



Sever-Adrian RADU

Suport de curs
TEHNOLOGII DE FABRICAȚIE I

UTPRESS
Cluj-Napoca, 2019
ISBN 978-606-737-368-4



Editura U.T.PRESS
Str.Observatorului nr. 34
C.P.42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof. Dr. Ing. Mircea Ancău
Conf. Dr. Ing. Domnița Frățilă

Copyright © 2019 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-368-4

Bibliografie

Cap. 1 Procesul de fabricație

1.1 Introducere

1.1.1 Procesul tehnologic pentru obținerea semifabricatelor

1.1.2 Procesul tehnologic de prelucrare mecanică

1.1.3 Procesul tehnologic de tratamente termice

1.1.4 Procesul tehnologic de asamblare

1.2 Elemente componente ale procesului tehnologic

1.3 Tipuri principale de producție

1.3.1 Producția individuală și caracteristicile ei

1.3.2 Producția de serie și caracteristicile ei

1.3.3 Producția de masă și caracteristicile ei

Cap. 2 Procesul de fabricație

2.1 Tipuri de așchii

2.2 Variabilele procesului de așchiere

2.3 Așchiera ortogonală

2.4 Forțele de așchiere

2.5 Cercul lui Merchant

2.6 Tensiuni în cadrul așchierii

2.7 Energia specifică de așchiere

Cap. 3 Precizia de fabricație

3.1 Factorii ce influențează precizia de prelucrare

3.2 Eroarea totală de prelucrare

3.3 Eroarea de orientare

3.4 Erori de fixare

3.5 Influența preciziei geometrice a MU asupra preciziei de prelucrare

3.6 Influența uzurii sculei așchietoare asupra preciziei de prelucrare

3.6.1 Uzura pe fața de așezare

3.6.2 Uzura pe fața de degajare

3.6.3 Uzura în direcție radială

3.7 Influența deformațiilor elastice ale elementelor sistemului tehnologic

MDSP asupra preciziei de prelucrare

3.8 Măsuri tehnologice pentru reducerea erorilor datorate lipsei de rigiditate a MU

3.9 Rigiditatea sculei și a dispozitivului de prindere a sculei

3.10 Deformații termice ale sistemului tehnologic

- 3.10.1 Deformațiile termice ale MU
- 3.10.2 Deformațiile termice ale sculei așchietoare
- 3.10.3 Deformațiile termice ale semifabricatelor
- 3.11 Măsuri pentru reducerea erorilor datorate deformațiilor termice
- 3.12 Influența vibrațiilor sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare
- 3.13 Cauze generatoare de vibrații în sistemul tehnologic
- 3.14 Clasificarea vibrațiilor din sistemul tehnologic
 - 3.14.1 Vibrații forțate
 - 3.14.2 Autovibrații
 - 3.14.3 Vibrații proprii sau de relaxare
- 3.15 Măsuri pentru reducerea efectului vibrațiilor

3.16 Influența tensiunilor interne asupra preciziei de prelucrare

3.16.1 Tensiuni interne din semifabricatele turnate

3.16.2 Tensiuni interne din semifabricatele forjate sau matrițate la cald

3.16.3 Tensiuni interne din semifabricatele sudate

3.16.4 Modalități de reducere a tensiunilor interne

3.17 Determinarea analitică a erorii totale de prelucrare

Cap 1. Procesul de fabricație

1.1 Procesul de fabricație cuprinde totalitatea transformărilor prin care trece materia primă până ajunge la produsul finit.

Procesul tehnologic este parte din procesul de fabricație în care se realizează: modificarea formei, dimensiunilor, rugozității, proprietății materialului.

În scopul obținerii piesei finite conform desenului de execuție:

1. Proces tehnologic pentru obținerea semifabricatului;
2. Proces tehnologic de prelucrare mecanică;
3. Proces tehnologic de tratamente termice;
4. Proces tehnologic de asamblare.

1.1.1 Procesul tehnologic pentru obținerea semifabricatului

este parte din procesul tehnologic în care se obține calitatea materialului (oțel, fontă, alamă, bronzuri) a proprietăților fizico-mecanice a acestora, a formei geometrice, a semifabricatului cât mai aproape de piesa finită.

1.1.2 Procesul tehnologic de prelucrare mecanică este partea din

procesul de fabricație legată de schimbarea formei geometrice a dimensiunilor.

1.1.3 Procesul tehnologic de tratamente termice este parte din procesul de fabricație legată de modificarea structurii materialului în scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice.

1.1.4 Procesul tehnologic de asamblare, în care are loc montarea, asamblarea pieselor în produsul finit pentru realizarea condițiilor tehnice ale produsului.

1.2 Elementele componente ale procesului tehnologic

Operația: se realizează în mod continuu la același loc de muncă, aceeași MU, asupra unuia sau mai multor semifabricate simultan, necesitând una sau mai multe instalări ale semifabricatului. Operația este alcătuită la rândul ei din mai multe faze.

O fază se realizează la aceeași instalare a semifabricatului, prelucrându-se una sau mai multe suprafețe simultan, folosind deci o sculă sau mai multe scule montate în aceeași portsculă, regimul de așchiere fiind unic. În funcție de grosimea stratului de material care trebuie îndepărtat în cursul unei faze, aceasta se poate realiza în una sau mai multe **treceri**, la fiecare trecere îndepărtându-se un strat de material.

Trecerea: este o parte a fazei, care constă din îndepărtarea unui singur strat de material.

Mișcarea: este deplasarea organului de lucru sau a celui auxiliar, într-un anumit sens, cu o anumită viteză de deplasare, cu o anumită mărime, în timp ce arborele principal se află în aceeași stare de mișcare. Constituie elementul de baza al programului fiind denumită secvență.

Așezarea: este orientarea și fixarea piesei în raport cu mașina și SDV-urile necesare prelucrării.

1.3 Tipuri principale de producție

1. Producția de unicate sau individuale

2. Producția de serie

3. Producția de masă

1.3.1 Producția individuală se caracterizează prin aceea că se execută un număr mic de produse de același fel, fără să existe garanția că prelucrarea se va relua. Prelucrarea se face pe M.U. universale, amplasate pe grupuri de mașini, folosind SDV-uri universale și o forță de muncă calificată. Procesul tehnologic se elaborează într-o variantă sumară, de obicei prin comparație cu piese similare sau pe bază de normative.

Caracteristica principală – elasticitatea producției.

Caracteristici:

- nu se prevede repetabilitatea fabricării produselor;
- încărcarea mașinilor este fără regularitate;
- M.U universale;
- mâna de lucru este de înaltă calificare;
- S.D.V-uri – universale;
- M.U aranjate după tipuri și dimensiuni;
- documentația tehnologică este redusă, numai fișe tehnologice;
- normarea muncii se face pe baza statistică prin similitudine.

1.3.2 Producția de serie se caracterizează prin aceea că se execută un număr mic de produse cu o anumită ciclicitate în fabricare.

Caracteristica principală – repetarea periodică a aceluiași operații (mașini unelte, pompe, compresoare etc.)

Caracteristici:

- mașini unelte universale și parțial speciale;
- în loc de interschimbabilitate totală se utilizează metoda ajustării

la montaj;

- mașinile unelte sunt dispuse în ordinea *fluxului tehnologic a grupelor de piese*;
- documentația tehnologică este destul de detaliată;
- normarea combinată: analitic și cu cronometrare.

1.3.3 Producția de masă se caracterizează prin aceea că produsele se execută în mod continuu, în cantități relativ mari, pe o perioadă relativ lungă de timp (1-3 ani).

Caracteristica principală – repetitivitate continuă.

Caracteristici:

- se execută succesiv aceeași operație la majoritatea locurilor de muncă;
- locurile de muncă sunt dispuse în ordinea succesiunii desfășurării procesului tehnologic;
- utilaje specializate (agregate, linii specializate);
- S.D.V. specializate, automatizate și interschimbabilitate totală;
- mâna de lucru este de calificare redusă;
- elaborare detaliată a procesului tehnologic.

Cap 2. Mecanica formării aşchiei

2.1 Tipuri de aşchii

1. Aşchii discontinue;
2. Aşchii continue;
3. Aşchii continue cu neregularităţi în lungul suprafeţei;

Aşchiile discontinue → prelucrarea unui material fragil, cu scule aşchietoare a căror unghiuri de degajare sunt mici, avans mare şi viteză mică de aşchiere.

Aşchiile continue → prelucrarea unui material ductil, cu scule aşchietoare a căror unghiuri de degajare sunt mari, avans mic şi viteză mare de aşchiere corelată şi cu răcirea cu diferite lichide de răcire;

Aşchiile continue cu neregularităţi → o temperatură mare în zona de prelucrat datorită frecării puternice între sculă şi material

2.2 Variabilele procesului tehnologic de aşchiere

1. Variabile dependente;
2. Variabile independente.

Variabilele dependente

- ❖ Forma aşchiilor rezultate;
- ❖ Mărimea momentelor și forțelor;
- ❖ Energia consumată și căldura înmagazinată în piesă, aşchie și sculă;
- ❖ Calitatea suprafeței prelucrată.

Variabilele independente

- ❖ Materialul sculei așchietoare și materialul de prelucrat;
- ❖ Temperatura de lucru;
- ❖ Parametri regimului de așchiere (v, s, t);
- ❖ Geometria sculei așchietoare;
- ❖ Utilizarea lichidelor de răcire;
- ❖ Caracteristicile MU (rigiditatea, absorbția vibrațiilor, etc)

2.3 Așchiera ortogonală

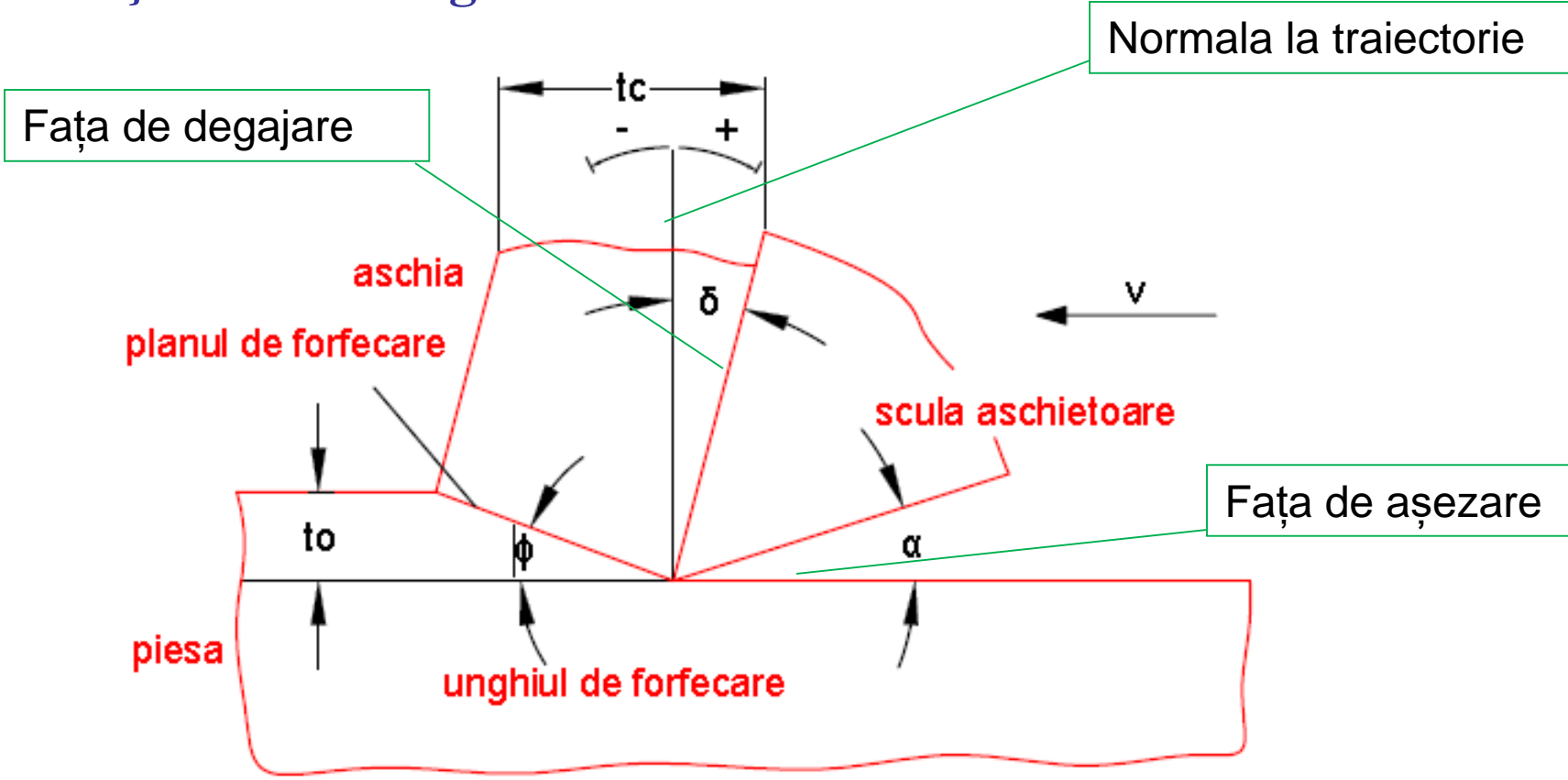


Fig. 1 Modelul așchierii ortogonale[ANC 03]

- v – viteza de deplasare a sculei așchietoare;
- t_o – adâncimea de așchiere;
- t_c – grosimea așchiei;
- ϕ – unghiul de forfecare;
- δ – unghiul de degajare;
- α – unghiul de așezare.

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \delta)} \quad (1)$$

r – coef. de îngroșare a așchiei

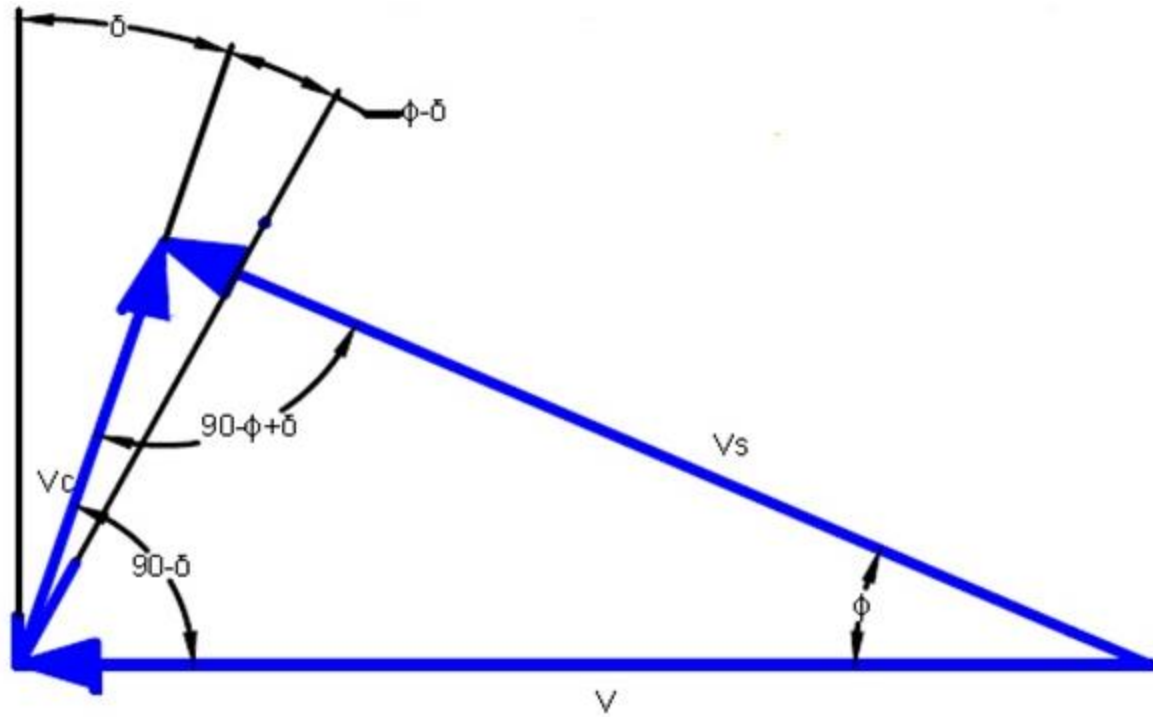
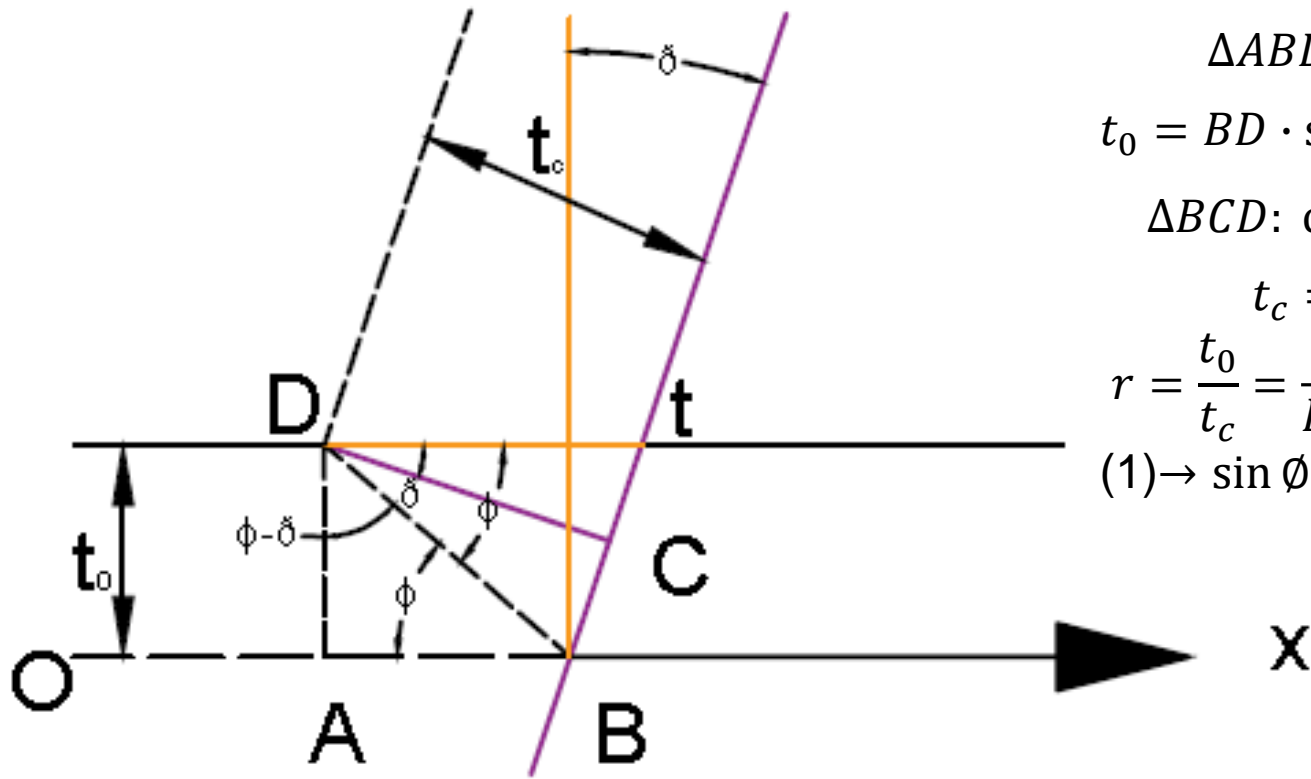


Fig. 2 Diagrama vitezelor în zona de așchiere [ANC 03]

$$180^\circ - \phi - (90^\circ - \delta) = 180^\circ - \phi - 90^\circ + \delta = 90^\circ - (\phi - \delta)$$

$$\frac{v}{\sin(90^\circ - (\phi - \delta))} = \frac{v_c}{\sin \phi} = \frac{v_s}{\sin(90^\circ - \delta)}$$

$$\frac{v}{\cos(\phi - \delta)} = \frac{v_c}{\sin \phi} = \frac{v_s}{\cos \phi}$$



$$\Delta ABD: \sin \phi = \frac{AD}{BD} = \frac{t_0}{BD}$$

$$t_0 = BD \cdot \sin \phi$$

$$\Delta BCD: \cos(\phi - \delta) = \frac{CD}{BD} = \frac{t_c}{BD}$$

$$t_c = BD \cdot \cos(\phi - \delta)$$

$$r = \frac{t_0}{t_c} = \frac{BD \cdot \sin \phi}{BD \cdot \cos(\phi - \delta)} = \frac{v_c}{v} \quad (1)$$

$$(1) \rightarrow \sin \phi = r \cdot \cos(\phi - \delta) / r$$

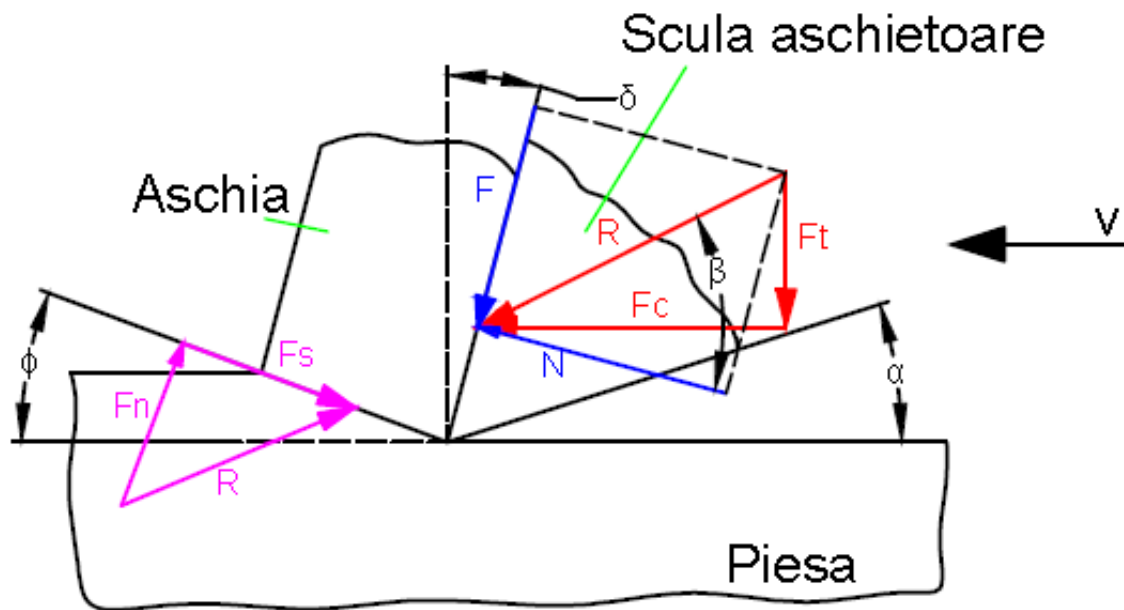
$$\frac{1}{r} \sin \phi = \cos \phi \cdot \cos \delta + \sin \phi \cdot \sin \delta / \cos \phi$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\sin \phi}{\cos \phi} = \cos \delta + \frac{\sin \phi}{\cos \phi} \cdot \sin \delta \rightarrow \frac{1}{r} \operatorname{tg} \phi = \cos \delta + \operatorname{tg} \phi \cdot \sin \delta \rightarrow \cos \delta = \frac{1}{r} \operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \phi \cdot \sin \delta$$

$$\left(\frac{1}{r} - \sin \delta\right) \operatorname{tg} \phi = \cos \delta \rightarrow \operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \delta}{\frac{1}{r} - \sin \delta} = \frac{\cos \delta}{\frac{1 - r \sin \delta}{r}} = \frac{r \cos \delta}{1 - r \sin \delta}$$

$$\phi = \operatorname{arctg} \left(\frac{r \cos \delta}{1 - r \sin \delta} \right)$$

2.4 Forțele de așchiere



$$F = R \cdot \sin \beta \quad (10)$$

$$N = R \cdot \cos \beta \quad (11)$$

β – unghi de frecare

μ – coef. de frecare

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{R \cdot \sin \beta}{R \cdot \cos \beta} = \tan \beta$$

Fig. 3 Forțele de așchiere în cazul așchierii ortogonale [ANC 03]

$$\mu = \tan \beta = \frac{F_t + F_c \cdot \tan \delta}{F_c - F_t \cdot \tan \delta} \quad (12)$$

$$F_t = R \cdot \sin(\beta - \delta) \quad (13)$$

$$F_t = F_c \cdot \tan(\beta - \delta) \quad (14)$$

2.5 Cercul lui Merchant – cazul aşchierii ortogonale

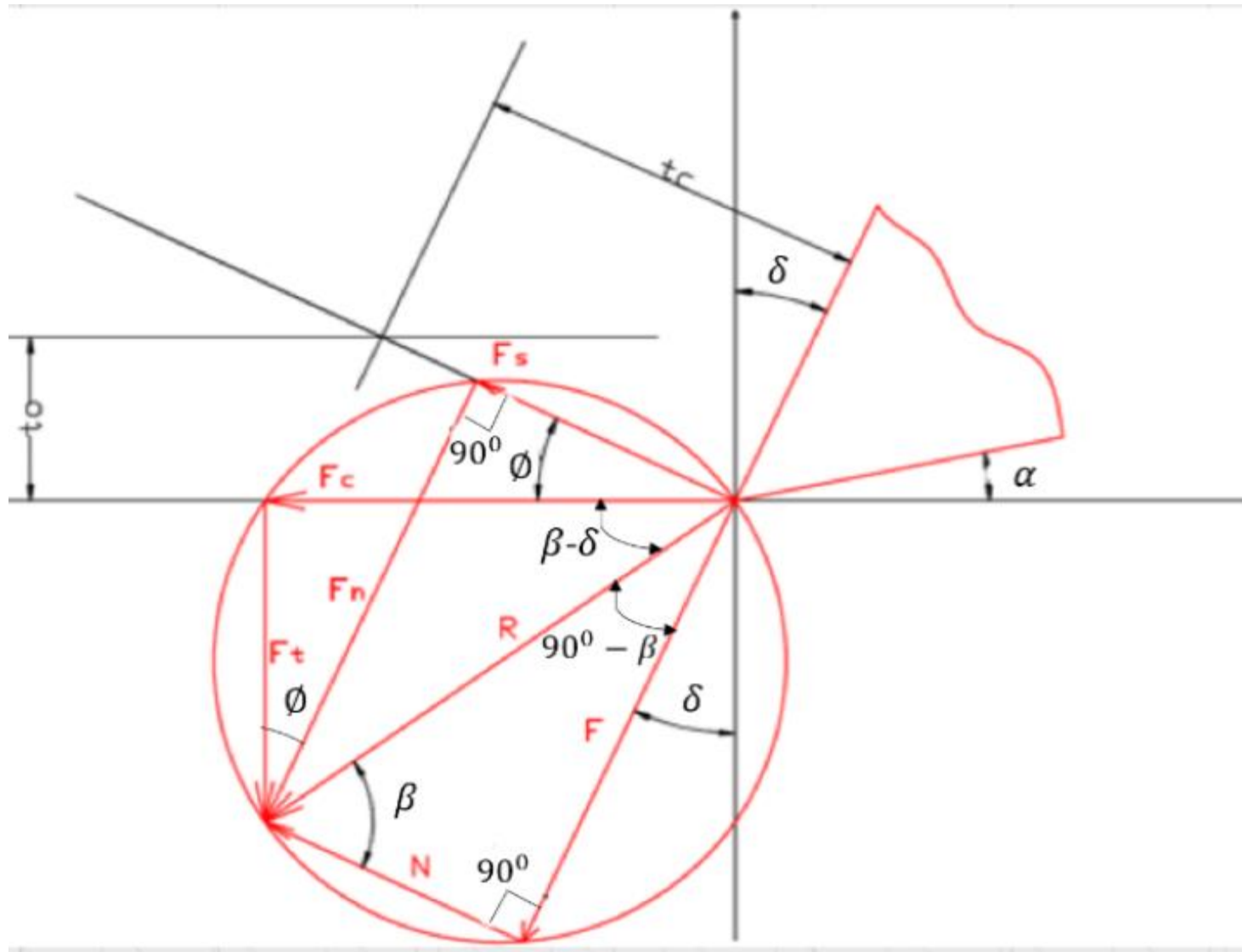


Fig. 4 Cercul lui Merchant forțelor de aşchiere [ANC 03]

1. Se trasează sistemul de axe de coordonate, iar forța de așchiere F_c se desenează în poziție orizontală iar forța tangențială F_t în poziție verticală. F_c are punctul de aplicație în origine iar F_t se poziționează cu originea în vârful F_c ;
2. Se desenează rezultanta R a forțelor F_c și F_t după regula paralelogramului;
3. Se determină centrul vectorului R și se desenează cercul care îl include pe R (dacă desenăm corect F_c , F_t și R vor fi pe același cerc);

4. Prelungim linia ce reprezintă intersecția feței de degajare până intersectăm cercul, segmentul rezultat notându-l cu F ;
5. Vectorul care unește vârful forței de frecare F cu vârful vectorului rezultat R reprezintă vectorul N normal la fața de degajare. Unghiul dintre N și R este unghiul de frecare β .

$$\text{Vectorul } R = F_c + F_t = F + N$$

6. Folosind adâncimea de aşchiere t_o și grosimea aşchii t_c determinăm unghiul de forfecare θ ;
7. Din origine desenăm un vector F_s ce reprezintă forța de forfecare din planul de forfecare;
8. Perpendicular pe F_s desenăm vectorul F_n ce unește vârful lui F_s cu vârful lui R .

2.6 Tensiuni în cadrul aşchierii

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (15)$$

τ - tensiunea de forfecare tangentiala

A_s - aria planului de forfecare

F_s - forta tangentiala

τ nu depinde de unghiul de degajare;

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s} \quad (16)$$

σ - valoarea medie a tensiunii normale

F_n - forta normala

σ scade odata cu cresterea unghiului de degajare;

σ nu influenteaza valoarea lui τ .

$$A_s = \frac{w \cdot t_0}{\sin \phi} \quad (17)$$

w - latimea de aschiere

t_0 - adancimea de aschiere

Din diagrama forțelor de așchiere – figura 4 – rezultă:

$$F_c = R \cdot \cos(\beta - \delta) \quad (18)$$

$$F_s = R \cdot \cos(\phi + \beta - \delta) \quad (19)$$

$$\sigma = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_c \cdot \cos(\beta - \delta) \cdot \cos(\phi + \beta - \delta) \cdot \sin \phi}{w \cdot t_0} \quad (20)$$

Presup. ca β nu depinde de ϕ și calculăm τ diferentiind ec. 20 și egalând derivate cu 0.

$$\frac{d\sigma}{d\phi} = \cos(\phi + \beta - \delta) \cdot \cos(\phi) - \sin(\phi - \beta - \delta) \cdot \sin \phi = 0 \quad (21)$$

$$\tan(\phi + \beta - \delta) = \cot \phi = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \quad (22) \text{ sau } \phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\delta}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (23)$$

2.7 Energia specifică de aşchiere

$$P = F_c \cdot v \quad (24)$$

P – puterea consumata

$$u_t = \frac{F_c \cdot v}{w \cdot t_o \cdot v} = \frac{F_c}{w \cdot t_o} \quad (25)$$

u_t - energia specifica totala

$$u_f = \frac{F \cdot v_c}{w \cdot t_o \cdot v} = \frac{F \cdot r}{w \cdot t_o} = \frac{(F_c \cdot \sin \delta + F_t \cdot \cos \delta) \cdot r}{w \cdot t_o} \quad (26)$$

u_f - Energia specifică necesară învingerii forţei de frecare dintre sculă și aşchie

$$u_s = \frac{F_s \cdot v_s}{w \cdot t_o \cdot v} \quad (27)$$

u_s - energia de forfecare specifica

$$\frac{u_f}{u_s} = \frac{F \cdot v_c}{F_c \cdot v} = \frac{R \cdot \sin \delta}{R \cdot \cos(\beta - \delta)} \cdot \frac{v_c}{v} = \frac{\sin \delta}{\cos(\beta - \delta)} \cdot \frac{\sin \emptyset}{\cos(\emptyset - \delta)} \quad (29)$$

Odată cu creșterea unghiului de degajare al sculei așchietoare, u_f

rămâne aproximativ constantă, în timp ce u_s scade rapid $\rightarrow \frac{u_f}{u_s}$

crește pe măsură ce δ crește.

Cap 3. Precizia de fabricație

Precizia de prelucrare este cel mai important indice de calitate într-un proces de prelucrare.

- se înțelege *concordanța dintre piesele prelucrate și desenul de execuție* privind din punct de vedere al formei geometrice, al dimensiunii, calității suprafeței, preciziei de poziție relativă, starea stratului superficial.

Eroarea reprezintă mărimea reală a abaterii caracteristicii de precizie față de valoarea nominală a acesteia.

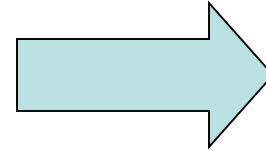
Erori de formă: conicitatea, ovalitatea, convexitatea și concavitata.

Precizia de prelucrare este influențată de o multitudine de factori:

- a. *prelucrări precedente*: abaterea dimensională, eroarea prelucrării precedente de formă, de poziție reciprocă, rugozitatea lucrării precedente, stratul ecruisat.
- b. *prelucrări curente*: erorile cinematice ale deplasărilor relative ale subansamblurilor mașinii-unelte, uzura sistemului tehnologic MDSP (mașină, dispozitiv, sculă, piesă), deformațiile elastice ale sistemului tehnologic, deformațiile termice ale sistemului tehnologic MDSC, vibrațiile, erori de bazare și fixare, tensiuni interne.

Abateri **ADMISE** ale:

- dimensiunilor
- calității suprafeței
- forme geometrice
- preciziei de poziție relativă
- stării stratului superficial



TOLERANȚE

Abateri **EFFECTIVE** rezultate
în procesul de prelucrare



ERORI

Proces tehnologic corect proiectat, realizat și condus dacă:

- Erorile rezultate < Toleranțele admise
- Suma erorilor ce influențează procesul de prelucrare < Erorile admise

3.1 Factori ce influențează precizia de prelucrare

- cu influență sistematică (pot fi constante sau variabile după o anumită lege)
 - Erorile de mers în gol ale mașinii-unelte;
 - Uzura sculei așchietoare (sau ale elementelor din sistemul tehnologic);
 - Deformațiile termice ale sculei, mașinii-unelte, piesei;
 - Erorile dispozitivului de fixare a semifabricatului;
 - Erorile de profil ale sculelor așchietoare.

– cu influență aleatoare*:

- Neuniformitatea adaosului de prelucrare și a structurii materialului;
- Rigiditatea sistemului tehnologic;
- Erorile de așezare și fixare ale semifabricatului;
- Erori de măsurare;
- Vibrații;
- cea mai nefavorabilă și greu de determinat, *analiza influenței acestor factori se face prin analiză statistică și teoria probabilităților.*

Clasificarea erorilor de prelucrare

3.2 Eroarea totală de prelucrare – diferența dintre valoarea efectivă și valoarea proiectată (prescrisă de desenul de execuție)

$$\varepsilon_T = f(\varepsilon_0, \varepsilon_f, \varepsilon_r, \varepsilon_p, \varepsilon_m)$$

unde: ε_0 – eroarea de orientare a semifabricatului, respectiv a sculei așchietoare;

ε_f – eroarea de fixare;

ε_r – eroarea de reglare;

ε_p – eroarea de prelucrare;

ε_m – eroarea de măsurare.

$$\varepsilon_T \leq T$$

Erorile de măsurare sunt determinate de metoda și mijloacele tehnice folosite la măsurare precum și de calificarea și îndemânarea celui care efectuează măsurarea.

Erorile de strângere sunt cauzate de deformațiile elastice ale semifabricatelor ca urmare a fixării într-un dispozitiv prin intermediul unei forțe mari. Dacă semifabricatul este rigid atunci deformațiile elastice pot să apară la suprafața de contact dintre semifabricat și reazemele de așezare a piesei în dispozitiv.

Erorile de prelucrare apar inevitabil în timpul procesului de prelucrare și sunt datorate mai multor factori:

- nepotrivirea dintre schema de prelucrare reală și cea teoretică;
- inexactitatea de execuție a MU;
- uzura elementelor sistemului tehnologic, deformațiile elastice ale sistemului tehnologic;
- deformațiile termice;
- vibrațiile;
- tensiunile interne;
- autovibrațiile.

3.3 Eroarea de orientare

- *Erorile de orientare* sunt erorile (liniare sau unghiulare) ce apar datorită lipsei coincidenței dintre bazele de orientare și cele de măsurare
- Mărimea erorilor de orientare este determinată de mărimea variației bazelor de măsurare în raport cu cele de orientare pe direcția de măsurare

Calculul erorii de orientare

- Identificarea elementului fix (baza de orientare - B) a dimensiunii pentru care se efectuează calculul erorii;
- Stabilirea cotei de reglare C_R , unind elementul fix cu suprafața de prelucrat;
- Stabilirea lanțului de dimensiuni în care vor intra obligatoriu cota de reglare C_R și dimensiunea pentru care se calculează eroarea de orientare;

$$L = f(l) = \sum_{i=1}^{n-1} l_i \quad (1)$$

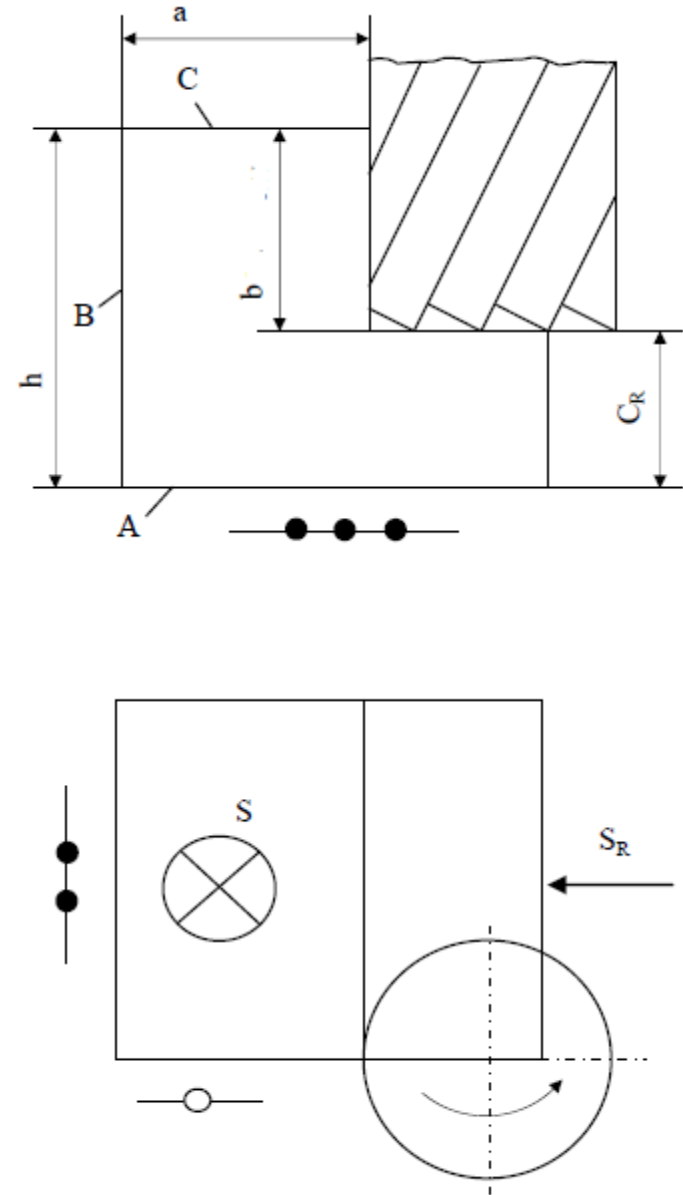


Fig. 5 Frezarea cilindro-frontală a unei piese prismatice [ANC 03]

- După stabilirea lanțului de dimensiuni acesta se scrie astfel încât dimensiunea de calcul L să rezulte ca o funcție de restul elementelor lanțului:

- Se poate exprima funcția corespunzătoare abaterilor dimensiunilor lanțului

$$\Delta L = f(\Delta l) = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta l_i \quad (2)$$

- Relativ, la ec. (2) $\Delta C_R = 0$ (unde C_R – cota de reglare) – nu variază de la o piesa la alta pentru același lanț de dimensiuni.

- În relația (2) se substituie variațiile dimensiunilor cu toleranțele prescrise, atunci se obține:

$$\varepsilon_0 = f(T_l) = \sum_{i=1}^{n-1} T_{l_i} \quad (3)$$

- erorile se însumează probabilistic

$$\epsilon_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n=1} (T_{li})^2} \quad (4)$$

- erorile de orientare reale calculate trebuie să fie mai mici decât cele admisibile

$$\epsilon_0 < \epsilon_{0 \text{ adm}} \quad (5)$$

- valorile admise pentru erorile de orientare trebuie să se încadreze în aproximativ o treime din valoarea toleranței

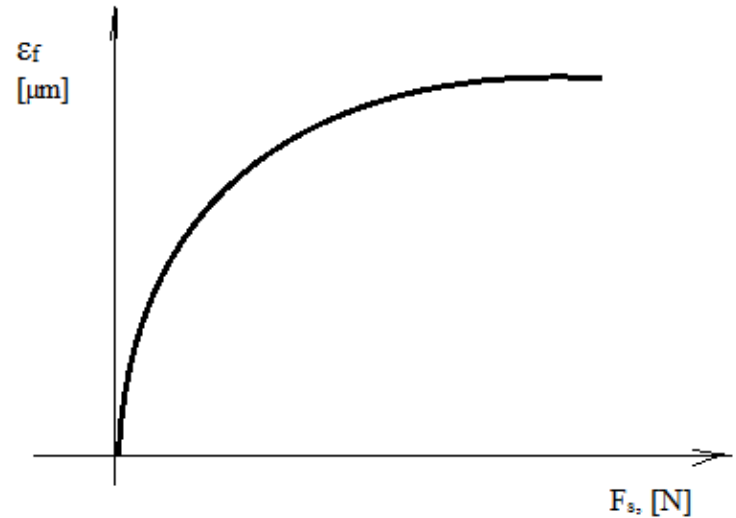
$$\epsilon_{0 \text{ adm}} = \frac{1}{3} T \quad (6)$$

3.4 Erori de fixare (strângere)

- ❖ Cauzate de deformațiile elastice ale semifabricatelor ca urmare a fixării în dispozitiv prin intermediul unor forțe de fixare mari.
- ❖ Forțele de fixare mari sunt necesare pentru a asigura imobilitatea piesei în timpul prelucrării (dacă semifabricatul este rigid, deformațiile elastice apar la suprafața de contact dintre semifabricat și reazemele de așezare).
- ❖ Se aplică la început o forță de poziționare (valori mici) și când semifabricatul este corect fixat în dispozitiv se aplică forță de strângere (valori mari).

❖ Pt. un lot de piese: dispersie mare a valorilor deformațiilor elastice de contact => influență mare a erorilor de strângere și fixare asupra preciziei de prelucrare.

Fig. 6 Diagrama de variație a deformației de contact în funcție de valoarea forței de strângere [ANC 03]



Mărimea deformației este reprezentată de o funcție exponențială:

$$\epsilon_f = C \cdot F_s^n \quad (6)$$

unde: C – constanta de material;

F_s – forța de strângere;

n – exponent subunitar.

- În cazul semifabricatelor mai puțin rigide (semifabricate tubulare cu pereți subțiri) în afara deformațiilor de contact apar inevitabil și deformații elastice locale.
- La eliberarea din dispozitiv forțele de strângere dispar, semifabricatul revine elastic => apar erori de formă ale piesei prelucrate.

3.5 Influența preciziei geometrice a mașinilor-unelte asupra preciziei de prelucrare

Parametrii de precizie geometrică:

- ❖ **rectilinitatea** și paralelismul ghidajelor M.U.;
- ❖ **planeitatea** meselor;
- ❖ **bătaia** radială a arborilor principali;
- ❖ **coaxialitatea** diferitelor organe de lucru;
- ❖ **perpendicularitatea** diferitelor organe de lucru.

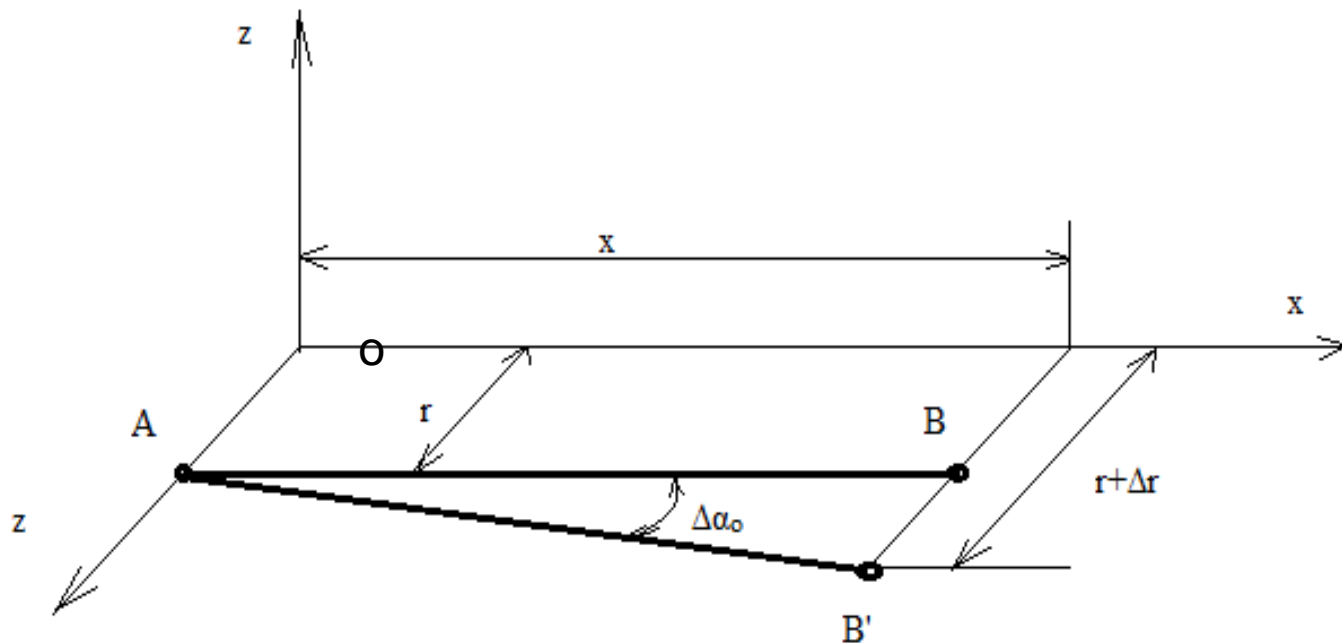


Fig. 7 Abaterea de la paralelismul ghidajelor longitudinale ale strungului paralel fata de axa arborelui principal în plan orizontal

x – lungimea suprafeței cilindrice de raza r

Δ_r – mărimea abaterii radiale

$$\operatorname{tg} \Delta_{\alpha 0} = \frac{BB'}{AB} = \frac{\Delta_r}{x} \rightarrow \Delta_r = x \cdot \operatorname{tg} \Delta_{\alpha 0}$$

eroarea diametrală variază liniar cu lungimea de prelucrare, respectiv cu abaterea unghiulară în plan orizontal

- eroarea diametrală maximă

$$\Delta d = 2x \cdot \operatorname{tg} \Delta_{\alpha 0} \quad (7)$$

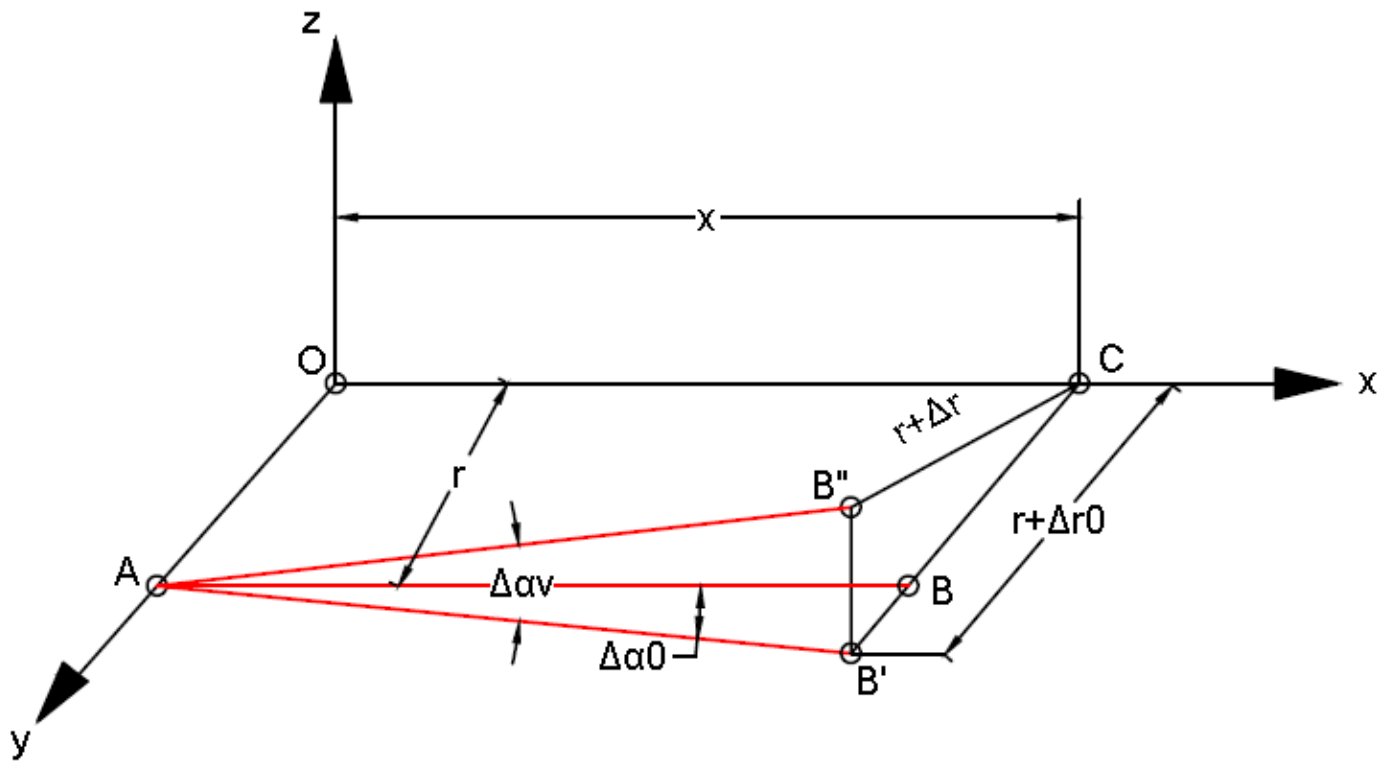


Fig. 8 Abaterea de la paralelismul ghidajelor longitudinale ale strungului paralel față de axa arborelui principal în plan orizontal și vertical [ANC 03]

$$AB' = \frac{BB'}{\sin\Delta\alpha_0} = \frac{x \cdot \operatorname{tg}\Delta\alpha_0}{\cos\Delta\alpha_0} \quad (1)$$

$$\text{Din } AB'B'' \text{ det. } B'B'' = AB' \operatorname{tg}\Delta\alpha_V = \frac{x \cdot \operatorname{tg}\Delta\alpha_0}{\cos\Delta\alpha_0} \cdot \operatorname{tg}\Delta\alpha_V \quad (2)$$

$$\Delta r_{1,2} = -r \pm \sqrt{r^2 + 2\Delta r_0 + \Delta r_0^2 + \frac{x^2 \cdot \operatorname{tg}^2\Delta\alpha_0 \cdot \operatorname{tg}^2\Delta\alpha_V}{\cos\Delta\alpha_0}} \quad (3)$$

3.6 Influența uzurii sculei așchietoare asupra preciziei de prelucrare

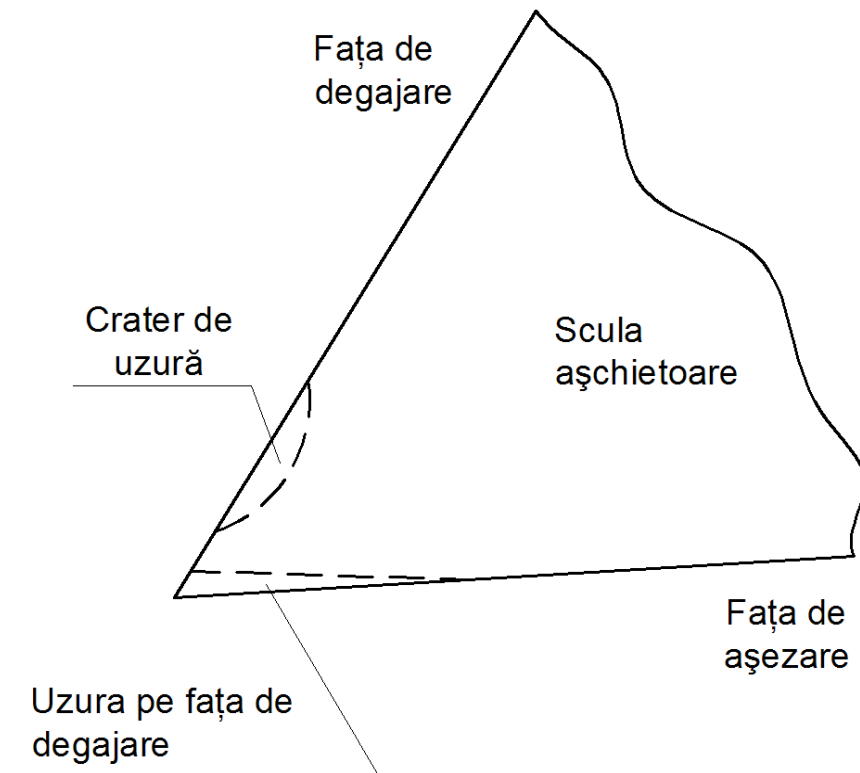


Fig. 9. Uzura pe fața de degajare, respectiv pe fața de așezare a sculei

Uzura sculei duce la:

- ❖ abateri dimensionale;
- ❖ înrăutățirea rugozității suprafeței prelucrate;
- ❖ încălzirea sculei și a piesei;
- ❖ creșterea consumului de energie;
- ❖ distrugerea muchiei așchietoare.

3.6.1 Uzura pe fața de așezare

- se datorează în general frecărilor dintre fața de așezare și semifabricat.
- căldura degajată în cadrul procesului și înmagazinată de către sculă, conduce la diminuarea performanțelor parametrilor fizico-mecanici ai materialului acesteia.

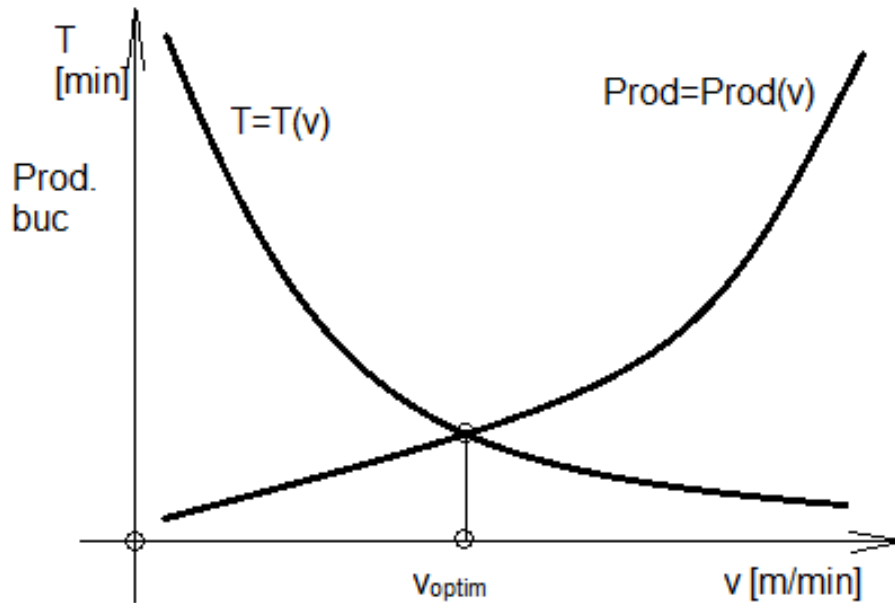


Fig. 10 Dependența durabilitate-viteză de așchiere, respectiv productivitate-viteză de așchiere

Valoarea recomandată a vitezei de așchiere pentru scule din oțel rapid este în general aceea căreia îi corespunde o durabilitate de 60-120 min. iar pentru scule din carburi metalice 30-60 min. Odată cu creșterea vitezei durabilitatea sculei se reduce rapid, iar dacă viteza de așchiere este mică durabilitatea sculei este mare iar productivitatea mică.

3.6.2 Uzura pe fața de degajare

Factorii care contribuie în cea mai mare măsură la uzura feței de degajare sunt:

- ❖ Solicitări mecanice și termice;
- ❖ Abraziunea mecanică;
- ❖ Depunerile pe tăiș;
- ❖ Fenomenele de difuziune;
- ❖ Arderile;
- ❖ Oxidările;
- ❖ Curenții termoelectrice.

3.6.3 Uzura în direcție radială (uzura dimensională u)

Influența cea mai mare asupra preciziei dimensionale o are uzura pe direcția radială, uzura în direcție perpendiculară pe suprafața de prelucrat.

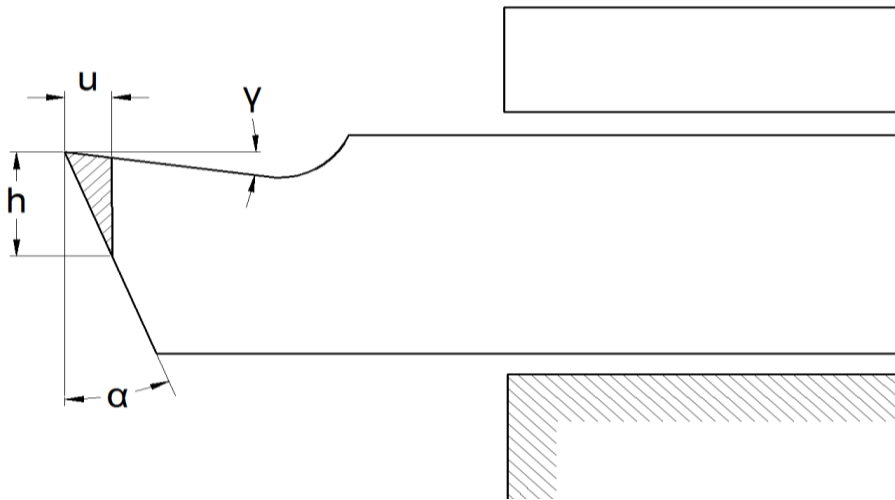
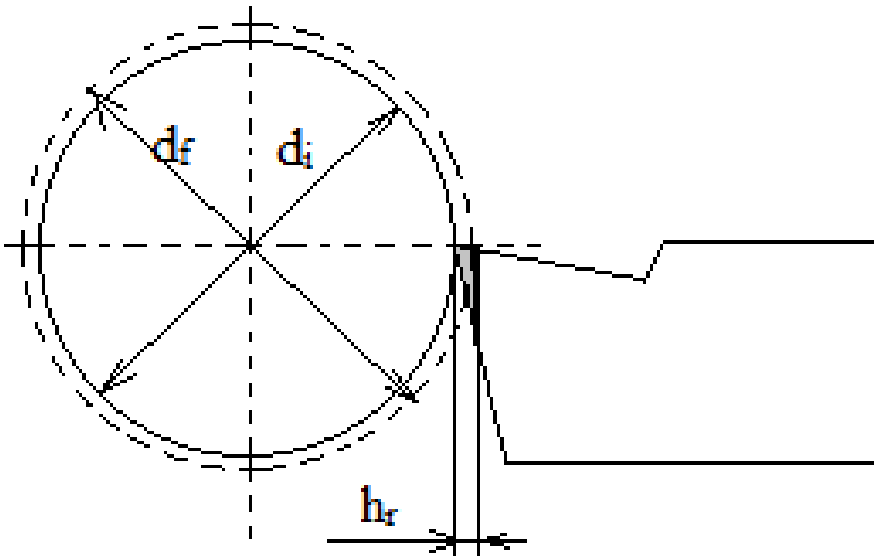


Fig. 11 Uzura dimensională a sculei [FRA 11]

$$u = h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (8)$$

- erori până la 40 %, deoarece muchia principală de așchiere nu se află întotdeauna în vârful cuțitului.

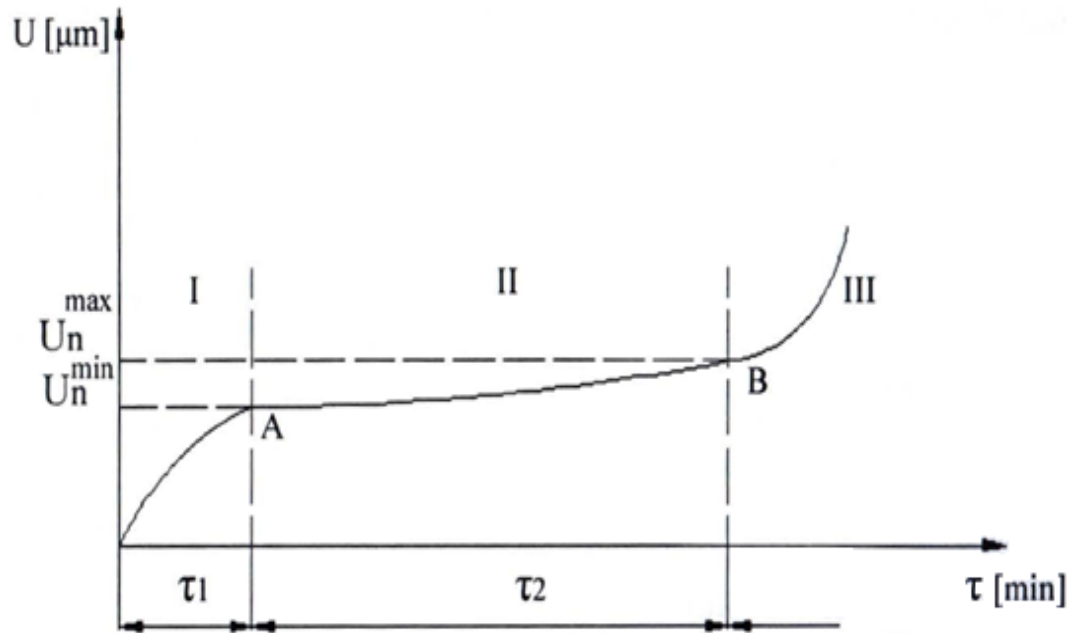


- h_r - uzura pe directie radială;
- h_α - uzura pe fața de așezare;
- h_γ - uzura pe fața de degajare.

Fig. 12 Influența uzurii sculei asupra dimensiunii prelucrării [FRA 11]

$$d_{sf} = d_i + 2 \cdot h_r \quad (9)$$

Uzura poate fi exprimată în funcție de timpul de așchiere, de lungimea drumului parcurs de sculă pe piesă sau în funcție de secțiunea totală a așchiei desprinsă de pe piesa.



- I - zona de uzură mărită;
- II - zona de uzură normală;
- III - zona de uzură rapidă.

Fig. 13 Diagrama uzurii dimensionale în funcție de timp
[GYE 91]

I - *zona uzurii inițiale*, de rodaj: corespunde timpului în care are loc aplatizarea micro-neregularităților de pe o scula nouă sau nou ascuțită. Valoarea ei este până la 5-15 μm și se produce pe o lungime de așchiere de până la 3000 m.

II - *zona uzurii normale*: când variația este aproximativ liniară. Pe această perioadă se definește *uzura relativă*:

$$u_r = tg \alpha \left[\frac{\mu\text{m}}{10^3\text{m}} \right] \quad (10)$$

III - *zona uzurii catastrofale*: scula se ascute sau se înlocuiește.

Uzura u exprimată în funcție de lungimea de așchiere:

$$L = v \cdot \tau \quad (11)$$

unde:

τ - timpul de lucru al sculei [min];

v - viteza de așchiere [m/min];

L - lungimea parcursă de vârful sculei în timpul τ [m].

Uzura specifică:

$$u_{sp} = \frac{1000 \cdot u}{L} \quad \left[\frac{\mu m}{1000m} \right] \quad (12)$$

$$u = u_i + u_{sp} \frac{L}{1000} \quad [\mu m] \quad (13)$$

Pentru determinarea uzurii specifice, cuțitul trebuie în prealabil rodat pe fața de așezare și cea de degajare pentru a elimina uzura inițială.

$$u = u_{sp} \frac{L}{1000} \quad \text{sau} \quad u_{sp} = \frac{u \cdot 1000}{L} \quad \left[\frac{\mu m}{1000m} \right] \quad (14)$$

în cazul *strunjirii* avem:

$$L = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{1000 \cdot s} \quad [m] \quad (15)$$

unde:

d – diametrul semifabricatului prelucrat [mm];

l – lungimea pe care se prelucrează semifabricatul [mm];

s – avansul [mm/rot].

Uzura dimensională în cazul prelucrării unui arbore prin strunjire produce o *abatere dimensională* a diametrului. Abaterea dimensională ca urmare a uzurii sculei este:

$$\Delta d = 2u \quad [\mu m] \quad (16)$$

Relatia lui Taylor între viteza de aşchiere şi durabilitatea sculei:

$v \cdot T^n = C$, unde (C şi n - depind de cuplul de material sculă-piesă)

Consideram $n=0.5$ si $C=400$ să se determine % de creştere a durabilităţii sculei aşchietoare dacă viteza de aşchiere este micşorată cu 50%?

$$v \cdot T^n = C \rightarrow v \cdot \sqrt{T} = 400 \quad (1)$$

$$v_2 = 0.5 \cdot v_1 \rightarrow 2 \cdot v_2 = v_1 \quad (2)$$

Deoarece C are aceeași valoare în ambele cazuri, ținând cont de relația 2:

$$v_1 \cdot T_1^{0.5} = 400 \text{ si } v_2 \cdot T_2^{0.5} = 400 \rightarrow$$

$$v_1 \cdot \sqrt{T_1} = v_2 \cdot \sqrt{T_2} \rightarrow v_1^2 \cdot T_1 = v_2^2 \cdot T_2$$

Deoarece $2 \cdot v_2 = v_1$ avem $2 \cdot v_2^2 \cdot T_1 = v_2^2 \cdot T_2 \rightarrow$

$$2 \cdot v_2 \cdot \sqrt{T_1} = v_2 \cdot \sqrt{T_2} \rightarrow 2 \cdot \sqrt{T_1} = \sqrt{T_2} \quad (3)$$

Ridicăm la pătrat ecuația 3 și obținem:

$$4 \cdot T_1 = T_2 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{4}{1}$$

$$\frac{T_2 - T_1}{T_1} = \frac{4 - 1}{1}$$

Rezulta ca prin micșorarea vitezei de aschiere cu 50%
durabilitatea sculei aschietoare crește cu 300%

3.7 Influența deformațiilor elastice ale elementelor sistemului tehnologic MDSP asupra preciziei de prelucrare

- Elementele sistemului tehnologic se deplasează în raport cu poziția lor inițială (corespunzătoare stării de repaus) sub acțiunea forțelor de așchiere;
- Valorile acestor deplasări depind de mărimea și direcția solicitării și de capacitatea elementelor sistemului tehnologic de a se opune acestor solicitări.

3.7.1 Rigiditatea statică

Prin rigiditate se înțelege capacitatea sistemului tehnologic de a se opune deformațiilor produse sub acțiunea forțelor care tind să-l deformeze.

- Același sistem sollicitat pe direcții diferite poate opune rezistențe diferite => rigiditatea este dependentă de direcția sollicitării
- D.p.d.v. matematic rigiditatea se definește ca:

$$R = \frac{F_y}{y} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

- Pentru cele 3 subansambluri ale unui strung paralel (**pf** - păpușa fixă cu arborele principal, **pm** - păpușa mobilă, **sl** - sania longitudinală) rigiditatea parțială poate fi definită astfel:

$$R_{pf} = \frac{F_r}{y_{pf}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad R_{pm} = \frac{F_r}{y_{pm}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad R_{sl} = \frac{F_r}{y_{sl}} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

- Rigiditatea totală:

$$R_{Tpf} = \frac{F_r}{y_{pf} + y_{sl}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \Delta d = 2x \cdot tg\Delta\alpha_o$$

- Inversul rigidității:

$$W = \frac{y}{F_r} \left[\frac{mm}{N} \right] \quad - \text{grad de cedare}$$

Deplasarea relativă dintre vârful cuțitului și axa piesei la distanța l_x :

$$y_{T(l_x)} = EF + y_{sl}$$

$$\frac{FG}{CH} = \frac{DG}{DH} \quad \text{Sau} \quad \frac{FG}{y_{pm} - y_{pf}} = \frac{l_x}{l}$$

Se obține:

$$FG = \frac{l_x}{l} (y_{pm} - y_{pf})$$

$$EF = FG + y_{pf} = \frac{l_x}{l} \cdot (y_{pm} - y_{pf}) + y_{pf} = \frac{l_x}{l} \cdot y_{pm} + \left(1 - \frac{l_x}{l}\right) \cdot y_{pf}$$

$$EF = \frac{l_x}{l} \cdot y_{pm} + \frac{l - l_x}{l} \cdot y_{pf}$$

$$y_{T(l_x)} = \frac{l_x}{l} \cdot y_{pm} + \frac{l - l_x}{l} \cdot y_{pf} + y_{sl}$$

Dacă se ține cont de relațiile:

$$\begin{cases} y_{pf} = \frac{l - l_x}{l} \cdot W_{pf} \cdot F_r \\ y_{pm} = \frac{l_x}{l} \cdot W_{pm} \cdot F_r \\ y_{sl} = W_{sl} \cdot F_r \end{cases}$$

Se obține: $y_{T(l_x)} = \left(\frac{l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pm} \cdot F_r + \left(\frac{l - l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pf} \cdot F_r + W_{sl} \cdot F_r$

Sau: $W_{T(l_x)} = \left(\frac{l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pm} + \left(\frac{l - l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pf} + W_{sl}$

De unde rezultă: $\frac{1}{R_{T(l_x)}} = \frac{1}{R_{sl}} + \left(\frac{l_x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_{pm}} + \left(\frac{l - l_x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_{pf}}$

Asupra preciziei acționează influența rigidității tuturor elementelor componente ale sistemului tehnologic.

R_{MU} – rigiditatea MU;

R_{DPSF} – rigiditatea dispozitivului de prindere a semifabricatului;

R_{SF} – rigiditatea semifabricatului;

R_{DPSA} – rigiditatea de prindere a dispozitivului de prindere a sculei așchietoare;

Atunci rigiditatea sistemului tehnologic R_{ST} se determină cu relația:

$$\frac{1}{R_{ST}} = \frac{1}{R_{MU}} + \frac{1}{R_{DPSF}} + \frac{1}{R_{SF}} + \frac{1}{R_{DPSA}} + \frac{1}{R_{SA}} \quad \text{sau}$$

$$W_{ST} = W_{MU} + W_{DPSF} + W_{SF} + W_{DPSA} + W_{SA}$$

3.7.2 Determinarea analitico-experimentală a rigidității dinamice

- se determină în condițiile concrete de prelucrare pe baza forțelor și a deformațiilor reale din timpul funcționării M.U.
- se poate face prin 3 metode:
 1. Măsurarea efectivă a deformațiilor în timpul aşchierii;
 2. Excitarea sistemului cu ajutorul unor forțe variabile și înregistrarea deformațiilor care apar;

3. Așchiera unor epruvete cu secțiune variabilă a așchiei și calculul rigidității pe baza erorilor de formă obținute în urma prelucrării (metoda analitico experimentală).

- rezultate acceptabile numai în cazul arborilor (netezi sau în trepte);

- piese cu forme complexe sau ansambluri - calcule dificile și rezultate nesatisfăcătoare;

- piese cu forme complexe sau ansambluri - calcule dificile și rezultate nesatisfăcătoare.

3.8 Măsuri tehnologice pentru reducerea erorilor datorate lipsei de rigiditate a mașinilor-unelte

Creșterea rigidității MU posibilă prin:

- ❖ Reproiectare;
- ❖ Reglarea jocurilor din lagare, ghidaje, etc. la valori minime admisibile;
- ❖ Determinarea mărimii deformației elastice a MU în regim dinamic și corectarea reglării prin includerea mărimii deformației elastice în calculul cotei de reglare;
- ❖ Determinarea regimului de așchiere optim pentru care mărimea valorii deformației elastice în timpul prelucrării să nu depășească o valoare admisibilă.

Rigiditatea semifabricatului

- Are o influență importantă asupra valorii erorii totale a prelucrării în special în cazul arborilor cu raport mare între lungime și diametru.
- Semifabricatul se deformează elastic sub acțiunea forțelor de așchiere. Mărimea erorilor(deplasărilor) este cu atât mai mare cu cât rigiditatea este mai mică.
- Influențează
 - precizia formei geometrice a suprafeței
 - precizia dimensională.

Calculul rigidității semifabricatului

a. Prindere între vârfuri

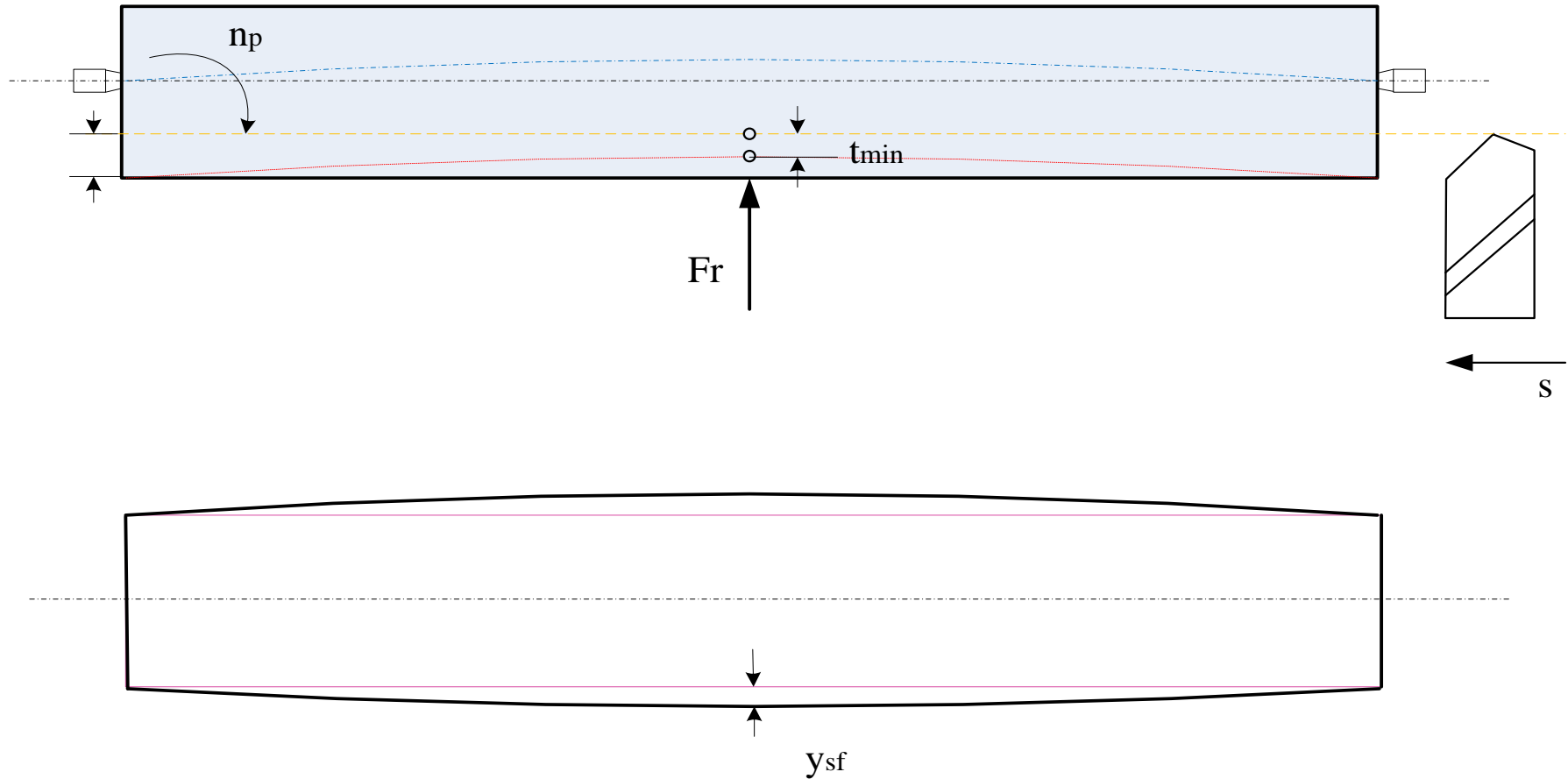


Fig. 15 Semifabricat fixat între vârfuri [ANC 03]

Săgeata maximă:

$$y_{sf} = \frac{F_r \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Rigiditatea semifabricatului:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

F_r – componenta radială a forței de așchiere [N]

l – lungimea semifabricatului prins între vârfuri [mm]

E – modulul de elasticitate al materialului semifabricatului [$\frac{N}{mm^2}$]

I – momentul de inerție al semifabricatului [mm^4]

b. Prindere în consolă

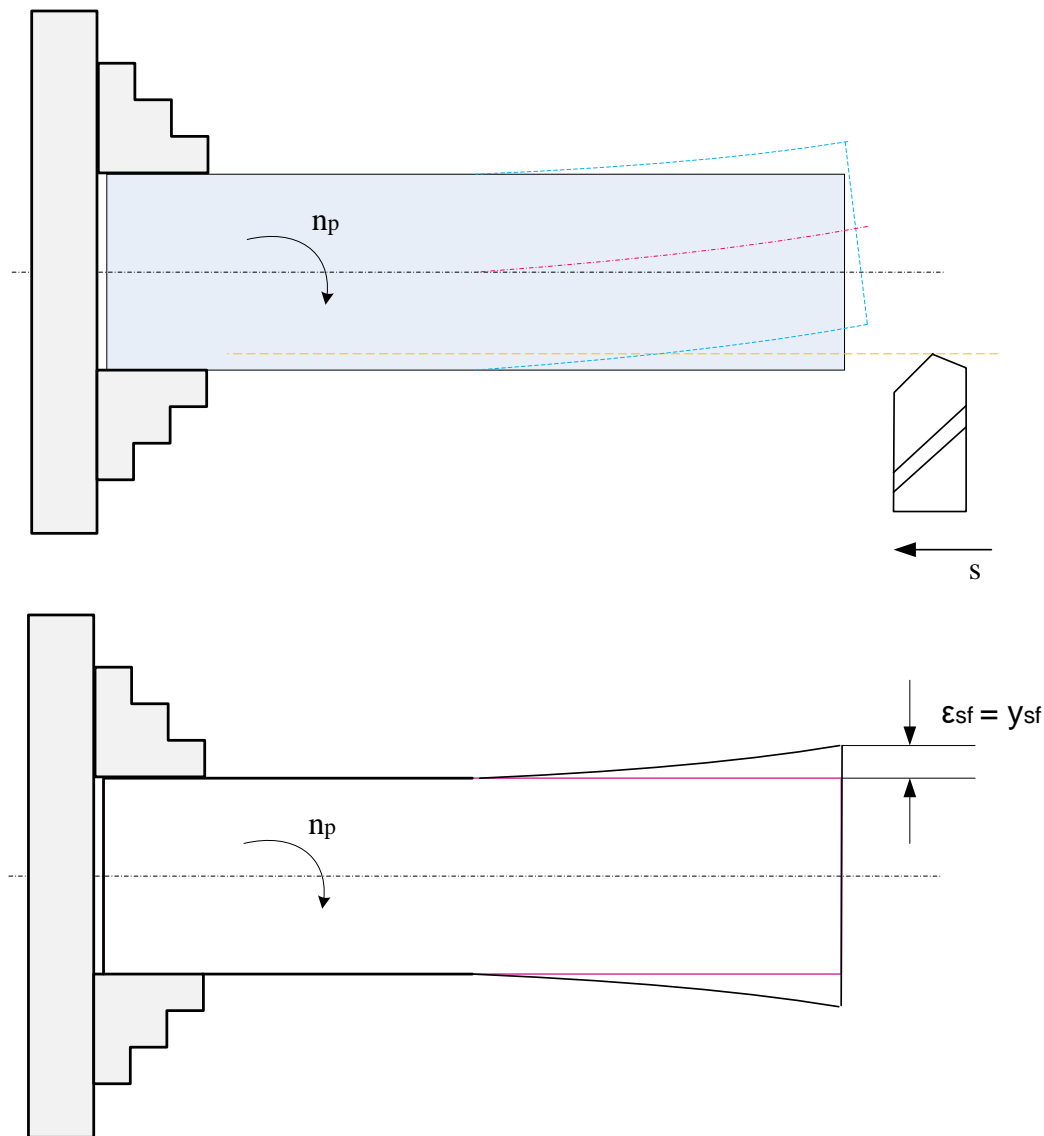


Fig. 16 Semifabricat fixat în consolă [ANC 03]

Săgeata maximă:

$$y_{sf} = \frac{F_r \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

Rigiditatea semifabricatului:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

F_r – componenta radială a forței de așchiere [N]

l – lungimea semifabricatului prins între vârfuri [mm]

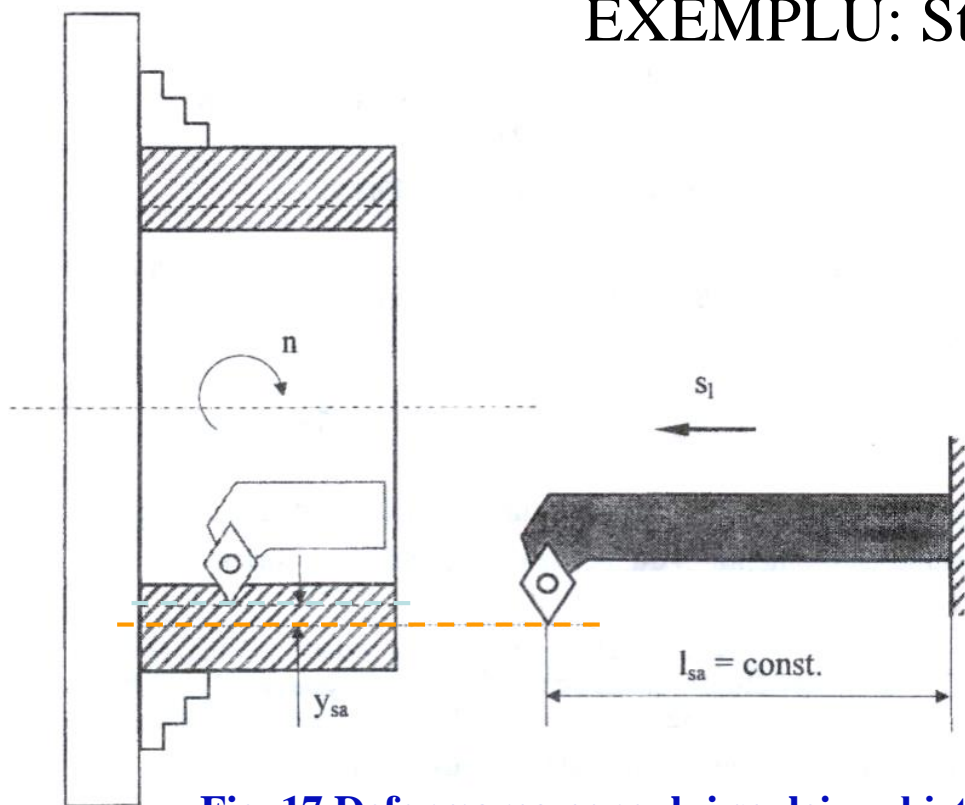
E – modulul de elasticitate al materialului semifabricatului [$\frac{N}{mm^2}$]

I – momentul de inerție al semifabricatului [mm⁴]

3.9 Rigiditatea sculei și a dispozitivului de prindere a sculei

- Sculele și dispozitivele de fixare ale acestora sunt elemente ale sistemului tehnologic care se schimbă frecvent în funcție de necesitățile tehnologice => modificarea rigidității sistemului tehnologic

EXEMPLU: Strunjirea cilindrică interioară



$$y_{sa} = \frac{F_r \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad [mm]$$

$$\varepsilon_{sf} = 2 \cdot y_{sa} \quad [mm]$$

Fig. 17 Deformarea corpului sculei așchietoare la prinderea în consolă [ANC 03]

$$\varepsilon_{Di} = 2 \cdot y_i = \frac{2 \cdot Fr \cdot l_{\min}^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad [mm]$$

$$\varepsilon_{Df} = 2 \cdot y_f = \frac{2 \cdot Fr \cdot l_{\max}^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad [mm]$$

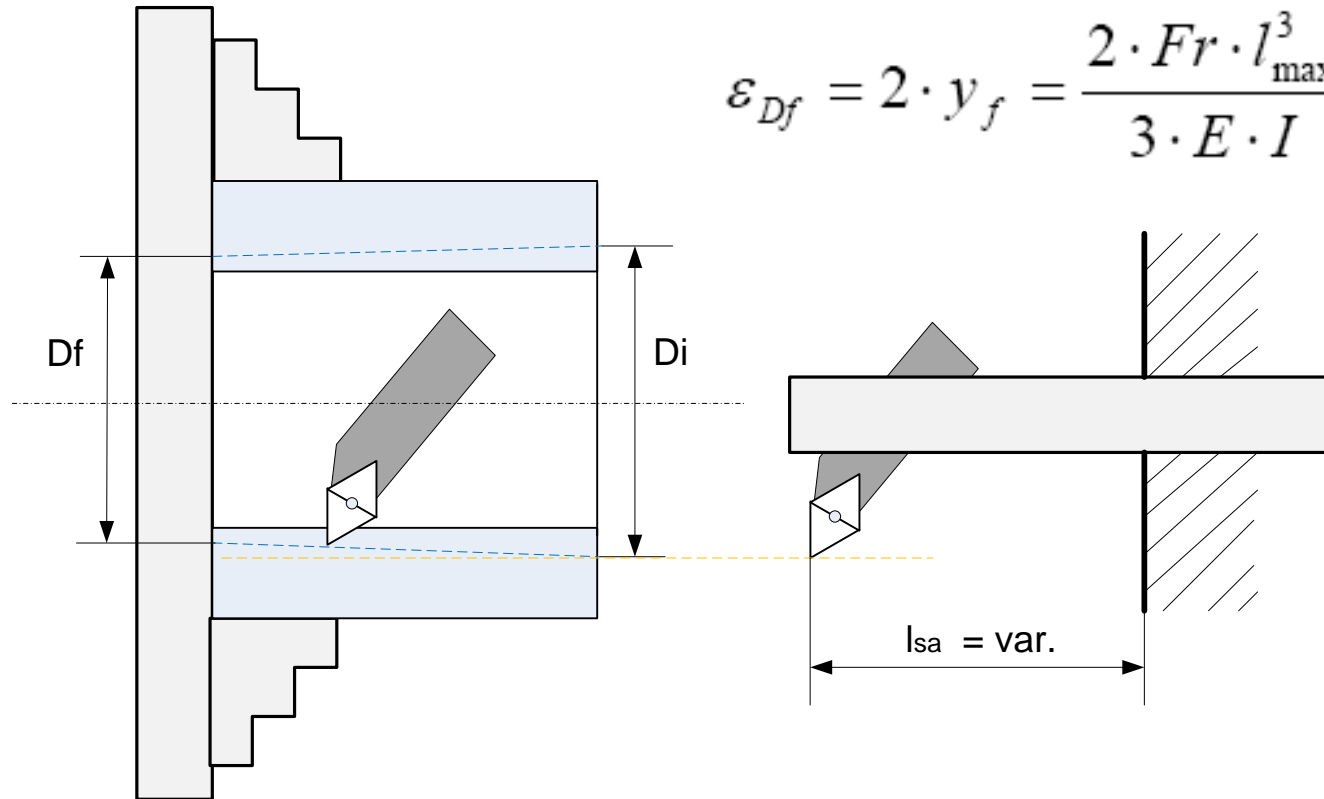
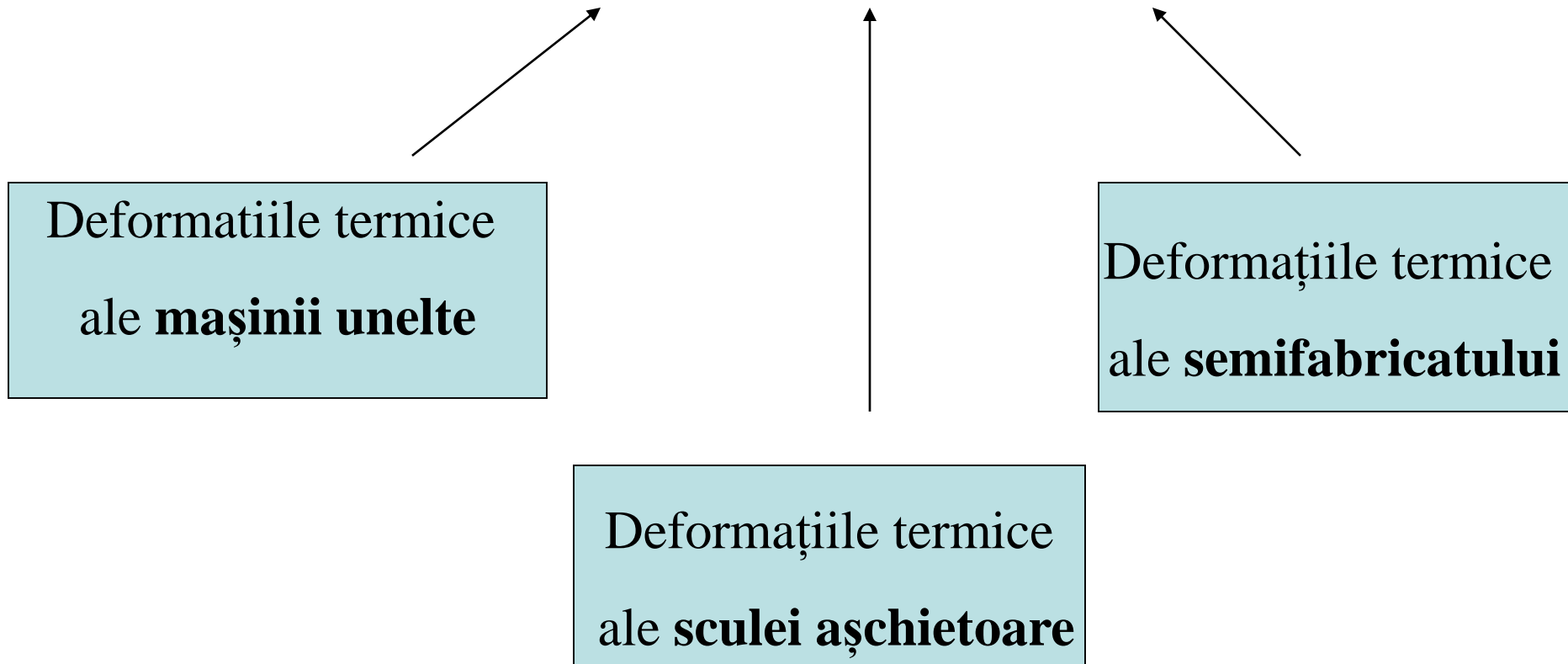


Fig. 18 Variația erorilor datorate deformației sculei la prelucrarea alezajelor cu cuțit-bară de alezat [ANC 03]

3.10 Deformațiile termice ale sistemului tehnologic



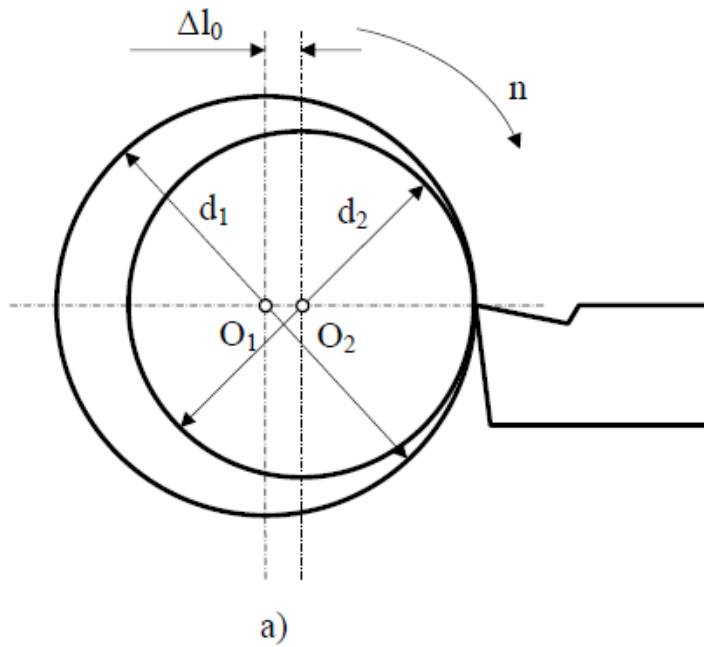
3.10.1 Deformații termice ale mașinii- unelte

- **Lucrul mecanic** din subansamblurile acesteia cât și o mare parte din lucrul mecanic consumat în procesul de așchiere **se transformă în căldură**;
- Surse externe de căldură (radiații solare, radiații termice datorate surselor de căldură);
- Apar deformații termice ce pot influența precizia:

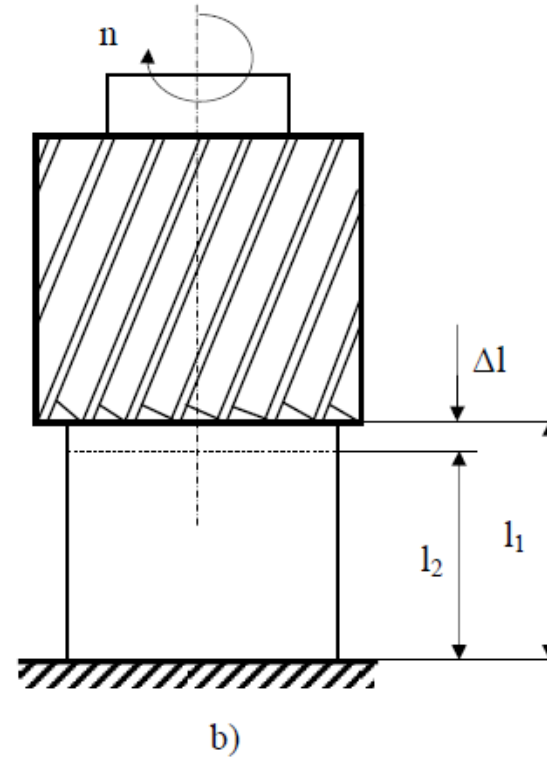
$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

strunjire



frezare



$$\varepsilon_d = d_1 - d_2 = 2 \cdot \Delta l_0 \quad [mm]$$

$$\varepsilon_d = l_1 - l_2 = \Delta l \quad [mm]$$

Fig. 19 Deformațiile termice ale arborelui principal MU [ANC 03]

3.10.2 Deformațiile termice ale sculei așchietoare

- Energia consumată în procesul de așchiere se transformă în căldură;
- Modul de variație a temperaturii important de cunoscut deoarece:
 - Afectează drastic rezistența, duritatea și durabilitatea sculei așchietoare;
 - Generează modificări dimensionale ale sculei în timpul prelucrării îngreunând controlul preciziei dimensionale;
 - Poate provoca deteriorări ale muchiei sculei așchietoare.

- Lucrul mecanic de forfecare al materialului piesei și apariția frecării dintre fața de degajare a sculei și așchie, respectiv fața de așezare a sculei și suprafața prelucrată a piesei;
- Principalele surse generatoare de căldură: zona de forfecare primară a așchiei și interfața sculă-așchie (gradientul maxim de temperatură nu se află la vârful sculei ci puțin deasupra acestuia);
- În cazul strunjirii valoarea medie a temperaturii degajate în procesul de așchiere poate fi determinat cu relația:

$$T \cong v^a \cdot s^b$$

a, b - constante

v- viteza de așchiere, s- avansul

- Temperatura este influențată major viteza de aşchiere. La creşterea vitezei de aşchiere scade timpul în care căldura ar putea fi disipată => creşte temperatura.
- O mare parte din căldura generată este preluată de aşchie. Repartizarea cantităţii de căldură între aşchie, semifabricat şi sculă depinde de procesul de prelucrare şi condiţiile în care are loc aşchiera.
- Deşi procentul de căldură preluat de scula aşchietoare este mic (în raport cu cantitatea de căldură preluată de semifabricat şi aşchii) are o deosebită importanţă dată fiind masa sculei mult mai mică în raport cu cea a semifabricatului

Operația	Aşchie [%]	Semifabricat [%]	Scula aşchietoare [%]
Strunjire (v=100m/min)	75	20	4 – 4,5
Găurire	25	54	20

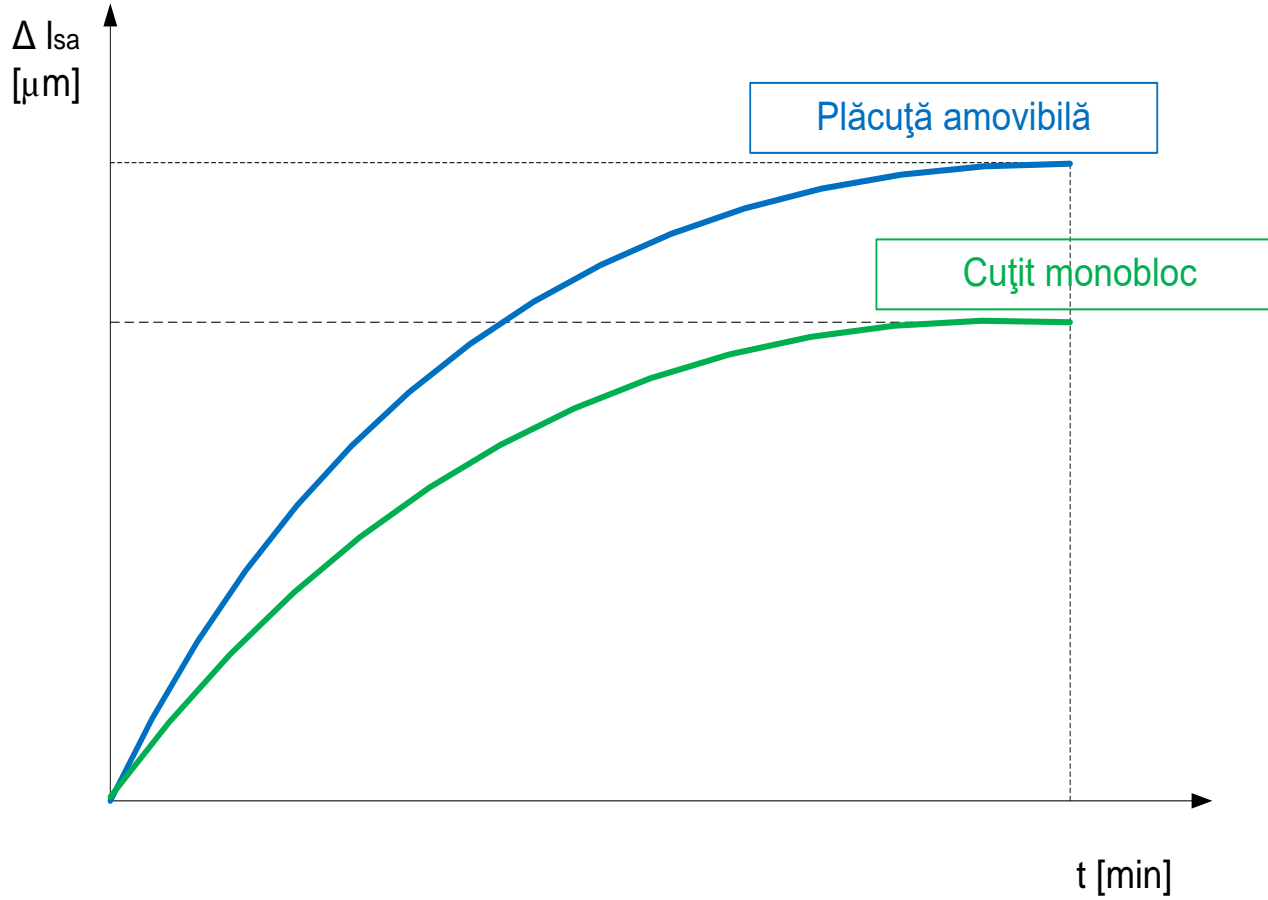


Fig. 20 Variația deformației termice a sculei așchietoare [ANC 03]

Deformația termică mai mare în cazul plăcuțelor amovibile se datorează faptului că acea cantitate de căldură se propagă în masa mică a plăcuței în raport cu masa cuțitului monobloc. În același timp transmiterea căldurii de la plăcuță la corpul sculei se face cu pierderi.

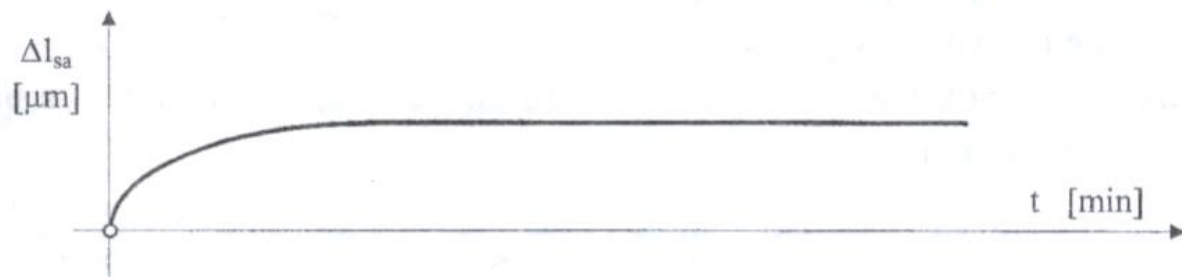
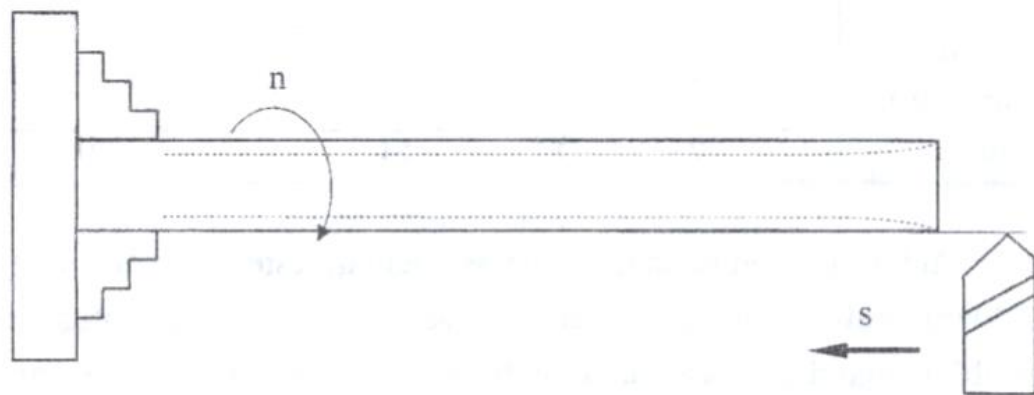


Fig. 21 Variația diametrului piesei datorită deformației termice a sculei așchietoare [ANC 03]



- După un anumit timp schimbul de căldura dintre scula așchietoare și mediu ajunge la un regim staționar, unde deformațiile termice se mențin între anumite limite relativ constante.
- Cea mai eficientă metodă de reducere a deformațiilor termice ale sculei așchietoare constă în reducerea temperaturii în zona de așchiere prin folosirea lichidelor de răcire.

3.10.3 Deformațiile termice ale semifabricatului

- Parametrii care influențează deformațiile termice ale semifabricatului:
 - ❖ Parametrii regimului de așchiere (avans, turație, adâncime de așchiere);
 - ❖ Masa semifabricatului;
 - ❖ Coeficientul de dilatare termică (liniar și volumic);
 - ❖ Rezistența la rupere a materialului semifabricatului.

- Deformația termică a semifabricatului afectează în primul rând **precizia dimensională**, în special în cazul semifabricatelor de dimensiuni mici (masă mică) sau în cazul operațiilor de finisare.
- La frezare și rectificarea plană apare o repartizare neuniformă a căldurii în secțiunea transversală a semifabricatului => apar **erori dimensionale variabile** cu consecințe asupra **preciziei de formă** a suprafețelor.

3.11 Măsuri pentru reducerea erorilor datorate deformațiilor termice

- În cazul prelucrărilor de precizie se impune **calcularea deformațiilor termice și compensarea lor**;
- Pentru reducerea deformațiilor termice ale semifabricatului și ale sculei se recomandă **răcirea continuă cu debit mare de lichid**;
- În cazul **dispozitivelor de prindere**, acestea sunt considerate destul de mici pentru **neglijarea lor** în calculul de evaluare a erorii totale de prelucrare.

Uzura elementelor sistemului tehnologic

- Uzura componentelor apare datorită mișcărilor relative ale elementelor în contact în timpul funcționării ⇒ pierderea geometriei initiale;
- Influența mare asupra preciziei de prelucrare o constituie uzura ghidajelor MU.

3.12 Influența vibrațiilor sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare

Mișcarea vibratorie:

- o mișcare oscilatorie de frecvență mare;
- amplitudine între tăișul sculei și suprafața de prelucrare (crește simultan cu viteza de așchiere)

Consecințele mișcării vibratorii:

- ❖ scăderea preciziei dimensionale;
- ❖ scăderea calității suprafeței;
- ❖ uzura sau ruperea sculei așchietoare;
- ❖ defectarea anumitor componente ale MU;
- ❖ generarea de zgomot.

3.13 Cauze generatoare de vibrații în sistemul tehnologic

- Surse **externe** procesului de prelucrare:
 - ❖ Vibrații transmise prin fundație de la utilaje apropiate;
 - ❖ Vibrații cauzate de masele dezechilibrate aflate în mișcare de rotație;
 - ❖ Vibrații produse de diferite șocuri.

□ Surse **interne** procesului de prelucrare:

- ❖ Neuniformitatea adaosului de prelucrare și a structurii materialului;
- ❖ Bătăile radiale ale dornului portsculă;
- ❖ Intrarea neuniformă a muchiilor sculei așchietoare în material;
- ❖ Fenomene interne procesului de așchiere (formarea și evacuarea elementelor de așchii).

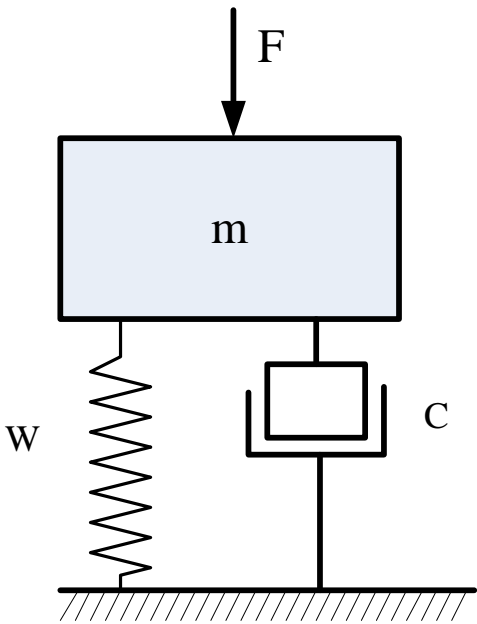
3.14 Clasificarea vibrațiilor din sistemul tehnologic

- a. **Vibrații forțate** – sunt produse de forțe periodice cu acțiune de lungă durată asupra sistemului tehnologic, imprimându-i acestuia frecvență (Cauze: de la cutiile de viteze sau avansuri, elemente neechilibrate, motoare electrice, în cazul frezărilor sau strunjirilor cu adaos variabil, etc.)
- b. **Autovibrații** (vibrații autoexcitate) – orice sistem tehnologic chiar dacă nu are vibrații la mersul în gol în momentul începerii așchierii începe să vibreze. Au amplitudine mare și frecvență mică.

c. **Vibrații proprii sau de relaxare** – sunt produse de forțe periodice cu acțiune de scurtă durată asupra sistemului tehnologic (șocuri), după încetarea acțiunii acestor forțe sistemul tehnologic continuă să vibreze cu frecvența proprie (prelucrări cu scule de rigiditate scăzută – strunjire, rectificare interioară, rabotare, mortezare interioară).

3.14.1 Vibrații forțate

- sunt produse atât de cauze externe cât și interne;
- analiza influenței lor asupra preciziei de prelucrare se realizează apelând la modelarea sistemului tehnologic asemenea sistemelor mecanice;



$$\left. \begin{aligned} F_{el} + F_{am} &= 0 \\ F_{el} &= \frac{1}{W} \cdot y \\ F_{am} &= C \cdot \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + C \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{1}{W} \cdot y &= 0 \\ m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{1}{W} \cdot y &= 0 \end{aligned}$$

Soluția generală

$$y = A \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t$$

$$y = B \cdot \sin \omega t$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{W \cdot m}}$$

m - masă

C – coeficient de amortizare
(amortizor)

W – cedare relativă a arcului

F – forță exterioară

- frecvența mișcării oscilatorii

Fig. 22 Sistem tehnologic simplificat [BER 86]

3.14.2 Autovibrații

Autovibrațiile sunt acele vibrații care apar și dispar odată cu procesul de prelucrare a metalelor (atunci când vibrațiile forțate sunt total îndepărtate).

- Se caracterizează prin frecvență mare și amplitudine mică;
- Cauzate exclusiv de cauze interne procesului de prelucrare.

Ipoteze:

1. Ipoteza lui Taylor (cauza: variația forței de așchiere pe durata celor 4 etape de formare a așchiei: deformare elastică, deformare plastică, ecrusare și rupere);
2. Teoria lui Kaşirin (cauza: variația forțelor de frecare pe fața de degajare sculei);

3. Teoria lui Sokolovsky (cauza: variația continuă a parametrilor geometrici efectivi în timpul parcurgerii neregularităților suprafeței prelucrate);
4. Teoria lui Harnis și Grig (cauza: variația continuă a adâncimii de așchiere între neregularitățile prelucrării precedente și oscilațiile prelucrării curente=> variația forței de așchiere - efect autovibrator);
5. Teoria lui Tobias (cauza: variația forțelor de așchiere în momentul intrării sculei în materialul nedeformat și momentul respingerii sale de către materialul ecruisat).

3.14.3 Vibrații de relaxare

- Cauzate de forțe cu acțiune instantanee (*forțe de impact*);
- Fac parte din categoria **vibrațiilor forțate amortizate**;
- Apar de exemplu la: rabotare, mortezare, strunjire interioară, rectificarea suprafețelor cilindrice exterioare și interioare

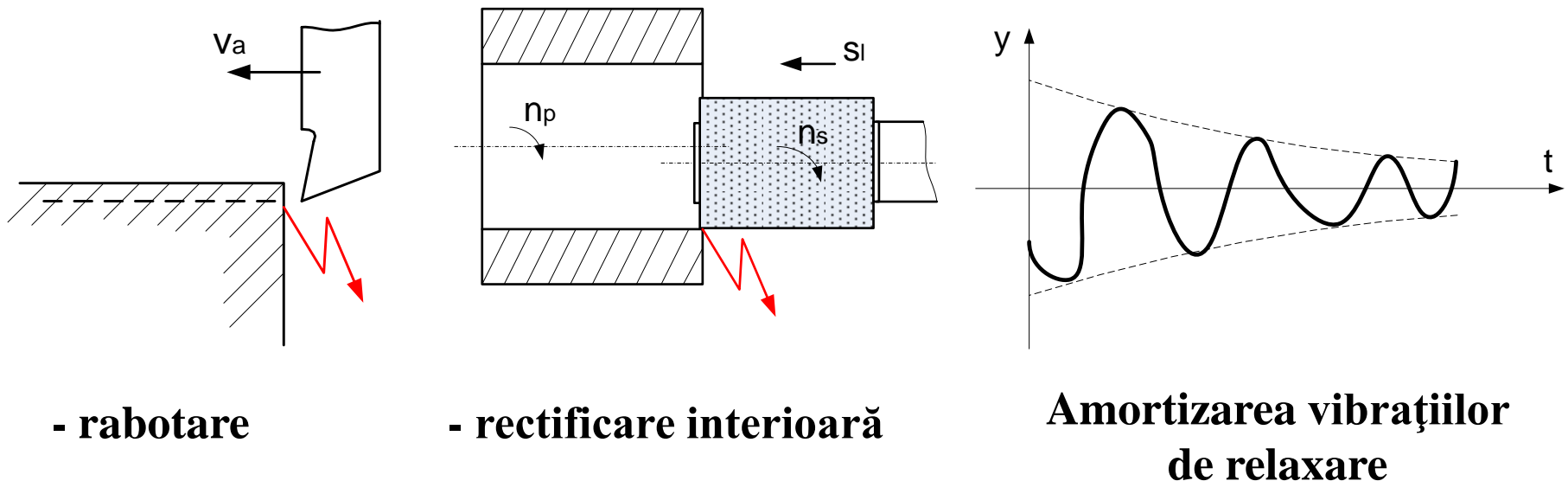


Fig. 23 Vibrații forțate amortizate [BER 86]

3.15 Măsuri pentru reducerea efectului vibrator

1. **Îmbunătățirea rigidității elementelor sistemului tehnologic** (scoaterea jocului din îmbinări, folosirea de reazeme suplimentare, suporturi portsculă rigide, reparația și recondiționarea unor subansamble);
2. **Folosirea unor sisteme elastice suplimentare** care să preia o parte din energia vibratorie (amortizoare de vibrații);
3. **Prelucrarea cu ajutorul cuțitelor întoarse (cu fațetă);**
4. **Alegerea corespunzătoare a parametrilor regimului de așchiere** (viteze mici sau foarte mari, adâncimi de așchiere mici și avansuri mari):
 - Folosirea unor scule cu unghiuri de atac mari ($K = 75^\circ - 90^\circ$);

- Utilizarea unor unghiuri de degajare γ pozitive, prevăzute în unele cazuri cu fațete mici având unghiuri de degajare γ negative.

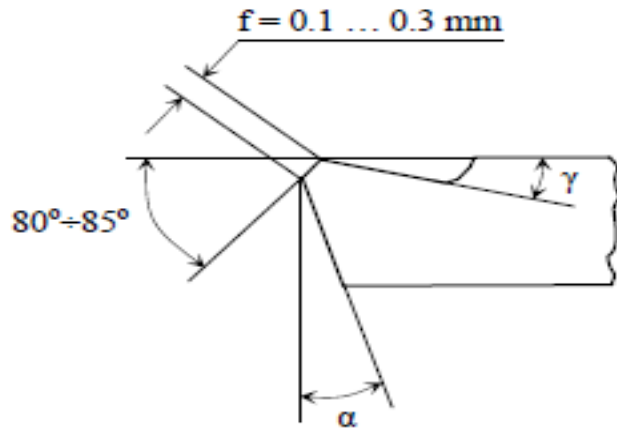


Fig. 24 Cuțit de strung prevăzut cu fațetă cu unghi de degajare negativ [ANC 03]

Utilizarea de unghiuri de așezare α cât mai mici, dar care să evite totuși frecările mari dintre fața de așezare și materialul.

- Raze la vârf ale muchiei sculei așchietoare cât mai mici;
- Folosirea de scule așchietoare neuzate;
- Lungimi în consolă ale sculelor, cât mai mici;
- Orientarea corectă la centru a sculei așchietoare.

Utilizarea de cuțite îndoite la rabotare. Pentru aceste cuțite, la deformația elastică a lor sub acțiunea forțelor de așchiere vârful cuțitului are o traiectorie tangentă la suprafața prelucrată și nu o intersectează ca în cazul cuțitelor cu corpul rectiliniu.

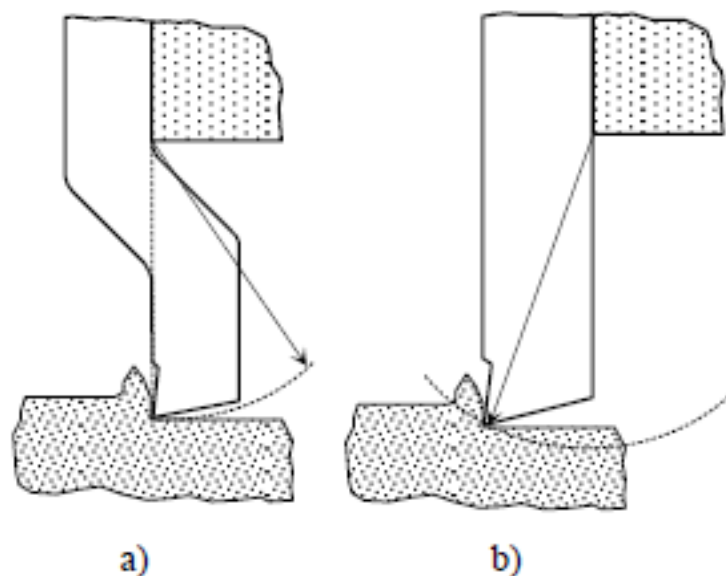


Fig. 25 Cuțite pentru rabotat și mortezat [www.cre]

- Utilizarea vitezelor de aşchiere mici sau foarte mari, care să evite zona critică de apariție a vibrațiilor (zonă ce depinde de fiecare cuplu de materiale sculă-piesă);
- Utilizarea adâncimilor de aşchiere relativ mici și avansuri relativ mari, care conduc la obținerea de aşchii scurte și groase;
- Utilizarea amortizoarelor de vibrații.

3.16 Influența tensiunilor interne asupra preciziei de prelucrare

- **Cauze:**

- Etapa de elaborare a semifabricatului (tensiuni structurale)
- Etapa de prelucrări mecanice (tensiuni tehnologice)
- Etapa de tratament termic (tensiuni interne termice)

- **Efecte:**

- Erori dimensionale, de formă și de poziție reciprocă a suprafețelor

- **Tensiuni termice**
 - sunt generate de contracția sau dilatarea neuniformă, ca urmare a diferențelor de temperatură pe secțiune sau volum
- **Tensiunile structurale**
 - sunt produse de frânarea modificărilor de volum specifice transformărilor structurale produse în masa materialului la încălzirea sau răcirea acestuia.
- **Tensiunile de lucru (tehnologice)**
 - apar în urma prelucrărilor mecanice;
 - temperaturile degajate în timpul prelucrărilor.

3.16.1 Tensiunile interne din semifabricatele turnate apar datorită *diferențelor de temperatură* în timpul răcirii în diferite zone ale semifabricatului și deasemenea, ca urmare a limitării contracției libere a unor părți din piesa turnată (grosimi diferite ale pereților pieselor, configurații complexe, lipsa racordărilor etc.).

- În unele cazuri tensiunile interne în piesele turnate pot atinge asemenea valori încât ele *provoacă fisuri și crăpături sau chiar spargerea acestora.*
- De multe ori tensiunile interne de turnare se pun în evidență nu imediat după turnare ci *după un anumit interval de timp* când provoacă deformarea pieselor.

3.16.2 Tensiunile interne din semifabricatele forjate sau matrițate la cald apar ca urmare a *nerespectării* regimului termic din timpul prelucrării cauzând ecruisarea pieselor (de exemplu încălziri și răciri neuniforme, neatingerea temperaturii optime pentru deformare plastică etc.).

3.16.3 Tensiunile interne din semifabricatele sudate apar datorită încălzirii și răcirii neuniforme, datorită limitării deplasărilor libere, în cazul sudării materialelor de grosimi diferite, transformărilor structurale, a regimului de lucru incorect ales etc.

- O cauză a apariției tensiunilor interne în timpul prelucrărilor mecanice este ecrusarea suprafeței prelucrate.
- Mărimea tensiunilor interne din stratul superficial depinde de o serie de factori.

Astfel, tensiunile interne cresc odată cu:

- ❖ micșorarea unghiului de așezare a sculei așchietoare;
- ❖ creșterea razei la vârf a muchiei sculei așchietoare;
- ❖ creșterea avansului de lucru;
- ❖ creșterea vitezei de așchiere la valori peste 300 m/min;
- ❖ prezența vibrațiilor.

- După anumite procedee tehnologice de elaborare a semifabricatelor => **echilibru al tensiunilor interne** (uneori au valori mari);
 - după îndepărtarea unui strat de material (mai ales la degroșare) **tensiunile ies din starea de echilibru** și se redistribuie în masa piesei. => deformarea piesei.
- Deformațiile inadmisibil de mari **se constată uneori la asamblare.**
- Piesele la care deformațiile interne apar, de multe ori **nu mai pot fi folosite.**

Elaborarea semifabricatelor trebuie făcută astfel încat **tensiunile interne să fie minime.**

La semifabricatele turnate este necesară o viteză uniformă de răcire. Se evită **variații bruște de secțiune, colțuri ascuțite etc.** (pentru evitarea răcirii neuniforme);

La semifabricatele sudate este necesară **alegerea corectă a succesiunii sudării diferitelor părți componente** ale semifabricatului sudat. Se practică **preîncălzirea semifabricatelor sudate sau tratamentele termice de detensionare.**

3.16.4 Modalități de reducere a tensiunilor interne:

- Elaborare corectă a formelor geometrice ale semifabricatelor;
- Respectarea tehnologiei de fabricație;
- Detensionare.

- Detensionarea: - naturală;
- artificială.

Pe cale *naturală*: batiurile, mesele unor mașini-unelte, blocurile motoare etc., se detensionează prin îmbătrânire naturală – 4-8 luni între fazele de degroșare și cele de finisare.

Pe cale *artificială*:

- prin aplicarea tratamentelor termice de detensionare;
- mecanice (ciocănire, sablare, vibrații) prin care se urmărește echilibrarea tenisunilor interne.

- **La prelucrări mecanice se pot lua următoarele măsuri:**
 - a) adoptarea unor regimuri de aşchiere uşoare (adâncimi de aşchiere şi valori ale avansului mici – îndeosebi la operaţiile de finisare);
 - b) operaţiile de finisare să se realizeze cu scule neuzate, cu unghiuri de aşezare suficient de mari, raze la vârf mici pentru a nu genera vibraţii;
 - c) atunci când deformaţiile termice sunt mari, se recomandă răcirea cu diferite fluide pentru răcire-ungere.

- Măsura cea mai potrivită de eliminare a tensiunilor interne atât după elaborarea semifabricatului prin turnare, forjare, matrițare, sudare, deformare plastică la cald sau la rece cât și pe parcursul prelucrării mecanice este detensionarea artificială.

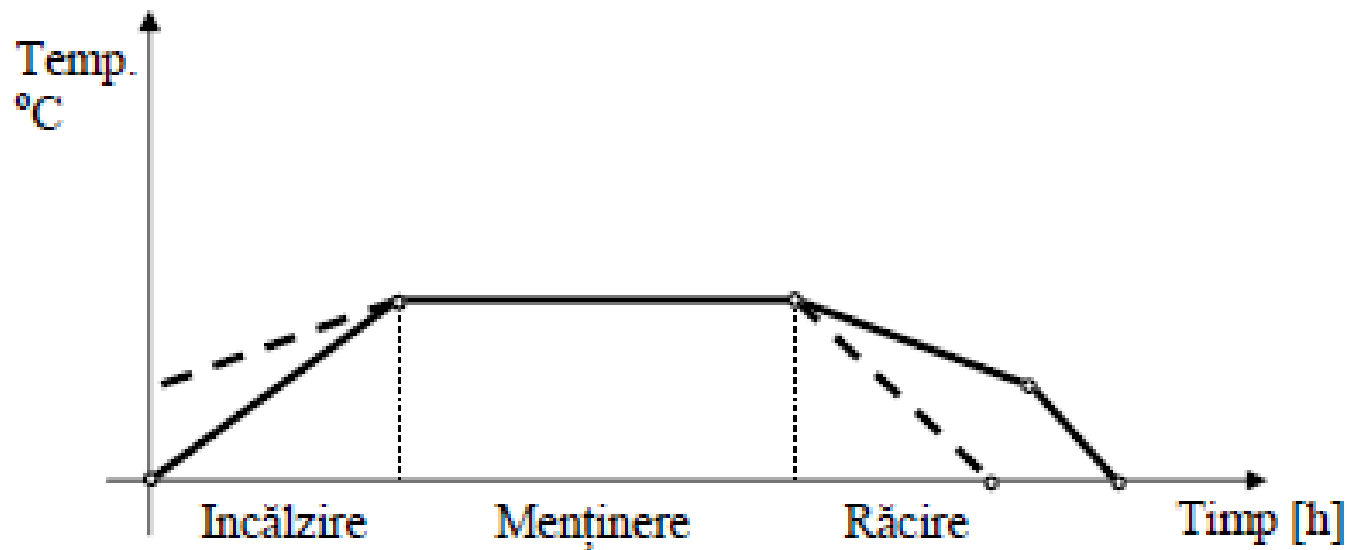


Fig. 26 Graficul general al tratamentului termic de detensionare [ANC 03]

- Încălzirea – se poate realiza în cuptor pentru tratamente termice;
- Menținerea – cuptor;
- Răcirea lentă – cuptor sau mediu de răcire (de ex. baie de săruri topite).
- Eliminarea masivă a tensiunilor interne la semifabricatele din oțel se produce începând cu temperatura de 450 °C, iar detensionarea aproape completă se realizează la temperaturi cuprinse între 600 ÷ 650 °C, cu o menținere de 4 ÷ 6 ore. În mod uzual, viteza de încălzire este de aproximativ 40 °C/oră, iar cea de răcire de 20 °C/oră.

- Detensionarea la temperaturi mai scăzute ($150 \div 250$ °C) se aplică sculelor aşchietoare, pieselor cementate și călite, care trebuie să-și păstreze duritatea ridicată.
- Cu cât precizia piesei este mai ridicată, cu atât detensionarea trebuie realizată în mai multe operații de recoaceri intermediare la temperaturi din ce în ce mai scăzute ($120 \div 150$ °C) și cu durate de menținere din ce în ce mai mari ($24 \div 48$ ore). Aceasta este necesar deoarece la fiecare operație de detensionare se produce o anumită deformare, ce este eliminată prin operația ulterioară de prefinisare, care introduce la rândul ei noi tensiuni interne, dar de valoare mai mică.

3.17 Determinarea analitica a erorii totale de prelucrare

Presupune determinarea sau cunoașterea tuturor valorilor parțiale, cauzate de diverși factori ai preciziei de prelucrare. Aceste calcule se fac în condițiile cunoașterii influenței tuturor factorilor.

Se pot stabili cu exactitate ponderea influenței diferiților factori asupra preciziei de prelucrare și se pot lua măsuri de asigurare a preciziei de prelucrare.

Necesită cercetări teoretice și experimentale foarte aprofundate pentru diferitele situații particulare.

Erorile:

- grosolane – datorate neatenției sau lipsei de calificare a personalului;
- sistematice;
- aleatoare.

unde:

$$\varepsilon_T = \sum \varepsilon_S + \sqrt{\sum_i \varepsilon_i^2} \quad (1)$$

$$\sum \varepsilon_S = \varepsilon_g + \varepsilon_0 + \varepsilon_{fc} + \varepsilon_{de} + \varepsilon_{dt} + \varepsilon_u + \varepsilon_{mc} \quad (2)$$

$$\sqrt{\sum_i \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_{HB}^2 + \varepsilon_A^2 + \varepsilon_{TI}^2 + \varepsilon_{fv}^2 + \varepsilon_{mv}^2} \quad (3)$$

- ε_T este eroarea totală de prelucrare;
- ε_S – suma algebrică a erorilor sistematice;

- $\sqrt{\sum_i \varepsilon_i^2}$ - suma vectorială a erorilor întâmplătoare;

- ε_g – eroarea cauzată de imprecizia geometrică a elementelor sistemului tehnologic;
- ε_o – eroarea de orientare a elementelor sistemului tehnologic;
- ε_{de} – eroarea cauzată de deformațiile elastice ale elementelor sistemului tehnologic;

ε_{dt} – eroarea cauzată de deformațiile termice ale elementelor sistemului tehnologic;

ε_u – eroarea cauzată de uzura elementelor sistemului tehnologic;

ε_{mc} – eroarea de măsurare constantă;

ε_{mv} – eroarea de măsurare variabilă;

ε_{HB} – eroarea cauzată de variația durității materialului semifabricatului;

ε_A – eroarea cauzată de variația adaosului de prelucrare;

ε_{fv} – eroarea de fixare variabilă;

ε_{TI} – eroarea datorată tensiunilor interne din structura materialului piesei.

- În relațiile de calcul (1), (2) și (3) corespunzătoare erorii totale de prelucrare, se poate considera semnul “+” sau “-“ în funcție de sensul influenței factorului de precizie luat în considerare.
- Condiția: $\varepsilon_T \leq T$ (4)

Determinarea câmpului de împrăștiere a erorilor de prelucrare prin metoda statistică

1. Se prelucrează 100 de arbori în aceleași condiții;
2. Se masoară fiecare arbore și se notează într-un tabel;
3. Se sistematizează rezultatele măsurătorilor, notându-se dimensiunile sau abaterile efective, în ordine crescătoare;
4. Se aleg din tabel diametrele efective limită (maxim și minim) și se calculează amplitudinea erorilor W cu relația:

$$W = d_{ef\ max} - d_{ef\ min}$$

5. Amplitudinea intervalului erorilor W se împarte în mai multe subintervale. Numărul acestor subintervale se alege între 5 și 17, în funcție de mărimea lotului de fabricație.

- Ex: $\varnothing 80_{-0.010}^{+0.030} \text{ mm}$

După măsurare se constată că piesele se încadrează în câmpul de toleranță, dar acesta nu se cunoaște:

$$d_{ef \max} = \varnothing 80.028 \text{ mm} \text{ și } d_{ef \min} = \varnothing 79.992 \text{ mm}$$

$$W = d_{ef \max} - d_{ef \min} = 80.028 - 79.992 = 0.036 = 36\mu$$

Se calculează amplitudinea subintervalului:

$$a = \frac{W}{i} = \frac{36}{9} = 4\mu\text{m}$$

Intervale de dimensiuni			Media Interv. x_i	Frecv. n_i	$\frac{x_i - M_0}{a}$	$\frac{x_i - M_0}{a} \cdot n_i$	$\left(\frac{x_i - M_0}{a}\right)^2 \cdot n_i$
Nr. Int. i	De la (inclusiv)	Până la					
1	79.992	79.996	79.994	3	-0.004	-0.012	0.000048
2	79.996	80.000	79.998	4	-0.003	-0.012	0.000036
3	80.000	80.004	80.002	9	-0.002	-0.018	0.000036
4	80.004	80.008	80.006	19	-0.001	-0.019	0.000019
5	80.008	80.012	<u>80.010</u>	35	0.000	0.000	0.000000
6	80.012	80.016	80.014	18	0.001	0.018	0.000018
7	80.016	80.020	80.018	7	0.002	0.014	0.000028
8	80.020	80.024	80.022	3	0.003	0.009	0.000027
9	80.024	80.028	80.026	2	0.004	0.008	0.000032

- Parametrul M_0 din tabel este media intervalului de frecvență maximă, adică în cazul de față $M_0 = 80,010$.

6. Se calculează abaterea medie pătratică a dimensiunilor:

$$\sigma = a \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 \left(\frac{x_i - M_0}{a} \right)^2 \cdot n_i}{\sum_{i=1}^9 n_i}} ;$$

- Câmpul de împrăștiere a erorilor de prelucrare va fi de lățime 6σ . În concordanță cu frecvențele n_i notate în tabel, vom putea trasa histograma distribuției dimensiunilor.

σ – este abaterea medie pătratică

x_i – dimensi. întâmplătoare sau media intervalului i

Frecvența relativă:

\bar{x} – media ponderată a dimensi.

$$n_r = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad \text{sau}$$

$$n_r \% = \frac{n_i}{\sum n_i} \cdot 100\%$$

Poligonul de frecvență se trasează într-un sistem de coordonate cartezian în care luăm pe abscisă media intervalelor, iar pe ordonată frecvența n_i .

Dacă numărul de intervale i tinde la infinit și în același timp se reduc limitele intervalelor, linia frântă a poligonului de frecvențe se va transforma într-o curbă continuă, în formă de clopot, ce poartă denumirea de curbă teoretică a distribuției normale, sau curbă Gauss-Laplace.

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

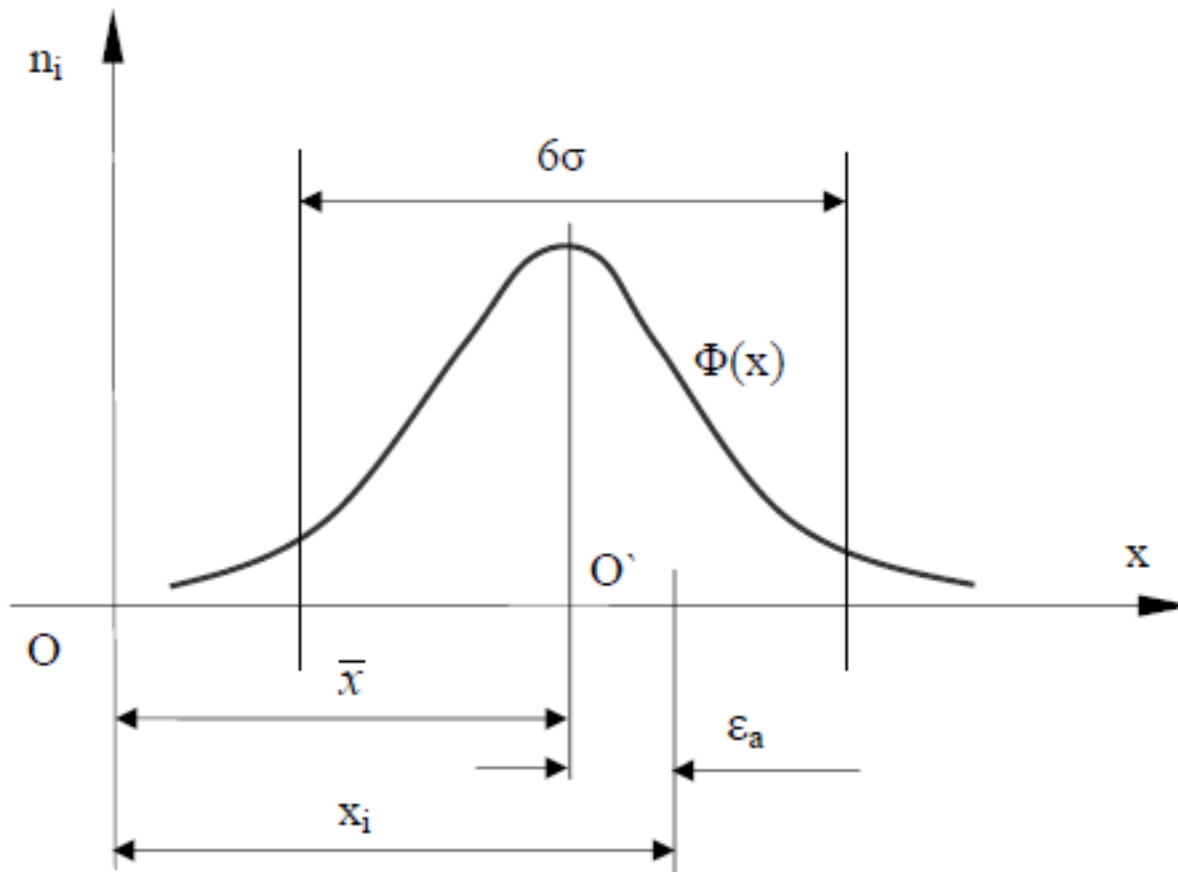
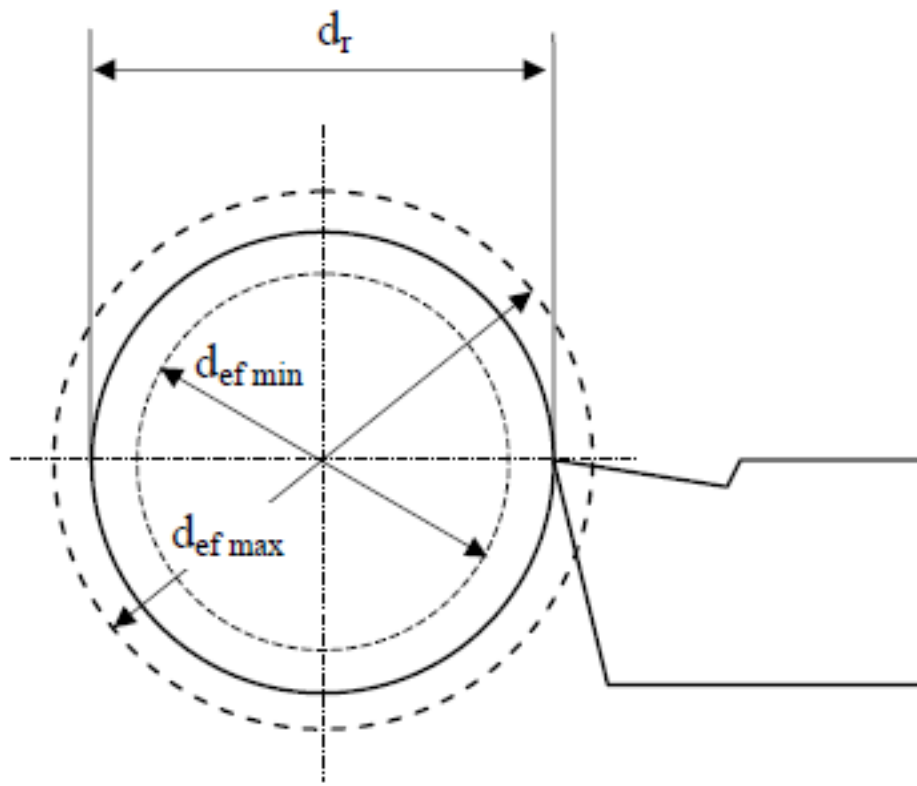


Fig. 27 Curba distribuției normale Gauss-Laplace [ANC 03]

- În cazul mărimilor discrete (discontinue), \bar{x} se calculează cu relația:

$$\bar{x} = \sum x_i \cdot \frac{n_i}{N} \qquad N = \sum n_i$$



**Fig. 28 Strunjire cilindrică exterioară cu
scula reglată la cota d_r [ANC 03]**

- $d_{ef} \approx d_r$;

Frecvența de apariție a altor dimensiuni va scădea de-o parte și de alta a cotei de reglare. Acesta este motivul pentru care curba lui Gauss-Laplace prezintă un maxim în dreptul valorii x , în jurul căreia sunt grupate dimensiunile.

- În practică nu folosim în întregime curba Gauss-Laplace, ci doar o porțiune suficient de mare de lățime 6σ , porțiune ce reprezintă o probabilitate de cuprindere mai mare de 99%.
- Porțiunea 6σ din curba de distribuție se mai numește și precizie caracteristică a procedeului de prelucrare pentru un sistem tehnologic definit.

- Fiecărui procedeu de prelucrare sau decontrol, fiecărei mașin-unelte și respectiv fiecărui mijloc de control îi corespunde un anumit 6σ . Cu cât câmpul de împrăștiere al erorilor 6σ este mai mic, cu atât procedeul de prelucrare este mai precis și reciproc.
- Erorile sistematice fixe produc doar deplasarea curbei față de originea acesteia, fără să-i schimbe forma.
- Precizia caracteristică unui sistem tehnologic dat corespunde scopului numai dacă mărimea câmpului de împrăștiere a erorilor se încadrează în câmpul de toleranță prescris, adică $6\sigma \leq T$.

- **Interpretarea practică a distribuției erorilor de prelucrare**

În situațiile practice, în funcție de caracterul erorilor există patru situații distincte:

- a) \bar{x} și 6σ au stabilitate bună în timp (cazul ideal);
- b) \bar{x} stabil, 6σ instabil;
- c) \bar{x} instabil, 6σ stabil;
- d) \bar{x} și 6σ instabile (cazul cel mai defavorabil).

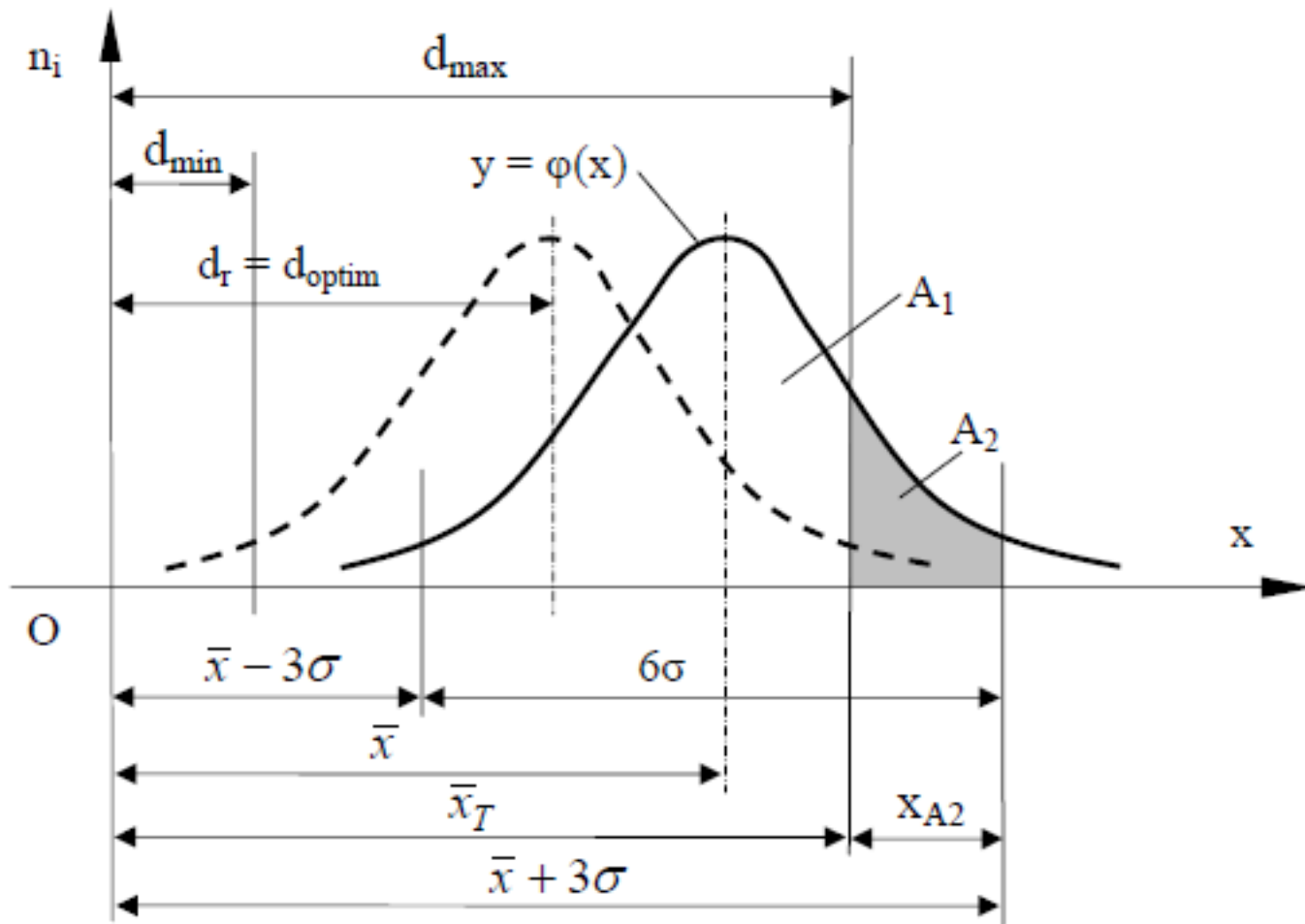


Fig. 29 Posibilitatea apariției rebuturilor prin depășirea toleranțelor prescrise [ANC 03]

- Dacă $6\sigma > T$, rezultă că mașina-unealtă nu asigură precizia necesară și în această situație se va alege o mașină mai precisă.
- Dacă $6\sigma \leq T$ și totuși apar rebuturi, rezultă că reglajul sculei la cotă a fost făcut greșit, deoarece mașina-unealtă asigură precizia de prelucrare.
- Scula a fost reglată prea aproape de dimensiunea d_{max} (graficul culinie continuă). Se corectează reglajul astfel ca diametrul de reglare $d_r = d_{optim} = \bar{x}$ (curba trasată cu linie întreruptă) și astfel se va elimina probabilitatea apariției rebuturilor.

Curbe de distribuție aparent normale

- a) curbe simetrice;
- b) curbe asimetrice

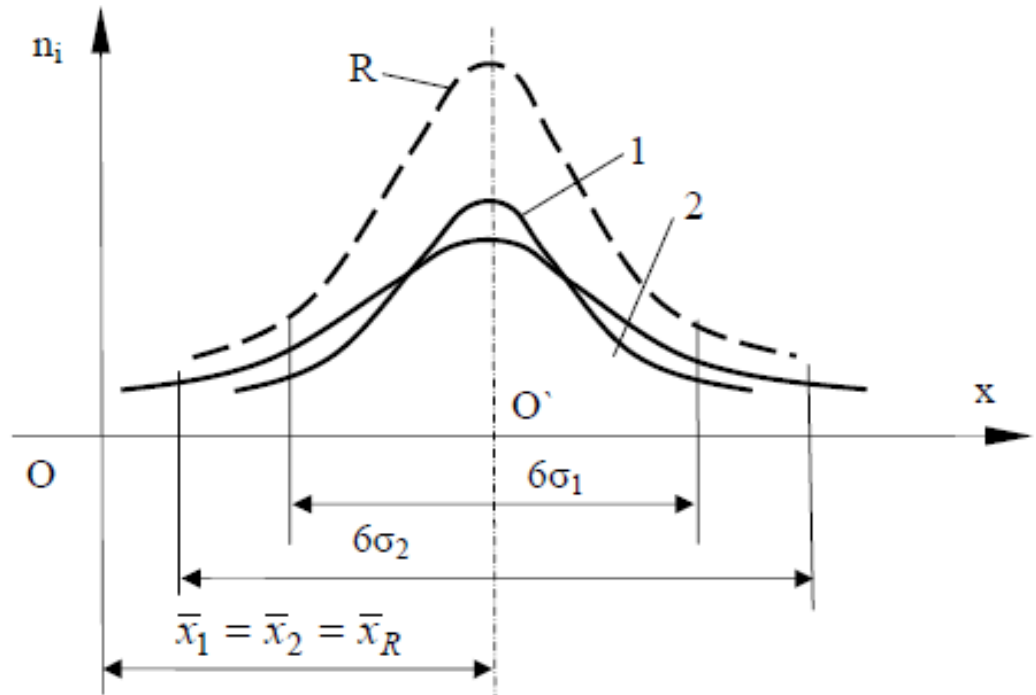


Fig. 30 Curbe de distribuție – cazul prelucrării a două loturi de piese identice pe mașini diferite
[ANC 03]

Cazul prelucrării a două loturi identice de piese, pe MU diferite, reglarea sculei s-a făcut la aceeași cotă $x_1 = x_2$ și $\sigma_1 = \sigma_2$

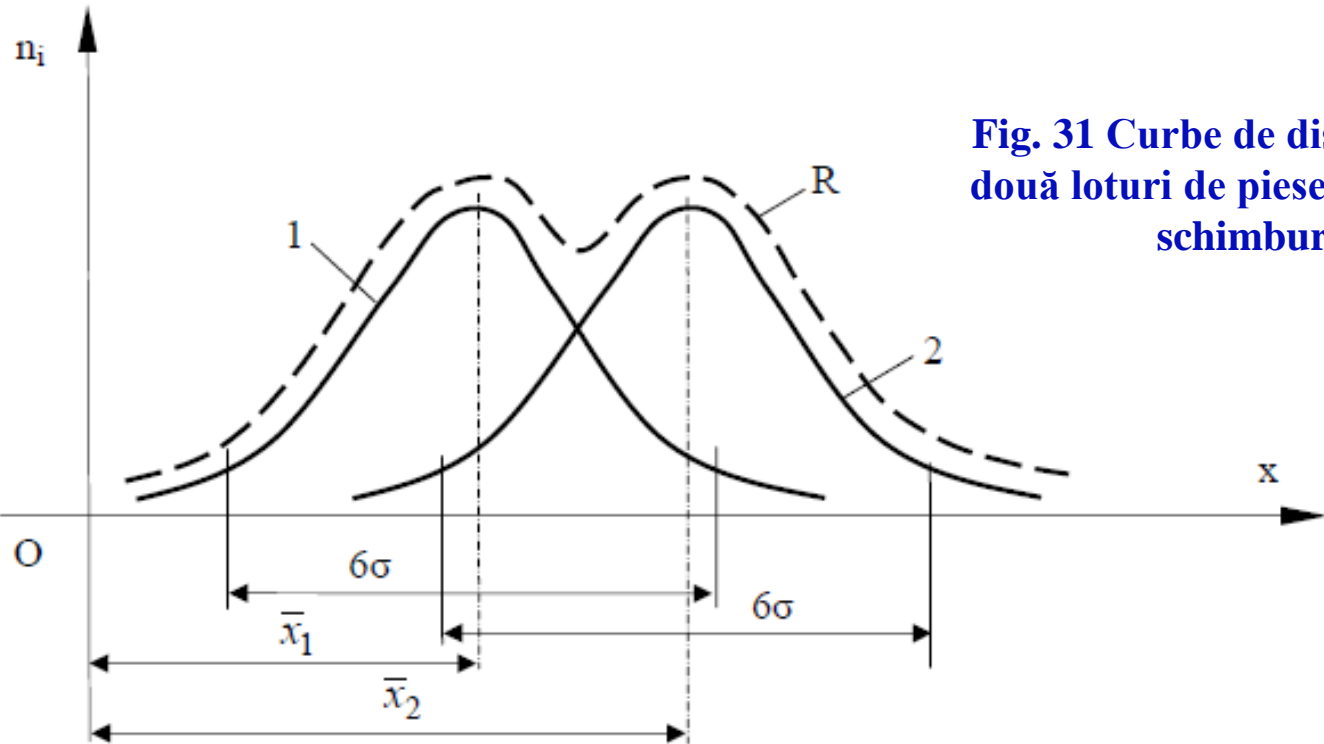
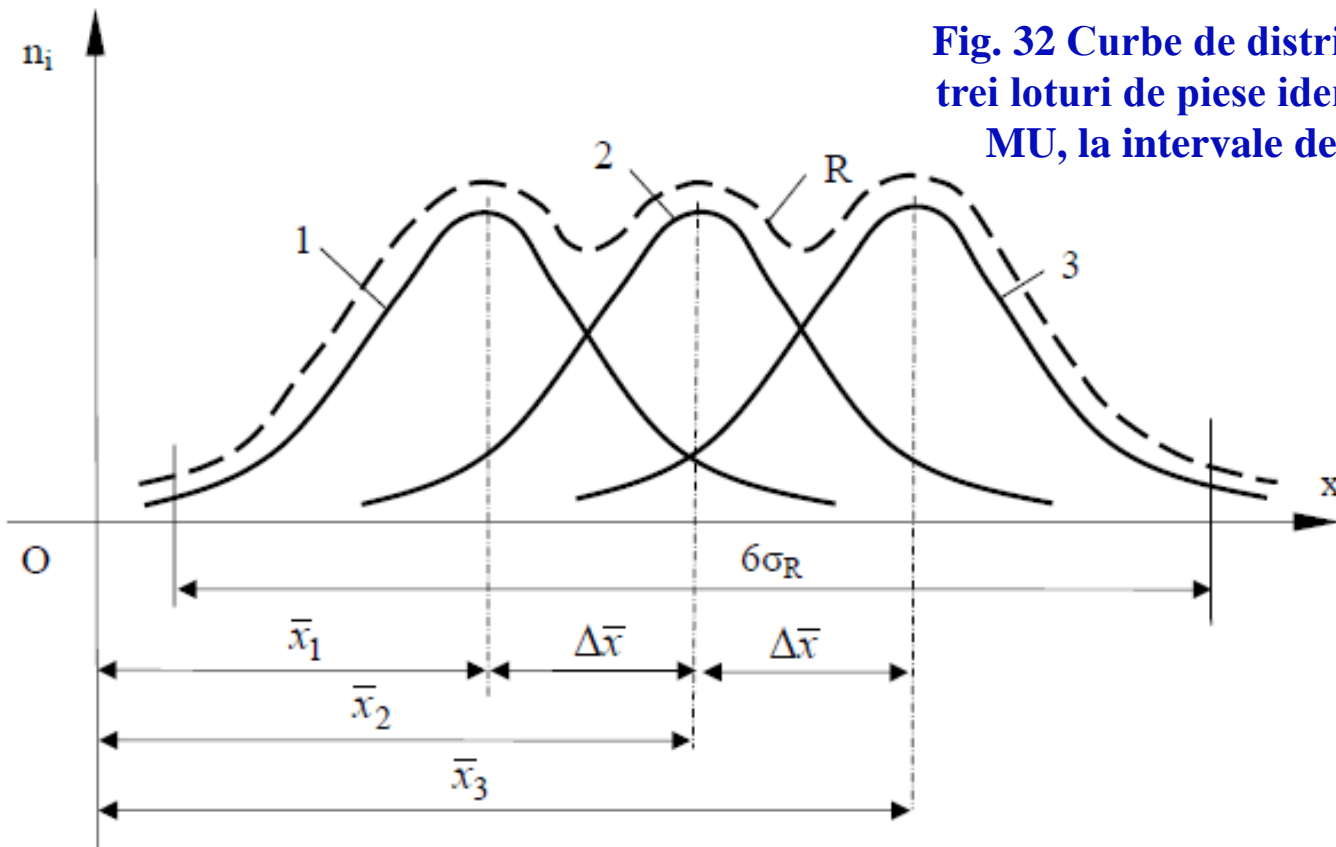


Fig. 31 Curbe de distribuție – cazul prelucrării a două loturi de piese prelucrate pe aceeași MU, în schimburi diferite [ANC 03]

Două loturi de piese prelucrate pe aceeași mașină-unealtă, dar în schimburi diferite.

Curbe de distribuție simetrice ridicate pentru două loturi de piese prelucrate pe aceeași mașină-unealtă ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$) dar în schimburi diferite, cu scula reglată la cote diferite: $x_1 \neq x_2$ ($n_1 = n_2$). Curba R este curba de distribuție rezultantă pentru cele două loturi de piese amestecate

Fig. 32 Curbe de distribuție – cazul prelucrării a trei loturi de piese identice prelucrate pe aceeași MU, la intervale de timp diferite [ANC 03]



Trei loturi de piese identice prelucrate pe aceeași mașină-unealtă, la intervale de timp diferite.

Deplasarea spre dreapta a mediei ponderate cu cantitatea Δx se datorează uzurii în timp a sculei așchietoare, care conduce la erori sistematice variabile progresiv.

Bibliografie

[ANC 03] – Ancău M., - Tehnologia Fabricației. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2003

[BER 86] – Berce P., - Tehnologia fabricării și reparării utilajelor tehnologice, Atelierul de multiplicat al Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1986

[GYE 91] – Gyenge Cs., ș.a – Tehnologia fabricării mașinilor, UTC-N 1991

[FRA 11] – Frățilă D., ș.a – Tehnologii de fabricație, Îndrumător de lucrări de laborator, Editura U.T. Press 2011

<http://www.creeaza.com/tehnologie/tehnica-mecanica/Scule-aschietoare481.php>