

# MATERIALE ȘI TEHNOLOGII ÎN INGINERIA MECANICĂ

## BAZELE PROIECTĂRII PROCESELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE MECANICĂ

### 1.1. Datele inițiale necesare proiectării

Procesele tehnologice de prelucrare mecanică (PTPM) reprezintă cea mai complexă componentă a proceselor de fabricare a pieselor și generează de obicei costurile cele mai mari. Obiectivul activităților de proiectare a acestor procese îl constituie elaborarea unei **documentații tehnologice** prin aplicarea căreia să se obțină piese cu calitățile cerute de documentația de execuție, în cantitățile prevăzute în planul de producție, cu costuri minime.

Datele inițiale necesare proiectării PTPM sunt:

- *documentația de execuție;*
- *planul de producție;*
- *baza materială;*
- *condiții suplimentare;*

**Documentația (proiectul) de execuție** constituie elementul esențial și în varianta completă conține: *desenul de ansamblu, desene de subansamble, desene de execuție pentru piese (repere), borderou de desene, memoriu tehnic*. În anumite situații, proiectarea PTPM al unei piese se poate face și numai pe baza desenului de execuție care trebuie să conțină toate informațiile necesare obținerii piesei respective cu calitatea cerută de condițiile de funcționare în cadrul ansamblului din care face parte.

**Planul de producție** trebuie să permită stabilirea numărului de repere (piese) ce trebuie fabricate într-o perioadă de timp dată, stabilindu-se pe această bază caracterul producției (unicat, individuală, de serie sau de masă).

**Baza materială** se referă la mașinile unelte și SDV-urile necesare

fabricării pieselor conform planului de producție; pot apărea două situații:

1. Fabricația se realizează într-o unitate de producție existentă care are o anumită dotare cu utilaje și SDV-uri; în acest caz proiectantul tehnologiei trebuie să dețină informații exacte despre performanțele tehnologice ale mașinilor-unelte, dispozitivelor de bazare și fixare, mijloacelor de control existente

2. Fabricația se va realiza într-o unitate nouă, ce urmează să se doteze; procesele tehnologice proiectate trebuie să țină seama de cele mai noi realizări în domeniu, astfel încât pe baza proiectului tehnologic să se achiziționeze utilajul cu performanțele cele mai bune de precizie și productivitate, corespunzătoare realizării condițiilor tehnice specifice produsului pentru care se proiectează tehnologia de prelucrare mecanică.

*Condițiile suplimentare* au în vedere aspectele legate de respectarea prescripțiilor privind securitatea muncii și protecția mediului, condițiile economico-sociale, gradul de calificare al forței de muncă disponibilă, documentația tehnologică (standarde, normative și cataloage de scule, cărțile tehnice ale mașinilor-unelte din dotare, normative pentru timpi auxiliari, standarde pentru semifabricate etc.) disponibilă.

Pe baza acestor date inițiale se pot stabili mai multe variante de PTPM pentru aceeași piesă, în funcție și de următoarele:

- experiența societății comerciale în domeniul tehnologiilor de fabricație;
- cunoașterea tendințelor moderne și a progresului tehnic în domeniu;
- puterea de sinteză și concepție a proiectantului procesului tehnologic.

## 1.2. Etapele proiectării PTPM

Pentru proiectarea variantelor PTPM și deducerea din acestea a procesului tehnologic optim este necesară o metodologie fundamentată științific aplicată prin următoarea succesiune de etape:

1. Analiza datelor inițiale;
2. Alegerea semifabricatului;
3. Stabilirea succesiunii operațiilor tehnologice;
4. Stabilirea succesiunii etapelor și a procedeelelor de prelucrare mecanică;
5. Determinarea erorilor de instalare pentru fiecare așezare;
6. Determinarea adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor interoperaționale;

7. Stabilirea sistemelor tehnologice;
8. Calculul parametrilor regimurilor de aşchiere;
9. Calculul normelor tehnice de timp;
10. Cercetarea aspectelor economice şi stabilirea variantei optime a procesului tehnologic;
11. Elaborarea documentaţiei tehnologice şi de control.

Nivelul de abordare şi rezolvare a problemelor specifice fiecărei etape depinde în principal de tipul producţiei şi complexitatea piesei; în cazul *producţiei individuale* a unor piese relativ simple, se acceptă şi rezolvări aproximative, bazate pe similitudinea totală sau parţială cu alte piese fabricate anterior; în cazul *producţiei de serie* sau de masă rezolvarea fiecărei etape se face pe baza unor modele de calcul , principii şi reguli ale tehnologiei mecanice.

### 1.3. Analiza datelor iniţiale

Pe baza analizei caracteristicilor tehnice, a condiţiilor de exploatare, a volumului producţiei şi a condiţiilor suplimentare se stabileşte caracterul general al procesului tehnologic şi tipul producţiei.

Importanţa cea mai mare o are analiza documentaţiei de execuţie în general şi a desenului piesei în special, deoarece pe această bază pot fi propuse proiectantului de produs îmbunătăţiri constructive (formă, precizie dimensională, calitatea suprafeţei, materiale) care să uşureze fabricaţia şi să conducă la reducerea costului produsului.

Analiza critică a desenului de execuţie trebuie să evidenţieze în principal tehnologicitatea piesei şi se au în vedere următoarele aspecte:

- reprezentarea şi cotearea corectă şi completă conform regulilor desenului tehnic a piesei; pe cât posibil sistemul de cotare să fie şi tehnologic, evitându-se astfel calculul unor dimensiuni de către proiectantul tehnolog sau de către operator;
- cotele funcţionale să aibă precizia indicată prin abateri (inferioară şi superioară), clasa de calitate ISO şi poziţia câmpului de toleranţă, iar pentru cotele libere să se indice precizia conform standardelor sau normelor ce reglementează acest aspect;
- să existe indicaţii privind rugozitatea tuturor suprafeţelor şi indicaţii

privind alte condiții de calitate a stratului superficial (duritate, acoperire sau încărcare cu alte materiale etc.);

- să fie precizat materialul piesei, standardul sau norma după care se elaborează, tratamentul termic final și caracteristica ce se controlează după tratament;
- condițiile tehnice suplimentare privind caracteristici mecanice impuse materialului, tratamente termochimice, raze de racordare și teșituri, indicații tehnologice (de exemplu prelucrarea unor suprafețe împreună cu alte piese pentru asigurarea preciziei la montaj) etc.
- analiza impactului ecologic al fabricării și exploatării produsului.

În cazul în care se constată necesitatea introducerii unor modificări în documentația de execuție pentru îmbunătățirea tehnologicității sau eliminarea unor neconcordanțe, proiectantul tehnolog face propunerile respective proiectantului de produs care este singurul autorizat să modifice documentația de execuție.

## 1.4. Alegerea semifabricatului

Alegerea semifabricatului pentru piesele prelucrate mecanic presupune *stabilirea formei, dimensiunilor și metodei tehnologice de obținere a acestuia*. Deoarece costul prelucrărilor mecanice depinde de cantitatea de material îndepărtată, semifabricatul trebuie să fie cât mai apropiat ca formă și dimensiuni de piesa finită, ceea ce îi va mări costul. Rezultă că alegerea semifabricatului este o problemă de optim tehnico-economic ce se rezolvă ținând seama de: *forma și dimensiunile piesei, materialul prevăzut pentru aceasta în desenul de execuție și caracterul producției*.

Tipul materialului prevăzut prin proiectare pentru realizarea piesei impune întodeauna metoda tehnologică de obținere a semifabricatului (turnare, deformare plastică, sudare etc.). Procedul tehnologic din cadrul unei metode se stabilește pe baza a două criterii:

- costul generat de semifabricat ;
- indicele de utilizare a materialului.

Costul generat de semifabricat  $C_{sf}$  se determină cu relația:

$$C_{sf} = m_{sf} C_{usf} - m_{dr} C_{udr} + C_{dg} \left( 1 + \frac{R_{pm}}{100} \right), \quad (1.1)$$

unde  $m_{sf}$  este masa semifabricatului,  $C_{usf}$  – costul pe unitatea de masă a semifabricatului,  $m_{dr}$  – masa deșeurilor recuperabile,  $C_{udr}$  – costul pe unitatea de masă a deșeurilor,  $C_d$  – costul operației de degroșare,  $R_{pm}$  – regia secție de prelucrare mecanică.

Indicele de utilizare a materialului  $K_m = \frac{m_p}{m_{sf}}$  ( $m_p$  – masa piesei) arată

gradul de apropiere dintre forma și dimensiunile semifabricatului și ale piesei.

Sunt și cazuri în care condiții tehnice speciale cerute piesei (de exemplu, obținerea unui fibraj continuu pentru asigurarea rezistenței la oboseală) impun utilizarea unei anumite metode tehnologice de obținere a semifabricatului.

## 1.5. Stabilirea succesiunii operațiilor tehnologice

Sucesiunea operațiilor tehnologice în procesul de fabricare a pieselor influențează asupra performanțelor de precizie și calitate a suprafețelor piesei, și asupra costului fabricației. Optimizarea proceselor tehnologice de fabricare se realizează atât prin optimizarea parametrilor operațiilor tehnologice cât și prin stabilirea unei succesiuni optime acestora ce se obține pe baza următoarelor principii:

1. *Suprapunerea și unificarea bazelor constructive, tehnologice, de măsurare și de montaj* pentru asigurarea cu costuri minime a condițiilor tehnice de precizie și poziție reciprocă; aceste condiții pot fi realizate cu cea mai bună precizie dacă suprafața de referință și cea raportată la aceasta se prelucrează în aceeași așezare.

2. *Prelucrarea în primele operații sau așezări a suprafețelor ce vor constitui baze tehnologice sau baze de măsurare* pentru următoarele operații sau așezări și a suprafețelor ce pot descoperi defectele ascunse ale semifabricatului.

3. *Reducerea numărului de operații, așezări și faze* prin asocierea geometrică și tehnologică a suprafețelor de prelucrat.

4. *Plasarea corectă a operațiilor de tratament termic și prevederea unor operații de eliminare a deformațiilor* ce pot rezulta după aceste tratamente și de refacere a calității suprafeței (de exemplu, după tratamentul termic de îmbunătățire se vor prelucra mecanic toate suprafețele chiar dacă precizia și

rugozitatea unor suprafețe se puteau realiza la operația de degroșare anterioară tratamentului);

5. *Realizarea în operații distincte a fazelor de degroșare și a fazelor de finisare și de superfinisare* (prelucrare de mare finețe) pentru optimizarea utilizării mașinilor-unelte și a SDV-urilor prin alegerea acestora în funcție de precizia prelucrării.

6. *Prelucrarea către sfârșitul procesului tehnologic a suprafețelor cu precizie ridicată și rugozitate mică* ce se pot deteriora în timpul manipulărilor și a suprafețele care pot reduce rigiditatea semifabricatului;

7. *Stabilirea unui număr rațional de operații de control dimensional sau nedistructiv*, astfel încât să se depisteze cât mai devreme apariția unui rebut, dar fără să se încarce procesul tehnologic cu un număr excesiv de operații de control care vor scumpi inutil fabricația.

Pentru cele mai utilizate tipuri de semifabricate în tabelul 1.1 se prezintă succesiunea operațiilor tehnologice de fabricare a pieselor.

**Tabelul 1.1. Succesiunea generică a operațiilor tehnologice**

Semifabricate turnate (oțel sau fontă)	Semifabricate deformate plastic la cald
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Tratamente termice preliminare</i> (recoacere de omogenizare, recoacere completă, recoacere de grafitizare, după caz)</li> <li>▪ <i>Prelucrări de degroșare prin așchiere</i></li> <li>▪ <i>Control și remedierea defectelor de turnare</i> – dacă este cazul</li> <li>▪ <i>Tratamente termice intermediare</i> (recoacere de detensionare, îmbunătățire, după caz)</li> <li>▪ <i>Prelucrări de finisare prin așchiere</i></li> <li>▪ <i>Tratamente termice finale</i> - dacă sunt prevăzute</li> <li>▪ Prelucrări de finisare cu abrazivi (rectificare)</li> <li>▪ <i>Prelucrări de mare finețe</i> – dacă este cazul</li> <li>▪ <i>Control final</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Deformare plastică la cald</i> (forjare, matrițare)*</li> <li>▪ <i>Tratamente termice preliminare</i> – recoacere completă sau normalizare*</li> <li>▪ <i>Prelucrări de degroșare prin așchiere</i></li> <li>▪ <i>Tratamente termice intermediare</i> (îmbunătățire, carburare, după caz)</li> <li>▪ Prelucrări de finisare prin așchiere</li> <li>▪ <i>Tratamente termice finale</i> (călire superficială, călirea pieselor carburate, etc.), dacă sunt prevăzute</li> <li>▪ <i>Prelucrări de finisare cu abrazivi</i> (rectificare)</li> <li>▪ <i>Tratament termochimic de nitrurare</i> – dacă este cazul</li> <li>▪ <i>Prelucrări de mare finețe</i></li> <li>▪ <i>Control final</i></li> </ul> <p>* In cazul semifabricatelor laminate aceste operații sunt înlocuite cu <i>debitarea</i></p>

Această succesiune are un caracter generic care nu ține seama de particularitățile specifice fiecărui material sau semifabricat. De exemplu, dacă semifabricatul unei piese din oțel de îmbunătățire are precizie ridicată și adaosurile de prelucrare sunt mici, tratamentul termic de îmbunătățire poate fi aplicat înaintea operațiilor de degroșare prin așchiere.

În tabelul 1.1 nu s-au prevăzut operații distincte de control intermediar

deoarece controlul dimensional se face după fiecare fază de prelucrare mecanică; se prevăd aceste operații numai în cazurile în care sunt impuse de condițiile concrete ale fabricației.

## 1.6. Stabilirea succesiunii etapelor și a procedurilor de prelucrare mecanică

Prin etape de prelucrare în realizarea unei suprafețe se înțeleg operațiile, așezările, fazele și trecerile necesare realizării condițiilor tehnice impuse suprafeței. Indiferent de procedeul de prelucrare aceste etape pot fi: *de degroșare de semifinisare, de finisare și de superfinisare (mare finețe)*

**Etapele de degroșare** au drept scop apropierea formei și dimensiunilor semifabricatului de forma și dimensiunile piesei (reducerea și uniformizarea adaosurilor de prelucrare) și evidențierea eventualelor defecte ascunse ale semifabricatului.

**Etapele de semifinisare** apar atunci când adaosurile mari nu au permis preluarea neuniformităților printr-o singură trecere la degroșare; au drept scop creșterea preciziei suprafețelor care constituie baze tehnologice la prelucrările ulterioare.

**Etapele de finisare** (cu scule așchietoare metalice sau cu abrazivi) au drept scop asigurarea preciziei dimensionale, a poziției reciproce și a rugozității suprafețelor

**Etapele de superfinisare** (*prelucrare de mare finețe*) au drept scop obținerea rugozității în cazul când se prevăd prescripții deosebite în acest sens; abaterile dimensionale pot fi corectate numai în mică măsură, iar abaterile de formă și poziție nu pot fi înlăturate prin aceste etape de prelucrare. Deoarece costurile acestor etape sunt ridicate (de aproximativ 4 ori mai mari decât la finisare), prescrierea la proiectare a unor condiții speciale pentru rugozitatea și calitatea stratului superficial trebuie făcută cu discernământ pe baza analizei condițiilor de exploatare a piesei.

Fiecare etapă de prelucrare mecanică este caracterizată de *precizia economică și rugozitatea economică*, definite ca fiind valorile ce se obțin în condiții normale de fabricație (mașini-unelte cu precizie uzuală, forță de muncă mediu calificată etc). În literatura de specialitate există tabele cu clasele de

precizie economică și valori ale rugozității  $Ra$  pentru etapele menționate mai sus ale metodelor de prelucrare mecanică. În tabelul 1.2. se prezintă în sinteză limitele orientative ale acestor parametri pentru etapele de prelucrare mecanică, fără diferențierea după metoda de prelucrare (strunjire, frezare rabotare etc.)

Tabelul 1.2. Precizii și rugozități economice

Tipul prelucrării	Clase ISO de precizie economică	Rugozitate economică $Ra$ , $\mu m$
Degroșare (cu scule metalice sau abrazivi)	IT14...IT12	25...12,5
Semifinisare cu scule metalice sau abrazivi)	IT13...IT11	12,5...6,3
Finisare cu scule metalice	IT10...IT8	6,3...3,2 (1,6)*
Finisare cu abrazivi	IT6...IT7	1,6...0,8 (0,4)*
Mare finețe	Toate preciziile**	0,4...0,025
* Valori limită ce impun condiții speciale pentru operația respectivă; ** Sunt cazuri în care rugozitatea este condiția principală		

Pe baza indicațiilor privind precizia economică și rugozitatea economică se stabilește pentru fiecare suprafață **ultima etapă de prelucrare mecanică**.

Sucesiunea etapelor de prelucrare pentru fiecare suprafață pornind de la semifabricat până la ultima operație se stabilește ținând seama de principiile generale ce se aplică la stabilirea succesiunii operațiilor (v.scap. 1.5) și de următoarele aspecte:

1. *Precizia și rugozitatea fiecărei suprafețe trebuie să crească treptat, ceea ce înseamnă că se vor include toate etapele anterioare ultimei etape stabilită pentru suprafața respectivă; preciziile și rugozitățile acestor etape intermediare se stabilesc pe baza datelor privind precizia și rugozitatea economică (v. tabel 1.2.)*

2. *Metodele de prelucrare se aleg în funcție de forma și dimensiunile suprafețelor, prelucrabilitatea materialului, utilajul tehnologic disponibil, productivitatea necesară obținerii unui cost minim.*

3. *Schemele de bazare și fixare se stabilesc astfel încât să se elimine (sau diminueze) erorile de instalare prin utilizarea ca baze tehnologice a bazelor de măsurare și să se reducă numărul și tipul dispozitivelor corespunzătoare.*

4. *Prelucrarea din aceeași așezare a suprafețelor pentru care există condiții severe de poziție reciprocă (concentricitate, perpendicularitate, coaxialitate etc.)*



## 1.7. Determinarea adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor interoperaționale

Adaosul de prelucrare pentru prelucrarea mecanică este mărimea stratului de metal, măsurat pe direcția normalei la suprafața prelucrată, ce se îndepărtează prin așchiere.

Valoarea adaosurilor de prelucrare trebuie să fie astfel determinată încât să se asigure obținerea preciziei dimensionale și a calității suprafeței cu costuri minime în condițiile concrete ale fabricației.

Adaosurile de prelucrare prea mari conduc la scumpirea fabricației prin creșterea numărului de faze de prelucrare, creșterea consumului de scule, creșterea consumului de energie, uzura prematură și excesivă a utilajelor.

Adaosurile de prelucrare mici nu permit obținerea preciziei și rugozității suprafeței prin procedee economice, crește pericolul apariției rebuturilor, ceea ce va avea drept consecință tot creșterea costurilor.

**Adaosul total**  $A_t$  pe o suprafață se îndepărtează prin mai multe faze de prelucrare a căror precizie crește treptat până la precizia (și rugozitatea) impusă suprafeței în desenul de execuție, și cărora le va fi alocat un **adaos de prelucrare al fazei**  $A_i$ , astfel că rezultă:

$$A_t = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (1.2)$$

unde  $n$  este numărul fazelor de prelucrare pe suprafața respectivă

Deoarece fiecare fază de prelucrare este caracterizată de o anumită precizie, toleranța  $T_i$  a dimensiunii de obținut la faza considerată  $i$  este și toleranța adaosului de prelucrare  $A_i$  și este plasată corespunzător elementului unitar din sistemul de toleranțe ISO (  $h$  pentru arbore unitar,  $H$  pentru alezaj unitar); în acest mod la prelucrare întodeauna se atinge mai întâi dimensiunea nominală așa cum se observă din figura 1.1 în care se prezintă schemele dispunerii adaosurilor de prelucrare pentru suprafețele exterioare (fig. 1.1a) și pentru suprafețele interioare (fig. 1.1b). Tot din aceste scheme se observă că la semifabricate la care se prescriu abateri simetrice, în adaosul de prelucrare se consideră numai partea din câmpul de toleranță situată în corpul piesei față de dimensiunea nominală.

În cazul pieselor cu simetrie de rotație sau al suprafețelor plane opuse ce se prelucrează simultan, adaosul de prelucrare este simetric, astfel că pentru analiza

adaosului de prelucrare al fazei  $i$  se consideră schemele din figura 1.2, din care rezultă:

a) pentru suprafețele exterioare (fig. 1.2a)

$$- \text{adaosul nominal al fazei } i: 2A_i = d_{i-1} - d_i \quad (1.3a)$$

$$- \text{adaosul minim al fazei } i: 2A_{\min i} = d_{\min i-1} - d_i \quad (1.3b)$$

$$- \text{adaosul maxim al fazei } i: 2A_{\max i} = d_{i-1} - d_{\min i} \quad (1.3c)$$

unde  $d_{i-1}$  și  $d_i$  sunt dimensiunile nominale (maxime) ale fazei anterioare  $i-1$  respectiv fazei considerate  $i$ ,  $d_{\min i-1}$  și  $d_{\min i}$  sunt dimensiunile minime pentru aceleași faze.

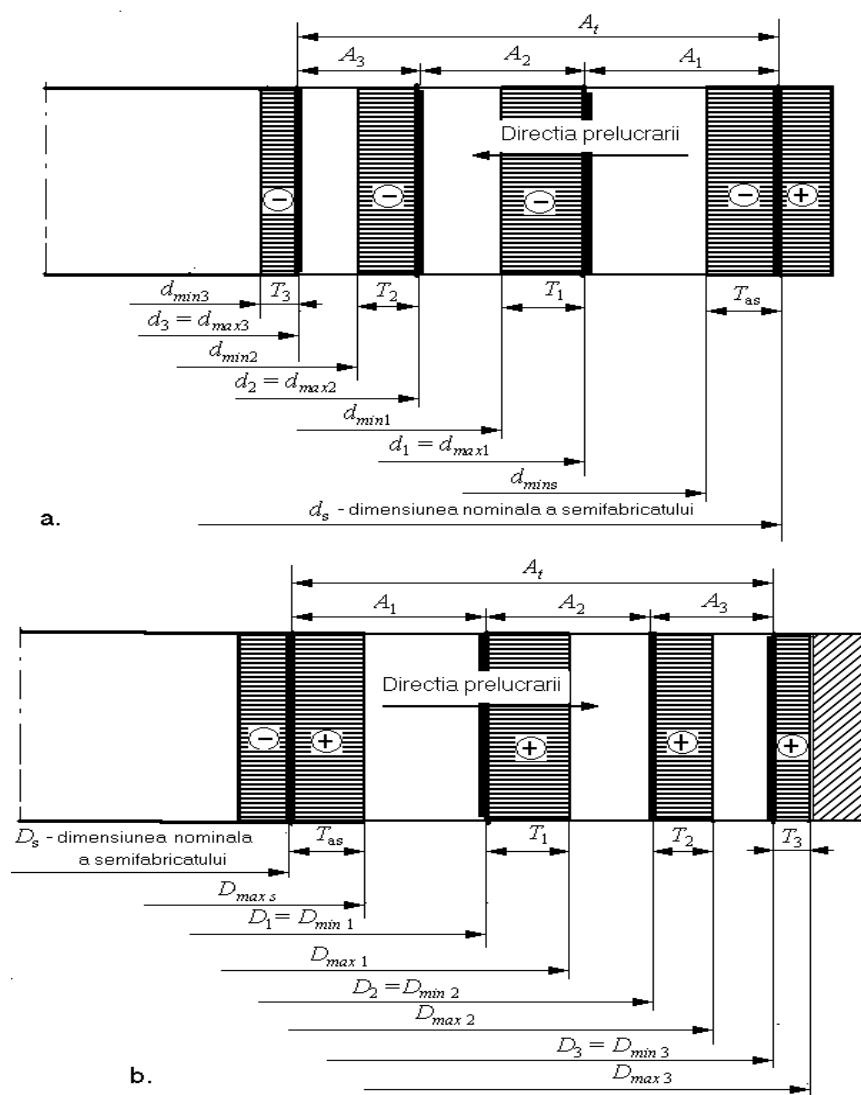


Fig. 1.1. Schemele adaosurilor de prelucrare:  
a- pentru suprafețe tip arbore; b – pentru suprafețe tip alezaj

b) pentru suprafețele interioare (fig. 1.2b):

$$- \text{adaosul nominal al fazei } i: 2A_i = D_i - D_{i-1} \quad (1.4a)$$

$$- \text{adaosul minim al fazei } i: 2A_{\min_i} = D_i - D_{\max_{i-1}} \quad (1.4b)$$

$$- \text{adaosul maxim al fazei } i: 2A_{\max_i} = D_{\max_i} - D_{i-1} \quad (1.4c)$$

unde  $D_{i-1}$  și  $D_i$  sunt dimensiunile nominale (minime) ale fazei anterioare  $i-1$  respectiv fazei considerate  $i$   $D_{\max_{i-1}}$  și  $D_{\max_i}$  sunt dimensiunile maxime pentru aceleași faze.

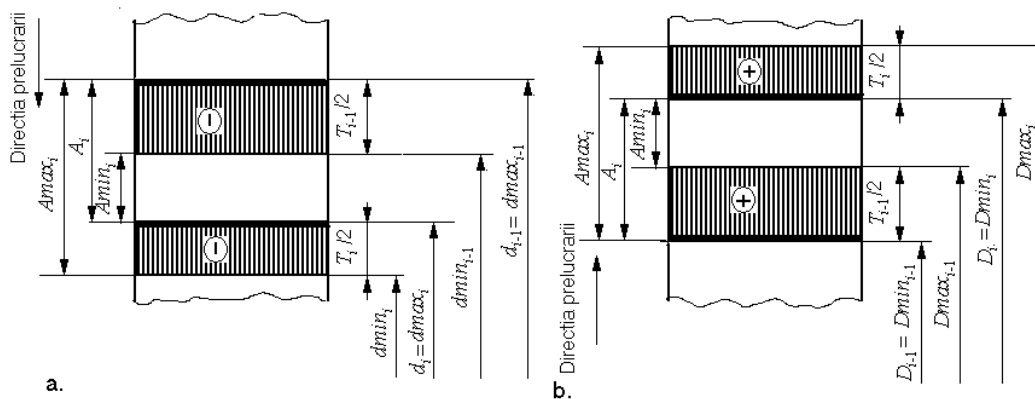


Fig. 1.2. Adaosurile de prelucrare ale fazei:  
a- pentru suprafețe tip arbore; b – pentru suprafețe tip alezaj

Valorile optime ale adaosurilor de prelucrare se pot determina prin metoda experimental statistică sau prin metoda analitică, în funcție de caracterul producției și de dimensiunile piesei.

**Metoda experimental statistică** se bazează pe stabilirea adaosurilor nominale  $A_i$  cu ajutorul standardelor sau normativelor, care sub formă tabelară recomandă valori ale adaosurilor de prelucrare ce au rezultat din prelucrarea statistică a datelor din experiența uzinală.

Există standarde cu adaosurile nominale pentru operațiile de rectificare, tabele în literatura de specialitate cu adaosurile nominale pentru operațiile de finisare cu scule așchietoare (strunjire, frezare, rabotare etc.) și standarde care indică valorile adaosurilor totale  $A_t$  și toleranța  $T_s$  pentru diferite tipuri de semifabricate (forjate liber, matrițate, turnate).

Adaosurile din standard sunt stabilite în ipoteza că pe suprafața respectivă se vor executa toate tipurile de operații (degroșare, semifinisare, finisare, rectificare, prelucrări de mare finețe) astfel că de obicei aceste adaosuri sunt acoperitoare. Metoda se aplică în cazul pieselor de dimensiuni reduse fabricate în condițiile producției individuale și de serie mică.

**Metoda analitică de calcul** a adaosurilor de prelucrare se bazează pe analiza factorilor care influențează mărimea adaosului, determinarea valorii

componentelor adaosului și sumarea acestora. Metoda ține seama de condițiile concrete în care are loc prelucrarea mecanică a suprafeței respective și permite punerea în evidență a posibilităților de reducere a adaosului și prin aceasta reducerea costului fabricației. Aplicarea practică este relativ dificilă datorită volumului mare de calcule și de informații necesare despre procesul tehnologic, astfel că utilizarea ei este potrivită pentru producția de serie mare și de masă, sau în cazul pieselor de dimensiuni mari și a pieselor din materiale scumpe.

Adaosul de prelucrare al unei faze este determinat de abaterile rezultate la prelucrările anterioare ce trebuie înlăturate și de erorile la prelucrarea considerată după cum urmează:

- rugozitatea suprafeței  $Rz_{i-1}$  rezultată la faza anterioară celei considerate;
- mărimea stratului de material  $S_{i-1}$  afectat de prelucrările anterioare;
- abaterile de la poziția nominală a suprafeței prelucrate față de bazele de referință ale semifabricatului (abateri spațiale)  $\rho_{i-1}$  rămase după prelucrările anterioare;
- erorile de instalare  $\varepsilon_i$  la așezarea în cadrul căreia se execută faza de prelucrare considerată.

Prin calcul se determină pentru fiecare fază  $i$  valoarea adaosului minim  $A_{min_i}$  după cum urmează:

- a) pentru adaosuri simetrice (pe diametru) la suprafețe de revoluție:

$$2A_{min_i} = 2(Rz_{i-1} + S_{i-1}) + 2\sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (1.5)$$

unde se observă că abaterile spațiale  $\rho_{i-1}$  și erorile de instalare  $\varepsilon_i$  fiind dirijate după anumite direcții s-au considerat mărimi vectoriale, sumându-se ca atare.

- b) pentru adaosuri pe suprafețe plane opuse, prelucrate separat sau pentru o singură suprafață:

$$A_{min_i} = Rz_{i-1} + S_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \quad (1.6)$$

Pentru diferite cazuri concrete, unii din termenii relațiilor (1.5) și (1.6) pot lipsi: de exemplu, la bazarea și fixarea între vârfuri se neglijează erorile de instalare  $\varepsilon_i$  pentru calculul adaosurilor pe diametru, iar la calculul adaosurilor pentru prelucrările la care scula este ghidată de suprafață, se neglijează atât abaterile spațiale  $\rho_{i-1}$  cât și erorile de instalare  $\varepsilon_i$  ce nu pot fi înlăturate în acest caz.

Pe baza adaosurilor  $A_{min_i}$  se pot determina dimensiunile interoperaționale

(intermediare) pentru suprafețele piesei de prelucrat. Dimensiunile interoperaționale ale unei suprafețe sunt dimensiunile pe care le capătă succesiv, plecând de la semifabricat, la dimensiunea din desenul de execuție. Aceste dimensiuni au caracter tehnologic și se precizează în documentația de fabricație.

Valorile nominale ale dimensiunilor intermediare se determină pe baza schemelor prezentate în figura 1.2, pornindu-se de la dimensiunea finală (înscrisă în desenul de execuție) considerată  $d_i$  sau  $D_i$  după cum suprafața este exterioară sau interioară:

$$d_{i-1} = d_i + 2A \min_i + T_{i-1}; \quad D_{i-1} = D_i - 2A \min_i - T_{i-1} \quad (1.7)$$

Toleranțele  $T_{i-1}$ ,  $T_{i-2}$  etc. ale dimensiunilor intermediare, se stabilesc pe baza preciziei și rugozității economice (v. tabelul 1.2). Așa cum s-a arătat anterior pentru ușurarea controlului dimensional aceste câmpuri de toleranță se plasează în poziția elementului unitar al sistemului ISO de toleranțe (h pentru arbore unitar, H pentru alezaj unitar).

## 1.8. Stabilirea sistemelor tehnologice

Stabilirea sistemului tehnologic presupune stabilirea *mașinilor-unelte*, a *sculelor așchietoare*, a *dispozitivelor de bazare și fixare*, a *dispozitivelor de fixare a sculelor* și a *mijloacelor de control* pentru toate operațiile de prelucrare mecanică.

**Mașinile-unelte** se aleg pe baza analizei următoarelor aspecte:

- forma, dimensiunile și materialul piesei, factori care influențează tipul mașinii și rigiditatea necesară;
- caracteristicile suprafeței (precizie și rugozitate) și tipul prelucrării (degroșare, semifinisare etc.);
- tipul fabricației și productivitatea impusă;
- gama de mașini – unelte disponibile.

Pentru tipo-dimensiunea de mașină aleasă trebuie să se cunoască: *dimensiunile maxime ale piesei ce poate fi prelucrată pe mașina respectivă*, *puterea motoarelor de acționare*, *gama de turații și avansuri* (sau limitele acestora în cazul posibilității de modificare continuă), *dispozitivele de prindere* (dotare standard și dotarea extinsă).

**Sculele așchietoare** se aleg în funcție de forma și dimensiunile suprafeței de prelucrat, tipul prelucrării și materialul piesei, tipul și dimensiunile mașinii-

unelte. Alegerea sculelor presupune stabilirea tipului, formei, dimensiunilor și materialului părții active. Se recomandă utilizarea sculelor standardizate care sunt fabricate de producători specializați și care se găsesc în mod curent pe piață. Utilizarea unor scule speciale este însoțită de cheltuieli suplimentare ce pot fi justificate numai dacă nu este posibilă prelucrarea cu scule standardizate sau se obțin creșteri de productivitate ce conduc la reducerea costurilor de fabricație.

Partea activă a sculei așchietoare trebuie să permită utilizarea unor regimuri de așchiere cu viteze cât mai mari, în condițiile unei durabilități corespunzătoare a tăișului. Pe lângă materialele clasice (oțeluri carbon de scule, oțeluri aliate, oțeluri înalt aliate pentru scule (oțeluri rapide) și carburi metalice) se utilizează din ce în ce mai frecvent materiale noi cum ar fi materialele ceramice și materialele metalo-ceramice (cermeți) care au duritatea 90...95 HRC (apropiată de a diamantului) și suportă temperaturi de peste 1000 °C, ceea ce permite așchiera cu viteze foarte mari. Principalul neajuns este legat de fragilitatea ridicată, ceea ce limitează utilizarea lor numai la operații de finisare cu adâncimi mici de așchiere și adaos uniform.

**Dispozitivele de bazare și fixare a semifabricatelor** trebuie să aibă caracter universal în cazul producției de unicate, individuală sau de serie mică, să fie precise și să permită fixarea sigură a piesei în timpul prelucrării. În general, aceste dispozitive sunt în dotarea curentă a mașinii–unelte

În producția de serie mare și de masă se folosesc dispozitive specializate, cu acționare pneumatică sau hidraulică, ce se proiectează și se realizează în procesul de pregătire a fabricației produsului.

**Dispozitivele de fixare a sculelor** sunt de obicei standardizate sau normalizate în concordanță cu tipul sculei și al mașinii–unelte, în dotarea căreia intră de obicei. Creșteri importante de productivitate se obțin prin utilizarea unor dispozitive modulare, ce constau dintr-un element de bază staționar pe mașină, la care se atașează dispozitive interschimbabile de prindere a sculelor.

**Mijloacele de control** se aleg în funcție de caracterul și precizia parametrilor măsurați și de caracterul producției. Se utilizează din ce în ce mai mult mijloace de măsurat cu afișare digitală și controlul automat al dimensiunilor, chiar pe mașina ce efectuează prelucrarea.

## 1.9. Determinarea parametrilor regimurilor de aşchiere

Calculul regimurilor de aşchiere se realizează în condițiile admiterii unui criteriu determinant – *costul minim* sau *productivitatea maximă*. În mod uzual calculele se fac în ipoteza obținerii unui cost minim, dar pentru cazurile în care prelucrarea respectivă poate constitui un „loc îngust” al procesului în ansamblu (limitează fluxul tehnologic), se admite ipoteza productivității maxime.

Elementul esențial în stabilirea parametrilor regimului de aşchiere îl constituie durabilitatea sculei aşchietoare, definită ca durata de utilizare efectivă între două reascuțiri. Valoarea durabilității apreciată experimental-statistic, pe tipuri de scule pentru anumite condiții standard de aşchiere este dată în normative, sau în cataloagele producătorilor.

Durabilitatea poate fi și calculată în funcție de ipoteza aleasă:

a) Pentru adoptarea ipotezei costului minim:

$$T_{oc} = \frac{1-m}{m} \left( \tau_0 + \frac{C_{sc}}{C_{st}} \right), \quad (1.8)$$

unde  $T_{oc}$  este *durabilitatea optimă (economică)* pentru cost minim,  $m$  este exponentul durabilității și se stabilește experimental,  $\tau_0$  – timpul necesar schimbării sculei,  $C_{st}$  – salariul tarifar pe oră pentru muncitorul de la mașina-unealtă,  $C_{sc}$  – costul de exploatare a sculei stabilit cu relația:

$$C_{sc} = \tau_{as} C_{rs} + \frac{C_s}{n_s}, \quad (1.9)$$

unde  $\tau_{as}$  este norma de timp la ascuțirea sculei,  $C_{rs}$  – salariu tarifar pe unitatea de timp al muncitorului care ascute scula,  $C_s$  – costul inițial al sculei,  $n_s$  – numărul de reascuțiri ale sculei.

b) Pentru cazul obținerii productivității maxime:

$$T_{op} = \frac{1-m}{m} \tau_0, \quad (1.10)$$

unde  $T_{op}$  este durabilitatea optimă pentru productivitate maximă (*durabilitatea tehnică optimă*).

Din figura 1.3 în care este reprezentată variația costului și a productivității în funcție de durabilitate se constată că cele două valori optime nu coincid, dar există un domeniu de compromis (cel hașurat) în care trebuie să se situeze în

durabilitatea pentru a îndeplini condițiile tehnico-economice

În funcție de tipul prelucrării pentru sculele cu tășuri din materiale clasice (oțeluri rapide, carburi metalice), există următoarele valori recomandate pentru durabilitate:  $T = 60...90$  min pentru strunjire, găurire, filetare pe mașini universale,  $T = 240...420$  min pentru strunjire pe strunguri revolver, semiautomate sau automate,  $T = 90...120$  min la rabotare,  $T = 120...180$  min la frezare pe mașini universale.

În cazul prelucrărilor prin reglarea la dimensiune durabilitatea poate fi determinată de criterii tehnologice legate de precizia sau rugozitatea suprafeței, rezultând astfel o durabilitate tehnologică, stabilită pe baza toleranței la dimensiune (v. fig. 1.4a) sau rugozității maxime admise (v. fig. 1.4b).

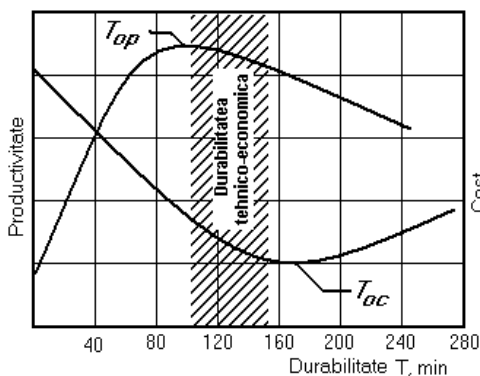


Fig. 1.3. Influența durabilității asupra productivității și costului

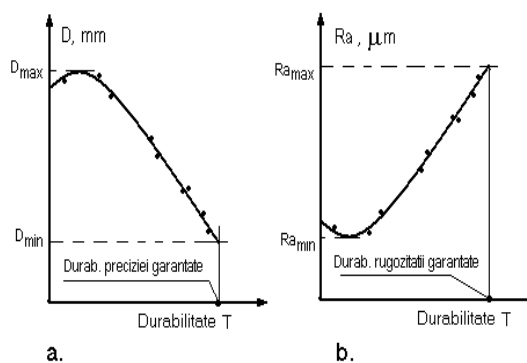


Fig. 1.4. Stabilirea Durabilității tehnologice la prelucrarea suprafețelor interioare:  
a – precizie garantată; b – rugozitate garantată

După stabilirea durabilității  $T$  pe baza unui din criteriile arătate anterior, se poate trece la calculul parametrilor regimului de așchiere, care presupune determinarea pentru fiecare fază a următoarelor mărimi: adâncimea de așchiere  $t$ , avansul  $s$ , viteza de așchiere  $v$  (respectiv turația  $n$ ) și puterea necesară  $P$ .

**Adâncimea de așchiere  $t$**  se stabilește în funcție de mărimea adaosului de prelucrare  $A_i$  și a tipului prelucrării, pe baza criteriului minimizării numărului de treceri pe o suprafață. În mod uzual, adaosurile de prelucrare sunt astfel determinate încât pentru prelucrările cu scule așchietoare metalice întreg adaosul fazei să fie îndepărtat într-o singură trecere, ceea ce pentru suprafețele cu simetrie de rotație înseamnă  $t = 2A_i/2 = A_i$ , unde  $A_i$  este adaosul pe rază.

La fazele de degroșare acest lucru poate să nu fie posibil dacă s-au utilizat semifabricate mai ieftine cu adaosuri mari, sau piesa are configurație complexă. În aceste cazuri se stabilește o adâncime de așchiere  $t$  realizabilă la faza respectivă și



se calculează numărul de treceri  $i$  cu relația ;

$$i = \frac{A_{dg}}{t} , \quad (1.10)$$

unde  $A_{dg}$  este adaosul pe rază (sau pe o singură față la suprafețele plane)

**Avansul de așchiere  $s$**  se stabilește în funcție de natura prelucrării, rigiditatea și puterea mașinii și de adâncimea de așchiere  $t$ .

La prelucrările de degroșare avansul trebuie să fie cât mai mare pentru creșterea productivității; valoarea superioară este limitată de rigiditatea sistemului MUDSP și de puterea motorului de acționare a mașinii. Valori experimentale pe tipuri de prelucrări în funcție de dimensiunile suprafeței și adâncimea de așchiere se găsesc în literatura de specialitate.

La prelucrările de finisare, avansurile de așchiere sunt mai mici și se stabilesc în funcție de rugozitatea impusă suprafeței, existând valori recomandate pe baza cercetărilor experimentale și a practicii uzinale.

**Viteza de așchiere  $v$**  se calculează pe baza relației Time – Taylor dintre viteză și durabilitatea sculei:  $vT^m = const.$ , de unde se poate particulariza:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_1 K_2 \dots K_{12}, \quad [\text{m/min}] \quad (1.11)$$

în care:  $C_v$  este o constantă, determinată experimental în funcție de tipul prelucrării și cuplul material de prelucrat – sculă,  $m, x_v, y_v$  – exponenți determinați experimental pentru anumite condiții de așchiere,  $T$  – durabilitatea tehnico-economică și  $K_1 \dots K_{12}$  - coeficienți prin care se ține seama de condițiile concrete ale prelucrării (prelucrabilitatea prin așchiere și duritatea materialului, starea suprafeței, geometria și materialul părții active a sculei, gradul de uzare al acesteia, lichidul de răcire); coeficienții pentru factorii care corespund condițiilor în care s-au determinat ceilalți termeni ai relației (1.11) au valoarea  $K_i = 1$ .

La utilizarea relației (1.11) se impune ca valorile tuturor termenilor și coeficienților de corecție  $K_i$ , să fie preluați din aceeași sursă, deoarece pot exista diferențe legate de condițiile experimentale în care s-au stabilit.

După determinarea vitezei se calculează **turația  $n$**  a piesei (a sculei dacă aceasta execută mișcarea principală de așchiere) sau **numărul de curse duble pe minut  $n_{cd}$** , în cazul mișcării liniare:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \quad [\text{rot/min}] \quad (1.12)$$

$$n_{cd} = \frac{1000v}{L_c} \quad [\text{c.d./min}] \quad (1.13)$$

în care  $v$  este viteza de aşchiere în m/min,  $D$  – diametrul piesei (sau al sculei) în mm,  $L_c$  – lungimea cursei în cazul mişcării liniare de aşchiere, în mm.

Pe baza valorilor obţinute cu relaţiile (1.12) sau (1.13), se aleg cele mai apropiate valori din gama de turaţii (sau curse duble) a maşinii utilizate şi se recalculează viteza reală de aşchiere  $v_r$ :

$$v_r = \frac{\pi D n_r}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (1.14)$$

**Puterea necesară la aşchiere  $P_r$**  se determină cu relaţia;

$$P_r = \frac{F_y v_r}{60000} \quad [\text{kW}] \quad (1.15)$$

în care  $F_y$  este componenta după direcţia vitezei  $v_r$  a forţei de aşchiere, şi se determină cu relaţii de forma:

$$F_y = C_{F_y} t^{x_{F_y}} s^{y_{F_y}} \quad [\text{N}] \quad (1.16)$$

în care coeficientul  $C_{F_y}$  şi exponenţii  $x_{F_y}$  şi  $y_{F_y}$  depind de materialul prelucrat, calitatea şi geometria sculei şi se stabilesc pe baze experimentale.

Valoarea puterii necesare la aşchiere  $P_r$  se compară cu puterea motorului de acţionare  $P_m$ ; prelucrarea este posibilă dacă:

$$P_r \leq \eta P_m, \quad (1.17)$$

în care  $\eta$  este randamentul maşinii-unelte .

Dacă relaţia (1.17) nu este îndeplinită ( cel mai probabil în cazul prelucrărilor de degroşare), se alege o valoare mai mică pentru avansul  $s$ , sau se reduce adâncimea de aşchiere  $t$  (mărindu-se astfel numărul de treceri) şi se reiau calculele de la relaţia (1.11). Pentru durate scurte (10..15 min) se pot admite depăşiri ale puterii motorului cu 20...30%.

Pentru calculul regimurilor de aşchiere s-au dezvoltat şi metode de optimizare pe baza unor modele matematice care permit obţinerea valorilor optime pentru avans şi viteza de aşchiere în raport cu criteriul adoptat (cost minim sau productivitate maximă). Chiar şi în acest caz, sunt necesare foarte multe date experimentale pentru stabilirea coeficienţilor funcţiilor restrictive, ceea ce îngreunează extinderea metodei, chiar în condiţiile utilizării mijloacelor electronice de calcul uzuale. Se utilizează totuşi din ce în ce mai mult programe

de calcul specializate incluse în pachete complexe ale proiectării tehnologice asistate de calculator (CAM – Computer Aided Manufacturing).

Automatizarea complexă, a permis reglarea automată a parametrilor regimurilor de aşchiere pe baza măsurării unor parametri. Aceste sisteme permit reglarea autoadaptivă, care presupune modificarea continuă a avansului și a vitezei de aşchiere astfel încât să se mențină constant un anumit parametru (uzura minimă a cuțitului, putere constantă corespunzătoare productivității maxime etc.)

## 1.10. Normarea tehnică la operațiile de prelucrare mecanică

**Norma de muncă** în general, reprezintă cantitatea de muncă repartizată unui executant într-o perioadă de timp pentru efectuarea unei lucrări sau a unui serviciu în anumite condiții tehnico-organizatorice precizate. În funcție de specificul activității, normele de muncă pot fi exprimate prin: norma de timp, norma de producție, norma de servire, sfera de atribuțiuni etc.

În cazul operațiilor de prelucrare mecanică se folosește cu precădere norma de timp și mai rar, norma de producție.

**Norma de timp** este durata repartizată unei operații, sau altfel spus, este durata stabilită unui executant care are calificarea corespunzătoare și lucrează cu intensitate normală pentru activitățile desfășurate la un loc de muncă asupra unui obiect al muncii în condiții organizatorice date.

Din această definiție rezultă că norma de timp pentru aceeași activitate poate avea valori foarte diferite, în funcție de condițiile concrete în care se realizează fabricația, și deci stabilirea lor trebuie să se bazeze pe o analiză riguroasă a posibilităților tehnico-economice ale unității productive. Importanța determinării corecte a normelor de timp rezultă din faptul că ele stau la baza determinării elementelor care permit compararea proceselor tehnologice și alegerea variantei optime din punct de vedere al: costurilor salariale, utilizarea capacităților de producție, mărirea ciclurilor de fabricație.

Normele de timp justificate din punct de vedere tehnic se numesc **norme tehnice de timp**, iar activitatea de stabilire a lor – **normare tehnică**.

Normele de timp pot fi stabilite utilizând *metode experimental-statistice*

sau metode analitice.

Stabilirea **normelor experimental statistice** se poate face: *pe baza experienței personale a tehnologilor, prin comparație cu normele existente în unitatea productivă sau pe baza datelor statistice* privind duratele efective înregistrate în trecut pentru operații similare.

Această metodă permite stabilirea rapidă a normei de timp, dar are dezavantajul că reflectă nivelul tehnic al unei perioade trecute, perpetuând astfel eventualele neajunsuri tehnico-organizatorice.

**Metoda analitică** de normare tehnică se bazează pe defalcarea operației ce se normează în elementele ei componente, analiza critică a acestora și stabilirea duratelor ce reprezintă componente ale normei tehnice de timp pentru fiecare activitate.

Componentele normei de timp și semnificațiile acestora în cazul operațiilor de prelucrare mecanică sunt cele prezentate în continuare.

a. **Timpul de pregătire încheiere  $\tau_{pi}$**  este durata prevăzută pentru executarea unor activități la locul de muncă înainte începerii și după terminarea prelucrării unui lot de piese; acestea vizează: familiarizarea cu documentația tehnologică, echiparea mașinii cu SDV-urile necesare, reglarea sistemului tehnologic, defaectarea locului de muncă la sfârșitul prelucrării lotului etc.

Timpul de pregătire încheiere este afectat operației de prelucrare din faza de proiectare tehnologică, iar valorile sale se stabilesc pe baza datelor existente în normative; deoarece se acordă pentru întreg lotul de piese, la calcul normei de timp se consideră numai fracțiunea corespunzătoare unei piese adică  $\tau_{pi}/n$ , unde  $n$  este numărul de piese din lot.

b. **Timpul efectiv (operativ)  $\tau_e$**  este durata în cursul căreia operatorul supraveghează sau execută lucrări necesare pentru modificarea cantitativă și calitativă a obiectului muncii; are la rândul său două componente:

- *timpul de bază  $\tau_b$*  este durata realizării efective a modificărilor cantitative și calitative (timp de mașină); se calculează pentru fiecare fază în funcție de avansul  $s$ , turația mașinii  $n$  (sau numărul de curse duble pe minut), lungimea suprafeței prelucrate  $l$ , distanțele de intrare și ieșire a sculei  $l_1$  respectiv  $l_2$  și numărul de treceri  $i$ :

$$\tau_b = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} i \quad (1.18)$$

-  *timp auxiliar*  $\tau_a$  este durata ce se consumă în afara prelucrărilor propriu-zise, pentru realizarea unui complex de acțiuni necesare realizării prelucrării. Se compune dintr-o sumă de timpi elementari necesari pentru: orientarea și fixarea semifabricatelor, desfacerea lor după prelucrare și depozitarea (timp de prindere-desprindere), mânăuirea diferitelor elemente de comandă ale mașinii pentru reglarea tehnologică, efectuarea curselor în gol, măsurarea piesei, înlăturarea așchiilor etc. Timpul auxiliar are o pondere însemnată în componența normei de timp, depășind de multe ori timpul de bază.

c. **Timpul pentru deservirea locului de muncă**  $\tau_a$  alcătuit din *timpul de deservire tehnică*  $\tau_{dt}$  consumat pentru menținerea în stare normală de funcționare a utilajelor și de utilizare a sculelor cu care efectuează sarcinile de muncă (refacerea unor reglări, înlocuirea sculelor uzate, ascuțirea sculelor etc.) și *timpul de deservire organizatorică*  $\tau_{do}$  în cursul căruia executantul asigură organizarea și îngrijirea locului de muncă (îndepărtarea așchiilor, curățire și ungerea mașinii la terminarea schimbului, așezarea sculelor etc.).

Defalcarea timpului de deservire în cele două categorii se explică prin faptul că elementele de timp care formează  $\tau_{dt}$  depind de prelucrarea ce se execută concret, pe când  $\tau_{do}$  este consumat îndeobște la executarea oricăror lucrări; din această cauză  $\tau_{dt}$  se stabilește ca fracțiune din timpul de bază ( $\tau_{dt} = k_1 \tau_b$ ), iar  $\tau_{do}$  ca fracțiune din timpul efectiv ( $\tau_{do} = k_2 \tau_e = k_2(\tau_b + \tau_a)$ )

d. **Timpul de întreruperi reglementate**  $\tau_{ir}$  alcătuit din: *timpul de odihnă și necesități fiziologice*  $\tau_{on}$  în cursul căruia activitatea este întreruptă pentru menținerea capacității de muncă a executantului, și *timpul de întreruperi condiționate tehnologic și de organizarea muncii*  $\tau_{it}$  ce rezultă din prescripțiile tehnice de folosire a utilajului, din tehnologia și din activitatea executantului la locul de muncă respectiv; timpul de întreruperi reglementate se acordă ca fracțiune din timpul efectiv  $\tau_{ir} = k_3 \tau_e$ ).

**Structura generală a normei de timp**  $\tau_n$  este:

$$\tau_n = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_e + \tau_d + \tau_{ir} \quad (1.19)$$

Ținând seama de cele arătate anterior relația (1.19) devine:

$$\tau_n = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_b + \tau_a + \tau_{dt} + \tau_{do} + \tau_{on} + \tau_{it} , \quad (1.20)$$

și mai departe,

$$\tau_n = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_b + \tau_a + k_1\tau_b + k_2(\tau_b + \tau_a) + k_3(\tau_b + \tau_a) \quad (1.21)$$

Din relația (1.21) se constată că norma de timp poate fi calculată analitic dacă se determină timpul de pregătire încheiere, timpul de bază și timpul auxiliar, și se stabilesc valorile coeficienților  $k_1$ ,  $k_2$  și  $k_3$ ; uzual se consideră:  $k_1 = 0,01 \dots 0,08$ ,  $k_2 = 0,01 \dots 0,03$  și  $k_3 = 0,02 \dots 0,03$ .

Această relație poate fi scrisă și sub forma:

$$\tau_n = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_e(+k_2 + k_3) + k_1\tau_b \quad (1.22)$$

și chiar mai condensat,

$$\tau_n = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_u \quad (1.23)$$

în care  $\tau_u$  reprezintă **timpul unitar** și conține toate componentele normei de timp cu excepția timpului de pregătire încheiere. In documentația tehnologică de cele mai multe ori se indică timpul unitar  $\tau_u$ .

In cazul producției individuale și de serie mică, de multe ori se determină norma de timp pe baza normativelor în care se dau valorile timpilor unitari tu pentru diferite prelucrări, tipodimensiuni de mașini și piese.

Pentru reducerea normelor de timp se recomandă în principal următoarele:

- *reducerea timpului de bază prin:* utilizarea sculelor cu partea activă din materiale ce permit așchiera cu viteze mari (plăcuțe din carburi metalice sinterizate cu muchiile lepuite, acoperiri nitruri dure, materiale ceramice, diamante sintetice etc.), îmbunătățirea geometriei sculelor așchietoare, prelucrarea simultană a mai multor suprafețe etc.
- *reducerea timpului auxiliar prin:* utilizarea dispozitivelor de bazare și fixare rapidă, raționalizarea succesiunii fazelor pentru reducerea curselor în gol și a timpilor de manevră, reducerea timpului de măsurare, mecanizarea și automatizarea comenzilor mașinii-unelte;
- *reducerea timpului de pregătire-încheiere* aferent prelucrării lotului de piese prin tipizarea reglărilor și a sistemului de comandă.

## 1.11. Stabilirea variantei optime a procesului tehnologic

Fabricația unei piese este posibilă prin mai multe variante de proces tehnologic, care se diferențiază prin natura procedeelelor de prelucrare și utilajul aferent. Procesele tehnologice se pot compara pe baza unor criterii tehnico-economice astfel încât să se aleagă varianta ce permite obținerea piesei cu costuri minime.

Primul nivel la care se impune analiza este cel al semifabricatului, care influențează prin costurile  $C_{sf}$  generate de acesta (v. relația (1.1) și *indicatorul de utilizare a materialului*  $K_m$  definit ca raport între masa piesei și masa semifabricatului (v.scap.1.4) In tabelul 1.3 sunt prezentate limitele uzuale ale valorilor  $K_m$  pentru diferite tipuri de semifabricate.

**Tabel 1.3. Indicatorul de utilizare a materialului**

Tipul semifabricatului și al piesei	$K_m$
Semifabricat turnat pentru:	
- carcase și roți	0,80...0,90
- bucușe	0,50...0,60
Semifabricat laminat sau forjat liber pentru:	
- arbori în trepte	0,60...0,80
- piese tip alezaj	0,45...0,65
Semifabricat matrițat pentru	
- pârghii și furci	0,80...0,95
- arbori cotiți și arbori în trepte	0,70...0,85
- roți dințate	0,35...0,55

Al doilea nivel de analiză este cel al ansamblului operațiilor procesului tehnologic. In cazul producției individuale sau de serie mică pentru analiză se folosesc metode simple ce se bazează pe compararea după timpul de bază, compararea după timpul efectiv sau după timpul unitar (v.scap. 1.9). Principalii indicatori sunt prezentați în continuare.

**Indicatorul timpului de bază  $K_\tau$**  se definește prin raportul dintre timpul de bază și timpul unitar (v.scap. 1.10) și are valorile uzuale prezentate în tabelul 1.4. Dacă valoarea indicatorului  $K_\tau$  este redusă, înseamnă că procedeul respectiv se caracterizează prin valori ridicate ale timpilor auxiliari, timpilor de deservire și timpilor de întrerupere.

**Indicatorul de continuitate a funcționării mașinii unelte  $K_{fc}$**  este definit prin relația:

$$K_{fc} = \frac{\tau_b}{\tau_b + \tau_a} \quad (1.24)$$

Se observă că acest indicator evidențiază influența timpului auxiliar, componenta normei de timp ce poate fi redusă prin mecanizarea și automatizarea prelucrării.

**Tabelul1.4. Indicatorul timpului de bază**

Tipul prelucrării	$K_{\tau} = \frac{\tau_b}{\tau_u}$
Debitare mecanică	0,45...0,50
Centruire pe mașini specializate	0,40...0,45
Prelucrări pe strunguri universale	0,55...0,65
Prelucrări pe mașini de frezat universale	0,55...0,75
Prelucrări de danturare pe mașini de frezat specializate	0,75...0,85
Prelucrări pe mașini de găurit (găurire, lărgire, alezare)	0,45...0,65
Prelucrări pe mașini de broșat	0,35...0,45
Prelucrări pe mașini de rectificat	0,35...0,45

**Indicatorul de utilizare a mașinilor  $\eta$**  (gradul de încărcare) se determină pentru o perioadă de timp dată (de obicei un an) și arată fracțiunea din timpul de funcționare afectată efectiv producției:

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^N (\tau_{u_j} n_j + \tau_{pi_j})}{F_{\tau} \left( 1 + \frac{k_r}{100} \right)}, \quad (1.25)$$

relație în care  $\tau_{u_j}$  este timpul unitar pentru piesele din lotul  $j$ ,  $n_j$  - numărul de piese din lotul  $j$ ,  $N$  - numărul de loturi ce se prelucrează în perioada analizată,  $\tau_{pi_j}$  - timpul de pregătire încheiere pentru lotul  $j$ ,  $F_{\tau}$  - fondul nominal de timp disponibil în perioada analizată ( *numărul de zile lucrătoare x numărul de schimburi x numărul de ore pe schimb*), iar  $k_r$  - coeficientul de oprire a mașinii pentru reparații capitale, în procente.

Cea mai bună comparare a proceselor tehnologice se face pe baza *costului de producție*.

**Costul de producție** reprezintă valoarea bănească a materialelor, manoperii și a tuturor celorlalte cheltuieli pe care le necesită realizarea unui produs.

Determinarea costului de producție se realizează prin calculul succesiv al valorii componentelor sale:

a) **Costul materialelor,  $C_m$ :**

$$C_m = (M_{sf} \cdot P_m - (M_{sf} - M_p) P_{des}) \cdot \left( 1 + \frac{P_{apr}}{100} \right), \quad (1.26)$$



în care:  $M_{sf}$  este masa semifabricatului,  $M_p$  – masa piesei,  $P_m$  – prețul unitar al materialului,  $P_{des}$  – prețul de vânzare al deșeurilor,  $P_{apr}$  – cota cheltuielilor de aprovizionare [%]; valori uzuale: 5...15%.

b) **Cheltuielile cu manopera directă (salarii)  $S_i$**  reprezintă cheltuielile cu salarizarea operatorului pentru fiecare operație  $i$  :

$$S_i = \tau_{ni} \frac{Sh_i}{60} , \quad (1.27)$$

în care:  $\tau_{ni}$  este norma de timp la operația  $i$  [min/buc],  $Sh_i$  – salariul tarifar orar al operatorului [lei/oră];

c) Costul de secție  $C_{sj}$  pentru o secție  $j$ , se calculează pentru toate operațiile  $i$  care se realizează în secția respectivă :

$$C_{sj} = \sum_i S_i \cdot \left( 1 + \frac{R_{sj}}{100} \right) , \quad (1.28)$$

în care  $R_{sj}$  este regia secției  $j$ , prin care se iau în considerație toate cheltuielile care se fac în secție pentru obținerea produsului (cheltuieli cu menținerea utilajelor în stare de funcționare, cheltuieli cu ascuțirea sculelor, costurile cu energia, salarii pentru personalul tehnic și auxiliar al secției, costurile cu amortizarea mijloacelor fixe etc); regia de secție se determină pe baza datelor contabile, iar valori uzuale curente în economia națională pentru secțiile de prelucrări mecanice sunt  $R_{sj} = 300...500\%$ , în funcție de complexitatea dotărilor și de mărimea secției, iar pentru secțiile de tratamente termice, deformări plastice, turnătorie  $R_{sj} = 400...600\%$ .

d) **Costul de producție  $C_p$**  include costul materialului (relația (1.26) și costurile salariale generate de toate secțiile care contribuie la realizarea produsului:

$$C_p = \left[ C_m + \sum_j C_{sj} \right] \left( 1 + \frac{R_{int}}{100} \right) \quad (1.29)$$

în care  $R_{int}$  este regia întreprinderii, și ține seama de toate cheltuielile realizate la nivelul societății comerciale pentru obținerea produsului; se determină pe baza datelor contabile, iar valorile uzuale sunt  $R_{int} = 10...40\%$

Valoarea costurilor calculate cu ajutorul relației (1.29) permite doar compararea proceselor tehnologice în cadrul aceluiași sistem economic. Se precizează că aceste costuri nu includ cheltuielile generate de taxele și impozitele

pe care trebuie să le plătescă producătorul pentru forța de muncă, astfel că nu poate fi utilizat pentru determinarea rezultatelor economice (profit sau pierdere) în cazul valorificării pe piață a produselor.

**Cheltuielile totale de fabricație  $C_t$**  au două componente: *cheltuielile variabile  $C_v$*  care depind liniar de numărul  $n$  de produse fabricate ( $C_v = C_p n$ ), și *cheltuielile fixe  $C_f$*  care sunt independente de numărul de produse realizate în condițiile date; cheltuielile fixe au creșteri în salturi datorită investițiilor ce trebuie făcute atunci când datorită depășirii unui număr de piese ce trebuie fabricate este necesară utilizarea unei baze materiale suplimentare.

Reprezentând grafic variația costului total  $C_t$  funcție de numărul de piese pentru diferite variante de proces tehnologic (v. fig. 1.5), se poate stabili pentru un număr de piese necesare, varianta ce permite fabricarea cu costuri minime.

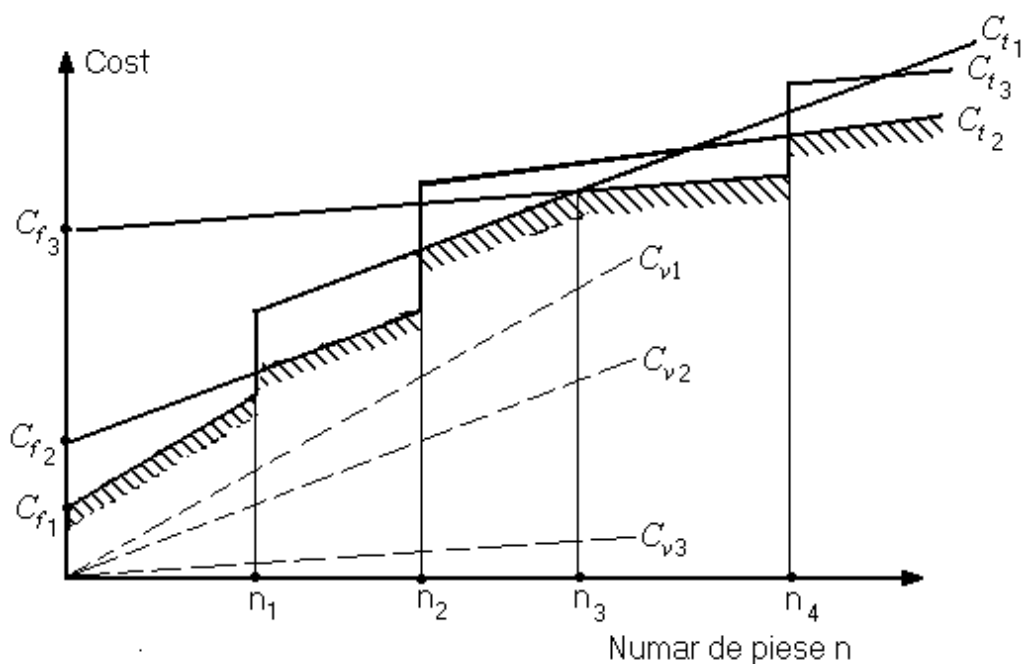


Fig. 1.5. Variația costului pentru diferite procese tehnologice

Din figura 1.5 se constată că varianta 1 de proces tehnologic are  $C_{f1}$  cel mai mic, dar costul de producție  $C_{p1}$  este cel mai mare (panta dreptei corespunzătoare costului variabil  $C_{v1}$ ), iar de la un număr de piese  $n > n_1$  trebuie făcute investiții suplimentare pentru îmbunătățirea acestei variante, ceea ce conduce la creșterea în salt a cheltuielilor fixe .

În aceste condiții, pentru un număr de piese  $n_1 < n < n_2$ , este economică

varianta 2 care trebuie și ea îmbunătățită prin investiții suplimentare dacă  $n > n_2$ , astfel că pentru  $n_2 < n < n_3$  devine economică varianta 1 îmbunătățită, care de fapt poate fi considerată ca o nouă variantă de proces tehnologic realizându-se cu alte dotări și deci alte costuri variabile.

Pentru un număr de piese  $n_3 < n < n_4$ , este economică varianta 3 care trebuie și ea îmbunătățită prin investiții suplimentare dacă  $n > n_4$ , astfel că devine economică varianta 2 îmbunătățită, pentru care sunt valabile aceleași observații ca în cazul anterior.

În cadrul analizei tehnico-economice a proceselor tehnologice trebuie să se țină seama și de progresul tehnic care determină uzarea morală a mijloacelor de bază folosite la realizarea fabricației. Uzarea morală intervine prin apariția altor mijloace de bază echivalente dar mai ieftine, sau prin învechirea economică ce se apreciază prin eficiența economică mai mare a noilor mijloace de bază. Pentru aprecieri orientative se poate utiliza **perioada de amortizare**  $\tau_{am}$  determinată cu relația:

$$\tau_{am} = \frac{C_{in}}{N(C_{t0} - C_m)}, \quad (1.30)$$

în care  $C_{in}$  sunt cheltuielile totale de investiții cu introducerea noilor tehnologii,  $C_{t0}$  și  $C_m$  costurile totale pe unitatea de produs în varianta actuală, respectiv în varianta nouă, iar  $N$  este planul de producție (numărul de produse ce se realizează în unitatea de timp în care va rezulta durata de amortizare: luna sau an)

Perioada de amortizare determinată cu relația (1.30) trebuie să fie mai mică decât intervalul de timp estimat până la apariția unor noi tehnologii, care pe baza datelor statistice se consideră 1...2 ani pentru mașini unelte, 2...3 ani pentru linii automate.

Din cele arătate, se poate constata că aprecierea tehnico-economică a proceselor tehnologice trebuie făcută după mai multe criterii, astfel încât în funcție de scopul propus (productivitate maximă sau cost minim să se aleagă varianta potrivită.

Pe lângă factorii tehnico-economici enumerați trebuie să se țină seama și de alte aspecte cum ar fi calificarea necesară a forței de muncă, amenajări suplimentare pentru respectarea legislației în domeniul protecției mediului sau al securității muncii.

## 1.12. Documentația tehnologică

Aplicarea variantei optime a procesului tehnologic proiectat se realizează cu ajutorul documentației tehnologice, care trebuie să conțină informații precise și complete într-o formă clară privind modul și parametrii de realizare a procesului tehnologic, astfel încât produsul fabricat să respecte condițiile impuse prin documentația de execuție.

Gradul de detaliere al documentației tehnologice depinde de caracterul producției și se concretizează în: *fișe tehnologice, planuri de operații, scheme (fișe) de reglare, fișe de control, instrucțiuni detaliate* privind modul de execuție al operațiilor mai complicate. Pentru toate acestea se pot utiliza formulare tipizate mai mult sau mai puțin complexe în funcție de specificul fabricației și nivelul tehnic și tehnologic al unității economice .

## FABRICAREA PIESELOR DE TIP ARBORE

### 2.2. Forme constructive, materiale și condiții tehnice

În clasa pieselor tip arbore sunt incluse piesele la care suprafețele principale sunt cilindrice exterioare, iar lungimea este mult mai mare decât dimensiunea maximă transversală. Suprafețele laterale ale arborilor pot fi și suprafețe conice sau suprafețe profilate (caneluri, danturi evolventice, etc.) și pot conține alezaje cu axa perpendiculară pe axa arborelui sau canale de pană. Pe suprafețele frontale ale arborilor pot exista găuri coaxiale sau necoaxiale cu axa arborelui. Există și construcții la care piesele de tip arbore au alezaje (cilindrice sau profilate) coaxiale cu suprafețele exterioare (arbori tubulari).

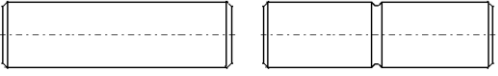
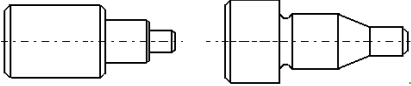
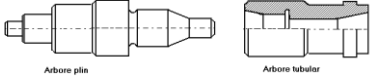
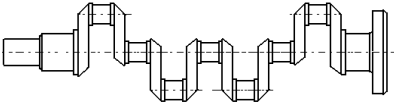
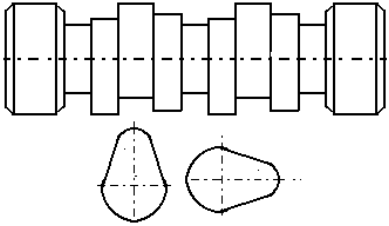
În funcție de particularitățile formei constructive piesele de tip arbore se pot grupa în : *arbori drepți* (*netezi, cu trepte într-un sens, cu trepte în ambele sensuri*), *arbori cotiți* și *arbori cu came*, așa cum este ilustrat în tabelul 2.2.

După raportul  $\frac{l}{d}$  ( $l$  este lungimea totală iar  $d$  este diametrul celei mai lungi trepte) arborii pot fi:

- 1 arbori rigizi la care  $\frac{l}{d} \leq 8 \dots 12$ ;
- 2 arbori nerigizi la care  $\frac{l}{d} > 12$ ;

Această clasificare prezintă importanță pentru alegerea schemelor de bazare și fixare în timpul prelucrării, deoarece arborii rigizi se pot prelucra fără reazeme suplimentare intermediare (prindere numai în universal pentru  $\frac{l}{d} \leq 3$  sau în universal și vârf pentru  $3 < \frac{l}{d} \leq 12$ ) iar în cazul arborilor nerigizi sunt necesare reazeme intermediare (lunete fixe sau de urmărire).

Tabelul 2.2. Clasificarea arborilor

Nr. crt.	Denumirea		Schița
1	Arbori drepți	netezi	
		cu trepte într-un sens	
		cu trepte în ambele sensuri	
2	Arbori cotiți		
3	Arbori cu came		

Piesele de tip arbore se pot executa practic din orice material. Ponderea o dețin arborii din oțeluri de tipul: oțeluri carbon de uz general (care nu se tratează termic), oțeluri carbon de calitate și oțeluri aliate din clasa structurală perlitică la care se pot aplica fie tratamente termochimice (în special carburare) fie tratament termic de îmbunătățire urmat eventual de călire superficială în anumite zone. Ca semifabricate pentru arborii din oțel se folosesc cele deformate plastic la cald (lamine, forjate, matrițate) sau deformate plastic la rece (tragere, extrudare) în funcție de forma și dimensiunile piesei și volumul producției

Pentru arbori cotiți și arbori cu came se utilizează din ce în ce mai frecvent fonte modificate cu grafit nodular (fonte de înaltă rezistență), ceea ce permite realizarea semifabricatelor prin turnare cu forma și dimensiunile apropiate de cele ale piesei finite, reducându-se astfel adaosurile de prelucrare mecanică.

Condițiile tehnice se referă la precizia dimensională, calitatea suprafeței, tratamente termice și caracteristici mecanice

Din punct de vedere al preciziei dimensionale cele mai severe prescripții se referă la suprafețele ce formează ajustaje cu piese de tip alezaj; în mod uzual se prevăd precizii corespunzătoare claselor 7...9 ISO, iar pentru condiții speciale clasa 6 ISO. Abaterile de formă (ovalitate și conicitate) trebuie să nu depășească 0,2...0,4 din toleranța la diametrul respectiv, necoaxialitatea treptelor trebuie să

fie mai mică de 0,01...0,02 mm, iar abaterea de la rectilinitate se limitează la 0,005...0,03 mm/m.

Rugozitatea suprafețelor este în concordanță cu precizia dimensională; pentru suprafețele care formează ajustaje se prescrie uzual  $R_a = 1,6...0,4 \mu\text{m}$ , iar pentru suprafețele libere  $R_a = 3,2...6,3 \mu\text{m}$ . În cazul suprafețelor pe care se realizează etanșare cu ajutorul garniturilor, rugozitatea se prescrie  $R_a = 0,8...0,4 \mu\text{m}$ , indiferent de precizia dimensională.

La suprafețele supuse fenomenelor de uzare se poate prescrie durificarea prin: tratamente termochimice, călire superficială, ecrusare superficială, cromare dură etc., în funcție de tipul materialului și de condițiile de exploatare.

## **2.2. Prelucrarea mecanică a pieselor de tip arbore**

Operațiile de prelucrare mecanică se grupează după gradul de precizie în: **operații pregătitoare, operații de degroșare și finisare, operații finale.**

### **2.2.2. Operații pregătitoare**

Operațiile pregătitoare au în principal rolul de a realiza bazele tehnologice pentru operațiile următoare și se stabilesc în funcție de tipul semifabricatului după cum urmează: debitare (dacă este cazul), îndreptare, prelucrare suprafețe frontale, centruire.

Îndreptarea se aplică semifabricatelor sau barelor utilizate pentru construcția arborilor nerigizi precum și barelor destinate realizării arborilor ce se prelucrează pe strunguri revolver sau automate. În mod uzual se aplică îndreptarea la rece, dar sunt și situații în care datorită deformațiilor mari îndreptarea se face la cald.

Debitarea se aplică în cazul semifabricatelor laminate și se realizează pe ferăstraie mecanice sau la foarfece tip ghilotină; în cazul pieselor de dimensiuni mici, debitarea se poate realiza chiar pe strung, în cadrul operațiilor de degroșare.

Prelucrarea suprafețelor frontale se poate realiza pe strung în cazul arborilor mici și mijlocii în producția individuală și de serie mică; pentru aceleași tipuri de arbori fabricați în producție de serie mare și de masă se aplică frezarea simultană a capetelor (figura 2.1a) pe mașini speciale de frezat și centruit .

În cazul arborilor de dimensiuni mari, prelucrarea suprafețelor frontale se

face succesiv pe mașini de frezat longitudinale sau pe mașini de alezat și frezat, caz în care se execută din aceeași prindere și centruierea.

Găurile de centrare constituie baze tehnologice pentru toate operațiile ulterioare, astfel că trebuie îndeplinite următoarele condiții: ambele găuri să aibă axa comună, să aibă conicitatea prescrisă, să aibă dimensiuni în concordanță cu dimensiunile arborelui. Găurile de centrare se execută cu burghie de centruit ale căror forme și dimensiuni sunt standardizate. Centruierea se realizează în majoritatea cazurilor în cadrul aceleiași operații cu prelucrarea suprafeței frontale respective. În cazul prelucrării pe strung este necesară utilizarea unui dispozitiv de rezemare pe durata executării prelucrării frontale și a centrurii (figura 2.1 b).

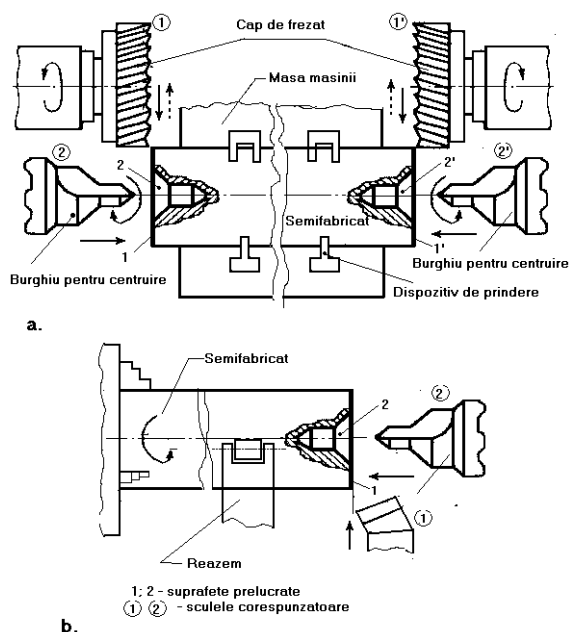


Fig. 2.2. Prelucrarea suprafețelor frontale și centruiere

### 2.2.2. Operații de degroșare și finisare

Operațiile de degroșare și finisare se realizează în special pe strunguri și mașini de rectificat.

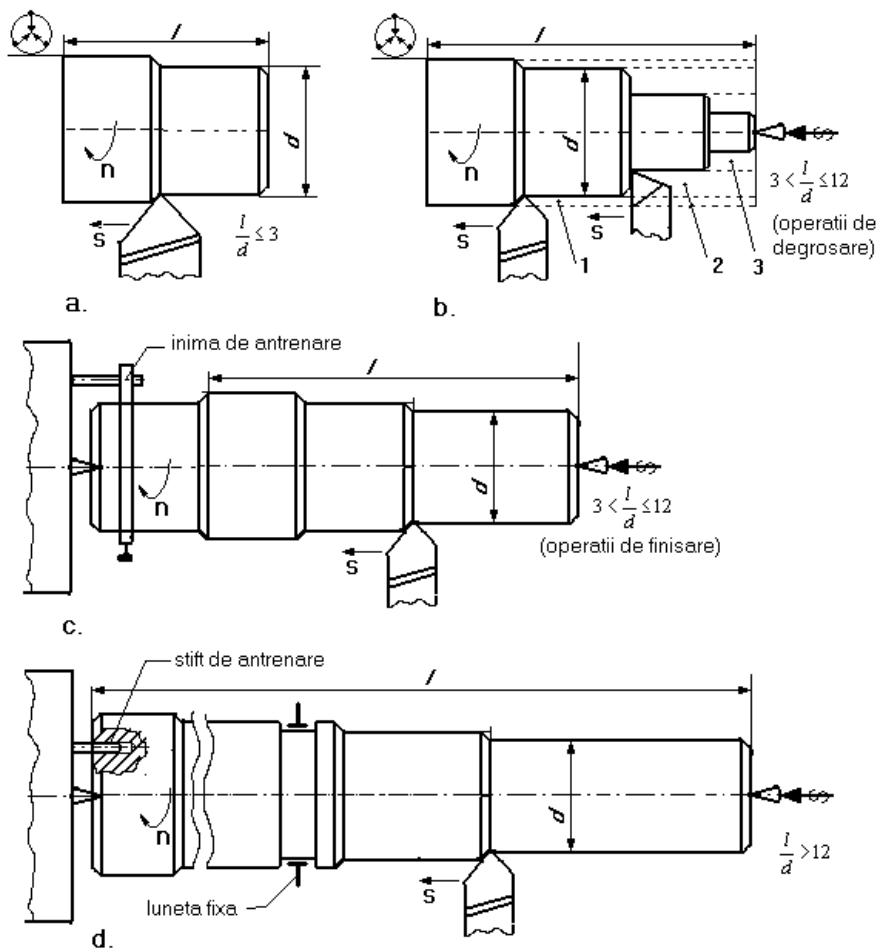
Prelucrarea prin strunjire a arborilor se poate executa pe majoritatea tipurilor de strunguri: strunguri paralele (normale), strunguri revolver, strunguri cu mai multe cuțite, strunguri semiautomate sau automate de copiat, strunguri cu comandă numerică.

*Prelucrarea pe strunguri paralele (normale).* Se aplică în cazul tuturor tipurilor de arbori în cazul producției individuale sau de serie mică, ceea ce



explică faptul că aceste mașini reprezintă 25...50% din totalul mașinilor unelte dintr-o unitate productivă. Principalul avantaj obținut prin utilizarea strungurilor paralele este posibilitatea realizării într-o singură operație a unor piese de forme complicate, datorită gradului ridicat de universalitate (strunjiri suprafețe cilindrice exterioare sau interioare, suprafețe profilate, găuriri, filetări etc.). Precizia dimensiunilor diametrale (clasele 8...10 ISO) se realizează prin metoda așchiilor de probă. Câteva scheme tipice de bazare și prelucrare pe strungul normal sunt prezentate în figura 2.2. În cazul arborilor în trepte, prelucrările încep de la suprafața cu diametrul cel mai mare (v. fig. 2.2b), astfel încât reducerea rigidității piesei prin îndepărtarea adaosului să se facă treptat.

În cazul bazării între vârfuri antrenarea piesei în mișcarea de rotație se realizează cu ajutorul inimii de antrenare (v. fig. 2.2c) sau prin intermediul unui știft solidar cu platoul strungului și care pătrunde într-un alezaj tehnologic executat special în acest scop (v. fig. 2. 2d).



**Fig. 2.2.** Scheme de bazare fixare și prelucrare pe strungul paralel (normal):  
 a – în universal cu trei bacuri; b – în universal cu trei bacuri și vârf; c – între vârfuri cu inimă de antrenare; d – între vârfuri cu știft de antrenare și lunetă fixă

*Prelucrarea pe strunguri revolver.* Se aplică în cazul producției de serie a arborilor de dimensiuni mici cu trepte ale căror diametre descresc către capăt. Din punct de vedere al bazării și fixării prelucrarea se face pe poziții, sculele fiind fixate pe capul revolver (cu ax vertical sau cu ax orizontal) și pe cărucioare (atunci când există).

Semifabricatele utilizate în mod curent sunt cele din bară calibrată prin tragere sau cojire, iar fixarea se face în mandrină sau universal. Pentru piese de forme complicate se utilizează semifabricate obținute prin turnare de precizie sau matrițare, iar fixarea se face în universal, platou cu 4 bacuri sau dispozitive speciale.

Datorită posibilității de fixare a mai multor scule pe capul revolver și pe cărucioarele cu avans longitudinal sau transversal, strungurile revolver permit prelucrarea cu mai multe scule simultan (suprapunerea fazelor), și utilizarea metodei reglării la dimensiune; dimensiunile diametrale se obțin prin reglarea corespunzătoare a sculelor, iar cele axiale prin utilizarea unor limitatori.

Productivitatea prelucrării este de câteva ori mai mare decât în cazul strungurilor paralele (normale) și poate fi îmbunătățită prin reglarea tipizată a sculelor pentru prelucrarea pieselor de forme și dimensiuni apropiate (tehnologii de grup), ceea ce permite reducerea timpilor de pregătire – încheiere care sunt mult mai mari la prelucrarea pe strungurile revolver.

La *strungurile revolver cu axa capului orizontală* prelucrarea se realizează în cicluri de lucru ce conțin de obicei faze simple; conținutul și ordinea fazelor ce compun operația se programează montând corespunzător sculele în locașurile portscule .

La *strungurile revolver cu axa capului verticală* prelucrarea se face pe principiul concentrării fazelor prin prelucrarea simultană a mai multor suprafețe; acest lucru este posibil prin utilizarea unor suportți portsculă speciali atât pentru capul revolver cât și pentru sculele montate pe cărucior. Prelucrarea pe aceste mașini este recomandată pentru producția de serie mare sau uneori chiar de masă.

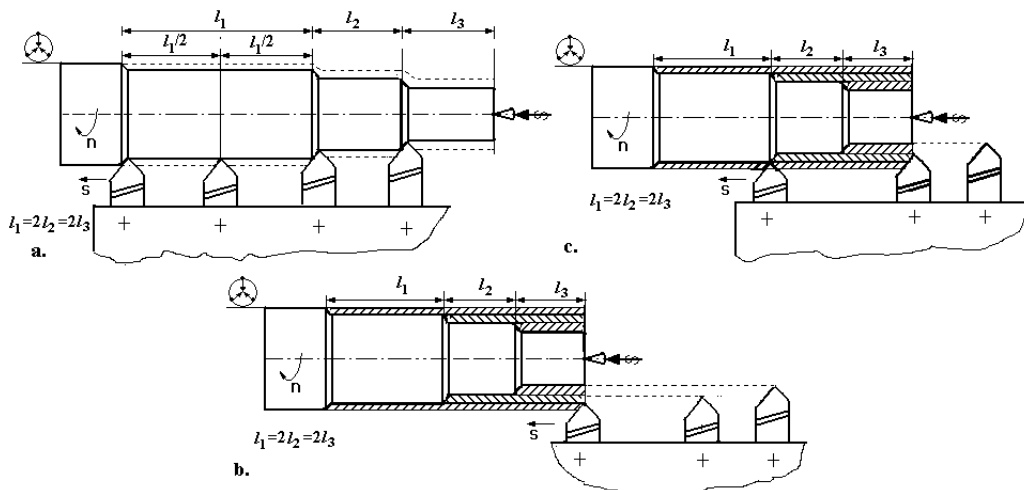
Prelucrarea pe strunguri cu mai multe cuțite se aplică în cazul fabricării în producție de serie mare sau de masă a arborilor rigizi, cu multe trepte de diametre și lungimi cât mai apropiate. Aceste mașini sunt prevăzute cu un suport pentru strunjit longitudinal plasat în față și un suport pentru strunjit transversal plasat în spate, ambele având posibilitatea fixării mai multor cuțite; ambele cărucioare se

deplasează simultan și revin în poziția inițială după terminarea fazei, iar prelucrarea este semiautomată (schimbarea piesei se face manual).

Reglarea sculelor la dimensiune se realizează static după șablon sau după piesă etalon. În funcție de configurația și dimensiunile piesei se aplică două metode de preluare a adaosului de prelucrare:

- prin împărțirea lungimii de așchiere în cazul utilizării semifabricatelor în trepte (adaos uniform) pentru piese ale căror trepte au lungimi egale sau multiplu între ele ( fig. 2.3a);
- prin împărțirea adâncimii de așchiere în cazul semifabricatelor bară, pentru piese cu diferențe mici între diametrele treptelor (fig. 2.3b)

Se pot folosi și sisteme combinate așa cum se observă în figura 2.3c, unde cuțitele 1 și 2 împart lungimea, iar cuțitele 2 și 3 împart adâncimea de așchiere.



**Fig. 2.3.** Scheme de prelucrare pe strungul cu mai multe cuțite:

a – prin împărțirea lungimii de așchiere; b – prin împărțirea adâncimii de așchiere; c – combinat

În oricare din variante strunjirea cu mai multe cuțite simultan prezintă avantaje prin reducerea timpului de bază și a timpilor auxiliari; cea mai bună eficacitate se obține la prelucrarea prin împărțirea lungimii de așchiere (v. fig. 2.3a).

Cu creșterea numărului de scule ce lucrează simultan timpul de bază scade, iar timpul de pregătire încheiere și timpul de deservire crește, astfel că există pentru fiecare caz în parte un număr optim de scule ce pot lucra simultan.

Numărul de cuțite este limitat și de rigiditatea sistemului MUDSP, deformațiile elastice ale acestuia influențând negativ precizia prelucrării. În mod uzual, pe strunguri cu mai multe cuțite se realizează doar operații de degroșare.

*Prelucrarea pe strunguri de copiat.* Se utilizează în cazul producției de serie sau de masă a arborilor în trepte de dimensiuni mici și mijlocii, care au

combinații de diferite tipuri de suprafețe (cilindrice, conice, sferice, profilate). Se aplică principiul concentrării operațiilor, iar mașinile sunt semiautomate sau automate ce lucrează pe poziții din punct de vedere al bazării și fixării.

Mișcările de avans ale sculelor reproduc generatoarea suprafeței ce se prelucrează, preluată prin intermediul unei transmisii mecanice sau hidraulice de la elementul portprogram care poate fi un șablon al cărui profil reproduce generatoarea respectivă, sau o piesă etalon.

În mod uzual se folosește piesa etalon ce se prelucrează pe mașini universale cu o precizie mai mare decât precizia impusă pieselor ce se vor prelucra prin copiere. Toleranțele piesei etalon trebuie să fie 0,5...0,3 din toleranțele pieselor ce se prelucrează.

Prelucrarea arborilor pe strunguri de copiat prezintă în raport cu prelucrarea pe strunguri normale avantaje cum ar fi:

- asigurarea unei stabilități mai bune a preciziei dimensionale;
- reducerea normei tehnice de timp (implicit reducerea costului prelucrării) prin reducerea timpilor auxiliari și prin crearea posibilității în unele cazuri ca un operator să deservească mai multe mașini;
- reducerea lungimii traseelor pieselor și utilizarea mai bună a spațiului productiv prin concentrarea operațiilor;
- crearea premiselor pentru organizarea producției în flux de fabricație.

Prelucrarea arborilor pe strunguri de copiat devine avantajoasă din punct de vedere economic de la un anumit număr de piese, deoarece prețul mașinii este mai ridicat decât al strungului normal, iar operațiile de reglare sunt mai complicate și necesită timpuri mai mari.

*Prelucrarea pe strunguri cu comandă numerică.* Se aplică în cazul producției de serie a arborilor în trepte cu forme complicate.

Informațiile necesare prelucrării pieselor sunt înregistrate codificate pe un port-program corespunzător: benzi sau cartele perforate, benzi sau discuri magnetice, discuri optice, sau, în cazul producției asistate de calculator, pot fi transmise prin rețea de la calculatorul ce coordonează fabricația.

Mașinile unelte cu comandă numerică (MUCN) au mai multe lanțuri cinematice pentru a asigura deplasarea corespunzătoare dintre sculă și suprafața de prelucrat; de obicei se menține viteza de rotație constantă (stabilită astfel încât pe suprafața cu diametrul mediu să rezulte viteza de așchiere economică) și se

modifică mișcările de avans în concordanță cu programul.

Prelucrarea pe strunguri cu comandă numerică amplifică avantajele prelucrării pe strunguri de copiat datorită faptului că flexibilitatea este mult mai mare, devenind economică utilizarea MUCN chiar în cazul producției individuale.

Pe de altă parte, se creează premisele introducerii fabricației flexibile prin integrarea acestor mașini în unități tehnologice complexe.

*Prelucrările prin rectificare.* Se aplică în cazul operațiilor de finisare a suprafețelor arborilor la care se cer precizii corespunzătoare claselor 6...7 ISO și rugozități  $R_a = 0,4...1,6 \mu\text{m}$ . Datorită productivității scăzute, rectificarea se utilizează de obicei ca prelucrare de finisare sau finală a pieselor cu duritate ridicată. Prelucrarea cu discuri abrazive se utilizează uneori și în cadrul operațiilor pregătitoare la debitare sau curățarea suprafețelor prin polizare, sau la operațiile de degroșare a suprafețelor plane de dimensiuni relativ mici.

La rectificare mișcarea principală de așchiere o execută discul abraziv și trebuie să fie realizată cu o viteză  $v_a = 25...40 \text{ m/s}$ , ceea ce impune rotirea cu turație cu atât mai mare a discului cu cât diametrul acestuia este mai mic.

Calitatea suprafețelor obținute prin rectificare este influențată de particularitățile procesului de așchiere cu abrazivi: presiuni specifice și temperaturi ridicate datorită geometriei arbitrare a granulelor abrazive. Rugozitatea este redusă, dar adâncimea stratului afectat este mare, iar tensiunile reziduale au valori ridicate și sunt de întindere, ceea ce poate înrăutăți comportarea la oboseală. Reducerea efectelor negative se realizează prin utilizarea discurilor cu diametrul cât mai mare, utilizarea dispozitivelor de corectare a suprafeței active a discului, utilizarea răcirii abundente cu lichide care au și rolul de a reduce frecările și de a evacua așchiile și liantul uzat.

Discurile abrazive sunt caracterizate de formă, dimensiuni, tipul și granulația abrazivului (corindon, carbură de siliciu, carbură de bor, diamant etc.), tipul duritatea și structura liantului (materiale ceramice, cauciuc, mase plastice, metal). Duritatea discului de rectificat reprezintă capacitatea de menținere a granulelor de către liant sub acțiunea forțelor exterioare și este determinată de rezistența liantului, distanța dintre granule și mărimea acestora (granulația). În timpul procesului de rectificare trebuie să se producă "autoascuțirea" discului: liantul reține granulele până în momentul în care își pierde prin uzare capacitatea de așchiere, după care acestea se smulg sub acțiunea forțelor de așchiere care

cresc, și astfel noi granule ajung în contact cu suprafața ce se prelucrează. Dacă duritatea discului nu este în concordanță cu materialul prelucrat se produce fie reducerea capacității de așchiere prin reținerea granulelor uzate și a particulelor de metal așchiat, fie uzarea rapidă prin pierderea prematură a granulelor abrazive.

Granulația abrazivului se alege în funcție de rugozitatea ce trebuie asigurată (tipul operației de rectificare), după cum urmează:

- rectificare de degroșare – abraziv cu granulația 800...1000  $\mu\text{m}$ ;
- rectificare de finisare – abraziv cu granulația 250... 400  $\mu\text{m}$ ;
- rectificare fină – abraziv cu granulația 50...160  $\mu\text{m}$ .

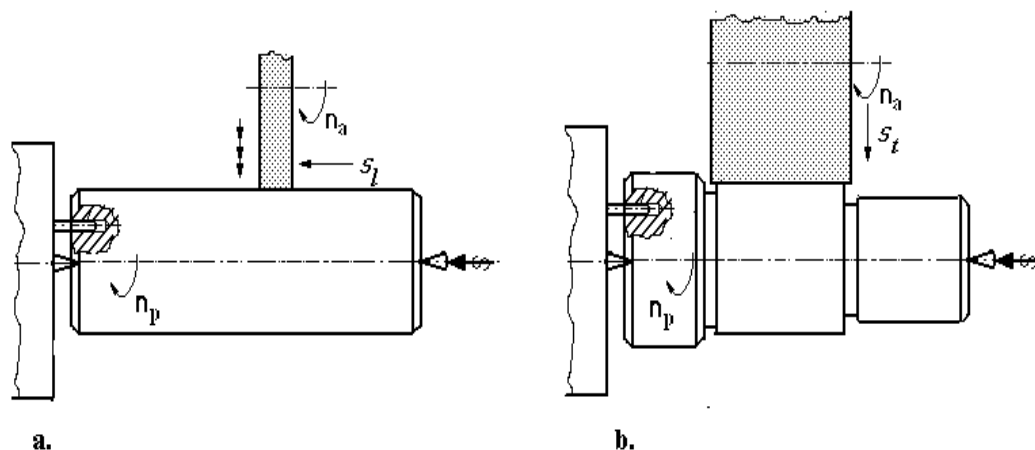
Din punct de vedere al bazării se aplică două metode de rectificare a arborilor: *rectificarea cu bazare între vârfuri*, și *rectificarea fără centre*.

*Rectificarea între vârfuri* impune realizarea unor găuri de centrare precise, curățarea și la nevoie chiar rectificarea acestora înaintea operației de prelucrare a arborelui, care poate fi:

- *rectificare între vârfuri cu avans longitudinal* (fig. 2.4a) – este cea mai utilizată deoarece se poate aplica la orice fel de arbori drepti; pot apare abateri de conicitate și concavitate a suprafeței prelucrate datorită neparalelismului axei piesei cu axa discului în plan orizontal sau în plan vertical;
- *rectificarea între vârfuri cu avans transversal* (fig. 2.4b) – se aplică în cazul arborilor în trepte a căror lungime este mică și a suprafețelor profilate.

Aceste scheme de prelucrare se utilizează și pentru rectificarea suprafețelor conice: la prelucrarea cu avans longitudinal se înclină masa mașinii de rectificat în plan orizontal cu unghiul corespunzător, iar la rectificarea cu avans transversal se înclină suportul discului de rectificat.

Rectificarea fără centre se aplică arborilor cu forme simple de revoluție, bazarea realizându-se chiar pe suprafața prelucrată. Din figura 2.5 în care este prezentată schema de prelucrare se observă că piesa este prinsă între discul de antrenare care are o viteză periferică  $v_{ap} = 18...30$  m/min (adică 0,3...0,5 m/s), discul de așchiere care are diametrul mai mare și o viteză periferică  $v_a = 25...30$  m/s și suportul plasat între discuri la partea inferioară.



**Fig. 2.4.** Rectificarea între vârfuri:  
a – cu avans longitudinal; b – cu avans transversal

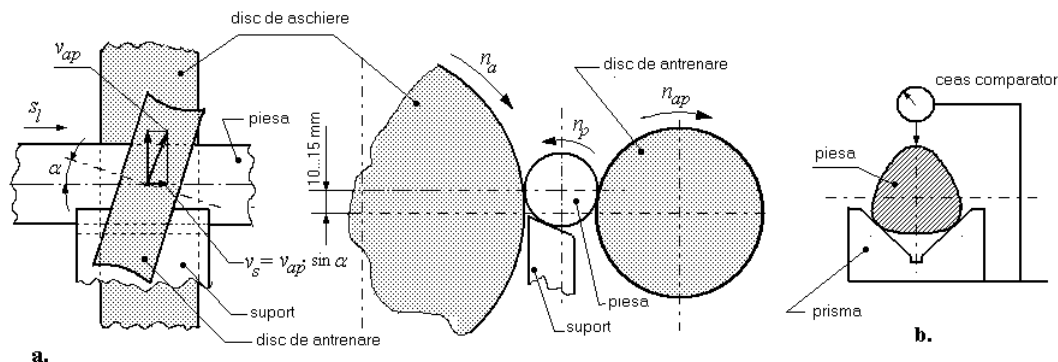
Deoarece  $v_{ap} \ll v_a$ , forța de frecare dintre discul de antrenare și piesă este mult mai mare decât forța de frecare dintre piesă și discul de așchiere, astfel că piesa se va roti cu o viteză periferică  $v_p = k_f \cdot v_{ap}$  ( $k_f \approx 0,9 \dots 0,97$ ). Prin înclinarea discului de antrenare cu unghiul  $\alpha$  în plan vertical piesa capătă și o mișcare de translație (mișcare de avans) în lungul axei.

Pentru a ușura mișcarea piesei discul de antrenare are structura poroasă și forma unui hiperboloid de rotație (se realizează contactul liniar între piesă și disc), iar pentru a evita abaterile de poligonalitate (fig 2.5 b) centrul piesei în timpul rectificării trebuie să fie la 10...15 mm deasupra liniei centrelor discurilor (fig. 2.5).

Si rectificarea fără centre se poate realiza cu avans longitudinal sau cu avans transversal.

*Rectificarea fără centre cu avans longitudinal* se aplică arborilor lungi. Unghiul de înclinare  $\alpha$  care asigură deplasarea longitudinală ( viteza de avans  $v_s = v_p \cdot \sin \alpha$ ) depinde de tipul operației de rectificare: la rectificarea de degroșare  $\alpha = 2,0 \dots 4,5^\circ$  iar la rectificarea de finisare  $\alpha = 1,0 \dots 2,0^\circ$ . Avansul de pătrundere la fiecare trecere (avans transversal) are aceleași valori ca la rectificarea între vârfuri (fig. 2.4a)

*Rectificarea fără centre cu avans transversal* se aplică la prelucrarea pieselor scurte. Discul de antrenare se înclină cu  $0,5 \dots 1,0^\circ$ , iar piesa se reazemă și de un opritor lateral care o menține în poziția de lucru. Prin acest procedeu se pot rectifica și suprafețe profilate utilizând discuri cu profilul corespunzător. Avansul transversal are următoarele valori: la rectificarea de degroșare  $s_t = 0,004 \dots 0,04$  mm/rotația piesei, iar la rectificarea de finisare  $s_t = 0,003 \dots 0,01$  mm/rotația piesei.



**Fig. 2.5.** Rectificarea fără centre:  
a – rectificarea cu avans longitudinal; b – controlul poligonalității

Rectificarea fără centre are următoarele avantaje:

- se elimină operația de centruire;
- uzarea discului de antrenare este mai redusă;
- erorile la dimensiuni se reduc la jumătate deoarece uzarea discului de aşchiere provoacă abateri la diametru și nu la rază ca în cazul rectificării între vârfuri;
- mașina-unealtă este rigidă, precisă și simplă;
- nu sunt necesare dispozitive speciale în cazul prelucrării pieselor subțiri și lungi.

Utilizarea acestui procedeu este limitată însă de următorii factori:

- timpul de pregătire încheiere este mai mare, ceea ce justifică utilizarea numai în cazul producției de serie;
- se pot rectifica numai arbori netezi sau cu forme simple;
- precizia formei suprafeței este mai redusă datorită abaterilor la poligonalitate.

*Alte prelucrări.* În cazul producției de serie mare și de masă piesele din clasa arbore se mai pot prelucra prin frezare, broșare și pe mașini speciale, procedee ce sunt înlocuite de prelucrarea pe mașini cu comandă numerică, procedeu mult mai flexibil și care permite prelucrarea suprafețelor de orice formă.

### 2.2.3. Prelucrări finale.

Așa cum este cunoscut, prelucrările finale asigură în special îmbunătățirea calității suprafeței, iar pentru procedeele la care scula este condusă de mașină are loc și creșterea preciziei dimensionale sau de formă și poziție.



Cele mai utilizate metode de prelucrare finală a arborilor sunt cele cunoscute: strunjirea fină (de netezire), microrectificarea, supranetezirea, lepuire, netezirea și durificarea prin deformare plastică la rece prin rulare, alunecare, vibroapăsare și altele.

### **2.3. Scheme tehnologice tip de prelucrare a arborilor**

Pentru piesele din clasa arbore se pot stabili relativ ușor tehnologii tip. Acestea se întocmesc de obicei pentru piese cu forme complexe, cu prescripții de precizie ridicate, rugozitate scăzută, executate din oțel și la care se cer caracteristici mecanice ridicate. Utilizarea acestor tehnologii tip în cazuri concrete presupune alegerea și includerea în procesul tehnologic a operațiilor ce se pot aplica în situația dată, ținând seama și de volumul producției și baza materială disponibilă.

În cele ce urmează sunt prezentate câteva scheme tehnologice tip (succesiunea operațiilor) pentru arbori drepecți, individualizate după tipul semifabricatului, forma și dimensiunile pieselor.

#### **2.3.2. Arbori netezi.**

Se execută de obicei din semifabricat laminat, calibrat la rece, caz în care nu mai este necesară operație de strunjire. Succesiunea operațiilor în cazul arborilor netezi din oțel de îmbunătățire este:

- debitare;
- rectificare de degroșare prin metoda fără centre;
- tratament termic de îmbunătățire
- frezare canale de pană;
- găurire, filetare (dacă este cazul);
- rectificare de finisare prin metoda fără centre;
- control final.

În cazul arborilor netezi de dimensiuni mai mari realizați din semifabricate forjate, operația de *debitare* este înlocuită de *prelucrarea suprafețelor frontale și centruire*, după care succesiunea va fi: *strunjire de degroșare, tratament termic de îmbunătățire, strunjire de finisare, frezare canale de pană, găurire, filetare, rectificare între vârfuluri* (degroșare și finisare într-o singură așezare), *control final*.

### 2.3.2. Arbori în trepte

Pentru arborii în trepte se pot utiliza semifabricate laminate (în cazul pieselor cu solicitări reduse și diferențe mici ale diametrelor treptelor), semifabricate forjate liber sau semifabricate matrițate, în funcție de volumul producției.

Prelucrările prin strunjire se realizează de obicei în două așezări, cu bazarea și fixarea în universal și vârf sau între vârfuri, (cu sau fără lunete după rigiditatea piesei), iar prelucrările prin rectificare se realizează cu bazarea și fixarea între vârfuri; aceeași schemă de bazare se aplică și pentru prelucrarea canelurilor sau danturii (când sunt prevăzute)

*Arborii scurți* ( $l < 120$  mm) având treptele plasate unilateral și la care nu se pun condiții deosebite de precizie se pot prelucra din bară laminată într-o singură operație pe strunguri normale, strunguri revolver semiautomate sau automate, în funcție de tipul producției.

*Arborii cu*  $l > 120$  mm având treptele într-o parte sau în ambele părți, cu forme complexe și precizie ridicată, executați din oțel de îmbunătățire se prelucreză în mai multe operații după cum urmează:

- debitare (dacă este necesară);
- prelucrare suprafețe frontale și centruire (este operație distinctă în cazul arborilor de dimensiuni mari sau în cazul producției de serie sau de masă);
- strunjire de degroșare; în cazul producției de unicat sau individuală în primele faze ale fiecărei așezări se realizează și centruirea;
- tratament termic de îmbunătățire;
- strunjire de finisare, (inclusiv corectarea găurilor de centrare și realizarea filetelor concentrice cu axa piesei); finisarea se poate realiza și în mai multe operații în funcție de mașinile disponibile și caracterul producției;
- frezarea canelurilor sau danturare (dacă este cazul);
- frezare canale de pană;
- tratament termic de durificare prin călire superficială (la suprafețele la care este prevăzut);
- rectificare suprafețe cilindrice (degroșare și finisare într-o singură

- operație sau operații distincte după tipul producției);
- rectificare caneluri și dantură (dacă este cazul);
  - prelucrări finale (de mare finețe);
  - control final.

*Arborii pinion* (cu dantură și/sau caneluri) se execută adesea din oțeluri durificabile prin tratamente termochimice (uzual carburare, sau carbonitrurare). În aceste cazuri succesiunea operațiilor se stabilește și în funcție de metoda de evitare a durificării stratului în zonele unde nu este necesar, care poate fi: a) prin protejarea suprafețelor ce nu trebuie tratate; b) prin înlăturarea stratului îmbogățit în carbon înainte de călire din zonele în care nu este necesar strat dur.

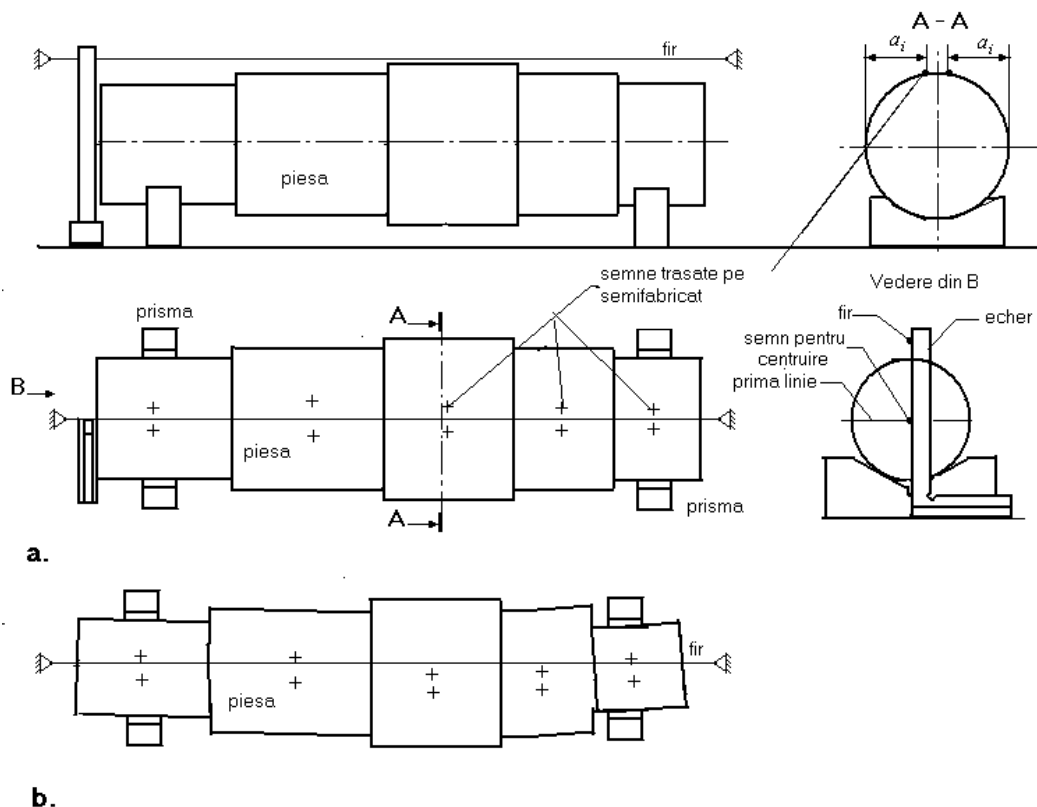
O succesiune a operațiilor aplicabilă în primul caz este: *prelucrare suprafețe frontale și centrare, strunjire de degroșare, strunjire de finisare, rectificare de degroșare, prelucrare dantura și/sau caneluri (cu adaos de rectificare), protejarea suprafețelor care nu trebuie durificate, tratament termochimic de durificare, rectificare găuri de centrare, rectificare suprafețe cilindrice, frezare canale de pană, găurire, filetare (dacă este cazul), rectificare dantura și/sau caneluri, control final.*

În cazul al doilea, la strunjirea de finisare se prevede un adaos suficient pentru înlăturarea stratului îmbogățit în carbon (sau alte elemente) din zonele în care nu este necesar, iar tratamentul termochimic se realizează în două etape, astfel că succesiunea operațiilor este: ***strunjire de finisare cu adaos suficient, prelucrare dantură și/sau caneluri cu adaos de rectificare, tratament termochimic de îmbogățire a stratului*** (carburare), ***strunjire de finisare pentru îndepărtarea stratului din zonele în care nu este necesar, tratament de călire pentru durificare strat îmbogățit***, după care urmează restul operațiilor ca în cazul precedent.

*Arborii de dimensiuni mari (arbori grei)* se realizează din semifabricate forjate liber și se prelucrează în condițiile producției individuale sau de unicat; datorită dimensiunilor și condițiilor impuse de obicei caracteristicilor mecanice există câteva particularități în fabricarea acestora.

În primul rând, după forjare se aplică un tratament termic de normalizare și recoacere pentru îmbunătățirea prelucrabilității. Semifabricatul are prevăzut la capete adaosuri pentru realizarea probelor din care se prelucrează epruvetele pentru încercări mecanice. Aceste probe se debitează după tratamentul termic de îmbunătățire.

Datorită abaterilor inerente ale semifabricatului forjat este necesar să se verifice înaintea începerii prelucrărilor dacă există adaos suficient pentru fiecare treaptă. În acest scop se așează semifabricatul pe prisme (fig 2.6), și se trasează pe fiecare treaptă  $i$  semne la distanța  $a_i = \frac{ds_i - d_i}{2}$  de o parte și de alta a axei, unde  $ds_i$  este diametrul semifabricatului în dreptul treptei  $i$ , iar  $d_i$  este diametrul final al treptei  $i$ . Se materializează generatoarea superioară cu ajutorul unui fir întins între cele două capete ale arborelui; dacă firul trece printre cele două semne de pe fiecare treaptă (fig.2.6 a), semifabricatul are adaosul de prelucrare corect repartizat și este posibilă prelucrarea arborelui, iar dacă nu (fig. 2.6b), înseamnă că fie semifabricatul are curbura și trebuie îndreptat, fie unele trepte au excentricitate exagerată și în această situație semifabricatul nu poate fi utilizat.



**Fig. 2.6.** Verificarea semifabricatului și trasarea găurilor de centrare la arborii grei  
a –semifabricat corespunzător; b – semifabricat curbat;

Pentru localizarea găurilor de centrare se folosește un echer cu ajutorul căruia se trasează pe fiecare față frontală câte o linie prin dreptul firului plasat între cele două șiruri de semne. Se repetă operația după rotirea arborelui pe prisme cu  $90^\circ$ , astfel că intersecția celor două linii trasate pe fețele frontale vor materializa punctul în care trebuie realizată gaura de centrare respectivă (v. fig. 6 a).

După prelucrarea suprafețelor frontale și centruire pe mașini de alezat și frezat, arborii grei se strunjesc de degroșare pe strunguri normale de dimensiuni corespunzătoare.

Pentru asigurarea bazării și fixării în condiții bune sunt necesare reazeme suplimentare pe lunete. Pentru aceasta la prima așezare semifabricatul se fixează în platou cu patru bacuri și vârful păpușii mobile, se verifică poziția după semnele trasate și se strunjesc canale pentru lunete.

La așezările următoare se face verificarea poziției semifabricatului cu ajutorul comparatoarelor.

Particularități pot apare și la operațiile de rectificare, deoarece s-ar putea să nu fie disponibile mașini de rectificat rotund corespunzătoare dimensiunilor piesei. Problema se rezolvă prin utilizarea unor dispozitive de rectificat cu comandă individuală montate pe căruciorul strungului.

## FABRICAREA PIESELOR DE TIP ARBORE

### 2.2. Forme constructive, materiale și condiții tehnice

În clasa pieselor tip arbore sunt incluse piesele la care suprafețele principale sunt cilindrice exterioare, iar lungimea este mult mai mare decât dimensiunea maximă transversală. Suprafețele laterale ale arborilor pot fi și suprafețe conice sau suprafețe profilate (caneluri, danturi evolventice, etc.) și pot conține alezaje cu axa perpendiculară pe axa arborelui sau canale de pană. Pe suprafețele frontale ale arborilor pot exista găuri coaxiale sau necoaxiale cu axa arborelui. Există și construcții la care piesele de tip arbore au alezaje (cilindrice sau profilate) coaxiale cu suprafețele exterioare (arbori tubulari).

În funcție de particularitățile formei constructive piesele de tip arbore se pot grupa în : **arbori drepți** (*netezi, cu trepte într-un sens, cu trepte în ambele sensuri*), **arbori cotiți** și **arbori cu came**, așa cum este ilustrat în tabelul 2.2.

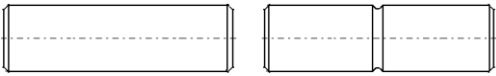
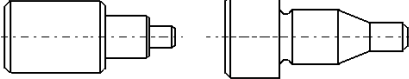
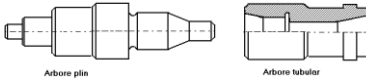
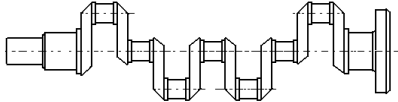
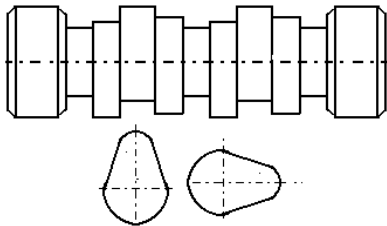
După raportul  $\frac{l}{d}$  ( $l$  este lungimea totală iar  $d$  este diametrul celei mai lungi trepte) arborii pot fi:

3 arbori rigizi la care  $\frac{l}{d} \leq 8 \dots 12$ ;

4 arbori nerigizi la care  $\frac{l}{d} > 12$ ;

Această clasificare prezintă importanță pentru alegerea schemelor de bazare și fixare în timpul prelucrării, deoarece arborii rigizi se pot prelucra fără reazeme suplimentare intermediare (prindere numai în universal pentru  $\frac{l}{d} \leq 3$  sau în universal și vârf pentru  $3 < \frac{l}{d} \leq 12$ ) iar în cazul arborilor nerigizi sunt necesare reazeme intermediare (lunete fixe sau de urmărire).

**Tabelul 2.2.** Clasificarea arborilor

Nr. crt.	Denumirea		Schița
1	Arbori drepți	netezi	
		cu trepte într-un sens	
		cu trepte în ambele sensuri	
2	Arbori cotiți		
3	Arbori cu came		

Piesele de tip arbore se pot executa practic din orice material. Ponderea o dețin arborii din oțeluri de tipul: oțeluri carbon de uz general (care nu se tratează termic), oțeluri carbon de calitate și oțeluri aliate din clasa structurală perlitică la care se pot aplica fie tratamente termochimice (în special carburare) fie tratament termic de îmbunătățire urmat eventual de călire superficială în anumite zone. Ca semifabricate pentru arborii din oțel se folosesc cele deformate plastic la cald (lamine, forjate, matrițate) sau deformate plastic la rece (tragere, extrudare) în funcție de forma și dimensiunile piesei și volumul producției

Pentru arbori cotiți și arbori cu came se utilizează din ce în ce mai frecvent fonte modificate cu grafit nodular (fonte de înaltă rezistență), ceea ce permite realizarea semifabricatelor prin turnare cu forma și dimensiunile apropiate de cele ale piesei finite, reducându-se astfel adaosurile de prelucrare mecanică.

Condițiile tehnice se referă la precizia dimensională, calitatea suprafeței, tratamente termice și caracteristici mecanice

Din punct de vedere al preciziei dimensionale cele mai severe prescripții se referă la suprafețele ce formează ajustaje cu piese de tip alezaj; în mod uzual se prevăd precizii corespunzătoare claselor 7...9 ISO, iar pentru condiții speciale clasa 6 ISO. Abaterile de formă (ovalitate și conicitate) trebuie să nu depășească 0,2...0,4 din toleranța la diametrul respectiv, necoaxialitatea treptelor trebuie să

fie mai mică de 0,01...0,02 mm, iar abaterea de la rectilinitate se limitează la 0,005...0,03 mm/m.

Rugozitatea suprafețelor este în concordanță cu precizia dimensională; pentru suprafețele care formează ajustaje se prescrie uzual  $R_a = 1,6...0,4 \mu\text{m}$ , iar pentru suprafețele libere  $R_a = 3,2...6,3 \mu\text{m}$ . În cazul suprafețelor pe care se realizează etanșare cu ajutorul garniturilor, rugozitatea se prescrie  $R_a = 0,8...0,4 \mu\text{m}$ , indiferent de precizia dimensională.

La suprafețele supuse fenomenelor de uzare se poate prescrie durificarea prin: tratamente termochimice, călire superficială, ecruisare superficială, cromare dură etc., în funcție de tipul materialului și de condițiile de exploatare.

## **2.2. Prelucrarea mecanică a pieselor de tip arbore**

Operațiile de prelucrare mecanică se grupează după gradul de precizie în: **operații pregătitoare, operații de degroșare și finisare, operații finale.**

### **2.2.2. Operații pregătitoare**

Operațiile pregătitoare au în principal rolul de a realiza bazele tehnologice pentru operațiile următoare și se stabilesc în funcție de tipul semifabricatului după cum urmează: debitare (dacă este cazul), îndreptare, prelucrare suprafețe frontale, centruire.

Îndreptarea se aplică semifabricatelor sau barelor utilizate pentru construcția arborilor nerigizi precum și barelor destinate realizării arborilor ce se prelucrează pe strunguri revolver sau automate. În mod uzual se aplică îndreptarea la rece, dar sunt și situații în care datorită deformațiilor mari îndreptarea se face la cald.

Debitarea se aplică în cazul semifabricatelor laminate și se realizează pe ferăstraie mecanice sau la foarfece tip ghilotină; în cazul pieselor de dimensiuni mici, debitarea se poate realiza chiar pe strung, în cadrul operațiilor de degroșare.

Prelucrarea suprafețelor frontale se poate realiza pe strung în cazul arborilor mici și mijlocii în producția individuală și de serie mică; pentru aceleași tipuri de arbori fabricați în producție de serie mare și de masă se aplică frezarea simultană a capetelor (figura 2.1a) pe mașini speciale de frezat și centruit .

În cazul arborilor de dimensiuni mari, prelucrarea suprafețelor frontale se



face succesiv pe mașini de frezat longitudinale sau pe mașini de alezat și frezat, caz în care se execută din aceeași prindere și centrarea.

Găurile de centrare constituie baze tehnologice pentru toate operațiile ulterioare, astfel că trebuie îndeplinite următoarele condiții: ambele găuri să aibă axa comună, să aibă conicitatea prescrisă, să aibă dimensiuni în concordanță cu dimensiunile arborelui. Găurile de centrare se execută cu burghie de centruit ale căror forme și dimensiuni sunt standardizate. Centruirea se realizează în majoritatea cazurilor în cadrul aceleiași operații cu prelucrarea suprafeței frontale respective. În cazul prelucrării pe strung este necesară utilizarea unui dispozitiv de rezemare pe durata executării prelucrării frontale și a centrării (figura 2.1 b).

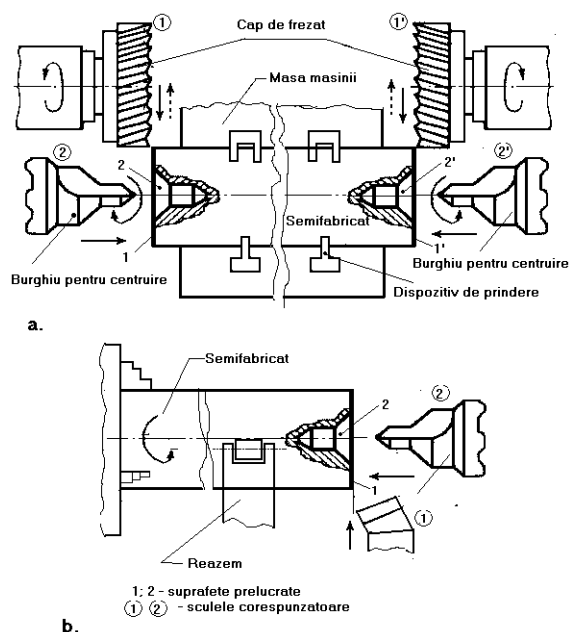


Fig. 2.2. Prelucrarea suprafețelor frontale și centrare

### 2.2.2. Operații de degroșare și finisare

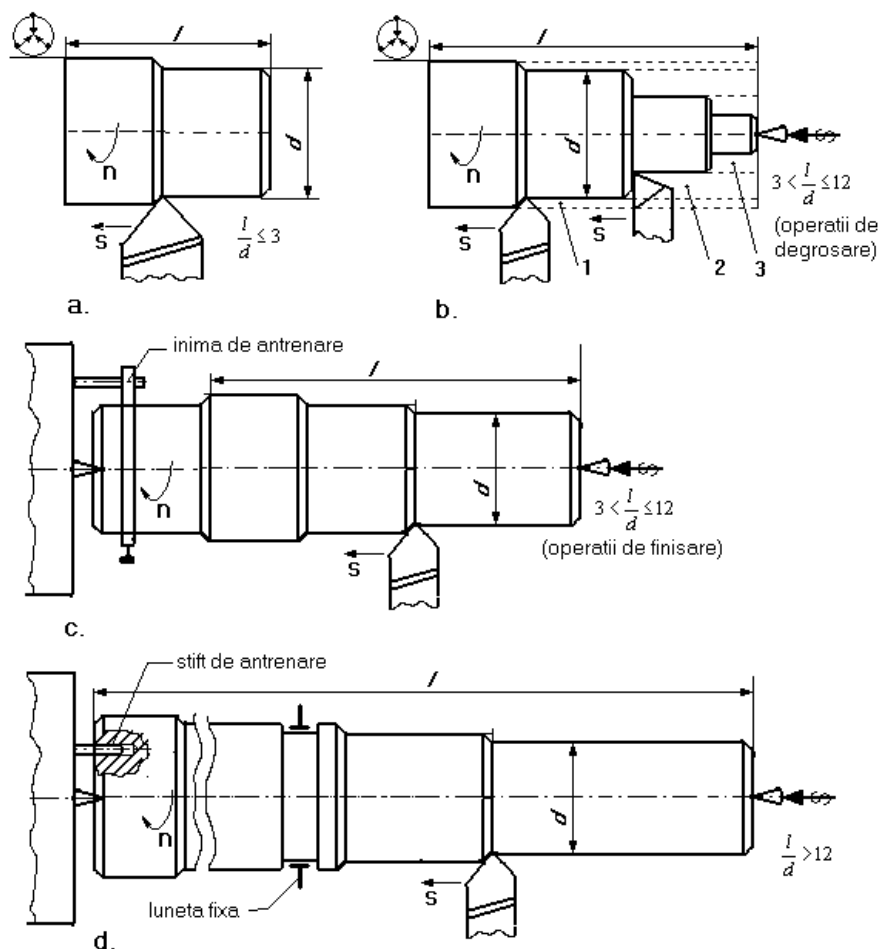
Operațiile de degroșare și finisare se realizează în special pe strunguri și mașini de rectificat.

Prelucrarea prin strunjire a arborilor se poate executa pe majoritatea tipurilor de strunguri: strunguri paralele (normale), strunguri revolver, strunguri cu mai multe cuțite, strunguri semiautomate sau automate de copiat, strunguri cu comandă numerică.

*Prelucrarea pe strunguri paralele (normale).* Se aplică în cazul tuturor tipurilor de arbori în cazul producției individuale sau de serie mică, ceea ce

explică faptul că aceste mașini reprezintă 25...50% din totalul mașinilor unelte dintr-o unitate productivă. Principalul avantaj obținut prin utilizarea strungurilor paralele este posibilitatea realizării într-o singură operație a unor piese de forme complicate, datorită gradului ridicat de universalitate (strunjiri suprafețe cilindrice exterioare sau interioare, suprafețe profilate, găuriri, filetări etc.). Precizia dimensiunilor diametrale (clasele 8...10 ISO) se realizează prin metoda așchiilor de probă. Câteva scheme tipice de bazare și prelucrare pe strungul normal sunt prezentate în figura 2.2. În cazul arborilor în trepte, prelucrările încep de la suprafața cu diametrul cel mai mare (v. fig. 2.2b), astfel încât reducerea rigidității piesei prin îndepărtarea adaosului să se facă treptat.

În cazul bazării între vârfuri antrenarea piesei în mișcarea de rotație se realizează cu ajutorul inimii de antrenare (v. fig. 2.2c) sau prin intermediul unui știft solidar cu platoul strungului și care pătrunde într-un alezaj tehnologic executat special în acest scop (v. fig. 2. 2d).



**Fig. 2.2.** Scheme de bazare fixare și prelucrare pe strungul paralel (normal):  
 a – în universal cu trei bacuri; b – în universal cu trei bacuri și vârf; c – între vârfuri cu inimă de antrenare; d – între vârfuri cu știft de antrenare și lunetă fixă

*Prelucrarea pe strunguri revolver.* Se aplică în cazul producției de serie a arborilor de dimensiuni mici cu trepte ale căror diametre descresc către capăt. Din punct de vedere al bazării și fixării prelucrarea se face pe poziții, sculele fiind fixate pe capul revolver (cu ax vertical sau cu ax orizontal) și pe cărucioare (atunci când există).

Semifabricatele utilizate în mod curent sunt cele din bară calibrată prin tragere sau cojire, iar fixarea se face în mandrină sau universal. Pentru piese de forme complicate se utilizează semifabricate obținute prin turnare de precizie sau matrițare, iar fixarea se face în universal, platou cu 4 bacuri sau dispozitive speciale.

Datorită posibilității de fixare a mai multor scule pe capul revolver și pe cărucioarele cu avans longitudinal sau transversal, strungurile revolver permit prelucrarea cu mai multe scule simultan (suprapunerea fazelor), și utilizarea metodei reglării la dimensiune; dimensiunile diametrale se obțin prin reglarea corespunzătoare a sculelor, iar cele axiale prin utilizarea unor limitatori.

Productivitatea prelucrării este de câteva ori mai mare decât în cazul strungurilor paralele (normale) și poate fi îmbunătățită prin reglarea tipizată a sculelor pentru prelucrarea pieselor de forme și dimensiuni apropiate (tehnologii de grup), ceea ce permite reducerea timpilor de pregătire – încheiere care sunt mult mai mari la prelucrarea pe strungurile revolver.

*La strungurile revolver cu axa capului orizontală* prelucrarea se realizează în cicluri de lucru ce conțin de obicei faze simple; conținutul și ordinea fazelor ce compun operația se programează montând corespunzător sculele în locașurile portscule .

*La strungurile revolver cu axa capului verticală* prelucrarea se face pe principiul concentrării fazelor prin prelucrarea simultană a mai multor suprafețe; acest lucru este posibil prin utilizarea unor suportți portsculă speciali atât pentru capul revolver cât și pentru sculele montate pe cărucior. Prelucrarea pe aceste mașini este recomandată pentru producția de serie mare sau uneori chiar de masă.

Prelucrarea pe strunguri cu mai multe cuțite se aplică în cazul fabricării în producție de serie mare sau de masă a arborilor rigizi, cu multe trepte de diametre și lungimi cât mai apropiate. Aceste mașini sunt prevăzute cu un suport pentru strunjit longitudinal plasat în față și un suport pentru strunjit transversal plasat în spate, ambele având posibilitatea fixării mai multor cuțite; ambele cărucioare se

deplasează simultan și revin în poziția inițială după terminarea fazei, iar prelucrarea este semiautomată (schimbarea piesei se face manual).

Reglarea sculelor la dimensiune se realizează static după șablon sau după piesă etalon. În funcție de configurația și dimensiunile piesei se aplică două metode de preluare a adaosului de prelucrare:

- prin împărțirea lungimii de așchiere în cazul utilizării semifabricatelor în trepte (adaos uniform) pentru piese ale căror trepte au lungimi egale sau multiplu între ele ( fig. 2.3a);
- prin împărțirea adâncimii de așchiere în cazul semifabricatelor bară, pentru piese cu diferențe mici între diametrele treptelor (fig. 2.3b)

Se pot folosi și sisteme combinate așa cum se observă în figura 2.3c, unde cuțitele 1 și 2 împart lungimea, iar cuțitele 2 și 3 împart adâncimea de așchiere.

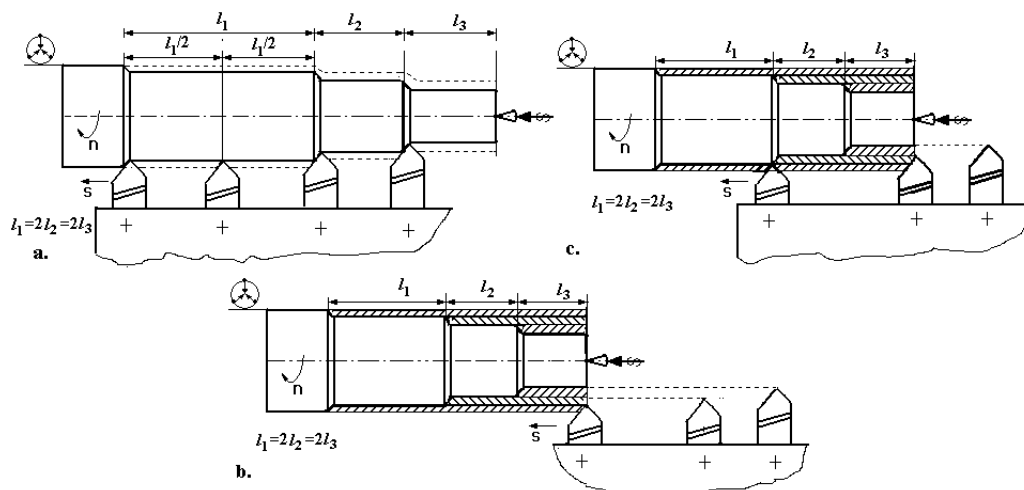


Fig. 2.3. Scheme de prelucrare pe strungul cu mai multe cuțite:

a – prin împărțirea lungimii de așchiere; b – prin împărțirea adâncimii de așchiere; c – combinat

În oricare din variante strunjirea cu mai multe cuțite simultan prezintă avantaje prin reducerea timpului de bază și a timpilor auxiliari; cea mai bună eficacitate se obține la prelucrarea prin împărțirea lungimii de așchiere (v. fig. 2.3a).

Cu creșterea numărului de scule ce lucrează simultan timpul de bază scade, iar timpul de pregătire încheiere și timpul de deservire crește, astfel că există pentru fiecare caz în parte un număr optim de scule ce pot lucra simultan.

Numărul de cuțite este limitat și de rigiditatea sistemului MUDSP, deformațiile elastice ale acestuia influențând negativ precizia prelucrării. În mod uzual, pe strunguri cu mai multe cuțite se realizează doar operații de degroșare.

*Prelucrarea pe strunguri de copiat.* Se utilizează în cazul producției de serie sau de masă a arborilor în trepte de dimensiuni mici și mijlocii, care au

combinații de diferite tipuri de suprafețe (cilindrice, conice, sferice, profilate). Se aplică principiul concentrării operațiilor, iar mașinile sunt semiautomate sau automate ce lucrează pe poziții din punct de vedere al bazării și fixării.

Mișcările de avans ale sculelor reproduc generatoarea suprafeței ce se prelucrează, preluată prin intermediul unei transmisii mecanice sau hidraulice de la elementul portprogram care poate fi un șablon al cărui profil reproduce generatoarea respectivă, sau o piesă etalon.

În mod uzual se folosește piesa etalon ce se prelucrează pe mașini universale cu o precizie mai mare decât precizia impusă pieselor ce se vor prelucra prin copiere. Toleranțele piesei etalon trebuie să fie 0,5...0,3 din toleranțele pieselor ce se prelucrează.

Prelucrarea arborilor pe strunguri de copiat prezintă în raport cu prelucrarea pe strunguri normale avantaje cum ar fi:

- asigurarea unei stabilități mai bune a preciziei dimensionale;
- reducerea normei tehnice de timp (implicit reducerea costului prelucrării) prin reducerea timpilor auxiliari și prin crearea posibilității în unele cazuri ca un operator să deservească mai multe mașini;
- reducerea lungimii traseelor pieselor și utilizarea mai bună a spațiului productiv prin concentrarea operațiilor;
- crearea premiselor pentru organizarea producției în flux de fabricație.

Prelucrarea arborilor pe strunguri de copiat devine avantajoasă din punct de vedere economic de la un anumit număr de piese, deoarece prețul mașinii este mai ridicat decât al strungului normal, iar operațiile de reglare sunt mai complicate și necesită timpuri mai mari.

*Prelucrarea pe strunguri cu comandă numerică.* Se aplică în cazul producției de serie a arborilor în trepte cu forme complicate.

Informațiile necesare prelucrării pieselor sunt înregistrate codificate pe un port-program corespunzător: benzi sau cartele perforate, benzi sau discuri magnetice, discuri optice, sau, în cazul producției asistate de calculator, pot fi transmise prin rețea de la calculatorul ce coordonează fabricația.

Mașinile unelte cu comandă numerică (MUCN) au mai multe lanțuri cinematice pentru a asigura deplasarea corespunzătoare dintre sculă și suprafața de prelucrat; de obicei se menține viteza de rotație constantă (stabilită astfel încât pe suprafața cu diametrul mediu să rezulte viteza de așchiere economică) și se

modifică mișcările de avans în concordanță cu programul.

Prelucrarea pe strunguri cu comandă numerică amplifică avantajele prelucrării pe strunguri de copiat datorită faptului că flexibilitatea este mult mai mare, devenind economică utilizarea MUCN chiar în cazul producției individuale.

Pe de altă parte, se creează premisele introducerii fabricației flexibile prin integrarea acestor mașini în unități tehnologice complexe.

*Prelucrările prin rectificare.* Se aplică în cazul operațiilor de finisare a suprafețelor arborilor la care se cer precizii corespunzătoare claselor 6...7 ISO și rugozități  $R_a = 0,4...1,6 \mu\text{m}$ . Datorită productivității scăzute, rectificarea se utilizează de obicei ca prelucrare de finisare sau finală a pieselor cu duritate ridicată. Prelucrarea cu discuri abrazive se utilizează uneori și în cadrul operațiilor pregătitoare la debitare sau curățarea suprafețelor prin polizare, sau la operațiile de degroșare a suprafețelor plane de dimensiuni relativ mici.

La rectificare mișcarea principală de așchiere o execută discul abraziv și trebuie să fie realizată cu o viteză  $v_a = 25...40 \text{ m/s}$ , ceea ce impune rotirea cu turație cu atât mai mare a discului cu cât diametrul acestuia este mai mic.

Calitatea suprafețelor obținute prin rectificare este influențată de particularitățile procesului de așchiere cu abrazivi: presiuni specifice și temperaturi ridicate datorită geometriei arbitrare a granulelor abrazive. Rugozitatea este redusă, dar adâncimea stratului afectat este mare, iar tensiunile reziduale au valori ridicate și sunt de întindere, ceea ce poate înrăutăți comportarea la oboseală. Reducerea efectelor negative se realizează prin utilizarea discurilor cu diametrul cât mai mare, utilizarea dispozitivelor de corectare a suprafeței active a discului, utilizarea răcirii abundente cu lichide care au și rolul de a reduce frecările și de a evacua așchiile și liantul uzat.

Discurile abrazive sunt caracterizate de formă, dimensiuni, tipul și granulația abrazivului (corindon, carbură de siliciu, carbură de bor, diamant etc.), tipul duritatea și structura liantului (materiale ceramice, cauciuc, mase plastice, metal). Duritatea discului de rectificat reprezintă capacitatea de menținere a granulelor de către liant sub acțiunea forțelor exterioare și este determinată de rezistența liantului, distanța dintre granule și mărimea acestora (granulația). În timpul procesului de rectificare trebuie să se producă "autoascuțirea" discului: liantul reține granulele până în momentul în care își pierde prin uzare capacitatea de așchiere, după care acestea se smulg sub acțiunea forțelor de așchiere care

cresc, și astfel noi granule ajung în contact cu suprafața ce se prelucrează. Dacă duritatea discului nu este în concordanță cu materialul prelucrat se produce fie reducerea capacității de așchiere prin reținerea granulelor uzate și a particulelor de metal așchiat, fie uzarea rapidă prin pierderea prematură a granulelor abrazive.

Granulația abrazivului se alege în funcție de rugozitatea ce trebuie asigurată (tipul operației de rectificare), după cum urmează:

- rectificare de degroșare – abraziv cu granulația 800...1000  $\mu\text{m}$ ;
- rectificare de finisare – abraziv cu granulația 250... 400  $\mu\text{m}$ ;
- rectificare fină – abraziv cu granulația 50...160  $\mu\text{m}$ .

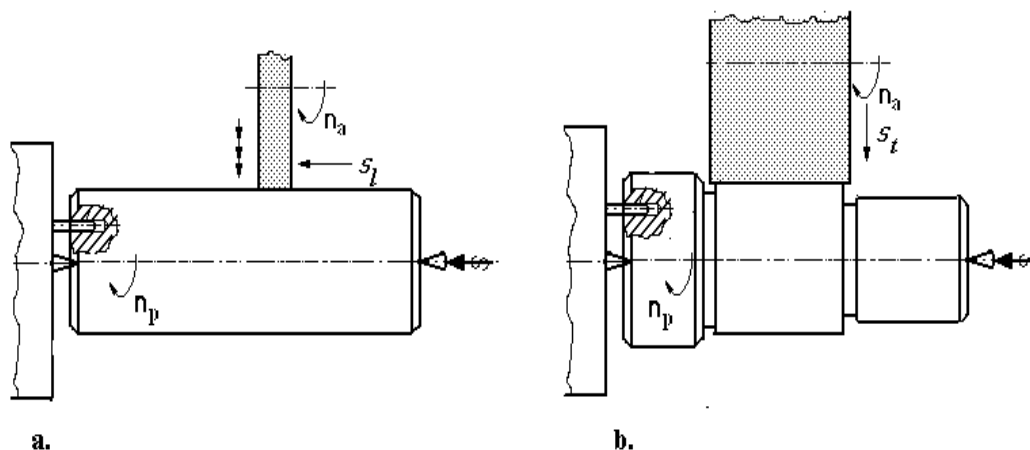
Din punct de vedere al bazării se aplică două metode de rectificare a arborilor: *rectificarea cu bazare între vârfuluri*, și *rectificarea fără centre*.

*Rectificarea între vârfuluri* impune realizarea unor găuri de centrare precise, curățarea și la nevoie chiar rectificarea acestora înaintea operației de prelucrare a arborelui, care poate fi:

- *rectificare între vârfuluri cu avans longitudinal* (fig. 2.4a) – este cea mai utilizată deoarece se poate aplica la orice fel de arbori drepecți; pot apare abateri de conicitate și concavitate a suprafeței prelucrate datorită neparalelismului axei piesei cu axa discului în plan orizontal sau în plan vertical;
- *rectificarea între vârfuluri cu avans transversal* (fig. 2.4b) – se aplică în cazul arborilor în trepte a căror lungime este mică și a suprafețelor profilate.

Aceste scheme de prelucrare se utilizează și pentru rectificarea suprafețelor conice: la prelucrarea cu avans longitudinal se înclină masa mașinii de rectificat în plan orizontal cu unghiul corespunzător, iar la rectificarea cu avans transversal se înclină suportul discului de rectificat.

Rectificarea fără centre se aplică arborilor cu forme simple de revoluție, bazarea realizându-se chiar pe suprafața prelucrată. Din figura 2.5 în care este prezentată schema de prelucrare se observă că piesa este prinsă între discul de antrenare care are o viteză periferică  $v_{ap} = 18...30$  m/min (adică 0,3...0,5 m/s), discul de așchiere care are diametrul mai mare și o viteză periferică  $v_a = 25...30$  m/s și suportul plasat între discuri la partea inferioară.



**Fig. 2.4.** Rectificarea între vârfuri:  
a – cu avans longitudinal; b – cu avans transversal

Deoarece  $v_{ap} \ll v_a$ , forța de frecare dintre discul de antrenare și piesă este mult mai mare decât forța de frecare dintre piesă și discul de așchiere, astfel că piesa se va roti cu o viteză periferică  $v_p = k_f v_{ap}$  ( $k_f \approx 0,9 \dots 0,97$ ). Prin înclinarea discului de antrenare cu unghiul  $\alpha$  în plan vertical piesa capătă și o mișcare de translație (mișcare de avans) în lungul axei.

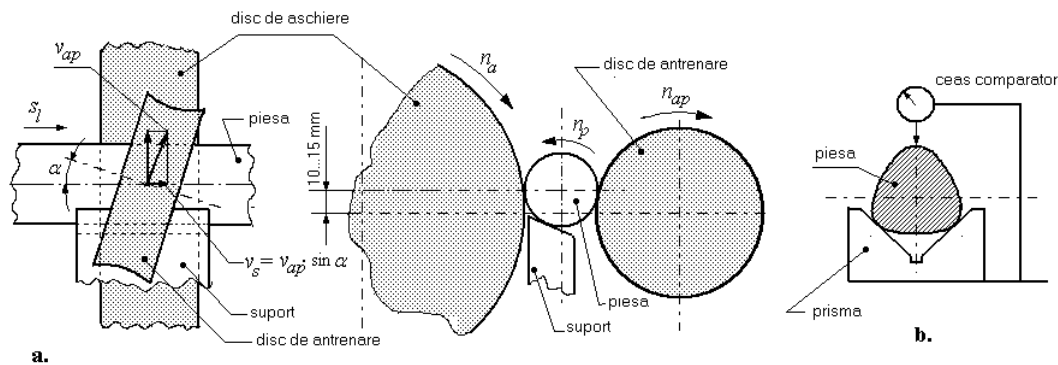
Pentru a ușura mișcarea piesei discul de antrenare are structura poroasă și forma unui hiperboloid de rotație (se realizează contactul liniar între piesă și disc), iar pentru a evita abaterile de poligonalitate (fig 2.5 b) centrul piesei în timpul rectificării trebuie să fie la 10...15 mm deasupra liniei centrelor discurilor (fig. 2.5).

Si rectificarea fără centre se poate realiza cu avans longitudinal sau cu avans transversal.

*Rectificarea fără centre cu avans longitudinal* se aplică arborilor lungi. Unghiul de înclinare  $\alpha$  care asigură deplasarea longitudinală ( viteza de avans  $v_s = v_p \cdot \sin \alpha$ ) depinde de tipul operației de rectificare: la rectificarea de degroșare  $\alpha = 2,0 \dots 4,5^\circ$  iar la rectificarea de finisare  $\alpha = 1,0 \dots 2,0^\circ$ . Avansul de pătrundere la fiecare trecere (avans transversal) are aceleași valori ca la rectificarea între vârfuri (fig. 2.4a)

*Rectificarea fără centre cu avans transversal* se aplică la prelucrarea pieselor scurte. Discul de antrenare se înclină cu  $0,5 \dots 1,0^\circ$ , iar piesa se reazemă și de un opritor lateral care o menține în poziția de lucru. Prin acest procedeu se pot rectifica și suprafețe profilate utilizând discuri cu profilul corespunzător. Avansul transversal are următoarele valori: la rectificarea de degroșare  $s_t = 0,004 \dots 0,04$  mm/rotația piesei, iar la rectificarea de finisare  $s_t = 0,003 \dots 0,01$  mm/rotația piesei.





**Fig. 2.5.** Rectificarea fără centre:  
a – rectificarea cu avans longitudinal; b – controlul poligonalității

Rectificarea fără centre are următoarele avantaje:

- se elimină operația de centrare;
- uzarea discului de antrenare este mai redusă;
- erorile la dimensiuni se reduc la jumătate deoarece uzarea discului de aşchiere provoacă abateri la diametru și nu la rază ca în cazul rectificării între vârfuri;
- mașina-unealtă este rigidă, precisă și simplă;
- nu sunt necesare dispozitive speciale în cazul prelucrării pieselor subțiri și lungi.

Utilizarea acestui procedeu este limitată însă de următorii factori:

- timpul de pregătire încheiere este mai mare, ceea ce justifică utilizarea numai în cazul producției de serie;
- se pot rectifica numai arbori netezi sau cu forme simple;
- precizia formei suprafeței este mai redusă datorită abaterilor la poligonalitate.

*Alte prelucrări.* În cazul producției de serie mare și de masă piesele din clasa arbore se mai pot prelucra prin frezare, broșare și pe mașini speciale, procedee ce sunt înlocuite de prelucrarea pe mașini cu comandă numerică, procedeu mult mai flexibil și care permite prelucrarea suprafețelor de orice formă.

### 2.2.3. Prelucrări finale.

Așa cum este cunoscut, prelucrările finale asigură în special îmbunătățirea calității suprafeței, iar pentru procedeele la care scula este condusă de mașină are loc și creșterea preciziei dimensionale sau de formă și poziție.

Cele mai utilizate metode de prelucrare finală a arborilor sunt cele cunoscute: strunjirea fină (de netezire), microrectificarea, supranetezirea, lepuire, netezirea și durificarea prin deformare plastică la rece prin rulare, alunecare, vibroapăsare și altele.

### 2.3. Scheme tehnologice tip de prelucrare a arborilor

Pentru piesele din clasa arbore se pot stabili relativ ușor tehnologii tip. Acestea se întocmesc de obicei pentru piese cu forme complexe, cu prescripții de precizie ridicate, rugozitate scăzută, executate din oțel și la care se cer caracteristici mecanice ridicate. Utilizarea acestor tehnologii tip în cazuri concrete presupune alegerea și includerea în procesul tehnologic a operațiilor ce se pot aplica în situația dată, ținând seama și de volumul producției și baza materială disponibilă.

În cele ce urmează sunt prezentate câteva scheme tehnologice tip (succesiunea operațiilor) pentru arbori drepecți, individualizate după tipul semifabricatului, forma și dimensiunile pieselor.

#### 2.3.2. Arbori netezi.

Se execută de obicei din semifabricat laminat, calibrat la rece, caz în care nu mai este necesară operație de strunjire. Succesiunea operațiilor în cazul arborilor netezi din oțel de îmbunătățire este:

- debitare;
- rectificare de degroșare prin metoda fără centre;
- tratament termic de îmbunătățire
- frezare canale de pană;
- găurire, filetare (dacă este cazul);
- rectificare de finisare prin metoda fără centre;
- control final.

În cazul arborilor netezi de dimensiuni mai mari realizați din semifabricate forjate, operația de *debitare* este înlocuită de *prelucrarea suprafețelor frontale și centruire*, după care succesiunea va fi: *strunjire de degroșare, tratament termic de îmbunătățire, strunjire de finisare, frezare canale de pană, găurire, filetare, rectificare între vârfuri* (degroșare și finisare într-o singură așezare), *control final*.

### 2.3.2. Arbori în trepte

Pentru arborii în trepte se pot utiliza semifabricate laminate (în cazul pieselor cu solicitări reduse și diferențe mici ale diametrelor treptelor), semifabricate forjate liber sau semifabricate matrițate, în funcție de volumul producției.

Prelucrările prin strunjire se realizează de obicei în două așezări, cu bazarea și fixarea în universal și vârf sau între vârfuri, (cu sau fără lunete după rigiditatea piesei), iar prelucrările prin rectificare se realizează cu bazarea și fixarea între vârfuri; aceeași schemă de bazare se aplică și pentru prelucrarea canelurilor sau danturii (când sunt prevăzute)

*Arborii scurți* ( $l < 120$  mm) având treptele plasate unilateral și la care nu se pun condiții deosebite de precizie se pot prelucra din bară laminată într-o singură operație pe strunguri normale, strunguri revolver semiautomate sau automate, în funcție de tipul producției.

*Arborii cu*  $l > 120$  mm având treptele într-o parte sau în ambele părți, cu forme complexe și precizie ridicată, executați din oțel de îmbunătățire se prelucrează în mai multe operații după cum urmează:

- debitare (dacă este necesară);
- prelucrare suprafețe frontale și centruire (este operație distinctă în cazul arborilor de dimensiuni mari sau în cazul producției de serie sau de masă);
- strunjire de degroșare; în cazul producției de unicat sau individuală în primele faze ale fiecărei așezări se realizează și centruirea;
- tratament termic de îmbunătățire;
- strunjire de finisare, (inclusiv corectarea găurilor de centrare și realizarea filetelor concentrice cu axa piesei); finisarea se poate realiza și în mai multe operații în funcție de mașinile disponibile și caracterul producției;
- frezarea canelurilor sau danturare (dacă este cazul);
- frezare canale de pană;
- tratament termic de durificare prin călire superficială (la suprafețele la care este prevăzut);
- rectificare suprafețe cilindrice (degroșare și finisare într-o singură

- operație sau operații distincte după tipul producției);
- rectificare caneluri și dantură (dacă este cazul);
  - prelucrări finale (de mare finețe);
  - control final.

*Arborii pinion* (cu dantură și/sau caneluri) se execută adesea din oțeluri durificabile prin tratamente termochimice (uzual carburare, sau carbonitrurare). În aceste cazuri succesiunea operațiilor se stabilește și în funcție de metoda de evitare a durificării stratului în zonele unde nu este necesar, care poate fi: a) prin protejarea suprafețelor ce nu trebuie tratate; b) prin înlăturarea stratului îmbogățit în carbon înainte de călire din zonele în care nu este necesar strat dur.

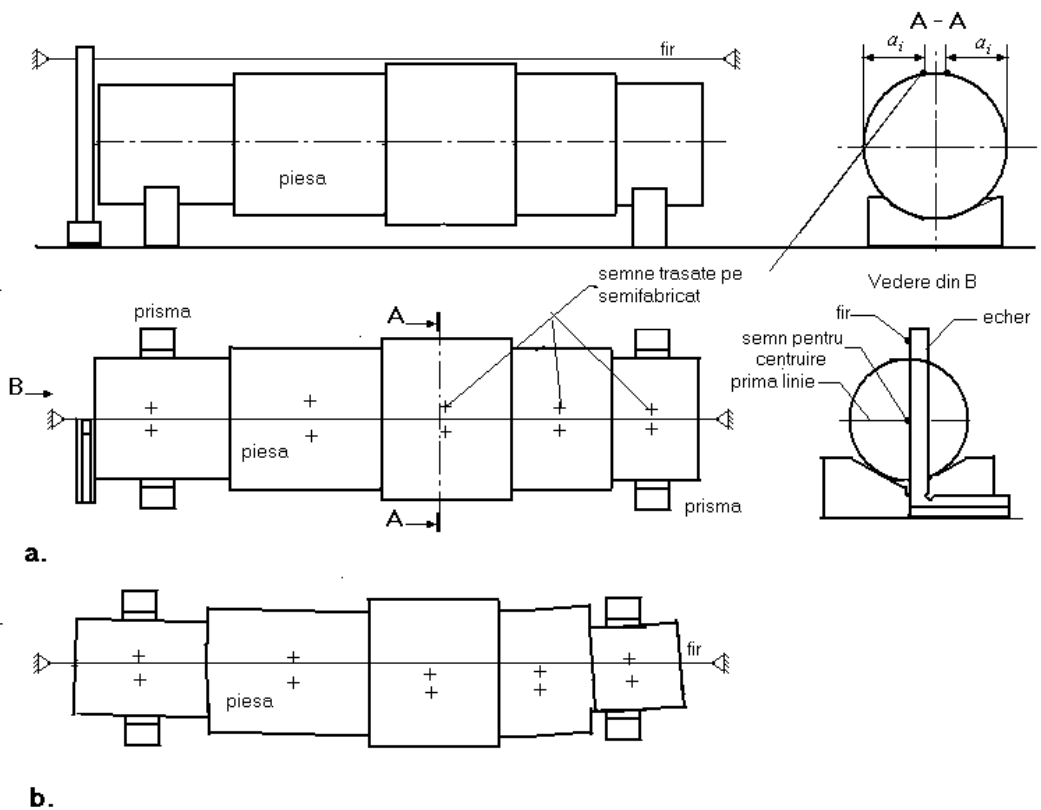
O succesiune a operațiilor aplicabilă în primul caz este: *prelucrare suprafețe frontale și centrare, strunjire de degroșare, strunjire de finisare, rectificare de degroșare, prelucrare dantura și/sau caneluri (cu adaos de rectificare), protejarea suprafețelor care nu trebuie durificate, tratament termochimic de durificare, rectificare găuri de centrare, rectificare suprafețe cilindrice, frezare canale de pană, găurire, filetare (dacă este cazul), rectificare dantura și/sau caneluri, control final.*

În cazul al doilea, la strunjirea de finisare se prevede un adaos suficient pentru înlăturarea stratului îmbogățit în carbon (sau alte elemente) din zonele în care nu este necesar, iar tratamentul termochimic se realizează în două etape, astfel că succesiunea operațiilor este: *strunjire de finisare cu adaos suficient, prelucrare dantură și/sau caneluri cu adaos de rectificare, tratament termochimic de îmbogățire a stratului* (carburare), *strunjire de finisare pentru îndepărtarea stratului din zonele în care nu este necesar, tratament de călire pentru durificare strat îmbogățit*, după care urmează restul operațiilor ca în cazul precedent.

*Arborii de dimensiuni mari (arbori grei)* se realizează din semifabricate forjate liber și se prelucrează în condițiile producției individuale sau de unicat; datorită dimensiunilor și condițiilor impuse de obicei caracteristicilor mecanice există câteva particularități în fabricarea acestora.

În primul rând, după forjare se aplică un tratament termic de normalizare și recoacere pentru îmbunătățirea prelucrabilității. Semifabricatul are prevăzut la capete adaosuri pentru realizarea probelor din care se prelucrează epruvetele pentru încercări mecanice. Aceste probe se debitează după tratamentul termic de îmbunătățire.

Datorită abaterilor inerente ale semifabricatului forjat este necesar să se verifice înaintea începerii prelucrărilor dacă există adaos suficient pentru fiecare treaptă. În acest scop se așează semifabricatul pe prisme (fig 2.6), și se trasează pe fiecare treaptă  $i$  semne la distanța  $a_i = \frac{ds_i - d_i}{2}$  de o parte și de alta a axei, unde  $ds_i$  este diametrul semifabricatului în dreptul treptei  $i$ , iar  $d_i$  este diametrul final al treptei  $i$ . Se materializează generatoarea superioară cu ajutorul unui fir întins între cele două capete ale arborelui; dacă firul trece printre cele două semne de pe fiecare treaptă (fig.2.6 a), semifabricatul are adaosul de prelucrare corect repartizat și este posibilă prelucrarea arborelui, iar dacă nu (fig. 2.6b), înseamnă că semifabricatul are curbura și trebuie îndreptat, fie unele trepte au excentricitate exagerată și în această situație semifabricatul nu poate fi utilizat.



**Fig. 2.6.** Verificarea semifabricatului și trasarea găurilor de centrare la arborii grei  
a – semifabricat corespunzător; b – semifabricat curbat;

Pentru localizarea găurilor de centrare se folosește un echer cu ajutorul căruia se trasează pe fiecare față frontală câte o linie prin dreptul firului plasat între cele două șiruri de semne. Se repetă operația după rotirea arborelui pe prisme cu  $90^\circ$ , astfel că intersecția celor două linii trasate pe fețele frontale vor materializa punctul în care trebuie realizată gaura de centrare respectivă (v. fig. 6 a).

După prelucrarea suprafețelor frontale și centruire pe mașini de alezat și frezat, arborii grei se strunjesc de degroșare pe strunguri normale de dimensiuni corespunzătoare.

Pentru asigurarea bazării și fixării în condiții bune sunt necesare reazeme suplimentare pe lunete. Pentru aceasta la prima așezare semifabricatul se fixează în platou cu patru bacuri și vârful păpușii mobile, se verifică poziția după semnele trasate și se strunjesc canale pentru lunete.

La așezările următoare se face verificarea poziției semifabricatului cu ajutorul comparatoarelor.

Particularități pot apare și la operațiile de rectificare, deoarece s-ar putea să nu fie disponibile mașini de rectificat rotund corespunzătoare dimensiunilor piesei. Problema se rezolvă prin utilizarea unor dispozitive de rectificat cu comandă individuală montate pe căruciorul strungului.