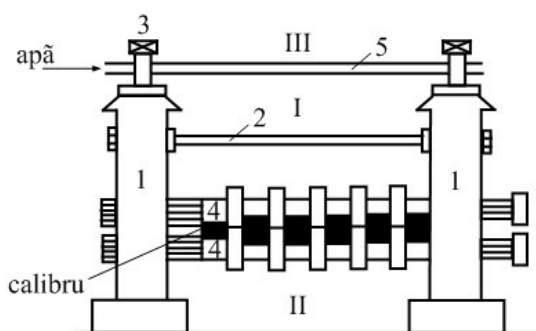


Fig. 5.3. Laminor duo orizontal

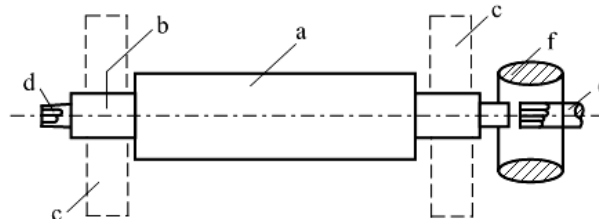


Fig. 5.4. Construcția cilindrilor de laminor

Cilindrii se fac din fontă și se îmbracă cu tablă de oțel C sau aliat.

Antrenarea cilindrilor se face de la un motor electric prevăzut cu arbore, volantă, ambreiaj, reductor etc.

III. *instalațiile auxiliare* sunt destinate pentru:

- răcirea cu apă (5);
- ridicarea laminatelor;
- căi cu role pentru deplasarea laminatului.

Adânciturile dintre cei doi cilindri formează, în pereche, un calibr. Între două calibre alăturate este un plan de separație.

Pentru laminare, semifabricatul trece succesiv printr-o serie de calibre până ajunge la profilul necesar. Această trecere se numește *calibrare*.

Primele calibre sunt de degroșare, cele mijlocii sunt pregătitoare, iar cele finale de finisare.

Uneori, sunt folosite ansamble de caje cu cilindrii și instalațiile auxiliare necesare. Ele formează o *linie de laminare*.

5.3 TRAGEREA (TREFILAREA)

S-a arătat că este trecerea forțată, la rece, a materialului printr-o sculă (filieră) cu secțiunea mai mică decât a materialului.

Prin micșorarea secțiunii, materialului îi crește lungimea (de la l la L).

Raportul $\frac{L}{l} = \Delta l$ reprezintă lungirea.

Secțiunea finală s , pe care o ia materialul, este constantă pe toată lungimea și ea se obține prin mai multe treceri prin filiere cu orificii treptat mai mici. Tragerea, executându-se la rece, duce la ecrusarea materialului, care se elimină prin recoacere. Pentru ca materialul să-și mențină plasticitatea este indicat ca recoacerea să se facă după fiecare trecere.

Totuși, la oțelurile pentru arcuri, ecrusarea este utilă și de aceea se menține.

5.3.1. Determinarea forțelor de comprimare la trefilare

Materialul se trage prin filieră cu forța F (fig. 5.5) și este comprimat de forța Q , care este rezultanta tuturor forțelor de comprimare ce apar în punctul A.

Între Q și perpendiculara pe suprafața filierei (AP_1), avem unghiul de frecare φ , coeficientul de frecare fiind $\mu = \operatorname{tg}\varphi$.

Între AP_1 și perpendiculara pe suprafața materialului (AP_2) apare unghiul α . Conul filierei va avea unghiul 2α .

Rezultă următoarea relație între forța de tragere și forța de comprimare:

$$F = Q \sin(\alpha + \varphi), \quad (5.9)$$

deci:

$$Q = \frac{F}{\sin(\alpha + \varphi)}. \quad (5.10)$$

În mod obișnuit $2\alpha = 10 \div 20^\circ$, iar $\mu = \operatorname{tg}\varphi = 0,05$ (când $\varphi = 3^\circ$), pentru care $Q = (4 \div 7)F$, ceea ce realizează comprimarea materialului.

Materialele care se trefilează trebuie să aibă maleabilitate la rece. Oțelurile moi se trag direct. Cele cu procent mare de carbon se recoc în prealabil.

Suprafața materialelor care se trag se decapează chimic cu o soluție de 10% H_2SO_4 la $60 - 70^\circ C$. Se spală apoi în apă și se neutralizează cu lapte de var.

Decaparea se mai poate face printr-o curățire mecanică prin sablare sau frecare cu perii de sârmă. Se execută apoi o arămire (în $CuSO_4$) pentru a micșora frecarea dintre material și filieră și o ungere cu lubrifianți solizi sau lichizi.

5.3.2. Instalații de tragere

Tragerea se face în instalații speciale care pot fi:

1. *cu mișcare liniară:*

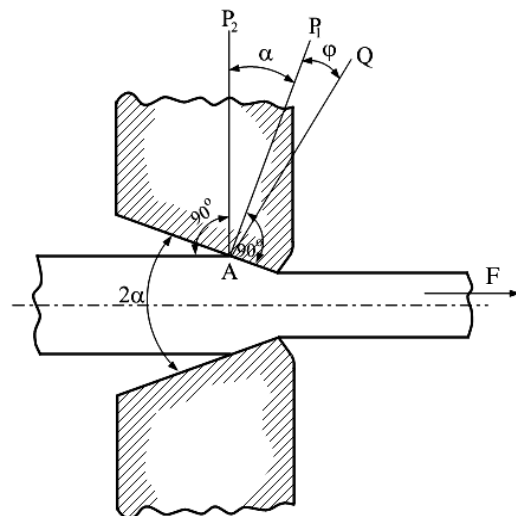


Fig. 5.5. Schema de tragere

- pentru bare cu $\phi_{\max} = 150\text{mm}$;
- pentru țevi cu $\phi_{\max} = 200\text{mm}$ și $l = 8\text{mm}$

Aceste instalații au forța de tragere $F = 150$ tone forță și viteza de tragere $v = 0,03 \div 0,5$ m/s .

2. cu tobă de înfășurare

Acest tip de instalație este folosit pentru tragerea sârmelor care se vor înfășura în colaci (fig. 5.6).

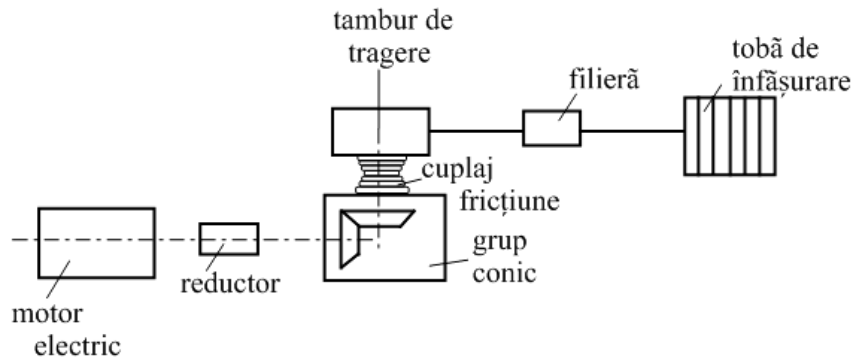


Fig. 5.6. Schema de principiu a instalației de tragere a sârmei

Toate instalațiile posedă:

- o filieră din fontă aliată (sau oțel aliat cu crom sau aliaje dure sau diamant);
- un mecanism de tragere.

După tragere se face un tratament termic cu patentare pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice.

Patentarea reprezintă încălzirea la $850^{\circ} \div 950^{\circ}\text{C}$ și răcirea în plumb topit sau în săruri, la $450^{\circ} \div 550^{\circ}\text{C}$.

Prin tragerea oțelurilor și materialele neferoase (Cu, Al), se pot obține:

- sârme subțiri;
- țevi cu pereți subțiri;
- bare,

iar pentru electrotehnică:

- conductori de oțel zincat;
- conductori de oțel izolați;
- Cu pentru fibre de troleu;
- Cu pentru sârmă de bobinaje;
- Sârmă de Al.

5.4. EXTRUDEREA

Este o deformare plastică similară tragerii, însă aici materialul este împins, printr-o secțiune mai mică și nu tras.

Operația se execută la cald și se pot obține profile dintre cele mai complicate.

5.4.1. Tipuri de extrudere

Extrudarea poate fi:

- *directă*, când materialul se deplasează în filieră (matriță) în același sens cu dispozitivul care îl împinge (poanson, piston). În figura 5.7 se prezintă extrudarea directă a unei bare.

- *inversă*, când materialul curge în sens invers mișcării poansonului (fig. 5.8). Avantajele acestei metode de extrudere constau în: existența unei forțe de apăsare mai mici și în reducerea deșeurilor.

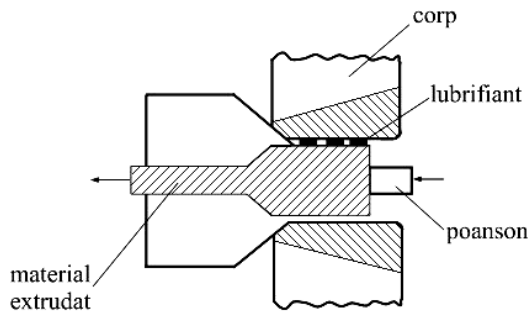


Fig. 5.7. Extruderea directă a barelor

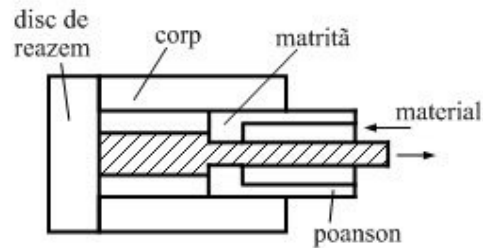


Fig. 5.8. Extruderea inversă

5.4.2. Operații executate la extrudere

În general, extruderea cuprinde următoarele operații:

1. Decaparea și debitarea la lungimea corespunzătoare a materialului de extrudat.
2. Încălzirea la temperatura de extrudere (în cuptoare cu gaz sau electrice de inducție).
3. Învăluirea materialului cald într-un strat izolant pentru a evita oxidarea și a favoriza aderarea lubrifianțului (sticla topită).
4. Rostogolirea materialului pe un plan înclinat acoperit cu praf de sticlă, care în contact cu materialul încălzit se topește și îl învelește complet.
5. Aducerea materialului la presa de extrudere în care s-a introdus, în prealabil, praf de sticlă care se va topi în timpul presării și care va lucra ca lubrifianț.
6. Extruderea cu ajutorul berbecului hidraulic cu forța cerută de material și de dimensiunile presei.
7. Scoaterea materialului extrudat și așezarea pe un pat de răcire; se curăță apoi de sticlă, eventual prin sablare.
8. În anumite situații barele extrudate se trefilează (pentru cele de precizie).

Piesele care se obțin prin extrudere pot avea forme dintre cele mai complicate. Materialele care se supun deformării prin extrudere pot fi oțeluri carbon, metale și aliaje neferoase etc.

Procedeul prezintă următoarele avantaje și dezavantaje:

- *avantaje* - precizie mare, productivitate mare și eliminarea unor operații de finisare;
- *dezavantaje* - uzura mare a sculelor și deșeuri multe, în special la țevi.

5.5. FORJAREA

Forjarea este operația prin care se execută deformarea la cald sau la rece a pieselor.

Prin forjare pot fi executate:

- piese grele (~200t) - din lingouri;
- piese mijlocii - din laminate (blumuri);
- piese mici - din laminate (profile).

Structura oțelurilor forjate este mai bună ca a celor turnate sau laminate. Ea depinde, totuși, de *gradul de forjare (coroiaj)*, adică raportul dintre secțiunea materialului înainte de forjare și secțiunea materialului după forjare. Valoarea coroiajului se dă în tabele, pentru fiecare tip de material și se alege cu deosebită atenție pentru a nu distruge piesa.

Forțele care se aplică la forjare pot fi:

- *dinamice* - se realizează cu ajutorul ciocanelor care prezintă caracteristici tehnologice specifice (mai întâi apare o deformare plastică, apoi permanentă, prin curgerea materialului);
- *statice* - se realizează cu ajutorul preselor (forțele cresc odată cu deformarea).

5.5.1. Clasificarea operațiilor de forjare

Operațiile de forjare se clasifică după două criterii:

I. *după regimul termic* se pot realiza:

- forjări la rece - când temperatura materialului este cea a mediului ambiant.

Acest tip de forjare se aplică oțelurilor moi și aliajelor neferoase și necesită manoperă puțină.

- forjări la cald - când temperatura materialului corespunde stării de plasticitate optimă.

În acest caz se folosesc utilaje și scule corespunzătoare.

II. *după utilajul folosit* se pot realiza:

- forjări libere, care pot fi manuale sau mecanice;

- forjări în matrițe (matrițare);

- forjări la mașini speciale.

Întrucât forjarea se face frecvent la cald vom urmări clasificarea după al doilea criteriu.

5.5.2. Forjarea liberă manuală

Se execută cu scule care nu dau exact forma și dimensiunile piesei, fiind acționate manual. Sculele pot fi:

- scule de bază: nicovale, ciocane, baroase, dălți, dornuri, gâtuitoare etc.

- scule ajutătoare: clești, menghină de forjare etc.

În ceea ce privește operațiile, acestea sunt la fel ca cele de la forjarea liberă mecanică date mai jos.

5.5.3. Forjarea liberă mecanică

Aici lucrul mecanic de deformare se aplică cu utilaje mecanice (ciocane, prese), prevăzute cu berbec și nicovală. Procedul are precizie mică și consum mare de materiale.

Se folosesc și aici:

- scule și dispozitive de bază: nicovale, matrițe, gâtuitoare, planatoare, dornuri, ciocane de mână, clește de mână etc.

- scule și dispozitive ajutătoare: clești de macara, capete de prinderea pieselor etc.

Cele mai importante utilaje folosite la forjare sunt ciocanele și presele.

5.5.4. Ciocanele

Ciocanele sunt formate din sabotă, cu greutatea G_s (în care se fixează nicovala) și berbecul cu greutatea G_b , care lovește piesa, căzând de la înălțimea h .

Energia cinetică a berbecului în cădere este folosită pentru deformarea materialului și care parțial se pierde în căldură, prin lovire, în vibrații, în frecare cu aerul.

Pentru ca randamentul lovirii să fie mare, greutatea sabotei G_s este mai mare decât greutatea berbecului G_b .

Ne interesează:

- energia consumată pentru deformare - W_d

- randamentul - η

- greutatea optimă a berbecului - G_b

5.5.4.1. Determinarea energiei de deformare

Energia de deformare W_d se calculează cu relația:

$$W_d = W - W_1, \quad (5.11)$$

în care:

W = energia berbecului înainte de cădere;

W_1 = energia berbecului după ciocnire.

Cum:

$$W = \frac{m_b v^2}{2}, \quad (5.12)$$

în care:

m_b = masa berbecului;

v = viteza berbecului

și

$$W_1 = \frac{(m_b + m_s) v_1^2}{2}, \quad (5.13)$$

unde:

m_s = masa sabotei;

v_1 = viteza de impact = viteza sabotei când ia contact cu berbecul.

Aplicând legea conservării impulsului rezultă:

$$m_b \cdot v = (m_s + m_b) \cdot v_1 \quad (5.14)$$

și deci:

$$v_1 = \frac{m_b}{m_s + m_b} \cdot v \quad (5.15)$$

Înlocuind (5.15) în (5.13), rezultă:

$$W_1 = \frac{m_b v^2}{2} \cdot \frac{m_b}{m_b + m_s}. \quad (5.16)$$

Introducând (5.12) și (5.16) în relația (5.11), rezultă:

$$W_d = \frac{m_b v^2}{2} - \frac{m_b^2}{2} \cdot \frac{m_b}{m_b + m_s} = \frac{m_b v^2}{2} \left(1 - \frac{m_b}{m_b + m_s} \right),$$

adică:

$$W_d = \frac{m_b v^2}{2} \frac{m_s}{m_b + m_s}. \quad (5.17)$$

5.5.4.2. Determinarea randamentului

Randamentul se determină cu relația:

$$\eta = \frac{W_d}{W} \quad (5.18)$$

Se va scrie expresia randamentului scriind masele în funcție de greutateți:

$$m_s = \frac{G_s}{g} \text{ și } m_b = \frac{G_b}{g}, \text{ rezultând deci:}$$

$$W_d = G_b \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{G_s}{G_b + G_s}; \quad (5.19)$$

$$W = G_b \frac{v^2}{2g}; \quad (5.20)$$

Cum $v = \sqrt{2gh}$ va rezulta următoarea expresie pentru W :

$$W = G_b h. \quad (5.21)$$

Introducând relațiile (5.19) și (5.21) în formula randamentului (5.18) rezultă:

$$\eta = \frac{\frac{G_s}{G_b + G_s} \cdot G_b h}{G_b h} = \frac{G_s}{G_b + G_s} = \frac{1}{1 + \frac{G_b}{G_s}}. \quad (5.22)$$

Pentru ca $\eta = 0,8 \div 0,9$, trebuie ca G_s să fie egal cu $(15-20)G_b$.

5.5.4.3. Determinarea greutății optime a berbecului

Greutatea optimă a berbecului se determină știind că energia cinetică a berbecului se transformă în lucrul mecanic:

$$\frac{m_b v^2}{2} \eta = p_m V \varphi, \quad (5.23)$$

unde:

p_m = presiunea specifică, în $[\text{daN}/\text{cm}^2]$;

V = volumul piesei, în $[\text{m}^3]$;

φ = gradul de refulare a loviturii.

Sau:

$$G_b \frac{v^2}{2g} \eta = p_m V \varphi, \quad (5.24)$$

de unde:

$$G_b = \frac{2gp_m V \varphi}{v^2 \eta}. \quad (5.25)$$

Relația este valabilă pentru deformările uniforme.

5.5.4.4. Clasificarea ciocanelor

După criteriul acționării avem:

a) *ciocane cu arc*

Au un mecanism bielă manivelă acționat de la o roată de transmisie, mișcată de un electromotor.

Arcul face legătura între bielă și berbec. Vibrând, creează 200 lovituri/minut. Greutatea berbecului poate lua valori între 25 și 250 daN;

b) *ciocane cu autocompresor*

Se fabrică și la noi în țară. Pe lângă mecanismul bielă-manivelă, rotit de un motor, au un piston așezat într-un cilindru compresor. Aerul comprimat aici, este trimis asupra unui piston de lucru solidar cu berbecul, care se mișcă tot într-un cilindru.

Prin cele două perechi de supape din cilindrii aerul este comprimat și evacuat pe rând;

c) *ciocane cu abur*.

Sunt cele mai bune și pot fi:

- cu acționare simplă când aburul ridică berbecul;
- cu acționare dublă când îl ridică și îl lasă.

Fiind de construcție similară cu cel cu autocompresor poate funcționa și cu aer (fig.5.9).

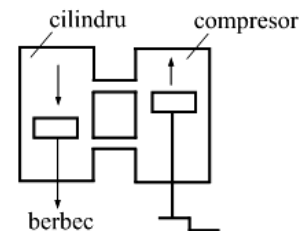


Fig. 5.9. Ciocan cu aer (abur)

5.5.5. Presele hidraulice

Presele hidraulice sunt folosite pentru forjarea pieselor grele. Principiul de funcționare este "Principiul lui Pascal".

Două corpuri de pompe sunt legate printr-o conductă. Fiecare corp de pompă este închis etanș și conține câte un piston. Lichidul poate fi apă sau ulei.

Cilindrii preseii au diametrele d și respectiv D (fig. 5.10).

Forța F_1 , care acționează pe pistonul cilindrului de diametru d , produce în lichid presiunea:

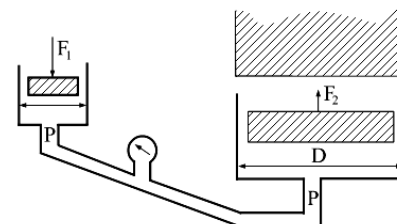


Fig. 5.10. Presa hidraulică

$$p = \frac{F_1}{\frac{\pi d^2}{4}}, \quad (5.26)$$

care conform principiului lui Pascal se transmite cu aceeași intensitate în masa lichidului. Deci, forța F_2 de apăsare a pistonului presei va fi:

$$F_2 = p \frac{\pi D^2}{4} \text{ sau } p = \frac{F_2}{\frac{\pi D^2}{4}}, \quad (5.26)$$

adică:

$$\frac{F_1}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{F_2}{\frac{\pi D^2}{4}}. \quad (5.27)$$

Deci, teoretic, forța cu care va apăsa presa va fi:

$$F_2 = F_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2. \quad (5.28)$$

Ținând cont de randamentul η al presei, forța reală va fi:

$$F_2 = F_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 \eta. \quad (5.29)$$

Cum, în general, $\eta = 0,85$, pretele hidraulice pentru forjare pot să dea $F_2 = 15000$ tf.

5.5.6. Operațiile de forjare liberă

Cele mai frecvente operații de forjare liberă sunt:

a) *Refularea*. Este micșorarea lungimii și creșterea secțiunii. Se poate face pe toată lungimea sau pe porțiuni ale piesei. (fig. 5.11)

Condiția inițială: $h_0 = 2,5d_0$, altfel apare flambarea.

b) *Întinderea*. Este micșorarea secțiunii și creșterea lungimii prin lovituri sugestive. După fiecare lovitură piesa se întoarce cu 90° pentru a asigura o întindere uniformă. (fig. 5.12)

Inelele sau tuburile se pot întinde pe dornuri.

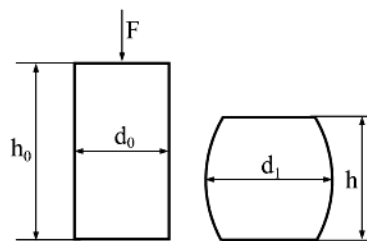


Fig. 5.10. Schema de principiu a refulării



Fig. 5.11. Schema de principiu a întinderii

c) *Gâtuirea*. De obicei marchează locul unde se începe întinderea.

d) *Îndoirea*. Este curbarea după un anumit contur a pieselor. La locul îndoirii se modifică secțiunea.

e) *Îndreptarea*. Inversul îndoirii. Se face prin intermediul unei plăci de Cu.

f) *Răsucirea*. Este rotirea în jurul axei sale a unei părți dintr-o piesă față de cealaltă parte. Se execută prin prinderea la un capăt în menghină.

g) *Găurirea*. Este străpungerea materialului așezat pe un inel adecvat, cu un dorn. Dacă piesele au grosimea mare, găurirea se face pe două părți.

h) *Retezarea*. Este o tăiere efectuată cu daltă și ciocan. Prin profilul dălții, materialul se taie pe planul al până la jumătate, apoi pe cealaltă parte restul (fig. 5.12).

i) *Sudarea*. Unirea a două piese prin deformarea plastică la temperatura de 1300°C . Pentru deoxidarea suprafeței de sudat, se folosește boraxul cu praf de cuarț (fig. 5.13).

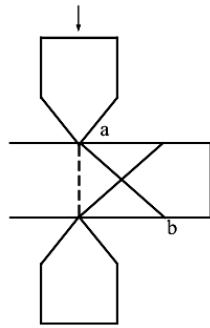


Fig. 5.12. Schema de principiu a retezării



Fig. 5.13. Secvențe ale sudării prin forjare

5.6. FORJAREA ÎN MATRIȚĂ - MATRIȚAREA

Matrițarea reprezintă deformarea plastică a materialului prin presare în niște cavități (forme) numite matrițe.

Avantaje față de forjarea liberă sunt:

- consum redus de material;
- productivitate mare;
- precizie și uniformitate;
- posibilitate de realizare a unor piese cu configurație complexă.

Dezavantaje în raport cu forjarea liberă sunt:

- obținerea unor piese mici;
- folosirea unor matrițe costisitoare;
- necesitatea folosirii unor utilaje speciale.

Pentru forjarea în matriță se folosesc următoarele utilaje și scule:

- *Ciocane de matrițare*
 - cu abur sau aer comprimat;
 - cu contralovituri - tip Béché.
- *Prese cu excentric*
 - pentru forjare și matrițare;
 - pentru debavurare;
 - pentru calibrare.

- *Prese cu fricțiune*

- *Mașini orizontale*

Matrițele pot fi:

- pentru ciocane;
- pentru prese cu excentric
 - pentru debavurare;
 - pentru calibrare;
 - propriu-zise.
- pentru prese cu fricțiune.

5.7. AMBUTISAREA

Este deformarea tablelor prin presare la cald sau la rece, folosind un poanson și o matriță (fig. 5.14).

Tablele subțiri se ambutisează la rece, cele groase la cald.

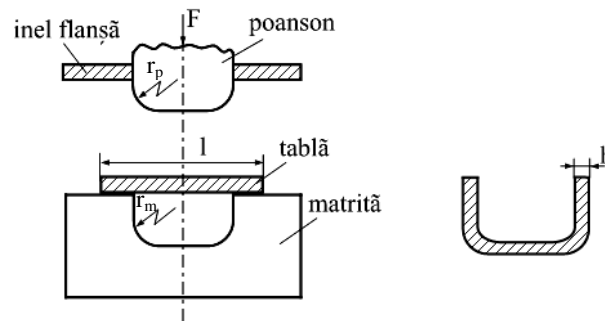


Fig. 5.14. Schema de principiu a ambutisării

Pentru ca tabla să nu se deplaseze, sau să facă cute, se pune un inel flanșe. Atât poansonul cât și matrită au raze de racordare (r_p , r_m) pentru a nu rupe tabla.

Jocul între poanson și matrită are valoarea $j = (1,1 \div 1,3)h$.

Cutele se evită îndeplinind condiția:

$$(D_s - d_p) < 18h, \quad (5.30)$$

unde D_s , d_p reprezintă diametrul semifabricatului și respectiv al poansonului.

Forța de apăsare va trebui să fie:

$$F_a = \frac{F(D_s^2 - d_p^2)}{4} q; \quad (5.31)$$

în care q este presiunea specifică de apăsare, ce poate avea valori cuprinse între 0,1 și 0,4 daN/mm².

Pentru a nu se distruge piesa, trebuie respectat coeficientul de ambutisare:

$$K = \frac{D_s}{d} = 1,5 \div 2, \quad (5.32)$$

în care d este diametrul piesei obținute.

Dacă profilul piesei cere, ambutisarea se poate face în mai multe etape (fig. 5.15).

Ambutisarea la rece duce la ecruisarea materialelor (deci și la scăderea plasticității), de aceea și în cazul când se parcurg mai multe etape, materialul se va recoace intermediar și se va decapa, spăla și usca, pentru eliminarea arsurii din recoacere.

Între matrită și piesă va fi pus un lubrifianț, precum:

- ulei mineral;
- ulei cu grafit, sau talc;
- emulsii de săpun.

Ambutisarea se face pe prese hidraulice.

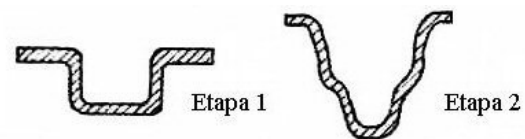


Fig. 5.15. Etape ale procesului de ambutisare

CAPITOLUL 6

SUDAREA, TĂIEREA ȘI LIPIREA METALELOR

6.1. SUDAREA

Sudarea este un procedeu de îmbinare nedemontabilă a pieselor, foarte mult folosit în tehnică.

6.1.1. Generalități

Cel mai vechi procedeu a fost sudarea prin forjare (azi utilizat mai rar). La sfârșitul secolului XIX a apărut sudarea electrică și sudarea cu gaze.

După descoperirea arcului electric de către V. V. Petrov (1802), N.N. Benardos (1882) îl aplică la sudarea metalelor, folosind un electrod de cărbune alimentat în c.c. (fig. 6.1.).

Slaveanov (1888) înlocuiește cărbunele cu un electrod metalic, care constituie și materialul de adaos, lărgind, astfel, mult domeniul de aplicare al sudării. Folosește pentru sudare și c.a. (fig.6.2).

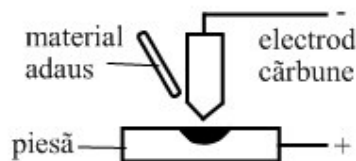


Fig. 6.1. Sudarea cu electrod de cărbune (după Benardos)

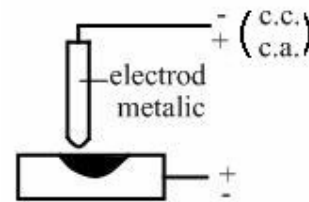


Fig. 6.2. Sudarea cu electrod metalic (după Slaveanov)

E.O. Paton realizează procedeul automat de sudare sub strat de flux, care mărește productivitatea de 10÷20 ori.

Procedeele moderne de sudare au permis chiar înlocuirea nituirii și turnării, prin sudare reducându-se timpul cu 25÷30%.

În afara emisiei termoelectronice, care apare predominantă și acționează în special în faza de amorsare a arcului, la menținerea și stabilitatea acestuia mai iau parte și celelalte emisii electronice cunoscute: emisia fotoelectronică și emisia autoelectronică. Prima, apare odată cu amorsarea arcului, când fenomenele luminoase și de radiație ale arcului sunt puternice; a doua, apare când în jurul catodului se formează un strat de sarcini pozitive (ioni pozitivi) și când între acest strat și catod tensiunea specifică atinge 10^8 V/m și care va produce accelerarea deplasării electronilor spre anod.

Vom denumi:

- sudarea – operația în sine;
- sudură – produsul sudării (cusătură);
- sudabilitatea – proprietatea metalelor de a se suda.

6.1.2. Clasificarea procedeeleor de sudare

Sunt folosite peste 20 procedee de sudare care se pot clasifica după mai multe criterii. O clasificare uzuală cuprinde următoarele procedee:

a) *Sudarea prin topire*

- cu arc electric;
- cu gaze;
- cu termit (aluminotermică prin topire);
- electrică în baie de zgură.

b) *Sudarea prin presiune*

- electrică prin rezistență;
- cu gaze;
- cu termit (aluminotermică prin presiune)
- la rece.

În această clasificare se face o delimitare în mare a procedeelor. Reținem sudarea prin topire și presiune, ambele electrice, cu gaze sau cu termit.

6.1.3. Sudarea prin topire pe cale electrică

Procedeele folosite, aici, pentru sudare, încălzesc local piesele până la topire, astfel încât atomii de la suprafața unei piese sunt atrași de suprafața celeilalte.

Materialul de bază al pieselor se poate completa cu material de adaos a cărui compoziție trebuie să fie cât mai apropiată de cea a materialului de bază.

Procedee de sudare electrică:

a) *cu arc electric*

- electrozi nefuzibili (C, W)
- electrozi fuzibili:
 - neînveliți
 - în gaze;
 - sub flux;
 - fără protecție.
 - înveliți

b) *cu alte surse termice*

- cu jet de plasmă;
- cu jet de electroni;
- în baie de zgură;
- cu laser.

Executarea sudărilor se poate face:

- manual
- semiautomat;
- automat.

Sudarea manuală este cea mai răspândită și ea folosește electrozi de cărbune și electrozi înveliți, fuzibili.

6.1.4. Sudarea cu arc electric

Pentru realizarea arcului se folosește atât c.c. cât și c.a.

Studierea arcului electric are o deosebită importanță pentru metalurgia sudării.

6.1.4.1. Arcul electric

Din punct de vedere fizic, arcul electric este o descărcare electrică automată în gazul dintre doi electrozi. Descărcarea este condiționată de:

- emisia termoelectronică a catodului cald;
- densitatea de curent mare;
- sarcinile spațiale în coloana de descărcare;
- efectele luminoase și calorice intense.

Curentul electric trece printr-un gaz numai dacă acesta este ionizat. Pentru sudare este importantă ionizarea prin bombardament cu electroni, care se obțin de la un electrod, catod, prin emisie termoelectronică.

Alimentarea electrozilor care realizează arcul se face de la surse de curent corespunzătoare, iar electronii emiși de catod sunt accelerați și întâlnind atomii gazului, cu care se ciocnesc, provoacă:

- excitarea atomilor gazului prin deplasarea electronilor pe orbite superioare;
 - smulgerea unor electroni de pe orbită, atomii rămânând pozitivi, deci ionizați;
 - recombinați: prin atragerea de electroni de către ionii pozitivi și refacerea atomilor.
- În acest caz are loc o degajare de căldură însoțită de o emisie puternică de lumină.

6.1.4.2. Sudarea în curent continuu

În c.c. mecanismul aprinderii și formării arcului este următorul.

Se leagă catodul sursei la electrod și anodul la piesă (legarea directă) și se aplică tensiunea U_0 de mers în gol a sursei.

Se scurtcircuitază electrodul cu piesa și apare curentul I_{sc} .

Din cauza rezistenței de contact R_{c0} mare, are loc o încălzire puternică, o topire locală și apariția emisiei de electroni odată cu ridicarea electrodului de pe piesă.

Tensiunea arcului U_a scade odată cu creșterea curentului prin arc I_a , până la o valoare când arcul este format și ajunge în stare stabilă la o lungime L_a .

Să reținem cei trei parametri ai arcului format: U_a , I_a , L_a .

Formarea și variația acestor parametri este prezentată în figura 6.3.

Repartizarea tensiunii U_a pe lungimea arcului L_a se face în trei zone.

Zona catodică. Are tensiunea U_{ca} și lungimea L_{ca} foarte mică (10-5cm). Curentul I_a este format din electroni și din ioni care vin din arc fiind atrași de catod, bombardându-l.

Pe suprafața catodului curentul se concentrează într-o porțiune redusă numită pată catodică.

Zona coloanei arcului. Are tensiunea U_{col} și lungimea L_{col} mare. Aici au loc: excitări, ionizări, recombinați însoțite de fenomene luminoase și degajare de căldură.

Curentul este generat de deplasarea electronilor și ionilor.

Zona anodică. Are tensiunea U_{an} (2,5V) și lungimea L_{an} mică (tot 10-5cm). Curentul este format din electroni care intră în metal cedând energia și formând pata anodică.

Deci, arcul electric la sudare este determinat de trei parametri: U_a , I_a , L_a . Legătura dintre ei formează *caracteristica arcului electric* care se dă sub forma:

$U_a = f(I_a)$ pentru $L_a = \text{constant}$, având aspectul din figura 6.4.

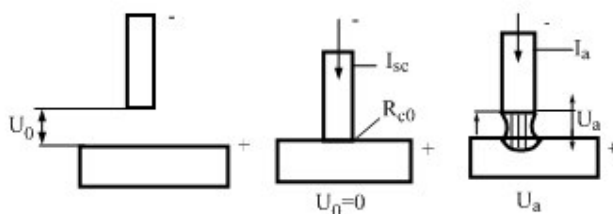


Fig. 6.3. Fazele pentru formarea arcului

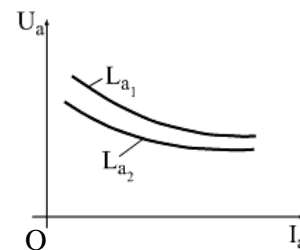


Fig. 6.4. Caracteristica statică a arcului

Se obține o familie de curbe experimentale pentru diverse valori ale lui L_a .

S-au dat câteva expresii matematice aproximative, acestei funcții, de către Braun, Ayrton, Hrenov etc.

Ultimul propune de exemplu relația:

$$U_a = a + c \frac{L_a}{I_a} \quad (6.1)$$

Pentru electrozi de oțel se poate lua: $a = 11V$ și $c = 5500 \frac{VA}{cm}$.

6.1.4.3. Sudarea în curent alternativ

În c.a. arcul arde mai greu deoarece curentul I_a trece periodic prin zero și își schimbă sensul.

Când $I_a = 0$ arcul se stinge, spațiul se răcește, îngreunând reaprinderea. Rolul de catod se schimbă și el periodic, de la electrod la piesă.

Datorită cauzelor arătate curentul prezintă o nesimetrie, care duce la apariția unei componente continue.

Rezultă efectul de redresare al arcului.

6.2. TĂIEREA METALELOR

Tăierea metalelor se poate face cu gaze sau electric.

6.2.1. Tăierea oxiacetilenică

Metalul de tăiat se preîncălzește cu o flacără oxiacetilenică până la temperatura de ardere, la locul de tăiere și apoi se arde în curent de oxigen.

Procedeul este posibil a fi aplicat la oțelurile hipoeutectoide (cu max. 0,87 %C), deoarece au temperatura de ardere de $1350^{\circ}C$, care este mai mică decât temperatura de topire ($1500^{\circ}C$).

La oțeluri cu procent mai mare de C și în special la fonte, temperatura de tăiere este mai mare decât temperatura de topire ($1200^{\circ}C$).

Același lucru este valabil pentru metalele și aliajele neferoase.

La oțeluri cu procent mai mare de C se indică o preîncălzire la $700^{\circ}C$.

Tăierea oxiacetilenică se face cu arzătoare (fig.6.5) cu două becuri:

1. pentru oxigen;
2. pentru amestec oxiacetilenic.

Relativ recent, pentru tăierea oțelurilor aliate, a fontelor, a aliajelor neferoase, s-a elaborat *procedeul de tăiere cu oxigen și flux*, materialele fiind preîncălzite.

Fluxul se prezintă sub formă de pulbere compusă din Fe și fondanți. Se depune într-un rezervor, de unde este antrenat de jetul de O_2 în arzătoare oxiacetilenice. Oxizii se topesc, iar zgura este cuplată de jetul de O_2 . Temperatura care se dezvoltă este foarte mare.

La tăierea de table, pe lungimi rectilinii sau circulare mai mari, aparatul se pune pe un cărucior cu două role, becul arzătorului având două orificii concentrice.

Tăierea cu gaze sub apă. Este necesară pentru lucrări de recuperare de nave scufundate etc.

Becul arzătorului are un orificiu central și două canale inelare (fig.6.6):

1. orificiu pentru O_2 , necesar tăierii;
2. canal pentru amestec $C_2H_2+O_2$, necesar preîncălzirii;
3. canal pentru aer comprimat, necesar protecției.

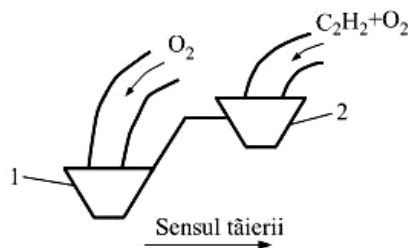


Fig. 6.5. Arzător pentru tăiere oxiacetilenică

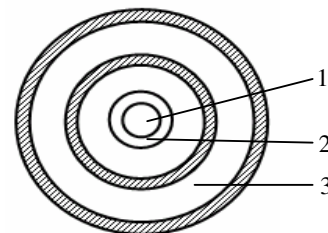


Fig. 6.6. Secțiune prin becul de tăiat sub apă

Aerul comprimat formează în apă un balon de protecție care îndepărtează apa de la locul tăierii.

6.2.2. Tăierea cu arc electric

Se aplică la materialele la care tăierea cu O₂ nu este posibilă. Arcul electric topește materialul, care apoi este eliminat cu aer comprimat.

Prezintă următoarele dezavantaje:

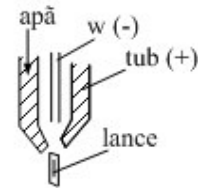
- lățimea tăieturii este mare;
- fețele tăieturii sunt neuniforme;
- picăturile sunt mari și se solidifică apoi, lângă sudor.

Înlocuind aerul comprimat cu oxigen se face *tăierea oxiarc (oxielectrică)*. În acest caz, electrozii sunt înveliți și prevăzuți cu un orificiu central prin care se suflă oxigenul.

Avantaje sunt:

- temperatura de tăiere este mare datorită disocierii: O₂ → O + O ;
- se pot tăia lingouri și blumuri groase;
- se pot tăia metale neferoase și aliajele.

Tăierea cu plasmă se aplică la oțelurile aliate. Plasma rezultă din Argon (la 1 ÷ 2atm) ionizat complet de arc electric, în aparate speciale. Catodul de W se introduce în tubul anod răcit intens. Datorită formei camerei arc se contractă, iar lanca de plasmă atinge 30000°C.



Lungimea arcului se poate regla. La tăiere trebuie răcit și portelektrodul (fig.6.7).

Fig. 6.7. Cameră de tăiat cu plasmă

6.3. LIPIREA METALELOR

Lipirea este îmbinarea a două piese metalice folosind un adaos din material diferit de acela al pieselor de îmbinat.

Fiind o îmbinare eterogenă a pieselor metalice, ea se realizează prin difuziunea aliajului de adaos lichid, în piesele de lipit solide. Se produce, astfel, o interacțiune a atomilor periferici care vor asigura legătura între piese. Aliajul de adaos este diferit de cel de bază și are totdeauna o temperatură de topire mai mică.

O lipitură bună se face când se asigură toate condițiile de difuziune a aliajului de adaos în metalul de bază. Printre aceste condiții subliniem:

- îndepărtarea de pe suprafața pieselor a oxizilor, ruginii și grăsimilor, prin curățire mecanică, degresare și decapare;
- alegerea aliajului de adaos astfel încât acesta să conecteze bine piesele și să difuzeze între ele;
- să nu formeze compuși intermediari fragili.

Legile de difuziune sunt date de Fick:

$$\frac{dm}{dt} = -D \frac{dc}{dx} \quad (6.2)$$

Cantitatea de metal dm care difuzează în timpul dt pe distanța dx , cu o concentrație variabilă dc , este proporțională cu constanta de difuziune D și cu variația lui dc pe dx .

Semnul minus ne arată că sensul de difuziune este de la zona cu concentrație mai mare spre cea cu concentrație mai mică.

Daca se trece la derivate parțiale se poate determina constanta de difuziune D :

$$D = Ae^{\frac{B}{RT}} \quad (6.3)$$

unde:

R = constanta gazelor;

A, B = constante de material.

Din (6.2) se observă că valoarea constantei de difuziune D depinde de temperatura absolută T .

În general, difuziunea este un proces lent, care poate fi accelerat, însă, prin mărirea temperaturii.

Dacă se secționează o lipitură, se deosebesc următoarele zone (fig. 6.8):

1. metalul bază;
2. aliajul de adaos pătruns între grăunții cristalini ai metalului de bază;
3. aliaj de adaos solidificat în care a difuzat tot aliaj de adaos;
4. aliaj de adaos solidificat.

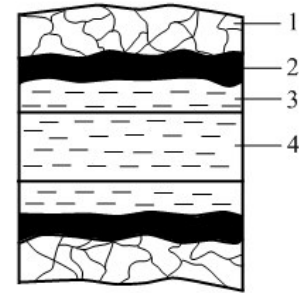


Fig. 6.8. Zonele unei lipituri

În timpul lipirii trebuie evitată oxidarea suprafețelor pieselor. Pelicula de oxid va avea grosimea y , care variază în timp după o lege parabolică:

Pentru evitarea oxidării se folosesc fluxuri care dizolvă oxizii și îi îndepărtează în timp după aceeași lege parabolică.

După temperatura de topire a aliajului de adaos, lipiturile sunt:

- lipituri tari, cu $\theta_{top} > 500^{\circ}\text{C}$;
- lipituri moi, cu $\theta_{top} < 500^{\circ}\text{C}$.

Lipirea tare se mai numește brazură. Ca aliaje de lipit se folosesc:

- alama (Cu + Zn) cu $\theta_{top} \approx 800^{\circ}\text{C}$. La noi se fabrică Am 42 Lp, cu 42%Cu, sub formă de grăunți (1÷3mm);
- aliaje de Ag, cu $\theta_{top} \approx 700^{\circ}\text{C}$. La noi se folosește PAg 45, cu 45% Ag, sub formă de bare.

Lipiturile tari au rezistența la rupere $\sigma_r = 50 \text{ daN/mm}^2$.

Fluxurile folosite conțin: borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)+fondanți: F_2Ca , ClNa , ClK , FNa , acid boric (H_2BO_3). Se prezintă sub formă de praf sau pastă.

Pentru încălzire se pot folosi cuptoare electrice, arzătoare cu gaze, încălzirea prin rezistență de contact etc.

Lipirea unei plăcuțe dure la un cuțit de strung cu corpul din OLC (fig. 6.9), este un exemplu de utilizare al acestui procedeu de lipire.

Corpul cuțitului se încălzește la temperatura de 900°C , la care banda se topește realizându-se, la răcire, lipitura. În același timp se face și o mică presare pe plăcuță. Operația se încheie cu spălarea cuțitului în soluție de 10% H_2SO_4 și o călire în apă.

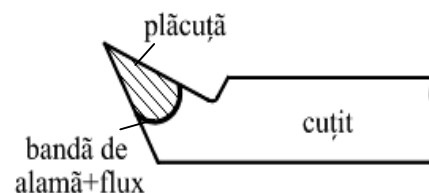


Fig. 6.9. Lipirea unei plăcuțe dure

Lipirea moale se aplică la îmbinări solicitate la temperatură mare și eforturi mici.

Aliajul cel mai folosit este Sn+Pb, cu 20÷80% Sn.

Fluxurile folosite sunt:

- țipirig (ClNH_4) sau Cl_2Zn ;
- colofoniu (sacâz) sau stearină (pentru plumb).

Pentru decapare se folosește apa tare ($\text{H}_2\text{O}+30\%\text{HCl}$).

Fluxurile se prezintă sub formă de pastă, lichide, prafuri.

Pentru încălzire se întrebuițează ciocanele de lipit. Cele cu ultrasunete nu au nevoie de fluxuri.

Lipirile prezentate se întâlnesc în: tinichigerii, electrotehnică, electronică etc.

CAPITOLUL 7

PRELUCRAREA METALELOR PRIN AȘCHIERE ȘI MAȘINI UNELTE

7.1. GENERALITĂȚI,

Prelucrarea metalelor prin așchiere este un procedeu de îndepărtare a adaosului de pe semifabricat, cu ajutorul sculelor așchietoare, pentru a obține forma, dimensiunile și calitatea suprafețelor dorite produsului.

Prelucrarea prin așchiere ocupă un loc important în construcția pieselor de mașini electrice, termice etc.

Semifabricatele care se prelucrează prin așchiere provin din turnare, laminare, forjoare, matrițare, presare, ștanțare, sudare etc. Prin așchiere este înlăturat adaosul de prelucrare de pe semifabricat.

Mașinile unelte sunt mașinile care servesc la prelucrarea prin așchiere. Ele au o *mișcare principală* (de rotație sau rectilinie) care detașează așchia și o *mișcare secundară* (*de avans*) care deplasează scula de așchiat față de piesă (sau invers), precum și alte *mișcări auxiliare*.

7.2. CLASIFICAREA MAȘINILOR UNELTE

Cea mai folosită clasificare este după numărul tăișurilor sculei:

1. cu un tăiș
 - a) cu mișcare de rotație
 - strunguri;
 - mașini de găurit;
 - mașini de alezat.
 - b) cu mișcare rectilinie
 - șepinguri;
 - raboteze;
 - morteze.
2. cu mai multe tăișuri
 - a) cu mișcare de rotație
 - mașini de frezat
 - mașini de rectificat
 - b) cu mișcare rectilinie
 - broșe.

Alte criterii de clasificare țin seama de:

- universalitatea mașinii;
- automatizare;
- specializare.

7.3. NOȚIUNI DIN TEORIA AȘCHIERII

În procesul de așchiere sunt necesare două mișcări care trebuie asigurate de mașina unealtă.

I. *Mișcarea principală* care determină desprinderea așchii, viteza de așchiere v fiind exprimată în m/min și care poate fi:

- mișcare de rotație a arborelui principal dată de:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}, \quad (7.1)$$

în care turația n se exprimă în [$\frac{\text{rot}}{\text{min}}$], iar diametrul D al piesei în [mm];

- mișcare rectilinie, de translație alternativă (a piesei sau a sculei).

Turația n se exprimă în număr de curse duble/min, adică [c.d./min]

$$n = \frac{1000 v}{2 L}, \quad (7.2)$$

în care turația n se exprimă în [$\frac{\text{c.d.}}{\text{min}}$], iar lungimea de așchiere L în [mm].

II. *Mișcarea de avans* se face cu viteza s ($s = \text{avansul}$).

Se poate da avans:

- sculei, ca la strunjire, rabotare;
- piesei, ca la frezare, rectificare.

Avansul se exprimă în: [mm/min]; [mm/rot]; [mm/c.d.], iar direcția poate fi: longitudinală, transversală, circulară, tangențială.

Un avans poate fi dat continuu sau intermitent. El are ca efect scoaterea așchiilor.

7.4. SCHEME DE AȘCHIERE

Combinând mișcările de mai sus (I și II) se obține mișcarea relativă a sculei față de piesă.

Schema de așchiere ne indică simplificat ce mișcări execută piesa și scula și ce operație rezultă.

7.4.1. Strunjirea

Operația se efectuează pe strunguri și cuprinde următoarele mișcări:

- mișcarea I – o execută piesa și este o mișcare de rotație (fig.7.1);
- mișcarea II – o execută scula și este o mișcare rectilinie cu direcție longitudinală sau transversală.

Prin acest procedeu se pot prelucra:

- suprafețe cilindrice exterioare și interioare;
- suprafețe conice;
- suprafețe plane etc.

În acest tip de prelucrare scula are nun singur tăiș.

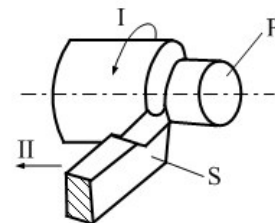


Fig. 7.1. Schema așchierii la strunjire

7.4.2. Frezarea

Operația se face pe mașinile de frezat, iar mișcările sunt:

- mișcarea I – o execută scula și este de rotație (fig.7.2);
- mișcarea II – o execută piesa și este rectilinie.

Prin acest procedeu se pot prelucra suprafețe plane, cilindrice, profilate etc.

Scula este freza, care are mai multe tăișuri (dinți).

Avansul poate fi făcut în același sens cu rotația frezei sau în sens contrar.

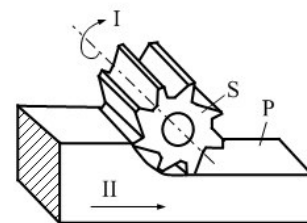


Fig. 7.2. Schema așchierii la frezare

7.4.3. Găurirea

Se face pe mașina de găurit sau pe strung.

Pe mașina de găurit mișcările I (și II) le execută scula – burghiul, iar pe strung scula execută numai mișcarea II. (fig.7.3). Deci, mișcările sunt:

- mișcarea I – este de rotație și o execută scula.
- mișcarea II – este rectilinie și o execută tot scula.

Prin acest procedeu se pot prelucra:

- găuriri în plin, cu burghiul;
- adânciri de găuri, cu adâncitorul;
- alezări, cu alezoare;
- filetări, cu tarozi.

Scula este cu mai multe tăișuri.

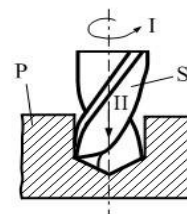


Fig. 7.3. Schema așchierii la găurire

7.4.4. Rabotarea

Operația se execută pe raboteze, șepinguri, morteze. La această operație atât piesa cât și scula execută mișcări rectilinii (fig. 7.4).

În cazul șepingurilor, mișcarea principală, de așchiere, este longitudinală și o execută berbecul pe care se montează scula (mișcarea II). Mișcarea secundară, de avans transversal, este executată de masa, pe care se montează piesa de prelucrat (mișcarea I).

În cazul rabotezelor, piesa are deplasare longitudinală (mișcarea III), iar scula deplasare transversală (mișcarea IV).

La șeping și raboteză ambele mișcări se fac în plan orizontal.

În cazul mortezelor mișcările se fac tot ca la șeping, dar în plan vertical.

Așchiera se face numai într-o cursă, numită activă. Cealaltă cursă este pasivă, când cuțitul se ridică, chiar, de pe piesă.

Avansul este intermitent și se dă la începutul cursei active.

În acest tip de prelucrare scula are un tăiș, iar suprafețele obținute sunt plane sau profilate.

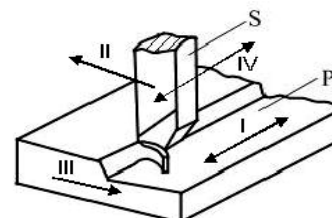


Fig. 7.4. Schema așchierii la șeping și raboteză

7.4.5. Rectificarea

Este prelucrarea de așchiere executată cu corpuri abrazive (ca scule), care execută mișcarea principală de rotație și uneori chiar mișcări secundare.

Rectificarea se aplică după alte operații de așchiere ca strunjirea, frezarea etc. cu scopul de a netezi suprafețele prelucrate și de a corecta mai precis dimensiunile pieselor.

Se mai aplică, de asemenea, după operații de tratamente termice care nu mai permit folosirea altor scule pentru prelucrarea materialului.

Scula de rectificat (discul) este format din granule abrazive foarte dure și ascuțite care execută așchiera.

Se execută următoarele mișcări:

- mișcarea I – o face scula (piatra) și este de rotație (fig. 7.5);
- mișcarea II – o face piesa și este rectilinie, longitudinală sau transversală.

Prin rectificarea se prelucrează suprafețe cilindrice sau conice, interioare sau exterioare, suprafețele plane sau profilate etc.

Se obține o precizie și o calitate superioară a suprafețelor prelucrate.

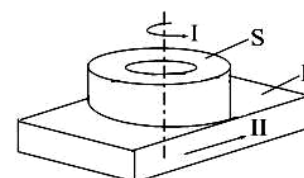


Fig. 7.5. Schema așchierii la rectificarea

La rectificarea scula are mai multe tășuri.
La rectificarea circulară, se rotește și piesa.

7.4.6. Broșarea

Broșarea este prelucrarea prin așchiere care se efectuează cu scule numite broșe cu o mișcare unică rectilinie, circulară sau elicoidală, piesa rămânând fixă.

Broșa este acționată de mașina de broșat, trasă sau împinsă prin gaura rotundă sau profilată. Părțile componente ale broșei (fig. 7.6) sunt:

1. gaura de prindere;
2. gâtul broșei;
3. ghidajele;
4. partea activă a broșei;
5. piesa de prelucrat.

Broșa are mai multe tășuri succesive, din ce în ce mai înalte, astfel încât fiecare dinte al broșei avansează în piesă efectuând așchieri. Operația se termină la o singură mișcare principală, care este mișcarea rectilinie de tragere.

Avansul este transversal, executat de fiecare dinte (s_d), datorită înălțării fiecăruia față de cel precedent.

Câteva elemente geometrice ale broșei sunt prezentate în figura 7.7 și ele sunt:

1. avansul pe dinte - s_d ;
2. pasul dinților - p_a ;
3. unghiul de așezare - α ;
4. unghiul de degajare - γ .

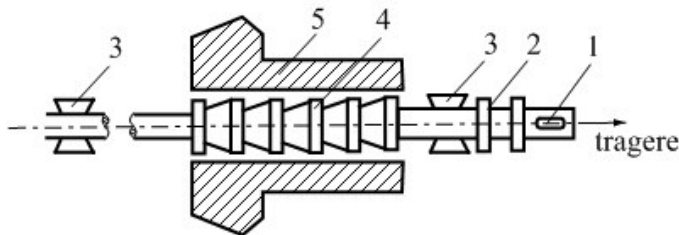


Fig. 7.6. Construcția broșei

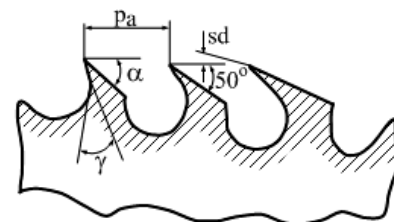


Fig. 7.7. Geometria broșei

Pentru divizarea așchiilor, dinții sunt crestați, cu întreruperi decalate de la dinte la dinte.

Forța de broșare F și viteza v se calculează pe baza parametrilor broșei, a calității materialului de prelucrat, a durabilității sculei T , folosind formule empirice similare cu cele prezentate la celelalte prelucrări.

Ca lichid de răcire se folosește cel mai frecvent o soluție de emulsol (20%)+săpun(5%)+apă.

7.5. MATERIALELE PENTRU SCULE

În prelucrarea prin așchiere sculele joacă un rol foarte important. Ele se confecționează din materiale care trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă o duritate mai mare ca a materialului de prelucrat;
- să fie tenace, pentru a evita știrbirea tăișului;
- să fie stabile la temperatură pentru a-și menține duritatea și tenacitatea;
- să fie rezistente la uzură prin frecare cu piesa;
- să aibă rezistențe mecanice ridicat ($\sigma_r, \sigma_t, \sigma_c$).

Materiale pentru scule:

- oțeluri:

- oțeluri de scule carbon (OSC)
 - au 0,7 – 1,2% C; (OSC – 7,8,9,10,12,13), temperatura maximă 250⁰C și sunt folosite pentru cuțite, burghie, tarozi.
- oțeluri slab aliate pentru scule
 - CuCr, W, V, Mo, Si, Mn. Sunt stabile la 220⁰C
- oțeluri rapide (OR)
 - RK – 100, RW – 180, RMo – 5. Sunt stabile la 600⁰C.
- *metale dure MD*:
 - obținute prin topire
 - sunt VK (W,Co); au tenacitate bună
 - obținute prin sinterizare
 - TK (W, CO, Ti); sunt foarte dure, stabile pentru oțeluri, la 1200⁰C
- *materiale ceramice*:
 - metalo-ceramice: cermenturi
 - mineralo-ceramice: AuAl₂O₃

S-a arătat că mașinile unelte se clasifică în funcție de tăișurile sculelor. Pentru lucrări de strunjire, rabotare, mortezare se folosesc scule cu un tăiș (cuțite). Principiul de construcție al cuțitelor stă la baza celorlalte scule cu mai multe tăișuri. De aceea, geometria cuțitului și, în general, teoria așchierii cu cuțitul se extinde și la alte scule pentru alte prelucrări (freze, burghie, broșe).

7.5. TIMPUL TEHNOLOGIC DE AȘCHIERE

Timpul tehnologic de așchiere este format din următoarele componente:

T_b = timpul tehnologic de bază, în care scula așchiază efectiv;

T_a = timpul auxiliar, în care se efectuează:

- manevrarea mașinii;
- fixarea piesei;
- scoaterea piesei;
- controlul piesei;

T_{des} = timpul de deservire, în care se fac:

- schimbarea sculei;
- reglarea mașinii;
- ungerea mașinii;

$T_{intr.}$ = timpul de întrerupere, pentru:

- odihnă;
- nevoi personale ale muncitorului.

Pentru o singură bucată, timpul va fi:

$$T = T_b + T_a + T_{des} + T_{intr.}, \text{ în [min]}. \quad (7.3)$$

Singurul timp care se calculează este T_b , restul se găsește în tabele sau grafice, de unde componentele se aleg corespunzător.

Calculul timpului T_b

Pentru calculul acestui timp se folosește relația:

$$T_b = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} \text{ în [min]}, \quad (7.4)$$

unde:

L = lungimea care se așchiază, în [mm];

s = avansul, în [mm/rot] sau [mm/c.d.];

n = turația axului principal [rot/min] sau [c.d./min];

i = număr de treceri (fig. 7.8);



Fig.7.8.Schema pentru calculul timpului de bază

Cum $n = \frac{v \cdot 1000}{\pi D}$, rezultă:

$$T_b = \frac{L \cdot i \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot v \cdot s}, \text{ pentru strunjirea longitudinală.} \quad (7.4)$$

Cum $L = \frac{D}{2}$, rezultă:

$$T_b = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot i}{2 \cdot 1000 \cdot v \cdot s}, \text{ pentru strunjirea frontală.} \quad (7.6)$$

Timpul tehnologic pentru aşchiera unui lot de n bucăţi va fi:

$$T_{\text{lot}} = n \cdot T_{\text{buc}} + T_{\text{preg.}} \quad (7.7)$$

T_{preg} = timpul de pregătire, care cuprinde:

- primirea materialului;
- primirea S.D. V.;
- primirea desenelor;
- primirea instrucţiunilor.

n = numărul de bucăţi.

CAPITOLUL 8

TEHNOLOGIA DE FABRICARE A PRODUSELOR DIN PULBERI METALICE

8.1. GENERALITĂȚI

Pulberile metalice sunt particule sau granule, de mărime 0,1-400 μ m din metal pur, aliaje, compuși intermetalici sau compuși chimici ai metalelor.

Procedeul formării pieselor din pulberi metalice, prin presare și prin sinterizare, a început în 1930 și ulterior s-a dezvoltat foarte mult deoarece tehnologia este relativ simplă, iar precizia produselor realizate este foarte mare.

Proprietățile tehnologice specifice pulberilor metalice sunt:

- *volumul de umplere* (V_u , cm³/100g) - volumul ocupat de 100g de pulbere vărsată liber;
- *densitatea de umplere* (ρ_u , g/cm³) – $\rho=100/V_u$;
- *fluiditatea* (F_1 , g/s) - cantitatea de pulbere care se scurge în unitatea de timp printr-o pâlnie cu orificiul calibrat;
- *capacitatea de presare* (C_p , %) - capacitatea de micșorare a volumului inițial ocupat de pulbere.

Cunoașterea acestor proprietăți este importantă, deoarece în funcție de valoarea lor se dimensionează utilajele de compactizare și dispozitivele de dozare.

8.2 FORMAREA PULBERILOR

În figura 8.1 sunt prezentate schematic procedeele de elaborare a pulberilor.

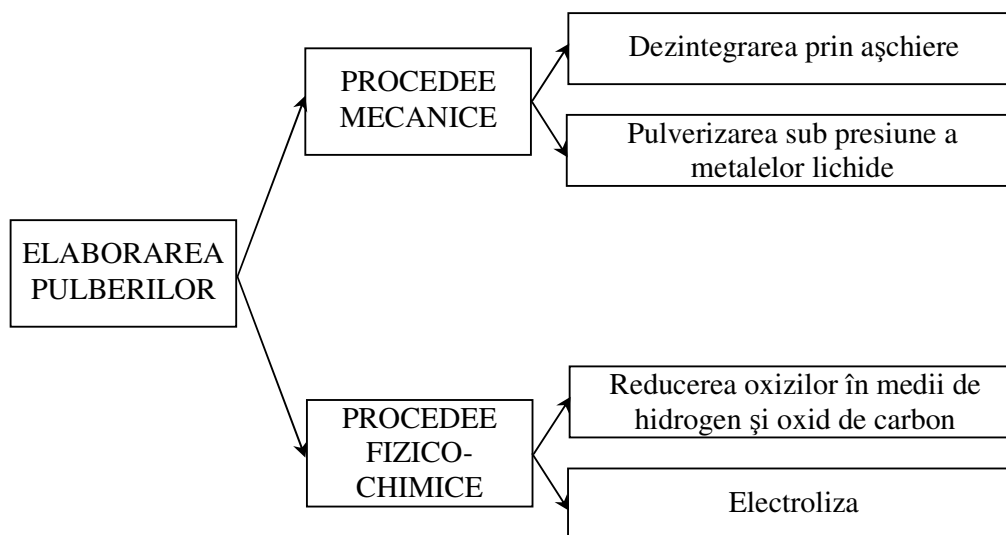


Fig. 8.1. Metode pentru elaborarea pulberilor

În continuare, se prezintă procedeele mecanice de elaborare a pulberilor.

Dezintegrarea prin aşchiere constă în obţinerea aşchiilor metalice cu ajutorul unei maşini unelte, urmată de măcinarea aşchiilor în mori, până se ajunge granulaţia şi gradul de omogenizare prescrise.

Pulverizarea sub presiune a metalelor lichide se face într-o instalaţie al cărei principiu constructiv este prezentat în figura 8.2.

Funcţionarea instalaţiei este următoarea: jetul de metal lichid este lovit tangenţial de aer comprimat în amestec cu gaze inerte sau reducătoare, având presiunea 5-8 atm şi viteza 300-400m/s.

Ca urmare, metalul se pulverizează şi cade într-o baie de apă sub formă de granule.

În urma aplicării acestor procedee, se obţin pulberi brute, care se utilizează pentru metalizare, vopsire, pentru fabricarea electrozilor de sudură, a betoanelor celulare etc.

Pulberile fabricate trebuie să răspundă unor anumite cerinţe de calitate cum ar fi: granulaţia, puritatea, compoziţia chimică, capacitatea de presare etc.

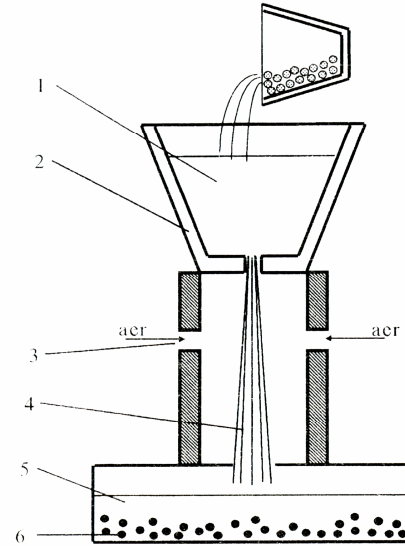


Fig.8.2. Schema instalaţiei pentru pulverizarea sub presiune: 1-metal lichid; 2-creuzet; 3-duză de aer; 4-jet pulverizat; 5-baie de apă; 6-granule metalice

8.3. FORMAREA PIESELOR DIN PULBERI

Tehnologia de fabricare a pieselor din pulberi metalice implică realizarea următoarelor etape:

- pregătirea amestecului din pulberi;
- presarea;
- sintetizarea;
- alte operații după sintetizare.

Pregătirea amestecului din pulberi constă în efectuarea operațiilor de dozare și omogenizare. Dozarea se realizează prin cântărire și este necesară pentru a realiza o anumită compoziție chimică a unui amestec de pulberi, în cantități determinate.

Presarea pulberilor se realizează în matrițe și este cel mai utilizat procedeu de obținere a pieselor necesare în construcția de mașini.

Amestecul de pulberi, pregătit în etapa anterioară, se introduce în cavitatea matriței care este susținută de poansonul inferior. Presarea se face fie unilateral, prin poansonul superior, fie bilateral, prin ambele poansoane. Presarea bilaterală este preferată deoarece conduce la obținerea unei piese de densitate uniform repartizată.

Viteza de presare trebuie să fie mică deoarece, în caz contrar, aerul nu se elimină complet și poate conduce la formarea unor contrapresiuni care fisurează piesa.

La sfârșitul presării, se menține poansonul sub sarcină câteva secunde pentru egalizarea tensiunilor în piesă. Matrițele se construiesc, în general, din oțeluri de scule, cu rezistență mare la șoc și la uzură.

Presele destinate metalurgiei pulberilor pot fi cu acționare mecanică sau hidraulică și trebuie să realizeze presiuni până la 250tf.

Sinterizarea este cea mai importantă operație în formarea proprietăților pieselor din pulberi și constă într-un tratament termic, în atmosferă controlată, pentru consolidarea amestecului de pulberi. Temperatura de sinterizare trebuie să fie mai mică decât temperatura de topire a componentelor sau cel puțin, a componentei principale.

Mediul de sinterizare poate fi neutru, oxidant, reducător sau carburant, funcție de reacțiile chimice care trebuie declanșate sau întrerupte. În ultimul timp se folosește tot mai des vidul, ca mediu de sinterizare, deoarece în funcție de valoarea sa și de temperatură, acesta poate avea un caracter reducător controlabil.

În practică există mai multe tipuri de sinterizare (fig. 8.3).

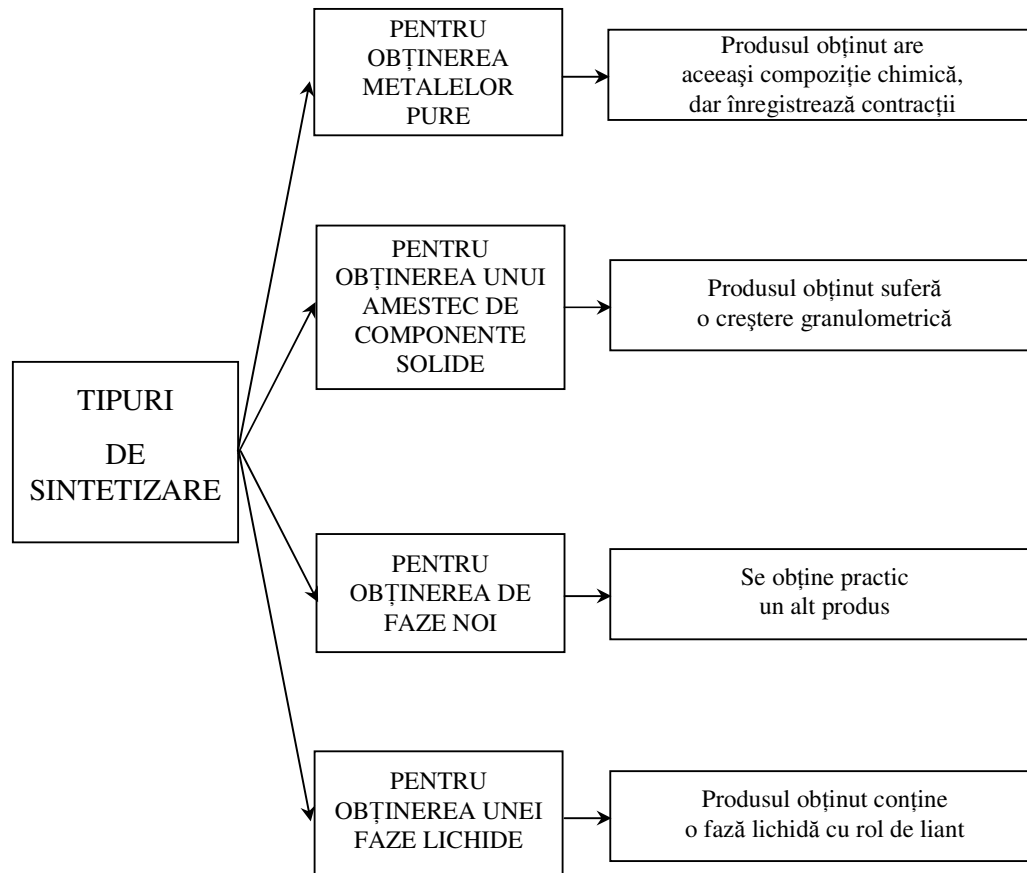


Fig. 8.3. Tipuri de sinterizare

În urma sinterizării se mai pot face următoarele operații:

- *calibrare*, pentru corectarea dimensiunilor pieselor;
- *represare*, pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice de rezistență;
- *așchiere*, pentru înlăturarea bavurilor;
- *impregnare*, cu alte metale sau rășini pentru creșterea rezistenței la coroziune.

8.4 PRODUSE ALE METALURGIEI PULBERILOR

Prin metalurgia pulberilor se obțin următoarele tipuri de produse:

- *Produse poroase*, care depășesc 25% din producția mondială de piese sinterizate. Domeniile de utilizare cele mai reprezentative sunt construcția de lagăre cu cuzineți autolubrifianți (bronz cu grafit, oțel cu grafit) pentru mașini de frezat, găurit, stanțat, poduri rulante, benzi transportoare etc, construcția de filtre pentru lichide și gaze, amortizoare de zgomot, stingătoare de flacără, plăci de separație etc.

- *Materiale de fricțiune* (cu coeficient de frecare ridicat, conductivitate termică mică și coeficient de dilatare mic), care pot fi pe bază de fier și se folosesc în locuri intens solicitate, pe bază de cupru și se folosesc acolo unde se dezvoltă cantități mari de căldură care

trebuie repede disipate și pe bază de cermeți, de tipul oxizilor și se folosesc pentru condiții de frecare uscată pe suprafețe foarte dure, la temperaturi ridicate.

- *Piese mecanice de rezistență*, care ocupă ponderea maximă în producția de piese sinterizate cum ar fi: roți dințate, segmenti de piston, pârgii, furci, manșoane, bușe, came etc.

- *Aliaje dure*, care sunt produse tipice ale metalurgiei pulberilor, realizate din wolfram și titan legate cu cobalt și se utilizează ca scule de așchiere și trefilare. În unele cazuri se pot asocia aliajelor dure și granule de diamant, obținându-se așa numitele scule diamante, care se pretează proceselor de foraj la mare adâncime, de tăiere a rocilor granitice.

- *Produse pentru industria electrotehnică* rezultate din sinterizarea pulberilor metalice, care sunt de înaltă puritate și cu proprietăți speciale superioare. De exemplu, combinațiile W-Cu, W-Ag, Ag-Ni, numite și pseudoaliaje deoarece nu formează aliaje în stare topită, sunt imposibil de realizat pe alte căi. Au o mare conductivitate electrică și termică și o mare rezistență la degradare prin eroziune electrică, ceea ce le indică pentru construcția contactelor electrice de rupere, perii pentru colectoare, borne foarte rezistente, electrozi pentru sudarea prin puncte, etc.

Combinațiile metal-grafit se folosesc cu succes pentru confecționarea contactelor glisante, cum ar fi periile glisante pe firul de cașe al troleibuzelor.

Dintre materialele magnetice elaborate prin sintetizare, se folosesc în special combinațiile Fe-Ni, Fe-Si, Al-Fe-Si.

- *Materiale refractare*, care cuprind produse din metale greu fuzibile, materiale refractare pe bază de carburi sau silicați și materiale refractare de bază de cremeți și se livrează sub formă de sârmă, table sau piese fasonate.

CAPITOLUL 9

LANȚURI CINAMETICE ALE MAȘINILOR UNELTE

9.1. GENERALITĂȚI

Procesele tehnologice de așchiere, precum strunjirea, găurirea, frezarea etc. constau în desprinderea și îndepărtarea așchiilor, precum și în stabilirea mișcărilor (de generare a suprafețelor pieselor) și vitezelor de așchiere și de avans.

Toate mecanismele cu ajutorul cărora se stabilesc mișcările, pe traiectoriile directe și generatoare, formează cinematica mașinilor unelte.

Cinematica mașinilor-unelte se studiază pe părți distincte sau pe grupe de mecanisme distincte, în funcție de operațiile care descriu secvența procesului tehnologic de prelucrare (de exemplu stabilirea vitezei de așchiere, de avans al sculei, operațiile de așezare și scoatere a sculelor și pieselor de pe mașina-unelte, controlul geometric al pieselor prelucrate etc. Aceste grupe distincte de mecanisme de acționare sunt cunoscute sub numele de lanțuri cinematice ale mașinilor-unelte. Ele transmit un semnal, prelucrat sau nu, de la o sursă de mișcare la un organ final al mașinii-unelte.

9.2 CLASIFICAREA LANȚURILOR CINEMATICE

Lanțurile cinematice, din structura mașinilor unelte, se clasifică după rolul funcțional în următoarele categorii:

- lanțuri cinematice generatoare;
- lanțuri cinematice auxiliare.

Lanțurile cinematice generatoare sunt cunoscute sub numele de lanțuri cinematice directe și se clasifică, la rândul lor, după operațiile pe care le realizează, în două categorii:

- lanțuri generatoare simple;
- lanțuri generatoare complexe (compuse).

Cele simple, descriu atât traiectoriile realizate de sculă și piesă, cât și vitezele cu care se realizează mișcările principale sau de avans, în funcție de materialul piesei și de caracteristicile procesului de așchiere.

Ex.: operațiile de găurire, strunjire.

Lanțurile generatoare complexe sau compuse sunt acelea care realizează concomitent mai multe operații.

Ex.: operațiile de filetare și de danturare a roților dințate.

Din punct de vedere al rolului funcțional în procesul de așchiere, lanțurile generatoare (directoare) se clasifică în:

- lanțuri principale;
- lanțuri de avans.

Cele principale stabilesc detaliile pentru mișcarea principală, atât ca traiectorie cât și ca viteză.

Cele de avans (secundare) stabilesc detaliile necesare mișcării de avans atât ca traiectorie cât și ca viteză.

În procesul tehnologic de așchiere, mișcarea directoarei pe generatoare poate să aibă poziție relativă și anume:

- generatoarea mobilă și directoare fixă (la mortezare);
- generatoarea fixă și directoare mobilă (la frezare);

- generatoarea mobilă și directoare mobilă (la filetare).

Lanțurile cinematice auxiliare servesc la realizarea mișcărilor, din cadrul procesului tehnologic de așchiere, cum ar fi:

- deplasarea materialului și a sculei;
- prinderea pe suportți, batiuri a sculelor și materialelor;
- controlul geometric al pieselor;
- protecția angajatului (strungar, frezor);
- operațiile de răcire etc.

9.3. STRUCTURA LANȚURILOR CINEMATICE

Structura lanțurilor cinematice este dată de numărul mecanismelor de acționare și de felul acestora.

Mecanismele de acționare modifică semnalul primit la intrare și îl transmit la ieșirea mecanismului sub formă modificată. De obicei sunt notate cu Y .

Raportul de transmitere a mișcării este dat de relația:

$$i_T = \frac{y_e}{y_i} \quad (9.1)$$

În general, semnalul modificat și transmis de mecanismele de acționare este o turație. Aceasta poate fi modificată atât ca traiectorie cât și ca frecvență. Ca traiectorie, semnalul se poate modifica din mișcare de rotație în mișcare de translație, cu ajutorul unor mecanisme ca: bielă-manivelă, șurub conducător piuliță, mecanism cu excentric, cilindru pneumatic.

Modificarea din punct de vedere al frecvenței, se referă la mărirea sau diminuarea semnalului cu ajutorul cutiei de viteze, cutiei de avansuri, pompei hidraulice, reostatelor (la mașinile electrice).

Mecanismele de acționare folosite în cinematica mașinilor-unelte se pot clasifica după natura lor în: mecanisme electrice, pneumatice, hidraulice. Lanțurile cinematice alcătuite cu aceste mecanisme se numesc lanțuri cinematice electrice, pneumatice sau hidraulice.

Alte mecanisme folosite în cinematica mașini-unelte:

- mecanisme de pornire/oprire, care se folosesc la pornirea și oprirea mașinilor-unelte (de exemplu ambreaj);
- mecanism de inversare de sens;
- mecanism de frânare;
- mecanism de protecție, care realizează protecția personalului;
- mecanism de control, care controlează fazele sau parametri procesului tehnologic: de frecvență, de tensiune, de curent, de nivel, de presiune, debit.

9.4. CARACTERISTICILE LANȚURILOR CINEMATICE

Lanțurile cinematice generatoare trebuie să îndeplinească condițiile impuse de procesul tehnologic, precum: vitezele sculei și piesei, structura și materialul din care sunt realizate scula și piesa, precizia dimensională a prelucrărilor suprafețelor pieselor, cât și forma și gabaritul piesei. Cele mai reprezentative caracteristici ale lanțurilor generatoare:

- caracteristica de transmitere;
- caracteristica de reglare.

Caracteristica de transmitere este proprietatea unui mecanism sau mai multor mecanisme de a primi un semnal la intrare și de al transmite la ieșire într-un semnal modificat.

Raportul de transmitere sau de transfer al mecanismului M_1 (figura 9.1), notat cu i_1 , este egal cu raportul dintre mărirea semnalului la ieșire y_{1e} și a semnalului de intrare:

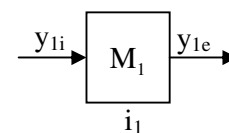


Fig. 9.1. Figură ilustrativă pentru determinarea raportului de transmitere

$$i_1 = \frac{y_{1e}}{y_{1i}} \quad (9.2)$$

În cinematica mașinii unelte aceste mecanisme pot să funcționeze legate în serie, în paralel sau mixt.

Raportul de transmitere total al mișcării în lanțul cinematic format din k mecanisme înseriate (figura 9.2) se obține pe baza rapoartelor de transmitere ale fiecărui mecanism:

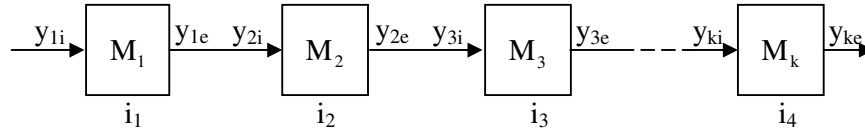


Fig. 9.2. Reprezentarea unui lanț cinematic format din k mecanisme

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{y_{1e}}{y_{1i}} \\ i_2 &= \frac{y_{2e}}{y_{2i}} \\ i_3 &= \frac{y_{3e}}{y_{3i}} \\ &\vdots \\ i_k &= \frac{y_{ke}}{y_{ki}} \end{aligned} \quad (9.3)$$

Raportul de transmitere total al mișcării va fi:

$$i_T = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_k = \prod_{j=1}^k i_j \quad (9.4)$$

Deoarece $y_{1e} = y_{2i}$, $y_{2e} = y_{3i}$... $y_{(k-1)e} = y_{ki}$ raportul de transmitere total al mișcării va fi:

$$i_T = \frac{y_{ke}}{y_{1i}} \quad (9.5)$$

9.5. REPREZENTAREA CINEMATICĂ A LANȚURILOR GENERATOARE ȘI ETAJAREA TURAȚILOR

9.5.1. Reprezentarea cinematică a lanțurilor generatoare

Reprezentarea cinematică a lanțurilor generatoare se face atât la mașinile existente și se cheamă analiză cinematică, cât și la mașinile unelte care se vor proiecta și se cheamă sinteză cinematică.

Reprezentarea grafică a lanțurilor cinematice se face în practică prin trei metode:

- schema cinematică;
- schema cinematică structurală;
- schema cinematică a fluxului tehnologic.

Toate aceste reprezentări grafice se realizează prin simboluri prevăzute de norme pentru elementele componente ale lanțurilor cinematice. Aceste reprezentări grafice sunt mult mai simple și mai utile decât reprezentările prin desen tehnic, atât pentru proiectare cât și pentru întreținere și exploatare.

Cea mai utilizată metodă este schema fluxului tehnologic deoarece din schema respectivă, în care se dau diametre, număr de dinți, număr de începături la roțile melcate și pasul la cremaliere și roți dințate, se pot calcula direct de pe schemă vitezele cu care se deplasează scula sau piesa.

Prelucrarea corectă a pieselor din diferite materiale și cu diferite dimensiuni necesită ca mașinile unelte să dea o gamă largă de turații la arborele principal. Pentru aceasta mașinile unelte sunt prevăzute cu *cutii de viteze*.

S-a arătat că viteza de aşchiere v , la maşinile care au *mişcarea principală* de rotaţie, este dată de relaţia:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (9.6)$$

în care turaţia n se exprimă în [$\frac{\text{rot}}{\text{min}}$], iar diametrul D al piesei în [mm].

Pentru o maşină se vor prelucra piese cu diametre cuprinse între un D_{\min} şi un D_{\max} . Acestea vor necesita vitezele v_{\min} şi v_{\max} obţinute cu turaţiile n_{\min} şi n_{\max} , exprimate de relaţiile:

$$n_{\min} = \frac{1000 v_{\min}}{\pi D_{\max}}; \quad (9.8)$$

$$n_{\max} = \frac{1000 v_{\max}}{\pi D_{\min}}. \quad (9.7)$$

Rapoartele:

$$\frac{n_{\max}}{n_{\min}} = R_n; \quad \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = R_v; \quad \frac{D_{\max}}{D_{\min}} = R_D \quad (9.8)$$

se numesc rapoarte de reglare a turaţiilor, a vitezelor şi respectiv a diametrelor. Legătura dintre aceste rapoarte va fi:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} \cdot \frac{D_{\max}}{D_{\min}} = R_v \cdot R_D \quad (9.9)$$

În cazul ideal, o maşină unealtă ar trebui să dea toate turaţiile cuprinse între n_{\min} şi n_{\max} . Pentru aceasta sunt necesare mecanisme de reglare fără trepte de turaţii.

În practică, se folosesc însă mecanisme care permit realizarea unui număr finit de turaţii sau a unui şir de turaţii etajate în trepte. Deci, reglarea în trepte a turaţiei limitează numărul de diametre de prelucrat cu viteze optime.

9.5.2. Etajarea turaţiilor

Variaţia vitezei v funcţie de diametrul D , pentru anumită turaţie n a axului principal n , poate fi urmărită pe diagrama din figura 9.3, în care variaţia apare ca o dreaptă ce trece prin originea axelor şi care este înclinată faţă de abscisă cu unghiul α , a cărui valoare este dată de relaţia:

$$\alpha = \arctg \frac{\pi n}{1000} \quad (9.10)$$

La un diametru D_1 va corespunde o viteză optimă v_1 obţinută cu turaţia n . Aceeaşi turaţie poate fi folosită însă şi pentru un diametru mai mic de 2 în care caz viteza va fi v_2 şi nu cea optimă. Pierderea de viteză va fi:

$$\Delta v = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.11)$$

Dacă dorim să prelucrăm cu diametrul D_2 , cu viteza optimă v_1 , se impune schimbarea turaţiei la n' şi așa mai departe. Apare în acest o diagramă cu o formă de dinţi de ferestru. Vârfurile superioare ale dinţilor se găsesc pe linia orizontală corespunzătoare vitezei optime

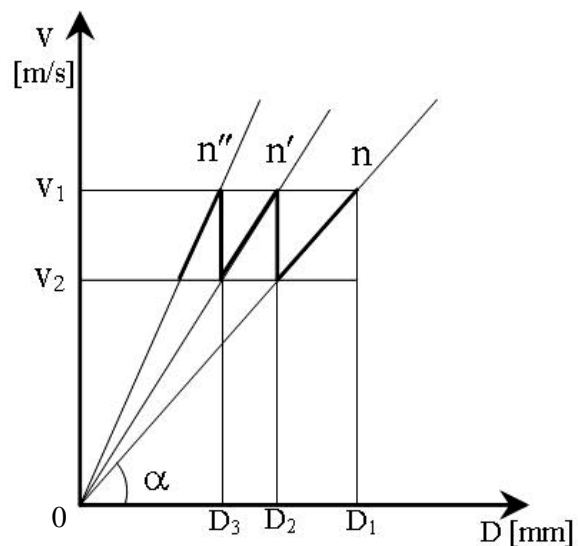


Fig. 9.3. Diagrama vitezei în funcție de diametru

v_1 . Pierderile de viteză Δv între două viteze apropiate v_1 și v_2 sunt date de liniile verticale ale dinților.

Ideal este ca orice mașină să etajeze turațiile astfel încât:

- vârfurile dinților de ferestrău să fie cât mai uniform repartizate;
- căderile de viteză Δv să fie cât mai mici.

Pentru satisfacerea acestor criterii se întrebuițează următoarele etajări:

- aritmetică;
- geometrică;
- combinată.

9.5.2.1. Etajarea aritmetică

Aici turațiile se succed după o progresie aritmetică. Considerând un șir de k turații și luând rația șirului δ , avem:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{\min}, \\ n_2 &= n_1 + \delta, \\ n_3 &= n_2 + \delta = n_1 + 2\delta, \\ &\vdots \\ n_k &= n_{k-1} + \delta = n_1 + (k-1)\delta = n_{\max} \end{aligned} \quad (9.12)$$

Deci:

$$\delta = \frac{n_k - n_1}{k-1} = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{k-1} \quad (9.13)$$

Pierderile de viteză Δv sunt mici pentru diametre mici și invers (figura 9.4). La diametre mici etajarea foarte fină, iar la diametre mari este grosieră. De obicei, această etajare nu se utilizează în practică.

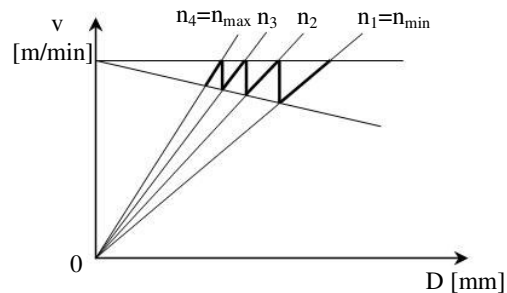


Fig. 9.4 Etajarea aritmetică a vitezelor pentru $k=4$ turații

9.5.2.2. Etajarea geometrică

Aici turațiile se succed după o progresie geometrică cu rația φ . Considerând un șir de k turații și luând rația șirului φ , avem:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{\min}, \\ n_2 &= n_1\varphi, \\ n_3 &= n_2\varphi = n_1\varphi^2, \\ &\vdots \\ n_k &= n_{k-1}\varphi = n_1\varphi^{k-1} = n_{\max}. \end{aligned} \quad (9.14)$$

Deci:

$$\varphi = \sqrt[k-1]{\frac{n_k}{n_1}} = \sqrt[k-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}, \quad (9.15)$$

$$k = \frac{\lg \frac{n_{\max}}{n_{\min}}}{\lg \varphi} + 1 \quad (9.16)$$

Pierderile de viteză Δv sunt constante (figura 9.5) pentru toate valorile diametrului:

$$\Delta v = \left(1 - \frac{1}{\varphi^{k-1}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.17)$$

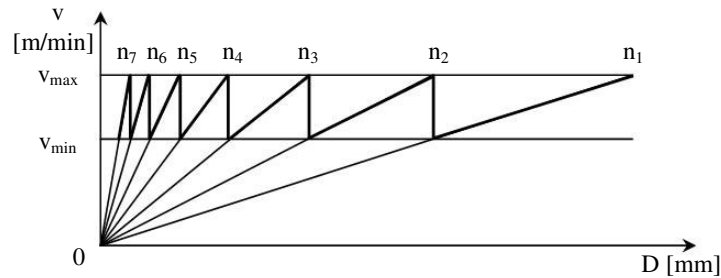


Fig. 9.5. Etajarea geometrică a vitezelor pentru $k=7$ turații

9.6. TRANSMISII ȘI MECANISME FOLOSITE ÎN ALCĂTUIREA LANȚURILOR CINEMATICE

9.6.1. Clasificarea mecanismelor de transmitere și reglaj

- I. Mecanisme simple de transmitere a mișcării de rotație:
 1. transmisii cu curele - plate
- trapezoidale
 2. transmisii cu lanț
 3. transmisii cu roți dințate - cilindrice
- conice
 4. Transmisii melc-roată melcată
- II. Mecanisme de reglaj a turației
 1. în trepte: a) mecanisme cu roți baladoare
b) mecanisme cu cuplaje (ambreiaje)
- cu lamele cu fricțiune
- cu dinți
c) mecanisme cu pană glisantă
d) mecanisme cu roți rabatabile
e) mecanisme cu meandre
 2. continuu: a) cu o roată plană și rolă deplasabilă
b) cu două roți plane și rolă deplasabilă
c) variator conic cu disc plan
d) cu roți conice duble
- III. Mecanisme de inversare a sensului de rotație
 1. cu roată baladoare
 2. cu bloc de roți baladoare
 3. cu cuplaj balador dințat
 4. cu cuplaj cu lamele de fricțiune
 5. cu roți conice
 6. cu inversor electromagnetic
- IV. Mecanisme pentru transmiterea intermitentă a mișcării
 1. cu clichet și roată de clichet
 2. cu cruce de Malta
- V. Mecanisme pentru transformarea mișcării
 1. cu autoinversare: a) bielă-manivelă
b) culisa oscilantă
 2. fără autoinversare: a) roată dințată-cremalieră
b) melc-cremalieră melcată

- c) șurub-piuliță
- d) camă-tachet - camă disc
 - camă tambur
 - camă cilindrică

9.6.2. Exemple la mașinilor unelte

Mișcările între mecanisme se transmit și se transformă în trepte sau continuu cu diferite rapoarte de transmitere.

Cele mai utilizate transmisii la mașini unelte sunt:

a) *transmisia prin curele*

Raportul de transmitere:

$$i = \frac{d_1}{d_2} \gamma = \frac{n_2}{n_1} \gamma, \quad (9.18)$$

în care γ este coeficient de patinare, adică unghiul dintre ramurile curelei.

b) *transmisia cu lanț*

Raportul de transmitere va fi:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (9.19)$$

Aici, ca și la celelalte transmisii cu roți dințate nu avem alunecare.

Modulul unei roți dințate este:

$$m = \frac{p}{\pi}, \quad (9.20)$$

unde:

p este pasul dinților măsurat pe cercul divizor.

Deci, circumferința cercului divizor va fi:

$$\pi d = p \cdot z = m \cdot \pi \cdot z \quad (9.21)$$

De aici:

$$d = m \cdot z. \quad (9.22)$$

Cum cele 2 roți trebuie să aibă aceleași modul, rezultă:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{m \cdot z_1}{m \cdot z_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (9.23)$$

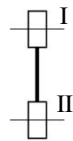


Fig. 9.6. Transmisie prin curele

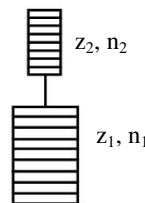


Fig. 9.7. Transmisie cu lanț

c) *transmisia cu roți dințate*

Raportul de transmitere:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (9.23)$$

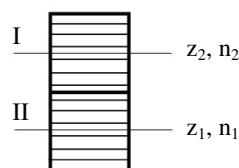


Fig. 9.8. Transmisia cu roți dințate cilindrice

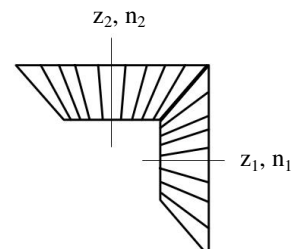


Fig. 9.9. Transmisia cu roți dințate conice

d) *transmisia cu melc roată melcată*

Este folosită pentru rapoarte de transmitere mari:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{a}{z} \tag{9.24}$$

unde:

a - numărul de începuturi ale melcului;

z - numărul de dinți ai roții melcate.

n_1 și n_2 - turațiile melcului și roții melcate.

e) *transmisia cu cremalieră*

Poate fi:

-cu roată dințată și cremalieră (la rabotează)

-cu melc – cremalieră

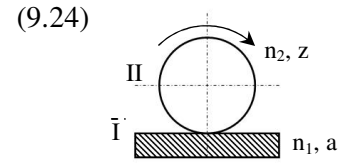


Fig. 9.10. Transmisia melc roată melcată

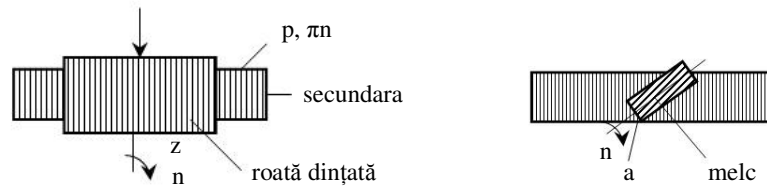


Fig. 9.11. Transmisie cu cremalieră

Spațiul parcurs va fi:

$$S = p \cdot z \cdot n = \pi \cdot m \cdot z \cdot n \tag{9.25}$$

unde:

p - pasul cremalierii

z - număr de dinți ai roții

n - număr de rotații ale roții

Spațiul parcurs va fi:

$$S = p \cdot a \cdot n = \pi \cdot m \cdot a \cdot n \tag{9.26}$$

f) *transmisia cu șurub conducător-piuliță*

Spațiul parcurs de piulița mobilă va fi:

$$S = p \cdot n$$

Mai multe transmisii asamblate împreună formează un

lanț cinematic având pe i ca produs al tuturor rapoartelor.

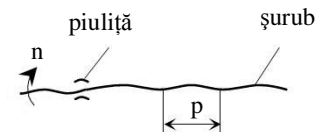


Fig. 9.12. Transmisia șurub-piuliță

Un exemplu de lanț cinematic este dat în figura.

Turația axului VI va fi:

$n_{VI} = n_I \cdot i$, unde:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 = \frac{d_1}{d_2} \cdot \gamma \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{a}{z_7}$$

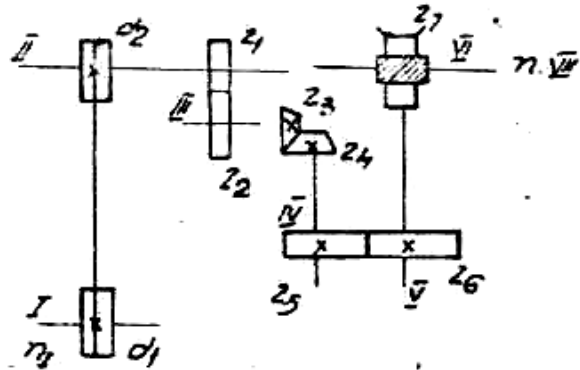


Fig.9.13 Lanț cinematic

9.6.3. Mecanisme elementare ale cutiilor de viteze

Pentru a obține diferitele turații necesare procesului de prelucrare prin așchiere, precum și avansurile necesare, mașinile unelte sunt prevăzute cu cutii de viteze și de avansuri și filete.

Mecanismele elementare cele mai întâlnite în aceste cutii sunt:

a) *mecanisme cu roți baladoare*

I - arbore conducător

II - arbore condus

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; i_2 = \frac{z_3}{z_4}; i_3 = \frac{z_5}{z_6}$$

$$i_1 > i_2 > i_3$$

Blocul balador alunecă pe caneluri.

Constructiv se pun condițiile: distanța dintre roțile

$z_1 - z_5$ și $z_1 - z_3$ să fie $>$ ca lățimea a două roți baladoare.

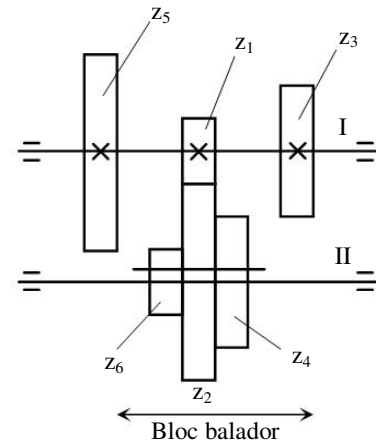


Fig.9.14. Mecanism cu roți baladoare

b) *mecanisme cu con de roți dințate (mecanisme Norton)*

Aceste mecanisme au maxim 16 roți dințate, etajate pe arborele condus (II). În figura 9.15 pe arborele condus II avem 5 roți dințate fixe z_1, z_2, \dots, z_5 . Pe arborele conducător I, se găsește o roată baladoare (z_b). Între cei doi arbori este așezată o roată rabatabilă (z_r), intermediară, fixată în furca baladoare.

Mânerul furcii (m) se deplasează în fața unor găuri corespunzătoare numărului de roți de pe arborele condus (II).

$$i_1 = \frac{z_b}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_1} = \frac{z_b}{z_1}$$

$$i_2 = \frac{z_b}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_2} = \frac{z_b}{z_2}$$

⋮

$$i_5 = \frac{z_b}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_5} = \frac{z_b}{z_5}$$

$$i_1 > i_2 > i_3 > i_4 > i_5$$

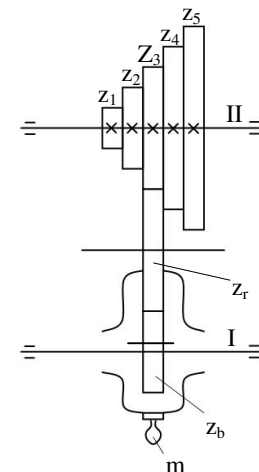


Fig. 9.15 Mecanism Norton

c) *mecanisme cu meandre*

Au avantajul că ocupă spațiu puțin. Conțin un arbore intermediar pe care sunt așezate roți cu număr de dinți z sau $2z$ ca și pe arborele conducător (I).

Mai includ o roată intermediară rabatabilă (z_r) și alta baladoare (z_b), cu furcă.

Roțile $z_1 = z_3 = z_5$ au același număr de dinți z .

Roțile $z_2 = z_4 = z_6 = z_b$ au un număr dublu de dinți față de celelalte, adică $2z$.

În felul acesta se pot realiza rapoartele de transmitere:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_b} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_b} = \frac{z}{2z} \cdot \frac{z}{2z} = \frac{1}{4}$$

$$i_2 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_b} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_b} = \frac{z}{2z} \cdot \frac{2z}{2z} = \frac{1}{2}$$

$$i_3 = \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_5}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_b} = \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_5}{z_b} = \frac{2z}{z} \cdot \frac{z}{2z} = 1$$

$$i_4 = \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_r} \cdot \frac{z_r}{z_b} = \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_b} = \frac{2z}{z} \cdot \frac{2z}{2z} = 2$$

Rapoartele de transmitere sunt în progresie geometrică cu rația $\varphi = 2$.

d) mecanisme cu pană mobilă (alunecătoare)

Fac parte din categoria schimbătoarelor de turație în trepte.

Roțile de pe arborele I sunt fixe.

Cele de pe arborele II se rotesc libere. Sunt prevăzute cu câte un canal de pană în care va intra pana, solidară cu bara care se manevrează după dorință.

În momentul în care pana este în canalul uneia din roți, aceasta va transmite mișcarea la arborele II cu raportul respectiv.

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4}$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6}$$

$$i_4 = \frac{z_7}{z_8}$$

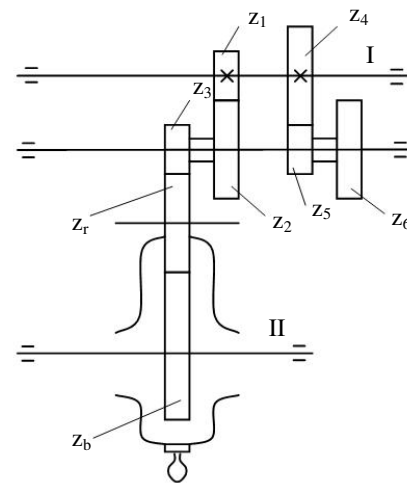


Fig. 9.16 Mecanism cu meandre

