

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICA**

**Ing.Mircea-Marius URDEA**

**CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA  
CARACTERISTICILOR METROLOGICE  
ALE SISTEMELOR DE CONTROL ACTIV  
PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND**

**TEZA DE DOCTORAT**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

628.014  
369 A

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC  
PROF.DR.ING.LUCIAN BAGIU**

**2001**

## 1. INTRODUCERE

Creșterea performanțelor tehnice ale mașinilor, utilajelor, instalațiilor și aparatelor de măsură și control a fost și este condiționată de creșterea preciziei de execuție a pieselor și de calitatea mijloacelor de măsurare și control cu care se fac verificările acestora.

Precizia de execuție a reperelor precum și a montării lor asigură în plus o durabilitate mai mare a acestora și o reducere substanțială a nivelului de zgomot în timpul funcționării.

Studiul și cunoașterea legilor referitoare la execuția reperelor, a posibilităților de obținere a preciziilor impuse precum și aparatelor de control a calității, toate în strânsă interdependență reprezintă unica cale de creștere a preciziei dimensionale de formă și calitate a suprafeței în construcția de mașini.

Prezenta lucrare își propune să cerceteze procesul de lucru pe mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri în ideea aliniatului precedent, având în vedere că la majoritatea pieselor utilizate în construcția de mașini și aparate, precizia se obține prin acest proces, deocamdată de neînlocuit. La obținerea preciziei impuse participă mașina - unealtă, piesa ce urmează a se supune rectificării, sistemul de control utilizat, condițiile de răcire, modul de realizare a rectificării, parametrii regimului de lucru, caracteristicile pietrei abrazive și starea suprafeței de așchiere etc.

Mașina de rectificat participă la obținerea preciziei prin precizia ei geometrică, precizia de lucru și calitatea reglajelor.

Semifabricatele influențează precizia prin factorii lor specifici dintre care cei mai importanți sunt:

- forma constructivă și dimensiunile pe care le are;
- variația adaosului de prelucrare obținută de la prelucrările anterioare rectificării;
- variația durtății materialului;
- precizia de instalare pe mașina - unealtă în vederea rectificării.

Sistemul de control activ prin care se comandă ciclul de rectificare influențează prin: caracteristicile metrologice ale dispozitivului propriu-zis; calitatea senzorului care transformă variația de dimensiune în mărime electrică

de comandă; modul în care palpează dimensiunea semifabricatului; locul pe mașina - unealtă în care face verificarea, precizia de montare pe mașină etc.

Lichidul de răcire influențează în sensul evacuării căldurii din zona de așchiere evitându-se astfel, pe de o parte deformațiile termice ale piesei prinsă între vârfuri, iar pe de altă parte eliminarea condițiilor de apariție a microfisurilor în stratul superficial al piesei din cauza transformărilor structurale, știind că în zona de așchiere apar temperaturi ce depășesc punctele de transformare.

Procedeul de rectificare, cu avans longitudinal sau cu avans transversal, influențează prin intermediul forțelor care sunt generate în fiecare dintre ele, care la rândul lor provoacă deformații elastice ale sistemului tehnologic elastic (mașină - unealtă, piesă, dispozitiv, sculă) cu efecte negative asupra preciziei.

Parametrii regimului influențează prin forțele care le generează cu efectul amintit anterior, prin gradul de uniformitate în care se mențin în perioada desfășurării fazelor de lucru și prin constanța avansului de pătrundere.

La mașinile de rectificat rotund exterior universale, de regulă, piatra abrazivă nu se schimbă. Ca urmare capacitatea așchietoare a suprafeței are o influență de prim rang asupra preciziei dimensionale, a preciziei de formă, asupra calității suprafeței și asupra capacității de producție a mașinii.

În contextul celor prezentate mai sus în lucrare se va face o abordare sistemică a tuturor factorilor care participă în procesul rectificării rotunde exterioare având drept scop, pe de o parte creșterea preciziei și calității suprafeței pieselor rectificate, iar pe de altă parte crearea unor condiții cât mai bune pentru controlul dimensiunilor de către sistemele de control activ. Aici vor interveni analize complexe ale caracteristicilor metrologice ale întregului ciclu de măsurare.

Finalizarea acestei teze nu ar fi fost posibilă fără îndrumarea competentă, îndemmurile frecvente de intensificare a preocupărilor privind elaborarea prezentei lucrări și sprijinul permanent, toate oferite cu multă generozitate de către conducătorul științific Prof.dr.ing.Lucian Bagiu căruia îi adresez pe această cale deosebite cuvinte de mulțumire.

Aduc mulțumiri colegilor de la Catedrele T.C.M și T.M pentru înțelegerea și sprijinul acordat la realizarea lucrării de față.

## 2. STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL CONTROLULUI ACTIV

Introducerea controlului activ pe mașinile prelucrătoare și în special pe mașinile de rectificat, pe care de regulă se realizează prelucrarea finală a pieselor s-a extins și modernizat continuu în scopul reducerii timpilor auxiliari pe de o parte, iar creșterea preciziei dimensionale pe de altă parte. [84], [12], [20], [53], [47].

Cercetările efectuate pe plan mondial cuprind de regulă tratarea independentă și parțială a influenței factorilor prelucrării asupra preciziei, respectiv studiul și construcția sistemelor de control activ.

În lucrările [84], [56], [21], [85], [47], [90], [92], [8], [30], [2] sunt cercetate și prezentate în detaliu influențele factorilor tehnologici asupra preciziei de prelucrare la operațiile de strunjire, frezare, alezare etc.

Lucrările [56], [112], [47], [31], [85], [26], [92] cuprind probleme referitoare la principiile de funcționare, construcție a sistemelor de control activ și automatizarea controlului pe mașinile de prelucrat prin așchiere.

Aspectele legate de influența factorilor la rectificare și utilizarea sistemelor de control activ pe mașini de rectificat sunt prezentate în lucrările [2], [3], [6], [104], [24], [74].

Din cercetarea bibliografică efectuată se constată lipsa unei abordări sistemice a tuturor factorilor asupra preciziei și stabilirea soluțiilor optime pentru creșterea performanțelor sistemelor de control activ astfel încât dimensiunile măsurate să reflecte cât mai fidel dimensiunile reale.

În ultima vreme se constată și o extindere a comenzilor numerice pe mașinile de rectificat rotund exterior. La asemenea mașini se pune problema necesității sau nu a controlului activ. Se precizează că funcția sistemului de control activ nu poate fi realizată de comanda numerică. Acest lucru este justificat prin aceea că, în cazul comenzii numerice controlul cotelor se realizează în mod indirect prin controlul deplasărilor subansamblelor de execuție

ale mașinii. Controlul acestor deplasări însă nu poate ține seama de deformațiile sistemului tehnologic elastic (deformații de ordinul micrometrilor) care influențează hotărâtor abaterile dimensiunilor efective. Singurul sistem capabil să verifice variația dimensiunii până la cuprinderea ei în câmpul de toleranță prescris este sistemul de control activ.

Chiar dacă comanda numerică dispune de o capacitate mare de prelucrare a cotelor (până la ordinul micrometrilor) ea nu e capabilă să dea informații precise asupra dimensiunilor realizate prin prelucrare tocmai din cauza deformațiilor elastice ale subansamblurilor mașinii.

În concluzie mașinile de rectificat cu comandă numerică sunt și trebuie să fie înzestrate cu sisteme de control activ.

### **3. ANALIZA FACTORILOR CARE INFLUENȚEAZĂ PRECIZIA DE PRELUCRARE PE MAȘINI DE RECTIFICAT**

#### **3.1 PROCEDURE LA RECTIFICAREA ROTUNDĂ EXTERIOARĂ ȘI REPARTIȚIA ADAOSULUI DE PRELUCRARE**

Rectificarea prezintă de regulă prelucrarea finală a suprafețelor pieselor călite sau necălite. Indicii de bază ai rectificării sunt precizia dimensională, precizia de formă, calitatea suprafeței și volumul de material îndepărtat în unitatea de timp, respectiv capacitatea de producție a mașinii.

Oricare dintre procesele de rectificare este eficient dacă realizează indicii de calitate menționați și o capacitate de producție cât mai mare.

Adaosul de prelucrare la rectificare în jur de maximum 2 mm pe diametru se îndepărtează în cele 3 faze ale ciclului de rectificare: la degroșare circa 80%; la finisare restul de 20%, iar la faza de destindere procesul se desfășoară fără avans transversal, îndepărtarea adaosului făcându-se ca urmare a deformațiilor elastice generate în fazele de degroșare și finisare. Procesul se consideră încheiat când în zona de contact dintre piatră și piesă nu mai apar scânteii. Prin urmare, dimensiunea și calitatea suprafeței piesei se obțin prin scăderea treptată până la dispariția completă a forțelor din sistemul tehnologic. Din acest motiv prelucrările pe mașinile de rectificat se deosebesc substanțial de prelucrările pe celelalte tipuri de mașini la care forțele de așchiere sunt prezente pe toată durata prelucrării. Se poate considera deci la rectificare că precizia este puternic influențată de precizia geometrică a mașinii și de precizia reglajului ei.

La prelucrările pe mașini de rectificat rotund exterior se deosebesc două procedee de rectificare: rectificarea cu avans longitudinal și rectificarea cu avans transversal sau de pătrundere. Primul procedeu (fig.3.1.a) se aplică pieselor cilindrice și conice de lungime mare, iar cel de-al doilea procedeu (fig.3.1.b) la piesele cilindrice și conice de lungime mică.

Mișcările care intervin la cele două procedee de prelucrare sunt după cum urmează: viteza,  $v_{PR}$ , a pietrei abrazive, viteza mesei  $v_m$ , viteza piesei  $v_p$  și mișcarea de avans transversal ( $s_d$  respectiv  $s_f$ ). Se observă că la rectificarea cu avans de pătrundere viteza  $v_m$  a mesei este egală cu zero. De fapt acest procedeu

se utilizează la rectificarea pieselor la care lungimea suprafeței de rectificat este cel mult egală cu înălțimea pietrei abrazive.

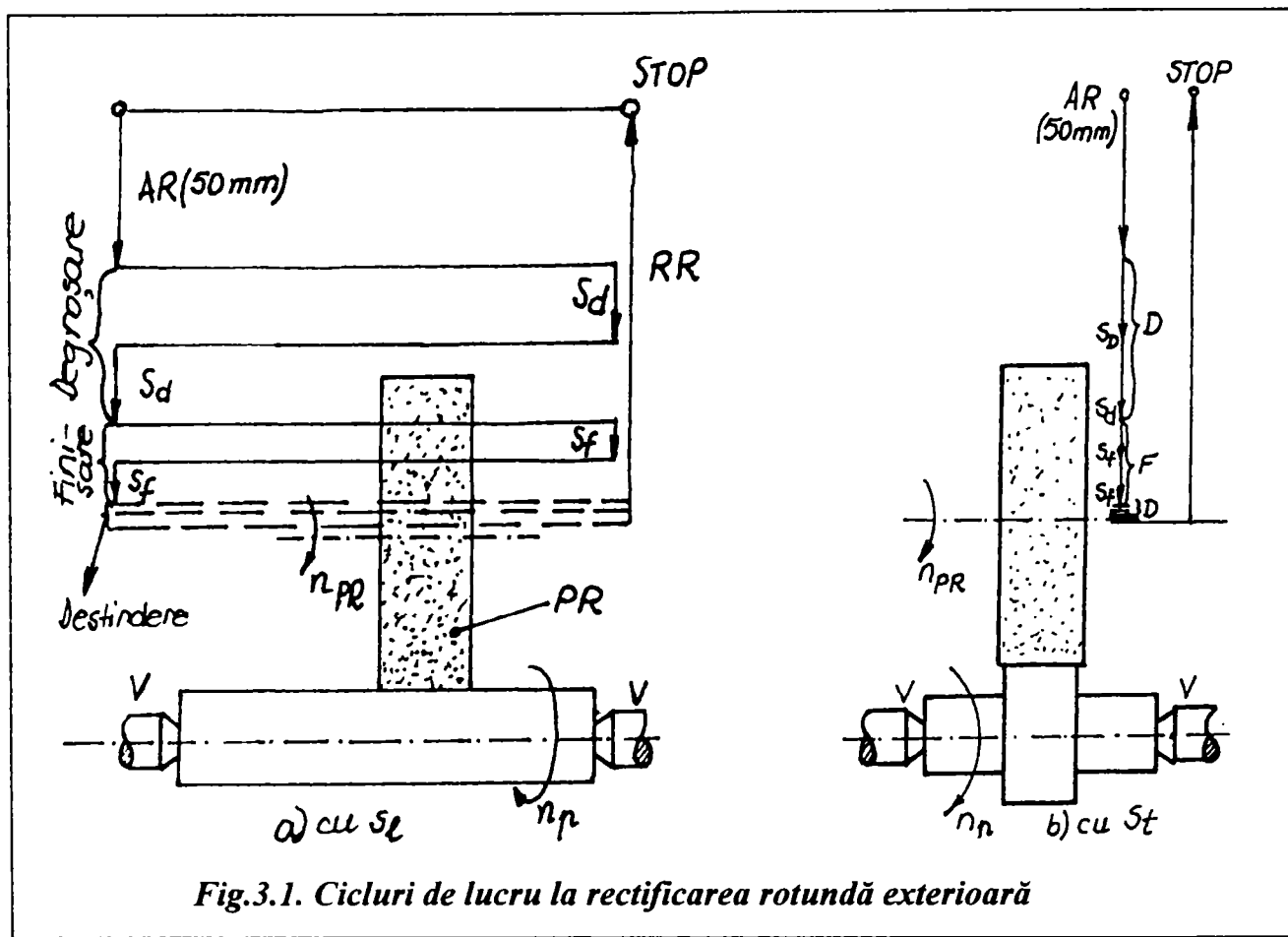


Fig.3.1. Cicluri de lucru la rectificarea rotundă exterioară

În cazul mașinii de rectificat RE 350 CA pe care s-au făcut încercările valorile medii ale parametrilor sunt  $v_{PR}=30$  m/s;  $n_p=180$  rot/min;  $v_m=10$  m/min;  $s_d=10$   $\mu$ m/rază. Procesul de rectificare este însoțit de o multitudine de factori care se modifică chiar în timpul unei treceri. Factorii care influențează indicii de bază ai procesului de rectificare sunt prezentați în figura 3.2.

Pe baza cercetărilor făcute diferiții factori pot avea influență directă sau indirectă asupra preciziei dimensionale și de formă a piesei rectificate așa cum se observă în tabelul 3.1.

Dimensiunile pieselor pe mașini de rectificat se pot obține prin 3 posibilități: prin treceri de probă și verificarea periodică a dimensiunii de către operator; automat prin oprirea suportului pietrei la cotă fixă (tampon) și prin utilizarea sistemului de control activ.

În prima variantă se poate obține precizie dimensională ridicată, însă capacitatea de producție scade ca urmare a timpilor auxiliari mari necesari pentru verificarea cotelor intermediare.

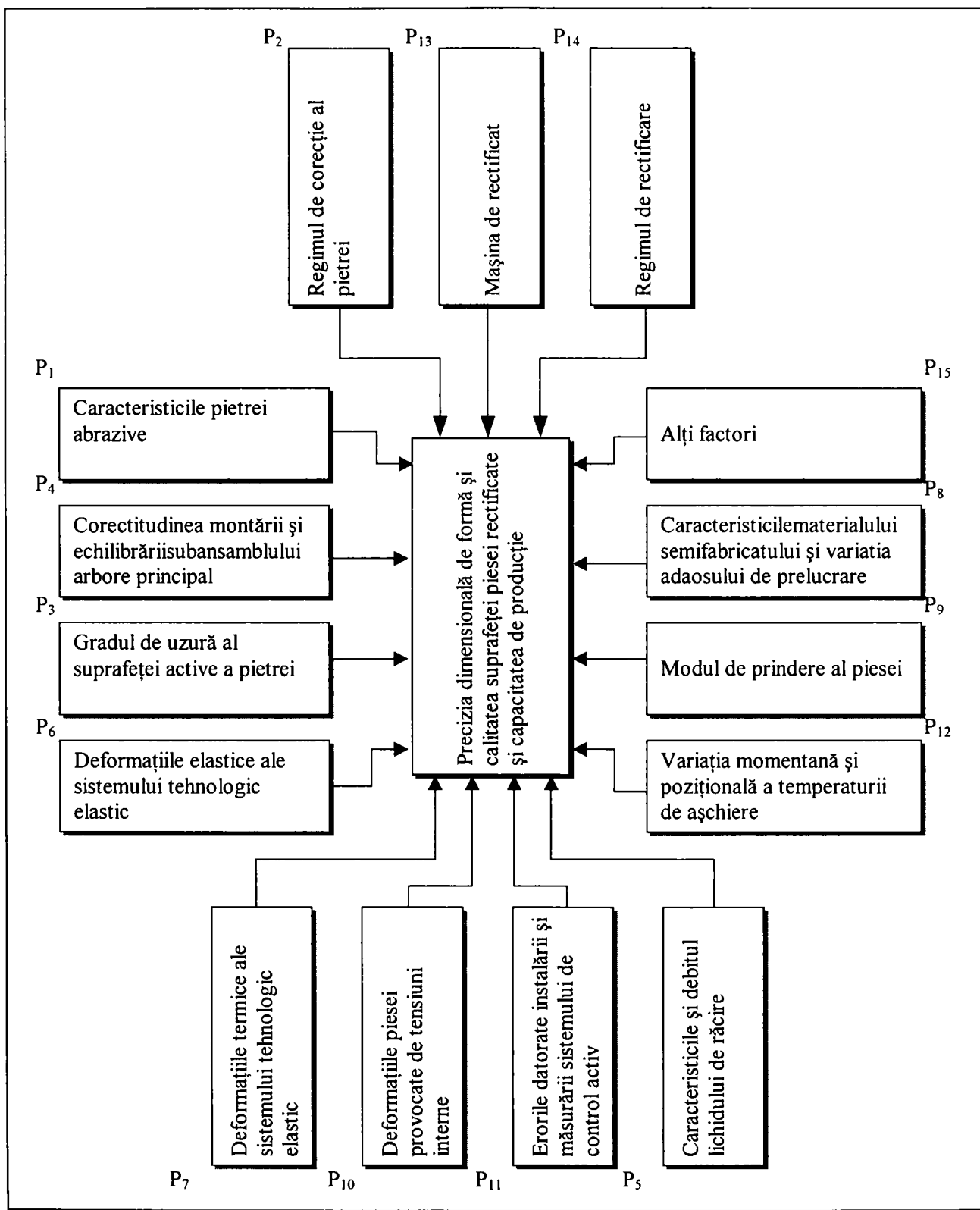


Fig.3.2. Factorii care influențează indicii de bază ai procedului de rectificare



**Tabelul 3.1. Factorii de baza care influenteaza procesul de rectificare**

Factorii de bază care influențează procesul de rectificare	Gradul de influență asupra preciziei	
	Direct	Indirect
Caracteristicile pietrei abrazive	●	
Regimul de corecție al pietrei	●	
Gradul de uzură al suprafeței active a pietrei	●	
Corectitudinea montării și echilibrării subansamblului arbore principal	●	●
Caracteristicile și debitul lichidului de răcire		●
Deformațiile elastice ale sistemului tehnologic elastic	●	
Deformațiile termice ale sistemului tehnologic elastic	●	●
Caracteristicile materialului semifabricatului și variația adaosului de prelucrare	●	
Modul de prindere a piesei	●	
Deformațiile piesei provocate de tensiunile interne	●	●
Erorile datorate instalării și măsurării sistemului de control activ	●	●
Variația momentană și pozițională a temperaturii de așchiere	●	●
Mașina de rectificat	●	
Regimul de rectificare	●	
Alți factori	●	●

La rectificările cu oprirea suportului la cotă fixă, dimensiunile realizate sunt afectate de uzura pietrei în perioada ei de durabilitate, de deformațiile elastice și termice ale sistemului tehnologic elastic. Ele împreună cu corecția pietrei nu pot fi compensate decât numai printr-o re-reglare a sistemului. Din aceste motive rectificarea cu oprire la tampon permite realizarea dimensiunilor în clasele de precizie 2 și 3. În acele cazuri în care perioada de durabilitate a pietrei este mică se impun sisteme de corecție pentru compensarea și re poziționarea corectă a suportului pietrei de rectificat.

Varianta cu sistem de control activ al dimensiunii este cea mai eficientă atât din punct de vedere a obținerii dimensiunii necesare inclusiv în clasa 1-a de precizie cât și a creșterii capacității de producție, întrucât ciclul de lucru este continuu, fără întreruperi.

### ***3.1.1. Influența preciziei geometrice a mașinii***

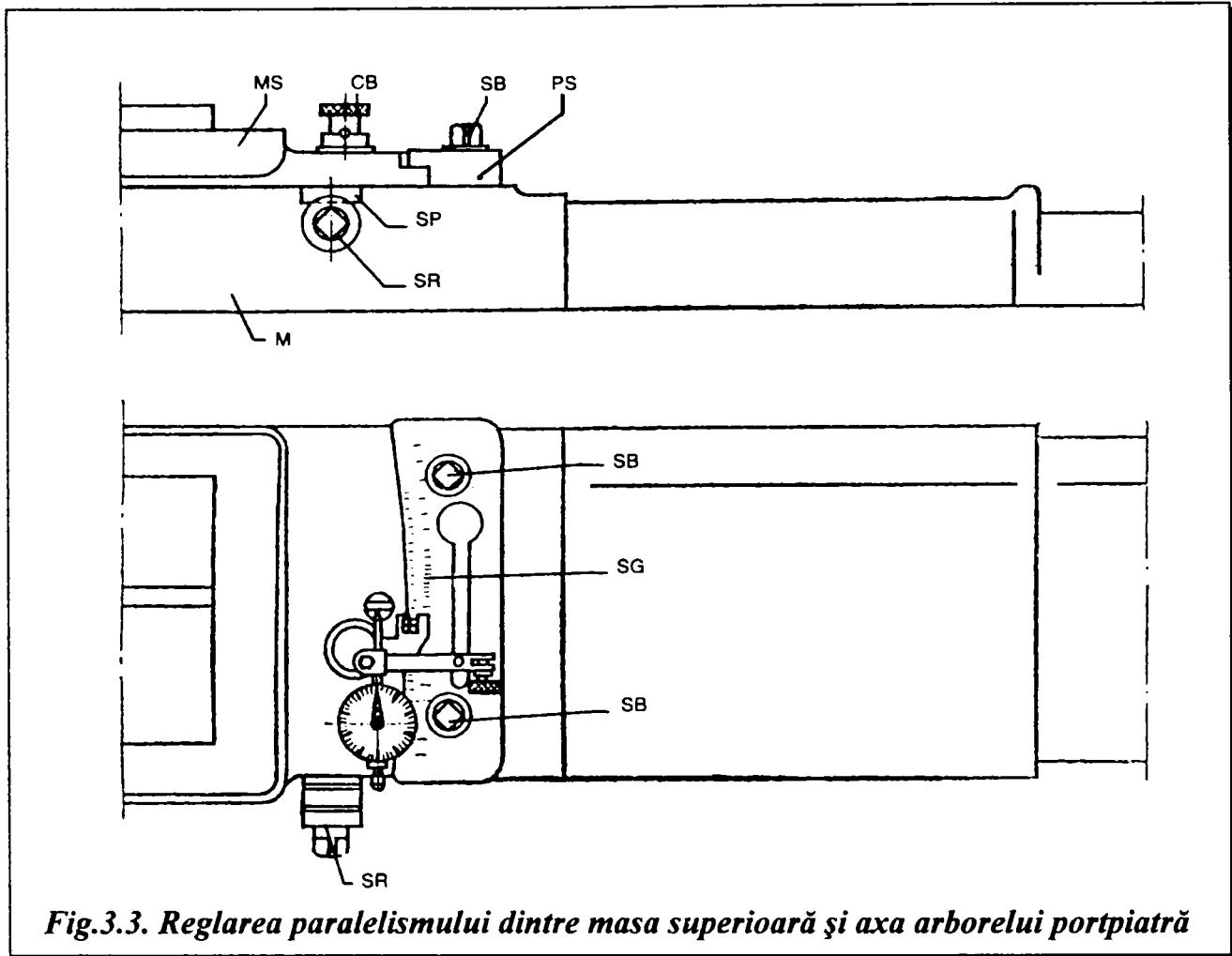
Precizia pieselor rectificate este puternic influențată de precizia pieselor componente ale mașinii și de precizia pozițiilor reciproce ale subansamblelor mașinii unele față de altele. Pentru fiecare tip de mașină – unealtă normele STAS [123] cuprind abaterile de la precizia geometrică, modul în care se fac verificările de precizie geometrică precum și dispozitivele și verificatoarele ce trebuie utilizate în acest scop. Este de asemenea important ca în timpul verificărilor de precizie geometrică mașina să fie amplasată corect pe fundație, iar greutatea mașinii să fie preluată uniform de către punctele de sprijin. Abaterea de la orizontalitate determinată cu ajutorul fațetelor de ghidare să nu depășească pe două direcții perpendiculare abaterea de 0,02 mm/ml.

Amplasarea propriu-zisă pe fundație trebuie să se facă în conformitate cu prevederile din documentația tehnică elaborată de constructorul mașinii, folosindu-se pentru punerea la orizontalitate șuruburile de reglare existente în dotarea mașinii.

O precizie geometrică superioară asigură mișcări precise de deplasare și de rotație, mișcări care participă direct la realizarea dimensiunii cerute.

Tot legat de precizia geometrică se pot trata reglajul paralelismului dintre axa arborelui portpiatră și axa vârfulilor și poziționarea păpușii portpiesă în cazul rectificărilor suprafețelor conice scurte.

Atât pentru asigurarea paralelismului, cât și pentru rectificarea pieselor cu conicități mici, masa superioară MS (fig.3.3) are posibilitatea să se rotească pe masa M a mașinii și să se poziționeze prin intermediul scării gradate SG.



**Fig.3.3. Reglarea paralelismului dintre masa superioară și axa arborelui portpiatră**

Scara gradată este divizată în grade unghiulare și în rapoarte de conicitate. Reglarea grosieră a rotirii mesei MS se realizează prin slăbirea șuruburilor de blocare SB ale plăcilor de strângere stânga și dreapta, ridicarea cepului de blocaj CB și rotirea manuală a mesei MS. Se lasă cepul de blocaj astfel încât semipiulița SP să se îmbine cu filetul șurubului de reglare SR. Cu SR și utilizând eventual un comparator cu valoarea diviziunii de 1 μm se face poziționarea precisă a mesei MS față de masa M respectiv de axa arborelui portpiatră. La baza reglării stă schema de calcul din figura 3.4.

La distanța “l” masa trebuie să se rotească cu valoarea “a”, adică:

$$a = \frac{D - d}{2}, \quad (3.1)$$

iar la distanța “L” cu valoarea:

$$A = \frac{l}{L \cdot a}, \quad (3.2)$$

în care L este o constantă pentru fiecare mașină având valori funcție de lungimea de rectificare.

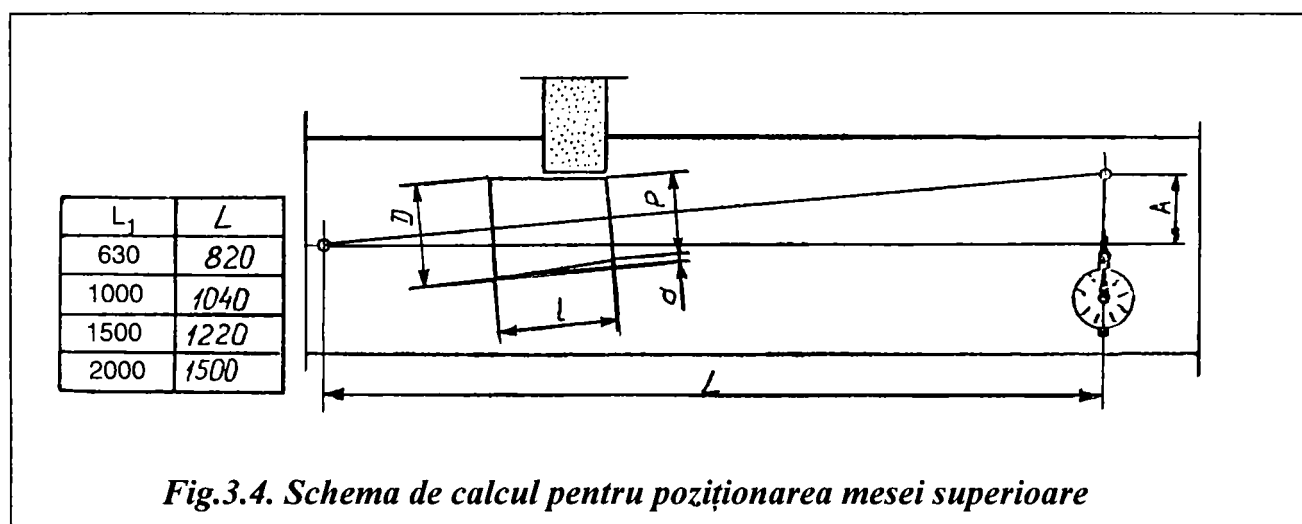


Fig.3.4. Schema de calcul pentru poziționarea mesei superioare

În vederea rectificărilor suprafețelor conice scurte sau chiar a unor suprafețe plane păpușa portpiesă se poate roti în jurul unei axe verticale cu ajutorul scării gradate amplasată la partea inferioară a păpușii.

### 3.1.2. Influența preciziei de lucru a mașinii

Pentru realizarea preciziei impuse piesei supuse rectificării, precizia geometrică a mașinii este necesară dar insuficientă. Precizia piesei este dată de precizia dinamică a mașinii care este influențată de: rigiditatea mașinii, deformațiile termice și stabilitatea la vibrații. Datorită acestor factori piesele rectificate au abateri față de forma cilindrică teoretică. Aceste abateri (fig.3.5) pot fi: în secțiune longitudinală (forma de butoi, de conicitate, de mosor, alte forme) și în secțiune transversală (de la circularitate).

Abaterile din prima grupă se datorează erorii de reglaj a paralelismului dintre axa vârfulor și axa arborelui portpiatră, peste care se suprapun erorile care sunt provocate de deformațiile elastice ale sistemului tehnologic elastic din cauza variației rigidităților și erorile generate de deformațiile termice.

Deformațiile elastice sunt provocate de variația componentelor forței de rectificare, în principal de componenta  $F_x$  radială a acesteia. Ea este variabilă în câmpul bidimensional al mașinii pe durata unei treceri. Celelalte două componente  $F_y$  și  $F_z$  au o influență mult mai mică asupra preciziei dimensionale și de formă a pieselor supuse rectificării.

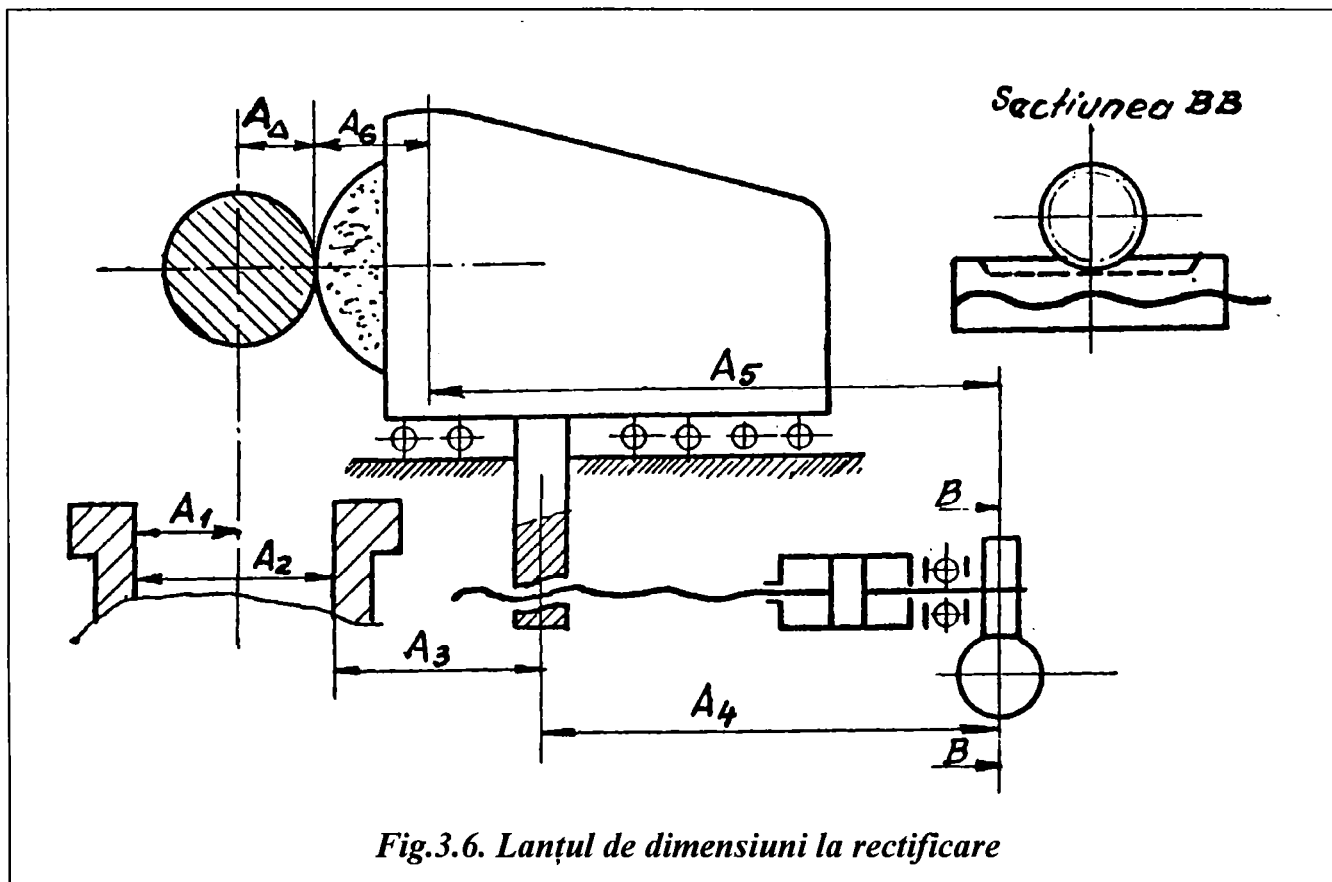
Abaterile de la circularitate se datorează deformațiilor amintite anterior la care se mai adaugă bătăile radiale ale piesei datorită erorilor de prelucrare ale vârfulor de centrare, deformațiile lagărului din față a arborelui principal și deformațiile de contact de la mecanismul șurub-piuliță a saniei transversale.

Având în vedere influența mare a rigidității asupra preciziei, în continuare este analizată în mod mai amănunțit.



### 3.1.2.1. Influența rigidității sistemului tehnologic elastic asupra preciziei

Ținând cont de cele de mai sus în cele ce urmează se analizează influența rigidității STE asupra dimensiunii piesei considerată ca element de închidere al unui lanț de dimensiuni (fig.3.6) [15]. Obținerea preciziei dimensiunii piesei, respectiv a preciziei dimensiunii elementului de închidere  $A_{\Delta}$  al lanțului este posibilă prin controlul deformațiilor în sistemul tehnologic elastic.



Deformația  $y$  într-un punct din câmpul bidimensional al mașinii se exprimă cu relația [94]:

$$y = \frac{F_e}{J_{STE}}, \quad (3.3)$$

în care:

$F_e$  - forța echivalentă a cărei moment este egal cu suma momentelor componentelor forței de rectificare față de polul momentan de rotație;

$J_{STE}$  - rigiditatea sistemului tehnologic elastic.

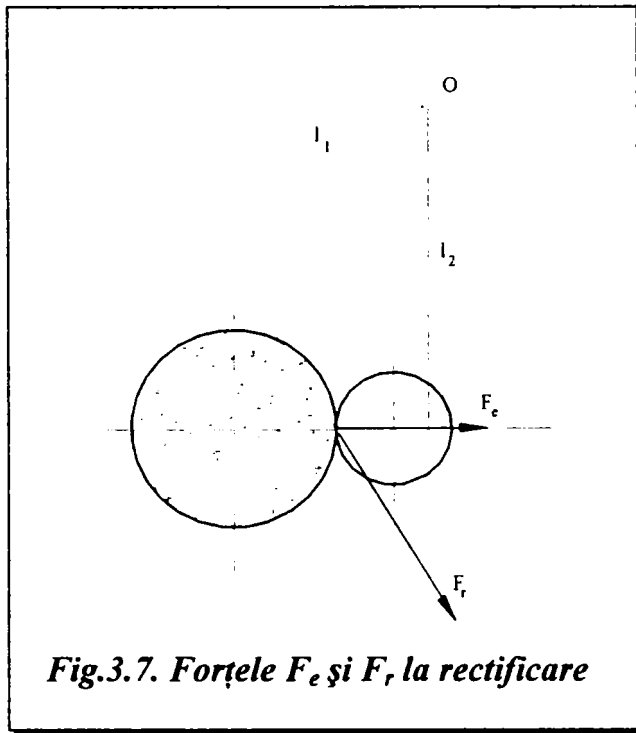


Fig.3.7. Forțele  $F_e$  și  $F_r$  la rectificare

Pentru determinarea lui  $v$  se impune determinarea forței  $F_e$  și a rigidității  $J_{STE}$ .

Determinarea forței  $F_e$  se face considerând schița din figura 3.7. Forța  $F_r$  este rezultanta componentelor  $F_y$  și  $F_x$ , componenta  $F_z$  având influența neglijabilă.

Din egalitatea momentelor forțelor față de polul momentan de rotație O, rezultă forța echivalentă

$$F_e = F_r \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} = F_r \cdot \varphi, \quad (3.4)$$

în care  $\varphi$  este raportul celor două brațe.

Mărimile brațelor  $\ell_1$  și  $\ell_2$  pot fi determinate cunoscând coordonatele a

două puncte de aplicație succesivă a celor două forțe A și A' și respectiv B și B' (fig.3.8). Polul momentan al rotațiilor a celor două drepte AA' și BB' se găsește la intersecția perpendicularelor NN și N'N' pe mijlocul celor două drepte.

Ecuatiile celor două perpendiculare sunt:

$$\begin{cases} \text{pentru NN: } z - z_2 = k_1(y - y_2) \\ \text{pentru N'N': } z - z'_2 = k'_1(y - y'_2) \end{cases} \quad (3.5)$$

a căror intersecție dă coordonatele polului  $y_0$  și  $z_0$ . Pentru aceasta se scriu amândouă ecuațiile sub formă canonică:

$$\begin{cases} Ay + Bz + C = 0 \\ A'y + B'z + C' = 0, \end{cases} \quad (3.6)$$

unde:

$$A = k_1; \quad B = -1 \text{ și } C = z_2 - k_1 \cdot y_2;$$

$$A' = k'_1; \quad B' = -1 \text{ și } C' = z'_2 - k'_1 \cdot y'_2.$$

Înlocuind valorile găsite în sistemul (3.6) și rezolvând în raport cu  $y$  și  $z$ , rezultă coordonatele polului:

$$\begin{cases} y_0 = \frac{z'_2 - z_2 + k_1 y_2 - k'_1 y'_2}{k_1 - k'_1} \\ z_0 = \frac{k_1 z'_2 - k'_1 z_2 + k_1 k'_1 (y_2 - y'_2)}{k_1 - k'_1} \end{cases} \quad (3.7)$$

Având determinate coordonatele polului momentan de rotație se poate determina forța echivalentă  $F_e$ .

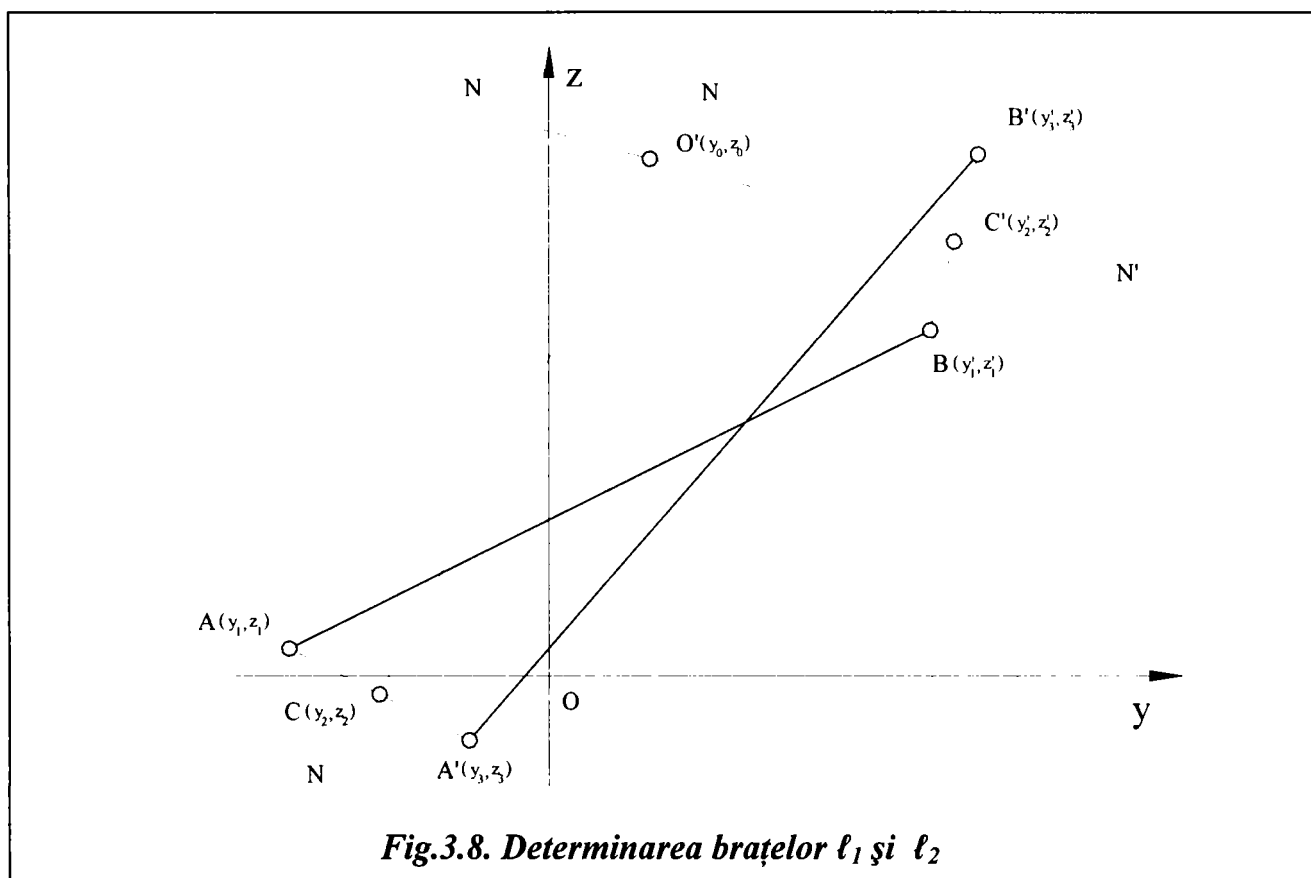


Fig.3.8. Determinarea brațelor  $l_1$  și  $l_2$

Introducerea forței echivalente  $F_e$  pentru determinarea deformațiilor elastice caracterizează mai deplin fenomenul concret, având în vedere caracterul variabil al forțelor de așchiere atât ca mărime, cât și ca direcție.

În continuare se urmărește a se stabili dependența funcțională dintre deformațiile sistemului tehnologic elastic după direcția forței echivalente  $F_e$  și mărimea acestei forțe considerată constantă în primă aproximație. Mai întâi se vor analiza deformațiile părților componente ale mașinii de rectificat: păpușa mobilă și păpușa portpiesă, obiectul și păpușa pietrei.

Se presupune că între vârfurile mașinii se rectifică o piesă cilindrică cu diametrul  $d$  și cu lungimea  $L$ . La o asemenea prelucrare apar următoarele deformații:

1. Vârfurile păpușilor, portpiesă și mobile, se vor deplasa elastic cu valorile  $y_{pp}$  și  $y_{pm}$ , care depind de mărimea, direcția și punctul de aplicație al forțelor de-a lungul piesei precum și de rigiditatea subsansamblurilor respective. La prelucrarea cu forță constantă pe măsura deplasării pietrei de-a lungul piesei, valorile  $y_{pm}$  și  $y_{pp}$  se schimbă și în consecință axa piesei se va roti descriind curba dată de ecuația cunoscută.



$$y_a = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{F_e}{j_{pp}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pm}}, \quad (3.8)$$

în care:  $x$  este distanța de la punctul de aplicație al forței până la păpușa portpiesă;  $L$  - lungimea piesei.

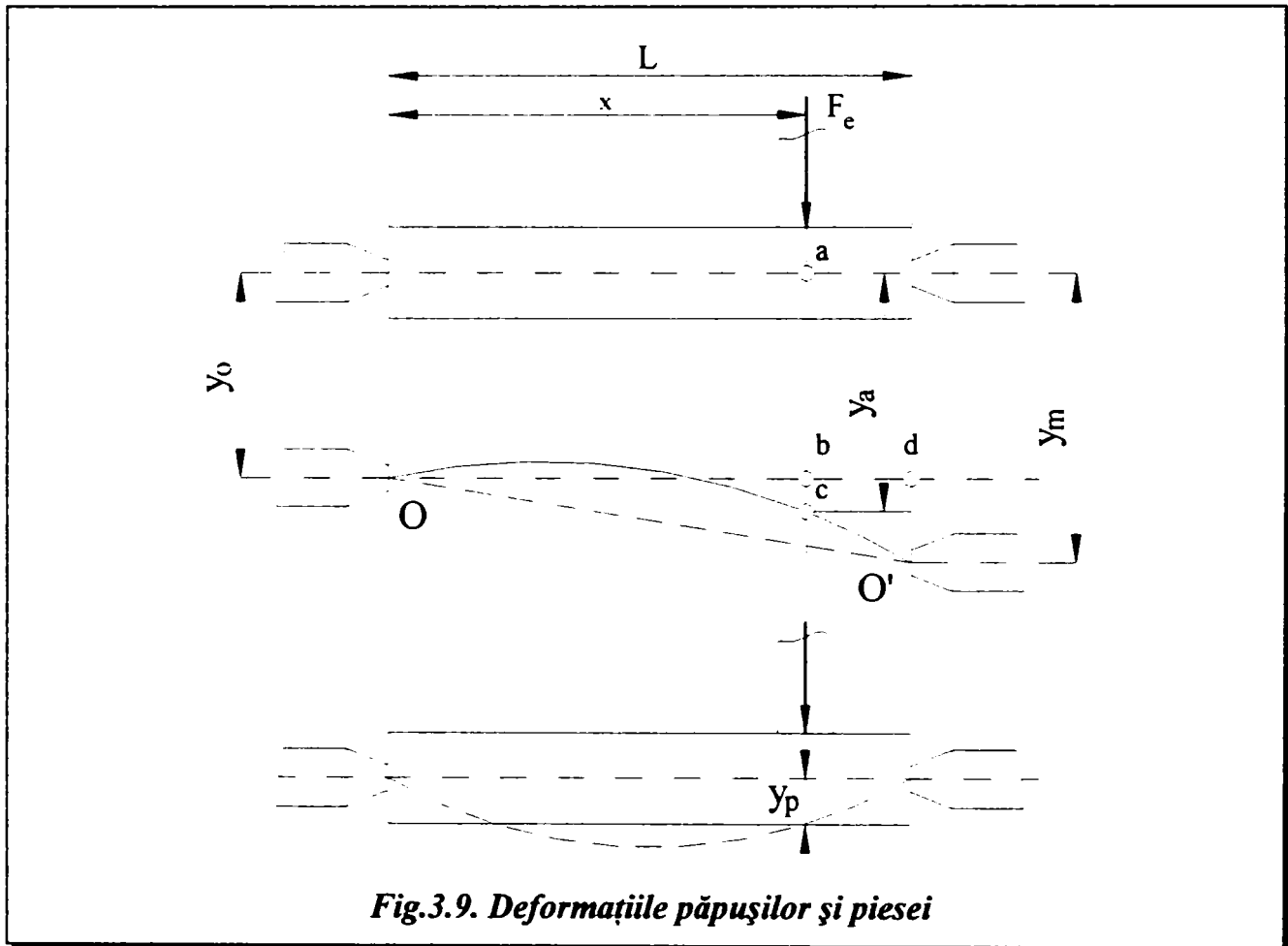


Fig.3.9. Deformațiile păpușilor și piesei

Din schema din figura 3.9 se observă că deplasarea elastică  $y_a$ , a axei piesei, măsurată într-o secțiune la distanța  $x$  de păpușa obiectului, este egală cu:

$$y_a = ab + bc = y_{pp} + bc \quad (3.9)$$

Din asemănarea triunghiurilor  $obc$  și  $odo'$  rezultă că:

$$bc = \frac{x}{L}(y_{pm} - y_{pp}) \quad (3.10)$$

Urmează că:

$$y_c = y_{pp} + \frac{x}{L}(y_{pm} - y_{pp}) = \left(1 - \frac{x}{L}\right)y_{pp} + \frac{x}{L} \cdot y_{pm} \quad (3.11)$$

Dacă reacțiunile, din vârfuri, au valorile:

$$R_{pp} = F_e \left(1 - \frac{x}{L}\right) \text{ si } R_{pm} = F_e \cdot \frac{x}{L}, \quad (3.12)$$

atunci:

$$\begin{cases} y_{pp} = \frac{F_e \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{j_{pp}} \\ y_{pm} = \frac{F_e \frac{x}{L}}{j_{pm}}, \end{cases} \quad (3.12)$$

iar după înlocuiri se obține:

$$y_a = \left(1 - \frac{x}{L}\right) y_{pp} + \frac{x}{L} y_{pm} = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \frac{F_e \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{j_{pp}} + \frac{x}{L} \cdot \frac{F_e \cdot \frac{x}{L}}{j_{pm}}$$

de unde rezultă relația (3.8):

$$y_a = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pp}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pm}}.$$

Dacă în ecuația (3.8) se exprimă rigiditățile prin deformațiile subansamblelor păpușii portpiesă și păpușii mobile, se obține curba descrisă de axa obiectului:

$$y_a = \frac{y_{pp} + y_{pm}}{L^2} \left(x - L \frac{y_{pp}}{y_{pp} + y_{pm}}\right)^2 \frac{y_{pp} \cdot y_{pm}}{y_{pp} + y_{pm}}, \quad (3.13)$$

care nu este altceva decât ecuația unei parabole a cărei vârf are coordonatele:

$$\lambda = L \frac{y_{pp}}{y_{pp} + y_{pm}} \quad \text{și} \quad \mu = \frac{y_{pp} \cdot y_{pm}}{y_{pp} + y_{pm}}. \quad (3.14)$$

În felul acesta, axa obiectului ia forma unei parabole datorită deformațiilor elastice a celor două vârfuri, respectiv ale celor două păpuși.

## 2. Deformația piesei

Sub acțiunea forțelor de așchiere, piesa prinsă între vârfuri are deformații proprii, ceea ce face ca axa ei să se încovoie după o curbă (fig.3.9.b),

$$y_p = \frac{F_e \cdot x^2 (L - x)^2}{3EJL}, \quad (3.15)$$

în care:

E este modulul de elasticitate;

J - momentul de inerție.

Deformația celor două păpuși și a obiectului este dată de suma celor două deformații:

$$y'_a = y_a + y_p = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pp}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pm}} + \frac{F_e \cdot x^2 (L-x)^2}{3EJL} \quad (3.16)$$

La prelucrarea pieselor suficient de rigide, când deformațiile piesei au valori foarte mici, ultima parte a formulei (3.16) poate fi neglijată.

3. Deformațiile elastice ale subansamblului pietrei de rectificat. Acestea cuprind:

- deformația arborelui portpiatră;
- deformația după direcția deplasării transversale;
- deformația elastică a pietrei comprimată între arbore și piesă.

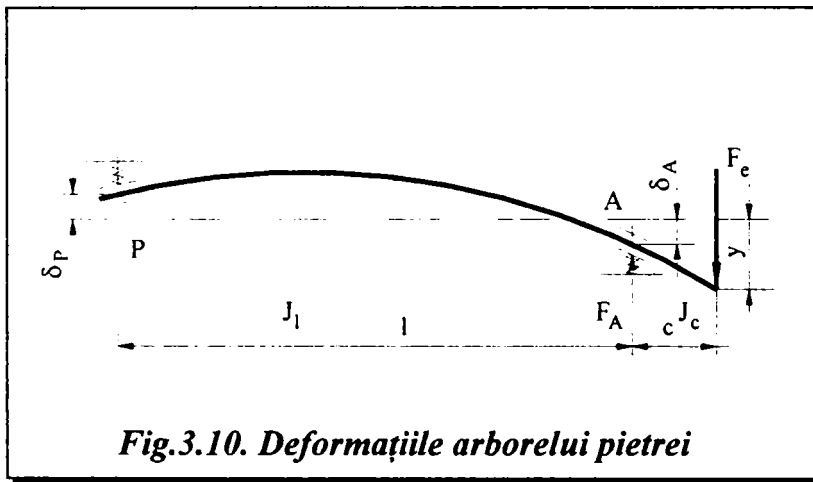


Fig.3.10. Deformațiile arborelui pietrei

O particularitate a modului de solicitare a acestui subansamblu constă în aceea că punctul de aplicație al forței rămâne constant în tot timpul rectificării, ceea ce simplifică calculele. Referitor la valoarea forței ar exista două variante și anume:

- când rectificarea se execută cu forță constantă;
- când rectificarea se execută cu forță variabilă.

La rectificarea cu forță constantă valorile deformațiilor sunt date de relațiile:

a) Deformația arborelui  $y$  după direcția forței echivalente (fig.3.10) este dată de relația de mai jos luată din [99]:

$$y_{AP} = F_e \left[ \frac{c^2}{3E} \left( \frac{\ell}{J_t} + \frac{\ell}{J_c} \right) + \left( 1 + \frac{c}{\ell} \right)^2 \frac{\ell}{J_{LA}} + \left( \frac{c}{\ell} \right)^2 \frac{\ell}{J_{LP}} \right], \quad (3.17)$$

în care:

$$J_{LA} = \frac{F_A}{\delta_A}, \quad J_{LP} = \frac{F_P}{\delta_P} \quad \text{și} \quad y = \frac{F}{J_{AP}}, \quad (3.18)$$

iar  $E, J$  modulul de elasticitate și momentele de inerție a porțiunilor de arbore.

b) La mașinile de rectificat avansul transversal se realizează cu mecanism șurub - piuliță, prevăzute cu sisteme de preluare a jocurilor și pretensionare. Sub acțiunea forței echivalente  $F_e$  în aceste mecanisme apar următoarele tipuri de deformații: deformația de contact, deformația șurubului ca o tijă solicitată la compresiune și deformația pasului datorită torsiunii. Datorită preluării jocurilor,

pretensionării și suprafeței mari de contact dintre șurub și piuliță, deformația de contact poate fi neglijată. Deformația la compresiune  $y_{sc}$  a șurubului are valoarea

$$y_{sc} = \frac{4F_e \cdot s}{\pi E d_i^2} \cdot k, \quad (3.19)$$

în care:

$s$  este pasul șurubului;

$E$  - modulul de elasticitate;

$d_i$  - diametrul interior al șurubului;

$k$  - numărul de pași.

Deformația pasului șurubului datorită torsiunii (fig.3.11)  $y_{st}$  are valoarea:

$$y_{st} = \frac{M_t \cdot s^2}{2\pi \cdot G \cdot I_p} \cdot k, \quad (3.20)$$

în care:

$M_t$  este momentul de torsiune aplicat șurubului;

$G$  - modulul de elasticitate transversal;

$I_p$  - momentul de inerție polar.

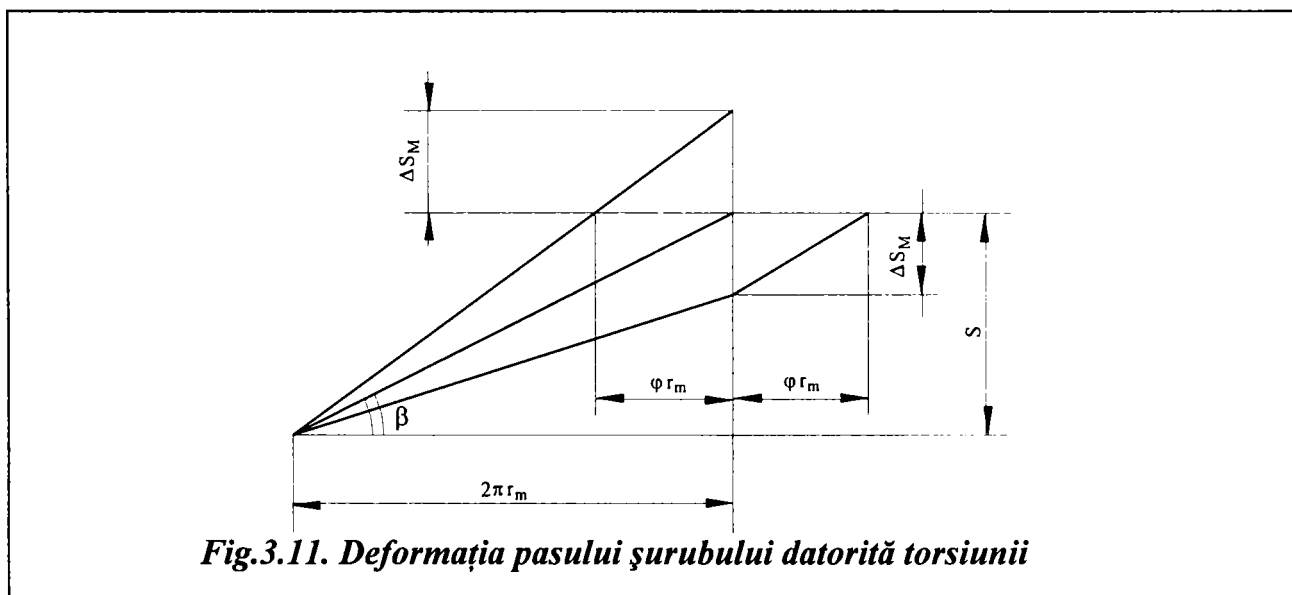


Fig.3.11. Deformația pasului șurubului datorită torsiunii

Prin urmare deformația totală a șurubului va fi:

$$y_s = y_{sc} + y_{st} = \frac{4F_e \cdot s \cdot k}{\pi E d_i^2} + \frac{M_t \cdot s^2 \cdot k}{2\pi \cdot G \cdot I_p} \quad (3.21)$$

c) Pentru măsurarea forțelor la rectificare [38] se arată că traductoarele au fost lipite direct pe suprafața frontală a pietrei de rectificat. Rezultatele cercetărilor au scos în evidență faptul că porțiunea de piatră cuprinsă între piesă și arborele portpiatră se deformează. Să notăm această deformație cu:

$$y_{pr} = k_1 \cdot F_e, \quad (3.22)$$

în care  $k_1$  este coeficient egal cu deformația porțiunii pietrei sub acțiunea unei forțe de 1N.

Deformația totală la păpușa pietrei  $y_{ppr}$  este orientată în sens invers deformației subansamblelor celor două păpuși (portpiesă și mobile) și a piesei, fiind dată de relația:

$$y_{ppr} = F_e \left[ \frac{c^2}{3E} \left( \frac{1}{J_\ell} + \frac{1}{J_c} \right) + \left( \ell + \frac{c}{\ell} \right)^2 \cdot \frac{1}{J_{LA}} + \left( \frac{c}{\ell} \right)^2 \cdot \frac{1}{J_{LP}} \right] + \frac{4 \cdot F_e \cdot s \cdot k}{\pi E \cdot d_i^2} + \frac{M_t \cdot s^2 \cdot k}{2\pi G I_p} + k_1 \cdot F_e \quad (3.23)$$

În final, expresia deformației totale, rezultată din compunerea algebrică a deformațiilor păpușii obiectului, păpușii mobile și obiectului pe de o parte și păpușii pietrei pe de altă parte, este următoarea:

$$y_{STE} = y_a - y_{PPR} = \left( 1 - \frac{x}{L} \right)^2 \cdot \frac{F_e}{j_{pp}} + \left( \frac{x}{L} \right)^2 \cdot \frac{F_e}{j_{pm}} + \frac{F_e \cdot x^2 (L-x)^2}{3EJL} - F_e \left[ \frac{c^2}{3E} \left( \frac{\ell}{J_l} + \frac{\ell}{J_c} \right) + \left( \ell + \frac{c}{\ell} \right)^2 \cdot \frac{1}{J_{LA}} + \left( \frac{c}{\ell} \right)^2 \cdot \frac{1}{J_{LP}} \right] - \frac{4F_e \cdot s \cdot k}{\pi \cdot E \cdot d_i^2} - \frac{M_t \cdot s^2 \cdot k}{2\pi G \cdot I_p} - k_1 \cdot F_e. \quad (3.24)$$

Pentru trasarea concretă a curbilor de deformație a subansamblelor este necesară cunoașterea valorilor rigidităților. În acest scop, în capitolul "Cercetări experimentale" este prezentată instalația de determinare a rigidităților statice a subansamblurilor RE350CA.

### 3.1.2.2. Forțele la rectificarea rotundă exterioară între vârfuri

În vederea determinării deformațiilor sistemului tehnologic elastic se impune determinarea domeniilor de variație a componentelor forței de rectificare, ținând cont de domeniile practice de variație a parametrilor reglabili pe mașina de rectificat rotund exterior între vârfuri.

Componenta principală,  $F_y$  (s-a ținut cont de noul sistem de coordonate), a forței de așchiere, se determină cu relația:

$$F_y = C_F \cdot v_p^{0,7} \cdot s_t^{0,7} \cdot t^{0,6}, \quad [\text{daN}], \quad (3.25)$$

în care:

$C_F=2,0 \dots 2,2$ , coeficient care ține seama de natura materialului de rectificat;

$v_p$  - viteza periferică a piesei, în m/min;

$s_t$  - avansul longitudinal, în mm/rot.piesă;

$t$  - adâncimea de așchiere, în mm.

Pentru determinarea aceleiași componente în [27], [65], este prezentată o altă relație dedusă în funcție de apăsarea specifică pe granulă și de numărul de granule pe generatoarea pietrei, considerând detașarea așchiei la rectificare analoagă cu formarea așchiei la frezare.

Această relație este:

$$F_y = k \cdot \frac{B^m}{e^\mu} \cdot \left( \frac{v_p}{120 \cdot v_d} \right)^{1-\mu} \cdot \sin^{1-\mu} \Phi_{a \max}, \quad (3.26)$$

în care:

$k$  - este rezistența de așchiere [ $\text{daN}/\text{mm}^2$ ] ca o constantă a materialului de rectificat, depinzând și de caracteristicile pietrei abrazive;

$B$  și  $e$  - înălțimea discului și distanța dintre granule, ambele în mm;

$\mu = 0,3 \dots 0,6$  coeficient care depinde de prelucrabilitatea materialului și de starea de uzură a tăișului granulei abrazive;

$r$  și  $v_d$  - raza și viteza periferică a discului de rectificat, în mm și respectiv în m/s;

$v_p$  - viteza de avans a piesei în punctul de contact, în m/min;

$\psi$  - unghiul de contact în radiani, a cărui expresie depinde de tipul de rectificare, expresii care sunt identice cu ale unghiului de contact la tipurile de frezare analoage;

$\Phi_{a \max}$  - unghiul la care grosimea așchiei este maximă și care depinde de tipul de rectificare (respectiv de frezare). La rectificarea cu periferia discului  $\Phi_{a \max} = \varkappa = 2\sqrt{t/D}$  radiani,  $t$  fiind adâncimea de așchiere, iar  $D$  diametrul discului abraziv.

Cu expresiile (3.25) și (3.26) folosite la determinarea componentei principale  $F_y$  a forței de rectificare, se obțin valori orientative pentru componenta respectivă, deoarece nu se ține cont de rigiditatea sistemului tehnologic elastic pe care are loc prelucrarea.

Componenta radială  $F_x$  este exprimată în funcție de valoarea componentei  $F_y$  cu relații de forma  $F_x = mF_y$ , în care factorul de proporționalitate are, în general, o valoare supraunitară care crește cu tocirea și bontirea granulelor precum și cu creșterea coeficientului de frecare exterioară tangențială care variază între 0,3...0,6.

În cele ce urmează se vor reprezenta grafic valorile componentei  $F_y$ , calculată cu formula (3.26) precum și valorile aceleiași forțe și a componentei  $F_x$  determinate experimental.

La determinarea experimentală, o atenție deosebită s-a acordat componentelor  $F_y$  și  $F_x$ , componenta  $F_x$  având o valoare relativ redusă și cu influența mai mică asupra indicilor de bază ai procesului de rectificare.

În vederea măsurării ambelor componente  $F_y$  și  $F_x$ , în capitolul "Cercetări experimentale" se prezintă un element traductor, conceput, realizat și încercat de către autor.

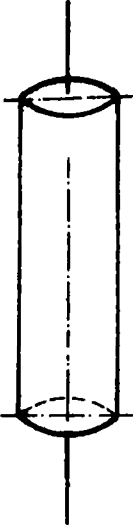








### ***3.1.2.3. Abaterile de precizie dimensională de formă și calitatea suprafeței la rectificarea rotundă exterioară***

Ca urmare a deformațiilor sistemului tehnologic elastic, a forțelor care iau naștere în procesul de rectificare și a celorlalți factori menționați, suprafețele obținute în urma prelucrării au abateri față de suprafața cilindrică teoretică. Din acest motiv noțiunile și abaterile care intervin sunt specifice metrologiei cilindrului.

Abaterea de la cilindricitate se compune din abaterea de la circularitate în secțiunea transversală a piesei și din abaterea profilului longitudinal axial [5], [10], [85]. Abaterile de la forma cilindrică în secțiune longitudinală și transversală sunt prezentate în tabelul 3.2.

În cazul sistemelor de control activ o importanță deosebită o are metoda de măsurare a abaterilor de la circularitate. Ea trebuie să fie aleasă astfel încât rezultatul măsurării să fie cât mai bun, ținând cont și de influența diferiților factori particulari participanți în proces și în special a lichidului de răcire - ungere respectiv a particulelor abrazive și a așchiilor produse la rectificare. Până în prezent se cunosc 3 variante de măsurare a diametrului piesei care se rectifică: cu un punct de contact dintre sistemul de control activ și piesă, cu două puncte și cu trei puncte.

Tabelul 3.2. Abateri de la forma geometrică

<p>La piese ci' in 'rice netede</p> 	<p>In sectiune trasversala (cu un plan perpendicular ar pe axa geometrica)</p>	<p>Abateri de la circularitate</p>	<p>ovalitatea</p> 
			<p>poligonalitatea</p> 
			<p>forma oarecare</p> 
	<p>In sectiune longitudina la (cu un plan median)</p>	<p>Abateri de la paralelismul generatoarei</p>	<p>conicitatea</p> 
			<p>dubla concavitate</p> 
		<p>Abateri de la rectilinitatea generatoarei</p>	<p>dubla convexitate</p> 
			<p>forma stramba</p> 
			<p>forma oarecare</p> 

Dintre cele 3 variante menționate în cazul sistemelor cu traductoare inductive se utilizează palpatorul cu două contacte, piesa fiind prinsă între vârful mașinii sau în mandrina cu trei bacuri. Situația apare ca în figura 3.12.



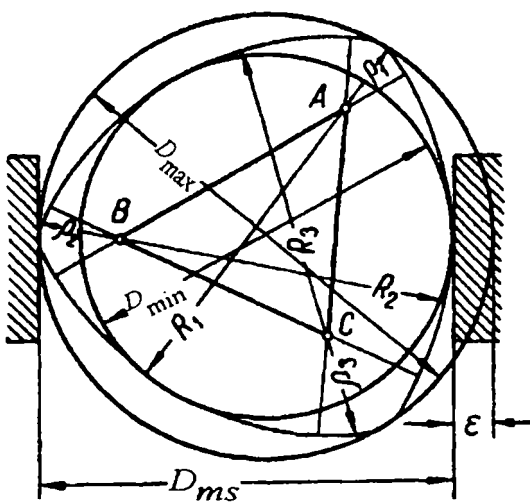


Fig.3.12. Palparea piesei cu două contacte

Cu ajutorul două contacte ale sistemului de control activ se măsoară permanent diametrul  $D_{ms}$  care se modifică în timpul rectificării. Din cauza factorilor menționați anterior piesa are un contur oarecare cuprins între diametrii  $D_{max}$  și  $D_{min}$ . Diametrul  $D_{ms}$  poate fi exprimat cu relația:

$$R_1 + \rho_1 = R_2 + \rho_2 = R_3 + \rho_3 = D_{ms}$$

(3.29)

Analizând forma triunghiulară a conturului real, se ajunge la concluzia că mărimea  $\epsilon$  nu depinde de dimensiunile

razelor  $R_1, R_2, R_3, \rho_1, \rho_2, \rho_3$  cu care se descrie conturul dat, ci numai de dimensiunile triunghiului ABC.

Sunt cunoscute 3 metode de control al abaterilor de la circularitate: între vârfuri, în prismă, pe arbore.

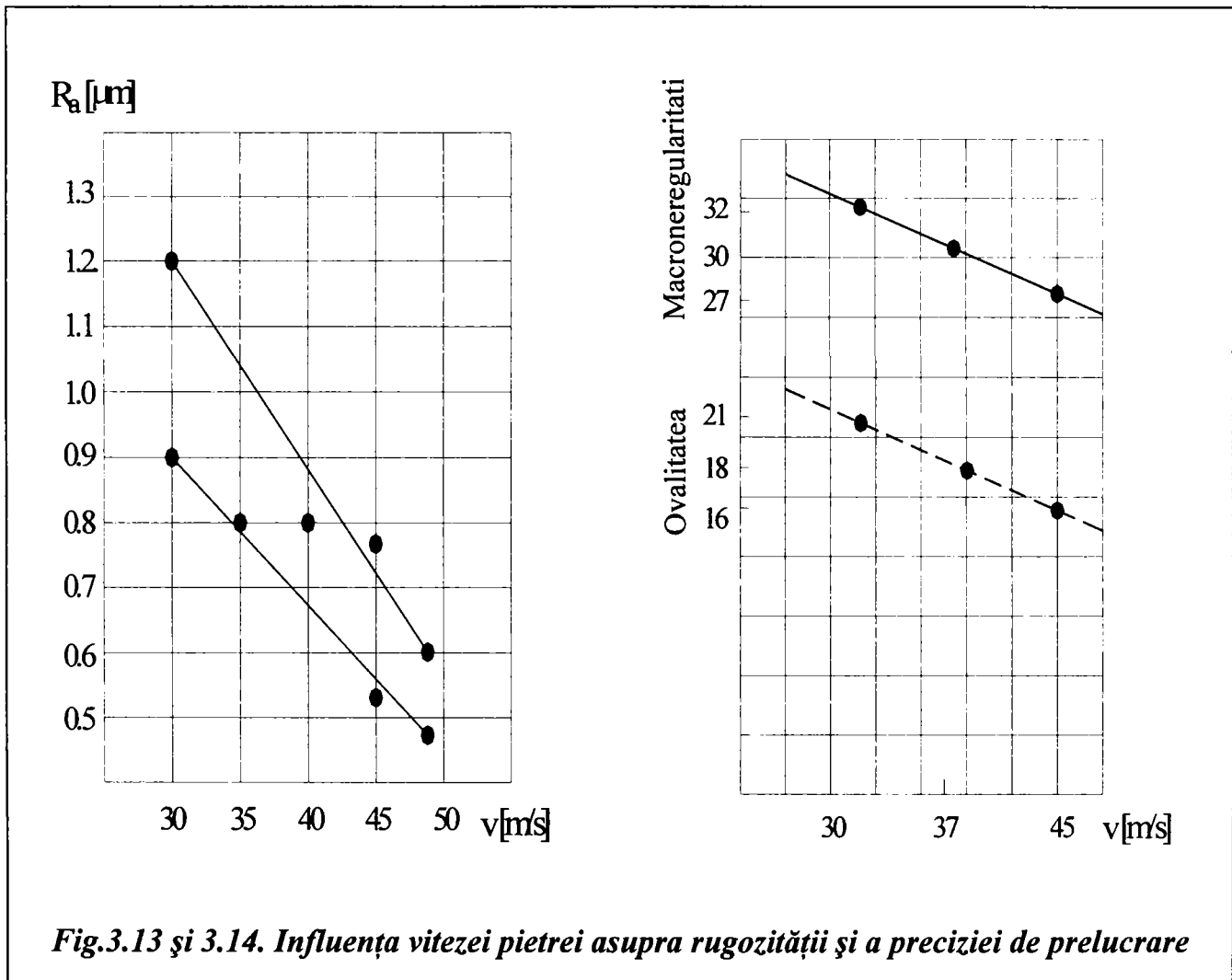
În cazul controlului activ metoda este bazată pe prinderea piesei între vârfuri. Piesa execută mișcare de rotație. Palpatoarele împreună cu pârghiile care echează sistemul de control activ transmit informațiile despre valoarea reală a diametrului curent aparatului indicator indiferent de bătaia piesei sau vârfurilor de centrare. O importanță deosebită o are dinamica sistemului de control activ în condițiile în care secțiunea reală a piesei este poligonală sau de o formă oarecare.

### 3.1.3. Influența regimului de așchiere asupra preciziei și calității suprafeței

#### 3.1.3.1. Influența vitezei periferice a discului de rectificare

Cercetările efectuate până în prezent au arătat că în domeniul vitezei periferice cuprinse între 6...12 m/s, discurile abrazive obișnuite lucrează cu autoascuțire, fără semne de îmbâcsire și cu viteză de uzură mare. La creșterea vitezei peste 12 m/s apar primele semne de îmbâcsire a granulelor, iar de la 20 m/s în sus, viteza de îmbâcsire a granulelor devine importantă. Uzura discului abraziv scade cu creșterea vitezei periferice a acestuia. Cea mai mică viteză de uzură s-a observat la viteze ale acestor discuri cuprinse între 40...50 m/s.

În același timp lucrările [64], [89], [90], în contradicție cu rezultatele de mai sus obținute la VNIAS-Moscova, arată pe cale experimentală, că odată cu creșterea vitezei periferice a discului, uzura pietrei crește. K.Watanabe [105] a justificat creșterea uzurii pe seama creșterii amplitudinii vibrațiilor, iar G.Pahlitzsch [64] prin creșterea temperaturii în zonele de contact combinată cu o creștere însemnată a șocurilor dinamice.



Dacă influența vitezei periferice a pietrei asupra uzurii ei este încă o problemă neclarificată complet, se știe și este verificat experimental faptul că cu cât crește viteza pietrei se îmbunătățește calitatea suprafeței (fig.3.13) precizia de formă a pieselor rectificate (fig.3.14) și capacitatea productivă. Acestea sunt de fapt, principalele motive care au dus la apariția mașinilor de rectificat cu viteze ale pietrei cuprinse între 80-90 m/s.

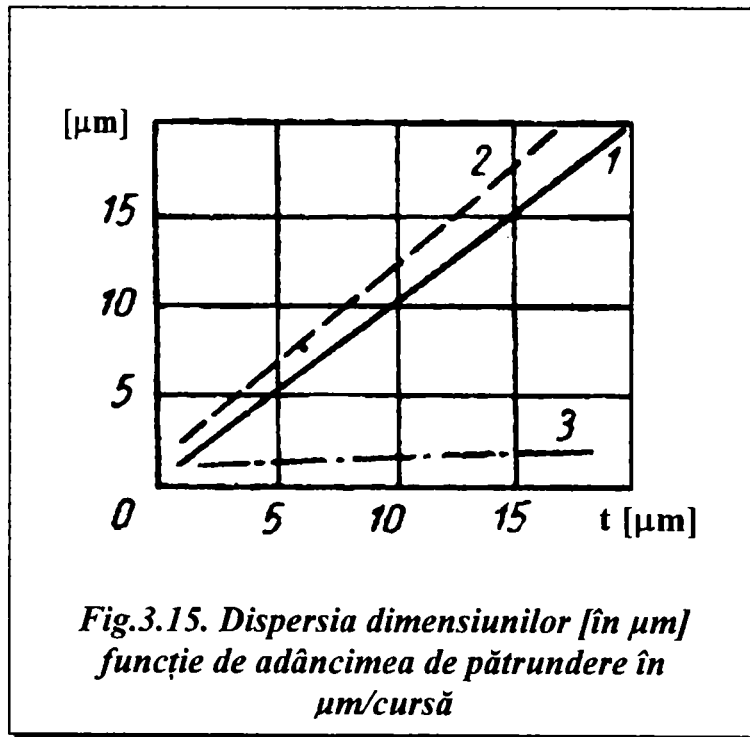
Creșterea preciziei pieselor se explică prin aceea că o dată cu creșterea vitezei periferice a pietrei scade forța de rectificare, și respectiv componenta  $F_x$  ceea ce duce la micșorarea deformațiilor în sistemul tehnologic elastic.

Micșorarea rugozității suprafeței se datorează faptului că odată cu creșterea vitezei pietrei crește numărul de granule care participă în proces și se reduce adâncimea de așchiere, ceea ce determină micșorarea înălțimilor asperităților.

În concluzie, în scopul obținerii unor piese precise în condiții de capacitate productivă maximă se impune a se lucra cu viteză periferică cât mai ridicată, permisă de piatră și de mașină.

### 3.1.3.2. Influența adâncimii și a avansului de pătrundere

Cercetările de precizie la prelucrările prin rectificare [82] arată dependența dintre dispersia dimensiunilor funcție de avansul transversal (fig.3.15) la rectificarea cu destindere (linie continuă) și fără destindere (linie întreruptă), ambele fără control activ.



În cazul rectificărilor cu destindere și cu control activ linia 3 (linia - punct - linie) dispersia dimensiunilor piesei executate este foarte mică. Dispersiile mari de la primele două variante se explică pe de o parte prin neuniformitatea avansului de pătrundere pe cursă (dispersia valorilor lui ajungând până la 30% din avansul reglat), iar pe de altă parte prin gradul de tensionare al sistemului tehnologic elastic și durata destinderii.

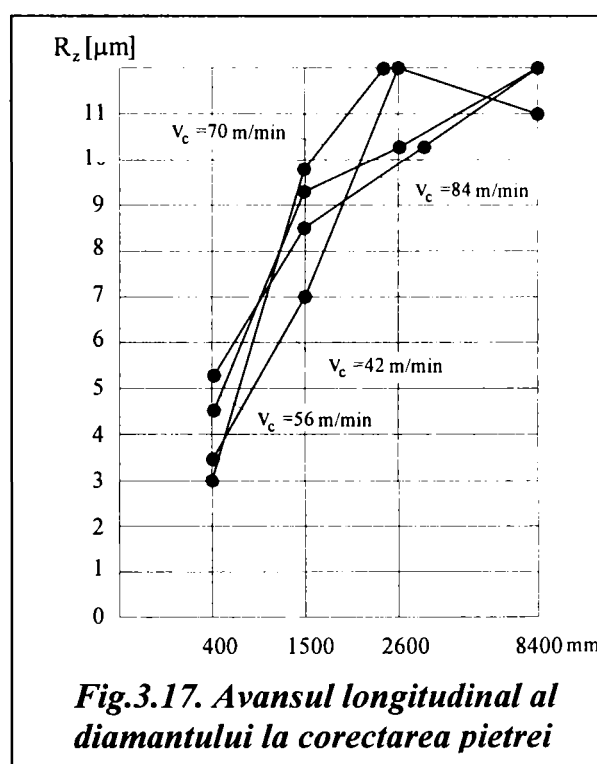
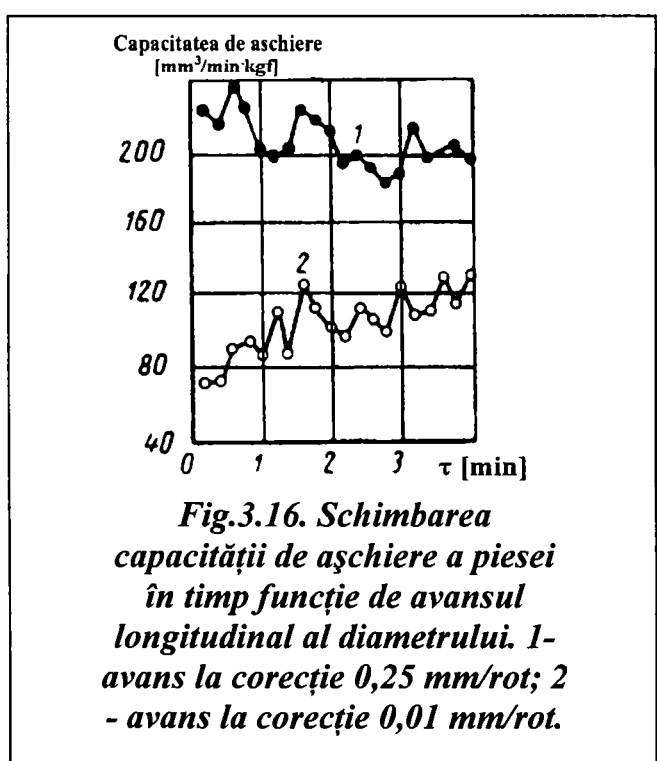
### 3.1.3.3. Influența avansului longitudinal

Avansul longitudinal influențează precizia și calitatea suprafeței în mod indirect. Creșterea avansului longitudinal duce la creșterea componentei  $F_x$  radiale a forței de rectificare respectiv la o pătrundere mai mare a granulelor abrazive în piesă afectând negativ calitatea suprafeței. În același timp provoacă creșterea deformațiilor elastice cu influență negativă atât asupra preciziei

dimensionale cât și de formă. Având în vedere însă că procesul conține cele 3 faze ale rectificării, la ultima fază adâncimea de așchiere tinând către zero, forțele dintre piesă și piatră scad, pătrunderea granulelor abrazive în material se reduce până la zero ceea ce face ca atât calitatea suprafeței cât și precizia dimensională să crească.

Pentru a obține precizii ridicate și calitate superioară a suprafeței ar fi de preferat rectificările cu avansuri longitudinale mici. Ele însă duc la scăderea capacității de producție a mașinii.

### 3.1.4. Influența regimului de corecție a pietrei



O dată cu creșterea avansului longitudinal de corecție pe o rotație a pietrei capacitatea de așchiere a acesteia crește (fig.3.16).

Capacitatea de producție a pietrelor cu liant ceramic pentru rectificări obișnuite oscilează de la 140 până la 250  $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{kg}$ .

Avansul longitudinal de corectare are influență și asupra rugozității suprafeței piesei prelucrate (fig.3.17).

Figura prezintă influența avansului diamantului la corectarea unei pietre de granulație 40 cu liant L-M asupra rugozității suprafeței rectificate.

Este clar că piatra va prezenta cu atât mai multe neregularități cu cât avansul diametrului este mai mare deci va crește și rugozitatea piesei. Rezultatele experimentale arată că reducerea avansului diametrului de la

0,3...0,5 mm/rot, valori uzuale, până la 0,01 mm/rot va duce la o reducere considerabilă a rugozității la piesă,  $R_a = 0,02...0,04 \mu\text{m}$ .

### 3.1.5. Influența deformațiilor termice

La mașinile de rectificat rotund exterior universale de mărime mijlocie cantitățile medii de căldură degajată în diverse subansamble și sisteme au valorile: 0,2 kcal/s în păpușa portpiatră, 0,27 kcal/s în sistemul hidraulic de acționare, 0,96 kcal/s în sistemul de răcire și în zona de răcire, 0,03 kcal/s în păpușa portpiesă [54]. Aceste degajări de căldură provoacă deplasări ale subansamblurilor unelte față de altele cu efect direct asupra preciziei de prelucrare. După mulți autori, erorile cauzate de deformațiile termice, în multe cazuri, sunt mai mari decât cele provocate de ceilalți factori. În figura 3.18 se arată modificarea distanței între păpușa portpiatră și masă (linia 1) și de asemenea între păpușa portpiesă și piatră (linia 2) cauzate de deformațiile termice.

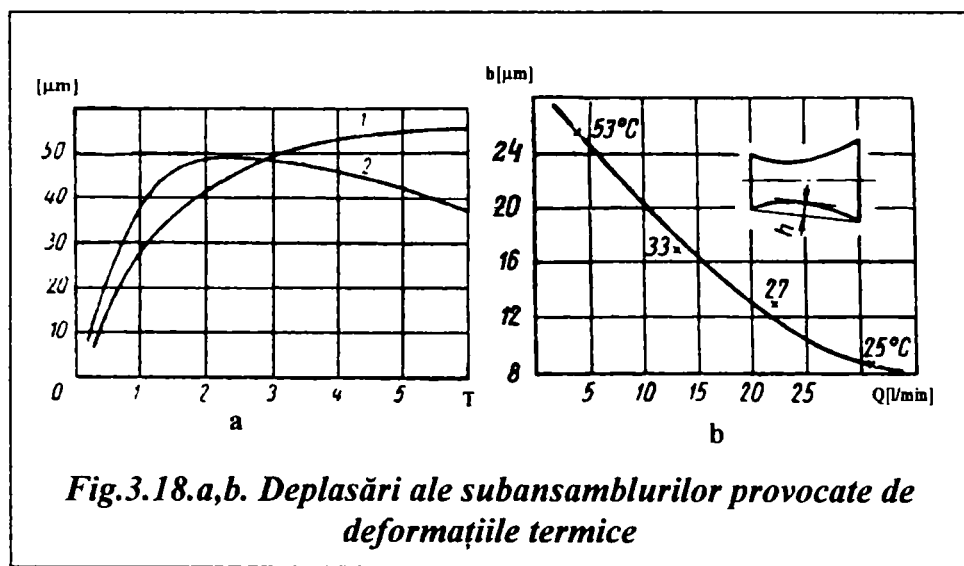


Fig.3.18.a,b. Deplasări ale subansamblurilor provocate de deformațiile termice

În figura 3.18,b se arată dependența dintre abaterea  $h$  de la cilindricitate funcție de debitul de lichid de răcire. La creșterea debitului de la 8 la 36  $\ell/\text{min}$  piesa s-a răcit de la  $58^\circ\text{C}$  la  $25^\circ\text{C}$ . Ca urmare abaterile de la cilindricitate s-au

micșorat de la  $26 \mu\text{m}$  la  $9 \mu\text{m}$ .

Pentru micșorarea deformației se folosesc sisteme automate de reglare a temperaturii rezultate fie prin intermediul lichidelor de răcire, fie prin încălzirea prealabilă a mașinii.

Cele mai bune rezultate au fost obținute cu sistemele de preîncălzire a uleiului din sistemul hidraulic. Dată fiind importanța mare a deformațiilor termice și a temperaturii din zona de lucru, în continuare se prezintă o metodă originală pentru calculul temperaturii la piatră și la piesă.

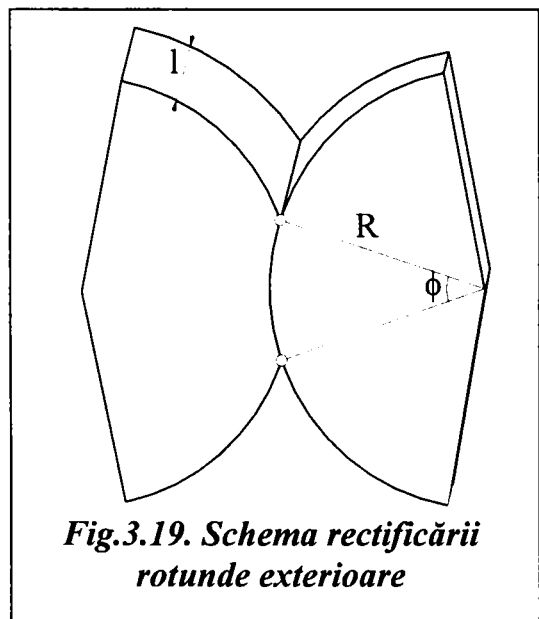
### 3.1.5.1. Metodă pentru calculul temperaturii în procesul de rectificare

În zona de contact dintre piatră și piesă datorită vitezei relative și a forței de frecare pot să apară temperaturi ce pot depăși punctele critice de transformare, iar în prezența lichidului de răcire transformările structurale ce iau naștere pot provoca tensiuni remanente care duc la apariția microfisurilor în stratul superficial.

Pentru evitarea apariției microfisurilor se impune cunoașterea temperaturii în zona de contact piatră-piesă, ceea ce se determină în continuare.

Procesul de rectificare reprezintă în esență un contact dinamic dintre două corpuri. Din acest motiv teoria frecării în cazul contactului exterior, cu anumite corecții, poate fi aplicată în cazul rectificării.

Suprafețele reale ale corpurilor în contact sunt discontinue. În cazul suprafețelor foarte netede (care au microneregularități de ordinul  $10^{-8}$  m) există puncte de contact de ordinul micrometrilor pătrați.



Contactul reprezintă un sistem volumic compus din structura schimbătoare a straturilor suprafețelor corpurilor în contact și, de asemenea, din peliculele substanțelor care însoțesc procesul de rectificare (lichide de răcire-ungere, gaze, particule abrazive și metalice etc.).

Suprafața de contact a două corpuri mărginită de conturul exterior să o notăm  $A_k$ . Conform schemei rectificarea rotundă exterioară din figura 3.19,  $A_k$  se exprimă prin relația

$$A_k = l \cdot R \cdot \varphi, \quad (3.30)$$

în care:

$l$  este înălțimea discului de rectificare;

$R$  - raza discului;

$\varphi$  - unghiul de contact.

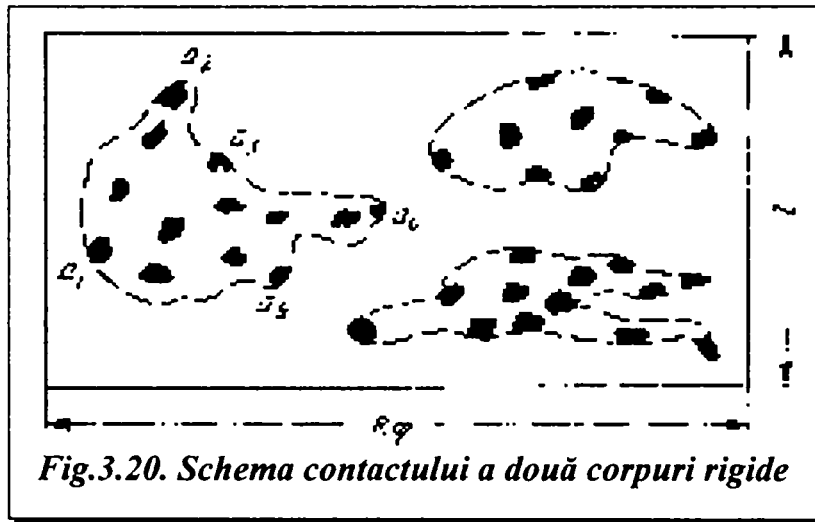
Suprafața  $A_k$  caracterizează într-o oarecare măsură contactul dintre cele două corpuri, întrucât suprafața reală de contact se datorează suprafețelor de contact elementare,  $\Delta A_{\varphi_i}$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Rezultă că suprafața reală  $A_{\Phi}$  este dată de relația:

$$A_{\Phi} = \sum_{i=1}^n \Delta A_{\varphi_i}, \quad (3.31)$$

unde  $n$  este numărul suprafețelor elementare în contact.

Suprafața reală, de regulă, este compusă din suprafețe cu contur neregulat de arii cuprinse între  $0,00001$  și  $0,01 \text{ mm}^2$  și este puternic influențată de adâncimea de întrepătrundere a celor două corpuri.

După datele experimentale [35], [36] suprafața reală de contact se compune din diferite suprafețe microscopice (fig.3.20), răspândite neuniform în suprafața  $A_k$ .



În cazul contactului dintre două corpuri suprafața reală de contact reprezintă una dintre mărimile fundamentale care trebuie să fie cunoscută. Una dintre metodele care se pare că duce la un rezultat pozitiv o reprezintă măsurarea conductibilității electrice a contactului. Uneori pe această cale s-au întâmpinat

dificultăți serioase care au constatat în existența a două rezistențe de contact: plastic și elastic. Conductibilitatea pentru contactul plastic se determină cu formula [49]:

$$E = \frac{k_2 \cdot p}{k + k_1 p^{1/2}} \quad (3.32)$$

iar pentru contactele elastice

$$E = \frac{k_2 \cdot p^{2/3}}{k + k_1 p^{1/2}}, \quad (3.33)$$

unde:

- $k, k_1, k_2$  sunt coeficienți care depind de proprietățile perechii de contact;
- $p$  - presiunea normală de contact.

Aceste formule permit în multe cazuri cercetarea fenomenelor din contactele corpurilor rigide și determinarea mărimilor proporționale cu suprafața reală.

În figura 3.21 sunt redată curbele care caracterizează dependența electroconductibilității contactului de presiune (curbele cu cruciulițe aparțin contactului a doi cilindri cu axe concurente, curba cu cerculețe pentru contactul între suprafețele a două sfere).

După cum se observă în figură în toate cazurile electroconductibilitatea și, respectiv, suprafața reală, cresc o dată cu creșterea presiunii. Ca urmare în literatură există un număr mare de lucrări care se referă la metode experimentale și teoretice pentru determinarea suprafeței reale de contact.

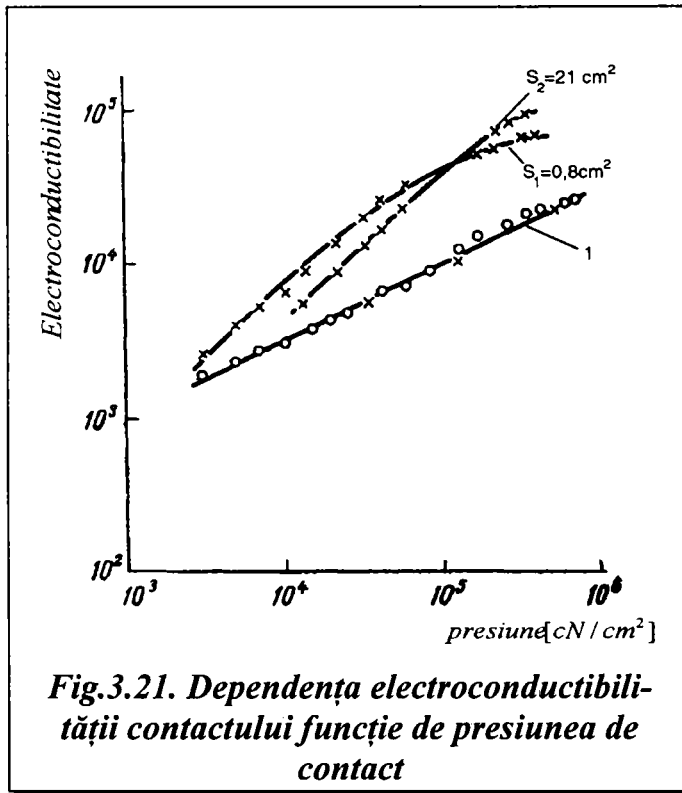


Fig.3.21. Dependenta electroconductibilității contactului funcție de presiunea de contact

La rectificarea contactului are un caracter plastic. Astfel proprietățile de relaxare ale contactului deduse pentru metale au fost stabilite cu următoarea ecuație diferențială funcție de durata de acțiune a componentei normale a forței de rectificare:

$$\frac{d\sigma}{dt} = c \left[ e^{m(\sigma' - \sigma)} - 1 \right] \quad (3.34)$$

unde:

$\sigma$  este tensiunea de contact;

$\sigma'$  - tensiunea de contact care se stabilizează în cursul perioadei latente;

$c$  - parametru fizic a cărui valoare se determină funcție de valorile diferite ale durităților pieselor în contact;

$m$  - constantă fizică care caracterizează proprietățile de relaxare ale materialelor.

Din ecuația (3.34) se obține:

$$\int \frac{d\sigma}{e^{m(\sigma' - \sigma)} - 1} = c \cdot t$$

Înlocuind  $e^{m(\sigma' - \sigma)} - 1 = u$ , rezultă:

$$d\sigma = -\frac{du}{m(1+u)}$$

Deoarece:  $-\frac{1}{m} \int \frac{du}{u(1+u)} = ct$ , sau  $-\ln(1+u) + \ln u = -m \cdot c \cdot t + \ln C$ , unde  $C$

este o constantă arbitrară. De unde obținem:

$$\frac{e^{m(\sigma' - \sigma)} - 1}{e^{m(\sigma' - \sigma)}} = Ce^{-m \cdot c \cdot t}$$

sau:

$$e^{m(\sigma' - \sigma)} = \frac{1}{1 - Ce^{-m \cdot c \cdot t}}$$



Fie  $\sigma_0$  tensiunea de contact care apare în momentul aplicării forței  $F_x$ ,  
adică la  $t = 0$ . Atunci:

$$C = 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}}$$

și

$$\sigma = \sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-m \cdot c \cdot t} \right] \quad (3.35)$$

Această tensiune reprezintă de fapt presiunea reală de contact, motiv  
pentru care putem scrie:

$$\sigma = p_\phi = \frac{F_x}{A_\phi}$$

Dacă se introduce în caracteristica de încărcare a contactului presiunea  
specifică  $p$  egală cu raportul dintre încărcarea normală și suprafața de contact  $A_k$   
se obține:

$$\sigma = p_\phi = p \frac{A_k}{A_\phi}$$

sau

$$A_\phi = \frac{p}{\sigma} \cdot A_k \quad (3.36)$$

Din relațiile (3.35) și (3.36) se obține pentru  $A_\phi$ :

$$A_\phi = \frac{p \cdot A_k}{\sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-m \cdot c \cdot t} \right]} \quad (3.37)$$

Relația (3.37) exprimă dependența suprafeței reale a contactului plastic  
funcție de presiunea specifică și de durata de acțiune a încărcării normale  $F_x$ . O  
dată cu creșterea duratei  $t$  mărimea  $A_\phi$  crește deoarece:

$$(A_\phi)_\infty = \lim_{t \rightarrow 0} A_\phi = \frac{p}{\sigma'} A_k$$

Practic se ajunge la această limită în cursul perioadei latente. Pentru  
momentul  $t = 0$  respectiv al momentului de aplicare a încărcării:

$$(A_\phi)_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} A_\phi = \frac{p}{\sigma_0} A_k,$$

de unde rezultă că:

$$\frac{(A_\phi)_\infty}{(A_\phi)_0} = \frac{\sigma_0}{\sigma'}$$

Deoarece  $\sigma_0 > \sigma'$  rezultă  $(A_\phi)_\infty > (A_\phi)_0$ .

În procesul de rectificare, respectiv datorită interacțiunii dinamice directe  
piatră și piesă, suprafețele elementare reale sunt distribuite în suprafața de

contact, caracterul și distribuția lor fiind determinate de microrelieful pietrei abrazive. Ca urmare a caracterului aleator al acestei repartiții este necesar a se introduce o mărime prin care să se definească mai bine desfășurarea proceselor fizice din contact. În acest sens se introduce constanta  $k$  denumită densitatea contactului și care reprezintă raportul dintre numărul suprafețelor elementare reale  $n$  (a contactelor definite de cele 5 puncte) și produsul dimensiunilor caracteristice ale conturului suprafeței:

$$K = \frac{n}{L_1 \cdot L_2}. \quad (3.38)$$

Pentru suprafața  $A_k$ , specifică rectificării rotunde exterioare dimensiunile caracteristice vor fi:  $L_1 = R \cdot \varphi$  și  $L_2 = \ell$ . În acele cazuri când conturul suprafeței poate fi caracterizat numai prin dimensiunea  $\ell$ , rezultă:

$$K = \frac{n}{L^2}.$$

Densitatea de contact în toate cazurile va fi exprimată în unitatea de măsură:

$$[K] = \frac{1}{[L]^2}.$$

Introducerea densității contactului permite introducerea a două caracteristici termice importante ale contactului, respectiv conductibilitate termică  $\delta$  și rezistența termică  $\rho$ . Conductibilitatea termică se determină cu relația:

$$\delta = b \cdot \frac{A_\phi K}{H}, \quad \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}} \right] \quad (3.39)$$

unde  $b$  este un coeficient care ține seama de termoconductibilitatea pieselor în contact, de microrelief și de repartiția suprafețelor elementare de contact în suprafața  $A_k$ .

-  $H$  - înălțimea zonei de întrepătrundere în care se desfășoară procesul de rectificare

Mărimile  $b$  și  $H$  depind în principal de grosimea și compoziția stratului superficial. De exemplu pentru straturi superficiale oxidate  $\delta$  este mai mic decât în cazul celor metalice; motiv pentru care și mărimea  $b$  pentru asemenea pelicule de asemenea este mai mică. Mărimea  $H$  la straturi superficiale oxidate este mai mare în comparație cu contactele piatră-metal. Astfel în cazul peliculelor oxidate amândoi factorii  $b$  și  $H$  reduc conductibilitatea termică a contactului. Dacă în contact există acoperiri metalice cu conductibilitatea termică mai mare decât a materialului propriu-zis, atunci mărimile  $b$  și  $H$  depind de influența predominantă a unuia sau celuilalt, putând crește sau micșora conductibilitatea termică în comparație cu contactul curat. Rezistența termică a contactului este

invers proporțională cu conductibilitatea termică:  $\rho=1/\delta$ . Pentru a se putea utiliza caracteristicile amintite la determinarea particularităților fluxului de căldură dintre cele două corpuri este necesar să se determine coeficientul  $b$ .

Dacă contactul se realizează conform figurii 3.22 atunci fluxul de căldură este orientat după normala la fiecare suprafață  $\Delta A_{\phi_i}$ . Astfel toate fluxurile de căldură generate de punctele de contact sunt paralele între ele.

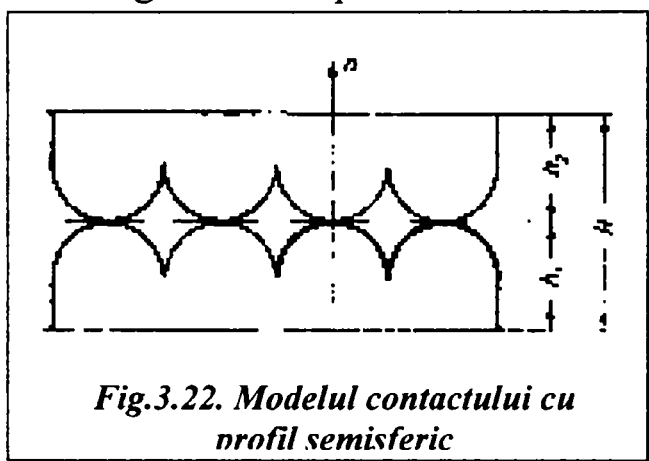


Fig.3.22. Modelul contactului cu profil semisferic

În realitate acest proces este mult mai complex. Suprafețele elementare reale sunt dispuse după anumite unghiuri  $\alpha_i$  față de normală, motiv pentru care fluxurile de căldură se intersectează. Această particularitate, de obicei, nu este luată în considerare în teoria transferului de căldură, ea influențând esențial asupra câmpului termic generat între cele două corpuri

aflate în contact.

Ca urmare a caracterului aleator al microreliefului care apare în procesul frecării și distrugerii suprafeței, unghiurile  $\alpha_i$  de asemenea au valori aleatoare. Uneori ca urmare a alunecărilor neuniforme apar valori predominante pentru aceste unghiuri. Se poate astfel introduce în calcule o valoare medie pătratică a valorilor  $\alpha_i$ ,

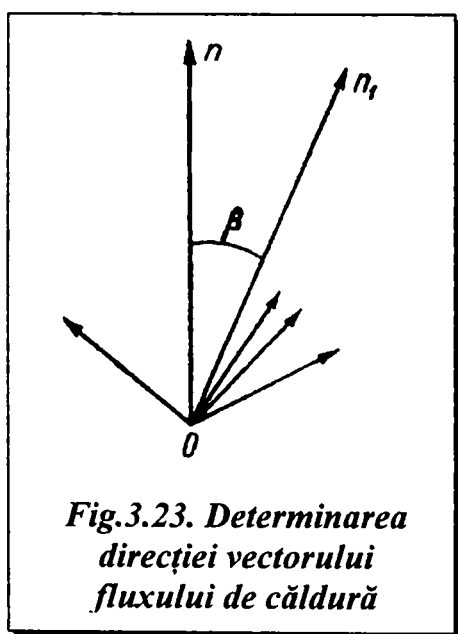


Fig.3.23. Determinarea direcției vectorului fluxului de căldură

$$\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2}{n}} \quad (3.40)$$

Dacă din punctul arbitrar O (fig.3.23) se construiesc vectorii unitari normali pe toate suprafețele de contact  $\Delta A_{\phi_i}$  atunci valorile  $\alpha_i$  și vectorii corespunzători vor arăta ca în figura 3.23. Unghiul  $\beta$  determină direcția vectorului rezultanți  $n_1$  al fluxului de căldură.

Conform ipotezei lui Fourier fluxul de căldură de pe această direcție se determină cu relația:

$$q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n_1} \quad (3.41)$$

Pe de altă parte, mărimea fluxului de căldură se caracterizează prin particularitățile de contact și este proporțională cu gradientul de temperatură

$$q = -b \cdot \frac{\partial \theta}{\partial v}, \quad (3.42)$$

iar din schema redată în figura 3.24 se observă că

$$n_1 = \frac{v}{\cos \beta},$$

de unde:

$$q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial v} \cos \beta. \quad (3.43)$$

Comparând relațiile (3.42) și (3.43) se obține:

$$b = \lambda \cos \beta$$

și înlocuind în relația (3.39) se obține:

$$\delta = \lambda \cdot \frac{A_\phi \cdot K}{H} \cos \beta, \quad (3.44)$$

unde:  $H = h_1 + h_2 - \Delta h$  ( $h_1$  și  $h_2$  - rugozitățile suprafețelor, iar  $\Delta h$  - distanța de întrepătrundere a suprafețelor care depinde de încărcare și de proprietățile mecanice ale corpurilor în contact).

Conform formulei din [50], în cazul contactului plastic rezultă:

$$\Delta h = h_{\max} \left( \frac{P}{A_k \cdot b \cdot H_B} \right)^{\frac{1}{v}} = h_{\max} \left( \frac{p_k}{b H_B} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (3.45)$$

în care:  $A_k$  a fost definită anterior;

- $P$  - încărcarea;
- $p_k$  - presiunea de contact;
- $b$  și  $v$  - parametrii curbelor care închid suprafețele de contact.

După prelucrarea unui număr mare de curbe rezultate în urma rectificării s-au obținut  $v = 3$  și  $b = 1 \div 4$ .

Înlocuind (3.39) și (3.44) în (3.42) pentru o suprafață se obține:

$$\delta_1 = \lambda \cdot \frac{A_\phi \cdot K}{h_1 - \Delta h} \cos \beta.$$

Dacă înlocuim pe  $\Delta h$  se obține:

$$\delta = \frac{\lambda \cdot A_\phi \cdot K}{h_1 - h_{\max} \left( \frac{p_k}{b \cdot H_B} \right)^{\frac{1}{v}}} \cos \beta. \quad (3.45)$$

Formulele (3.49) și (3.45) determină conductibilitatea termică numai printr-o suprafață.

Conductibilitatea contactului se poate determina cu relația:

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1 \cdot \delta_2} \quad (3.46)$$

unde  $\delta_1$  și  $\delta_2$  reprezintă conductibilitatea suprafețelor în contact.

Înlocuind în (3.45) valorile  $\delta_1$  și  $\delta_2$  dată de (3.44) se obține:

$$\delta = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot A_\phi \cdot K}{\lambda_1 h_2 + h_1 \lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_2) \Delta h} \cos \beta \quad (3.47)$$

Considerând  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$  se obține

$$\delta = \frac{\lambda \cdot A_\phi \cdot K}{h_2 + h_1 - 2\Delta h} \cos \beta \quad (3.48)$$

Ținând cont de valorile mici pe care le ia  $\Delta h$  în comparație cu  $h_1$  și  $h_2$ ,  $\Delta h$  se poate neglija și se obține:

$$\delta \approx \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot A_\phi \cdot K}{\lambda_1 \cdot h_2 + \lambda_2 \cdot h_1} \cos \beta \quad (3.49)$$

Înlocuind pe (3.44) în (3.46) se obține:

$$\delta = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot p_k \cdot A_k \cdot K}{\left\{ \sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-mct} \right] \right\} \left[ \lambda_1 h_2 + \lambda_2 h_1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \left( \frac{p_k}{b \cdot H_B} \right)^{\frac{1}{v}} \cdot h_{\max} \right]} \cdot \cos \beta \quad (3.48)$$

Cu relația (3.48) se poate determina conductibilitatea termică a două corpuri aflate în contact, prin intermediul căreia se poate determina regimul termic al celor două corpuri în lucru.

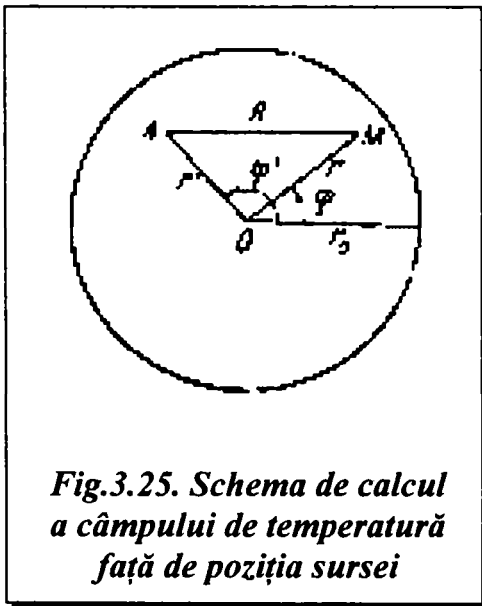


Fig.3.25. Schema de calcul a câmpului de temperatură față de poziția sursei

Pornind de la legea lui Amonton rezultă că temperatura în zona de contact a două corpuri depinde de variația cu viteza a coeficientului de frecare.

Fie un cilindru de rază oarecare  $r_0$  (fig.3.25) în care este amplasată sursa de căldură  $A(r', \varphi')$  și un punct  $M(r, \varphi)$  arbitrar în care urmează să se determine temperatura.

În conformitate cu teoria conductibilității temperatura în punctul  $M$ , datorită sursei de căldură  $A$  și la momentul  $t$ , se determină cu relația:

$$\theta_1 = \frac{1}{4\pi at} \cdot e^{-\frac{R^2}{4at}} \quad (3.49)$$

în care  $a$  este coeficient de conductibilitate termică, iar  $R$  se determină cu relația:

$$R = r^2 + r'^2 - 2rr' \cos(\varphi - \varphi').$$

Utilizând funcția integrală Bessel, relația (3.49) poate fi scrisă sub forma:

$$\theta_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \mu e^{-a\mu^2 t} J_0(\mu R) d\mu. \quad (3.50)$$

Folosind seria Neumann găsim pentru  $J_0(\mu R)$ :

$$J_0(\mu R) = J_0(\mu r) J_0(\mu r') + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\mu r) J_n(\mu r') \cos n(\varphi - \varphi') = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\mu r) J_n(\mu r') \cos n(\varphi - \varphi').$$

Relația (3.50) devine:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \mu e^{-a\mu^2 t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\mu r) J_n(\mu r') \cos n(\varphi - \varphi') d\mu = \\ &= \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int_0^\infty \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r) J_n(\mu r') d\mu. \end{aligned} \quad (3.51)$$

Folosind proprietățile funcției Bessel se ajunge la funcția integrală:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r) J_n(\mu r') d\mu &= \frac{1}{2} \int_0^\infty \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') \{H_n(\mu r) - e^{in\pi} H_n(-\mu r)\} d\mu = \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') H_n(\mu r) d\mu, \end{aligned}$$

unde:

$$H_n(\mu r) = J_n(\mu r) + iY_n(\mu r),$$

$Y_n(\mu r)$  - funcția Bessel de ordinul doi.

Relațiile de mai sus sunt variabile pentru cazul  $r > r'$ .

Folosind teorema lui Cauchy se face integrarea pe contur

$$\int_{-\infty}^{\infty} \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') H_n(\mu r) d\mu = - \int_{(s)} \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') \cdot H_n(\mu r) d\mu$$

când  $r > r'$ .

Ca urmare relația (3.51) devine:

- pentru  $r > r'$ :

$$\theta_1 = - \frac{1}{4\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int_{(s)} \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') \cdot H_n(\mu r) d\mu$$

- pentru  $r < r'$ :

$$\theta_1 = - \frac{1}{4\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int_{(s)} \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r) \cdot H_n(\mu r') d\mu \quad (3.52)$$

Se observă că funcția:

$$\theta_2 = \frac{1}{4\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int_{(s)} A \mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r') \cdot H_n(\mu r) d\mu$$

unde  $A$  este o constantă reprezintă o rezolvare a ecuației conductibilității termice.

Însumând  $\theta_2$  cu  $\theta_1$  rezultă:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = -\frac{1}{4\pi} \sum_{-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int_{(s)} \mu e^{-a\mu^2 t} \cdot J_n(\mu r') \cdot \{H_n(\mu r) - AJ_n(\mu r)\} d\mu \quad (3.53)$$

Pentru determinarea constantei  $A$  se consideră că pe suprafața  $r = r_0$  se produce un transfer de căldură către mediul exterior cu temperatura zero. Matematic aceasta înseamnă că

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} + \xi' \theta = 0, \quad \text{unde} \quad \xi' = \frac{\xi}{\lambda}$$

( $\xi$  - coeficient de transfer,  $\lambda$  - coeficient de conductibilitate termică).

Este necesar ca:

$$\frac{d}{dr} \{H_n(\mu r) - AJ_n(\mu r)\}_{r=r_0} + \xi' \{H_n(\mu r) - AJ_n(\mu r)\}_{r=r_0} = 0.$$

$$A \{ \mu J'_n(\mu r_0) + \xi' J_n(\mu r_0) \} = \mu H'_n(\mu r_0) + \xi' H_n(\mu r_0)$$

Găsim astfel:

$$A = \frac{\mu H'_n(\mu r_0) + \xi' H_n(\mu r_0)}{\mu J'_n(\mu r_0) + \xi' J_n(\mu r_0)}$$

Relația (3.53) pentru cazul  $r > r'$  se poate scrie sub forma următoare:

$$\theta = -\frac{1}{4\pi} \sum_{-\infty}^{\infty} \cos n(\varphi - \varphi') \int \frac{\mu e^{-a\mu^2 t} J_n(\mu r')}{\mu J'_n(\mu r_0) + \xi' J_n(\mu r_0)} \times \left\{ H_n(\mu r) [\mu J'_n(\mu r_0) + \xi' J_n(\mu r_0)] - J_n(\mu r) \left[ \mu \frac{d}{d(\mu r_0)} H_n(\mu r_0) + \xi' H_n(\mu r_0) \right] \right\} d\mu. \quad (3.54)$$

După transformări se obține temperatura momentană într-un punct  $M$  aflat pe suprafața cilindrului:

$$\theta = \frac{1}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \cos n(\varphi - \varphi') e^{-a\mu^2 t} \cdot \frac{\mu^2 J_n(\mu r) J_n(\mu r')}{\left( \xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2} \right) J_n^2(\mu r_0)}. \quad (3.55)$$

Dacă sursa acționează într-un anumit timp, fără întrerupere și are intensitatea  $q$ , atunci temperatura în punctul  $M(r, \varphi)$  se determină cu următoarea formulă:

$$\theta = \frac{q}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \cos n(\varphi - \varphi') \cdot \frac{\mu^2 J_n(\mu r) \cdot J_n(\mu r')}{\left( \xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2} \right) J_n^2(\mu r_0)} \cdot \int_0^t e^{-a\mu^2(t-\tau)} d\tau \quad (3.55.a)$$

Efectuând integrarea se obține:

$$\theta = \frac{q}{\pi r_0^2 \cdot a} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} (1 - e^{-a\mu^2 t}) \cos n(\varphi - \varphi') \cdot \frac{J_n(\mu r) \cdot J_n(\mu r')}{\left( \xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2} \right) J_n^2(\mu r_0)}. \quad (3.56)$$

Dacă sursa este amplasată pe suprafața cilindrului, atunci în expresia (3.56)  $r'=r_0$ . În acest caz se obține:

$$\theta = \frac{q}{\pi \cdot a} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} (1 - e^{-a\mu^2 t}) \cos n(\varphi - \varphi') \times \frac{J_n(\mu r)}{\left[ r_0^2 (\xi'^2 + \mu^2) - n^2 \right] J_n(\mu r_0)}. \quad (3.57)$$

Dacă  $\varphi = \varphi'$  și  $r = r_0$  se obține temperatura fiecărei surse de căldură:

$$\theta^* = \frac{q}{\pi \cdot a} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} (1 - e^{-a\mu^2 t}) \cdot \frac{1}{r_0^2 (\xi'^2 + \mu^2) - n^2}. \quad (3.58)$$

După o anumită perioadă de timp de funcționare a sursei de căldură se poate determina temperatura maximă:

$$\theta_{\max}^* = \frac{q}{\pi \cdot a} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \cdot \frac{1}{r_0^2 (\xi'^2 + \mu^2) - n^2}. \quad (3.59)$$

Dacă sursa de căldură reprezintă un contact cu frecare, atunci în concordanță cu legea lui Amonton, cantitatea de căldură generată în unitatea de timp va avea valoarea:

$$Q_* = I \cdot f \cdot N \cdot v,$$

în care:  $I$  este echivalentul mecanic al căldurii;  
 $f$  - coeficient de frecare;  
 $N$  - forța normală pe unitatea lungimii de contact;  
 $v$  - viteza de alunecare în contact

Din alt punct de vedere:

$$Q_* = q\rho c,$$

în care:  $c$  - căldura specifică a materialului;  
 $\rho$  - conductibilitatea termică.

Egalând cele două expresii se obține

$$q = \frac{I \cdot f \cdot N \cdot v}{\rho \cdot c} \quad (3.60)$$

Urmează

$$\theta^* = \frac{IfNv}{\pi\lambda} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} (1 - e^{-a\mu^2 t}) \cdot \frac{1}{r_0^2 (\xi'^2 + \mu^2) - n^2}. \quad (3.61)$$

și

$$\theta_{\max}^* = \frac{IfNv}{\pi\lambda} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \cdot \frac{1}{r_0^2 (\xi'^2 + \mu^2) - n^2}.$$

Limitându-ne la primii termeni ai seriilor (întrucât ceilalți au valori mici) se obține:



$$\theta^* \approx \frac{2IfNv}{\pi\lambda} \cdot \frac{1 - e^{-a\mu_1^2 t}}{r_0^2(\xi'^2 + \mu_1^2)} \quad (3.62)$$

și

$$\theta_{\max}^* \approx \frac{2IfNv}{\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r_0^2(\xi'^2 + \mu_1^2)} \quad (3.63)$$

Să considerăm că sursa se rotește pe o suprafață cilindrică cu viteza  $v = \omega r_0$ . În acest caz la  $\omega$  egal constant urmează a admite  $\varphi' = \omega t$  deoarece timpul de mișcare al sursei corespunde cu timpul ei de acțiune.

În acest caz ecuația (3.55.a) devine:

$$\theta = \frac{q}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^2 J_n(\mu r) \cdot J_n(\mu r')}{\left(\xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2}\right) J_n^2(\mu r_0)} \cdot \int e^{-a\mu^2(t-\tau)} \cos n(\varphi - \omega\tau) d\tau \quad (3.64)$$

Făcând substituția  $n(\varphi - \omega\tau) = z$  rezultă:

$$\begin{aligned} \int e^{-a\mu^2(t-\tau)} \cos n(\varphi - \omega\tau) d\tau &= -\frac{1}{n\omega} e^{a\mu^2\left(t-\frac{\varphi}{\omega}\right)} \int e^{-\frac{a\mu^2}{n\omega^2} z} \cdot \cos z dz = \\ &= -\frac{1}{n\omega + \frac{a^2\mu^2}{n\omega}} \left\{ \sin n(\varphi - \omega t) - \frac{a\mu^2}{n\omega} \cos n(\varphi - \omega t) - e^{-\frac{a\mu^2 \cdot \varphi}{\omega}} \left( \sin n\varphi - \frac{a\mu^2}{n\omega} \cos n\varphi \right) \right\} \end{aligned}$$

și formula (3.64) dă următoarea expresie pentru temperatură:

$$\theta = \frac{-q}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^2 J_n(\mu r) \cdot J_n(\mu r')}{\left(\xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2}\right) J_n^2(\mu r_0)} \cdot \frac{1}{n^2\omega^2 + a^2\mu^4} \cdot \left\{ n\omega \sin n(\varphi - \omega t) - a\mu^2 \cos n(\varphi - \omega t) - e^{-\frac{a\mu^2 \varphi}{\omega}} (n\omega \sin n\varphi - a\mu^2 \cos n\varphi) \right\} \quad (3.65)$$

Pentru sursa care se găsește pe suprafața cilindrică, la  $r' = r_0$  se obține:

$$\theta = -\frac{q}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^2 J_n(\mu r)}{\left(\xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2}\right) J_n(\mu r_0)} \cdot \frac{1}{n^2\omega^2 + a^2\mu^4} \cdot \left\{ n\omega \sin n(\varphi - \omega t) - a\mu^2 \cos n(\varphi - \omega t) - e^{-\frac{a\mu^2 \varphi}{\omega}} (n\omega \sin n\varphi - a\mu^2 \cos n\varphi) \right\} \quad (3.66)$$

Înlocuind în relația de mai sus  $r = r_0$  și  $\varphi = \omega t$  obținem temperatura pentru fiecare sursă:

$$\theta^* = \frac{q}{\pi r_0^2} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^2}{\left(\xi'^2 + \mu^2 - \frac{n^2}{r_0^2}\right)(n^2 \omega^2 + a^2 \mu^4)} \cdot \left\{ a\mu^2 - e^{-a\mu^2 t} (n\omega \sin n\omega t - a\mu^2 \cos n\omega t) \right\} \quad (3.67)$$

După un timp suficient de lung în care sursa funcționează se obține temperatura maximă:

$$\theta_{\max}^* = \frac{aq}{\pi} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^4}{\left[r_0^2(\xi'^2 + \mu^2) - n^2\right](n^2 \omega^2 + a^2 \mu^4)} \quad (3.68)$$

În cazul sursei de căldură prin frecare:

$$q = \frac{IfN(v \pm \omega r_0)}{\rho c}$$

iar formulele (3.67) și (3.68) devin:

$$\theta^* = \frac{IfN(v \pm \omega r_0)}{\pi \rho c} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{\mu^2}{\left[r_0^2(\xi'^2 + \mu^2) - n^2\right](n^2 \omega^2 + a^2 \mu^4)} \cdot \left\{ a\mu^2 - e^{-a\mu^2 t} (n\omega \sin n\omega t - a\mu^2 \cos n\omega t) \right\} \quad (3.69)$$

$$\theta_{\max}^* = \frac{IfN(v \pm \omega r_0)}{\pi \rho c} \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{\mu} \frac{a\mu^4}{\left[r_0^2(\xi'^2 + \mu^2) - n^2\right](n^2 \omega^2 + a^2 \mu^4)} \quad (3.70)$$

Limitându-ne la primii termeni ai seriilor se obține:

$$\theta^* \approx \frac{2IfN(v \pm \omega r_0)}{\pi \rho c} \cdot \frac{1}{r_0^2 \mu^2 a^2 (\xi'^2 + \mu^2)} \quad (3.71)$$

$$\theta_{\max}^* \approx \frac{2IfN(v \pm \omega r_0)}{\pi \rho c} \cdot \frac{1}{r_0^2 a^2 (\xi'^2 + \mu^2)} \quad (3.72)$$

O rezolvare suficient de precisă rezultă păstrând doar primii doi termeni ai sursei. Astfel înlocuind în (3.55) pe  $n$  cu 0 și 1 și pe  $\mu$  cu  $\mu_1$  și  $\mu_2$  se obține:

$$\theta_{\max}^* = \frac{2IfN(v \pm \omega r_0) a}{\pi \rho c} \cdot \left\{ \frac{\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\xi'^2}{a^2 r_0^2 (\xi'^2 + \mu_1^2)(\xi'^2 + \mu_2^2)} + \frac{\omega^2 (r_0^2 \xi'^2 - 1)(\mu_1^4 + \mu_2^4) + 2r_0^2 \mu_1^4 \mu_2^4 + [r_0^2(\omega^2 + \xi'^2) - a^2] \mu_1^2 \mu_2^2 (\mu_1^2 + \mu_2^2)}{[r_0^2(\xi'^2 + \mu_1^2) - 1][r_0^2(\xi'^2 + \mu_2^2) - 1](\omega^2 + a^2 \mu_1^4)(\omega^2 + a^2 \mu_2^4)} \right\} \quad (3.73)$$

Rezultatele obținute cu relațiile (3.65) - (3.70) pot fi ușor folosite în cazul rectificării. Evident, temperaturile de regim ale piesei și pietrei sunt diferite.

Fie  $\alpha$  coeficientul de dispersie a fluxurilor de căldură proporțional cu căldura generată în contactul  $\delta$ , deci:

$$\alpha = \gamma \cdot \delta,$$

unde:  $\gamma$  - coeficient de proporționalitate  $\left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}}{\text{kcal}} \right]$ .

Fluxul de căldură se distribuie în două părți:

$$q = q_1 + q_2,$$

unde:

$$q_1 = \alpha q = \gamma \delta \cdot q \quad \text{și} \quad q_2 = (1 - \alpha)q = (1 - \gamma \delta)q.$$

Dacă  $\gamma$  se determină experimental, atunci în conformitate cu formula (3.61) cantitatea de căldură se determină cu relația:

$$q_1 = \frac{IfN(v \pm \omega r_0) \lambda_1 \lambda_2 p_k A_k K \cos \beta}{\rho_1 c_1 \left\{ \sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-mct} \right] \right\} \left[ \lambda_1 h_2 + \lambda_2 h_1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \left( \frac{p_k}{bH_B} \right)^{\frac{1}{v}} h_{\max} \right]},$$

$$q_2 = \frac{IfN(v \pm \omega r_0)}{\rho_2 c_2}.$$

$$\left\{ 1 - \frac{\gamma \lambda_1 \lambda_2 p_k A_k K \cos \beta}{\left\{ \sigma' - \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-mct} \right] \right\} \left[ \lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2 - (\lambda_1 + \lambda_2) \left( \frac{p_k}{bH_B} \right)^{\frac{1}{v}} h_{\max} \right]} \right\}$$

Înlocuind expresiile lui  $q_1$  și  $q_2$  în fiecare din formulele (3.65) și (3.70) se obțin temperaturile celor două corpuri în contact:

- pentru piatră:

$$\theta^* = \frac{2IfN(v \pm \omega r_0) \lambda_1 \lambda_2 p_k A_k K \cos \beta}{\pi \rho_1 c_1 \left\{ \sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-mct} \right] \right\} \left[ \lambda_1 h_2 + \lambda_2 h_1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \left( \frac{p_k}{bH_B} \right)^{\frac{1}{v}} h_{\max} \right]} \cdot \frac{1}{r_0^2 \mu^2 a^2 (\xi'^2 + \mu^2)} \quad (3.74)$$

- pentru piesă:

$$\theta^* = \frac{IfN(v \pm \omega r_0)}{\pi \rho_2 c_2} \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_1 \lambda_2 p_k A_k K \gamma \cos \beta}{\left\{ \sigma' + \frac{1}{m} \ln \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{e^{m(\sigma' - \sigma_0)}} \right) e^{-mct} \right] \right\} \left[ \lambda_1 h_2 + \lambda_2 h_1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \left( \frac{p_k}{bH_B} \right)^{\frac{1}{v}} h_{\max} \right]} \right\} \cdot \frac{1}{r_0^2 \mu^2 a^2 (\xi'^2 + \mu^2)} \quad (3.75)$$

În concluzie, cu relațiile (3.74) și (3.75) se pot determina analitic temperaturile în punctele de contact piatră-piesă.

Importanța practică a relațiilor deduse constă în determinarea temperaturii la piesă la un anumit regim de lucru astfel încât să se evite temperaturile peste punctele de transformare care reprezintă surse de microfisuri în stratul superficial rectificat.

Deși relațiile deduse reflectă cu mare fidelitate fenomenele termice dintre piatră și piesă, utilizarea lor este condiționată de o multitudine de factori greu de determinat în condiții industriale. Pot fi însă folosite în condiții de laborator.

### 3.1.6. Influența vibrațiilor

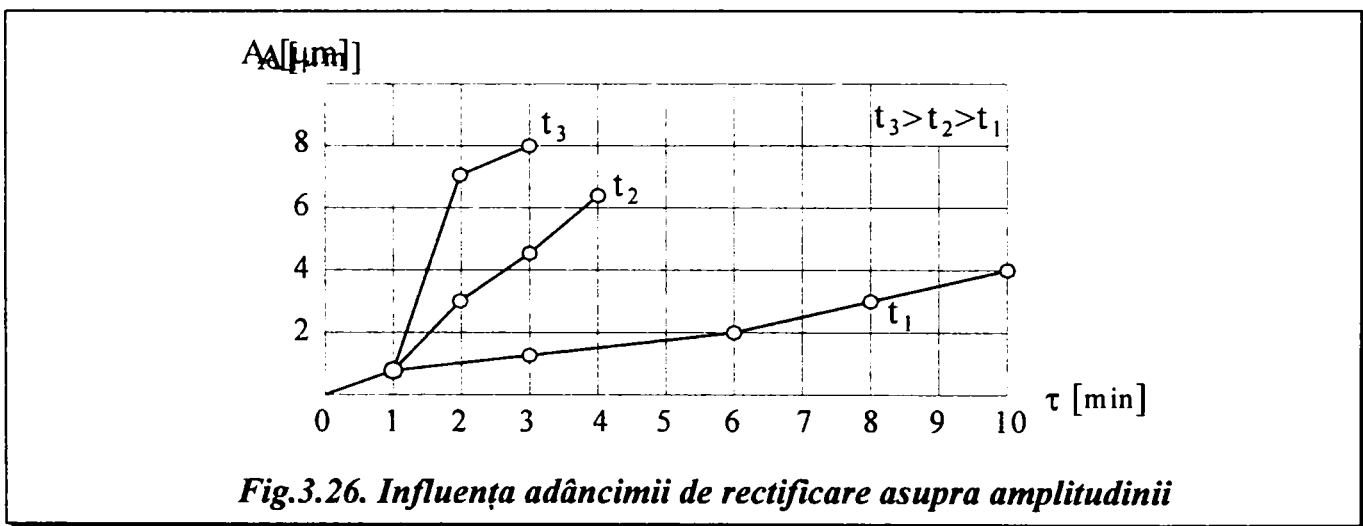
#### 3.1.6.1. Vibrațiile în procesul de rectificare

Unii cercetători admit ca și criteriu de durabilitate amplificarea și schimbarea caracterului zgomotului.

În practică aprecierea zgomotului este subiectivă. Greutatea constă în aceea că zgomotul la rectificare este denaturat de zgomotul atelierului și de asemenea de zgomotul instalației de răcire.

Cercetările experimentale din ultimul timp au stabilit că schimbarea zgomotului la rectificare în perioada de durabilitate apare ca urmare a procesului autooscilant provocat de uzura pietrei de rectificat [55]. Vibrațiile pot fi produse atât de cauze exterioare, cât și de însuși procesul de așchiere. Frecvența oscilațiilor forțate se suprapune cu frecvența forțelor perturbatoare sau cu un submultiplu al acesteia.

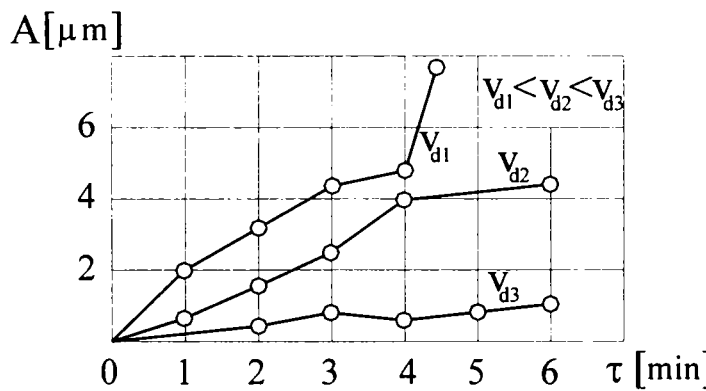
Autooscilațiile au loc cu frecvențe apropiate de frecvența oscilației proprii a sistemului și depind în principal de rigiditatea și masele sistemului. Frecvența autooscilațiilor este de cca 300 perioade/sec., iar amplitudinea oscilațiilor crește în perioada de durabilitate, modificându-se însă și în funcție de parametrii regimului de așchiere. În figurile 3.26, 3.27 și 3.28 sunt prezentate influențele principalilor parametri asupra mărimii amplitudinii autooscilațiilor.



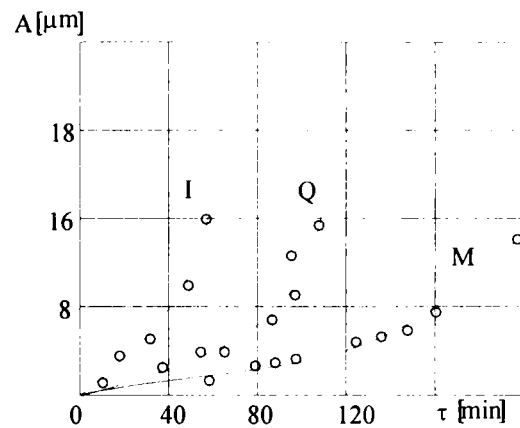
Experiențele au arătat [54] că tipurile de avansuri (circular, longitudinal și transversal) influențează în aceeași măsură creșterea amplitudinii autooscilațiilor.

Apariția autooscilațiilor poate fi explicată în felul următor [54]: la începutul prelucrării granulele de pe suprafața de lucru a pietrei au muchii ascuțite care sub acțiunea deformațiilor sistemului tehnologic elastic pătrund în

piesa de prelucrat, deformează plastic stratul de material sub formă de așchii. Pe măsura uzării granulelor, acestea nu pot pătrunde suficient de adânc în material și în acest caz se mărește numărul granulelor la care așchierea este înlocuită cu deformații plastice ale metalului. Lungimea de alunecare a granulei pe metal depinde de raza de rotunjire a vârfului. Cu cât mai mare este această rază, cu atât este mai lung drumul de alunecare a granulei fără să se degajeze așchia, ceea ce



**Fig.3.27. Influența vitezei pietrei asupra amplitudinii autooscilațiilor**

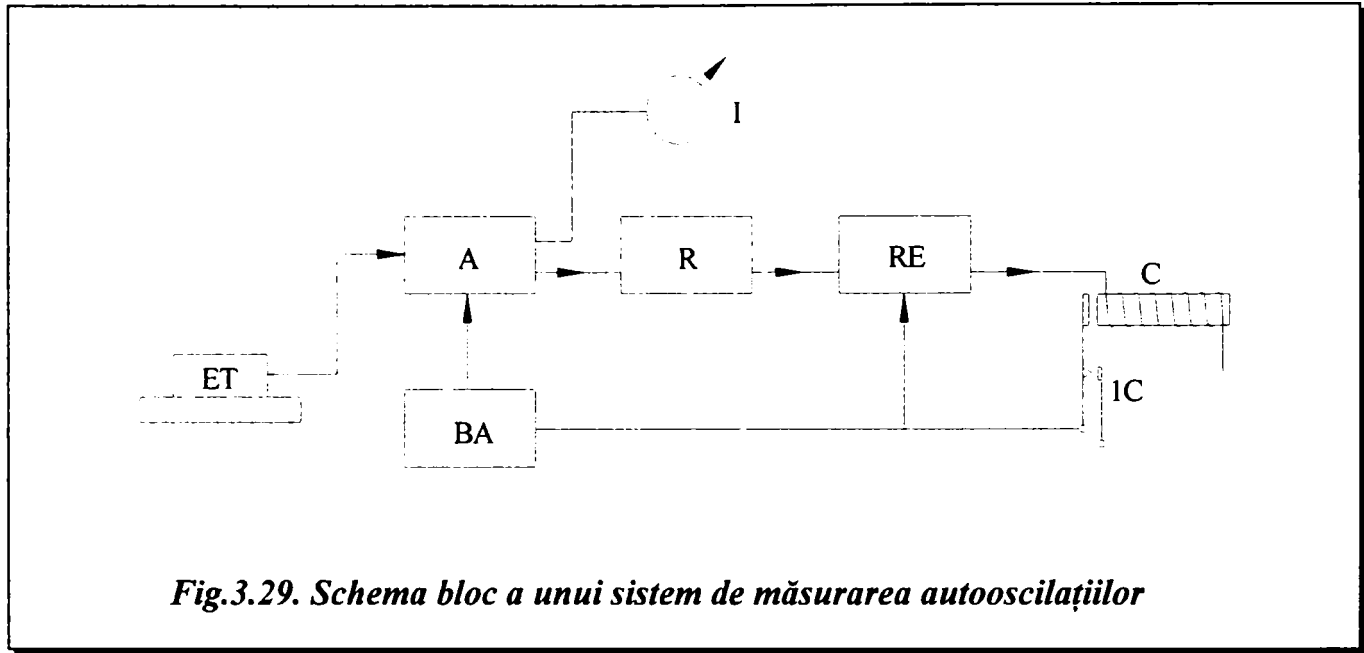


**Fig.3.28. Influența durității pietrei asupra amplitudinii autooscilațiilor**

face să crească lucrul mecanic de frecare. În plus, pe suprafețele granulelor se lipsesc particule metalice și treptat are loc umplerea porilor pietrei. Acest lucru duce la accentuarea frecărilor dintre piatra de rectificat și obiect. Mărindu-se frecarea de alunecare apare o coeziune temporară între diferitele porțiuni ale pietrei de rectificat și obiectului, iar la atingerea unor anumite forțe are loc distrugerea contactului dintre ele. Acest fenomen se repetă periodic provocând astfel autooscilații de relaxare.

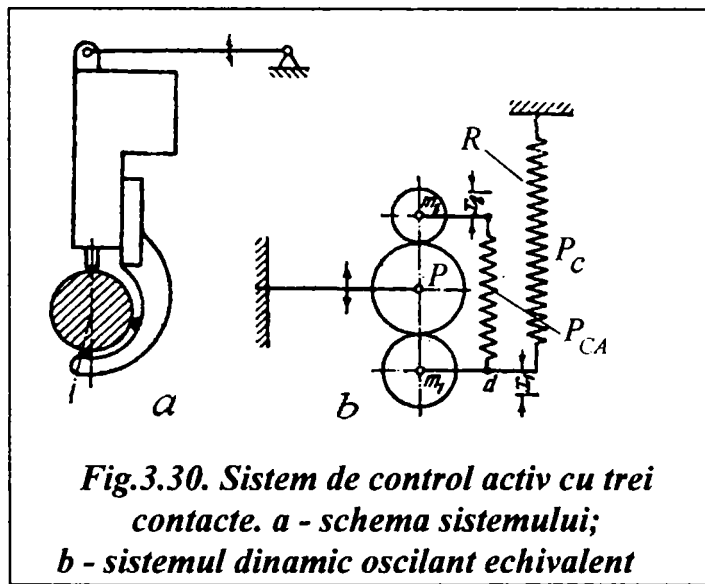
Schimbarea stării suprafeței pietrei în perioada de durabilitate poate fi evidențiată prin intermediul autooscilațiilor. Astfel creșterea amplitudinii oscilațiilor poate servi ca și criteriu obiectiv și sigur pentru automatizarea corecției pietrei de rectificat.

Pentru controlul mărimii amplitudinii și pentru realizarea semnalului de comandă a corecției pietrei sunt necesare construcții speciale, compuse dintr-un traductor de vibrații, filtru care permite trecerea numai a autooscilațiilor și amplificator prin care se transmite comanda la elementul de conectare a mecanismului de corecție. Schema bloc a unui asemenea sistem se prezintă în figura 3.29.



### 3.1.6.2. Studiul teoretic al vibrațiilor piesei supusă rectificării asupra erorii dinamice a sistemului de contr.act.

Având în vedere că la rectificările pe mașini moderne sistemul de control activ este prezent se pune problema influenței vibrațiilor piesei asupra erorii dinamice de măsurare a acestuia.



Sistemul de control activ și comandă cu trei contacte (fig.3.30.a) poate fi reprezentat schematic sub forma unui sistem oscilant cu două mase:  $m_1$  - masa aparatului montat pe mașină și  $m_2$  - masa tijei de măsurare. În mod corespunzător în sistemul oscilant se introduc forțele  $P_{CA}$  și  $P_C$  ale arcurilor care mențin contactele (sus și jos) aparatului cu piesa P.

Sistemul dinamic echivalent este prevăzut cu legături elastice și poate fi transpus matematic prin ecuația lui Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_c}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_c}{\partial q} + \frac{\partial E_p}{\partial q} = Q, \quad (3.76)$$

în care:  $E_c$  - energia cinetică a sistemului;  
 $E_p$  - energia potențială a sistemului;  
 $q$  - coordonata generalizată;  
 $Q$  - forța generalizată

Energiile cinetică și potențiala pot fi găsite cu relațiile:

$$E_c = \frac{m(\dot{x})^2}{2} \quad (3.77)$$

și

$$E_p = \int_0^x [mg + R_a(x+b) + R_b(x+a)] dx, \quad (3.78)$$

în care:  $m$  este masa mobilă a contactului superior sau inferior;  
 $x$  - deplasarea, mm;  
 $R_a$  - rigiditatea arcului subsistemului pentru cazul arcului plan al contactului de măsurare, N/mm;  
 $R_b$  - rigiditatea arcului spiral care creează forța de măsurare de contact, N/mm;  
 $a$  - pretensionarea arcului spiral, mm;  
 $b$  - pretensionarea arcului plan, mm;  
 $mg$  - greutatea sistemului oscilant, N.

După înlocuirea valorilor  $E_c$  și  $E_p$  în ecuația (3.76) după transformările necesare se obține ecuația de mișcare sub forma:

$$m\ddot{x} + R \cdot x + P = f(t), \quad (3.79)$$

în care:  $P = mg + R_a \cdot b + R_b \cdot a$  este forța statică din sistem;  
 $R = R_a + R_b$ .

Ecuația (3.79) exprimă oscilațiile forțate ale sistemului cu o singură masă fără amortizare [53], [54], [55]. Soluția generală a ecuației (3.79) este de forma:

$$x(t) = \frac{A\omega}{\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{P_1}{m\omega_0^2} \cos \omega_0 t - \frac{P_1}{m\omega_0^2}, \quad (3.80)$$

în care:  $P_1 = mg + k_2 \cdot X_{02}$ , unde  $X_{02}$  este suma pretensionărilor datorate forței de măsurare  $P_{CA}$  a controlului activ;  
 $f(t)$  - forța de reacțiune a piesei asupra tijei de măsurare;  
 $\omega$  - pulsația oscilațiilor forțate;  
 $\omega_0$  - pulsația oscilațiilor proprii ale sistemului.

Ecuațiile mișcării celor două mase ale sistemului sunt:



$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 (X_{01} + x_1) + k_2 (X_{02} + x_1 + x_2) = f_1(t); \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (X_{02} + x_1 + x_2) = f_2(t). \end{cases} \quad (3.81)$$

În scopul rezolvării sistemului de ecuații se fac unele simplificări ale stării inițiale ale sistemului oscilant. La calculul mișcării masei  $m_1$  presupunem că aceasta este fixată de capătul arcului de rigiditate  $k_2$ , iar la calculul deplasării masei  $m_2$  se admite rigidizarea ei cu arcul de rigiditate  $k_1$  legat în punctul d. Asemenea simplificări ale sistemului oscilant nu introduc erori importante deoarece, de regulă, în sistemele de măsurare pretensionarea arcurilor  $X_{01}$  și  $X_{02}$  sunt mult mai mari decât valorile deplasărilor  $x_1$  și  $x_2$  ale maselor  $m_1$  și  $m_2$ .

Pe aceste considerente ecuațiile (3.81) pot fi scrise sub forma:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 (X_{01} + x_1) + k_2 (X_{02} + x_1) = f_1(t); \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (X_{02} + x_2) = f_2(t). \end{cases} \quad (3.82)$$

Introducem notațiile:

$$k_1 \cdot X_{01} = P_C; \quad k_2 \cdot X_{02} = P_{CA}; \quad P_C + P_{CA} = P;$$

$$\frac{f_1(t)}{m_1} = F_1(t); \quad \frac{f_2(t)}{m_2} = F_2(t); \quad \frac{k_1 + k_2}{m_1} = a;$$

$$\frac{k_2}{m_2} = b; \quad \frac{P}{m_1} = p_1; \quad \frac{P_{CA}}{m_2} = p_2.$$

După înlocuiri, ecuațiile (3.82) devin:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + ax_1 + p_1 = F_1(t) \\ \ddot{x}_2 + bx_2 + p_2 = F_2(t) \end{cases} \quad (3.83)$$

Mișcările celor două mase independente  $m_1$  și  $m_2$  care au pulsații proprii diferite  $\omega_{01}$  și  $\omega_{02}$  provin de la sursa forțată de vibrații cu frecvența  $\omega$ .

Prin întreruperea contactului și respectiv a erorii dinamice, forța de reacție a piesei devine egală cu zero  $F_1(t) = 0$  sau  $F_2(t) = 0$ .

Găsim deplasarea masei  $m_1$  după întreruperea contactului din ecuația:

$$\ddot{x}_1 + ax_1 + p_1 = 0, \quad (3.84)$$

respectiv găsim:

$$x_1(t) = \frac{A \cdot \omega}{\omega_{01}} \sin \omega_{01} t + \frac{P}{m_1 \omega_{01}^2} \cos \omega_{01} t - \frac{P}{m_1 \omega_{01}^2}. \quad (3.85)$$

Abaterea maximă a masei  $m_1$  va fi pentru  $\dot{x}_1(t) = 0$ , adică:

$$A \cdot \omega \cos \omega_{01} t - \frac{P}{m_1 \cdot \omega_{01}} \sin \omega_{01} t = 0, \quad (3.86)$$

de unde se poate calcula timpul  $t_1$  la care masa  $m_1$  atinge abaterea maximă:

$$t_1 = \frac{1}{\omega_{01}} \operatorname{arctg} \frac{m_1 \omega_{01} A \omega}{P}. \quad (3.87)$$

Cursa masei  $m_1$  în timpul  $t_1$  este:

$$x_1(t_1) = \frac{A \omega}{\omega_{01}} \sin \left( \operatorname{arctg} \frac{m_1 \omega_{01} A \omega}{P} \right) + \frac{P}{m_1 \omega_{01}^2} \cos \left( \operatorname{arctg} \frac{m_1 \omega_{01} A \omega}{P} \right) - \frac{P}{m_1 \omega_{01}^2} \quad (3.88)$$

Ecuția de mișcare a masei  $m_2$  la desprinderea ei de piesă de măsurat este:

$$\ddot{x}_2 + b x_2 + \frac{P_{CA}}{m_2} = 0. \quad (3.89)$$

Soluția generală a ecuației are forma:

$$x_2(t) = \frac{A \cdot \omega}{\omega_{02}} \sin \omega_{02} t - \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2} \sin \omega_{02} t - \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2}, \quad (3.90)$$

iar abaterea maximă se obține pentru  $\dot{x}_2(t) = 0$ , adică:

$$A \omega \cos \omega_{02} t_2 - \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}} \sin \omega_{02} t_2 = 0, \quad (3.91)$$

de unde:

$$t_2 = \frac{1}{\omega_{02}} \operatorname{arctg} \frac{m_2 \omega_{02} \omega A}{P_{CA}}. \quad (3.92)$$

Abaterea maximă a masei  $m_2$  va avea expresia:

$$x_2(t) = \frac{A \omega}{\omega_{02}} \sin \left( \operatorname{arctg} \frac{m_2 \omega_{02} \omega A}{P_{CA}} \right) + \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2} \cos \left( \operatorname{arctg} \frac{m_2 \omega_{02} \omega A}{P_{CA}} \right) - \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2}. \quad (3.93)$$

La întreruperea contactului între sistemul de control activ și suprafața piesei de măsurat apare posibilitatea ca, în anumite condiții, forțele de inerție să fie echilibrate de cele statice, adică membrul drept al ecuației (4) să devină zero. Expresia forțelor care acționează în sistem are următoarea formă:

- pentru masa  $m_1$ :

$$f_1(t) = -m_1 \ddot{x}_1 - m_1 g + X_{01} \cdot k_1 + X_{02} \cdot k_2 = 0 \quad (3.94)$$

sau

$$\ddot{x}_1 = \frac{k_1 X_{01} + k_2 X_{02} - m_1 g}{m_1} = -A \omega^2 \sin \omega t_3. \quad (3.95)$$

de unde se poate găsi timpul  $t_3$  - timpul după care se produce desprinderea de suprafața măsurată a piesei:

$$t_3 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{m_1 g - k_1 X_{01} - k_2 X_{02}}{m_1 \cdot A \cdot \omega^2}. \quad (3.96)$$

- pentru masa  $m_2$ :

$$f_2(t) = m_2 \ddot{x}_2 - m_2 g + X_{02} \cdot k_2 = 0. \quad (3.97)$$

De unde:

$$\ddot{x}_2 = \frac{m_2 g + X_{02} \cdot k_2}{m_2} = A \omega^2 \sin \omega t_4. \quad (3.98)$$

unde  $t_4$  este momentul începerii desprinderii masei  $m_2$  de piesa de măsurat și

$$t_4 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{m_2 g + k_2 X_{02}}{m_2 \cdot A \cdot \omega^2}. \quad (3.99)$$

Mecanismul formării erorii dinamice de măsurare a sistemului de control activ se explică în felul următor: masa  $m_2$  primind impulsul de la piesa care se măsoară se desprinde de ea în timpul  $t_4$  și după timpul  $t_2$  ajunge în punctul de amplitudine. În acest timp piesa continuă să se miște după legea  $x = A \sin \omega t$  și în a doua semiperioadă acționează asupra masei  $m_1$ , care se desprinde de piesă în momentul  $t_3$  atgând după timpul  $t_1$  abaterea sa maximă. În perioada dintre desprinderea masei  $m_2$  până la deplasarea maximă a masei  $m_1$ , masa  $m_2$  execută o cursă egală cu  $x_2(t_\Sigma)$  în care:

$$t_\Sigma = \left( \frac{1}{4\omega} - t_4 \right) + \frac{1}{4\omega} + t_3 + t_1 = \frac{1}{2\omega} - t_4 + t_3 + t_1, \quad (3.100)$$

unde:  $\frac{1}{4\omega} - t_4$  - timpul de mișcare a piesei din momentul desprinderii masei  $m_2$

până atinge amplitudinea;

$\frac{1}{4\omega}$  - timpul deplasării piesei pe o jumătate de amplitudine;

$$x_2(t_\Sigma) = \frac{A\omega}{\omega_{02}} \sin \omega_{02} t_\Sigma + \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2} \cos \omega_{02} t_\Sigma - \frac{P_{CA}}{m_2 \omega_{02}^2}. \quad (3.101)$$

Eroarea dinamică a aparatului de control activ supus vibrației piesei care se măsoară este dată de relația:

$$\delta X_A = x_1(t_1) + x_2(t_2) - x_2(t_\Sigma). \quad (3.102)$$

După înlocuiri în relația (3.102) cu valori din relațiile (3.88), (3.93) și (3.101) și după efectuarea calculelor care se impun se obține expresia erorii dinamice sub următoarea formă:

$$\delta X_A = \frac{A\omega}{\omega_{01}} \sin \omega_1 t_1 + \frac{A\omega}{\omega_{02}} (\sin \omega_{02} t_2 - \sin \omega_{02} t_\Sigma) - \frac{P}{m_1 \omega_{01}^2} (1 - \cos \omega_{01} t_1) - \frac{P_{CA}}{\omega_{02}^2 m_2} (\cos \omega_{02} t_\Sigma - \cos \omega_{02} t_2). \quad (3.103)$$

Relația dedusă permite stabilirea influenței parametrilor constructivi ai sistemului oscilant și a regimurilor vibrațiilor asupra acestei erori. Așa după cum rezultă din ecuația (3.103)  $\delta X_A$  crește cu creșterea amplitudinii  $A$ , a pulsației  $\omega$  a piesei și a maselor  $m_1$  și  $m_2$ . Creșterea forțelor  $P_{CA}$  și  $P_C$ , a pulsațiilor proprii  $\omega_{01}$  și  $\omega_{02}$  duce la micșorarea valorii  $\delta X_A$ .

Din cercetările experimentale prezentate în [53], [54] și [73] rezultă că intensitatea autovibrațiilor crește cu creșterea avansului de pătrundere a pietrei și cu creșterea duratei procesului de rectificare; primele semne de îmbăcsire a pietrei (după zgomot) apar la o amplitudine a oscilațiilor piesei de 1,3 - 1,4  $\mu\text{m}$ , iar la îmbăcsirea totală (la sfârșitul perioadei de durabilitate) amplitudinea oscilațiilor piesei este de 1,8 - 2  $\mu\text{m}$ ; amplitudinea autooscilațiilor crește relativ puțin în perioada de durabilitate, ele crescând foarte repede către sfârșitul perioadei de durabilitate.

### 3.1.7. Influența lichidelor de răcire - ungere

Studiile privind fluidele de răcire și lubrifiții au fost axate în special pe creșterea capacității de răcire, pe puterea lor de a înmuia suprafața și pe

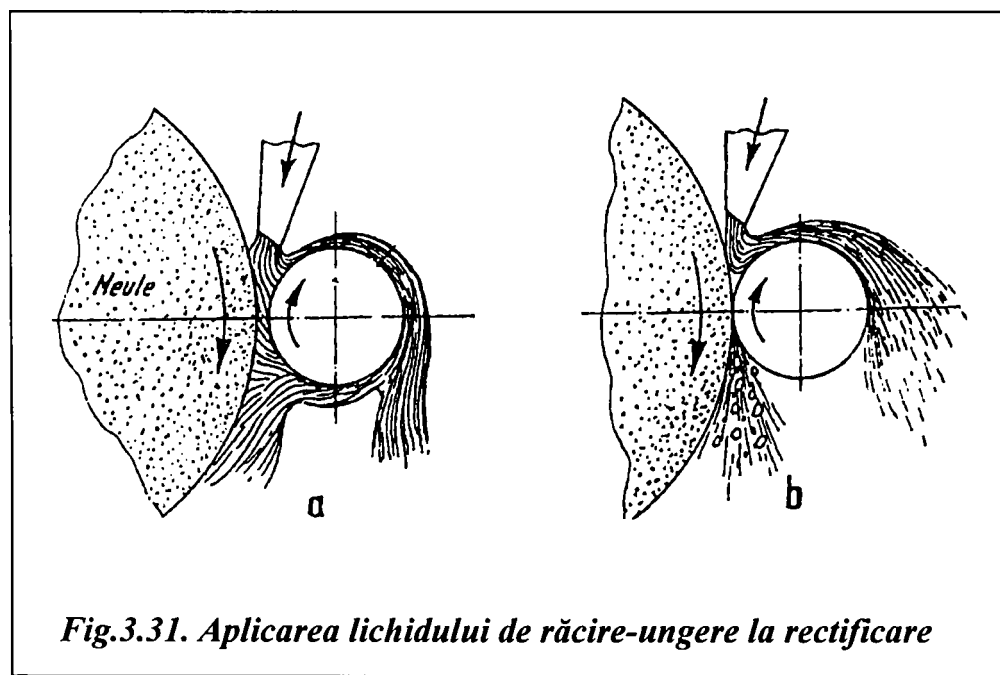


Fig.3.31. Aplicarea lichidului de răcire-ungere la rectificare

orientarea lor precisă pentru ca ele să acționeze eficace în zona de lucru dintre piatră și piesă. Rezultatele se prezintă sub forma unui evantai de fluide și procedee de răcire ce vor fi prezentate în continuare.

La oțelurile

scăzut în carbon, folosirea unui fluid de răcire în timpul rectificării diminuează volumul de metal plastifiat pe suprafață și scade cantitatea de căldură degajată: rugozitatea astfel se ameliorează atât prin diminuarea înălțimii asperităților, cât și prin uniformitatea suprafeței prelucrate datorată regularității după care se succed striatiile.

Răcirea aplicată la prelucrarea unui oțel cu conținut ridicat în carbon îi împiedică difuzia la suprafață, ceea ce îi determină accentuarea neregularităților și creșterea asperităților. Dacă se rectifică aceste oțeluri fără răcire, piesa suferă arsuri de suprafață ceea ce îi conferă o rezistență scăzută la uzură, chiar dacă rugozitatea sa scade. De aceea chiar dacă răcirea nu ameliorează rugozitatea pieselor din oțel cu conținut ridicat în carbon, ea rămâne totuși necesară pentru a evita alte posibile surse de deteriorare.

Pentru creșterea capacității de răcire și de înmuiere a emulsiilor, uleiurilor li s-a aditivat componenți ai produselor active conferindu-li-se astfel o anumită anctuozitate: ele aderă mai bine pe piatră și pe piesă (fig.3.31.a) decât fluidele cu o slabă putere de înmuiere (fig.3.31.b).

Fluidele astfel preparate se dirijează mult mai bine în zona de contact piatră - piesă; piatra se uzează mai încet, iar rugozitatea piesei se diminuează.

O tehnică modernă de rectificare care asigură o calitate superioară a suprafeței rectificate în condițiile creșterii productivității și conservării structurii metalului superficial constă în introducerea lichidului de răcire prin interiorul pietrei.

Superioritatea acestui procedeu față de celelalte constă în faptul că fluidul ajunge direct în zona de contact și este sigură menținerea în zona de lucru a unei pelicule protectoare care evacuează căldura produsă și favorizează întreținerea unui film de sulfură de siliciu care scaldă granulele abrazive. Acest component care ia naștere protejează abrazivul contra uzurii prin difuzia și absorbția acestuia pe suprafețele prelucrate, de asemenea diminuează frecările între abraziv și piesă. Încercările efectuate cu răcire prin piatră au arătat o clară diminuare a cantității de căldură produsă față de rectificarea obișnuită, de asemenea apare și o creștere a calității. Pe de altă parte piatra se ancrasează mult mai greu: prezența lichidului în interstițiile ce separă granulele împiedică fixarea particulelor metalice în pori prin acțiunea sa de înmuiere și efectele de inerție (forțe de inerție).

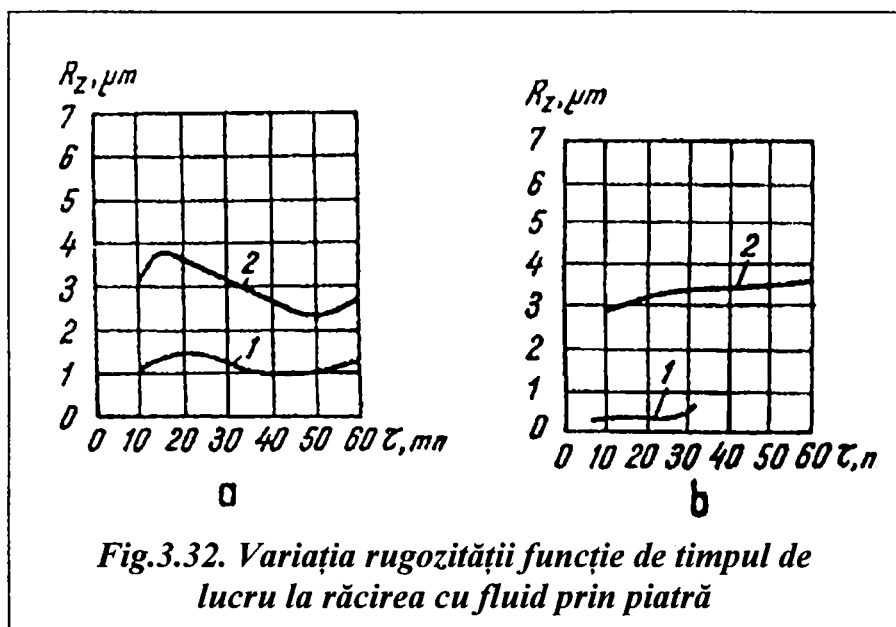


Figura 3.32 prezintă rugozitatea suprafeței finisate funcție de timpul de lucru  $\tau$  la acest procedeu de răcire.

Este vorba de rectificarea oțelului OLC60 (HRC 55) (fig.3.32.a) și a oțelului rapid R9 (cu 9% tungsten) călit la o duritate de HRC60 (fig.3.32.b). Regimul de

lucru a fost  $v_{dix} = 22$  m/s,  $v_p = 20$  m/min, avansul longitudinal  $f_t = 0,4$  din lățimea pietrei, egală cu 60 mm, adâncimea de pătrundere  $t = 0,02$  mm/cursă dublă.

Figura 3.33 prezintă legătura între uzura pietrei (fig.3.33.a), înălțimea asperităților  $R_z$  (fig.3.33.b) și rugozitatea piesei (fig.3.33.c) și debitul de fluid admis (apă din exterior, ulei din interior) după atingerea unui regim de funcționare în care piatra prelevează un volum constant de material ( $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ ).

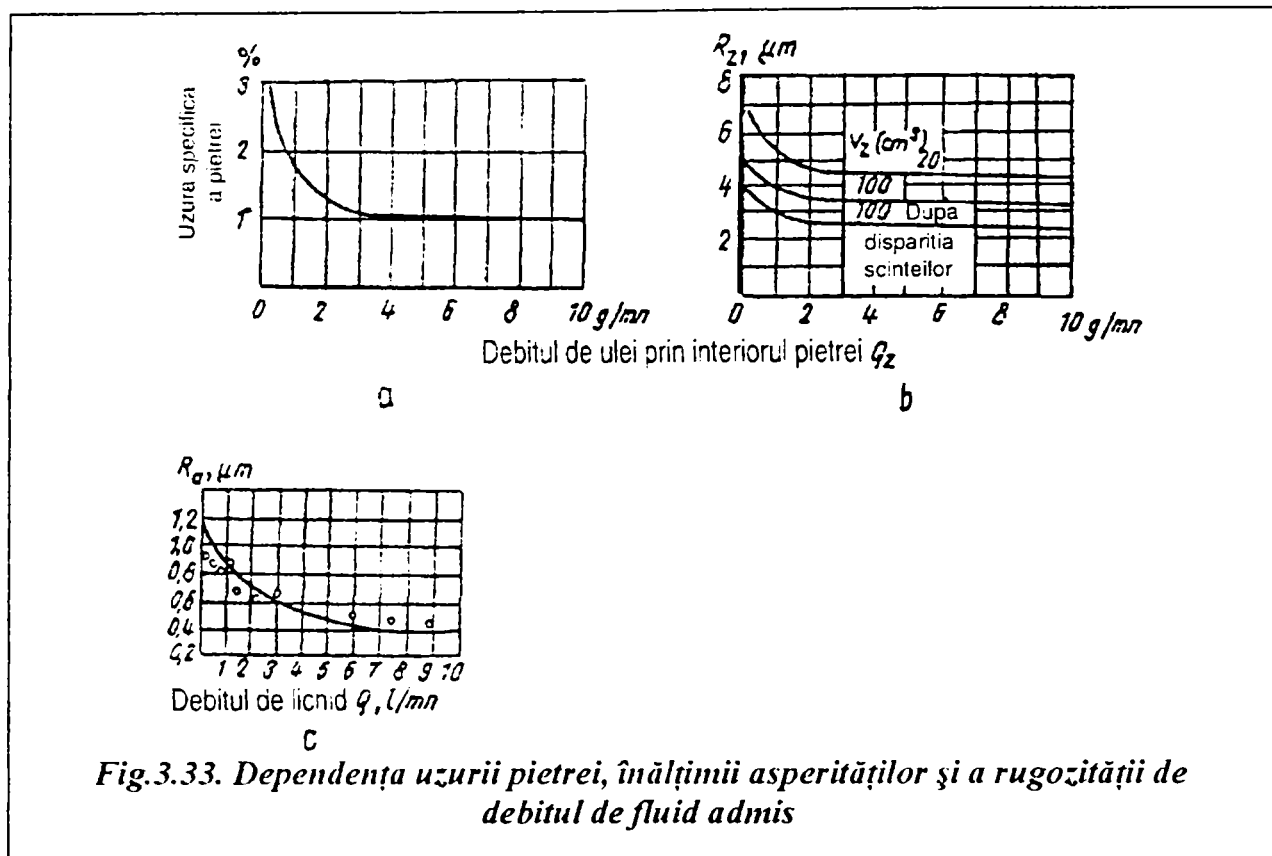
Din punct de vedere al uzurii pietrei, al debitului de așchii și a rugozității generate pe piesă este preferabilă utilizarea fluidelor separate. Cele două fluide prezintă un avantaj important: apa are un efect de răcire mai puternic, iar uleiul reduce coeficientul de frecare între piatră și piesă.

La rectificarea de finisare sculele necesită o răcire și o ungere eficace realizate prin pulverizarea fluidului în ceață. Amestecul aer-ulei este dozat într-un pulverizator care proiectează o anumită cantitate de fluid în zona de așchiere.

Aerul absoarbe o parte a căldurii produse prin frecare în timp ce uleiul joacă rol de lubrifianț.

### 3.1.8. Influența sistemului de control activ

În scopul creșterii calității pieselor rectificate și a capacității de producție a mașinii se utilizează diverse tipuri de sisteme de control activ care măsoară direct sau indirect dimensiunea piesei în timpul prelucrării.



Cele cu măsurare indirectă controlează deplasarea păpușii portpiatră, fără să poată compensa marea majoritate a erorilor factorilor perturbatori enumerați anterior (deformațiile sistemului tehnologic elastic, uzură și corecția pietrei de rectificat, deformațiile termice, erorile de poziționare ale păpușii pietrei etc.).

Precizia cea mai mare se asigură cu sistemele de control activ care măsoară direct dimensiunea piesei. În acest caz eroarea de măsurare are influența cea mai mare asupra măsurării. Eroarea sistemului de măsurare este afectată de următorii factori:

- calitatea senzorului dimensiunii;
- contactul dintre palpatorul sau palpatoarele sistemului și piesă;
- precizia de poziționare a sistemului de control activ în sistemul tehnologic elastic;
- precizia pieselor componente ale sistemului de control activ (jocuri în articulațiile lanțului de transmitere a informației, schimbarea caracteristicii frecării în articulații etc.);
- variația întâmplătoare a parametrilor lanțului electric de transmitere a informației;
- variația temperaturii în sistemul de control activ;
- poziționarea contactelor prin care se transmit comenzile pentru realizarea ciclului de rectificare;
- erori de apreciere a dimensiunilor cu ajutorul scalei;

- caracteristicile dinamice ale sistemului de control activ.

Senzorul unui sistem automat de control activ trebuie să îndeplinească următoarele condiții de bază:

- să aibă o caracteristică liniară între mărimea de intrare și cea de ieșire;
- caracteristica senzorului să aibă o stabilitate cât mai mare în timp;
- sensibilitate corespunzătoare;
- constantă de timp cât mai mică în scopul asigurării preciziei și unei capacități de producție cât mai mare a mașinii;
- influența cât mai mică a factorilor perturbatori (poziție, temperatură, vibrații etc.) asupra rezultatelor măsurărilor;
- să aibă o construcție simplă, robustă și ușor de executat.

La mașinile de rectificat rotund exterior între vârfuri cele mai răspândite sisteme de control activ sunt cele bazate pe traductoarele (senzorii) inductive. Aceste traductoare se comportă mai bine decât toate celelalte, având în vedere condițiile în care are loc rectificarea: prezența lichidului de răcire, particulelor metalice și abrazive etc. Contactul direct dintre palpatoare și piesă este ferm, evident, cu influență negativă asupra rezultatului măsurării. Materialul pastilelor de contact este special, cu rezistența mare la uzură, ceea ce face ca influența uzurii să fie foarte redusă.

Asupra construcțiilor și a modurilor lor de funcționare se revine în capitolul 5 din prezenta lucrare.

### **3.2. DETERMINAREA REGIMULUI OPTIM CARE ASIGURĂ PRECIZIA IMPUSĂ LA RECTIFICARE**

Prelucrările pe mașini-unelte cu comenzi manuale, secvențiale și numerice se execută, în cadrul aceleiași faze, cu parametri de așchiere constanți. Acești parametri sunt stabiliți de către tehnolog cu relațiile cunoscute din teoria așchierii, iar valorile obținute sunt introduse în documentația tehnologică. Operatorul instalează parametri menționați pe mașina-unealtă prin intermediul elementelor și echipamentelor de comandă (manete, pârghii, butoane, echipamente de comandă numerică etc.).

Metodologia de determinare și instalare a parametrilor de așchiere, prezentată mai sus și folosită curent în practica industrială prezintă următoarele dezavantaje:

- determinarea parametrilor regimurilor de așchiere necesită un volum mare de muncă, executat cu personal cu calificare înaltă;
- calculul parametrilor se face cu aproximații relativ mari, datorită valorilor aproximative ale constantelor care intră în formulele de calcul



- și care se potrivesc în majoritatea cazurilor cu compoziția chimică a materialului de așchiat și cu starea de duritate a stratului superficial;
- pentru a evita pericolele de supraîncărcare a mașinii-unelte, tehnologul acceptă valori mai reduse ale parametrilor regimului de așchiere decât valorile rezultate din calcule, ceea ce duce la folosirea parțială a capacității de producție și la reducerea eficienței energetice a mașinii-unelte;
  - instalarea parametrilor de așchiere pe mașină se face cu erori, erori a căror valori pot fi apreciabile (20...30% din valoarea instalată), în special la mașinile înzestrate cu sisteme hidraulice;
  - în timpul desfășurării procesului, adâncimea de așchiere își micșorează valoarea după o lege care depinde de legea de variație a rigidității sistemului tehnologic elastic ceea ce afectează, pe de o parte precizia dimensională și de formă, iar pe de altă parte duce la creșterea numărului de treceri, deci a timpului de bază;
  - variația adaosului de prelucrare și a durității produc variații de forțe în sistem, respectiv variații ale deformațiilor sistemului tehnologic elastic, care micșorează după o lege oarecare adâncimea de așchiere reducând capacitatea de producție și precizia de prelucrare;
  - în ansamblu, condițiile în care se desfășoară procesul de așchiere se modifică chiar în timpul unei treceri (rigiditatea variază, scula se uzează, starea termică a mașinii se schimbă, etc.), condiții pe care tehnologul nu poate să le cuprindă în relațiile de determinare a "parametrilor optimi" de lucru.

Fenomenele menționate în general pentru toate tipurile de mașini-unelte au influența mai mare asupra preciziei în cazul mașinilor de rectificat. Aceste influențe provin din următoarele cauze:

- precizia de prelucrare este mult mai mare;
- valorile avansurilor de pătrundere sunt comparabile uneori chiar mai mici decât deformațiile sau valorile deformațiilor elastice;
- lanțurile cinematice sunt, de regulă, hidraulice sau hidromecanice a căror erori sunt mult mai mari decât ale lanțurilor cinematice mecanice;
- rigiditatea sistemului tehnologic elastic este variabilă în câmpul bidimensional al mașinii.

În condițiile precizate metodologia cunoscută de stabilire a parametrilor la rectificare [23], [67], [102] nu ține seama de factorii concreți participanți în proces și evident nici de asigurarea preciziei impuse în urma rectificării.

În continuare se prezintă o metodologie originală prin care se stabilește regimurile optime de rectificare cu care se obține precizia impusă pentru piesa care se rectifică.

Pentru stabilirea regimurilor de lucru prin această metodă, este necesar să se cunoască rigiditățile subansamblurilor componente ale mașinii, rigiditatea piesei, modul de antrenare în mișcare a acesteia, variația adaosului de rectificare și componenta radială a forței de așchiere, materialul semifabricatului și caracteristicile pietrei abrazive.

Pentru determinarea parametrilor se pleacă de la relațiile următoare stabilite în legătură cu relațiile din cap.3.1.2.1.:

$$1. \quad \delta_a = k_1 \cdot \frac{F_y \cdot d_p}{j_{c,pp} d_a}; \quad (3.104)$$

$$2. \quad \delta_z = k_2 \left( 1 - \frac{t_r}{t} \right)^i; \quad (3.105)$$

$$3. \quad \delta_{pp} = k_3 \cdot \frac{F_x}{j_p}; \quad (3.106)$$

$$4 \quad \delta_s = k_4 \left( \frac{F_x}{j_{pm}} + \frac{S_{pp}}{j_{pp}} \right) \left( \frac{B \cdot i}{\ell} - \frac{1}{2} \right); \quad (3.107)$$

în care:

$\delta_a$  este eroarea datorită acționării piesei cu un antrenor;

$\delta_z$  - eroarea piesei datorată variației adaosului de prelucrare;

$\delta_{pp}$  -eroarea cauzată de deformația piesei;

$\delta_0$  - eroarea datorată centrelor mașinii și a lățimii pietrei;

$k_1, k_2, k_3, k_4$  - coeficienți numerici a căror valoare depinde de tipul erorii;

$d_p$  - diametrul piesei;

$d_a$  - diametrul cercului descris de antrenor;

$j_{c,pp}$  - rigiditatea centrelor și a păpușii pietrei;

$t_r$  - adâncimea reală de rectificare;

$t$  - adâncimea instalată de rectificare;

$j_p$  - rigiditatea piesei;

$j_{pm}$  - rigiditatea păpușii mobile;

$S_{pp}$  - rezultanta forțelor normale la păpușa piesei;

$B$  - înălțimea pietrei;

$i$  - numărul de treceri la rectificare cu avans transversal;

$j_{pp}$  - rigiditatea păpușii portpiesă.

Eroarea  $\delta_a$  poate fi neglijată, dacă se utilizează un dispozitiv special cu două elemente de antrenare.

În scopul simplificării calculelor se recomandă folosirea nomogramelor (fig.3.34, 3.35, 3.36) care permit determinarea parametrilor regimului de prelucrare, ținând cont de puterea electromotorului pietrei și stabilirea ușoară și rapidă a oricăreia dintre erori în funcție de regimul ales, sau cu ajutorul căruia se realizează precizia impusă. Cu nomograma din figura 3.34 se determină eroarea de formă și a dimensiunilor în funcție de numărul de treceri  $i$ , respectiv valoarea numărului de treceri la care se asigură precizia impusă. Pentru aceasta este necesar să se cunoască raportul  $t/\tau$  care poate fi determinat experimental prin rectificarea unei probe pe mașina pe care se execută prelucrarea. Acest raport mai poate fi determinat analitic dacă se cunosc curbele de rigiditate ale subsansamblurilor mașinii. Valoarea raportului  $t/\tau$  este variabilă între vârfurile mașinii, depinzând de poziția pietrei față de unul dintre vârfuri admis ca punct de referință. La determinarea analitică a raportului  $t/\tau$  se pleacă de la stabilirea lui  $\tau$  în funcție de puterea electromotorului pietrei de rectificat, iar apoi a lui  $t$  după ecuația:

$$t = \tau + y^{(x)}, \quad (3.108)$$

în care  $y^{(x)}$  reprezintă deformația sistemului tehnologic elastic pentru poziția  $x$  a pietrei față de vârful păpușii mobile considerat originea deplasării.

În dreptul păpușii piesei:

$$t_{pp} = \tau + y^{(pp)} = \tau + y_{pp} + y_{pr} = \tau + \frac{S_{pp}}{j_{pp}} + \frac{S_{pr}}{j_{pr}}, \quad (3.109)$$

iar în dreptul păpușii mobile:

$$t_{pm} = \tau + y^{(pm)} = \tau + y_{pm} + y_{pr} = \tau + \frac{F_x}{j_{pm}} + \frac{S_{pr}}{j_{pr}}, \quad (3.110)$$

în care  $y_{pp}$ ,  $y_{pm}$ , și  $y_{pr}$  sunt deformațiile păpușii piesei, păpușii mobile și păpușii portpiatră.

Componenta  $F_x$  se determină cu relația:

$$F_x = c \cdot F_y, \quad (3.111)$$

în care:

$$F_y = \frac{750 \cdot P}{v_{pr}}, \quad [N], \quad (3.112)$$

unde  $P$  este puterea motorului de antrenare a pietrei în kW și  $v_{pr}$  este viteza periferică a pietrei în m/s. Coeficientul  $c$  se ia din tabelul 3.3.

Tab.3.3. Valorile coeficientului c

$\tau$ [ $\mu\text{m}$ ]		5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
$c = \frac{F_x}{F_y}$	Oțel necălit	1.61	1.71	1.78	1.84	1.90	1.94	1.94
$c = \frac{F_x}{F_y}$	Oțel călit	1.55	1.72	1.86	1.97	2.06	2.15	2.23

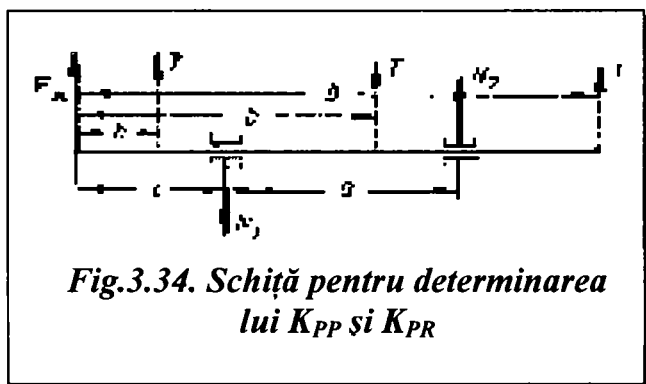


Fig.3.34. Schiță pentru determinarea lui  $K_{PP}$  și  $K_{PR}$

Forțele radiale însumate în dreptul păpușii mobile care acționează asupra păpușii pietrei de rectificat  $F_{XPP}$  și  $F_{XPR}$  se determină cu formulele de mai jos:

$$F_{XPP} = F_x + F_y \cdot \cos \beta_{PP} \cdot K_{PP} \quad (3.113)$$

$$F_{XPR} = F_x + F_y \cdot \cos \beta_{PR} \cdot K_{PR} \quad (3.114)$$

în care  $K_{PP}$  și  $K_{PR}$  sunt coeficienții

păpușii piesei și respectiv ai pietrei.

Coeficienții  $K_{PP}$  și  $K_{PR}$  se determină cu formulele (3.115) și (3.116) funcție de construcția mașinii și în legătură cu fig.3.34.

$$K_{PR} = \frac{r_{PR}}{r_{sad}} \left[ 1 - \frac{(a+2c)b}{(a+c)^2 + c^2} \right] \quad (3.115)$$

$$K_{PP} = \frac{r_P}{r_{sap}} \left[ 1 - \frac{(a+2c)b}{(a+c)^2 + c^2} \right] \quad (3.116)$$

Coeficienții  $\beta_{PP}$  și  $\beta_{PR}$  au semnificația din figura 3.35, în care se ține seama de forțele și momentele care apar în procesul de rectificare, precum și de forțele și momentele de antrenare a pietrei respectiv a piesei, după cum urmează:

F - forța de antrenare de către electromotor a pietrei;

Q - forța de antrenare de către electromotor a piesei;

$r_{sap}$  - raza șabei de antrenare a piesei;

$r_{sad}$  - raza șabei de antrenare a pietrei;

$\cos \beta = 1$  - când forța de antrenare a pietrei sau a piesei nu provoacă deformații ale arborilor acestora pe direcția  $F_x$  sau când motorul antyrenează direct printr-un cuplaj arborii respectivi.

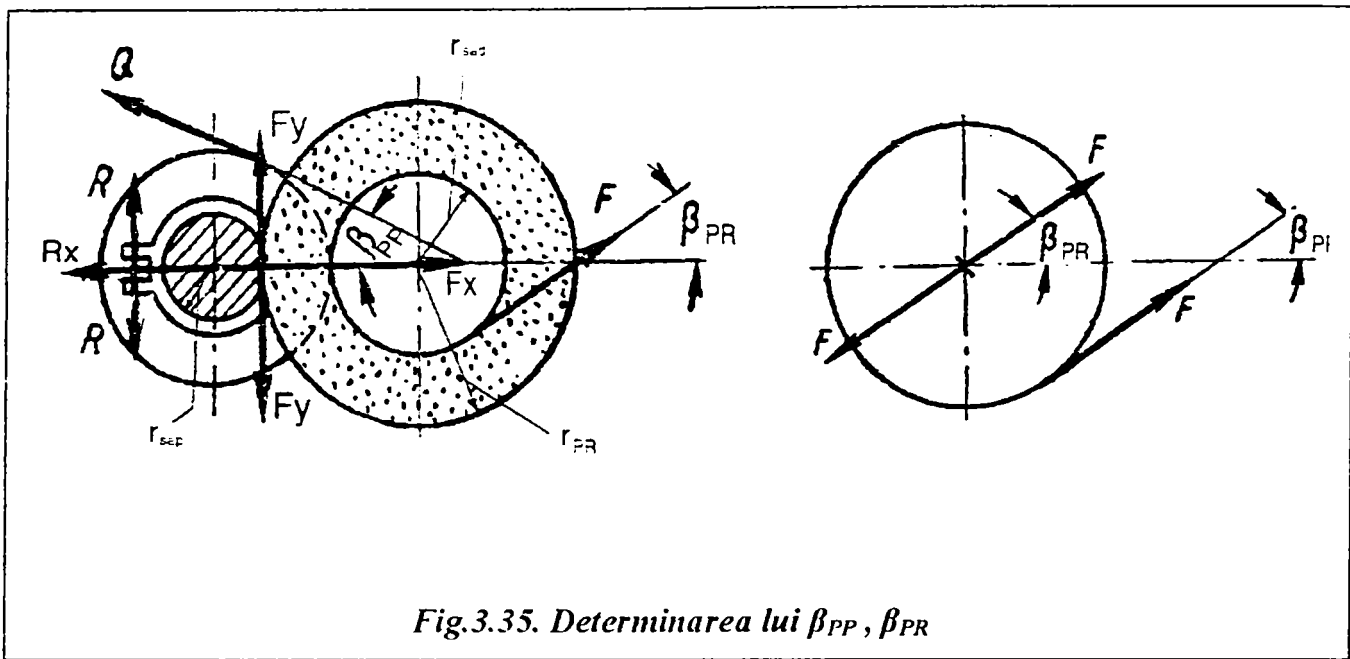
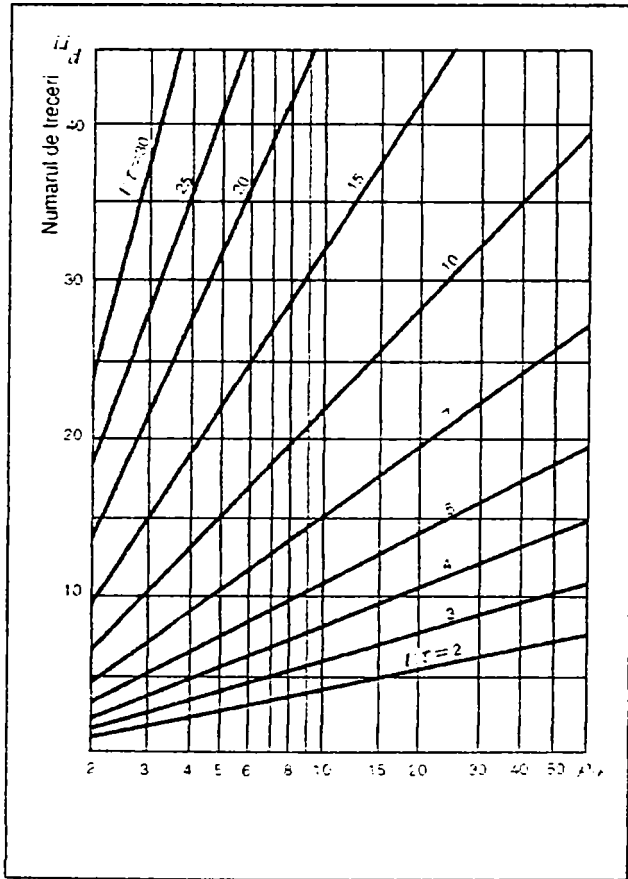


Fig.3.35. Determinarea lui  $\beta_{PP}$ ,  $\beta_{PR}$

Rigiditatea păpușii portpiesă, păpușii mobile și a păpușii pietrei  $j^{(PP)}$ ,  $j^{(PM)}$  și  $j^{(PR)}$  se determină experimental prin măsurări pentru fiecare mașină, prin metoda prezentată în subcapitolul 6.3.

Adâncimea reală de rectificare  $\tau$ , la rectificarea pe mașinile de rectificat rotund fără corecție se micșorează pe direcția de la păpușa portpiesă la păpușa mobilă ca urmare a rigidității mai reduse a sistemului în dreptul păpușii mobile. Odată însă cu creșterea numărului de treceri diferența între adâncimile reale ale rectificării în dreptul păpușii piesei și a celei mobile treptat se reduce la zero.

La rectificarea cu corectarea adâncimii reale  $\tau$  astfel încât aceasta să aibă aceeași valoare în dreptul celor două păpuși, modificând în mod corespunzător valoarea avansului de pătrundere la sfârșit se obține aceeași precizie ca și în cazul precedent însă puterea mașinii este utilizată mai bine.



Exemplul numeric nr.1

Se consideră că este necesar a se determina abaterea de formă  $\Delta r_p$  în secțiunea transversală a unei piese prelucrată prin rectificarea pe mașina

RE350, cu puterea motorului de antrenare  $P = 5 \text{ kW}$ , cu variația adaosului de prelucrare  $\Delta r_0 = 0,03 \text{ mm}$ , rigiditățile componentelor mașinii sunt:  $j^{(PP)} = 10 \text{ kN/mm}$ ,  $j^{(PM)} = 5 \text{ kN/mm}$ ,  $j^{(PR)} = 15 \text{ kN/mm}$ . Rezultanta forțelor radiale în dreptul păpușii piesei  $F_{xp} = 1,4 F_x$ . Materialul piesei este OLC45 necălit, piatra abrazivă cu granule din electrocorindon; adaosul de rectificare  $A_d = 0,3 \text{ mm}$ , viteza pietrei  $v_{PR} = 30 \text{ m/s}$ .

Din tabelul 3.3 pentru condițiile de rectificare precizate se găsesc:  $\tau = 0,015 \text{ mm}$  și  $c = 1,9$ . Din relațiile cunoscute rezultă:

$$F_y = 175 \text{ N}; \quad F_x = c \cdot F_y = 330 \text{ N};$$

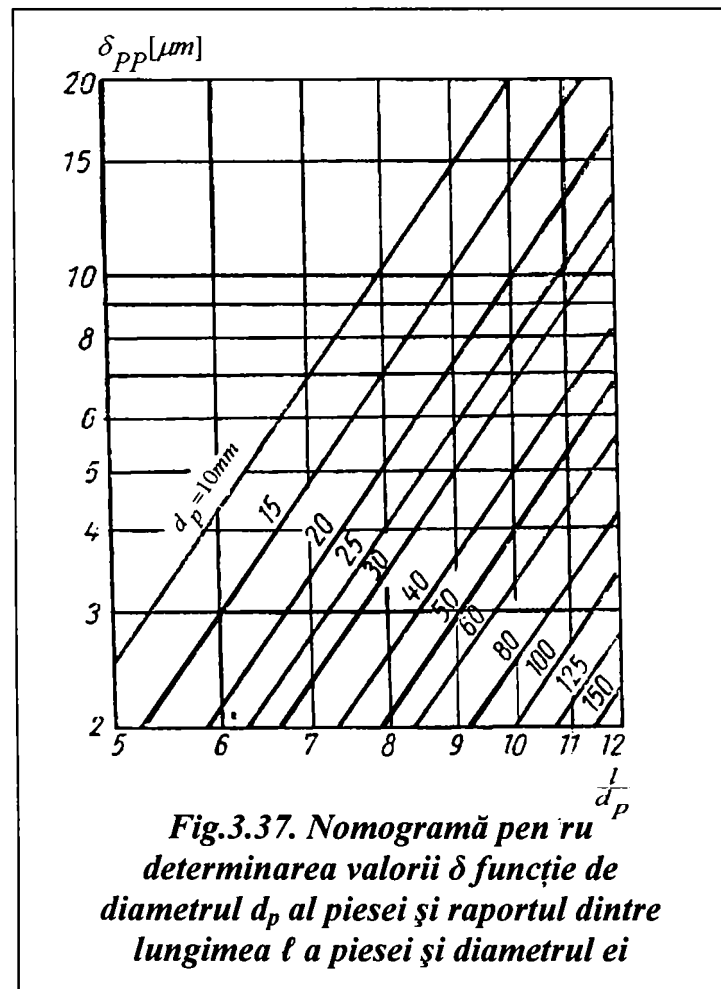
$$F_{xp} = S_{pp} = S_{pr} = 1,4 \cdot F_x = 1,4 \cdot 330 = 460 \text{ N} \quad (\text{pentru mașina dată})$$

Cu relațiile (3.109) și (3.110) adâncimile de rectificare  $t_{pp}$  în dreptul păpușii portpiesă și  $t_{pm}$  în dreptul păpușii mobile rezultă:

$$t_{pp} = \tau + y^{(PP)} = \tau + y_{pp} + y_{pr} = \tau + \frac{S_{pp}}{j_{pp}} + \frac{S_{pr}}{j_{pr}} = 0,015 + \frac{460}{10000} + \frac{460}{15000} = 0,092 \text{ mm}$$

și

$$t_{pm} = \tau + y^{(PM)} = \tau + y_{pm} + y_{pr} = \tau + \frac{F_x}{j_{pm}} + \frac{S_{pr}}{j_{pr}} = 0,015 + \frac{330}{10000} + \frac{460}{15000} = 0,112 \text{ mm}.$$



P  
mai mare eroare se obține în dreptul păpușii mobile la care:

$$\frac{t_{pm}}{\tau} = \frac{0,112}{0,015} = 7,5.$$

După nomograma din figura 3.36 la  $\frac{t}{\tau} = 7,5$  și la numărul de treceri  $i = \frac{A_d}{2\tau} = \frac{0,3}{2 \cdot 0,015} = 10$  rezultă eroarea  $\rho = 4$ .

Din acest motiv eroarea dinamică a sistemului tehnologic la un  $\epsilon_{rSTE}$ , p. fază, este:

$$\epsilon_{rSTE} = \frac{\Delta r_0}{\rho} = \frac{0,03}{4} = 7,5 \mu\text{m},$$

iar pentru diametru:

$$\varepsilon_{dSTE} = 2 \cdot \varepsilon_{rSTE} = 15 \mu\text{m}.$$

În conformitate cu recomandările din literatura de specialitate și a unor standarde internaționale (GOST 1450-42) admitem suma erorilor  $\varepsilon_y$ , de instalare a semifabricatului și  $\varepsilon_{STE}$ , a sistemului tehnologic elastic ca având valoarea:

$$\varepsilon_y + \varepsilon_{STE} = 0,005\text{mm},$$

atunci eroarea formei piesei  $\delta_{rftp}$  după rectificare are valoarea:

$$\delta_{rftp} = 7,5 + 2,5 + \frac{T_d}{4},$$

unde  $T_d$  este toleranța piesei rectificate.

Admitem  $\varepsilon_\delta = 9 \mu\text{m}$ , unde  $\varepsilon_\delta$  reprezintă eroarea totală a poluării. Atunci eroarea dinamică de formă a piesei generată de sistemul tehnologic elastic  $\varepsilon_{rSTE}$  e dată de

relația:  $\varepsilon_{rSTE} = \varepsilon_\delta - (\varepsilon_y + \varepsilon_{STE}) = 9 - 5 = 4 \mu\text{m}$ , ceea ce nu corespunde erorii de

formă obținută cu regimul ales la care  $\rho = \frac{7,5}{4} \approx 2$ . Această eroare poate fi

obținută prin faza de destindere a cărei număr de treceri se obține tot din

nomograma din figura 3.36

(la  $\rho_d = 2$  și la  $\frac{t}{\tau} = 7,5$ ,

$i_{\text{destindere}} = 5$ ).

Erorile formei și ale dimensiunilor diametrului piesei în secțiuni axiale se determină ca suma algebrică a componentelor erorilor:  $\delta_{zpp}$ ,  $\delta_{pp}$  și  $\delta_{STE}$ .

Sucesiunea operațiilor pentru determinarea lui  $\delta_{pp}$  rezultă din parcurgerea traseului următor

$\frac{l}{d_p} \rightarrow d_p \rightarrow \delta_{pp}$ . Valoarea

obținută se multiplică cu  $F_x/100$  (nomograma a fost construită pentru  $F_x = 100 \text{ N}$ ).

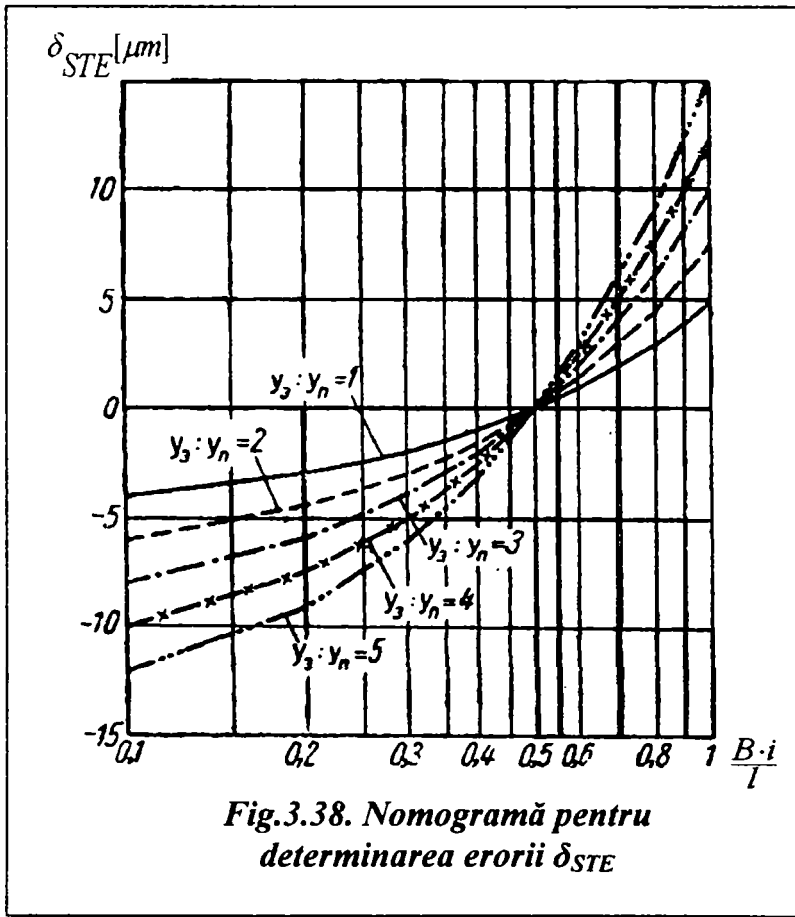


Fig.3.38. Nomogramă pentru determinarea erorii  $\delta_{STE}$

Eroarea  $\delta_{pp}$  se găsește cu ajutorul nomogramei din figura 3.37.

Eroarea  $\delta_{STE}$  se obține din nomograma din figura 3.38.

Rezultatul obținut din nomograma  $\delta_{rm}$ , se multiplică cu  $\frac{y_{pp}}{10}$  (nomograma a fost construită pentru  $y_{pp} = 10 \mu\text{m}$ ).

Dacă suma  $\Delta_{\ell}$ , în orice secțiune transversală, dată de relația:

$$\Delta_{\ell} = \delta_{zpp} + \delta_{pp} + \delta_{STE}$$

se cuprinde între limitele admisibile atunci regimul de lucru este stabilit corect. În caz contrar este necesar să se mărească numărul de treceri corespunzător adaosului de rectificare sau a se folosi destinderea fără creșterea adaosului: aplicând relația (3.105) pentru cazul concret al destinderii se obține

$\Delta_{\ell_d} = \Delta_{\ell} \left(1 - \frac{\tau}{t}\right)^{i_d}$ , unde eroarea  $\Delta_{\ell_d}$ , trebuie să fie cuprinsă între limitele admisibile, funcție de care se determină  $i_d$ . Astfel calculul regimului de rectificare este terminat.

### Exemplul numeric nr.2

Se impune determinarea erorii de formă  $\delta_{rpp}^{(x)}$  și a dimensiunilor diametrale  $\delta_{dpp}^{(x)}$  în secțiune axială la rectificarea unei piese din oțel carbon având diametrul  $d_p = 40 \text{ mm}$ , lungimea  $\ell = 400 \text{ mm}$ ,  $\delta_{ripp} = -0,1 \text{ mm}$ ,  $\delta_{dipp} = -0,15 \text{ mm}$ ,  $A_d = 0,3 \text{ mm}$  pe mașina cu caracteristicile:  $P = 5 \text{ kW}$ ,  $j_{pp} = 10 \text{ kN/mm}$ ;  $j_{PM} = 5 \text{ kN/mm}$  și  $j_{PR} = 15 \text{ kN/mm}$ ,  $S_{pp} = S_{PR} = 1,4 \cdot F_x$ , piatra abrazivă M40 cu  $B = 40 \text{ mm}$  și  $v_{PR} = 30 \text{ m/s}$ .

Luând în considerare datele de la exemplul anterior admitem  $\tau = 0,015 \text{ mm}$ ,  $F_x = 330 \text{ N}$ ,  $S_{pp} = S_{PR} = 460 \text{ N}$  și  $t_{pp} = 0,092 \text{ mm}$ ,  $t_{pm} = 0,112 \text{ mm}$ .

$$\text{La } i = \frac{A_d}{2 \cdot \tau} = \frac{0,30}{2 \cdot 0,015} = 10 \quad \text{și} \quad \frac{t_{pm}}{\tau} = \frac{0,112}{0,015} = 7,5, \text{ iar din nomograma din}$$

figura 3.36 rezultă  $\rho = 4$ . Urmează că  $\delta_{zpp} = \frac{\delta_{ripp}}{\rho} = \frac{-0,1}{4} = -0,025 \text{ mm}$  și

$$\delta_{dzpp} = \frac{\delta_{dipp}}{\rho} = \frac{-0,15}{4} = -0,38 \mu\text{m}, \text{ (semnul minus definește conicitatea).}$$

Din nomograma din figura 3.37 rezultă:

$$\delta_{rpp} = 5 \cdot \frac{F_x}{100} = 5 \cdot \frac{330}{100} = 16,5 \mu\text{m},$$

iar



$$\delta_{dfpp} = 5 \cdot \frac{F_x}{100} \cdot 2 = 5 \cdot \frac{330}{100} \cdot 2 = 33 \mu\text{m},$$

fără a se lua în considerare influența presiunii arcului păpușii mobile. Admitem că valoarea forței de strângere între vârfuri este  $Q = 150 \text{ N}$ . În acest caz valorile  $\delta_{rfpp}$  și  $\delta_{dfpp}$  trebuie să fie multiplicare cu coeficientul  $k$  a cărui valoare se determină cu relația din [76]:

$$k = 1 - 0,75 \cdot \frac{Q}{Q + 100} = 1 - 0,75 \cdot \frac{150}{150 + 100} = 0,55$$

adică:

$$\delta_{rfpp} = 16,5 \cdot 0,55 = 9 \mu\text{m} \quad \text{și} \quad \delta_{dfpp} = 33 \cdot 0,55 = 18 \mu\text{m}.$$

În vederea utilizării nomogramei din figura 3.38 pentru determinarea lui  $\delta_{STE}$  trebuie, în prealabil, să se găsească:

$$y_{PM} = \frac{F_x}{j_{PM}} = \frac{330}{5000} = 66 \mu\text{m} \quad \text{și} \quad y_{PP} = \frac{S_{PP}}{j_{PP}} = \frac{460}{10000} = 46 \mu\text{m}$$

Atunci:

$$\frac{y_{PM}}{y_{PP}} = \frac{66}{46} = 1,4 \quad \text{și} \quad \frac{B \cdot i}{\ell} = \frac{40 \cdot 10}{400} = 1,0; \quad \delta_{rm} = 6 \cdot 4,6 \approx 28 \mu\text{m} \quad \text{și} \quad \delta_{dm} = 6 \cdot 4,6 \cdot 2 \approx 56 \mu\text{m}$$

Adunând erorile componente  $\delta_{zpp}$ ,  $\delta_{fpp}$ , și  $\delta_{STE}$  obținem pentru:

$$\epsilon_{dSTE} = \delta_{rzpp} + \delta_{rfpp} + \delta_{rSTE} = -25 + 9 + 28 = 12 \mu\text{m}$$

și pentru diametru:

$$\epsilon_{dSTE} = \delta_{dzpp} + \delta_{dfpp} + \delta_{dSTE} = -38 + 18 + 56 = 36 \mu\text{m}$$

Admitem, pe baza recomandărilor,  $\epsilon_y + \epsilon_{STE} = 0,01 \text{ mm}$ , iar eroarea de reglare la dimensiune a mașinii pentru arborele cu diametru  $\Phi 40$  după clasa a 2-a de precizie:

$$\frac{IT2}{2} = 8,5 \mu\text{m} \quad \text{atunci:} \quad \delta_{rfpp} = 12 + 10 = 22 \mu\text{m} \quad \text{și} \quad \delta_{dfpp} = 36 + 10 + 8,5 = 54,5 \mu\text{m}.$$

Dacă această precizie este nesatisfăcătoare și trebuie mărită de exemplu la  $\delta_{dfpp} = 30 \mu\text{m}$ , atunci eroarea dinamică a diametrului este dată de relația:

$$\varepsilon_{dSTE_a} = \delta_{dfpp} - \left( \varepsilon_y + \varepsilon_{STE} + \frac{IT2}{2} \right) = 30 - (10 + 8,5) = 11,5 \mu\text{m}.$$

Pentru a se realiza precizia menționată mai sus se recurge la stabilirea regimului de destindere a cărui număr de treceri se determină după nomograma din figura 3.36 pentru:

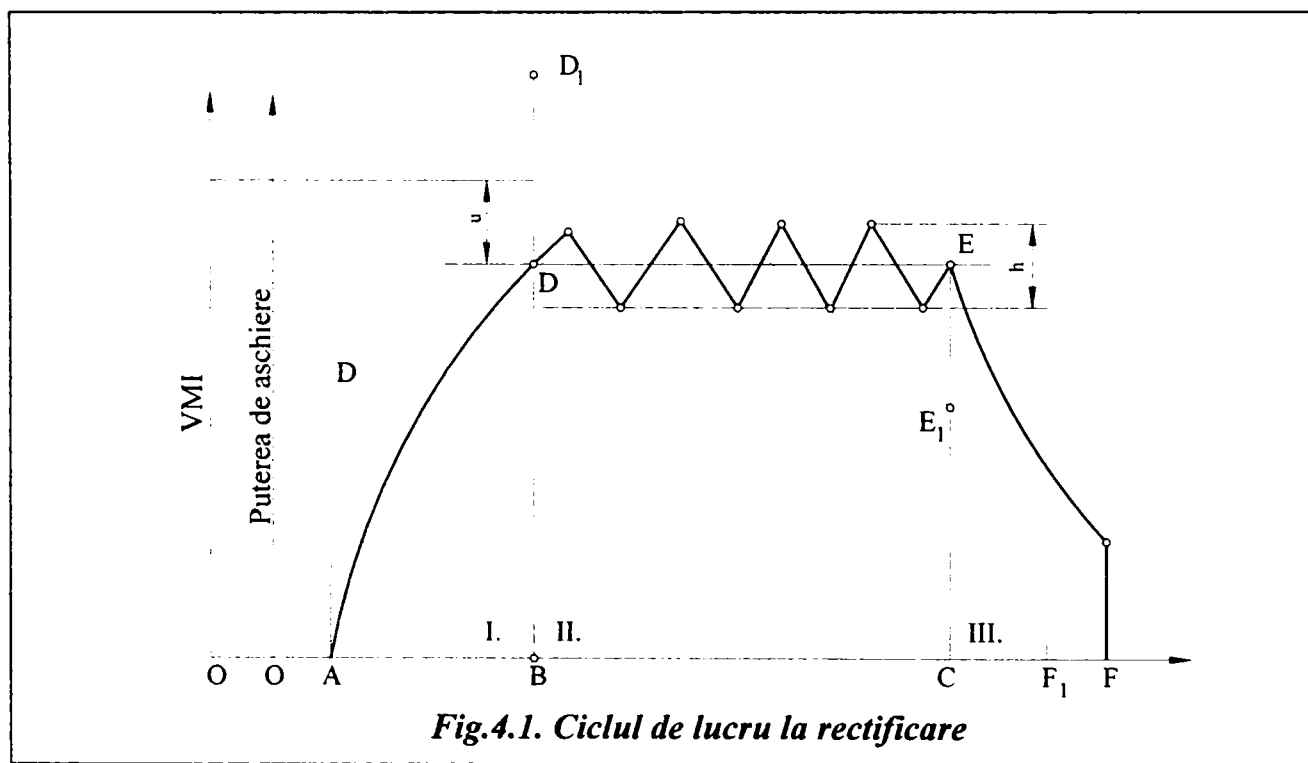
$$\delta_d = \frac{\varepsilon_{dSTE}}{\varepsilon_{dSTE_a}} = \frac{3,6}{11,5} \approx 3 \quad \text{si} \quad \frac{t}{\tau} = 7,5.$$

Rezultă  $i_d = 7$ .

## 4. CICLURILE DE PĂTRUNDERE ALE PIETREI LA RECTIFICĂRILE CU CONTROL ACTIV

### 4.1. ANALIZA CICLULUI DE PĂTRUNDERE LA RECTIFICAREA ROTUND EZTERIOARĂ, INFLUENȚA FAZELOR CICLULUI ASUPRA CAPACITĂȚII PRODUCTIVE ȘI CALITĂȚII PIESELOR RECTIFICATE

Îndepărtarea adaosului de prelucrare are loc după un ciclu în mai multe faze (fig.4.1.) și anume: apropiere rapidă OA, pătrundere AB, prelucrarea cu forță relativ constantă BC și destinderea CF.



Forța de rectificare, limitată de rigiditatea sistemului tehnologic elastic produce o tensionare a elementelor componente ale acestuia, motiv pentru care avansul transversal real este mai mic decât avansul transversal reglat de mașină. Pe măsura creșterii comprimării sistemului tehnologic elastic se măresc și deformațiile în sistem și deci va crește și avansul transversal real.

Astfel, prima etapă a procesului de rectificare se caracterizează printr-un regim nestabil de lucru, în timpul căreia se observă o creștere a materialului îndepărtat și a puterii necesare la așchiere.

După [54] ecuația curbei de creștere a avansului de pătrundere  $s_t$  respectiv cu care este proporțional volumul de material îndepărtat este

$$s_t = s_{t_0} \left( 1 - e^{-\frac{s_{t_0} \cdot j \cdot t}{F_x}} \right), \quad (4.1)$$

în care:  $s_t$  este valoarea curentă a avansului transversal;  
 $s_{t_0}$  - valoarea reglată pe mașină a avansului transversal;  
 $j$  - rigiditatea sistemului tehnologic elastic;  
 $t$  - timpul.

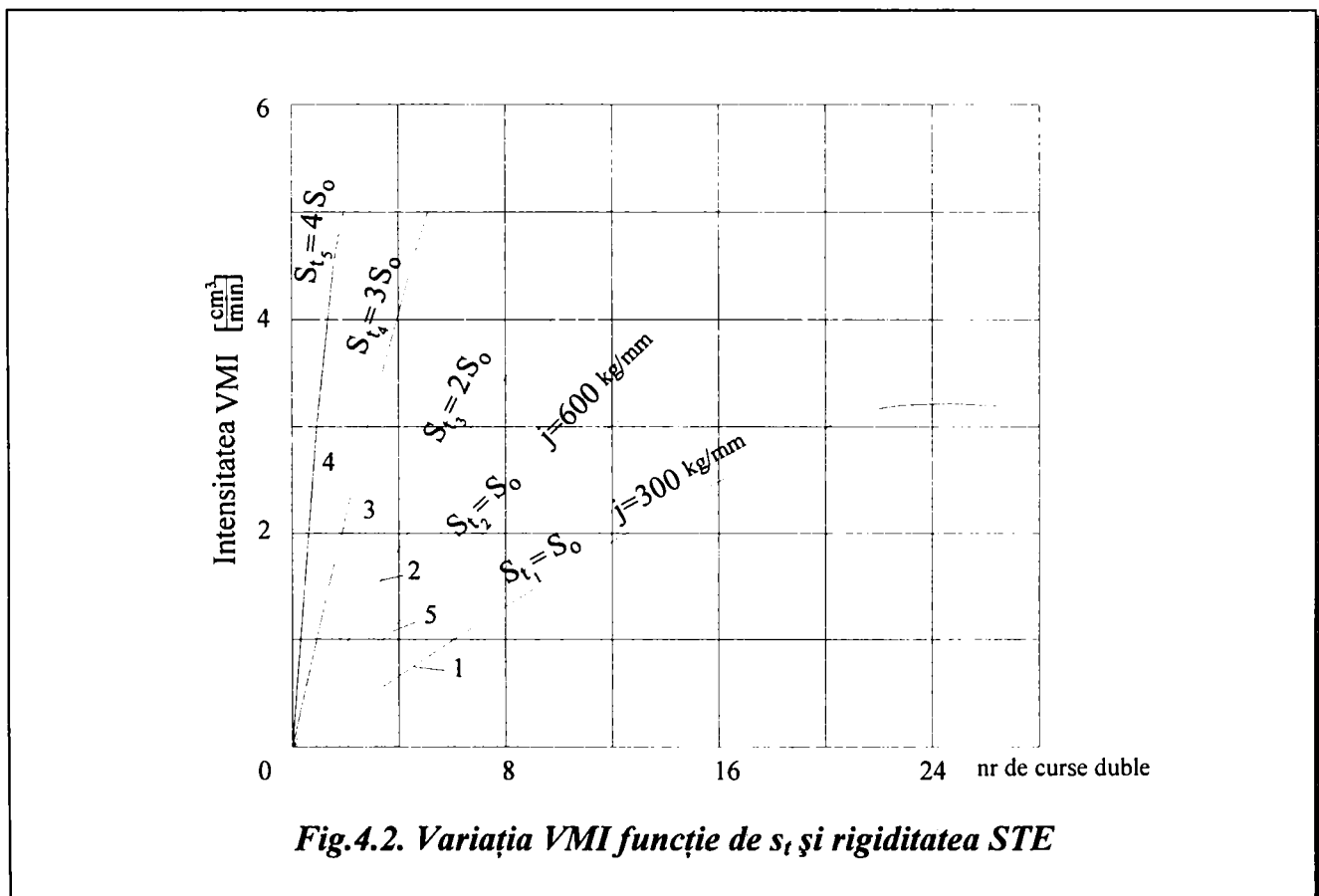


Fig.4.2. Variația VMI funcție de  $s_t$  și rigiditatea STE

Pentru reducerea fazei de pătrundere este necesar ca viteza deplasării transversale a păpușii pietrei să fie de  $i$  ori mai mare (de exemplu:  $i = 2, \dots, 4$ ) decât la următoarele etape ale așchierii. În această idee timpul de pătrundere  $t_p$ , poate fi determinat cu relația:

$$t_p = \frac{1}{2\sqrt{i}} \cdot \frac{F_x}{s_{t_0} \cdot j} \ln \frac{\sqrt{i+k}}{\sqrt{i-k}}, \quad (4.2)$$

în care  $k = 0,9$  și reprezintă gradul de deformare al sistemului tehnologic elastic. Semnificația celorlalte mărimi a fost precizată anterior.

Reducerea timpului  $t_p$  mai este posibilă și prin mărirea rigidității  $j$  a sistemului tehnologic elastic. În figura 4.2 se observă variația volumului de material îndepărtat pentru diferite valori ale avansului transversal  $s_t$  și la diferite rigidități.

Folosindu-se avans transversal cu viteză mai mare de pătrundere, timpul de pătrundere  $t_p$  s-a redus de 4,7 ori.

La sfârșitul primei etape, în urma căreia s-a produs deformarea corespunzătoare a sistemului tehnologic elastic, volumul de material îndepărtat se menține la o valoare constantă, prelucrarea intrând în a doua fază a rectificării cu avans transversal constant.

A doua etapă de rectificare poate fi executată în mai multe moduri.

În cazul lucrului cu avans transversal constant volumul de material îndepărtat și puterea de aşchiere rămân mai mult sau mai puțin constante în tot decursul acelei etape, linia DE (fig.4.1) este dispusă paralelă cu axa absciselor. Pe porțiunea BC a diagramei se observă oscilațiile puterii și respectiv a volumului de material îndepărtat. Asemenea abateri se datorează variației avansului transversal  $s_t$  (pe o rotație a piesei sau pe o cursă dublă a mesei). În timpul încercărilor și a prelucrărilor de rectificare s-a constatat la mai multe mașini că avansul transversal nu este constant, valorile reale având, uneori, abateri mari față de cele nominale (reglate pe mașină). Amplitudinea oscilațiilor depinde de raportul dintre avansul real și valoarea totală a deformației sistemului tehnologic elastic (pe figura 4.1 raportul  $h/BD$ ). Executarea rectificărilor cu valori discrete ale avansului transversal la capete de cursă și respectiv pe rotație a piesei produce solicitări necorespunzătoare sistemului tehnologic elastic. Din acest motiv ar fi interesant de studiat rectificarea cu avans continuu.

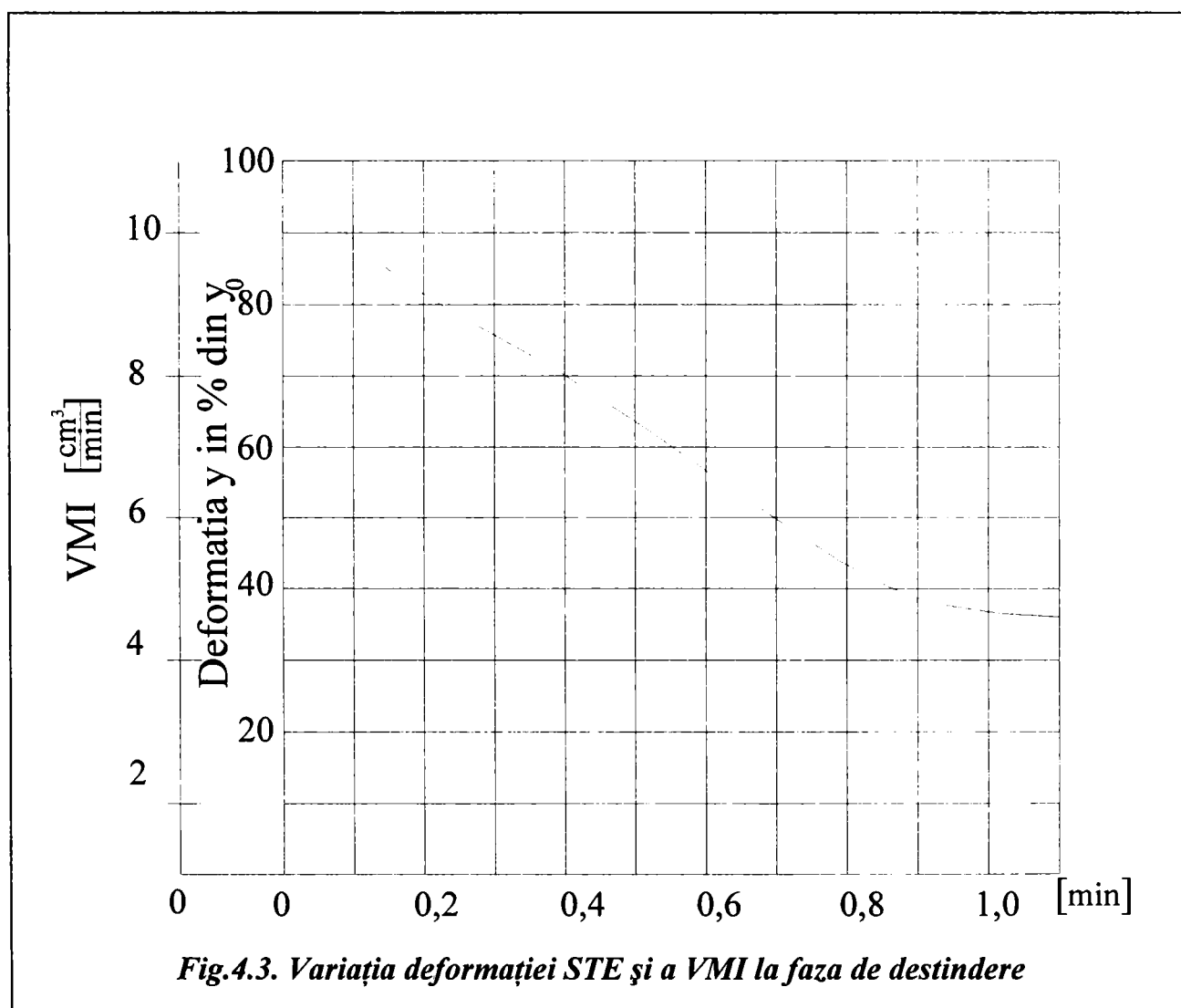
Realizarea continuă a avansului transversal are avantajul că asigură desfășurarea continuă a procesului de îndepărtare a materialului la rectificarea rotundă exterioară, elimină solicitările pulsatorii ale sistemului tehnologic elastic și reduce amplitudinea oscilațiilor.

Cea de-a doua etapă mai poate fi realizată după linia punctată  $D_1E_1$  (fig.4.1). La această variantă cantitatea cea mai mare de material se elimină după linia înclinată  $D_1E_1$ . Spre deosebire de prima variantă, la aceasta, etapa de pătrundere se realizează cu avans rapid și se termină într-un punct deasupra condițiilor medii de îndepărtare a volumului de material. În astfel de cazuri, în

etapa a doua viteza avansului transversal pe minut trebuie să se micșoreze treptat.

Micșorarea intensității de îndepărtare a materialului la sfârșitul celei de-a doua etape permite reducerea timpului fazei de destindere și îmbunătățirea preciziei și calității suprafeței.

A treia etapă a rectificării rotunde exterioare poartă denumirea de destindere. În timpul acestei faze sistemul tehnologic elastic deformat, treptat se întoarce în starea inițială nedeformată. Prin această revenire, se micșorează adâncimile de pătrundere a diferitelor granule abrazive ceea ce duce la îmbunătățirea calității suprafeței.



Curba de micșorare a tensionării  $y$  a sistemului tehnologic elastic și a volumului de material îndepărtat are ecuația de mai jos, dată în [54]:

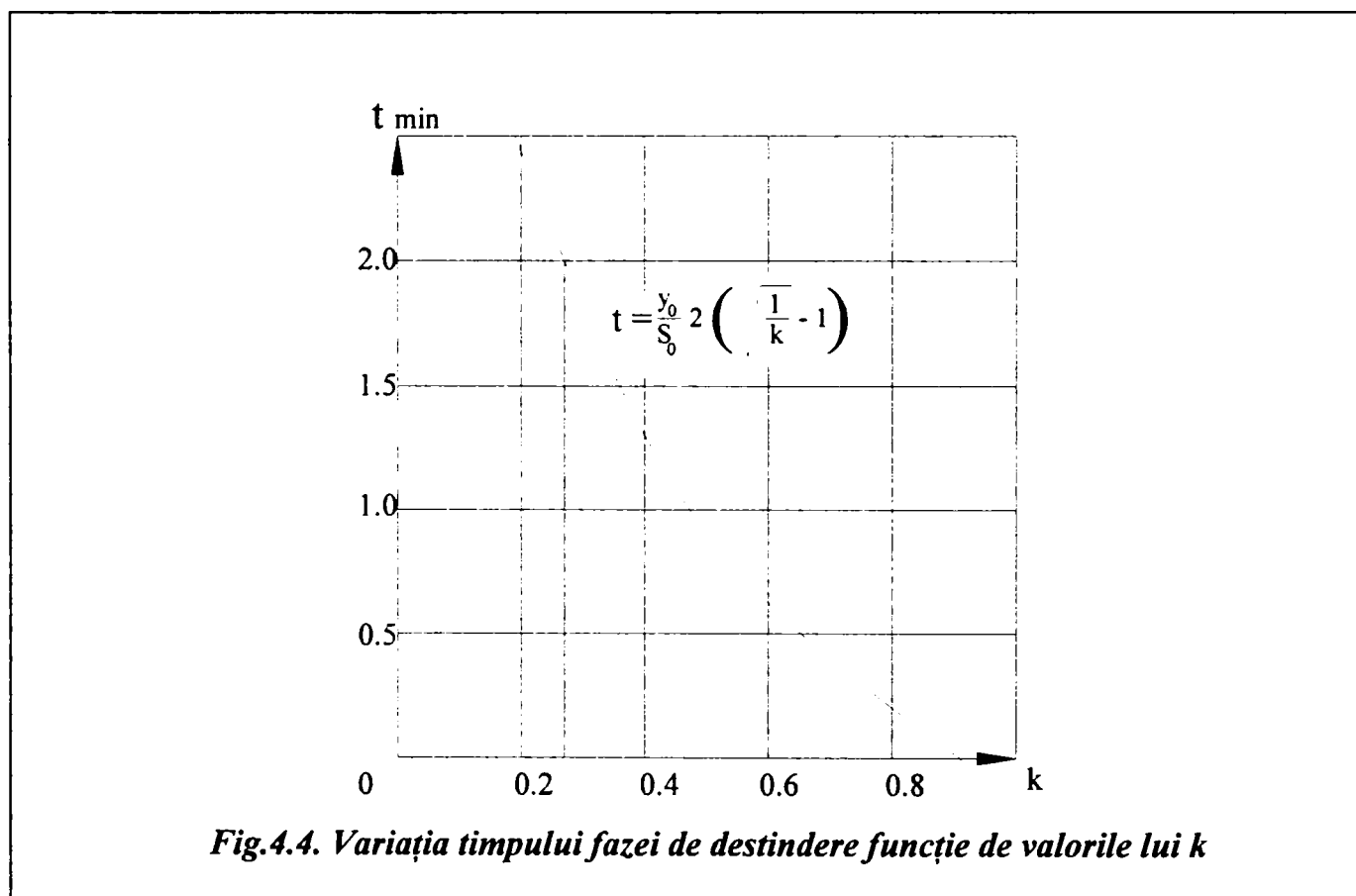
$$y = y_0 \cdot e^{-\frac{s_0 \cdot j}{F_x} \cdot t}, \quad (4.3)$$

în care  $y_0$  este deformația sistemului la sfârșitul celei de-a doua faze. Celelalte mărimi au fost explicate anterior. În figura 4.3 se observă că variația deformației  $y$  a sistemului tehnologic elastic și a volumului de material îndepărtat.

Presupunând că, la această fază, valoarea deformației scade de la valoarea  $y_0$  la valoarea  $k \cdot y_0$  ( $k < 1$ ) se poate determina timpul  $t$  al etapei de destindere în funcție de cerințele prelucrării cu relația din [53]:

$$t = \frac{2F_x}{s_0 \cdot j} \left( \sqrt{\frac{1}{k}} - 1 \right). \quad (4.4)$$

Reprezentarea timpului  $t$  în funcție de valorile lui  $k$  arată ca în figura 4.4.



*Fig.4.4. Variația timpului fazei de destindere funcție de valorile lui  $k$*

Analizând curbele de micșorare a volumului de material îndepărtat în etapa de destindere (fig.4.3 și fig.4.4) se deduc următoarele concluzii:

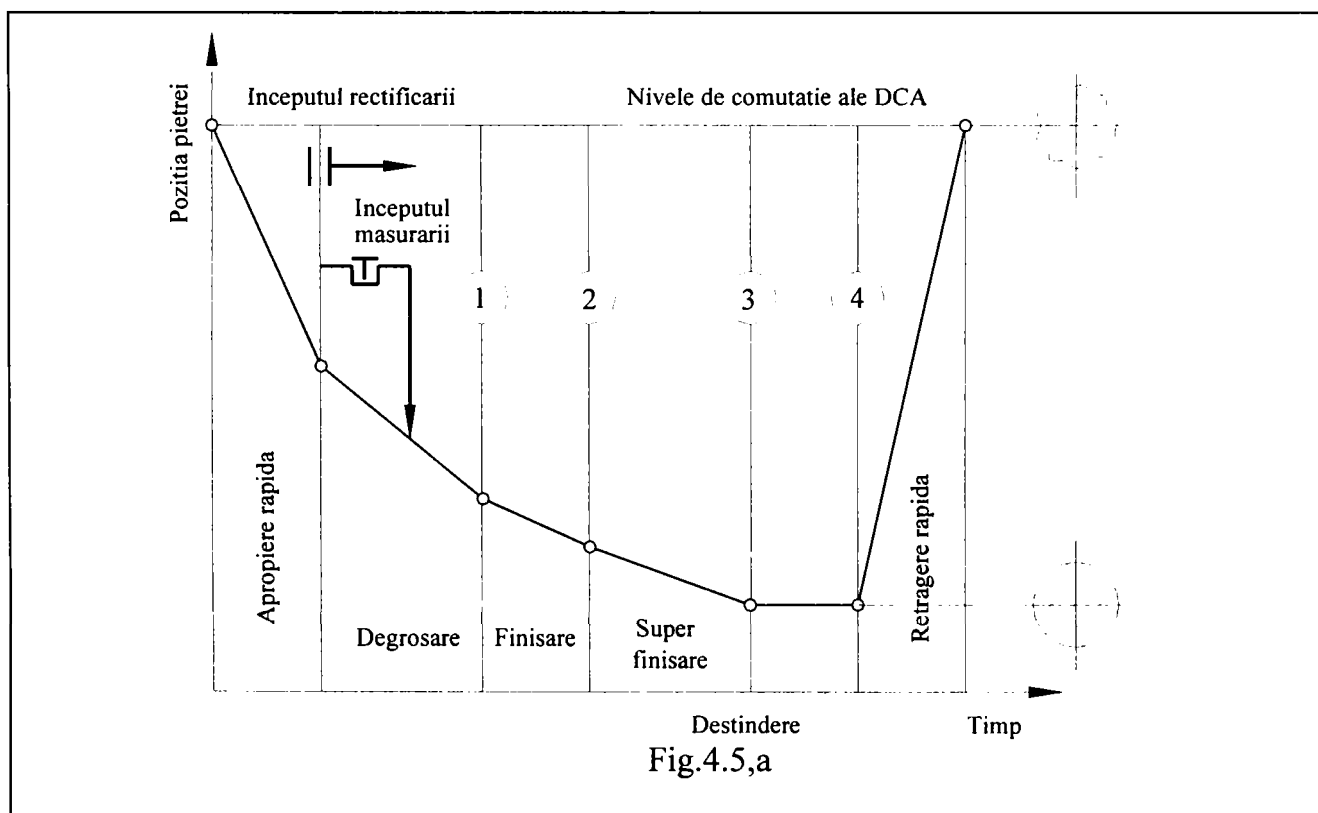
- timpul de destindere depinde de valoarea deformației sistemului tehnologic elastic la etapa a doua de rectificare, de rigiditatea sistemului tehnologic elastic, de cerințele de precizie și calitate a suprafeței;
- o dată cu creșterea rigidității sistemului tehnologic elastic se reduce și timpul fazei de destindere;

- în condiții identice de rectificare, timpul de destindere depinde de raportul dintre deformația  $y_0$  la începutul fazei de destindere și deformația  $ky_0$  la sfârșitul aceleiași faze.

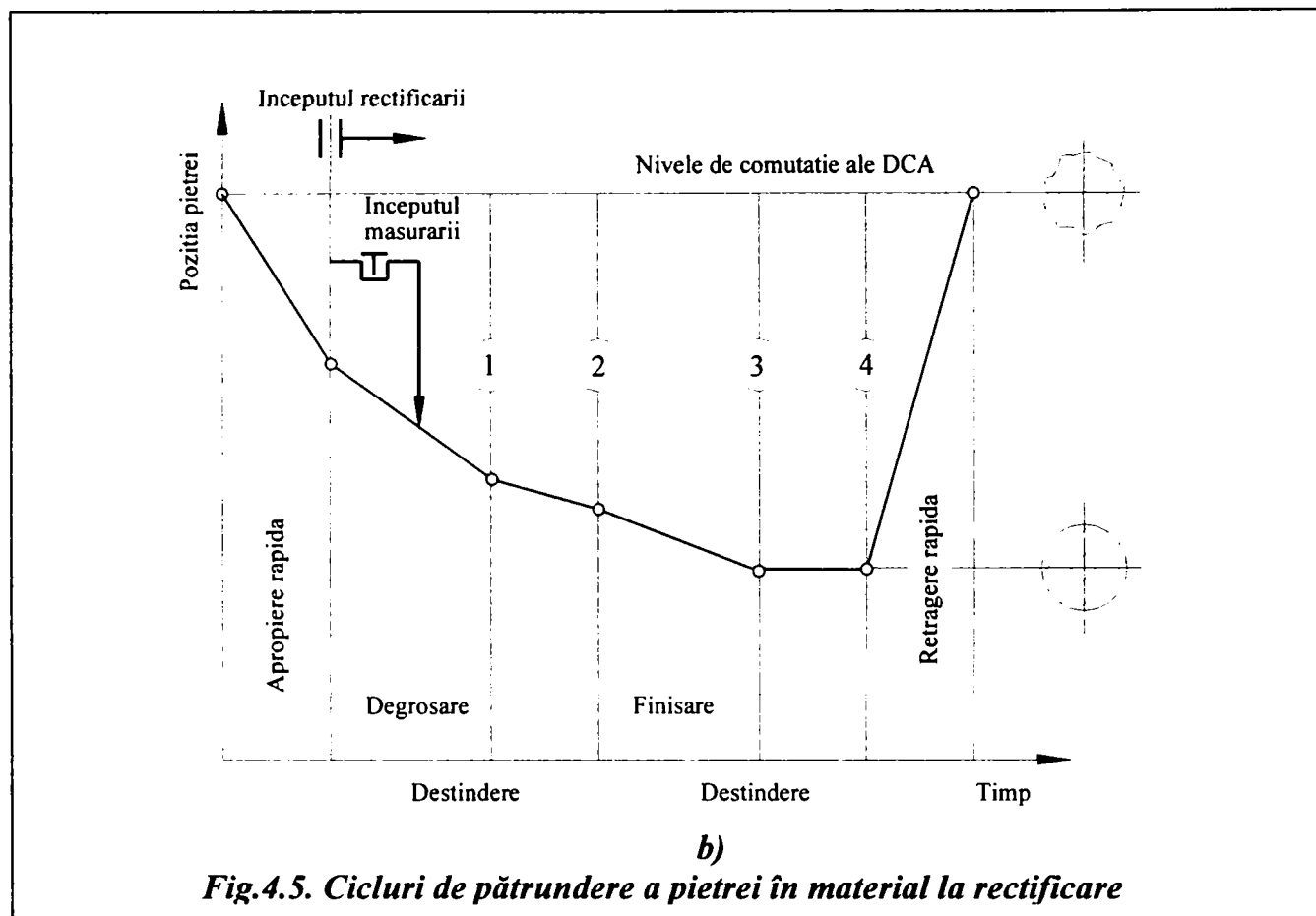
Analiza ciclului de rectificare, prezentată mai sus, s-a făcut în condițiile prelucrării pe o mașină de rectificat obișnuită, rezultând concluzii importante privind creșterea capacității productive a mașinii, a preciziei dimensionale și a calității suprafeței.

#### 4.2. VARIANTE ALE CICLULUI DE PĂTRUNDERE A PIETREI ȘI POSIBILITĂȚI DE CONDUCERE PRIN SISTEMUL DE CONTROL ACTIV

Sistemul de control activ are posibilitatea de a conduce procesul de pătrundere și de ieșire a pietrei în/din material, indiferent de modul de rectificare: cu avans longitudinal sau cu avans transversal. Acest lucru îl realizează prin contactele de care dispune și care comutează, într-o anumită succesiune prestabilită, pe măsura îndepărtării adaosului de prelucrare. Configurația sistemelor de control activ utilizate asigură până la patru nivele de comutație, reglabile ce le permite comanda fazelor ciclurilor de pătrundere/ieșire a pietrei.







În general, ciclul de pătrundere/ieșire a pietrei cuprinde următoarele faze: apropiere rapidă, degroșare, finisare, destindere și retragere rapidă în poziția inițială. În funcție de pretențiile de precizie dimensională, de forma și calitate a suprafeței fazele menționate pot fi modificate. Astfel în figura 4.5,a pe lângă faza de finisare s-a prevăzut o fază de superfinisare, prin care se asigură o încărcare mai redusă a mașinii, deci o detensionare a acesteia, ceea ce duce pe de o parte la reducerea fazei de destindere și a căldurii în zona de contact, iar pe de altă parte la creșterea duratei ciclului, micșorând capacitatea de producție. Ciclul din figura 4.5,b cuprinde două faze de destindere, după degroșare și după finisare. Acest ciclu are ca efect creșterea nejustificată a duratei prelucrării, fiind comparabil, din punct de vedere al preciziei și calității suprafeței, cu ciclul de pătrundere normal.

Creșterea capacității de producție prin mărirea avansului longitudinal și transversal și întreruperea forțată a procesului, în oricare dintre faze, duce la creșterea abaterilor de formă în cele două secțiuni și cu efecte negative asupra rugozității suprafeței.

Finalizarea fazei de destindere este absolut necesară pentru evitarea ovalizării piesei. Acest lucru poate fi evidențiat plecând de la ecuația variației razei piesei în prelucrare:

$$T_s \frac{dr}{d\tau} + r = (r + \Delta r) - v_t(\tau), \quad (4.5)$$

în care:

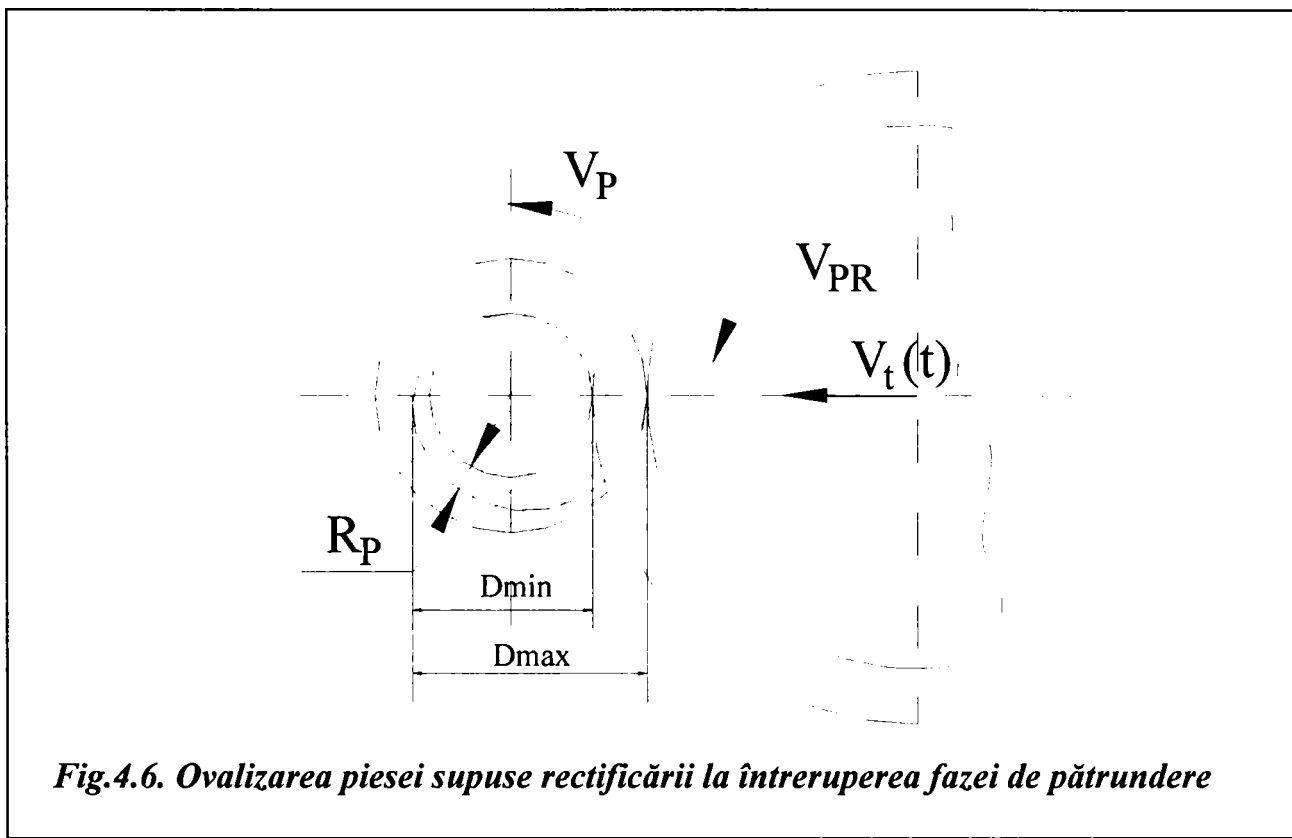


Fig.4.6. Ovalizarea piesei supuse rectificării la întreruperea fazei de pătrundere

$T_s = \tau \cdot n_0$ , unde  $n_0 = 1..10$  este numărul de rotații a piesei în timpul  $T_s$ ;

$\tau = 1/n$ , unde  $n$  este numărul de rotații a piesei, în unitate de timp;

$v_t(\tau)$  - viteza pătrunderii pietrei în material.

Pentru  $v_t(\tau) = \text{constant}$ , soluția ecuației (4.5) are forma:

$$r(t) = (r_0 + \Delta r) - 2v_t \cdot \tau - T_s \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_s}} \right). \quad (4.6)$$

În fază stabilizată de pătrundere, diametrul piesei se modifică cu  $2s_t$  ( $s_t$  fiind avansul transversal pe o rotație a piesei), deoarece sistemul tehnologic este tensionat la valoarea maximă corespunzătoare fazei respective.

Ovalitatea  $O = D_{\max} - D_{\min}$  (fig.4.6), la întreruperea bruscă a rectificării în fazele premergătoare destinderii depinde de pasul elicei arhimedice, iar în faza de destindere de valoarea momentană a tensionării sistemului tehnologic elastic.

În scopul îmbunătățirii calității suprafeței, este mai bine să se lucreze cu avans longitudinal (și la rectificarea suprafețelor cu înălțime mică cu avans transversal), deoarece traiectoria granulei abrazive este elicoidală și nu circulară

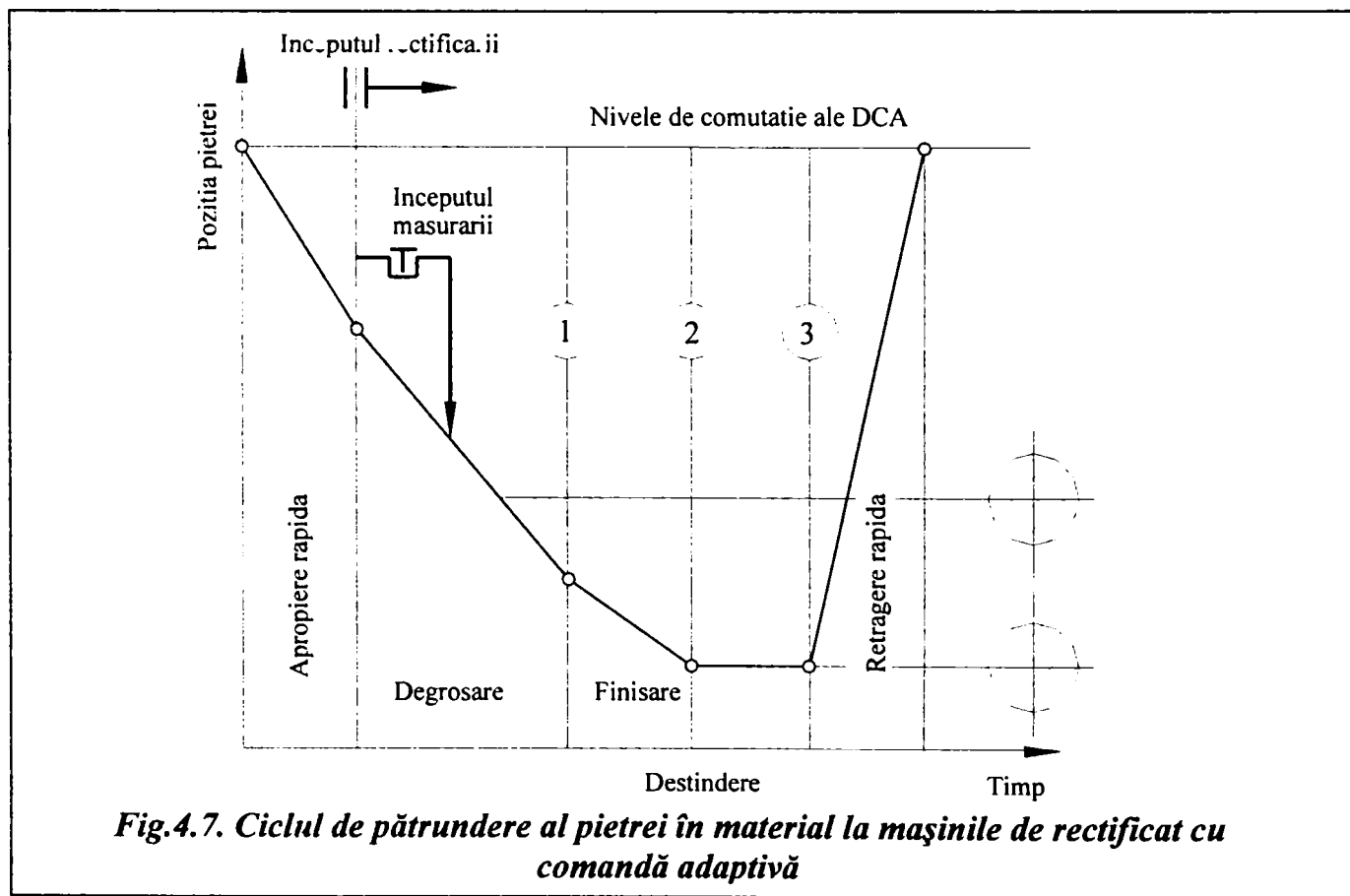
ca și la rectificările cu avans transversal, unde zgârâieturile materialului au adâncimi mai mari.

Așa cum s-a arătat în capitolul 3, dintre toți factorii participanți în procesul de rectificare, rigiditatea sistemului tehnologic elastic are influența cea mai mare asupra preciziei dimensionale și de formă.

Cu relația (3.24) s-a demonstrat că raza piesei este variabilă în lungul piesei datorită deformației sistemului tehnologic elastic. Acest efect negativ poate fi eliminat în mare parte dacă în timpul rectificării deformația  $y_{STE}$  se menține constantă prin programarea componentei  $F_{x\ ref}$  în câmpul bidimensional al mașinii funcție de rigiditatea  $R_{STE}$ , adică:

$$y_{STE} = \frac{F_{x\ ref}}{R_{STE}} = \text{constan t.}$$

Rectificarea cu respectarea relației de mai sus, asigură în oricare dintre fazele de pătrundere, realizarea suprafețelor cilindrice cu abateri foarte mici. Avantajul esențial a respectării relației constă în aceea că adaosul de prelucrare poate fi eliminat în proporție mai mare la faza de degrosare (lucrând cu adâncimi de pătrundere de 2-3 ori mai mari decât cele normale), iar duratele fazelor de finisare și destindere pot fi reduse substanțial. Ciclul de lucru, condus prin



control activ, respectând relația de mai sus, pe mașini de rectificat cu  $y_{STE} =$  constant (cu comandă adaptivă) este prezentat în figura 4.7.

În toate ciclurile de pătrundere cu cifrele 1, 2, 3, 4 au fost notate numărul contactelor de comutație ale sistemelor de control activ și momentele în care trebuie să lanseze semnalele de comutație.

## **5. SISTEME DE CONTROL ACTIV UTILIZATE PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI**

### **5.1. STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR DE CONTROL ACTIV**

În prezent și în viitor se pune un accent tot mai mare pe creșterea calității produselor. Actualmente o mare parte a produselor sunt realizate cu ajutorul sistemelor flexibile de fabricație. Obținerea pieselor de înaltă calitate în acestea se datorează pe lângă alți factori și controlului automat al dimensiunilor, formei și calității suprafeței [17], [37], [84].

În sistemele flexibile de fabricație se deosebesc următoarele metode de control: controlul interfazic la prelucrările de strunjire, găurire, alezare etc, controlul activ la prelucrările de precizie, finale cum ar fi: rectificarea, honuirea, vibronetezirea etc. și controlul final.

La unitățile flexibile de prelucrare pentru controlul interfazic se utilizează, de regulă, traductorul Renishaw [124]. El se montează într-o portsculă adecvată și se amplasează într-un lăcaș din magazinul de scule. După efectuarea fazei, respectiv după realizarea unei anumite dimensiuni, echipamentul de comandă numerică declanșează comanda pentru rectificarea cotei. Rezultatul verificării este prelucrat de către calculatorul comenzii numerice, și în funcție de rezultat, se declanșează comanda pentru compensarea erorii. Metoda prezintă următoarele dezavantaje: verificarea dimensiunii se face cu aproximație, deoarece intervin erorile de precizie geometrică ale mașinii, erorile datorită deformațiilor termice, erori de poziționarea reciprocă etc. Avantajul metodei constă în posibilitatea de automatizare a controlului prin conducere directă de către calculator, iar precizia de măsurare este suficientă pentru prelucrările obișnuite: strunjiri, găuriri, alezări etc.

Cu sisteme de control activ se echipează și unitățile de prelucrare finală a pieselor: mașini de rectificat, mașini de honuit, mașini de superfinisat. Toleranțele pieselor executate pe aceste grupuri de mașini-unelte sunt foarte restrânse, în clasele de precizie 2...4. Asemenea precizii nu pot fi controlate direct prin echipamentul de comandă numerică și nici prin controlul cu traductoare Renishaw. În plus precizia geometrică și dinamică a mașinii unelte

din sistemele flexibile de fabricație nu permite realizarea unor asemenea precizii ridicate.

Controlul final al pieselor realizate în sistemele flexibile se realizează în mod automat în următoarele două moduri: cu mașini de control tridimensional comandate prin calculator [125] și prin utilizarea unor sisteme de control specializate adecvate formelor pieselor ce urmează a fi verificate.

Mașina de control tridimensional se utilizează pentru controlul pieselor de formă complexă și se bazează pe traductorul Renishaw. Ea asigură precizii foarte mari de măsurare, însă prezintă dezavantajul, că timpul necesar pentru control este ridicat.

Controlul multidimensional bazat pe folosirea sistemelor specializate cu mai multe traductoare este folosit mai puțin în sistemele flexibile datorită flexibilităților reduse. Dacă controlul se face într-un timp relativ scurt, recompunerea și reglarea traductoarelor pentru o piesă de alt tip se face într-un timp relativ mare.

În concluzie se poate aprecia că în prezent și în viitor în sistemele flexibile de fabricație se vor utiliza concomitent sistemele de control interfazic bazate pe traductoare Renishaw, sistemele de control activ operaționale pentru prelucrări finale și controlul final bazat pe mașini de control tridimensional conectate în sistemul flexibil sau sistemul CIM.

Alături de acestea pe mașini de rectificat de orice tip, pe mașini de honuit și superfinisat, folosite în afara sau incluse în sistemele flexibile de fabricație se vor utiliza în continuare sistemele de control activ.

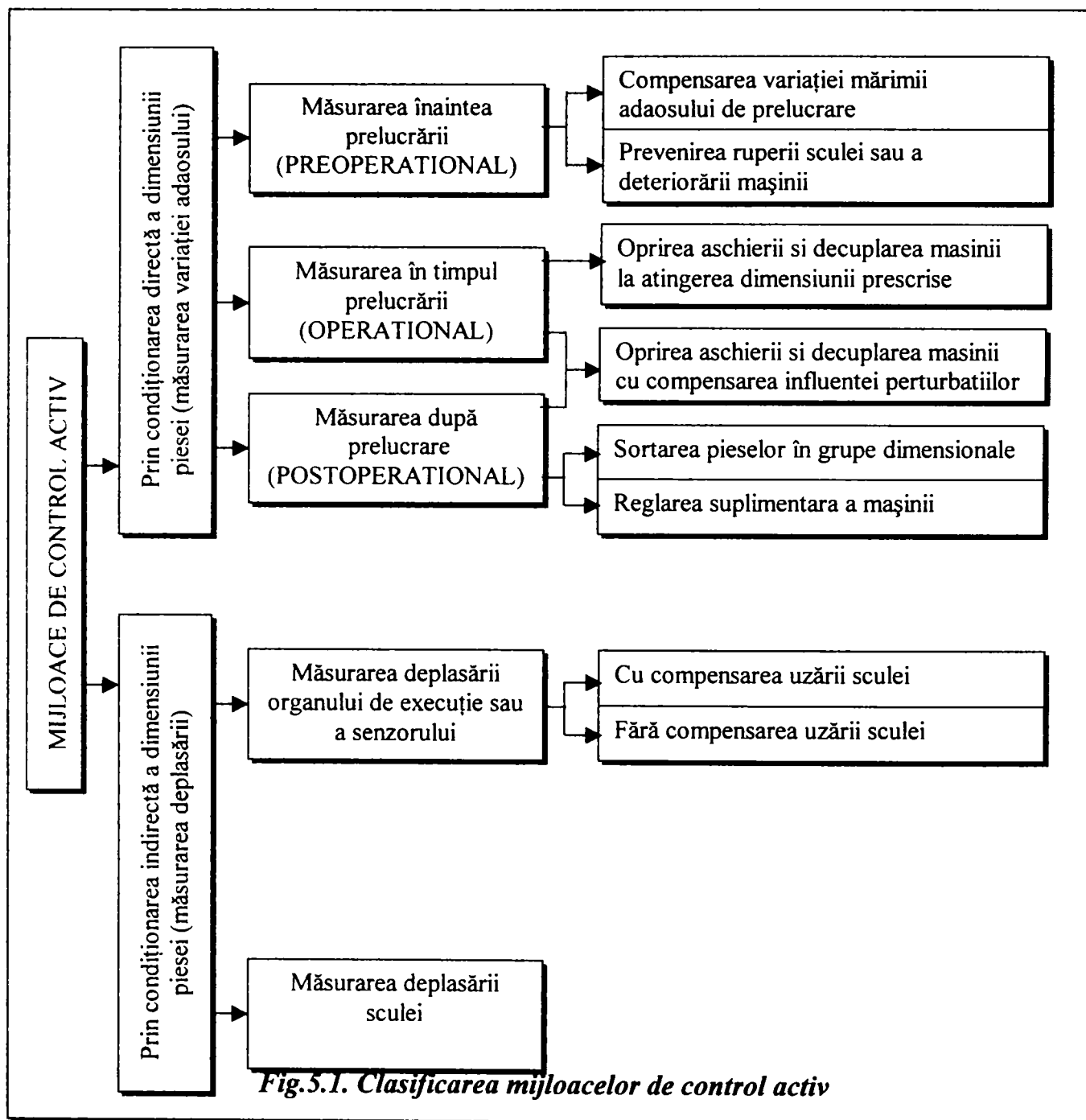
## **5.2. CLASIFICAREA ȘI STRUCTURA SISTEMELOR DE CONTROL ACTIV**

Capacitatea de producție, precizia dimensională și de formă - calitatea suprafeței, prevenirea rebuturilor și reducerea costului prelucrării pe mașini de rectificat depind în mare măsură de metodele și mijloacele utilizate pentru conducerea lor.

Cele mai eficiente metode de control și mijloace de comandă sunt acelea care permit nu numai controlul dimensiunii rezultate prin rectificare, ci și dirijarea procesului de lucru.

Controlul automat pe baza măsurării dimensiunii poate comanda fazele ciclului de funcționarea mașinii și reglarea sa intermediară sau mecanisme pentru

sortarea pieselor prelucrate. O clasificare a sistemelor de control activ în general este prezentată în figura 5.1. [84].

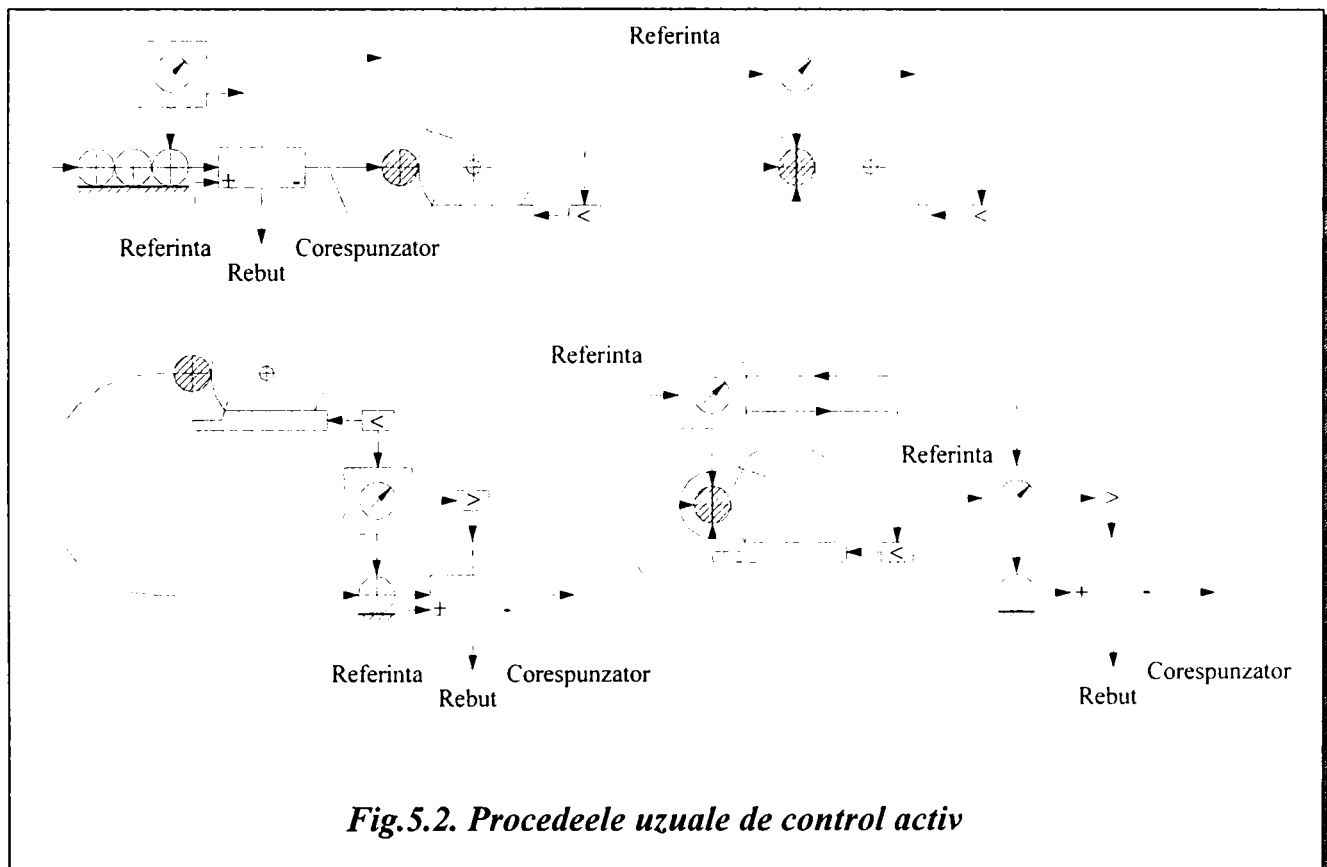


După aceeași lucrare [84] procedeele uzuale de control activ sunt prezentate în figura 5.2.

În conformitate cu fig.5.2 mijloacele pentru controlul activ preoperațional (fig.5.2,a), al semifabricatelor, sunt de protecție și blocare, ele asigură protecția la deteriorare a sculei sau a subansamblelor mașinii. Controlul semifabricatelor poate fi după una sau mai multe dimensiuni.

Mijloacele pentru controlul activ operațional ( fig.5.2.b) asigură măsurarea, conducerea ciclului și oprirea prelucrării funcție de variația adaosului de prelucrare pe baza unor condiții (limite de toleranță, abateri de la forma geometrică sau poziția reciprocă).

Mijloacele pentru controlul activ postoperațional (fig.5.2.c) asigură, pe baza controlului dimensiunii piesei, compunerea erorii cumulate de execuție prin reglarea intermediară automată a mașinii. Mai pot asigura sortarea dimensională a pieselor, eliminarea rebuturilor, oprirea execuției la repetarea succesivă a rebutării ș.a.



Mijloacele automate cu autocorectarea reglajului (fig.5.2.d) asigură reglări intermediare pe o anumită porțiune a câmpului de toleranță sau realizează corecții ale subansamblurilor mașinii funcție de mărimea abaterii constatate postoperațional.

Vederea de ansamblu a procedeele de control menționate concretizate pentru rectificare este prezentată în figura 5.3.

Dintre procedeele evidențiate în figura 5.3 pe mașinile de rectificat, cele mai răspândite sunt procedeele operaționale (rectificat rotund exterior și interior) și cele cu autocorectarea reglajului (rectificare fără centre).

Disponerea abaterilor pieselor rectificate între limitele câmpului de toleranță prescrisă arată ca în fig.5.4.



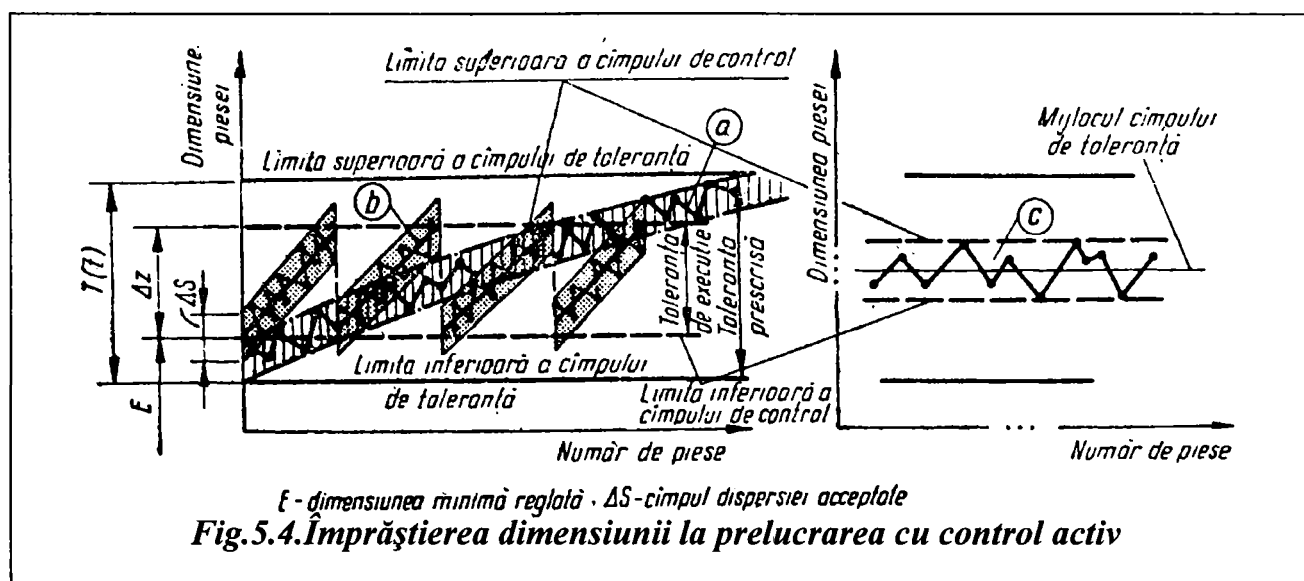
		Măsurare și comandă				
		"off-process" preoperațional	"on-process" în timpul operațiunii	"off-process" postoperațional		
COMANDA DE POZITIE APLICATA ASUPRA	SCULEI	Prin avans TEHNOLOGIC	A1	A2	A3	
		Prin reglare de pozitie	AUTOMATA	B1	B2	B3
			COMANDA	C1	C2	C3
	PIESEI	Prin avans TEHNOLOGIC	D1	D2	D3	
		Prin reglare de pozitie	AUTOMATA	E1	E2	E3
			COMANDA	F1	F2	F3

Avans de prelucrare

Reglare fina a pozitiei de prelucrare

Cu transportul piesei

Împrăștierea, figura 5.4.a, corespunde mijloacelor pentru controlul activ operațional, iar împrăștierea, figura 5.4.b, corespunde mijloacelor de măsurare operaționale cu autocorectarea intermediară a reglajului.



Specific prelucrărilor pe mașini de rectificat în tabelul 5.1 se arată mărirea câmpului de dispersie  $R_1 = \pm 3\sigma$  a abaterii medii pătratice  $\sigma$  și tendința deplasării sale.

**Tab.5.1. Valoarea medie și mărirea câmpului dispersiei  $R$  și a abaterii standard  $\sigma$**

Nr. crt.	Tipul mașinii unelte	Valoarea medie și intervalul dispersiei abaterii standard		Tendința erorii sistematice	
		fără control activ	cu control activ	fără control activ	cu control activ
1.	Mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri			pozitivă	pozitivă
2.	Mașini de rectificat rotund interior între vârfuri			negativă	negativă
3.	Mașini de rectificat fără centre			pozitivă	pozitivă
4.	Mașini de honuit			negativă	negativă

O clasificare a sistemelor de control activ se poate face în funcție de natura senzorilor care stau la baza sistemului: mecanici, electrici, fotoelectrici, pneumatici și cu laser. În cazul mașinilor de rectificat rotund exterior între

vârfuri cele mai răspândite sisteme sunt cele bazate pe traductoarele inductive diferențiale asupra cărora vom insista în capitolele următoare.

Structura bloc acceptată a mijloacelor de control activ indiferent de funcția pe care o îndeplinesc este prezentată în figura 5.5.

Sistemul concret este realizat în construcție modulară, modulele de bază sunt alimentatorul și blocul de formare a semnalelor cu aparatele indicatoare, dispozitivul de control activ dimensional propriu-zis, subsistemul de comandă și acționare din acționarea transversală a mașinii.

În figura 5.6 este prezentată structura pentru un sistem de control activ operațional pe mașina de rectificat rotund exterior între vârfuri.

Sistemul de control activ SCA se montează pe un suport care poate fi amplasat pe masa superioară a mașinii de rectificat cu ajutorul unui șurub SF rigidizându-se cu această masă. Cu hidromotorul HSCA sistemul de control activ SCA poate fi apropiat sau îndepărtat față de piesă. Hidromotorul HSCA se cuplează la instalația hidraulică a mașinii, iar sistemul SCA la dulapul comenzii electrice DCE al mașinii, respectiv la blocul electronic BEC de control activ. Prin intermediul DCE se transmit comenzile către aparatura electrică și hidraulică în scopul realizării ciclului comandat de către SCA. Faza de apropiere rapidă se realizează cu hidromotorul HAR. Avansul transversal  $s_t$  se realizează cu hidromotoarele HAT, mecanismul pinion - cremalieră PCR și șurubul transversal ST. Sistemul hidraulic este alimentat de la pompa cu debit constant PDC, iar distribuirea uleiului la diverse componente hidraulice se realizează prin panoul hidraulic PH.

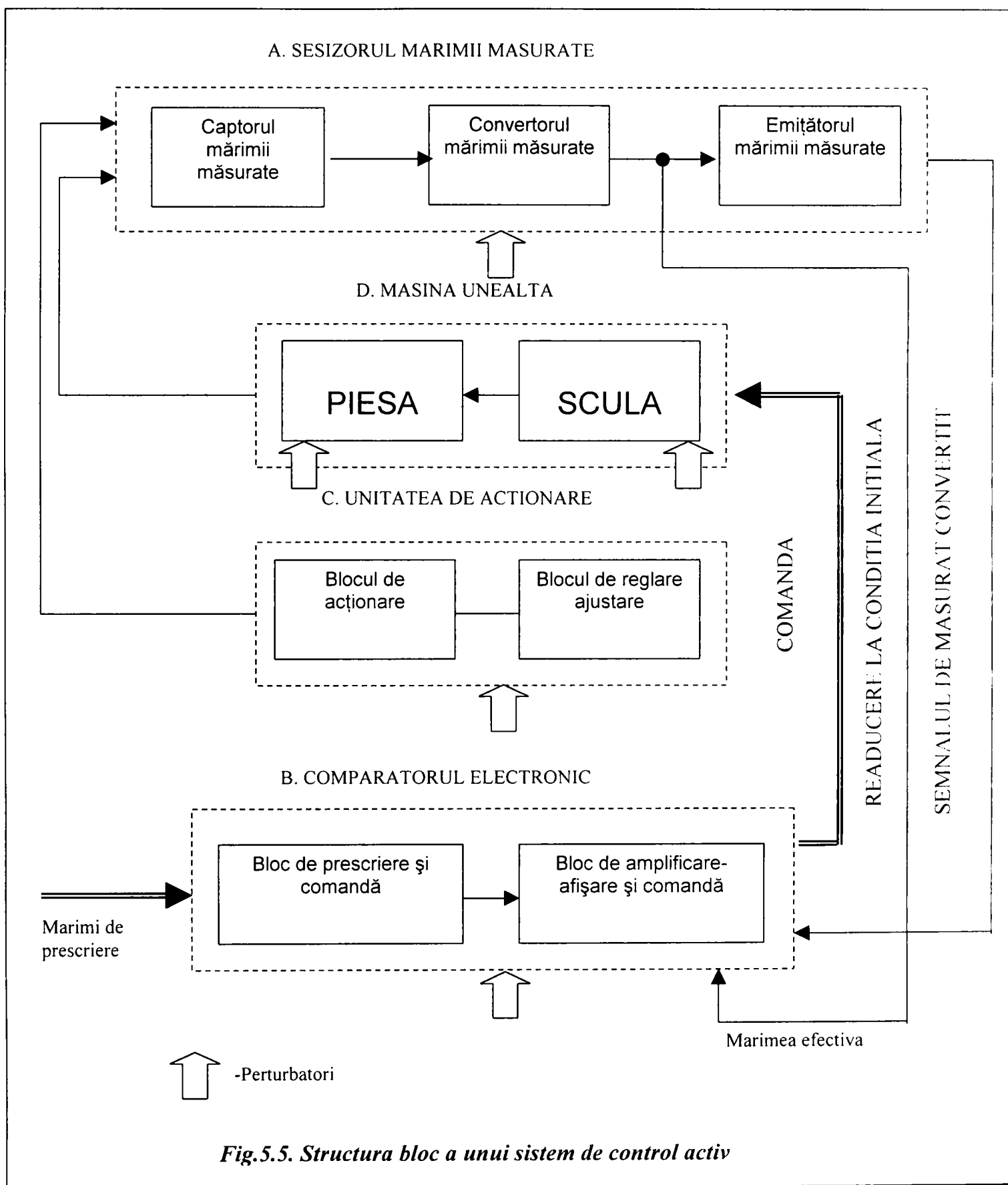


Fig.5.5. Structura bloc a unui sistem de control activ

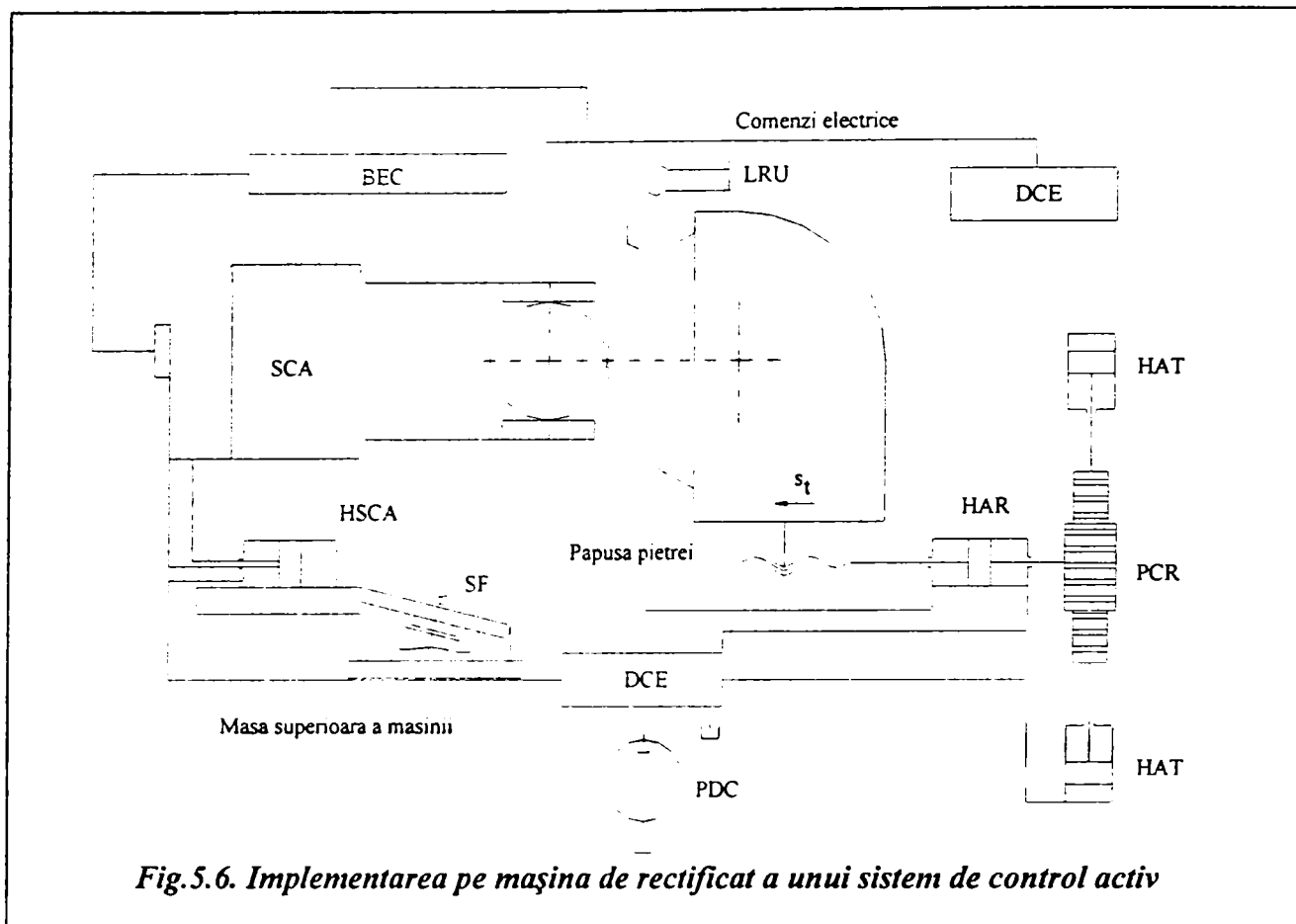


Fig.5.6. Implementarea pe mașina de rectificat a unui sistem de control activ

### 5.3. SISTEME ACTUALE DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT

Sistemele de control activ operațional utilizate pe mașinile de rectificat se împart în următoarele grupe, în funcție de natura senzorului care stă la baza sistemului:

- sisteme mecanice de control activ;
- sisteme electrice de control activ;
- sisteme pneumatice de control activ;
- sisteme bazate pe radiațiile alfa, beta, gama a unor izotopi radioactivi.

Dintre acestea cele mai răspândite sunt sistemele de control activ bazate pe traductoare inductive respectiv cele bazate pe traductoarele pneumatice.

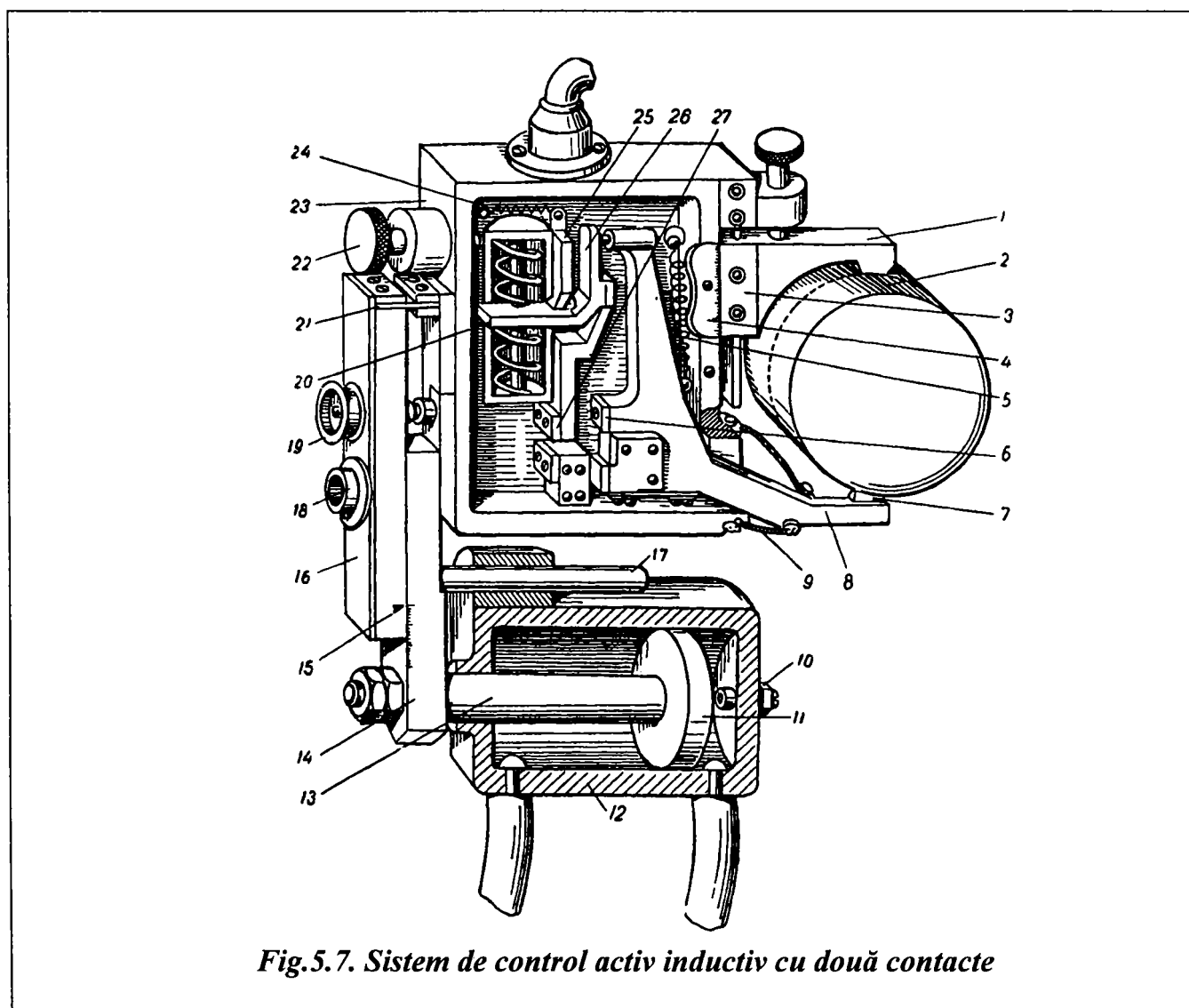
Schemele și construcțiile celor mai utilizate sunt prezentate în continuare.

### 5.3.1. Sisteme de control activ cu contacte și traductoare inductive

Aceste aparate se împart pe grupe în funcție de numărul punctelor de contact cu suprafața arborilor care se prelucrează: cu un contact, cu două contacte, cu trei contacte.

Compunerea unui sistem cu două contacte este prezentată în figura 5.7. [74].

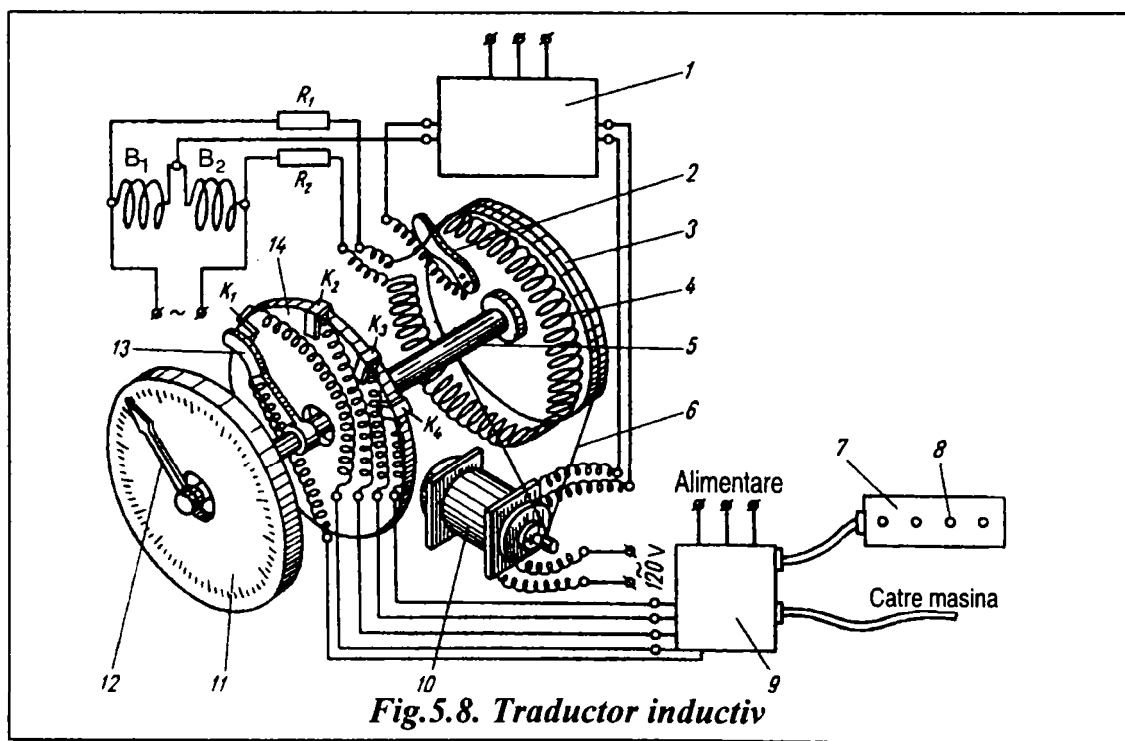
Avantajele de bază ale acestui tip de sistem, în comparație cu cele cu un singur contact, constau într-o precizie de măsurare mai mare și în posibilitatea automatizării ciclului de rectificare.



Corpul 23 este susținut de arcurile lamelare 21 care se sprijină pe piesa 16 care, la rândul ei, este legată de piesa 14 prin șuruburile 18. Piesa 14 este solidarizată cu tija pistonului 13 al hidromotorului. Cilindrul 12 se fixează printr-un suport (neredat în figură) pe masa mașinii de rectificat. Prin pătrunderea

uleiului în cavitatea din stânga a cilindrului, pistonul 11 împreună cu tot sistemul de control activ se deplasează către piesa 2 supusă rectificării. Rotirea întregului sistem de control activ în jurul tije 13 a pistonului este împiedicată de tija 17. La sfârșitul cursei pistonului, cursă limitată de reazemul 10, sistemul de control ajunge în poziția de lucru. Sub acțiunea greutății proprii palpatorul superior 1 ajunge în contact cu suprafața piesei 2. Pentru retragerea sistemului de control, uleiul pătrunde în cavitatea dreaptă a cilindrului 12 în timp ce cavitatea stângă este legată la rezervor. Pentru a se reduce solicitarea arcului lamelar 21 în poziția de retragere a fost prevăzut șurubul 19 din piesa 16. Poziția șurubului 19 se reglează astfel încât la cursa de apropiere palpatorul superior 1 să se instaleze la 0,1 până la 0,2 mm sub nivelul celui mai înalt punct de pe suprafața piesei care se rectifică.

La reglarea sistemului palpatorul superior 1 poate fi deplasat în sus sau în jos pe sistemul de ghidare al corpului 23. Pentru ușurarea poziționării servește scala 4 și semnul 3 și, de asemenea, scala de pe piesa 14 cu indicatorul 15. Construcția dispune de două perechi de palpatoare, o pereche servește pentru controlul arborilor cu diametrele cuprinse între 5 și 30 mm și a doua pentru diametre cuprinse între 30 și 50 mm. Sub arbore într-un punct diametral opus celui superior se mișcă palpatorul de măsurare 7 fixat pe pârghia unghiulară 8. Pârghia 8 este fixată în poziția din figură cu ajutorul arcului lamelar 6, iar palpatorul 7 este menținut în contact cu piesa cu ajutorul arcului spiral 5. În timpul măsurării sub acțiunea arcului 5 pârghia 8 se rotește în sens antiorar acționând asupra pârghiei unghiulare 26 susținută de piesa 25 și arcul lamelar 27 care este echilibrat de arcul 24. Locul de ieșire a pârghiei este protejat cu două membrane 9 din masă plastică.



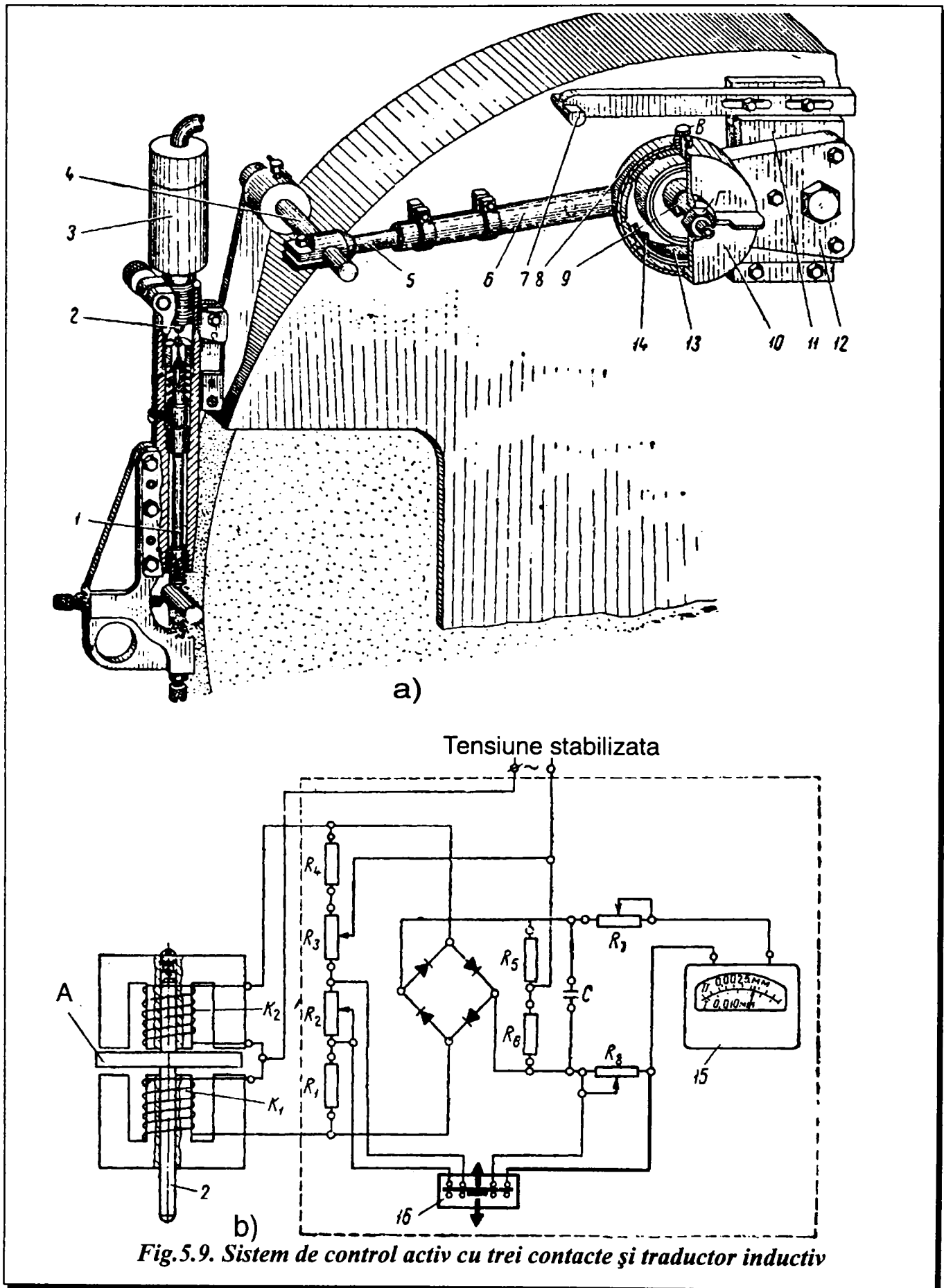
Lamela orizontală a pârghiei 26 reprezintă armătura 20 a traductorului inductiv. Bobinele  $B_1$  și  $B_2$  (vezi figura 5.8) ale traductorului inductiv sunt fixate de placa 25. Arcul 24 împreună cu șurubul de reglare 22 servește la poziționarea traductorului în funcție de dimensiunea arborelui.

La schimbarea dimensiunii piesei în procesul de rectificare deplasările ambelor palpatoare se însumează la pârghia 26 provocând rotirea ultimei în sens antiorar. La rotirea pârghiei 26 armătura 20 se deplasează între cele două bobine  $B_1$  și  $B_2$  schimbând întrefierul și provocând schimbarea inductanțelor respectiv deplasarea săgeții 12 a aparatului indicator. Înfășurările  $B_1$  și  $B_2$ , bobina 4 și rezistențele  $R_1$  și  $R_2$  realizează o punte echilibrată, înfășurarea 4 este realizată sub forma unui toroid cu rezistența mare. De arborele 5 sunt fixate pârghiile 2, 13 și indicatorul 12. Axul este rotit de către servomotorul 10 cu un unghi proporțional cu tensiunea de dezechilibrare a punții, ca urmare a variației dimensiunii piesei, respectiv a inductanțelor bobinelor  $B_1$  și  $B_2$ , deci variația dimensiunii piesei este transformată în variație a poziției indicatorului 12 și care poate fi citită pe scala 11. Odată cu rotirea axului 5 are loc și rotirea pârghiei 13 care succesiv închide contactele  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ , fixate pe roata 14 care prin intermediul releului electronic 9 provoacă aprinderea succesivă a lămpilor de semnalizare 8, respectiv transmiterea semnalelor electrice în comanda mașinii.

La închiderea contactului  $K_4$  se transmite comanda de îndepărtare a păpușii pietrei și în același timp îndepărtarea sistemului de control față de piesa prelucrată. Scala 11 are 120 de diviziuni, valoarea unei diviziuni fiind de  $1 \mu\text{m}$ . Lămpile de semnalizare sunt montate pe panoul 7, ele sunt de culori diferite și sub fiecare scrie faza de rectificare: degroșare, finisare, destindere și dimensiunea.

O variantă de sistem cu 3 contacte și cu traductor inductiv diferențial este prezentată în figura 5.9. Acest sistem este susținut de către una dintre plăcile de protecție ale pietrei abrazive (fig.5.9,a) printr-un sistem de pârghii. Cu ajutorul acestora se asigură poziționarea corectă a sistemului față de piesa de prelucrat. Pe pârghia de măsurare 1 se sprijină tija 2 a traductorului inductiv 3, amplasat la partea superioară a capului sistemului de control activ. Tija inductorului se deplasează împreună cu armătura A, dispusă între bobinele  $K_1$  și  $K_2$  ale traductorului (fig.5.9,b). Bobinele împreună cu rezistențele ohmice  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  formează o punte în diagonala căreia este inclusă puntea de redresare B. Sistemul permite prin folosirea rezistențelor  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  și a blocului cu contacte 16 utilizarea a două scări în timpul măsurării la aparatul indicator 15. Prima dintre scări servește la prelucrarea de degroșare, iar cea de-a doua la cea de finisare. Trecerea de la o scară la alta se realizează cu rezistența suplimentară 8 și a blocului 16. Aparatul indicator se instalează lângă mașină astfel încât să poată fi urmărit.





La începutul prelucrării se utilizează scara întâia grosieră I (valoarea diviziunii 10  $\mu\text{m}$ ) pentru degroșare. După îndepărtarea celei mai mari părți a adaosului de rectificare se trece la scara a doua cu valoarea diviziunii de 2,5  $\mu\text{m}$ , la începutul fazei de finisare. După îndepărtarea întregului adaos mașina se trece pe comandă manuală pentru faza de destindere.

Poziționarea sistemului în funcție de diametrul supus rectificării se realizează prin tija 4 susținută de tija telescopică 5 care la rândul ei se deplasează în piesa 6. Piesa 6 se rigidizează cu axa 9.

Dezavantajele sistemului constau în:

- nu permite comanda automată a mașinii, variația diametrului se face numai pe scara gradată, obositor pentru operator;
- valoarea diviziunii de 2,5  $\mu\text{m}$  nu permite precizii prea mari;
- bascularea sistemului în jurul axului 4 este obositoare și impune atenție ridicată.

Pe lângă cele două variante prezentate, mai există o multitudine de variante. Dintre toate cele mai utilizate pe mașini de rectificat sunt cele de tipul prezentat în figura 5.7 cu traductor inductiv diferențial cu valoarea diviziunii de 1  $\mu\text{m}$  și cu contacte pentru comanda ciclului de rectificare.

### **5.3.2. Sisteme de control activ cu traductoare pneumatice**

În ultima vreme metoda bazată pe traductoarele pneumatice a cunoscut o largă răspândire. Aceasta se explică datorită următoarelor avantaje pe care le au:

- precizie de măsurare foarte mare;
- raport de amplificare foarte ridicat;
- măsurarea dimensiunii fără contact între palpator și piesă;
- posibilitatea controlului dimensiunilor în locuri cu acces greu (de exemplu dimensiuni foarte mici, orificii adânci etc.);
- simplitate și robustețe;
- sensibilitate scăzută la vibrații;
- preț de cost redus.

Dezavantaje:

- nu pot fi utilizate în prezența lichidelor de răcire ungere și a mazăgii abrazive.

Sistemele pneumatice de control activ se pot împărți în două grupe: manometrice și rotametrice. Primele se bazează pe schimbarea presiunii iar cele din a doua grupă pe schimbarea vitezei jetului de aer în zona de măsurare. Cea mai mare răspândire o au cele manometrice.

În funcție de mărimea presiunii de lucru în zona de măsurare ele se împart în sisteme de joasă presiune ( $h = 500 \dots 1000$  mm coloană de apă) și de înaltă presiune ( $h = 0,3 \dots 4$  daN/cm<sup>2</sup>).

Dintre sistemele de măsurare pneumatice a fost preferată metoda de “joasă presiune” care față de metoda de “înaltă presiune” are următoarele avantaje: sensibilitate mai ridicată; consum de aer mai redus; construcție mai simplă; eliminarea completă a elementelor mecanice din sistemul de indicare ceea ce asigură precizie mai ridicată; etanșare mai simplă și asigură cheltuieli de investiții de 5 ... 10 ori mai mici.

În literatura de specialitate [47], [52], [61], [84], [101] se menționează și unele dezavantaje ale sistemelor de joasă presiune, cel mai important fiind legat de faptul că nu asigură autocurățirea suprafețelor controlate în cazul măsurărilor fără contact, datorită presiunii scăzute.

În domeniul construcțiilor de mașini, când este posibilă palparea mecanică fără pericol de degradare a suprafeței controlate, avantajul autocurățirii suprafețelor controlate realizat la sistemele de înaltă presiune își pierde importanța. Construcțiile de sisteme pneumatice pentru controlul activ al dimensiunilor sunt foarte diverse atât pentru cote liniare cât și pentru diametrii pieselor cu suprafețe de revoluție. Dintre acestea, cel mai performant se apreciază a fi cel prezentat în lucrarea [26] care se va prezenta în continuare.

### ***5.3.2.1. Sistem de control dimensional activ cu traductor pneumomagnetofluidic la mașini de rectificat rotund exterior***

Schema de principiu a sistemului este prezentată în figura 5.10.

Părțile componente ale sistemului de control activ sunt: capul de măsurare palpare C; dispozitivul (D) de susținere și antrenare a capului de măsurare în poziția de măsurare și retragere în poziția de repaus (mișcarea II); aerul folosit la alimentarea motorului pneumatic 3 prin intermediul distribuitorului 6 este pregătit de grupul E, reglarea fină a presiunii de măsurare și semnalizarea dimensiunii măsurate pe scala analogică 26 se face cu ajutorul grupului G; conversia semnalului pneumatic din camera de măsurare CM (poziția 24) în semnal electric se realizează cu ajutorul traductorului diferențial magnetofluidic de joasă presiune (TDMPJ) și a unității de măsurare - amplificare (UMA) cu indicație digitală.

Grupul E de pregătire a aerului este format din filtrul 10, regulatorul de presiune 18 și ungătorul 9. Aerul uzinal pătrunde în acesta prin intermediul robinetului 11. Capul de măsurare C este în poziție de măsurare (din figură) sau

în poziție de retragere în vederea demontării piesei și montării unui nou semifabricat cu ajutorul motorului pneumatic 3, alimentat cu aer prin distribuitorul 6 cu 4 căi și 3 poziții.

Acesta este legat la grupul E prin conductele 8. Mișcarea II este limitată la cele două capete prin tija 37, respectiv prin șurubul de limitare a cursei 35. Droselul 7, montat pe conducta de evacuare a distribuitorului 6, reglează viteza de deplasare. Funcție de mașina-unealtă pe care va fi montat, se va face și comanda distribuitorului.

Pentru a se limita erorile de măsurare datorate abaterilor de la paralelism dintre rola palpatoare superioară 13 și rola inferioară montată în pârghia cotită de măsurare 17, se subliniază importanța ca patrunderea capului de măsurare să se facă în aceeași poziție (cu aceeași mărime). Pâghia 17 se poate roti în jurul unei articulații fără frecare realizată din arcuri lamelare în cruce.

Capul de măsurare se reglează funcție de diametrul piesei prelucrate 12, prin deplasarea ansamblului capului de măsurare în sus sau în jos de-a lungul tijei 33, până când palpatorul inferior ajunge în contact cu suprafața piesei măsurate. Suprafețele de măsurare ale pârgiei cotite 17 sunt paralele cu suprafețele frontale ale duzelor de măsurare 31. În capul de măsurare au fost amplasate două duze de măsurare la distanțe diferite de articulația fără frecare 34, asigurându-se astfel două rapoarte de amplificare mecanică diferite, respectiv o gamă mai variată a curbelor caracteristice.

Palpatorul superior 14 se deplasează și el pe un ghidaj coadă de rândunică prin acționarea rozetei 15 astfel încât rola palpatoare superioară să fie în contact cu semifabricatul.

Ansamblul capului de măsurat este suspendat pe 4 arcuri lamelare 30 prin care se asigură deplasarea sa pe verticală paralel cu el însuși. Aerul de măsurare este preluat de la grupul E prin furtunul 19, la grupul de filtrare și reglare semifină F, de unde trece prin blocul G de reglare fină a presiunii. În camera de presiune constantă CPC se obține presiunea nominală  $p_N = \gamma \cdot H = ct$ , surplusul de aer ieșind în atmosferă. Din CPC aerul trece prin duza de intrare reglabilă 23 în camera de măsurare CM, iar de aici se bifurcă prin furtunul 28 la una din duzele de măsurare 31 de "sus" sau "jos" ajungând în atmosferă prin interstițiul de măsurare  $\delta$ . Presiunea  $p_N$  din camera de măsurare este o măsură a interstițiului  $\delta$ , care la rândul său depinde de diametrul  $d$  al piesei măsurate. În cazul măsurării pneumatice obișnuite pe scara gradată 26 se indică valoarea mărimii măsurate în unități de lungime ( $\mu m$ ) în dreptul meniscului lichidului din tubul piezometric 25.

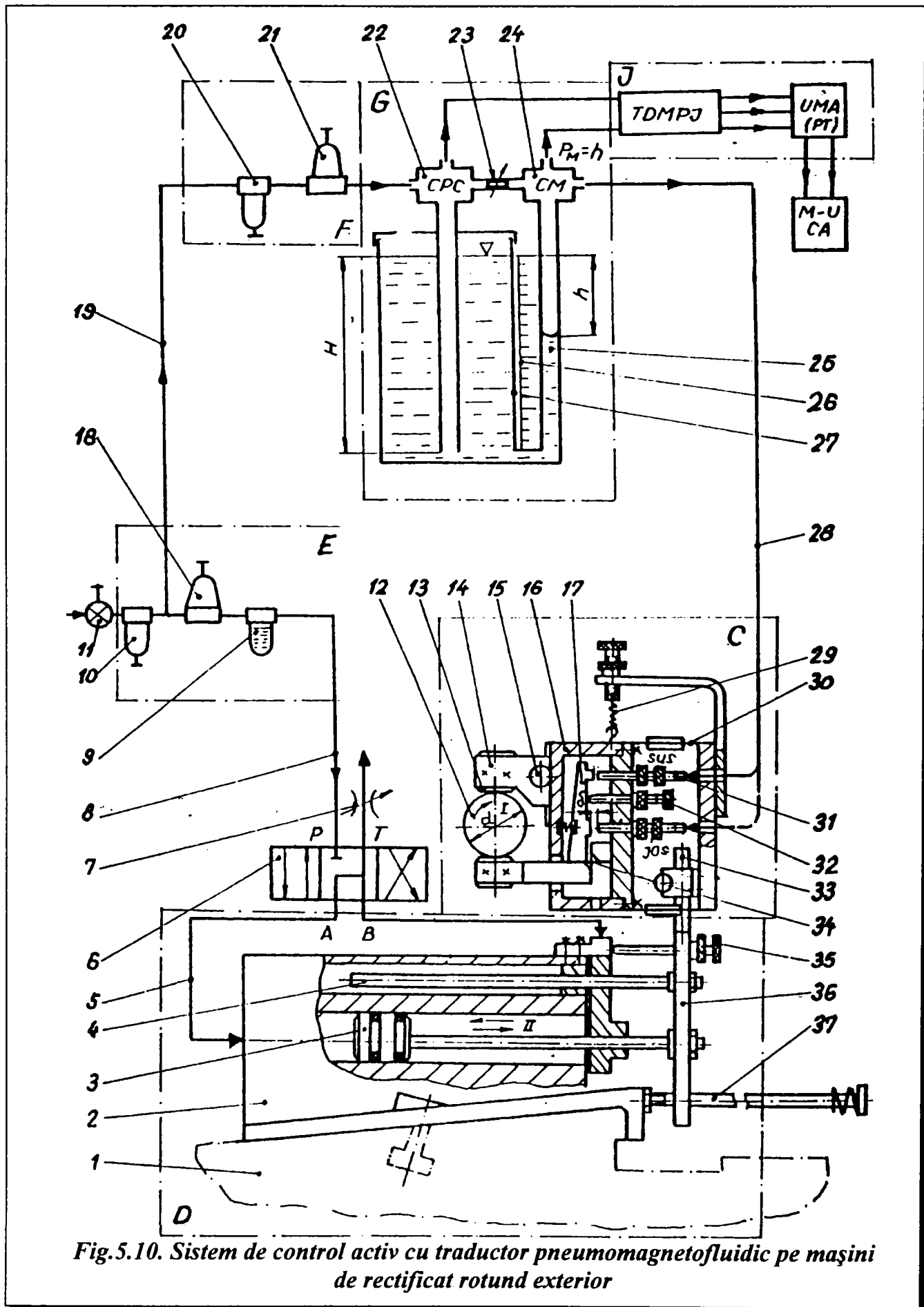
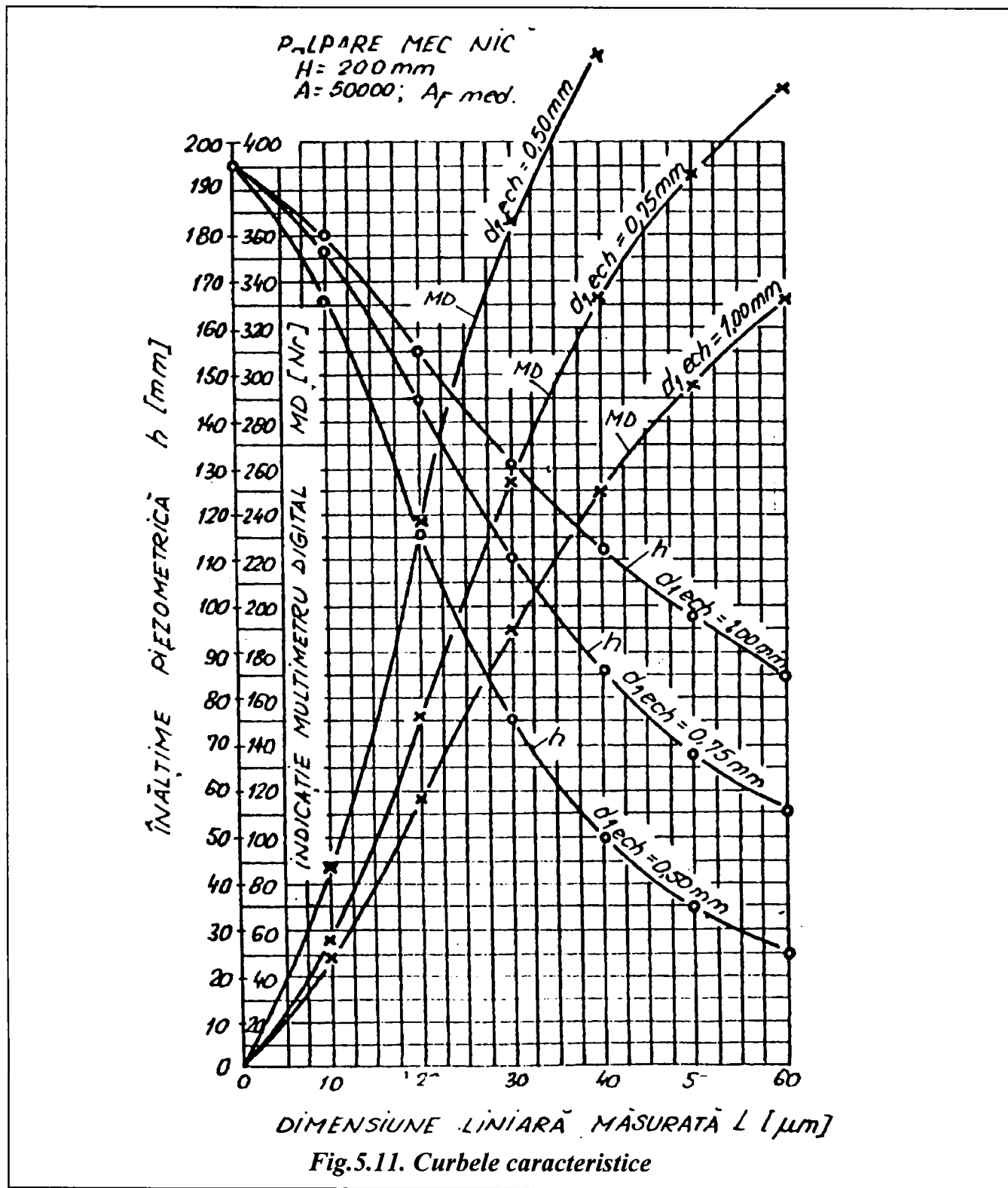


Fig.5.10. Sistem de control activ cu traductor pneumomagnetofluidic pe mașini de rectificat rotund exterior

Presiunile  $p_N = H = 200$  mm col.apă din CPC și  $p_M = h$  din CM (fig.5.10) se racordează la traductorul diferențial magnetofluidic de presiune joasă (TDMPJ) prin care semnalul pneumatic se transformă într-un semnal electric, amplificat în mod convenabil prin unitatea de măsurare și amplificare (UMA)(o punte tensiometrică PT cu indicație digitală de exemplu).



Se creează astfel, posibilitatea obținerii unei amplificări finale foarte mari

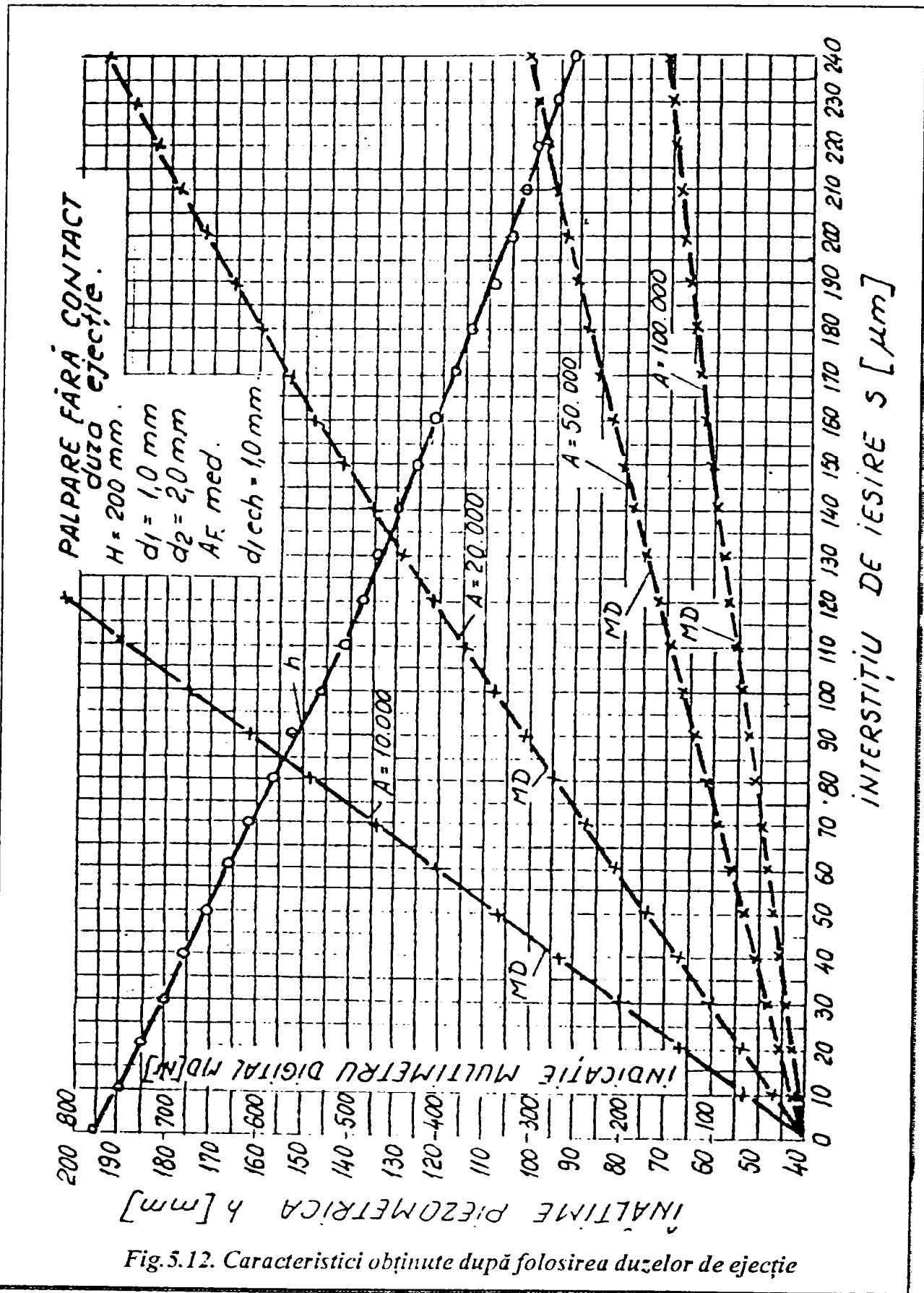


Fig. 5.12. Caracteristici obținute după folosirea duzelor de ejecție

pentru dimensiunea măsurată, ca urmare a faptului că, pe lângă amplificarea pneumomecanică se face și o amplificare electronică în limite foarte largi, putându-se obține în final precizii de măsurare de ordinul  $0,01 \mu\text{m}/\text{div}$ .

Pe lângă avantajul obținerii unor amplificări foarte mari cu indicație digitală, se remarcă și faptul că semnalul electric obținut, proporțional cu valoarea lungimii măsurate, este utilizabil pentru comenzi automate.

Pentru exemplificare, în figura 5.11 sunt prezentate curbele caracteristice obținute la etalonarea comparatorului magnetofluidic cu diuze de intrare cu fanta reglabilă și duză de ieșire obișnuită cilindrică. Prin  $d_{1 \text{ ech}}$  s-a notat diametrul echivalent al diuzei de intrare cu fanta oblică, calculat astfel încât aria dreptunghiulară a fantei oblice să fie echivalentă cu aria corespunzătoare diametrului alezajului circular echivalent, iar prin  $A_{f \text{ med}}$  valoarea medie a amplificării la acordul fin al punții tensiometrice. Se face precizarea că, prin modificarea acestei amplificări la valorile extreme, amplificarea se mărește, respectiv scade de aproximativ 5 ori, deci în limite foarte largi.

Pe scala indicațiilor digitale, fig.5.11, în locul indicației 400 am putea obține indicația 2000 sau 80.

Deoarece în figura 5.11 caracteristicile nu sunt liniare decât pe o porțiune relativ mică și în cazul indicațiilor digitale este necesar a se folosi numai porțiunea liniară a caracteristicii, etalonarea comparatorului pneumatic s-a făcut și folosind duze speciale, "de ejecție".

Caracteristicile obținute în acest caz sunt prezentate în figura 5.12.

Se remarcă faptul că pe scala analogică se obțin practic două segmente de dreaptă, între  $h = 90 \dots 135 \text{ mm}$ , respectiv  $h = 135 \dots 195 \text{ mm}$ ; iar pe scala digitală cu amplificarea  $A = 10.000$ , la puntea tensiometrică este un domeniu liniar pe tot intervalul de  $120 \mu\text{m}$ , revenind aproximativ 7 incremente pentru  $1 \mu\text{m}$ . Printr-o creștere corespunzătoare a amplificării, de la acordul fin, se pot obține ușor 10 incremente la  $1 \mu\text{m}$ .

### 5.3.3. Sisteme de control activ cu traductoare pe bază de izotopi radioactivi

Sistemele de acest tip sunt mai puțin sensibile la vibrații, iar influența radiațiilor asupra personalului de exploatare nu e periculoasă.

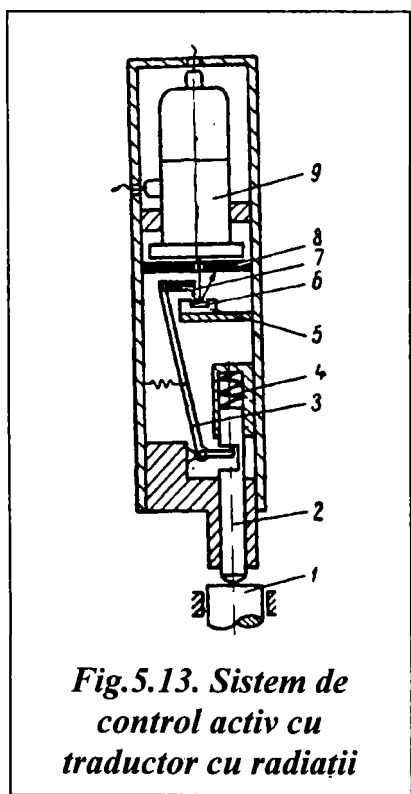


Fig.5.13. Sistem de control activ cu traductor cu radiații



Schema unui sistem de control activ cu traductor cu radiații realizat la Institutul din Omsk [47] este prezentată în figura 5.13.

Sistemul are tija 2 care sub acțiunea arcului 4 este împinsă pe piesa 1 care asigură contactul cu suprafața supusă măsurării. În tăietura tijei 2 este amplasat capătul pârghiei 3. La celălalt capăt al pârghiei 3 este fixată placa 7. Raportul brațelor pârghiei 3 este egal cu 10:1. Sub placa 7, în containerul 5 este amplasat izotopul 6 - toriu 232 - care emite radiații alfa. Deasupra plăcii 7 este fixată diafragma 8 cu o fantă îngustă. (0,4 x 15 mm). Deasupra diafragmei este montat un contor Geiger 9 (tip MCT-17).

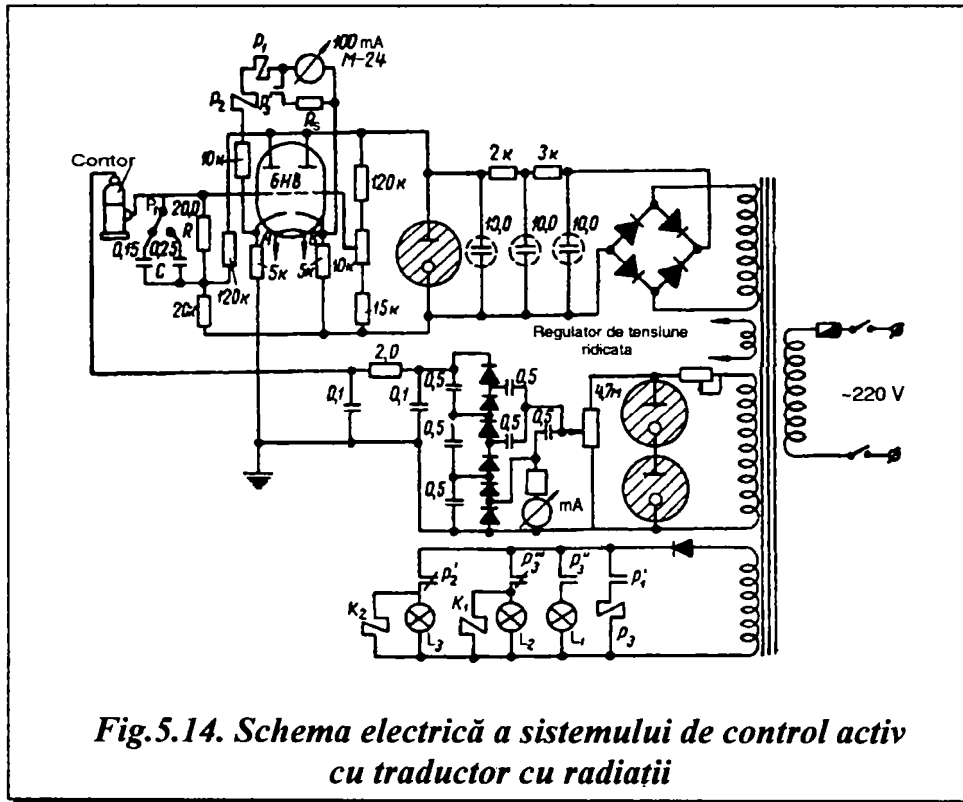


Fig.5.14. Schema electrică a sistemului de control activ cu traductor cu radiații

La deplasarea tijei de măsurare 2 se produce rotirea pârghiei 3 cu plăcuța 7, a cărei poziție acoperă mai mult sau mai puțin diafragma 8 și ca urmare mărește sau reduce intensitatea radiațiilor  $\alpha$  care ajunge la contorul 9. La controlul arborilor netezi raducorul radioizotrop este prevăzut cu trei contacte.

Schema electrică a sistemului este redată în figura 5.14.

Sistemul asigură comanda automată a avansului de pătrundere în fazele de degroșare și finisare precum și reglarea duratei fazei de destindere până la atingerea dimensiunii finale. În plus, schema permite vizualizarea pe un microampermetru a schimbării dimensiunii piesei în timpul rectificării. Microampermetrul are două scări, una grosieră cu valoarea diviziunii reglabilă între 2,5 ... 10  $\mu$ m (valoarea diviziunii se instalează la reglarea aparatului) și o scară de precizie ridicată cu valoarea diviziunii de la 0,5 până la 2  $\mu$ m. Trecerea de pe o scară pe alta se face în mod automat. Operatorul mai poate urmări desfășurarea fazelor prin semnalele luminoase colorate ale lămpilor de semnalizare astfel: în timpul rectificării de degroșare este aprinsă lampa verde, în timpul fazei de finisare arde lampa albă, iar în faza de destindere lampa roșie.

La instalarea sistemului în vederea controlului dimensiunii piesei, diafragma 8 este complet deschisă iar intensitatea radiațiilor care cad asupra traductorului este maximă. Ca urmare și diferența de potențial între catodii lămpii 6H8 (între punctele A și B) are valoare maximă. Curentul care trece prin releul P1 (releu polarizat de tip RP-5) provoacă cuplarea lui (la un curent de 100  $\mu$ A). Contactele normal deschise P<sub>1</sub>' se închid și se alimentează bobina releului auxiliar P3. Cu contactele releului P3 se cuplează rezistența microampermetrului R<sub>S</sub> micșorându-se sensibilitatea de 4-5 ori a semnalului provenit de la traductor, iar aprinderea lămpii L1 indică desfășurarea fazei de degroșare. Contactele normal închise P<sub>3</sub>''' asigură alimentarea releului K1 și include în circuit lampa de semnalizare L<sub>2</sub>.

La îndepărtarea adaosului, diafragma este acoperită treptat reducându-se intensitatea radiației ce cade asupra traductorului și în mod proporțional se micșorează curentul în circuitul de măsurare. La 100  $\mu$ A releul P<sub>1</sub> închide contactul lui P<sub>1</sub>' întrerupând astfel alimentarea releului P3. Prin aceasta se face comutarea de la degroșare la finisare (se comută contactele P<sub>3</sub>'' și P<sub>3</sub>'''). Concomitent lampa L<sub>1</sub> se stinge și se aprinde lampa L<sub>2</sub>. În același timp se alimentează releul de putere K<sub>1</sub> care comandă mecanismele pentru trecerea de la avansul de degroșare la cel de finisare. În continuare se desfășoară faza de finisare în timpul căreia se observă o micșorare a indicațiilor microampermetrului, dimensiunea piesei ajungând la valoarea ei finală. Se produce decuplarea releului P<sub>2</sub> care prin contactele normal închise P<sub>2</sub>' alimentează circuitul releului de putere K<sub>2</sub> prin care se oprește mașina și alimentează lampa roșie L<sub>3</sub>. Curentul de basculare a releului P<sub>2</sub> se stabilește în limitele a 20-30 de diviziuni ale scării aparatului. Sistemul a fost utilizat pentru controlul arborilor cu diametrul nominal de 65 mm, la o toleranță de 23  $\mu$ m, dispersia dimensiunilor fiind de 13  $\mu$ m.

#### **5.3.4. Complet electronic pentru controlul activ al suprafețelor continui tip CAS C-2E**

Pe mașinile de rectificat se folosesc în marea majoritate a cazurilor sisteme de control activ cu traductoare inductive, datorită avantajelor pe care le au și care au fost menționate anterior.

La noi în țară a fost conceput, proiectat și realizat un complet electronic pentru controlul activ al pieselor cilindrice și respectiv a dimensiunilor pieselor prismatice [126]. Cu un asemenea complet se pot echipa prin comenzi speciale, mașinile de rectificat rotund exterior, interior și universale, precum și mașinile de rectificat plan.

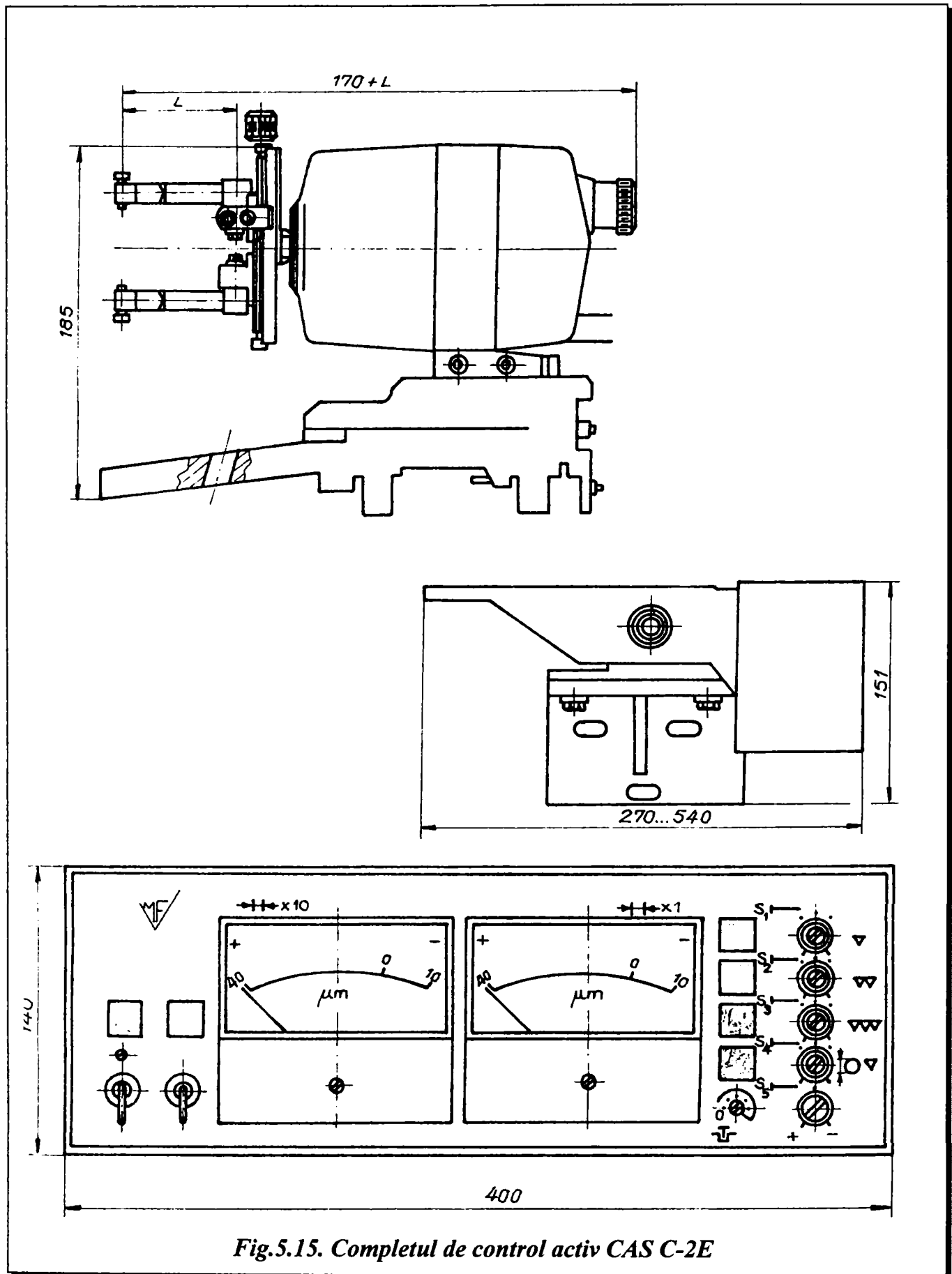


Fig.5.15. Completul de control activ CAS C-2E

Deoarece pentru încercările experimentale se va utiliza un asemenea complet, în continuare se face o prezentare succintă a acestuia.

Este un ansamblu compus dintr-un bloc electronic tip MCE-X și un cap electronic de măsurare pentru suprafețele cilindrice continui, exterioare și interioare (fig.5.15).

În timpul desfășurării procesului de rectificare poate îndeplini următoarele funcții:

- controlează și măsoară abaterile dimensiunilor de la cota nominală sau cota reglată, pentru piese cilindrice fără discontinuități;
- semnalizează optic atingerea sau depășirea unor limite prestabilite;
- transmite semnale pentru comanda ciclului de lucru al mașinii unelte, conform limitelor dimensionale prestabilite.

Operațiile de măsurare se realizează prin contactul mecanic cu suprafața măsurată. Variațiile dimensionale sunt convertite în variații de inductanță de către un traductor inductiv diferențial de deplasare. Variațiile inductanței sistemului de bobine sunt prelucrate de către un bloc electronic tip MCE-X, ele fiind direct proporționale cu abaterea față de dimensiunea nominală, prestabilită.

Semnalul de dezechilibrare al punții este amplificat și detectat sincron de către două blocuri, amplificator detector, corespunzător celor două scări afișate pe MCE-X, brut și fin. Tensiunile continui de la ieșirile detectorilor prin comparație cu tensiuni din exterior prescrise generează 1 ... 4 semnale de comandă. Comenzile sunt transmise mașinii de rectificat prin relee și semnalizate corespunzător.

Caracteristicile metrologice principale sunt:

- gama de diametre măsurate: var.CASEC-2E ... 6-120 mm;  
(reglabilă manual) var.CASTC-2E ... 6-120 (125) mm;
- intervalul de măsurare: degroșare ... 0,500 mm;  
finisare ... 0,050 mm;
- valoarea diviziunii instrumentelor:  
indicatoare: degroșare ... 0,010 mm;  
finisare ... 0,001 mm;
- stabilitatea declanșării semnalelor de comandă în timp de 2 ore de funcționare:  
degroșare:  $\pm 0,0015 \text{ mm} \pm 0,1\%$  din valoarea indicației de declanșare prestabilită;  
finisare  $\pm 0,00015 \text{ mm} \pm 0,05\%$  din valoarea indicației de declanșare prestabilită.
- afișare analogică prin două instrumente cu indicator:
  - interval de degroșare: -0,100 ... + 0,400 mm;
  - interval de finisare: -0,010 ... + 0,040 mm.

- felul și caracteristicile semnalului de comandă:  
contact comutator de releu: 220 V / 2,5 A.
- plajele de reglare ale semnalelor de comandă:
  - plaja PI: -0,100 ... + 0,400 mm;
  - plaja PII: -0,100 ... + 0,400 mm;
  - plaja PIII: -0,010 ... + 0,040 mm;
  - plaja PIV: -0,010 ... + 0,040 mm.
- intervalul de temporizare: 0 ... 50 s sau 0 ... 5 min (numai la variantele constructive cu temporizare MCE-XT),
- timpul de răspuns la instalare semnalului de comandă 50 ms indiferent de inerția instrumentelor indicatoare,
- plaja de echilibrare rezistivă ... min 0,060 mm;
- deriva de zero în timp de 2 ore: max  $\pm 0,00025$  mm  $\pm 0,05$  % din capacitatea de măsurare;
- forța de măsurare pe palpator: ...  $140 \pm 15$  cN;
- cursa de îndepărtare pe palpator: ...  $0,5^{+0,15}$  mm (la cerere 1- 0,15mm).
- palpatoare de măsurare:
  - rectificare exterioară: ... carbură metalică;
  - rectificare interioară: ... diamant;
- prindere pe mașina - unealtă:
  - capul de măsurare UC-2E: pe masa sau batiul mașinii-unele te cu unul din cilindrii de acționare CA - 1, CA-2;
  - blocul electronic MCE-X, pe un suport special;
- alimentare:
  - rețea electrică: 220 V + 10%, 50 Hz  
- 15%;
  - instalație hidraulică: min (6) 8 bari;  
max 12 bari;
- puterea electrică consumată: ... max 40 VA;
- umiditatea relativă a mediului ambiant: ... max 85%;
- temperatura de lucru: ... 10° - 40° C;
- erori tolerate de măsurare conform tabelului 5.1

*.Tabelul 5.1*

Capacitate de măsurare a scării gradate [mm]	Valoarea unei diviziuni [mm]	Eroarea de justețe a indicației și a comenzilor transmise [mm]	Eroarea de fidelitate a indicației [mm]	Eroarea de fidelitate a comenzilor transmise [mm]	Eroarea de semnalizare și comandă [mm]
0,500	0,010	$\pm 0,0125$	0,007	0,005	0,0025
0,050	0,001	$\pm 0,00125$	0,0007	0,0005	0,00025

Erorile tolerate de măsurare la temperatura de referință sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Capacitate de măsurare a scării gradate [mm]	Valoarea unei diviziuni [mm]	Eroarea de justețe a semnalului transmis [mm]	Eroarea de fidelitate a semnalului transmis [mm]	Eroarea suplimentară datorată variației de temperatura raportată la 1°C
0,500	0,010	±0,0025	0,005	±0,05% din capacitatea de măsurare a scării gradate
0,050	0,001	±0,00025	0,0005	

### Avantajele utilizării capetelor de măsurare CONTIN 2E

În raport cu alte construcții de capete electronice de măsurare, capetele de măsurare CONTIN-2E prezintă următoarele avantaje:

- elimină frecările din sistemele de ghidare, acestea fiind construite pe principiul lamelor elastice de încovoiere, pereche, încastrate la un cap, formând un mecanism de paralelogram elastic echilibrat simplu deformabil;
- liniaritatea cursei de lucru a sistemului de ghidare, liniaritatea caracteristicii în ansamblu fiind dată numai de caracteristicile sistemului traductor inductiv;
- deplasarea palpatoarelor într-un plan perpendicular pe planul de măsurare pentru orice abatere a dimensiunii măsurate, ceea ce conduce la relativitatea poziționării;
- neintroducerea unor forțe sau variații de forță sesizabilă în limitele domeniului de lucru;
- regim dinamic de pulsație proprie prin operația de măsurare sporit;
- influența redusă a condițiilor și caracteristicilor mediului de utilizare asupra caracteristicii de ghidare a mișcării de palpate în limitele domeniului;
- reglaje și etalonări simple și stabile.

Aprecierea și îndepărtarea capului de măsurare față de piesă se realizează prin intermediul unui hidromotor liniar de tip CA-1Y folosit pentru operațiile de rectificare exterioară. Hidromotorul se montează pe masa superioară a mașinii cu ajutorul unor suporturi specifici. Se blochează în poziție cu ajutorul unui mecanism șurub-piuliță special. Hidromotorul se cuplează la sistemul hidraulic de alimentare al mașinii printr-o conductă flexibilă. Hidromotorul este alimentat cu ulei sub presiune 6 ... 12 bari realizând curse 40 sau 70 mm.

Capul de măsurare se conectează la instalația electrică de acționare și comandă a mașinii prin intermediul unei mufe speciale cu un conductor multifilar.

Punerea la zero a sistemului de control activ se face după metodologia cunoscută și prezentată în detaliu în [126].

Modul de montare pe mașina RE 350 se observă în fotografia din fig.6.15.b.

## **6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE**

### **6.1. SCOPUL CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE**

În concordanță cu conținutul părții teoretice a lucrării, în cadrul cercetărilor experimentale se urmăresc următoarele aspecte:

- asigurarea preciziei dimensiunilor prin comandă automată a fazelor procesului;
- măsurarea componentelor  $F_x$  și  $F_y$  ale procesului de rectificare;
- determinarea rigidității subansamblurilor mașinii de rectificat RE 350 CA;
- stabilirea valorilor parametrilor optimi de rectificare care asigură precizia impusă și calitatea suprafeței fără depășirea valorii impuse a temperaturii în zona de contact dintre piatră și piesă;
- executarea de rectificări pe un sistem tehnologic echipat corespunzător și prelucrarea statistică a rezultatelor obținute cu ajutorul programului STATGRAPHICS.

### **6.2. ASIGURAREA PRECIZIEI DIMENSIUNILOR PRIN COMANDA REINSTALĂRII AUTOMATE A PIETREI DE RECTIFICAT**

La utilizarea sistemelor de control și de reinstalare a pietrei la cotă apar probleme legate de momentele din proces când se impune transmiterea semnalelor de comandă pentru reinstalarea la cotă a pietrei, astfel încât dimensiunile pieselor rectificate să se mențină în câmpul de toleranță prescris și, ca urmare, numărul rebuturilor să fie mic.

Semnalele pentru reinstalare pot fi generate (automat sau manual) după executarea unui anumit număr de piese sau în momentul ieșirii cotei din câmpul de toleranță.

În scopul rezolvării problemei de mai sus trebuie să se cunoască următoarele date:



- legea de variație a erorilor sistematice;
- legea de distribuție a erorilor întâmplătoare;
- parametrii schemei de control;
- modul de generare a semnalului de comandă pentru reinstalare a pietrei;
- schema transmiterii impulsului de comandă, precum și parametrii finali ai procesului concretizați prin: legile diferențiale și integrale ale distribuției erorilor însumate ale dimensiunilor; mărimea toleranței și mărimea câmpului erorilor însumate ale dimensiunilor; abaterea medie pătratică.

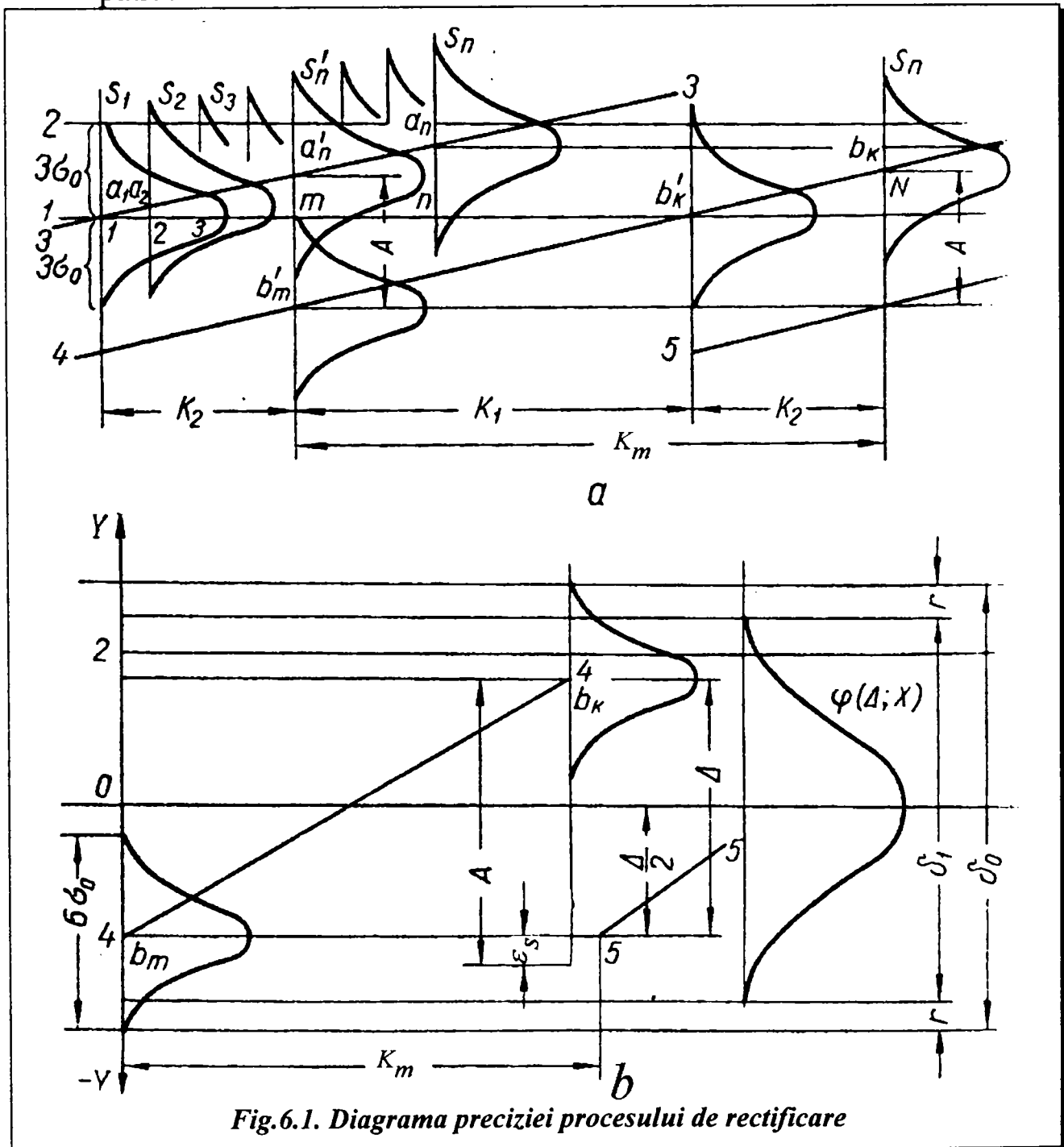


Fig.6.1. Diagrama preciziei procesului de rectificare

În cazul rectificării, datorită erorilor sistematice și întâmplătoare (menționate în subcapitolul 3.1.2.3), modificarea pozițiilor curbilor de dispersie va apare ca în figura 6.1.

Pe abscisă este indicat numărul de ordine al piesei prelucrate, iar pe ordonată mărimile abaterilor dimensiunilor lor față de centrul câmpurilor de dispersie.

Pe măsura rectificării, centrul instantaneu de dispersie a dimensiunilor, dispus inițial pe linia 1-1, ca urmare a existenței erorilor sistematice și întâmplătoare  $\varepsilon_s$  se deplasează în lungul liniei 3-3, începând din punctul  $a_1$  și apropiindu-se de linia de reglare 2-2.

După ieșirea dimensiunii uneia sau a mai multor piese în afara liniei de reglare se produce declanșarea semnalului de reinstalare a pietrei, având ca rezultat deplasarea centrului de dispersie în jos cu valoarea  $A$  (din punctul  $a_n'$  în punctul  $b_m'$  apoi în punctul  $b_k'$ ,  $b_k$  ș.a.m.d) atingându-se linia 4-4, iar punctul extrem superior al câmpului de dispersie,  $s_n'$ , se deplasează în poziția  $m$ . În continuarea rectificării pieselor, procesul se repetă, centrul dispersiilor deplasându-se în lungul liniei 4-4, sub linia 3-3 și în continuare după linia 5-5.

Ca rezultat al acesteia, momentul de reinstalare depinde de apariția semnalului rezultat prin măsurarea dimensiunii, care va provoca deplasarea centrului de dispersie în raport cu linia de reglare. Între două autoreglări se va verifica un număr oarecare de piese. Se presupune că între două reinstalări se rectifică un număr  $K_m$  de piese.

Condiția de bază pentru asigurarea stabilității procesului se exprimă prin relația:

$$A = \varepsilon_s \cdot K_m = \Delta + \varepsilon_s,$$

unde  $\Delta$  este deplasarea centrului de dispersie.

Considerând că procesul se desfășoară după linia 4-4, figura 6.1,b, din punctul  $b_m$  în punctul  $b_k$ , limitele probabile superioară și inferioară ale centrului de dispersie corespund momentelor înainte și după reinstalare sau autoreglare.

Parametrii proceselor trebuie să fie determinați funcție de abaterea medie pătratică  $\sigma_0$ .

În cazul procesului tehnologic cu autoreglare ecuația diferențială de distribuție a dimensiunilor pieselor prelucrate va fi:

$$\varphi(\Delta, x) = \frac{1}{\Delta} \left[ \Phi \left( x + \frac{\Delta}{2} \right) - \Phi \left( x - \frac{\Delta}{2} \right) \right], \quad (6.1)$$

unde:  $\Phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t e^{-\frac{u^2}{2}} du$  este funcția Laplace;

$x$  - mărimea abaterii dimensiunii piesei față de mijlocul câmpului de dispersie  $\delta_0$ .

Precizia procesului este dată de câmpul  $\delta_1$  în care trebuie să se găsească 99,73% dintre dimensiunile pieselor rectificat.

Trecând de la ecuația diferențială de distribuție a dimensiunilor (6.1) la cea integrală se obține:

$$\Psi(\Delta, x) = \sum_{-\infty}^x \varphi(\Delta, x). \quad (6.2)$$

Având în vedere forma simetrică a curbei  $\varphi(\Delta, x)$  în raport cu axa  $Ox$ , se poate determina poziția limitelor câmpului de toleranță, respectiv și precizia procesului din condiția ca numai 0,135% (valoare unanim acceptată în procesele cu comandă automată) din dimensiunile pieselor prelucrate să iasă în afara câmpului de toleranță admis, adică:

$$\Psi(\Delta, x_2) = \sum_{-\infty}^{x_2} \varphi(\Delta; x_2) \leq 0,00135, \quad (6.3)$$

unde  $x$  reprezintă ordonata limitei câmpului de toleranță.

Înlocuind expresia (6.1) în (6.3) se obține:

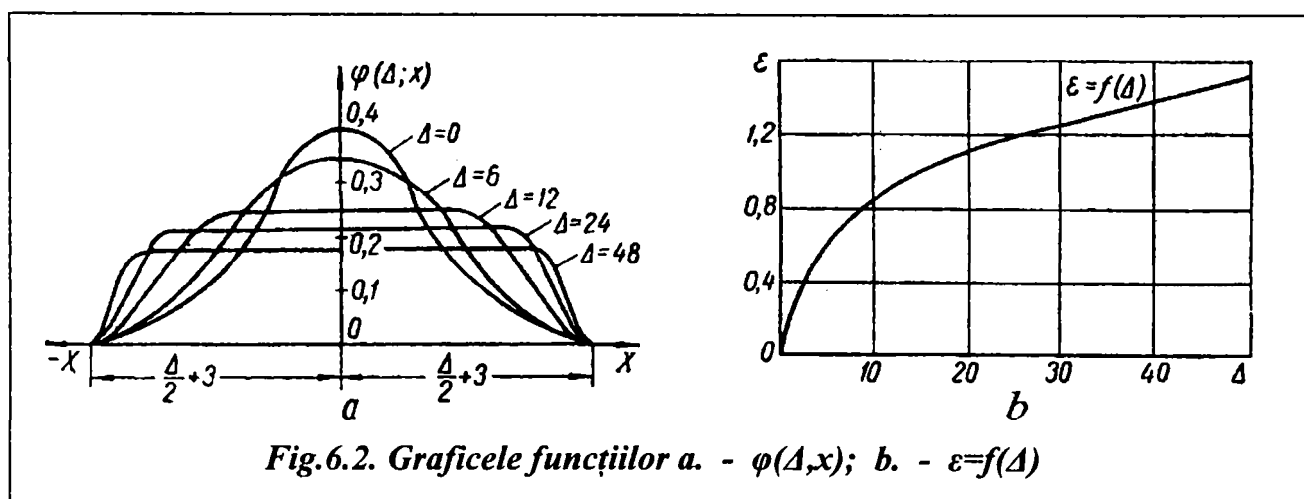
$$\Psi(\Delta, x_2) = \frac{1}{\Delta} \sum_{-\infty}^{x_2} \left[ \Phi\left(x + \frac{\Delta}{2}\right) - \Phi\left(x - \frac{\Delta}{2}\right) \right] \leq 0,00135 \quad (6.4)$$

Din relația (6.4) rezultă că  $x_2$  și ca urmare și

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \Delta + 3 - x_2 \quad (6.5)$$

depind în mare măsură de  $\Delta$ , adică

$$\varepsilon = f(\Delta) \quad \text{și} \quad \delta_1 = f_1(\Delta). \quad (6.6)$$



Calculul analitic al acestor funcții este greoi deoarece intervine funcția Laplace. Calculele prin metode numerice au permis trasarea caracteristicilor  $\varphi(\Delta, x)$ , (fig.6.2.a) și  $\varepsilon = f(\Delta)$ , (fig.6.2.b).

Limitele câmpului de toleranță pot fi determinate pe cale grafică. Pentru aceasta scriem relația (6.2) în formă extinsă:

$$\Psi(\Delta, x) = \frac{1}{\Delta} \left[ \sum_{-\infty}^x \Phi \left( x + \frac{\Delta}{2} \right) - \sum_{-\infty}^x \Phi \left( x - \frac{\Delta}{2} \right) \right] \quad (6.7)$$

și introducem funcția:

$$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi(t), \quad (6.8)$$

de unde

$$\Phi(t) = F(t) - \frac{1}{2}. \quad (6.9)$$

Înlocuind expresia (6.9) în (6.7) se obține:

$$\Psi(\Delta, x) = \frac{1}{\Delta} \left[ \sum_{-\infty}^x F \left( x + \frac{\Delta}{2} \right) - \sum_{-\infty}^x F \left( x - \frac{\Delta}{2} \right) \right] \quad (6.10)$$

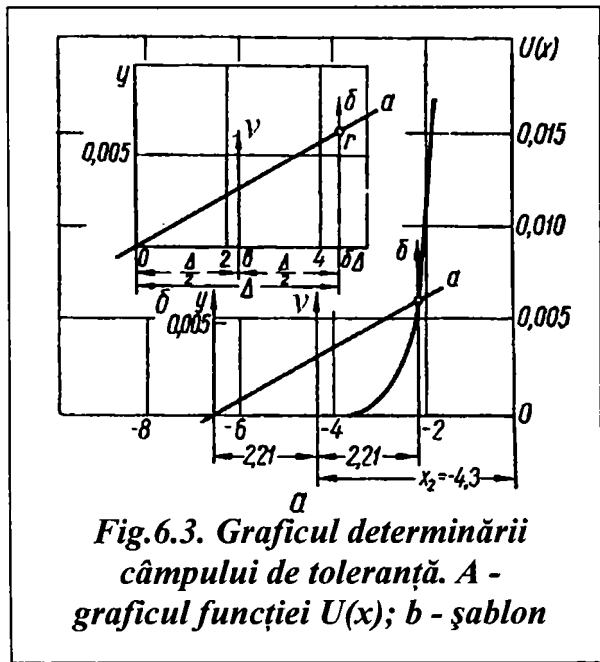


Fig.6.3. Graficul determinării câmpului de toleranță. A - graficul funcției  $U(x)$ ; b - șablon

Ecuția (6.10) poate fi scrisă sub forma:

$$\Psi(\Delta; x) = \frac{1}{\Delta} \left[ \sum_{-\infty}^{x+\frac{\Delta}{2}} F(t) - \sum_{-\infty}^{x-\frac{\Delta}{2}} F(t) \right] \quad (6.11)$$

Fie

$$U(x) = \sum_{-\infty}^x F(t). \quad (6.12)$$

Atunci ecuația (6.11) poate fi scrisă sub forma:

$$\Psi(\Delta; x) = \frac{1}{\Delta} \left[ U \left( x + \frac{\Delta}{2} \right) - U \left( x - \frac{\Delta}{2} \right) \right]. \quad (6.13)$$

Construind figura 6.3, graficul funcției  $U(x) = \sum_{-\infty}^x F(t) = \sum_{-\infty}^x \left[ \Phi(t) + \frac{1}{2} \right]$  se determină valorile funcției  $\Psi(\Delta, x)$  la valori cunoscute ale lui  $\Delta$  și folosind șablonul (fig.6.3,b) executat pe material transparent.

Pe axa Ox a șablonului se observă deplasările  $\Delta$ , iar scările axei absciselor, ale ordonatelor șablonului și ale funcției  $U(x)$  sunt identice.

Panta liniei a-a a șablonului în raport cu axa absciselor se determină din condiția:

$$\Psi(\Delta, x_2) = \frac{1}{2} \left[ U\left(x_2 + \frac{\Delta}{2}\right) - U\left(x_2 - \frac{\Delta}{2}\right) \right]. \quad (6.14)$$

Pentru determinarea abaterii superioare a câmpului de toleranță e necesar a se așeza șablonul pe graficul funcției  $U(x)$  și a-l deplasa în lungul curbei astfel încât, la început, coordonatele șablonului să se găsească în permanență pe curba  $U(x)$ , respectiv axele șablonului și cele ale lui  $U(x)$  să rămână paralele.

Șablonul trebuie deplasat până la suprapunerea punctului r peste curba  $U(x)$ . Punctul r al șablonului este punctat de intersecție a liniei a-a, corespunzătoare condiției din (6.14), cu linia b-b paralelă cu axa ordonatelor, delimitând pe axa absciselor un segment egal cu  $\Delta$ . Linia v-v trasată la distanța  $\Delta/2$  pe Ox a șablonului, intersectează axa absciselor graficului funcției  $U(x)$  în  $x_2$  corespunzătoare limitei superioare a câmpului de toleranță. Coordonata limitei inferioare a câmpului de toleranță va fi  $|-x_2| = x_2$ .

În figura 6.3,a șablonul este plasat în poziția care determină limita

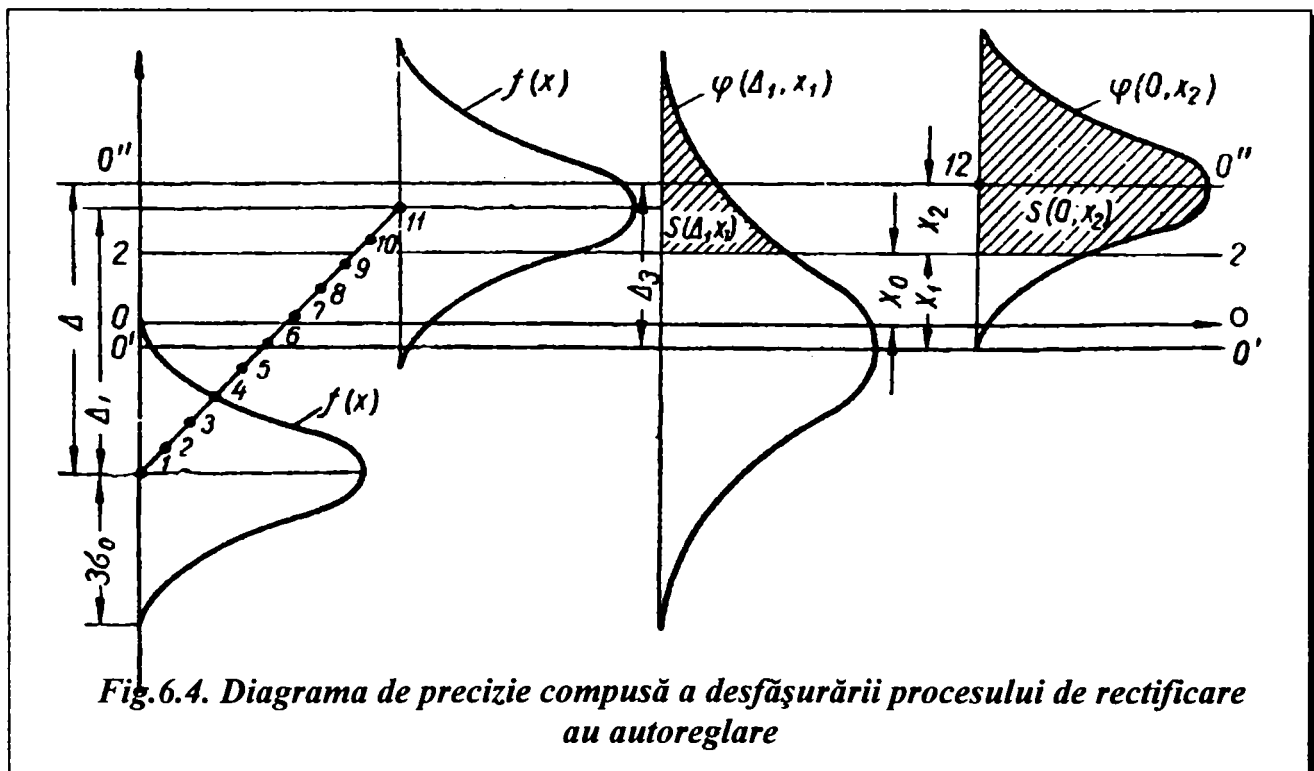


Fig.6.4. Diagrama de precizie compusă a desfășurării procesului de rectificare au autoreglare

superioară a câmpului de toleranță.

În principiu, generarea semnalului de reinstalare automată declanșat de sistemul de control activ se poate realiza pe două căi:

- după un anumit număr de piese executate;
- după mărirea semnalelor, respectiv în momentul depășirii limitei superioare a câmpului de toleranță.

În prima variantă, după realizarea celor  $K_m$  piese, se transmite semnalul de autoreglare către mecanismul de execuție. Ca rezultat al autoreglării, centrul de dispersie, pentru piesa  $k_m+1$ , se deplasează cu mărirea  $\Delta$ .

În concordanță cu principiul de formare a autocomenzii menționat, construim diagrama de precizie compusă (fig.6.4) pe care în afara curbelor  $\varphi(\Delta_1; x_1)$  și  $\varphi(0; x_2)$  și linia de reglare 2-2, se mai reprezintă și ecuația diferențială  $f(x_1)$  a fazei inițiale a procesului.

Se observă că  $x_0$  definește poziția liniei de reglare 2-2 față de poziția extremă superioară a centrului de dispersie corespunzător punctului de autoreglare 12.

Probabilitatea ca în punctul 12 să apară comanda de autoreglare după  $k_m$  piese se determină prin probabilitatea succesiunii semnalelor la prelucrarea a  $k_m-1$  piese și apariția semnalului după  $k_m$  piese.

Determinarea analitică a acestei probabilități este dificilă datorită funcțiilor de dispersie care intervin, motiv pentru care se recurge la folosirea metodei grafice.

În cadrul încercărilor experimentale poziția centrului de dispersie și a liniei de reglare 2-2 s-au determinat cu ajutorul programului STATGRAPHICS.

Valorile acestor poziții pot fi transmise mașinii de rectificat în vederea autocorecțiilor în urma uzurii pietrei și a reascuțirilor acesteia. Acest aspect deschide un nou domeniu de cercetare.

### **6.3. MĂSURAREA COMPONENTELOR $F_x$ ȘI $F_y$ ÎN PROCESUL DE RECTIFICARE ROTUNDĂ EXTERIOARĂ ÎNTRE VÂRFURI**

Data fiind influența valorilor componentelor forței de rectificare asupra preciziei, calității suprafeței și asupra capacității de producție s-a conceput un element traductor care permite măsurarea componentelor  $F_x$  și  $F_y$  (ele având influența cea mai mare asupra indicilor de calitate ai procesului) în regim static și

dinamic. Asemenea elemente traductoare au mai fost folosite în același scop în lucrările [94] și [104].

Elementul traductor este compus din două vârfuri dinamometrice montate, unul în alezajul arborelui păpușii portpiesă, iar celălalt în alezajul pinolei păpușii mobile.

Măsurarea forțelor se bazează pe deformațiile elastice ale elementelor sensibile ale vârfurilor, care în final sunt transformate în semnale electrice cu ajutorul unor traductoare rezistive cu fir. Construcția simplificată a unui vârf dinamometric este prezentată în figura 6.5.

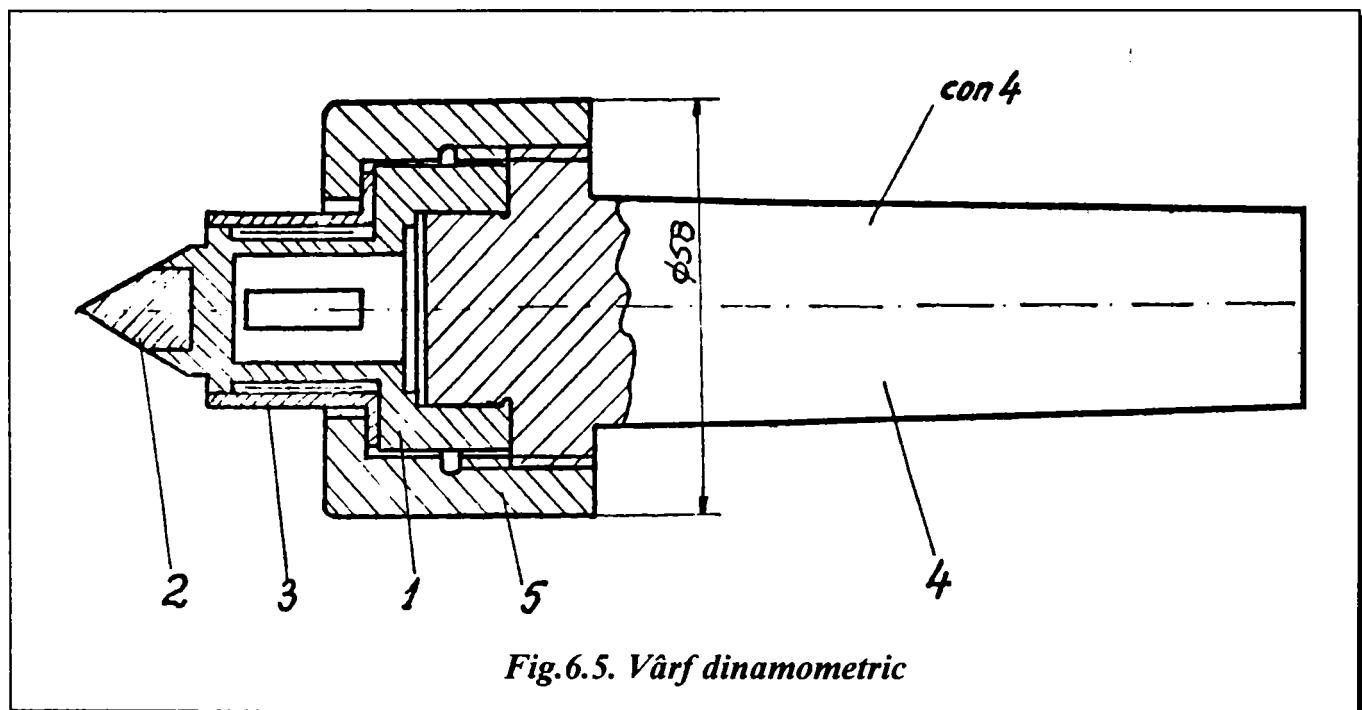
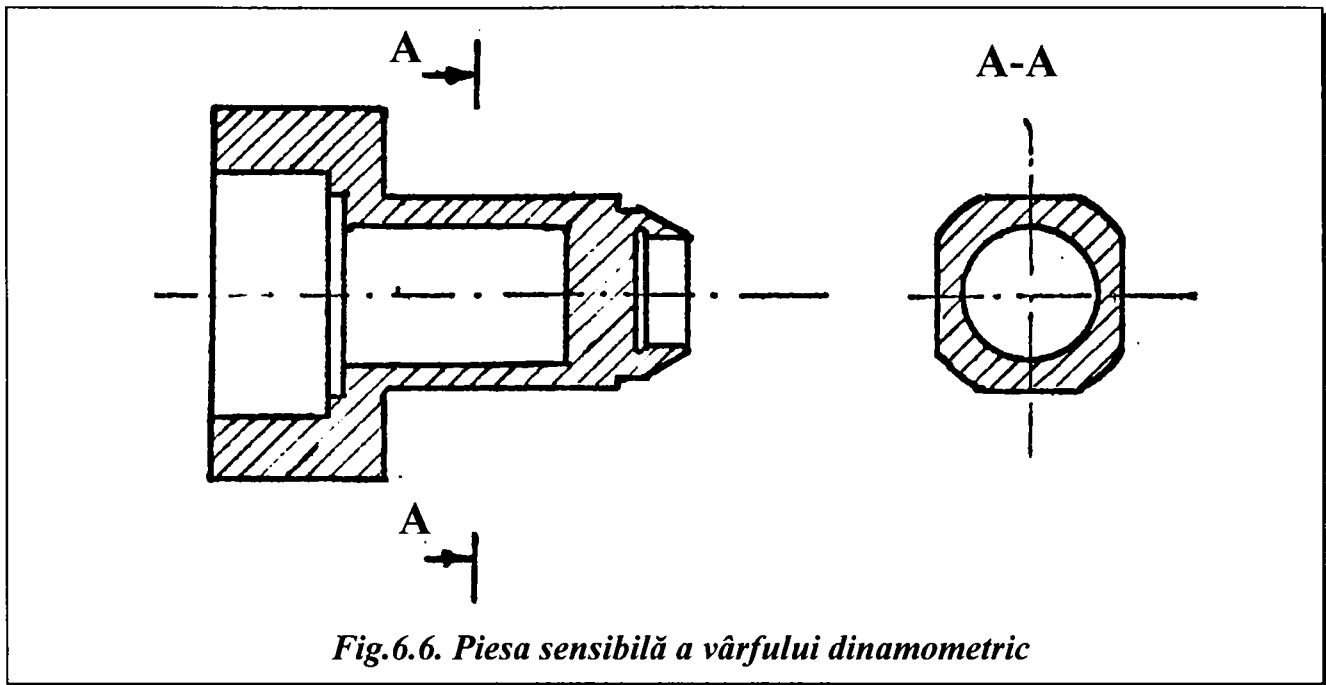


Fig.6.5. Vârf dinamometric

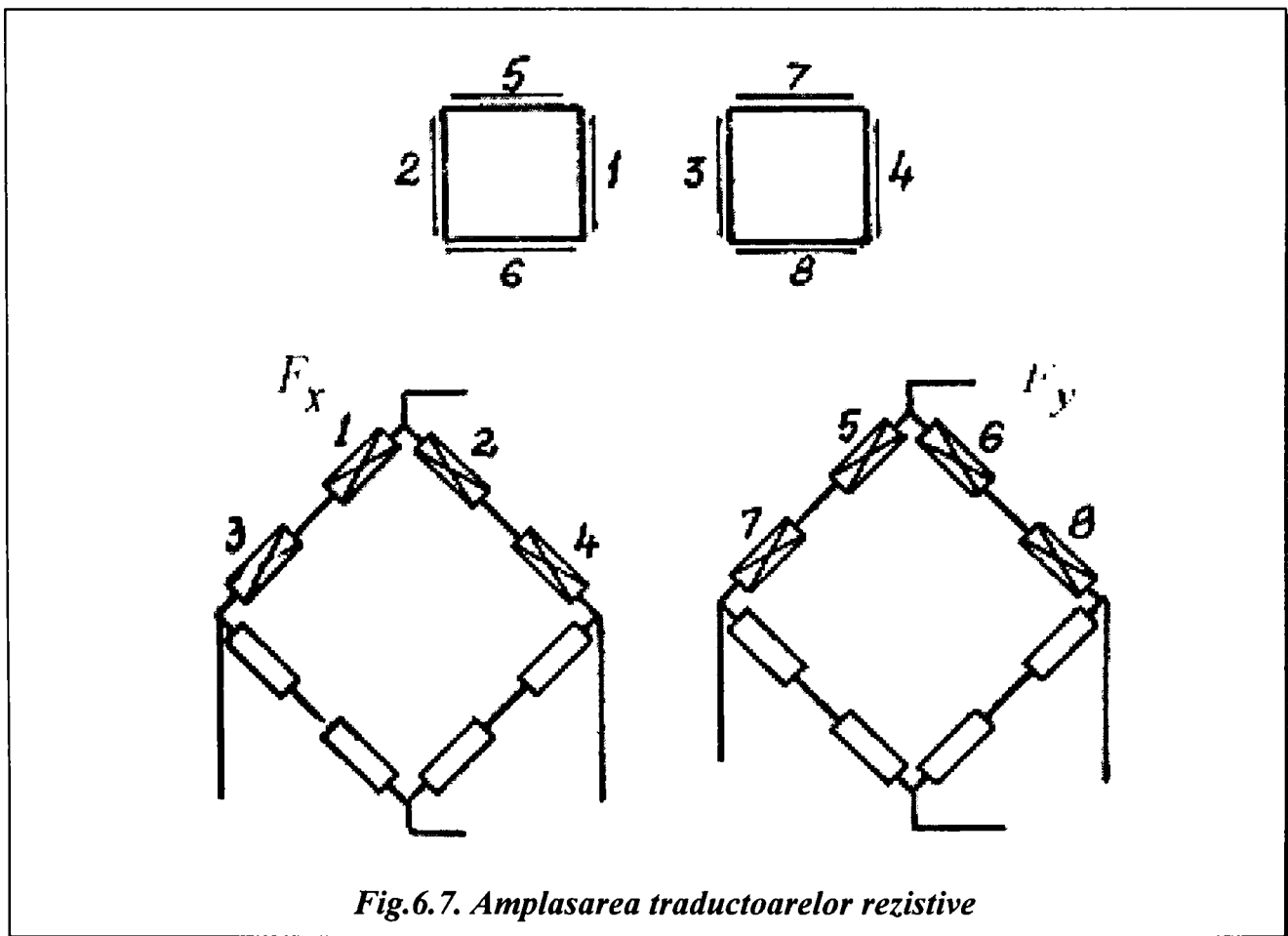
Fiecare vârf se caracterizează prin aceea că are o piesă 1 cu secțiuni mai mici în cele două plane (orizontal și vertical), însă egale între ele, ceea ce le conferă sensibilitate mai mare sub acțiunea componentelor  $F_y$  și  $F_x$ . Dat fiind faptul că aceasta constituie piesa de bază, construcția ei se reia în figura 6.6.

Pe cele patru suprafețe plane ale porțiunii slăbite de la piesa 1 au fost lipite traductoarele rezistive cu fir tip WG 30/05 cu următoarele caracteristici:

- lungimea bazei 6 mm;
- rezistența  $301\Omega \pm 0,5\%$ ;
- $\frac{\Delta R}{R} / \frac{\Delta L}{L} : 1,75 \pm 1,5\%$ ;
- curentul maxim 15 mA.



Datorită dispunerii traductoarelor în două plane perpendiculare este posibilă măsurarea simultană a celor două componente  $F_x$  și  $F_y$  ale forței de rectificare.



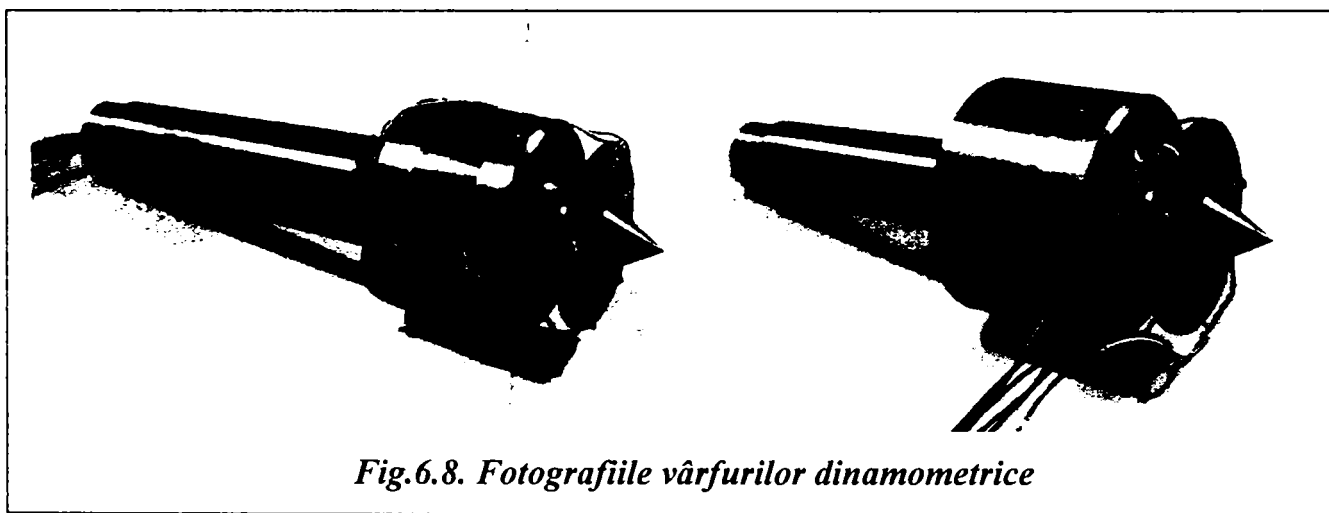


Modul de amplasare a celor 8(1..8) traductoare și punțile formate cu acestea sunt redată în figura 6.7. O asemenea amplasare în punte a traductorilor duce la obținerea unui semnal dublu, realizându-se simultan și compensarea variației de temperatură.

Datorită faptului că măsurarea forțelor se face cu două vârfuli, semnalele electrice obținute vor fi întotdeauna proporționale cu valorile componentelor  $F_y$  și  $F_x$  indiferent de poziția punctului de aplicație a forței de așchiere, de-a lungul piesei.

Fotografiile vârfulor dinamometrice executate și încercate în laboratorul catedrei TCM sunt redată în figura 6.8,a,b.

Măsurarea forțelor cu vârfuli dinamometrice prezentate se poate face numai când acestea au poziție fixă în timpul rectificării. La vârful din figura 6.8,a, conductorii electrice care fac legătura între traductoare și aparatul indicator sunt scoși printr-o gaură centrală a conului.



*Fig.6.8. Fotografiiile vârfulor dinamometrice*

Pentru evitarea pătrunderii lichidului de răcire la traductoare, orificiile prin care ies conductorii de la acestea au fost etanșate corespunzător.

Etalonarea vârfulor dinamometrice s-a executat pe o mașină de rectificat universal RE 350.

Instalația pentru etalonare (vedere de sus) este redată în figura 6.9.

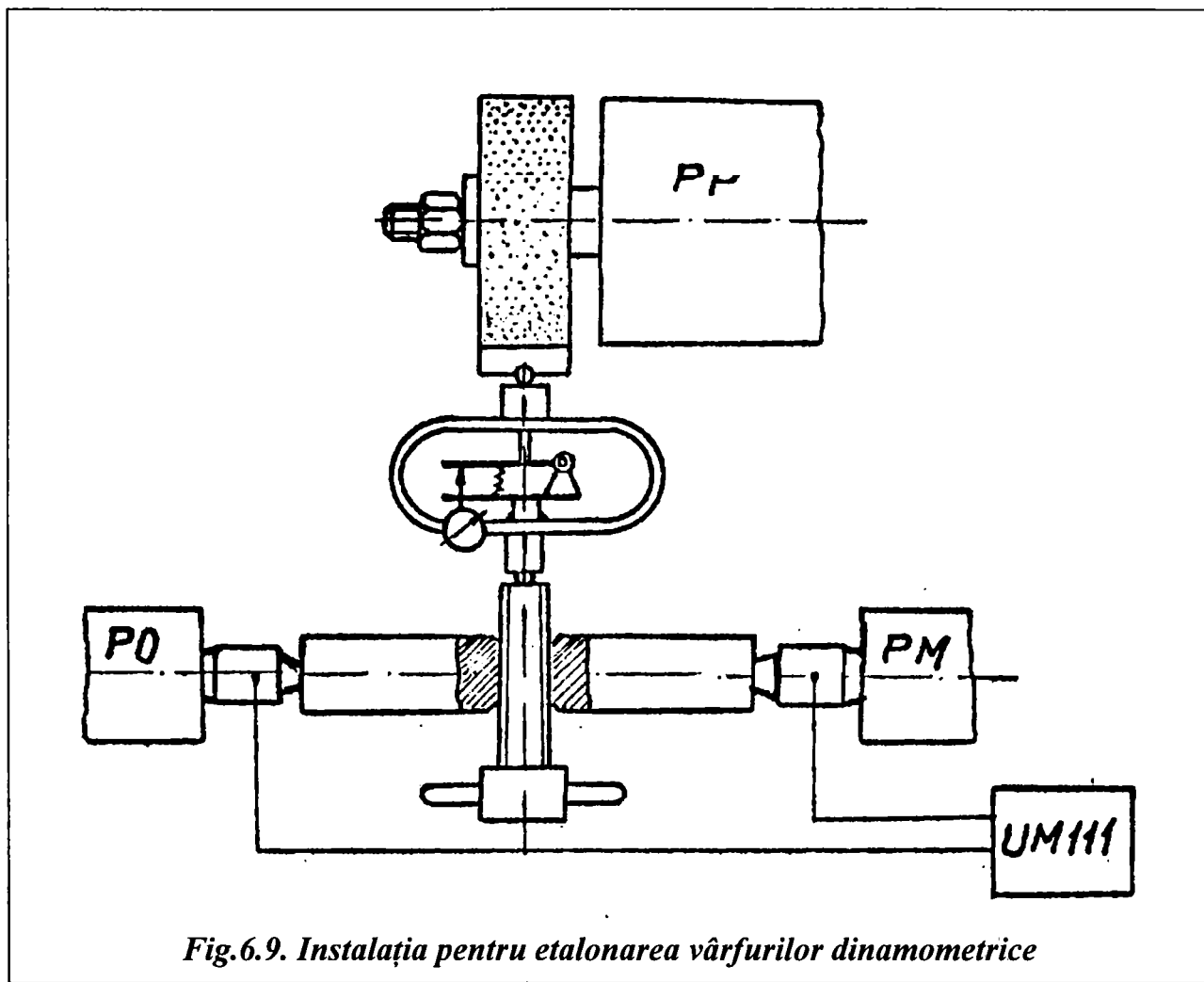


Fig.6.9. Instalația pentru etalonarea vârfurilor dinamometrice

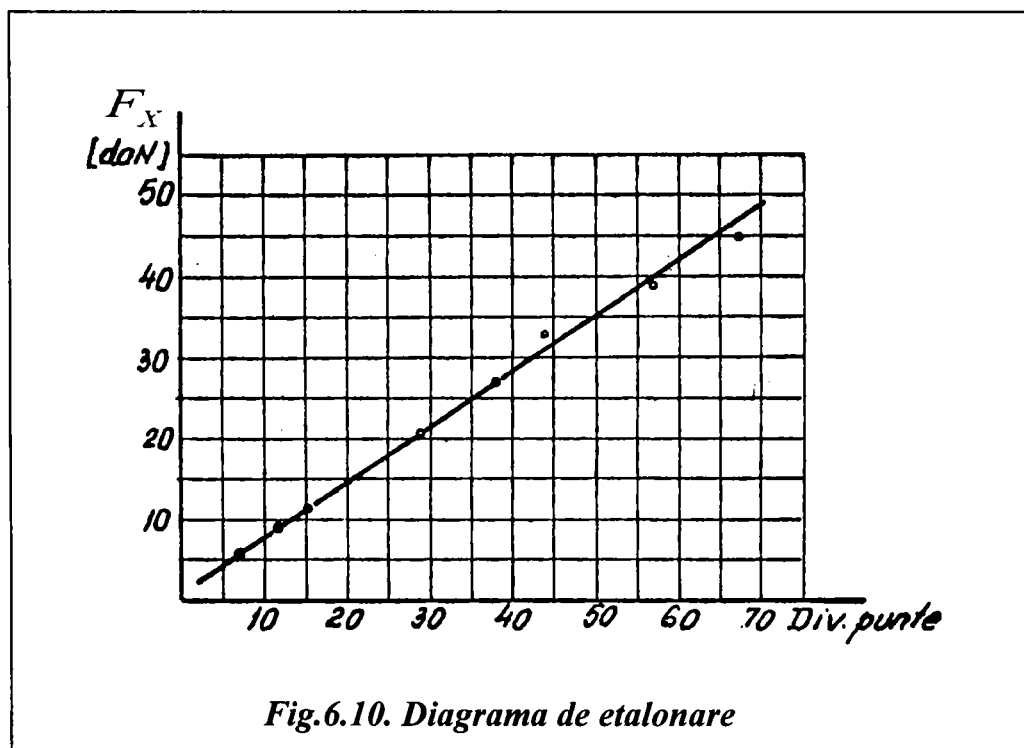


Fig.6.10. Diagrama de etalonare

Încărcarea cu forțe s-a făcut până la 50 daN, iar curba de etalonare pentru cele două componente este aceeași (fig.6.10). Puntea tensiometrică folosită a fost de tipul R-F-T-UM111.

În figura 6.11,a și b se prezintă variațiile componentelor  $F_y$  și  $F_x$  în timpul procesului de aşchiere, înregistrate cu oscilograful cu bucle tip 12 LS-1.

Influența parametrilor regimului de rectificare asupra componentei  $F_y$ , teoretic (calculată cu formula (3.26)) reprezentată în figuri cu linie întreruptă asupra componentelor  $F_y$  și  $F_x$  rezultate experimental este redată în diagramele din figura 6.12,a,b,c,d,e,f și g.

Din analiza diagramelor rezultă următoarele concluzii:

- Valorile componentelor  $F_y$  și  $F_x$  determinate experimental sunt mai mici decât valorile calculate cu ajutorul formulei (3.26). Această neconcordanță se datorează deformației sistemului tehnologic elastic. Fenomenul este mai accentuat în fazele de pătrundere a pietrei. Rezultă și de aici că la stabilirea parametrilor de aşchiere la rectificare ar trebui să se țină seama de rigiditatea STE pe care se execută prelucrarea. Aceasta este o sursă pentru creșterea capacității productive a mașinii;
- Valorile reale ale componentelor  $F_y$  și  $F_x$  sunt influențate în mai mare măsură de viteza de deplasare a mesei  $v_m$  (fig.6.12, a, b, c, d, e) și mai puțin de turația  $n_p$  a piesei (fig. 6.12, g). Practic din această interdependență rezultă că obținerea unor anumite valori ale celor două componente poate fi realizată prin modificarea corespunzătoare a vitezei mesei  $v_m$ ;
- La prelucrările de pătrundere componentele forței  $F_y$  și  $F_x$  depind de valorile avansului transversal (fig.6.12,f), aspect, de altfel, în principiu, cunoscut;
- În perioada de durabilitate a pietrei s-a constatat că raportul  $F_x/F_y$  a variat având valori cuprinse între 1,2 - 3;
- Din măsurarea forțelor s-a constatat variația lor chiar în timpul unei treceri, motiv pentru care și deformațiile elastice variază după aceeași lege. Pentru a se obține o precizie mare dimensională și de formă ar fi necesar ca deformația  $y_{STE}$  a sistemului tehnologic elastic să rămână constantă, adică:

$$y_{STE} = \frac{F_x}{R_{STE}} = ct.$$

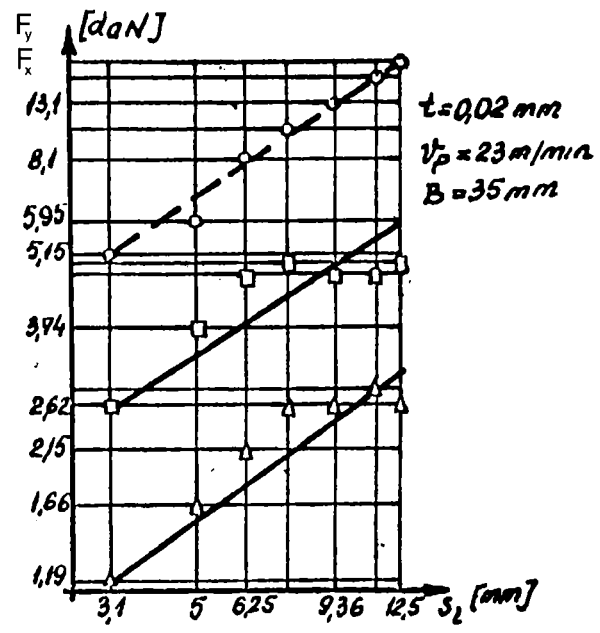
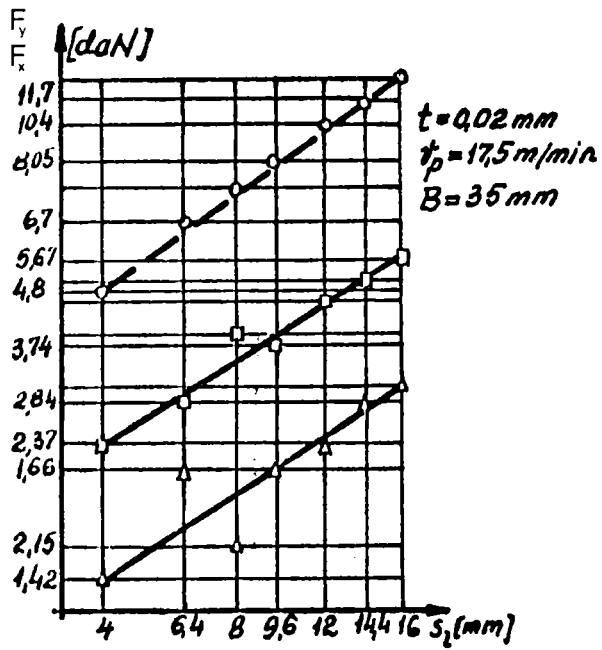
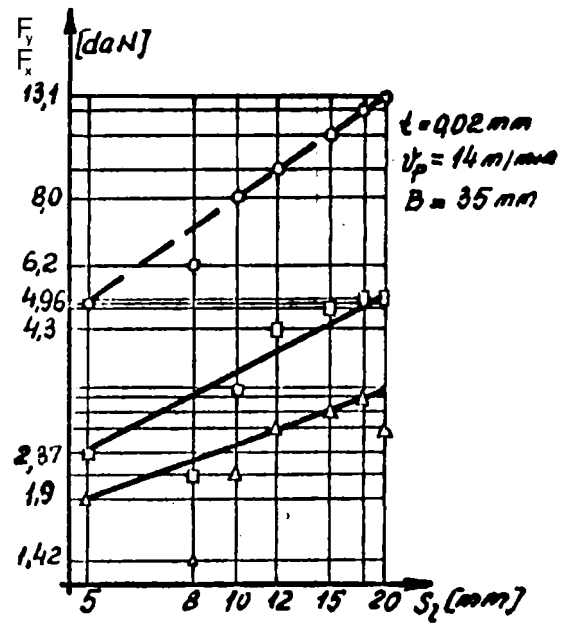
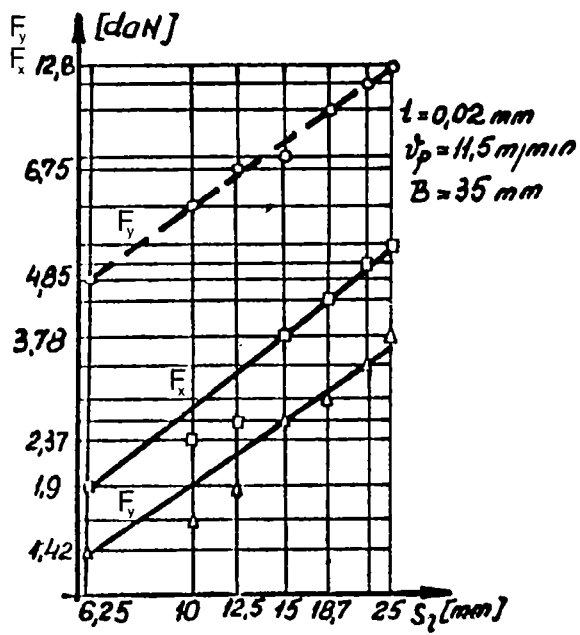


Fig.6.12. Influența parametrilor de așchiere asupra componentelor  $F_z$  și  $F_x$

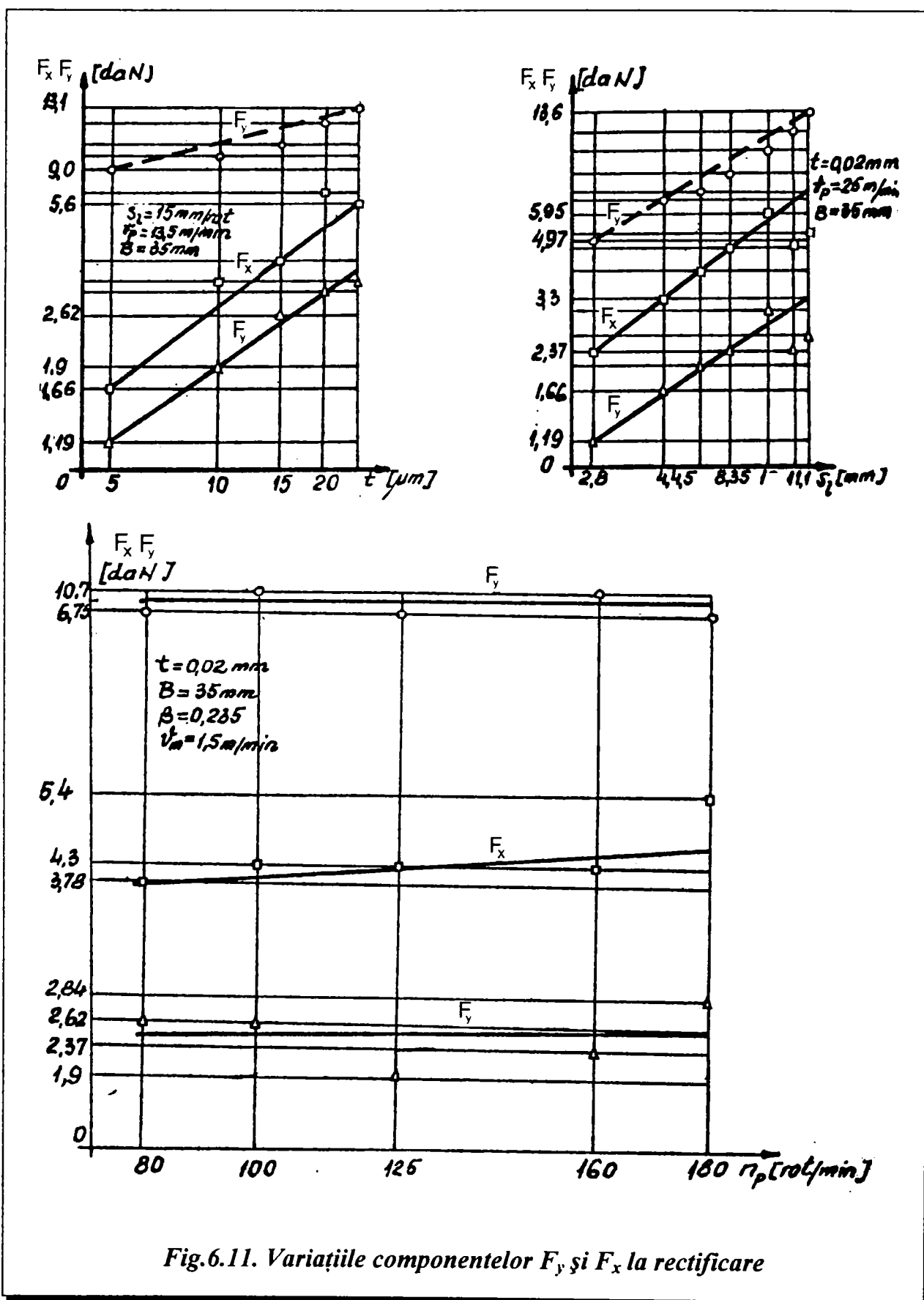


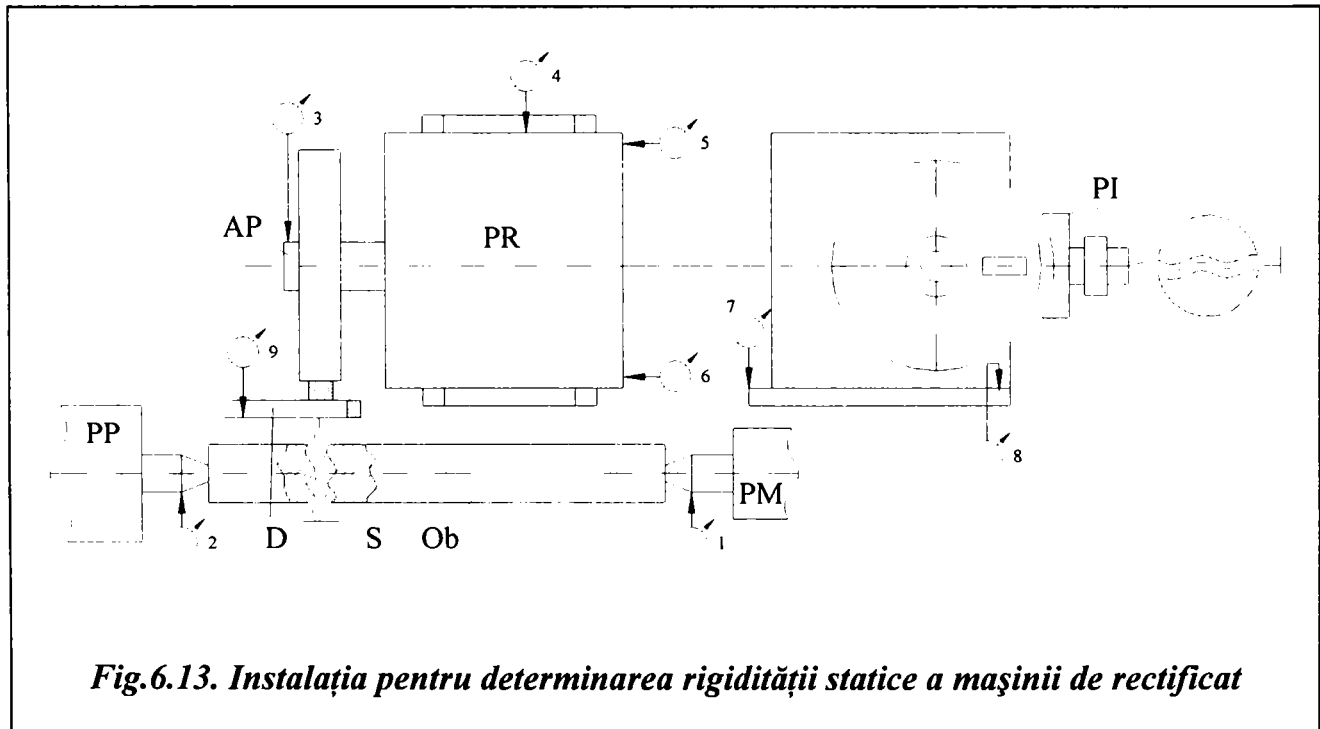
Fig.6.11. Variațiile componentelor  $F_y$  și  $F_x$  la rectificare

#### 6.4. DETERMINAREA RIGIDITĂȚILOR SUBANSAMBLURILOR MAȘINII DE RECTIFICAT RE 350CA

Utilizând instalația din figura 6.13 au fost determinate rigiditățile statice ale următoarelor subansambluri: arbore port piatră -  $j_{AP}$ , păpușa portpiesă -  $j_{pp}$ ; păpușa mobilă -  $j_{pm}$  și șurubul conducător al saniei transversale -  $j_{sc}$ .

La determinare s-a folosit obiectul Ob de rigiditate mare (cu deformații practic nule), prevăzut la mijloc cu șurubul S pentru crearea forțelor de încărcare. Dinamometrul D, de mare sensibilitate (în formă de U) folosit la măsurarea forțelor de încărcare, a fost prins între șurubul S și piesa intermediară PI. Piesa PI are raza de curbură identică cu a pietrei de rectificat. Cu ajutorul celor 8 comparatoare (valoarea diviziunii  $1 \mu\text{m}$ ) s-au măsurat deformațiile subansamblelor după cum urmează: păpușii mobile (comparator 1), păpușii portpiesă (comparator 2), arborelui portpiatră AP (comparator 3), păpușii pietrei ca urmare a deformației mecanismului șurub - piuliță (comparatoare 5 și 6) și rotirile păpușii pietrei în plan vertical (comparatoarele 7 și 8).

Încărcarea mașinii s-a făcut pe direcție radială  $F_x$ , progresiv, la fiecare valoare a forței notându-se valorile deformațiilor indicate de comparatoare. Forța maximă de încărcare a fost de 450 N, valoare care este mai mare decât forța echivalentă  $F_e$  rezultată într-un regim de degroșare.



În timpul încercărilor s-a constatat că deformația după direcția avansului transversal a păpușii pietrei, cât și rotirile acesteia în cele două plane sunt, practic, nule. Ca urmare a acestui fapt relația (3.24) va avea forma

Tabelul 6.1.

Nr. crt.	$F_x$ [N]	Deformația [ $\mu\text{m}$ ]				Rigiditatea [ $\text{N}/\mu$ ]				Obs
		$y_{AP}$	$y_{PP}$	$y_{PM}$	$y_{SC}$	$J_{AP}$	$J_{PP}$	$J_{PM}$	$J_{SC}$	
1	30	1,4	1,5	5,7	1,7	21,54	20,17	5,25	17,23	
2	46	1,9	2,7	9	2,5	24,28	16,88	5,07	18,16	
3	130	7,2	7,2	18,5	6,4	18,15	18,15	7,05	20,23	
4	170	7,6	8,9	25,3	10,3	22,43	19,27	6,71	16,53	
5	180	9,3	11	30,4	10	19,37	16,28	5,93	17,91	
6	210	8,5	11,9	26	11,4	24,68	17,65	8,07	18,45	
7	230	12,3	12,4	25,3	12,8	18,51	18,51	9,09	17,93	
8	250	13,1	12,6	24,3	15,5	19,07	19,75	10,28	16,15	
9	270	11,3	14,8	41,3	14,5	23,91	18,20	6,53	18,65	
10	280	11,3	17,1	34,4	14,5	24,82	16,37	8,14	19,24	
11	290	12,7	18,3	40,2	13,1	22,73	15,81	7,29	22,17	
12	300	13,8	17,3	31,6	14	21,65	17,32	9,47	21,38	
13	320	15	17	44,7	18	21,27	18,82	7,16	17,82	
14	340	17,6	17,2	41,1	20,3	19,26	19,76	8,27	16,74	
15	350	19,2	18,2	65,5	17,1	18,19	19,21	5,34	20,41	
16	400	17,1	19,9	64,6	20,6	23,28	20,11	6,19	19,37	
17	430	19,4	22,2	72,1	24,1	22,15	19,37	5,86	17,78	
18	450	18,2	22,8	64,1	27	24,71	19,73	7,02	16,64	
Valorile medii ale rigidităților:						21,67	18,4	7,15	18,48	

$$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{J_{pp}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{F_e}{j_{pm}} + \frac{F_e \cdot x^2 (L-x)^2}{3EJL} \quad (6.14)$$

$$- F_e \left[ \frac{c^2}{3E} \left( \frac{\ell}{J_c} + \frac{\ell}{J_e} \right) + \left( \ell + \frac{c}{\ell} \right)^2 \frac{\ell}{J_{LA}} + \left( \frac{c}{\ell} \right)^2 \frac{\ell}{J_{LP}} \right] - k_1 \cdot F_e.$$

Conform tabelului 6.1, valorile medii ale rigidităților subansamblurilor sunt următoarele:  $j_{AP} = 21,67 \text{ N}/\mu\text{m}$ ;  $j_{pp} = 18,4 \text{ N}/\mu\text{m}$ ;  $j_{PM} = 7,15 \text{ N}/\mu\text{m}$  și  $j_{SC} = 18,48 \text{ N}/\mu\text{m}$ .

### 6.5. RUGOZITATEA SUPRAFEȚEI ȘI TEMPERATURA ÎN ZONA DE CONTACT DINTRE PIATRĂ ȘI PIESĂ

Rugozitatea reprezintă unul dintre indicii de bază ai procesului de rectificare. Ea poate fi caracterizată de mărimea  $R_a$  în absența modificărilor structurale ale stratului de material rezultat în urma rectificării.

Pentru evitarea modificărilor structurale, se impune ca temperaturile din proces să fie mai mici decât temperaturile de revenire ale materialului supus rectificării. Deci problema care se pune este de determinare a temperaturii în zona de contact piatră-semifabricat. În literatura de specialitate [53], [54], [91], [104] sunt prezentate relații de calcul ale temperaturii la rectificare. Relațiile deduse în capitolul 3.1.5.1, din prezenta teză permit de asemenea calculul temperaturilor la piatră și, respectiv, la semifabricat.

În general, temperaturile maxime de contact depind de viteza piesei și adâncimea de pătrundere. Rezultă prin urmare că pentru anumite condiții date (material semifabricat și o sculă abrazivă) să se stabilească valorile  $v_p$  și  $t$  care să asigure simultan rugozitatea impusă fără depășirea temperaturii admise.

Rugozitatea poate fi determinată cu relația cunoscută

$$R_a = 25,7 \cdot v_p^{0,6} \cdot s_\ell^{0,85} \cdot t^{0,75} \quad [\mu\text{m}] \quad (6.15)$$

Pentru cazul rectificării cilindrice exterioare cu disc  $\Phi 500 \times 80$  din En 40 K6C a unui arbore  $\Phi 60 \times 300$  din OLC45, călit și revenit și pentru  $s_\ell = 16 \text{ mm/rot}$ . piesă, relația (6.15) devine:



$$R_a = 6,54 v_p^{0,6} \cdot t^{0,75} \quad [\mu\text{m}] \quad (6.16)$$

în care  $v_p$  - [m/min] și  $t$  - [mm].

Cu ajutorul acestei relații se construiește familia de curbe  $R_a(v_p, t) = \text{const.}$

$$\text{Din } H = \frac{v_p \cdot h}{2a} \text{ și } 2h = \sqrt{\frac{D_s \cdot D_p \cdot t}{D_s + D_p}}, \text{ rezultă}$$

$$H = 11,57 v_p t^{0,5} \quad (6.17)$$

în care  $v_p$  - [cm/s] și  $t$  - [cm].

Din relația de mai jos preluată din [104]:

$$T_{\max} - T_0 = 357,6 v_p^{0,284} \cdot t^{0,392} \quad (6.18)$$

și admitând  $T_{\max} = 200^\circ\text{C} < 550 \dots 650^\circ\text{C}$ , temperatura de revenire a materialului OLC 45 și  $T_0 = 20^\circ\text{C}$  rezultă:

$$v_p = \frac{0,089}{t^{1,38}} \quad (6.19)$$

Cu ajutorul relațiilor (6.16) și (6.18) s-au construit diagramele din figura 6.14.

În concluzie, pe baza diagramelor, se poate stabili regimul de rectificare în care să nu se depășească temperatura maximă admisă în zona de contact dintre semifabricat și piatră.

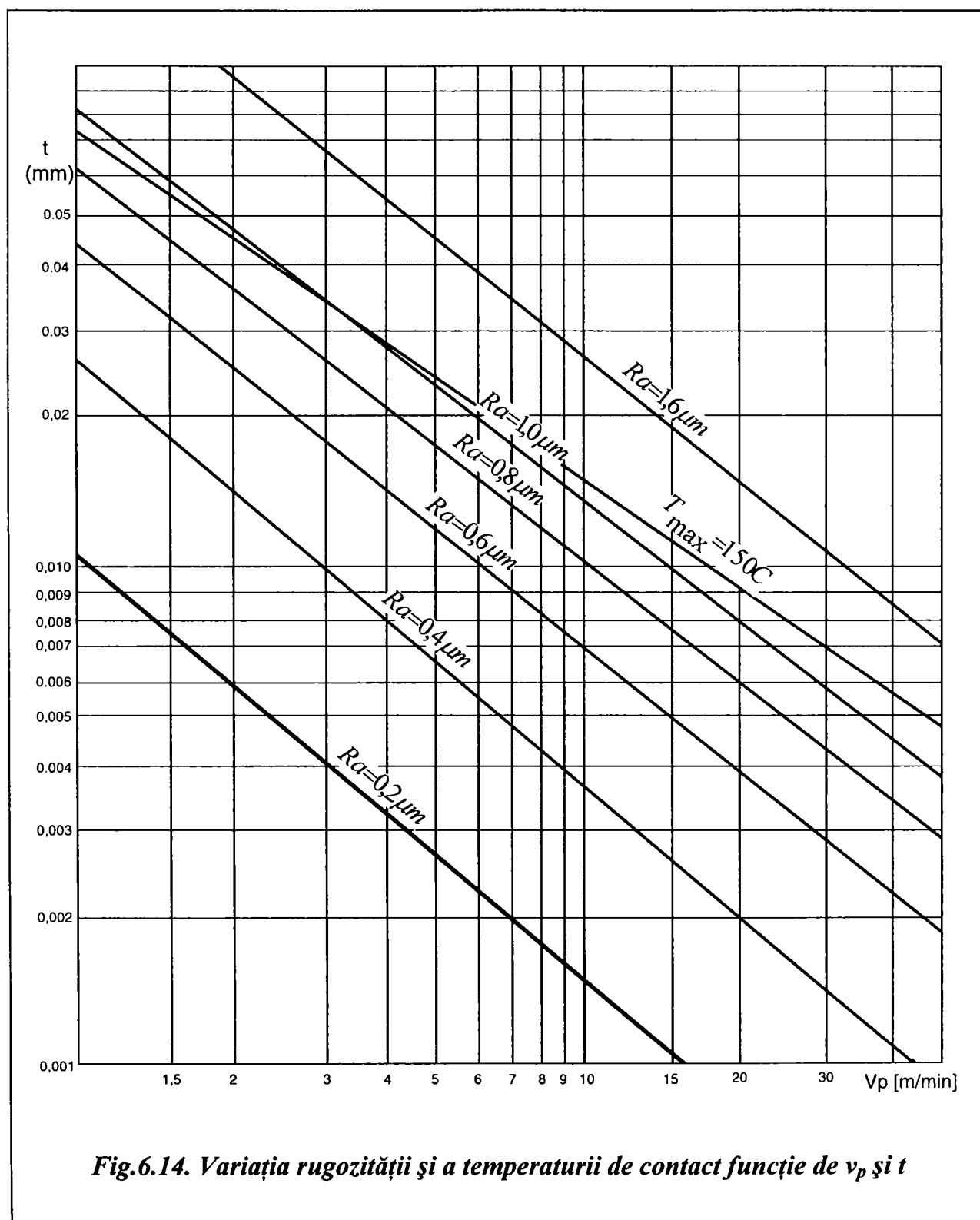


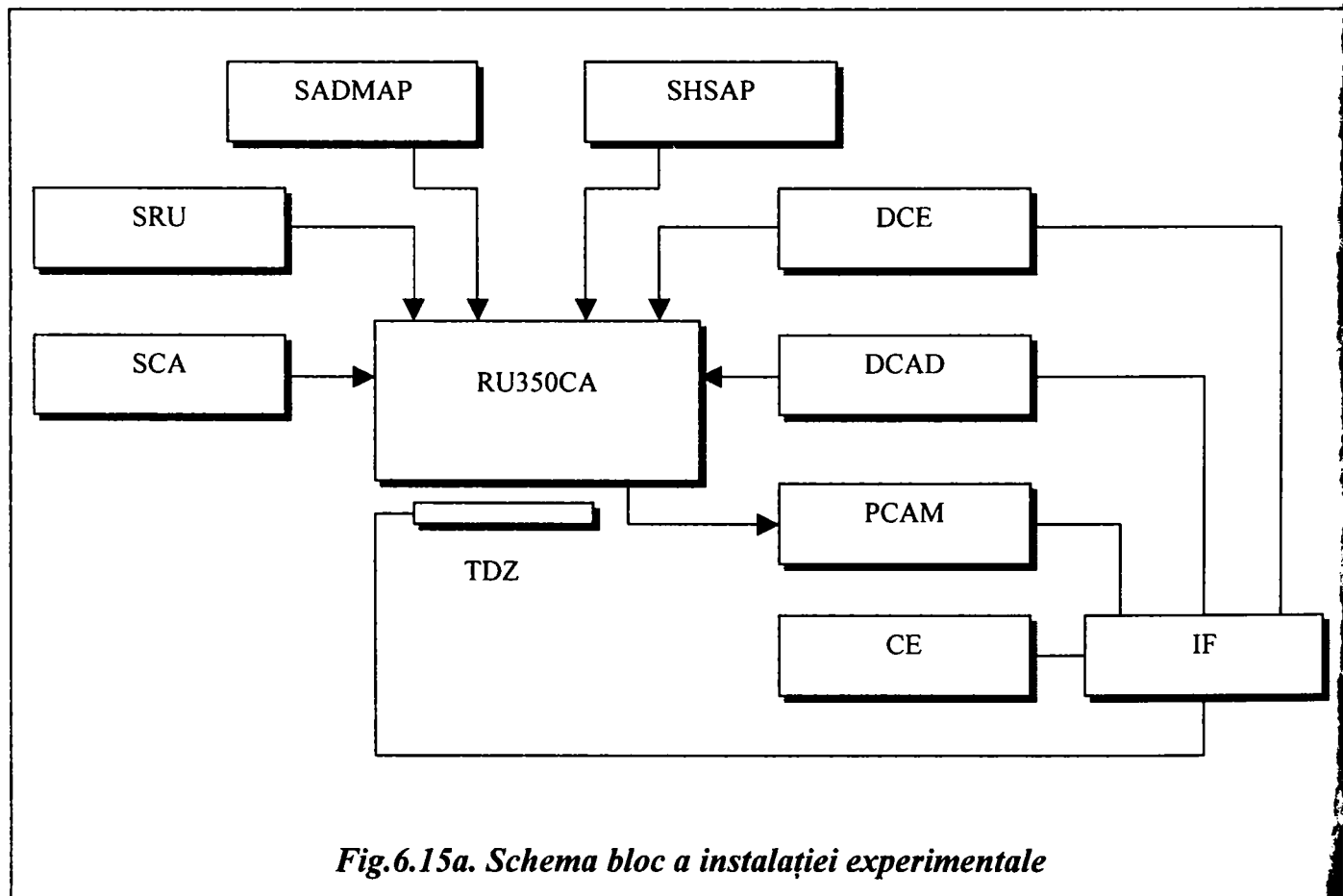
Fig.6.14. Variația rugozității și a temperaturii de contact funcție de  $v_p$  și  $t$

## 6.6. PREZENTAREA STANDULUI

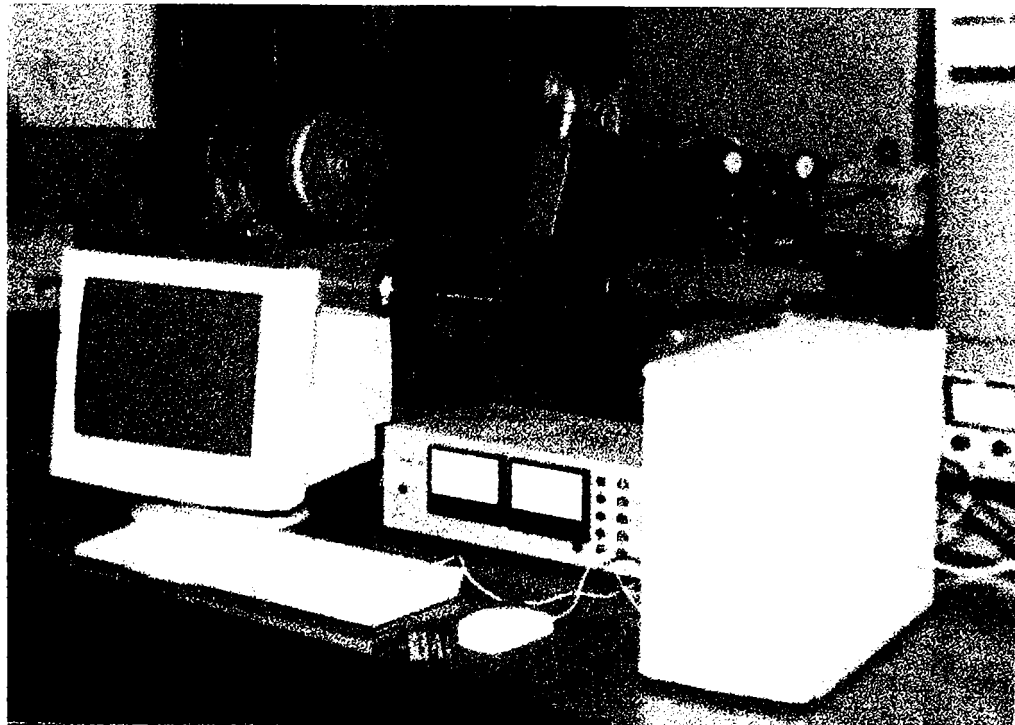
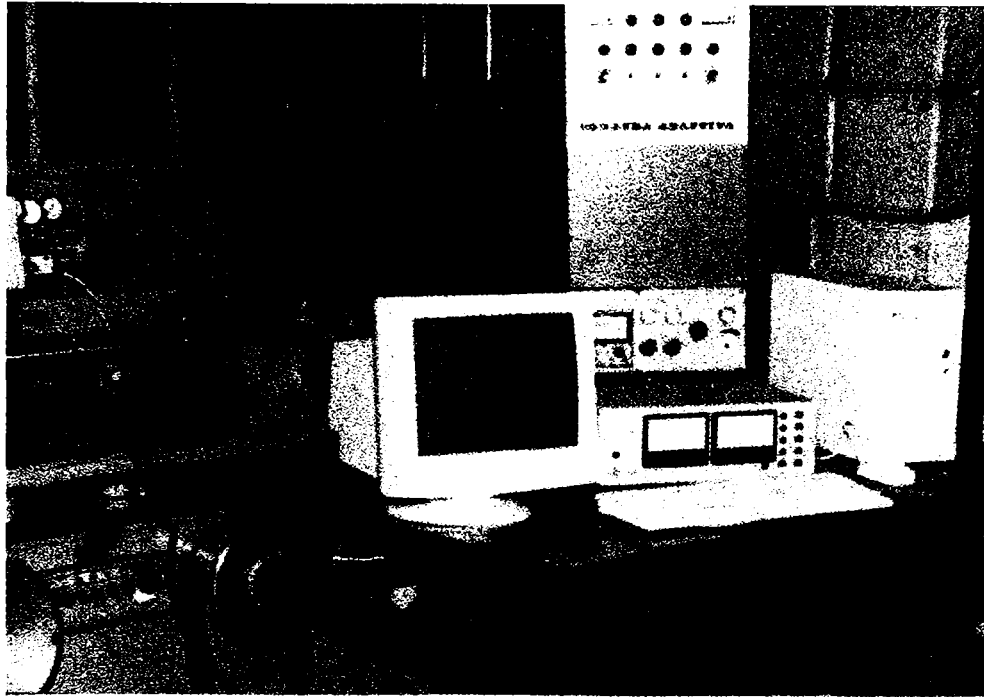
Schema bloc a instalației experimentale este prezentată în figura 6.15,a, iar fotografia ei în figura 6.15,b.

În schemă au fost utilizate următoarele notații:

- RE350CA - mașină de rectificat rotund exterior tip RE350 cu comandă adaptivă;
- PCAM - panoul comenzii adaptive și manuale;
- DCAD - dulapul comenzii adaptive;
- DCE - dulapul comenzilor electrice;
- SHSAP - sistemul hidrostatic de susținere a arborelui principal;
- SAD MAP - sistemul automat de deplasare micrometrică a arborelui principal;
- SRU - sistemul de răcire - ungere;
- SCA - sistemul de control - activ;
- TDZ - traductorul de deplasare pe axa Z



*Fig.6.15a. Schema bloc a instalației experimentale*



*Fig.6.15b. Instalatia experimentală-foto.*

### 6.6.1. Mașina de rectificat RE350CA

Pe aceste mașini se pot rectifica suprafețe cilindrice și conice cu avans longitudinal și transversal cu prinderea între vârfuri sau în mandrina cu trei bacuri. Ciclurile de lucru după care pot funcționa aceste mașini sunt prezentate în figura 3.1.

Principalele lor caracteristici tehnice sunt prezentate mai jos:

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| a) Piatra de rectificare:  |                            |
| - Diametrul exterior   | 400 ... 500 mm             |
| - Lățimea normală a pietrei simple   | 80 mm                      |
| - Turația pietrei de rectificare<br>(corespunzătoare diametrelor de piatră)                                | 1535 rot/min; 1230 rot/min |
| b) Piesa de rectificat   |                            |
| - Diametrul maxim  | 350 mm                     |
| - Lungimea maximă a pietrei<br>(lungimea de rectificare)   | 80 - 1000 mm               |
| - Turația piesei continuă  | 28 - 350 rot/min           |
| c) Masa  |                            |
| - Rotirea masei la diferite distanțe<br>între vârfuri  | $7^\circ$<br>1000          |
| - Viteza masei reglabilă fără trepte   | 0,05 ... 6 m/min           |
| - Cursa minimă la mișcarea hidraulică<br>a mesei   | 2 mm                       |
| c) Sania pietrei de rectificare  |                            |
| - Cursa rapidă a saniei  | 50 mm                      |
| - Cursa maximă a avansului<br>transversal-mecanic (raportat la<br>diametrul piesei)                        | 2 mm                       |
| - Valoarea unei gradații pe tamburul<br>gradat al avansului transversal<br>(raportat la diametru)          | 0,01 mm                    |
| - Valoarea avansului transversal<br>în cazul acționării prin rotirea cu<br>un dinte (raportat la diametru) | 0,005 mm                   |
| d) Motoare   |                            |
| - Pentru antrenarea discului de<br>rectificare   | 5,5 kW                     |
| - Pentru antrenarea piesei   | 1,1 kW                     |
| - Pentru antrenarea pompei de ulei   | 1,5 kW                     |
| - Pentru antrenarea pompei de răcire   | 0,15 kW                    |

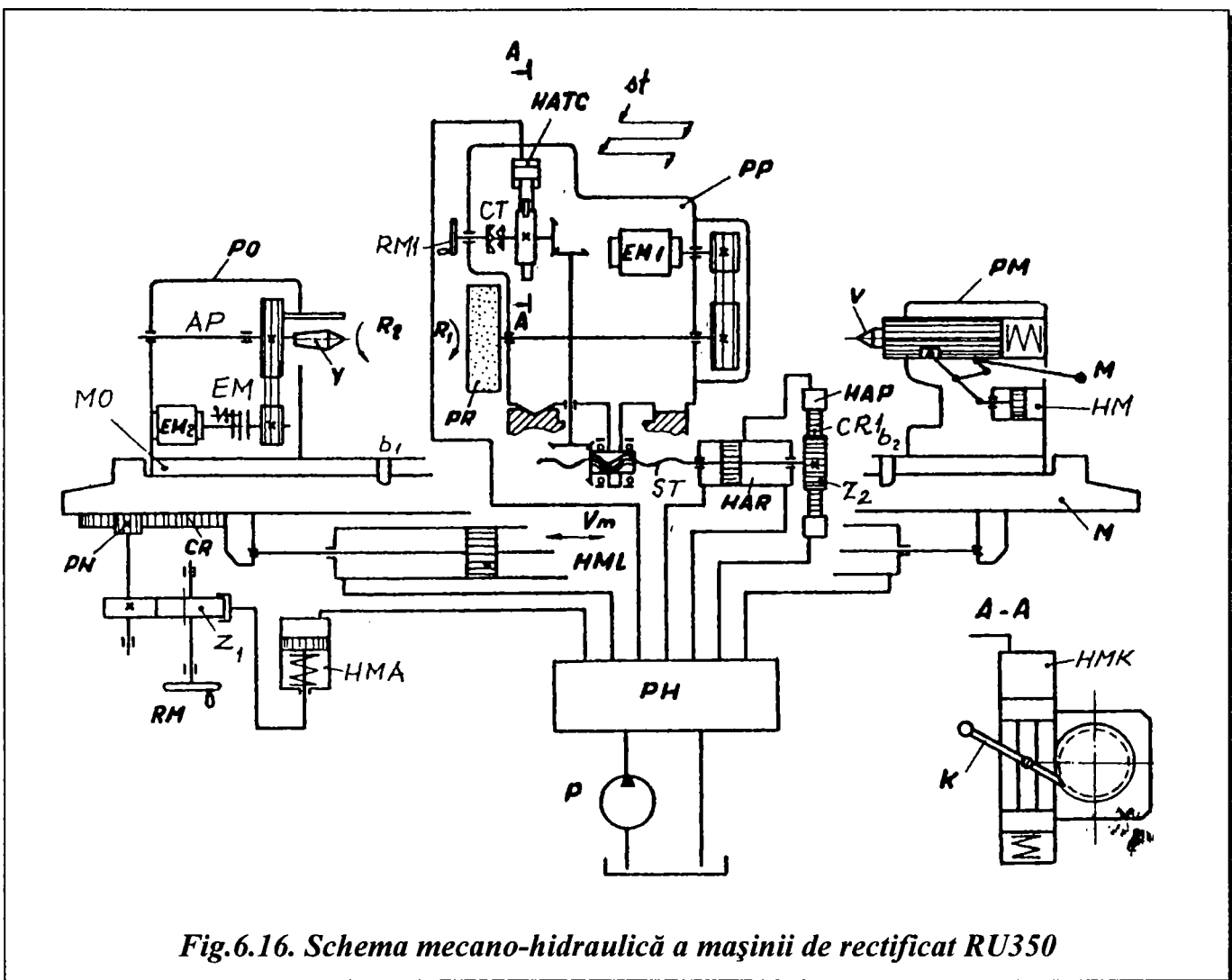


Fig.6.16. Schema mecano-hidraulică a mașinii de rectificat RU350

Schema mecano-hidraulică a mașinii de rectificat RU350 este prezentată în figura 6.16.

Mișcările cu ajutorul cărora se realizează ciclurile de lucru precizate sunt următoarele:

- $R_1$  - mișcarea de rotație a pietrei, principală de așchiere;
- $R_2$  - mișcarea de rotație a piesei pentru realizarea avansului circular;
- $V_m$  - mișcarea mesei pentru realizarea avansului longitudinal;
- $s_t$  - mișcarea pentru realizarea avansului transversal a păpușii pietrei.

În vederea conducerii adaptive s-au impus următoarele modificări:

- înlocuirea acționării în trepte a păpușii portpiesă cu o acționare continuă înzestrată cu un motor de curent continuu alimentat de la un variator de turație;
- înlocuirea lagărelor de rostogolire de la arborele principal cu lagăre cu sustentație hidrostatică;
- adaptarea unor servomecanisme electrice pentru reglarea vitezei mesei și a vitezei mișcării transversale a păpușii portpiatră;

- echiparea cu traductor reostatic pentru măsurarea poziției pietrei față de vârful păpușii portpiesă admis ca origine în lungul coordonatei z;
- înzestrarea mașinii pe lângă comanda manuală cu comanda adaptivă analogică respectiv digitală cu calculator.

### 6.6.2. Parametrii pietrei abrazive

Mașina de rectificat este echipată cu o piatră abrazivă cu granule din electrocorindon capabilă să execute rectificări exterioare pentru o gamă largă de materiale. Dimensiunile pietrei cu care s-au făcut încercările sunt:

- diametrul exterior: 500 mm;
- lățimea pietrei: 80 mm;

Piatra a fost antrenată la turație constantă  $n = 1275$  rot/min, asigurându-se o viteză periferică  $v = 30,11$  m/s.

Celelalte caracteristici ale pietrei abrazive sunt prezentate în tabelul 6.2.

*Tabelul 6.2.*

<i>Materialul de prelucrat</i>	<i>Material abraziv</i>	<i>Granulație</i>	<i>Duritate</i>	<i>Liant</i>
Oțel de construcții necălit, cu conținut mic și mijlociu de carbon	E	50-40	L - N	C

Pentru corectarea pietrei s-a utilizat un dispozitiv de corecție cu vârf de diamant fixat pe masa mașinii și care este în dotarea acesteia.

### 6.2.3. Sistemul de răcire - ungere

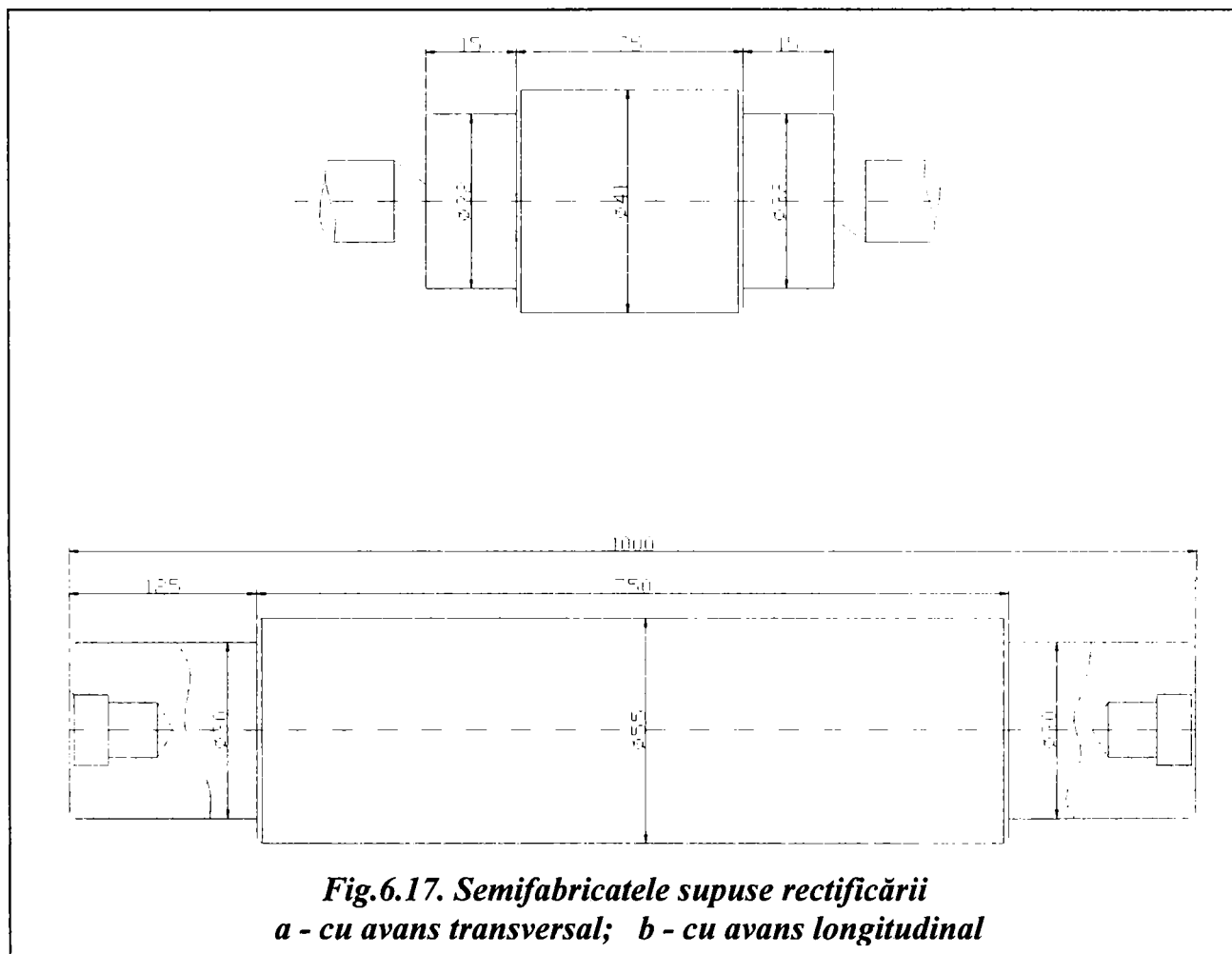
Sistemul de răcire - ungere cu care este dotată mașina este în circuit deschis, pompa fiind antrenată de către un motor electric cu puterea de 0,15 kW. La capătul circuitului există o piesă pentru orientarea jetului, iar debitul necesar răcirii se reglează cu ajutorul unui drosel.

Lichidul de răcire - ungere folosit a avut următoarea compoziție:

- săpun 0,5 ... 1 %
- sodă calcinată 0,5 ... 0,75 %
- azotit de sodiu 0,25 %
- apă 98 ... 98,75 %,

și care se utilizează frecvent pe mașini de rectificat.

#### 6.2.4. Semifabricatul supus rectificării



**Fig.6.17. Semifabricatele supuse rectificării**  
*a - cu avans transversal; b - cu avans longitudinal*

Forma și dimensiunile semifabricatelor sunt prezentate în figura 6.17.

S-a ales o piesă de formă arătată pentru a se asigura ieșirea pietrei la capete de curse longitudinale. Ea este prevăzută cu găuri de centrare și poate fi antrenată în mișcare de rotație printr-un antrenor montat în păpușa portpiesă.

Semifabricatele au fost confecționate din OLC45, călit și revenit, duritatea fiind cuprinsă între 40-42HRC.

#### 6.2.5. Asigurarea condițiilor pentru desfășurarea rectificării

Instalarea condițiilor necesare pentru rectificarea optimă a suprafețelor s-a realizat prin intermediul elementelor de comandă și reglare cu care este înzestrat standul.

Viteza periferică a pietrei la valoarea de cca 30 m/s s-a realizat prin alegerea corespunzătoare a diametrelor roților de curea de transmitere a mișcării de la motorul principal la arborele portpiatră.



Instalarea parametrilor regimurilor de rectificare în fazele de degroșare și finisare s-a făcut prin intermediul elementelor de comandă și reglare ale mașinii și care parțial au fost prezentate anterior.

Durata fazei de destindere a fost reglată cu ajutorul elementului de reglare existent pe panoul de comandă al mașinii.

Debitul lichidului de răcire s-a reglat cu droselul aparținând sistemului de răcire.

Trecerea de la o fază la alta a procesului de rectificare s-a făcut prin comenzile declanșate de către sistemul de control activ tip CAS C-2E care a fost conectat în sistemul de comandă al mașinii.

Regimul optim de rectificare calculat după metodologia elaborată în capitolul 3.2. este următorul:  $v_{PR} = 30$  m/s;  $v_m = 18$  m/min;  $s_t = 20$  mm/rot;  $n_p = 500$  rot/min;  $s_t = 20$   $\mu$ m/cursă.

Eroarea de formă a piesei  $\delta_{r_{fpp}}$  după rectificare va avea valoarea  $\delta_{r_{fpp}} = 10 + T_d/4$ , în care  $T_d = 19$   $\mu$ m pentru piesa aleasă -  $\phi 53_{0,011}^{0,030}$ .

Eroarea dinamică  $\varepsilon_{STE}$  a sistemului tehnologic elastic pentru cazul considerat este de 7,5  $\mu$ m, în conformitate cu subcapitolul 3.2. În vederea obținerii dimensiunii finale a rezultat  $i_{destindere} = 5$  treceri.

După realizarea standului conform figurii 6.15 au fost făcute următoarele operații:

- aducerea mașinii la regimul termic stabil de funcționare;
- reglarea paralelismului dintre axa vârfulor păpușilor și axa arborelui pietrei de rectificat;
- reascuțirea pietrei abrazive;
- instalarea parametrilor de lucru necesari rectificării pentru cele 3 faze;
- reglarea palpatoarelor dispozitivului de control activ;
- verificarea ciclului comenzilor transmise de către sistemul de control activ către mașina-unealtă;
- reglarea duratei fazei de destindere (scânteiere);
- verificarea funcționării sistemului de răcire - ungere;
- verificarea funcționării întregului stand prin rectificarea primei piese.

## 6.7. PRECIZIA DIMENSIONALĂ ȘI DE FORMĂ A PIESELOR RECTIFICATE

În vederea aprecierii globale a preciziei dimensionale și de formă au fost rectificate piese, după cum urmează:

- cu avans transversal fără control activ, tabelul 6.1,a;
- cu avans transversal și control activ, tabelul 6.1,b;

- cu avans longitudinal cu  $F_x$  reglat constant, fără control activ, tabelul 6.2,a;
- cu avans longitudinal, cu  $F_x$  reglat constant, cu sistem de control activ, tabelul 6.2,b;
- cu avans longitudinal, cu  $F_x$  variabil ( $y_{STE}$  constant) cu comandă adaptivă și control activ, tabelul 6.2,c.

Rezultatele experimentale obținute au fost prelucrate cu ajutorul programului STATGRAPHICS.

În cazul rectificării cu avans transversal fără control activ (fig.6.18,a) se constată o migrare înspre valoarea maximă a dimensiunilor ca urmare a uzurii pietrei abrazive.

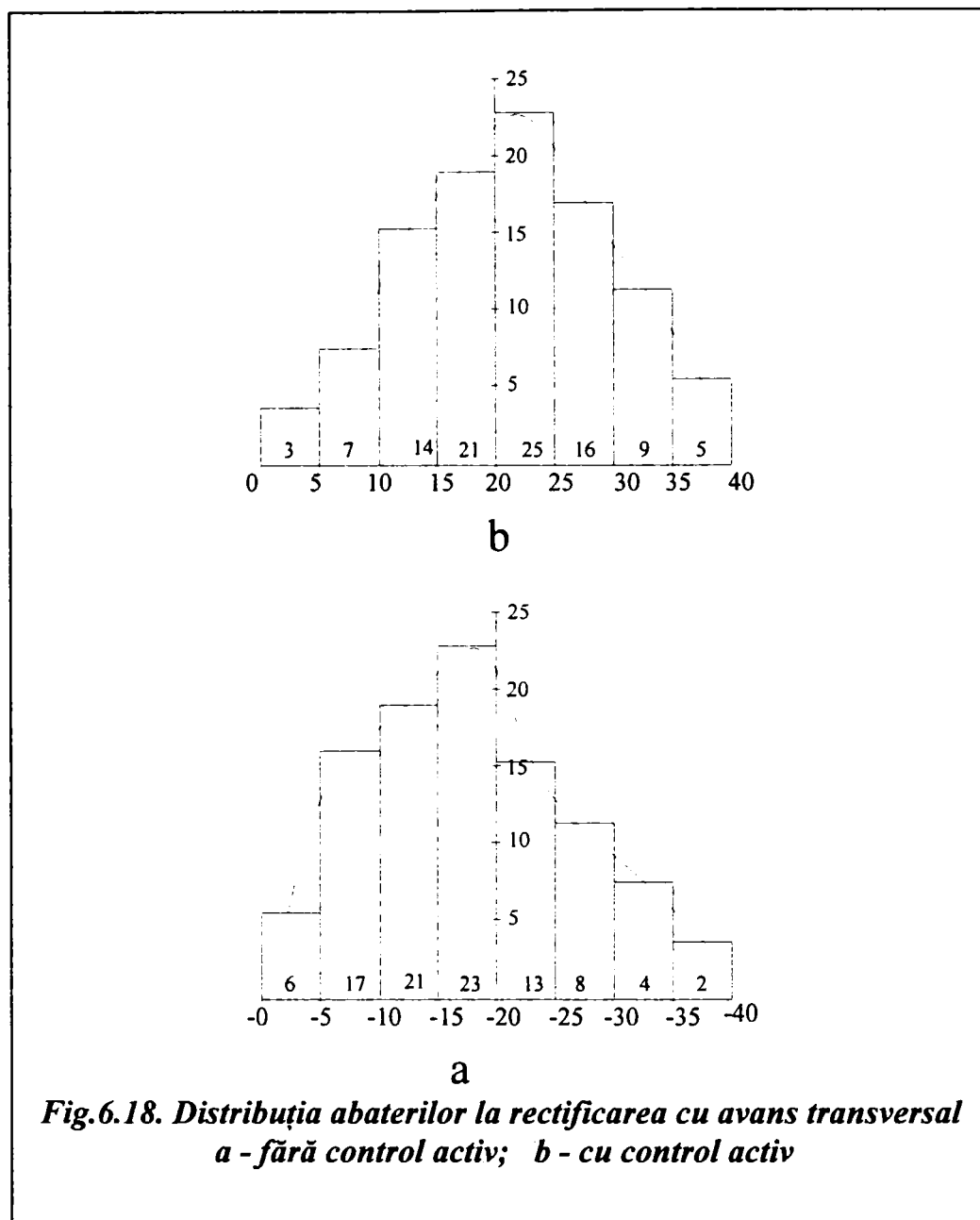
La rectificarea cu control activ curba de distribuție a abaterilor se apropie de alura curbei de distribuție normală, întrucât prin comenzile ciclului declanșate de controlul activ, se compensează toate erorile care intervin în proces.

Din cele două grafice se constată o mai mare dispersie ([5; 40] cu 6 rebuturi) a dimensiunilor în cazul rectificării fără control activ, în timp ce, în cazul rectificării cu control activ, dispersia este cuprinsă în intervalul [0; 40] eliminându-se în totalitate rebuturile.

La rectificările cu avans transversal fără control activ, asupra preciziei dimensionale influențează poziția suprafeței care se rectifică față de vârful păpușii portpiesă, precizii mai ridicate se obțin când aceasta se află în vecinătatea păpușii portpiesă și mai mici când poziția ei se îndepărtează de păpușa portpiesă. Evident că o influență mare asupra preciziei o are rigiditatea piesei prinsă între vârfuri.

În cazul rectificării cu sistem de control activ precizia dimensională se realizează indiferent de poziția suprafeței rectificate față de vârful păpușii portpiesă.

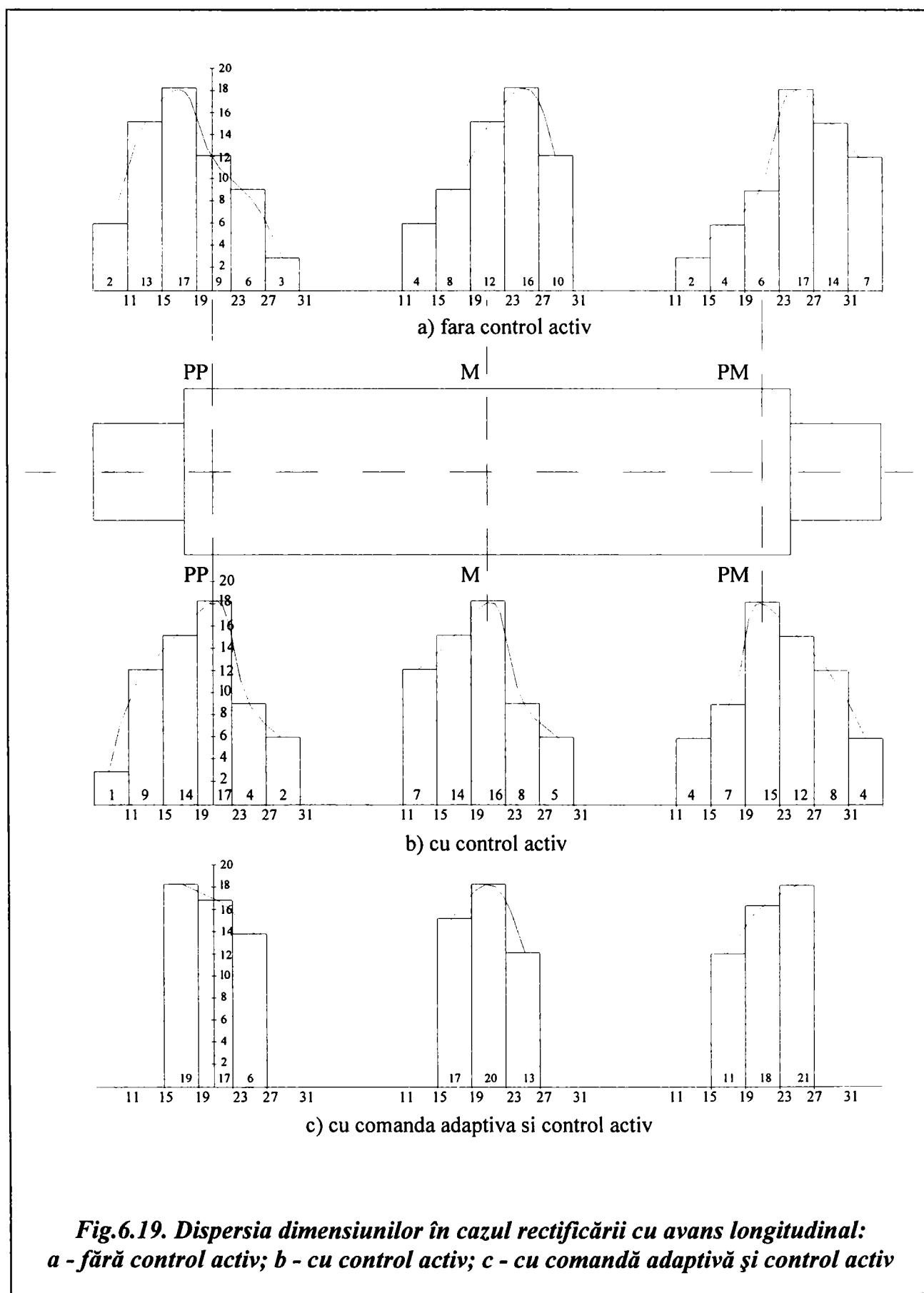
Abaterile de formă cauzate de deformațiile elastice diferite ale celor două păpuși conduc în ambele situații (fără și cu control activ) la forme de con cu diametrul maxim spre păpușa mobilă. Aceste abateri nu pot fi eliminate prin control activ întrucât acesta palpează piesa într-o anumită secțiune transversală.



Pentru evitarea rebuturilor nerecuperabile sistemul de control activ trebuie să palpeze piesa într-o secțiune cât mai apropiată de păpușa portpiesă.

În cazul rectificării cu avans longitudinal, cu și fără control activ, fără comandă adaptivă și cu comandă adaptivă s-a făcut verificarea dimensiunilor în trei secțiuni: lângă păpușa portpiesă (PP), în secțiunea MM, de mijloc a semifabricatului și în secțiunea PM lângă păpușa mobilă.

Dispersiile dimensiunilor în cele trei secțiuni la rectificarea fără control activ (fig.6.19,a) sunt diferite.



În secțiunea MM se constată a apropiere de curba de distribuție normală în timp ce în secțiunea PP se observă o migrare spre dimensiunea minimă, iar în secțiunea PM spre dimensiunea maximă, acestea confirmând pe deplin influența rigidității asupra preciziei dimensionale și de formă a pieselor rectificate.

Piese rectificate cu control activ au configurația dispunerii abaterilor (fig.6.19,b) mult mai apropiată de cea a lui Gauss, iar numărul de piese rebutate este semnificativ mai mic, circa cu 50%.

Din rezultatele măsurătorilor, la oricare dintre piese, se constată abateri ale formei acesteia. Mărimea abaterii de formă, care poate fi oricare, depinde de valorile rigidităților subansamblurilor sistemului tehnologic elastic. Ele pot fi reduse considerabil dacă se încheie ciclul de rectificare cu faza de scânteiere.

Și în cazul rectificărilor cu avans longitudinal este important a se defini poziția de montare a sistemului de control activ față de cele două vârfuri ale mașinii. În scopul evitării rebuturilor nerecuperabile se recomandă montarea sistemului de control activ în apropierea păpușii portpiesă, unde rigiditatea este mai mare și se obțin dimensiuni mai mici.

La rectificările cu comandă adaptivă și control activ respectiv cu deformație elastică constantă ( $y_{STE} = \text{constant}$ ) a sistemului tehnologic elastic, dispersiile dimensiunilor în cele trei secțiuni sunt mai mici, se polarizează către centru, rebuturile lipsesc, iar capacitatea de producție a mașinii crește.

În concluzie, se poate constata că pentru obținerea unor piese cu precizie dimensională și de formă ridicate se impune, pe de o parte cunoașterea detaliată a construcției mașinii și a posibilităților de control în câmpul bidimensional al acesteia.

Cu ajutorul diagramei din figura 6.14 și cu valorile parametrilor regimurilor de rectificare temperatura în zona de contact a variat între 140 – 160°C fără a se depăși valoarea maximă admisibilă. De altfel, verificările făcute cu pulberi magnetice au evidențiat inexistența microfisurilor în stratul superficial al pieselor rectificate.

Rugozitatea  $R_a$  a suprafeței, rezultată în urma fazei de destindere, măsurată la toate loturile de piese cu rugozimetrul tip Hommel –tester tip T a avut valori cuprinse între 3,2 – 0,4 $\mu\text{m}$ .

Valorile măsurate ale rugozității  $R_a$  în fazele de degroșare și finisare sunt apropiate de valorile calculate cu relația 6.16, ele însă sunt intermediare și cu importanță mai mică în aprecierea calității suprafeței, o dată ce procesul de rectificare nu este dus până la capăt.

**RECTIFICAREA CU AVANS TRANSVERSAL**  
*condiții de lucru*

Nr. crt.	Adaos pentru rectific. [mm/rază]	Regimul de rectificare						Mediu de răcire și debit	Reglarea sist. de control activ	Cotă semif. după strunj. [mm]	Cotă finală [mm]
		$v_p$ [m/s]	$n_p$ [rot/min]	$v_{td}$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$v_{tf}$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$v_m$ [m/min]	$t_{dest}$ [s]				
	0,5	30,11	130	2600	1300	2	7	- Săpun (0,5...1)% - Sodă calcinată (0,5...0,75)% - Azotit de sodiu 0,25% - Apă 98...98,75%	1. Comandă pentru trecerea de la fază de degroșare după îndepărtarea a 400 $\mu\text{m}/\text{rază}$ la faza de finisare. 2. Comandă pentru trecerea la faza de destindere după îndepărtarea a încă 100 $\mu\text{m}/\text{rază}$ 3. Reglarea duratei de destindere la valoarea de cca 4 s	$\phi 41$	$\phi 40_{-39}^0$

**RECTIFICĂRI CU AVANS TRANSVERSAL**  
*fără control activ*

Nr.crt probă	Cotă finală [mm]	Abateri [μm]	Nr.crt probă	Cotă finală [mm]	Abateri [μm]	Nr.crt probă	Cotă finală [mm]	Abateri [μm]
1.	39,985	-15	37.	39,979	-21	73.	39,992	-8
2.	40,002	+2	38.	39,989	-11	74.	39,982	-18
3.	39,975	-25	39.	39,998	-2	75.	40	-0
4.	39,988	-12	40.	39,978	-22	76.	39,983	-17
5.	39,995	-5	41.	39,986	-14	77.	39,997	-3
6.	39,970	-30	42.	39,995	-5	78.	39,988	-12
7.	39,988	-12	43.	39,971	-29	79.	39,999	-1
8.	39,998	-2	44.	39,993	-7	80.	39,987	-13
9.	39,981	-19	45.	39,989	-11	81.	39,993	-7
10.	40	-0	46.	39,997	-3	82.	39,988	-12
11.	39,981	-12	47.	39,979	-21	83.	39,996	-4
12.	39,991	-9	48.	39,991	-9	84.	39,991	-9
13.	39,999	-1	49.	40,003	+3	85.	39,995	-5
14.	39,986	-14	50.	39,983	-17	86.	39,984	-16
15.	39,993	-7	51.	39,980	-20	87.	40,003	+3
16.	39,999	-1	52.	39,998	-2	88.	39,984	-16
17.	39,980	-20	53.	39,990	-10	89.	39,990	-10
18.	39,995	-5	54.	40,001	+1	90.	39,994	-6
19.	39,973	-27	55.	39,965	-35	91.	39,993	-7
20.	39,986	-14	56.	39,989	-11	92.	39,977	-23
21.	39,984	-6	57.	39,992	-8	93.	39,997	-3
22.	39,974	-26	58.	39,990	-10	94.	39,990	-10
23.	39,990	-10	59.	39,987	-13	95.	39,991	-9
24.	39,997	-3	60.	39,994	-6	96.	39,983	-17
25.	39,963	-37	61.	39,976	-24	97.	40,002	+2
26.	39,987	-13	62.	39,989	-11	98.	39,987	-13
27.	39,961	-31	63.	39,998	-2	99.	39,989	-11
28.	39,994	-6	64.	39,984	-16	100.	39,991	-9
29.	39,981	-19	65.	39,977	-23			
30.	39,973	-27	66.	40,004	+4			
31.	39,997	-3	67.	39,982	-18			
32.	39,968	-32	68.	39,972	-28			
33.	39,982	-8	69.	39,996	-4			
34.	39,986	-14	70.	39,985	-15			
35.	39,996	-4	71.	39,967	-33			
36.	39,985	-15	72.	39,992	-8			

**RECTIFICĂRI CU AVANS TRANSVERSAL**  
*cu control activ*

Nr. crt.	Cotă init. $\phi_s$ [mm]	Cotă finală [mm]	Abateri [ $\mu\text{m}$ ]	Nr. crt.	Cotă init. $\phi_s$ [mm]	Cotă finală [mm]	Abateri [ $\mu\text{m}$ ]
1.	$\phi$ 41	39,998	-2	37.	$\phi$ 41	39,977	-23
2.		39,985	-15	38.		39,982	-18
3.		39,972	-28	39.		39,972	-28
4.		39,980	-20	40.		39,980	-20
5.		39,968	-32	41.		39,977	-23
6.		39,977	-23	42.		39,987	-13
7.		39,988	-12	43.		39,971	-29
8.		39,984	-16	44.		39,979	-21
9.		39,993	-7	45.		39,992	-8
10.		39,973	-27	46.		39,984	-16
11.		39,976	-24	47.		39,978	-22
12.		39,986	-14	48.		39,989	-11
13.		39,980	-20	49.		39,977	-23
14.		39,969	-31	50.		39,982	-18
15.		39,979	-21	51.		39,999	-1
16.		39,985	-15	52.		39,979	-21
17.		39,988	-12	53.		39,971	-29
18.		39,978	-22	54.		39,990	-10
19.		39,984	-16	55.		39,984	-16
20.		39,965	-35	56.		39,972	-28
21.		39,976	-24	57.		39,982	-18
22.		39,973	-27	58.		39,992	-8
23.		39,977	-23	59.		39,982	-18
24.		39,968	-32	60.		39,987	-13
25.		39,979	-21	61.		39,980	-20
26.		39,974	-26	62.		39,968	-32
27.		39,985	-15	63.		39,976	-24
28.		39,995	-5	64.		39,978	-22
29.		39,980	-20	65.		39,961	-39
30.		39,971	-29	66.		39,976	-24
31.		39,983	-17	67.		39,973	-27
32.		39,969	-31	68.		39,987	-13
33.		39,976	-24	69.		39,984	-16
34.		39,981	-19	70.		39,966	-34
35.		39,985	-15	71.		39,985	-15
36.		39,963	-37	72.		39,988	-12



Nr. crt.	Cotă init. $\phi_s$ [mm]	Cotă finală [mm]	Abateri [ $\mu\text{m}$ ]	Nr. crt.	Cotă init. $\phi_s$ [mm]	Cotă finală [mm]	Abateri [ $\mu\text{m}$ ]
73.	$\phi$ 41	39,974	-28	87.	$\phi$ 41	39,967	-33
74.		39,994	-6	88.		39,978	-22
75.		39,982	-18	89.		39,991	-9
76.		39,986	-14	90.		39,975	-25
77.		39,983	-17	91.		39,989	-11
78.		39,965	-34	92.		39,979	-21
79.		39,975	-25	93.		39,970	-30
80.		39,978	-22	94.		39,974	-26
81.		39,996	-4	95.		39,990	-10
82.		39,973	-27	96.		39,983	-17
83.		39,988	-12	97.		39,962	-38
84.		39,984	-16	98.		39,974	-26
85.		39,964	-36	99.		39,995	-5
86.		39,983	-17	100.		39,986	-14

**RECTIFICAREA CU AVANS LONGITUDINAL**  
**cu  $F_x$  constant și fără sistem de control activ**

Nr. crt.	Adaos pentru rectificare [mm/rază]	Regimul de rectificare								Reglarea sist. de control activ	Cotă semif. după strunj. [mm]	Cotă finală [mm]
		$v_p$ [m/s]	$n_p$ [rot/min]	$t_d$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$t_f$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$v_m$ [m/min]	$i_d$	$i_f$	$i_{\text{dest}}$			
	0,5	30,11	100	20	10	2	20	10	7	<p>1. Comandă pentru trecerea de la fază de degroșare după îndepărtarea a 400 <math>\mu\text{m}/\text{rază}</math> la faza de finisare.</p> <p>2. Comandă pentru trecerea la faza de destindere după îndepărtarea a încă 100<math>\mu\text{m}/\text{rază}</math></p> <p>3. Reglarea duratei de destindere la valoarea de cca 3 min.</p>	$\phi 55$	$\phi 53^{+30}_{+11}$ (m6)

**RECTIFICĂRI CU AVANS LONGITUDINAL**  
*cu Fx reglat constant, fără control activ*

Nr. crt.	Cote măsurate [mm]			Nr. crt.	Cote măsurate [mm]		
	PP	M	PM		PP	M	PM
1.	53,013	53,012	53,025	26.	53,019	53,022	53,028
2.	53,022	53,023	53,026	27.	53,013	53,026	53,022
3.	53,016	53,030	53,030	28.	53,025	53,024	53,026
4.	53,012	53,019	53,011	29.	53,018	53,028	53,033
5.	53,024	53,029	53,030	30.	53,020	53,017	53,024
6.	53,017	53,025	53,026	31.	53,012	53,027	53,028
7.	53,009	53,016	53,021	32.	53,029	53,019	53,030
8.	53,016	53,025	53,029	33.	53,017	53,028	53,032
9.	53,026	53,020	53,015	34.	53,033	53,022	53,019
10.	53,013	53,028	53,018	35.	53,012	53,027	53,035
11.	53,024	53,024	53,024	36.	53,019	53,014	53,028
12.	53,016	53,015	53,029	37.	53,015	53,027	53,023
13.	53,014	53,026	53,020	38.	53,025	53,021	53,032
14.	53,022	53,021	53,031	39.	53,008	53,029	53,020
15.	53,015	53,025	53,024	40.	53,030	53,017	53,034
16.	53,015	53,016	53,029	41.	53,016	53,026	53,025
17.	53,021	53,023	53,016	42.	53,011	53,025	53,026
18.	53,011	53,020	53,026	43.	53,018	53,018	53,021
19.	53,017	53,013	53,024	44.	53,011	53,023	53,027
20.	53,014	53,024	53,029	45.	53,021	53,029	53,023
21.	53,023	53,020	53,017	46.	53,018	53,011	53,027
22.	53,012	53,017	53,027	47.	53,027	53,026	53,013
23.	53,020	53,024	53,023	48.	53,013	53,019	53,029
24.	53,017	53,022	53,025	49.	53,022	53,023	53,025
25.	53,014	53,018	53,018	50.	53,018	53,021	53,023

**RECTIFICAREA CU AVANS LONGITUDINAL**  
**cu  $F_x$  reglat constant cu sistem de control activ**

Nr. crt.	Adaos pentru rectific. [mm/rază]	Regimul de rectificare										Reglarea sist. de control activ	Cotă semif. după strunj. [mm]	Cotă finală [mm]
		$v_p$ [m/s]	$n_p$ [rot/min]	$t_d$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$t_f$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$v_m$ [m/min]	$i_d$	$i_f$	$i_{\text{dest}}$					
	0,5	30,11	100	20	10	2	20	10	7			1. Comandă pentru trecerea de la fază de degroșare după îndepărtarea a 400 $\mu\text{m}/\text{rază}$ la faza de finisare. 2. Comandă pentru trecerea la faza de destindere după îndepărtarea a încă 100 $\mu\text{m}/\text{rază}$ 3. Reglarea duratei de destindere la valoarea de cca 3 min.	$\phi 55$	$\phi 53^{+30}_{+11}$ (m6)

**RECTIFICĂRI CU AVANS LONGITUDINAL**  
*cu  $F_x$  reglat constant, cu control activ*

Nr. crt.	Cote măsurate [mm]			Nr. crt.	Cote măsurate [mm]		
	PP	M	PM		PP	M	PM
1.	53,018	53,016	53,020	26.	53,012	53,020	53,016
2.	53,028	53,011	53,025	27.	53,020	53,029	53,030
3.	53,009	53,019	53,011	28.	53,016	53,015	53,023
4.	53,019	53,012	53,024	29.	53,026	53,020	53,035
5.	53,015	53,021	53,028	30.	53,013	53,017	53,019
6.	53,020	53,017	53,015	31.	53,020	53,021	53,025
7.	53,013	53,022	53,030	32.	53,017	53,015	53,021
8.	53,022	53,013	53,020	33.	53,022	53,014	53,012
9.	53,017	53,023	53,015	34.	53,015	53,030	53,029
10.	53,021	53,019	53,021	35.	53,030	53,020	53,021
11.	53,014	53,015	53,019	36.	53,022	53,018	53,023
12.	53,018	53,021	53,027	37.	53,016	53,022	53,022
13.	53,032	53,026	53,022	38.	53,035	53,025	53,016
14.	53,016	53,012	53,017	39.	53,020	35,015	35,024
15.	53,019	53,028	53,025	40.	53,012	53,021	53,028
16.	53,011	53,018	53,032	41.	53,025	53,023	53,019
17.	53,023	53,019	53,020	42.	53,018	53,016	53,023
18.	53,021	53,015	53,027	43.	53,021	53,026	53,023
19.	53,016	53,022	53,013	44.	53,034	53,018	53,017
20.	53,024	53,027	53,026	45.	53,014	53,028	53,026
21.	53,011	53,016	53,022	46.	53,022	53,013	53,034
22.	53,019	53,027	53,020	47.	53,019	53,022	53,019
23.	53,017	53,011	53,024	48.	53,017	53,020	53,029
24.	53,021	53,019	53,021	49.	53,022	53,024	53,014
25.	53,014	53,015	53,018	50.	53,015	53,017	53,026

**RECTIFICAREA CU AVANS LONGITUDINAL**  
**cu  $F_x$  variabil ( $v_{STE} = constant$ ) cu comandă adaptivă și control activ**

Nr. crt.	Adaos pentru rectificare [mm/rază]	Regimul de rectificare								Reglarea sist. de control activ	Cotă semif. după strunj. [mm]	Cotă finală [mm]
		$v_p$ [m/s]	$n_p$ [rot/min]	$t_d$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$t_f$ [ $\mu\text{m}/\text{c.d}$ ]	$v_m$ [m/min]	$i_d$	$i_f$	$i_{dest}$			
	0,5	30,11	100	20	10	2	20	10	17	<p>1. Comandă pentru trecerea de la fază de degroșare după îndepărtarea a 400 <math>\mu\text{m}/\text{rază}</math> la faza de finisare.</p> <p>2. Comandă pentru trecerea la faza de destindere după îndepărtarea a încă 100 <math>\mu\text{m}/\text{rază}</math></p> <p>3. Reglarea duratei de destindere la valoarea de cca 3 min.</p>	$\phi 55$	$\phi 53^{+30}_{+11}$ (m6)

**RECTIFICĂRI CU AVANS LONGITUDINAL**  
*cu  $F_x$  variabil ( $y_{STE} = \text{constant}$ ) cu comandă adaptivă și control activ*

Nr. crt.	Cote măsurate [mm]			Nr. crt.	Cote măsurate [mm]		
	PP	M	PM		PP	M	PM
1.	53,015	53,018	53,015	26.	53,018	53,021	53,020
2.	53,021	53,021	53,021	27.	53,020	53,025	53,017
3.	53,016	53,015	53,023	28.	53,016	53,016	53,024
4.	53,026	53,019	53,016	29.	53,023	53,022	53,022
5.	53,019	53,024	53,025	30.	53,020	53,027	53,020
6.	53,015	53,017	53,020	31.	53,024	53,017	53,024
7.	53,024	53,022	53,022	32.	53,017	53,022	53,026
8.	53,020	53,018	53,027	33.	53,025	53,026	53,016
9.	53,017	53,023	53,018	34.	53,021	53,016	53,025
10.	53,019	53,015	53,023	35.	53,018	53,022	53,021
11.	53,026	53,024	53,019	36.	53,022	53,027	53,019
12.	53,015	53,018	53,024	37.	53,015	53,018	53,027
13.	53,022	53,020	53,022	38.	53,023	53,024	53,022
14.	53,023	53,016	53,025	39.	53,020	53,019	53,015
15.	53,019	53,021	53,017	40.	53,025	53,017	53,026
16.	53,025	53,025	53,023	41.	53,017	53,020	53,019
17.	53,016	53,018	53,021	42.	53,024	53,019	53,025
18.	53,027	53,020	53,019	43.	53,018	53,021	53,023
19.	53,018	53,015	53,027	44.	53,022	53,015	53,016
20.	53,023	53,026	53,020	45.	53,015	53,023	53,024
21.	53,017	53,021	53,025	46.	43,024	53,020	53,020
22.	53,022	53,023	53,015	47.	53,021	53,025	53,027
23.	53,019	53,019	53,023	48.	53,017	53,019	53,015
24.	53,016	53,020	53,024	49.	53,016	53,022	53,021
25.	53,021	53,016	53,021	50.	53,022	53,017	53,018

## 7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE

### 7.1. CONCLUZII GENERALE

Creșterea performanțelor tehnice ale mașinilor, utilajelor, instalațiilor și aparatelor de măsură și control a fost și este condiționată de creșterea preciziei de execuție a pieselor și de calitatea mijloacelor de măsurare și control cu care se fac verificările acestora.

În condițiile actuale și de perspectivă se poate aprecia că în sistemul tehnologic elastic pe lângă mașina-unealtă, piesă, dispozitiv și sculă se impune a fi incluse și sistemele de control aferente: de precizie dimensională, pentru controlul calității suprafeței, pentru măsurarea temperaturilor, pentru analiza statistică automată a rezultatelor verificărilor.

Din analiza stadiului actual și a perspectivelor rectificării (cap.2) se subliniază că rectificarea ocupă o pondere tot mai mare în volumul total al proceselor industriale, cu tendință de creștere în continuare, datele referitoare la anul 2000 evidențind că cca.30% din volumul prelucrărilor se realizează prin rectificare.

Este unanim recunoscută importanța care trebuie să se acorde creșterii calității produselor, siguranței în funcționare și durabilității acestora.

Studiul și cunoașterea legilor referitoare la execuția reperelor, a posibilităților de obținere a preciziilor impuse, precum și a aparatelor de control a calității, toate în strânsă interdependență, reprezintă unica cale de creștere a preciziei dimensionale de formă și calitate a suprafeței în construcția de mașini.

În ideea aliniatului precedent, teza cercetează teoretic și experimental procesul de lucru pe mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri având în vedere că la majoritatea pieselor utilizate în construcția de mașini și aparate, precizia se obține prin acest proces, deocamdată de neînlocuit.

La obținerea preciziei și calității impuse suprafeței participă: mașina-unealtă, semifabricatul, modul de realizare a rectificării, parametrii regimului de lucru, caracteristicile pietrei abrazive, sistemul de control activ, dispozitivul utilizat etc.

Procesul de rectificare este relativ complex atât datorită numărului mare de factori participanți în proces, cât și datorită variației caracteristicilor



așchietoare ale granulelor abrazive chiar în cursul unei treceri. Cuprinderea tuturor factorilor și a modificărilor acestora în expresii matematice care să servească la obținerea unor piese de calitate, este o problemă deocamdată imposibilă.

Factorii care impun îmbunătățirea indicilor de calitate a pieselor rectificate (precizie dimensională, de formă și calitate a suprafeței), concomitent cu creșterea capacității de producție și a reducerii consumului de energie determină înzestrarea mașinilor de rectificat cu sisteme de control activ prin intermediul cărora să se comande fazele ciclului de lucru (degroșare, finisare și destindere) și variația dimensiunilor intermediare obținute. Toate aceste aspecte originale sunt abordate sistemic în prezenta lucrare.

Din analiza teoretică și experimentală a factorilor care influențează precizia și calitatea suprafeței conținute în teză (cap.3) rezultă funcție de ponderea lor următorii:

- rigiditatea sistemului tehnologic elastic;
- parametrii regimului de rectificare;
- mărimea componentei  $F_x$  a forței de rectificare;
- deformațiile termice;
- caracteristicile metrologice ale sistemului de control activ și poziția acestuia pe coordonata  $Z$  a mașinii;
- caracteristicile și debitul lichidului de răcire ungere.

Din cercetările efectuate au fost desprinse concluzii originale referitoare la valorile optime ale parametrilor menționați și la variațiile favorabile ale lor care să ducă în final la creșterea calității pieselor obținute.

Din analiza ciclului de lucru la rectificarea rotund exterioară comandată prin control activ rezultă că cel mai eficient este cel cu deformație  $y_{STE} = \text{constant}$  pe direcția  $F_x$  care asigură precizie superioară, capacitate de producție relativ mai mare și rugozitate mai mică. Totodată se precizează că durata fazei de destindere depinde de valoarea deformației sistemului tehnologic elastic la etapa a doua de rectificare, de rigiditatea sistemului tehnologic elastic, de cerințele de precizie și calitate a suprafeței.

Din analiza sistemelor de control activ utilizate pe mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri (cap.5) se evidențiază faptul că cele mai potrivite pentru comanda ciclului și controlul dimensiunii sunt cele bazate pe traductoarele inductive diferențiale.

Cercetările experimentale efectuate pe unul dintre tipurile cele mai răspândite în industrie de mașini de rectificat, RE350 confirmă pe de o parte concluziile teoretice conținute în lucrare, iar pe de altă parte scot în evidență posibilitățile de obținere a unor precizii sporite concomitent cu evitarea rebuturilor.

## 7.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

1. Lucrarea în ansamblu face pentru prima dată o abordare sistemică complexă și multifactorială a procesului de rectificare, având ca scop final creșterea indicilor tehnico-economici ai acestuia: precizie dimensională și de formă, calitatea suprafeței, controlul temperaturii în stratul superficial, capacitatea de producție și, în mod indirect, a costului prelucrării.

Lucrarea îmbogățește literatura de specialitate în domeniu, constituind o sursă bibliografică importantă pentru cercetătorii din domeniul rectificării și în practica industrială.

2. Elaborarea unei metodologii originale pentru stabilirea parametrilor optimi ai procesului de rectificare care asigură precizia inițial impusă și care ține seama în special de valorile rigidităților subansamblurilor mașinii (subcapit.3.2).

3. Stabilirea relației dintre deformația sistemului tehnologic elastic în câmpul bidimensional al mașinii,  $y_{STE}$ , și rigiditățile subansamblurilor componente, când componenta radială  $F_x$  este constantă și variabilă.

Această relație reprezintă baza teoretică a modelului matematic care asigură creșterea preciziei dimensionale și de formă a pieselor rectificate.

4. Conceperea unui ciclu de rectificare cu componentă radială programabilă și cu deformația elastică  $y_{STE}$  a sistemului tehnologic elastic constantă în câmpul de lucru al mașinii care asigură precizia și calitatea suprafeței superioare, concomitent cu creșterea volumului de material îndepărtat în unitatea de timp (cap.4.1).;

5. Elaborarea unei metodologii originale a influenței vibrațiilor sistemului tehnologic elastic asupra erorilor dinamice ale sistemului de control activ (subcapit.3.1.6.2).

6. S-a elaborat o metodă teoretică originală pentru calculul temperaturii în zona de contact dintre piatră și piesă, având la bază teoria frecării dintre suprafețe discontinue. Relațiile (46) și (46') permit determinarea temperaturilor teoretice atât la piesă, cât și la piatră. Plecând de la aceste relații se pot stabili parametrii regimurilor de lucru astfel încât să se evite temperaturile, care, în prezența lichidelor de răcire - ungere, ar putea crea microfisuri în stratul superficial.

7. Conceperea și realizarea unui stand complex pentru cercetări experimentale având la bază mașina de rectificat RE350CA, completul electronic, pentru controlul activ al suprafețelor continui tip CAS-C-2E,

comanda adaptivă, sistemul automat pentru controlul microdeplasărilor arborelui portpiatră în lagărele hidrostactice și calculatorul electronic.

8. Conceperea și realizarea a două vârfuri dinamometrice bazate pe traductoare tensometrice cu fir rezistiv pentru măsurarea componentelor  $F_x$  și  $F_y$  ale forței de rectificare. Încercările lor au demonstrat că sunt corespunzătoare atât din punct de vedere static, cât și dinamic (cap.6.3).

9. S-a conceput și realizat o instalație pentru determinarea rigidității statice a mașinilor de rectificat rotund exterior între vârfuri. Sistemul de încărcare cu forțe se bazează pe o piesă prinsă între vârfuri, de rigiditate foarte mare, prevăzută la mijloc cu un mecanism șurub - piuliță. Între piesa specială amplasată pe piatră și capătul șurubului este montat dinamometrul. Deformațiile subansamblurilor la diferite valori ale forței  $F_x$  au fost măsurate cu comparatoare având valoarea diviziunii de  $1 \mu\text{m}$  (fig.6.13).

10. Din analiza dimensiunilor pieselor rectificate pe standul menționat se evidențiază următoarele concluzii mai importante:

- precizia dimensională și de formă a pieselor rectificate este mai ridicată cu control activ decât fără control activ atât la prelucrările cu avans transversal cât și la cele cu avans longitudinal. Dispersiile dimensiunilor la rectificările cu control activ sunt mai apropiate de curba lui Gauss, eliminându-se aproape în totalitate rebuturile;
- cea mai înaltă precizie s-a obținut la rectificarea cu control activ și comandă adaptivă, caz în care  $y_{STE}$ , deformația sistemului tehnologic elastic a fost menținută constantă după coordonata  $z$  prin programarea corespunzătoare a componentei  $F_x$ ;
- atât la rectificările cu avans transversal, cât și la cele cu avans longitudinal, cu control activ, intervin abateri de formă în secțiune longitudinală cauzate de deformațiile diferite ale subansamblurilor mașinii. Pentru punerea în evidență a acestor abateri au fost efectuate măsurări la piesă în apropierea păpușii portpiesă, la mijlocul piesei și în apropierea păpușii mobile. Dimensiunile efective au crescut dinspre păpușa portpiesă spre păpușa mobilă, deoarece rigiditatea piesei a fost relativ mare. În scopul evitării rebuturilor nerecuperabile, în condițiile menționate, sistemul de control activ trebuie montat astfel încât să palpeze semifabricatul în apropierea păpușii portpiesă. Această observație este deosebit de importantă la rectificarea pieselor lungi între vârfuri.

### **7.3. RECOMANDĂRI PRIVIND REALIZAREA CELUI MAI EFICIENT PROCES DE RECTIFICARE ROTUNDĂ EXTERIOARĂ ÎNTRE VÂRFURI**

Pe baza cercetărilor teoretice și experimentale conținute în prezenta lucrare se pot evidenția următoarele recomandări pentru ca prin procesul concret de rectificare să se obțină precizii dimensionale și de formă ridicate, calitate superioară a suprafeței, fără depășirea temperaturii în zona de contact piatră - piesă, și o capacitate de producție sporită. Evident că ele completează principiile generale cunoscute de prelucrarea pe mașinile de rectificat.

1. Admiterea ciclului de pătrundere din figura 4.7, în care la începutul fazei de degroșare, avansul să aibă valori de 2-3 ori mai mari decât la sfârșitul aceleiași faze, până când sistemul tehnologic elastic ajunge la o tensionare stabilă capabilă a asigura egalitatea între avansul de pătrundere real și cel instalat.
2. Executarea rectificărilor cu deformație  $y_{STE}$  constantă a sistemului tehnologic elastic în câmpul bidimensional al mașinii, respectiv prin programarea componentei radiale  $F_x$  a forței de rectificare. Durata fazei de destindere scade crescând astfel capacitatea de producție.
3. Calculul parametrilor regimurilor de lucru să se facă pe baza metodologiei propuse în subcapitolul 3.2 care ține seama atât de pretențiile de precizie ale piesei rezultate în urma rectificării, cât și de deformația sistemului tehnologic elastic.
4. Procesul de lucru nu trebuie sub nici o formă întrerupt în fazele de degroșare sau finisare, deoarece se compromit indicii de calitate ai piesei. Se impune, în toate cazurile, efectuarea fazei de destindere, în care forțele din proces tind spre zero, adâncimea de pătrundere a granulelor abrazive în material scade, ceea ce duce la îmbunătățirea rugozității suprafeței. Procesul se consideră finalizat atunci când între piatră și piesă nu mai apar scânteii;

5. La rectificarea pieselor cu avans longitudinal sistemul de control activ trebuie amplasat în apropierea păpușii cu rigiditatea cea mai mare unde se obțin cele mai mici dimensiuni. În cazul în care sistemul de control activ este amplasat în mijloc sau în apropierea păpușii mobile, apare pericolul ca dimensiunea realizată în apropierea păpușii portpiesă să aibă o abatere mai mică decât abaterea inferioară admisă, apărând astfel rebuturile nerecuperabile. Problema amplasării sistemului de control activ în lungul piesei devine extrem de importantă în cazul toleranțelor foarte mici.
6. În cazul pieselor (care pot fi prelucrate cu avans de pătrundere), pentru îmbunătățirea calității suprafeței se recomandă prelucrarea cu avans longitudinal, la care traiectoria granulei este după o elice și nu după un cerc ca și la rectificările cu avans de pătrundere.
7. Un dezavantaj la rectificările cu avans longitudinal constă în aceea că la sfârșitul cursei longitudinale piatra iese din material, sistemul tehnologic elastic se detensionează și tensionează în timp scurt, ceea ce are efect negativ asupra pietrei și mașinii. Ar fi mai rațional ca la capete de cursă longitudinală suprafața activă a pietrei să se mențină integral în contact cu piesa, iar avansul transversal să se execute în timpul reversării mesei. În acest mod crește capacitatea de producție și se asigură o încărcare fără șocuri a pietrei și a mașinii.
8. Strângerea semifabricatului între vârfurile păpușilor trebuie să fie potrivită funcție de diametrul acesteia. O strângere prea puternică poate produce flambarea piesei, compromițându-se total precizia și calitatea suprafeței, iar o strângere insuficientă crează pericole de accidentare.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] **Academia Nauk SSSR** - Vîsokoproizvoditelinoie șlifovanie, 1962.
- [2] **Academia SSSR** - Trudî instituta mașinovedenia. Vîpusk 17, Moskva, 1963.
- [3] **Academia SSSR** - Trudî instituta mașinovedenia. Vîpusk 19, Moskva, 1965.
- [4] **Albu A., ș.a.**, Programarea asistată de calculator a mașinilor - unelte, Edit.Tehnică, București, 1980.
- [5] **Bagiu L.**, Toleranțe și ajustaje, Edit.Helicon, Timișoara, 1994.
- [6] **Bagiu L., Urdea M.**, Analiza posibilităților de conducere a ciclului de lucru prin control activ pe mașini de rectificat rotund exterior. Sesiunea de comunicări "Tehno 95", Timișoara, 1995.
- [7] **Bassiere M., Gaignebet E.**, Metrologie generale. Theorie de la mesure, les instruments et leur emploi. Edit.Dunod, Paris, 1960.
- [8] **Bhateja C.P.**, The importance of Abrasive grinding whell Hardness Control for the Productivity of Production Grinding operations, Anals of the CIRP, vol.32/1981.
- [9] **Botez E.**, Mașini unelte, vol.III, Organologia și dinamica, Edit.Tehnică, București, 1973.
- [10] **Botiș V., Bologan V., Țanu V.**, Metode de control al formei și poziției pieselor. Edit.Tehnică, București, 1973.
- [11] **Bovsunovski Ia.I., Svecinikov I.V.**, Mecanizarea și automatizarea operațiilor de control în construcția de mașini și aparate. Edit.Tehnică, București, 1963.

- 
- [12] **Buttery T.C.**, Some effects of deterioration in abrasive surfaces in cutting efficiency and surface finish. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Machine Tool Design and Research Conference, 1980.
- [13] **Buzatu V., Zenovei C.**, Tabele pentru ateliere mecanice. Edit.Tehnică, București, 1970.
- [14] **Cernăianu C.A.**, Contribuții privind controlul automat al parametrilor tehnologici de proces la prelucrarea pe mașini de rectificat fără centre. Teza de doctorat, Craiova, 1997.
- [15] **Chișiu Al., Matieșan D., ș.a.**, Organe de mașini, Ediția a II-a, Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1981.
- [16] **Constantinescu I.N., Ștefănescu D.M., Sandu M.Al.**, Măsurarea mărimilor mecanice cu ajutorul tensometriei. Edit.Tehnică, București, 1989.
- [17] **Dasuray F.K.**, A simple model for evaluating surfaces roughness in fine grinding. International Journal of Machine Tool Design and Research, vol.20, 1980.
- [18] **Deacu L., Pavel Gh.**, Vibrații la mașini - unelte, Edit.Dacia, Cluj-Napoca, 1977.
- [19] **Diaconescu I.,ș.a.**, Mașini - unelte, vol.II, Edit.Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, 1962.
- [20] **Dobrinin E. și alții** - Problema preciziei dinamice a dispozitivelor de control automat. Edit.Mașghiz, Moskova, 1970.
- [21] **Dodoc P.**, Concepții noi privind măsurarea diametrului. Construcția de mașini 4, 1979.
- [22] **Dragu D.**, Toleranțe și măsurători tehnice. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [23] **Drăghici G.**, Bazele teoretice ale proiectării proceselor tehnologice în construcția de mașini. Edit.Tehnică, București, 1971.

- [24] **Drăghici I., Jula A., ș.a.**, Organe de mașini. Probleme. Edit. Tehnică, București, 1980.
- [25] **Drăguț C.**, Aplicații și probleme de prelucrare a metalelor prin așchiere, Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1981.
- [26] **Dreucean A.**, Sistem de control dimensional activ cu traductor pneumo-magnetofluidic la mașini de rectificat rotund exterior.
- [27] **Duca Z.**, Așchiera metalelor. Partea II. Operațiile de prelucrare prin așchiere. Litografia și tipografia învățământului, București, 1957.
- [28] **Duca Z.**, Bazele teoretice ale prelucrărilor pe mașini - unelte. Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1969.
- [29] **Enache Ș.**, La qualite des surfaces metalliques. Edit. Tehnică, București, 1994.
- [30] **Geilep Ș.E.**, Samonastraivainșiesia sistemî aktivnogo Kontrolia. Izdanie 2-e, pererabotannoe i dapolnennoe, Moskva, Mașinostroenie, 1978.
- [31] **Geiler Z.Ș.**, Samonastraivaiușciiesia sistemî aktivnogo kontrolia razmerov. Edit. "Mașinostroenie", Moscova, 1972.
- [32] **Grave H.F.**, Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Edit. Tehnică, București, 1966.
- [33] **Grigoriev I.A., Dvoretcki E.R.**, Controlul dimensiunilor în construcția de mașini, Edit. Tehnică, București, 1961.
- [34] **Harizomenova V.I.**, Elektroavtomatika stankov beskontaktnii kontrol. Razmerovstankostroienii. Moskva, Mașinostroenie, 1975.
- [35] **Holm R.**, Die technische Physik de elektrischen kontakte. Berlin, 1941.
- [36] **Holm R.**, Uber die kontaktwiderstande besondere bei Kohlenkontakten. Zeitschrift 1. techn. Physik, N.9, 1928.
- [37] **Hicks R. Charles and Anderson Turner**, Fundamental concepts in the design of experiments, Purdue University, 1999.



- 
- [38] **Hughens F.H., Richards B.A.**, Spannungsmessungen an Kunstharzgebundenen Diamantschleifscheiben beim Schleifen von Wolframhartmetall Harnet GG (carboly 44A). Diamond Research Laboratory, Johannesburg, Süd-Africa.
- [39] **Hume K.J.**, Engineering Metrology. MacDonald Technical, London, 1970.
- [40] **Ionescu G.**, Măsurări și traductoare. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1985.
- [41] **Ispas C., ș.a.**, Metode de cercetare a mașinilor-unelte, Institutul Politehnic București, Catedra de Mașini - Unelte și Scule, București, 1992.
- [42] **Ițkovici E.L.**, Staticeskie metodî pri avtomatizații proizvodstva. Izdatelistvo energia, Moskva, 1964.
- [43] **Ivan N.**, Bazele optimizării proceselor tehnologice. Universitatea din Brașov, 1983.
- [44] **Ivanov V.V.**, Praktika rasceta razmernîh țepej v mașinostroienii. Edit.Mașghiz, Moskva, 1960.
- [45] **Jessup W.F.**, Determination du rendement des rectifieuses. În: Machine - Outil, nr.273, martie 1971 și nr.289, august-septembrie 1972.
- [46] **Kaliszer H., ș.a.**, Digital computation for surface topographical measurements applied in tribology. Conference on the use of digital computers in measurement, University of York, 22-27 septembrie, 1980.
- [47] **Kondașcevskii V.V.**, Naladka avtomaticeskih priborov dlia kontrolea razmerov detalei. Edit.Mașghiz, Moscova, 1960.
- [48] **Korablev P.A.**, Tocinosti obrabotki na metallorejușih stankah v priborostroienii. Moskva, 1962.
- [49] **Krageliskii I.V. ș.a.**, Razvitie nauka o trenii. Izdatelirvo Akademia Nauk SSSR, 1956.

- [50] **Krageliskii I.V. ș.a.**, Opredelenie fakticeskoi ploșciadi kasania. Sb. XIV Trenie i iznos v mașinah. Izd.-vo AN SSSR, 1960.
- [51] **Landberg F.**, Cercetarea procesului de rectificare, Microtechnic, 1957.
- [52] **Lotze W.**, Tehnica măsurării lungimilor în lumina automatizării. Revista "Tehnica măsurării", vol.8, nr.2, 1968.
- [53] **Lurie G.B., ș.a.**, Șlifovanie stanki i ih naladka. Izdatelistvo," Vîșaia șkola", Moskva, 1972.
- [54] **Lurie G.B.**, Șlifovanie metallov. Izdatelistvo, "Mașinostroenie", Moskva, 1969.
- [55] **Lurie G.B.**, Alegerea criteriului de durabilitate a pietrei de rectificat în legătură cu cerințele de calitate a suprafeței. In: Stanki i instrument, nr.6.
- [56] **Maizel L.M.**, Controlul automat al dimensiunii pieselor. Edit. Tehnică, București, 1962.
- [57] **Marcovici C. ș.a.**, Utilisation des techniques de fiabilite en mecanique. Edit. Technique et documentation, Paris, 1974.
- [58] **Maslev E.N.**, Bazele teoriei rectificării metalelor. Traducere din limba rusă, I.D.T., București, 1951.
- [59] **Matalin A.A.**, Tocinostih mehaniceskoi obrabotki i proektirovanie tehnologiceskih protessov. Edit."Mașinostroenie", Leningrad, 1970.
- [60] **Millea A.**, Cartea metrologului. Metrologie generală. Edit. Tehnică, București, 1985.
- [61] **Militaru C., Gheorghe I., Sturzu A., Matache V.**, Măsurări pneumatice în construcția de mașini. Edit. Tehnică, București, 1977.
- [62] **Mutsyanko V.T.**, Effect of high speed grinding on surface quality. Machines and Tooling, vol.49, nr.11.
- [63] **Nasmelov A.F.**, Pravka șilfovalinîh krugov. Edit. Mașghiz, Moskova,

- 1953.
- [64] **Pahlitzsch G., Lange E.**, "Werkstattechnik und Maschinenbau", 1957, nr.5, pag.209-216.
- [65] **Pearson E.**, Technology of instrumentation. D.von Nostrand Company Inc.Princeton, New Jersey, 1980.
- [66] **Penescu C., ș.a.**, Identificarea experimentală a proceselor automatizate. Editura tehnică, București, 1971.
- [67] **Picoș C.și alții** - Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere. Vol.I+II, Editura Universitas, Chișinău, 1992.
- [68] **Picoș C., și colab.**, Calculul adaosurilor de prelucrare și a regimurilor de așchiere. Edit.Tehnică, București, 1974.
- [69] **Pop E., ș.a.**, Tehnici moderne de măsurare, Edit.Facla, Timișoara, 1983.
- [70] **Popescu I.**, Optimizarea procesului de așchiere. Edit.Scrisul Românesc, Craiova, 1987.
- [71] **Proșenskii S.P.**, Tocinosti obrabotki na șlifovalinîh stankah.Edit. Mașghiz, Moscova, 1953.
- [72] **Putz V., Bagiu L., Stănișoară M., Urdea M.**, A sistem of setup tools and holder tools with rotation, International Machinery Faire 2000, NITRA.
- [73] **Puzanov V.V.**, Harakter kolebanii pri vreznom șlifovanii. Stanki i instrumenti nr.2, 1960.
- [74] **Rabinovici A.N.**, Priborî i sistemî avtomaticeskogo controlia razmerov detalei mașin., Kiev, 1970.
- [75] **Ratiu M., Popescu P.**, Tehnica măsurării forțelor. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1964
- [76] **Rădoi C., Murgan A.,T., ș.a.**, Circuite și echipamenmte electronice industriale. Edit.Tehnică, București, 1986.

- [77] **Ripianu A., Popescu P., Bălan B.**, Mecanică tehnică, Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [78] **Roman I.**, Controlul calității produselor. Manual pentru școli de maiștri. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1988.
- [79] **Roșca M.D.**, Teza de doctorat. Brașov, 1988. Comanda adaptivă la mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri.
- [80] **Ryuji Wada, Karija** - Adaptive steuerung einer Rundschleifmaschine. In: Werkstatt und Betrieb, vol.104, nr.6, iunie 1971, pag.391-397.
- [81] **Sagyebó F.**, Contribuții la determinarea preciziei de prelucrare prin rectificare. Institutul Politehnic Cluj, coord.Prof.dr.ing.Lazărescu I., Cluj Napoca, 1971.
- [82] **Schuhler H.**, Industrie Anzeiger, 1958, N.97, pag.1471, RFG.
- [83] **Secară Gh.**, Proiectarea sculelor așchietoare, Edit.Didactică și Pedagogică București, 1979.
- [84] **Spineanu U.**, Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini. Edit.Tehnică, București, 1987.
- [85] **Sturzu A., Bădescu Gh., Militaru C., Brăgaru A.**, Îndrumător practic uzinal și de laborator pentru controlul preciziei de prelucrare în construcția de mașini. Edit.Tehnică, București, 1975.
- [86] **Sweeney G.**, The position of grinding and its future possibilities, "Eng.Dig"England, 37, Nr.3, p.36-36, 1976.
- [87] **Sutton B.H.**, Engineering Instrumentation and Control 4 Checkbook, Butterworth Scientific, London, Boston, Sidney, Wellington, Durban, Toronto, 1982.
- [88] **Târpe Gh.**, Precizia prelucrării prin așchiere. Edit.Tehnică, București, 1972.
- [89] **Thiede K.**, Spezielle elektronische Messteuerungen für Schleif

- maschinen. Industrie Anzeiger, vol.93, p.2452-2459, nr.97/1971.
- [90] **Thormahlen Kl.H.**, Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf den Schleifprozess. In: Industrie Anzeiger nr.90/91, 26.10.1973.
- [91] **Timofeev I.I.**, Probleme termice la rectificare. Vîsokoproizvoditelinoe şlifovanie, Academia SSSR, 1962.
- [92] **Toşenskii S.P.**, Tocinosti obrabotki na şilfovalnîh stankah. Edit."Maşghiz", Moscova, 1953.
- [93] **Tura L.**, Cercetări privind influenţa deformaţiilor elastice asupra dimensiunilor şi formei geometrice a pieselor prelucrate prin rectificare cu control activ.
- [94] **Urdea G.**, Comanda adaptivă la maşini de rectificat rotund exterior între vârfuri. Teza de doctorat, Timişoara, 1976.
- [95] **Urdea M.**, Analiza critică şi stadiul actual al sistemelor de control activ utilizate pe maşini de rectificat rotund. Referat de doctorat, 1995.
- [96] **Urdea M.**, Studiul condiţiilor de măsurare pe maşini de rectificat rotund şi influenţa parametrilor de lucru asupra caracteristicilor metrologice ale rezultatelor efective. Referat de doctorat, 1996.
- [97] **Urdea M.**, Soluţii noi de sisteme de control activ cu caracteristici metrologice optimizate pentru maşini de rectificat rotund. Referat de doctorat, 1996.
- [98] **Urdea M., Popescu H.**, Sistem automat de încărcare a maşinii de rectificat rotund exterior între vârfuri cu comandă adaptivă. Conferinţa Naţională de maşini-unelte, Bucureşti, 20-21 mai 1994.
- [99] **Vaida A., ş.a.**, Maşini - unelte. Edit.Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1970.
- [100] **Vasiliev N.N.**, Krugloe naruşnoe şlifovanie. Edit.Maşghiz, Moscova, 1961.
- [101] **Vîsoţki A.V.**, Activnîi, controlî razmerov detaloi s prerivistinîi

- peoverhnostianii. Mașinostroenie, Moskva, 1969.
- [102] **Vlase A., ș.a.**, Regimuri de așchiere, adaosuri de prelucrare și norme tehnice de timp. Vol.I+II, Edit.Tehnică, București, 1985.
- [103] **Vlase A., Gheorghiu S.**, Tehnologii de prelucrare pe mașini de rectificat. Îndrumar de proiectare. Edit.Tehnică, București, 1985.
- [104] **Voia I.Z.**, Cercetări analitice și experimentale asupra preciziei geometrice la rectificarea cilindrică exterioară, Teza de doctorat Timișoara, 1987.
- [105] **Watanabe K.**, Engineering (Japan) 1957, N.2, N.3, N.4, N.5, N.6.
- [106] **Weill R.**, Technique d'usinage. Edit.Dunod, Paris, 1971.
- [107] **Wiemer A.**, Pneumatische lengenmessungen. Berlin Technik, 1960.
- [108] \*\*\* Mașina de rectificat exterior RE-350-1. Fabrica de mașini unelte și agregate, București.
- [109] \*\*\* Aparat de control activ "ROFINEX" - documentație tehnică.
- [110] \*\*\* Catalog corpuri abrazive. S.C.Carbochim, s.a.Cluj Napoca, 1993.
- [111] \*\*\* Itogi Nauki I Tehniki. Rezanie metalov., Stanki i instrumentî, Moscova, 1971.
- [112] \*\*\* Controlino - izmeritelinaia tehnika. Vîpusk 17, 1975.
- [113] \*\*\* Moskovskii stankoinstrumentalnîi. Institut Priborîstredstva dlea aktivnogo kontrolia razmerov na metallobratatîvaiușih stankah 1964.
- [114] \*\*\* Moskovsoe vîșie tehniceskoe ucianișce. Voprosî tocinosti v mașinostroeniei. Edit.Mașghiz, Moskova, 1960.
- [115] \*\*\* Progressivnaia tehnologia mașinostroenia. Izdatelistvo "Vîșeișaiia șkola", Minsk, 1972.

- [116] \*\*\* Proiectarea, realizarea și încercarea unei comenzi adaptive pentru mașina de rectificat RU350, Contract de cercetare științifică, benef. Intreprinderea de Mașini-Unelte și Agregate, București, 1987.
- [117] \*\*\* Pravka șlifovalinîh krugov. Edit. Mașghiz, Moscova, 1953.
- [118] \*\*\* Stabilirea regimurilor de tratament termic și rectificare a arborilor cutiilor de viteze a motoîncărcătoarelor, în vederea evitării fisurilor. Contract de cercetare științifică nr. 1172/1972. Beneficiar Uzinele Mecanice Timișoara.
- [119] \*\*\* Une revolution dans la rectification de precision. La "Force controlee". În: Machine Moderne, febr., p.39-43, 1964.
- [120] \*\*\* Volrosî tocinosti v mașinostroienii. Edit. Mașghiz, Moscova, 1960.
- [121] \*\*\* Voprosî tehnologii mașinostroienii. Edit. Mașghiz, Moskova, nr.63 1956.
- [122] \*\*\* Voprosî tocinosti i nadejnosti v mașinostroienii. Izdatelistvo Akademii Nauk SSSR, Moscova, 1962.
- [123] \*\*\* STAS 2672/88. Mașini de rectificat rotund exterior. Prescripții de precizie.
- [124] \*\*\* Informatique et métrologie. Palpeur tip Rénishaw sur CN Machine à mesurer tridimensionnelle. Collection A. Capliez, 1994.
- [125] \*\*\* Utilisation de la machine à mesurer tridimensionnelle. Colection A. Capliez, 1994.
- [126] \*\*\* Complet electronic pentru controlul activ al suprafețelor continui tip CAS C-2E.

## ANALIZA STATISTICA A DATELOR EXPERIMENTALE SUB MEDIUL STATGRAPHICS

Pentru interpretarea datelor experimentale realizate la studiul pe stand a sistemului de control activ de pe masina de rectificat rotund RRR s-a utilizat un program software de analiza statistica care admite mai multe proceduri . Determinat de scopul incercarilor de a releva valori ale preciziei de prelucrare atat in conditii clasice adica fara control activ si in conditii de utilizare sau nu a comenzii adaptive, s-au utilizat doua proceduri ale programului :

- Testarea tipului de distributie statistica (*Distribution Fitting*),
- Compararea esantioanelor prin doua proceduri grafice respectiv : cutii cu mustati (*Multiple Box-and-Wisker Plot*) si cutii crestate cu mustati (*Notched Box-and-Wisker Plot*).

Primul test realizeaza implicit reprezentarea histogramelor de frecventa permitand programarea numarului de clase astfel incat sa se elimine implicit valorile nesemnificative, respectiv potriveste un tip de distributie ales de catre utilizator , realizand toate testele de validare.

Cel de al doilea procedeu ermite compararea a doua sau mai multe populatii statistice sub aspectul valorii de balans sau centraj , folosind simultan media si mediana , cat si caracteristicile de dispersie.

In continuare se prezinta rezultatele generate de catre program

RFTRANS/fca

Distribution Fitting

-----  
Data: RFTRANS.fca

Distributions available:

(1) Bernoulli	(7) Beta	(13) Lognormal
(2) Binomial	(8) Chi-square	(14) Normal
(3) Discrete uniform	(9) Erlang	(15) Student's t
(4) Geometric	(10) Exponential	(16) Triangular
(5) Negative binomial	(11) F	(17) Uniform
(6) Poisson	(12) Gamma	(18) Weibull

\*\*\*\*

Distribution number: 14

Tabulation Input Panel

-----  
Primary Variable

Secondary Variable

-----  
Type                    Continuous  
Lower limit        -40  
Upper limit        10  
No. of classes    12

-----  
Type  
Lower limit  
Upper limit  
No. of classes



Length = 100  
 Minimum = -37  
 Maximum = 4

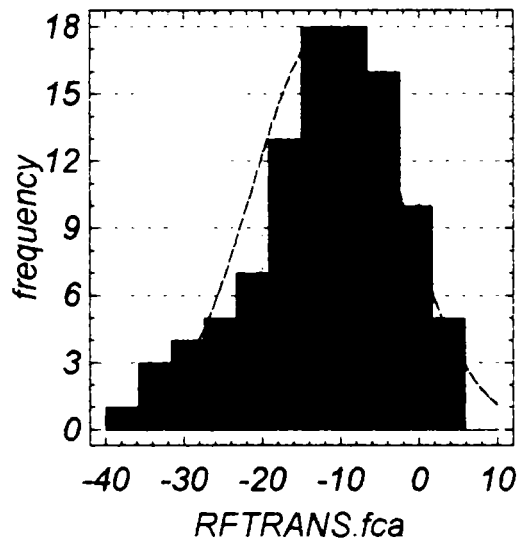
Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

Top Title: Frequency Histogram  
 (2 lines)  
 X-axis title: RFTRANS.fca  
 Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

-----  
 Primary Variable

Secondary Variable

Type Discrete  
 Lower limit -37  
 Upper limit 4  
 No. of classes 42

Type  
 Lower limit  
 Upper limit  
 No. of classes

Length = 100  
 Minimum = -37  
 Maximum = 4

Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	-26.5000		10	6.0	2.6694
	-26.5000	-22.5000	5	7.0	.5674
	-22.5000	-20.5000	3	5.1	.8493
	-20.5000	-18.5000	4	6.2	.7615
	-18.5000	-16.5000	5	7.2	.6506

**CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR  
DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND**

	-16.5000	-14.5000	6	7.9	.4729
	-14.5000	-12.5000	8	8.4	.0199
	-12.5000	-10.5000	10	8.5	.2601
	-10.5000	-8.5000	10	8.2	.3804
	-8.5000	-6.5000	8	7.6	.0206
	-6.5000	-4.5000	8	6.7	.2472
	-4.5000	-2.5000	8	5.7	.9673
	-2.5000	.5000	9	6.4	1.0173
above	.5000		6	9.1	1.0576

Chisquare = 9.94163 with 11 d.f. Sig. level = 0.535645

**RFTRANS/ca**

Distribution Fitting

Data: RFTRANS.ca

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

Distribution number: 14

Mean: -20.31

Standard deviation: 8.45152

Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type Continuous

Type

Lower limit -41

Lower limit

Upper limit 9

Upper limit

No. of classes 12

No. of classes

Length = 100

Length =

Minimum = -39

Minimum =

Maximum = -1

Maximum =

Top Title: Frequency Histogram

(2 lines)

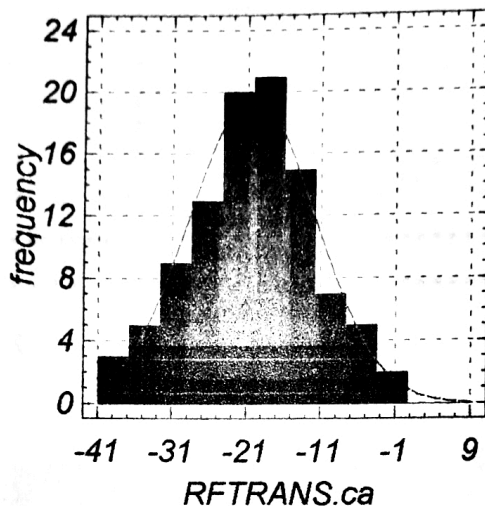
X-axis title: RFTRANS.ca

Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type Discrete  
 Lower limit -39  
 Upper limit -1  
 No. of classes 39

Type  
 Lower limit  
 Upper limit  
 No. of classes

Length = 100  
 Minimum = -39  
 Maximum = -1

Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	-33.500	-30.500	7	5.9	.193026
	-33.500	-28.500	6	5.5	.052065
	-30.500	-26.500	4	5.2	.288927
	-28.500	-24.500	7	6.6	.028151
	-26.500	-22.500	6	7.8	.418246
	-24.500	-20.500	10	8.8	.171307
	-22.500	-18.500	10	9.3	.048683
	-20.500	-16.500	6	9.4	1.215764
	-18.500	-14.500	9	8.9	.000820
	-16.500	-12.500	11	8.0	1.110404
	-14.500	-10.500	6	6.8	.098150
	-12.500	-7.500	6	5.5	.048472
	-10.500		5	5.8	.112326
above	-7.500		7	6.5	.041780

Chisquare = 3.82812 with 11 d.f. Sig. level = 0.974678

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND

RFTRANS/erori

Multiple Box-and-Whisker Plot

Data: RFTRANS1.erori

Level codes: RFTRANS1.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

Notched Box-and-Whisker Plot

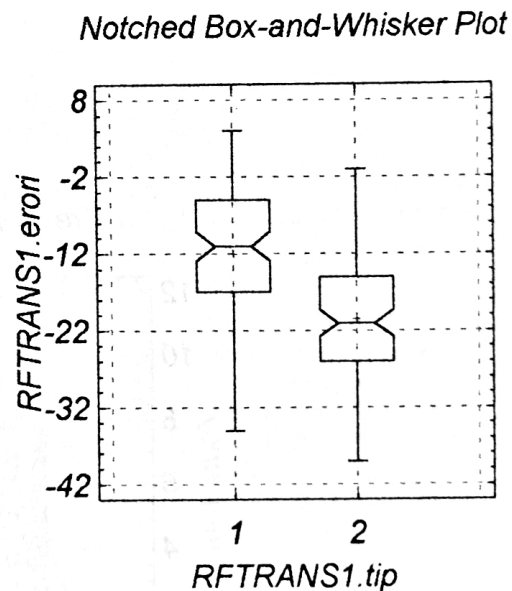
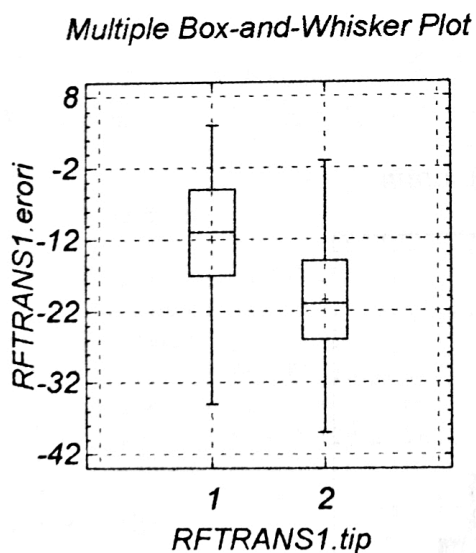
Data: RFTRANS1.erori

Level codes: RFTRANS1.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes



RFLONGPP/fca

Distribution Fitting

Data: RFLONG.fca

Distributions available:

- |               |                |                |
|---------------|----------------|----------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta       | (13) Lognormal |
| (2) Binomial  | (8) Chi-square | (14) Normal    |



CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR  
DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND

Primary Variable

Secondary Variable

Type                    Continuous  
Lower limit            0  
Upper limit            40  
No. of classes        17

Type  
Lower limit  
Upper limit  
No. of classes

Length = 50  
Minimum = 8  
Maximum = 33

Length =  
Minimum =  
Maximum =

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	11.765	11.765	5	7.0	.59447
	11.765	14.118	11	5.7	5.00184
	14.118	16.471	7	7.4	.02552
	16.471	18.824	8	8.2	.00597
	18.824	21.176	6	7.7	.36289
	21.176	23.529	4	6.0	.68531
above	23.529		9	7.9	.14687

Chisquare = 6.82288 with 4 d.f.    Sig. level = 0.145549

**RFLONG/ca**

Distribution Fitting

Data: RFLONG.ca

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

Distribution number: 14

Mean: 19.22

Standard deviation: 5.74382

Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type                    Continuous  
Lower limit            0  
Upper limit            40

Type  
Lower limit  
Upper limit

No. of classes 12

No. of classes

Length = 50  
 Minimum = 9  
 Maximum = 35

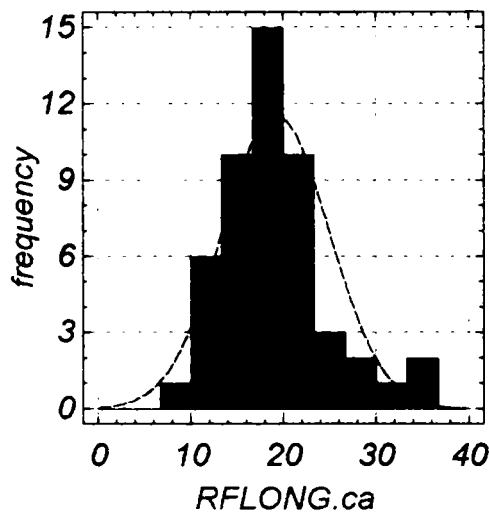
Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

Top Title: Frequency Histogram  
 (2 lines)  
 X-axis title: RFLONG.ca  
 Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type Continuous  
 Lower limit 0  
 Upper limit 40  
 No. of classes 17

Type  
 Lower limit  
 Upper limit  
 No. of classes

Length = 50  
 Minimum = 9  
 Maximum = 35

Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

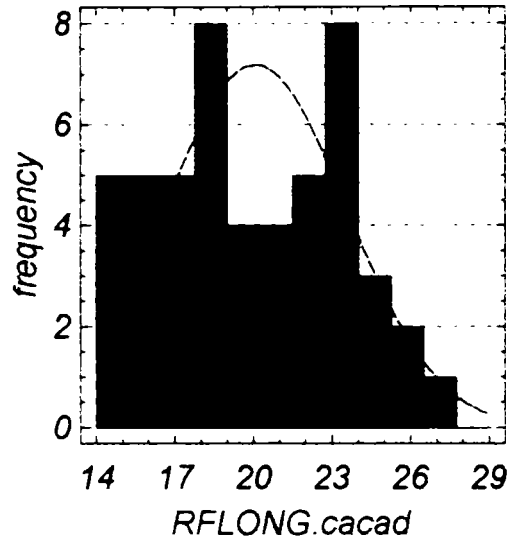
Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	14.118	16.471	10	9.4	.04388
	14.118	16.471	7	6.4	.04779





Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

```

-----
Primary Variable                               Secondary Variable
-----
Type      Continuous                          Type
Lower limit 14                               Lower limit
Upper limit 29                               Upper limit
No. of classes 17                          No. of classes

Length = 50                                  Length =
Minimum = 15                                 Minimum =
Maximum = 27                                Maximum =
    
```

.....  
Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	15.765	17.529	5	5.3	.0214
	17.529	19.294	8	6.2	2.3023
	19.294	20.176	4	9.0	.1038
	20.176	21.941	4	5.0	.2129
	21.941	23.706	9	9.7	3.3123
above	23.706		10	7.4	.3498
				7.4	.9151

-----  
Chisquare = 7.21757 with 4 d.f. Sig. level = 0.124828

RFLONGPP/erori

Multiple Box-and-Whisker Plot

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND

Data: RFLONG1.erozi

Level codes: RFLONG1.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

Notched Box-and-Whisker Plot

Data: RFLONG1.erozi

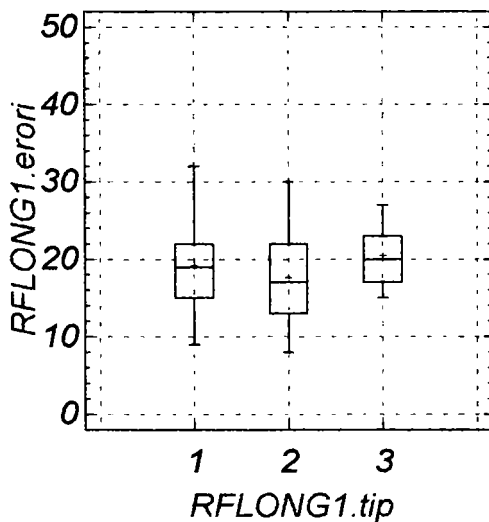
Level codes: RFLONG1.tip

Labels:

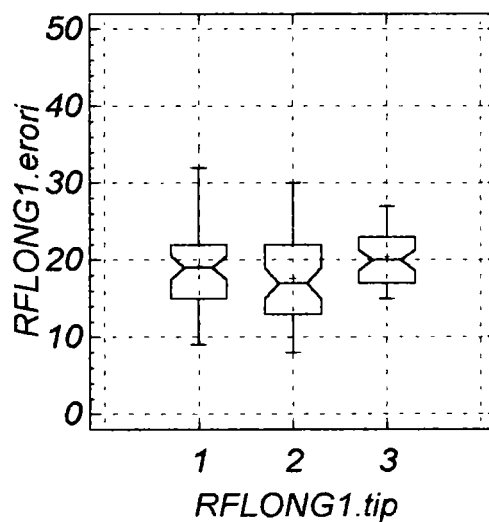
Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

Multiple Box-and-Whisker Plot



Notched Box-and-Whisker Plot



RFLONGM/fca

Distribution Fitting

Data: RFLONGM.fca

Distributions available:

- |                      |                  |                  |
|----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli        | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial         | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric        | (10) Exponential | (16) Triangular  |

(5) Negative binomial (11) F (17) Uniform  
 (6) Poisson (12) Gamma (18) Weibull

Distribution number: 14

Mean: 21.88

Standard deviation: 4.80068

.....  
 Tabulation Input Panel

-----  
 Primary Variable Secondary Variable  
 -----

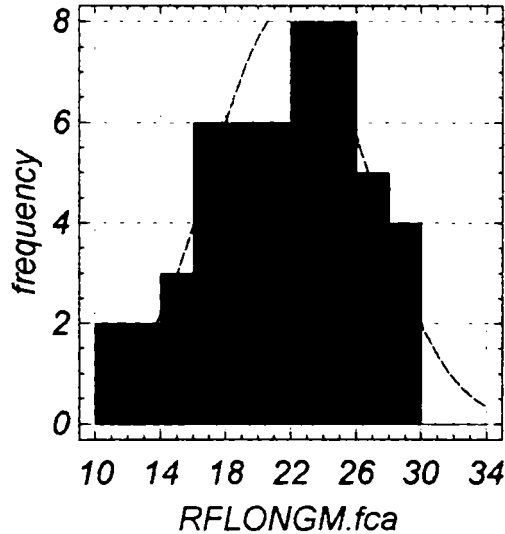
Type	Continuous	Type
Lower limit	10	Lower limit
Upper limit	34	Upper limit
No. of classes	12	No. of classes

Length = 50	Length =
Minimum = 11	Minimum =
Maximum = 30	Maximum =

Top Title: Frequency Histogram  
 (2 lines)  
 X-axis title: RFLONGM.fca  
 Y-axis title: frequency

Cumulative: No Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

-----  
 Primary Variable Secondary Variable  
 -----

Type	Continuous	Type
------	------------	------

**CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR  
DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND**

Lower limit 10  
Upper limit 34  
No. of classes 17

Lower limit  
Upper limit  
No. of classes

Length = 50  
Minimum = 11  
Maximum = 30  
Chisquare Test

Length =  
Minimum =  
Maximum =

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		17.059	10	7.9	.5696
	17.059	19.882	6	9.1	1.0289
	19.882	21.294	6	5.6	.0232
	21.294	22.706	3	5.8	1.3836
	22.706	24.118	8	5.6	1.0742
	24.118	26.941	8	8.7	.0617
above	26.941		9	7.3	.3990

Chisquare = 4.54022 with 4 d.f. Sig. level = 0.337805

**RFLONGM/ca**

Distribution Fitting

Data: RFLONGM.ca

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

Distribution number: 14

Mean: 19.6

Standard deviation: 4.91146

Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type Continuous  
Lower limit 10  
Upper limit 34  
No. of classes 12

Type  
Lower limit  
Upper limit  
No. of classes

Length = 50  
Minimum = 11  
Maximum = 30

Length =  
Minimum =  
Maximum =

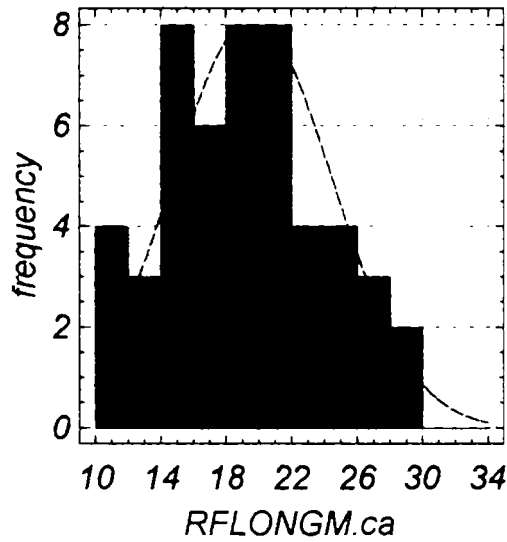
Top Title: Frequency Histogram  
(2 lines)

X-axis title: RFLONGM.ca  
 Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type Continuous  
 Lower limit 10  
 Upper limit 34  
 No. of classes 17

Type  
 Lower limit  
 Upper limit  
 No. of classes

Length = 50  
 Minimum = 11  
 Maximum = 30

Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		14.235	7	6.9	.00255

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERISTICILOR METROLOGICE ALE SISTEMELOR  
DE CONTROL ACTIV PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND

	14.235	17.059	11	8.3	.91340
	17.059	18.471	3	5.3	1.01936
	18.471	19.882	4	5.7	.50355
	19.882	21.294	8	5.6	1.02836
	21.294	22.706	4	5.1	.22773
	22.706	25.529	6	7.5	.29828
above	25.529		7	5.7	.30506

Chisquare = 4.29829 with 5 d.f. Sig. level = 0.507316

RFLONGM/cacad

Distribution Fitting

Data: RFLONGM.cacad

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

Distribution number: 14

Mean: 20.28

Standard deviation: 3.39892

Tabulation Input Panel

Primary Variable

Secondary Variable

Type                      Continuous  
Lower limit            14  
Upper limit            29  
No. of classes        12

Type  
Lower limit  
Upper limit  
No. of classes

Length = 50  
Minimum = 15  
Maximum = 27

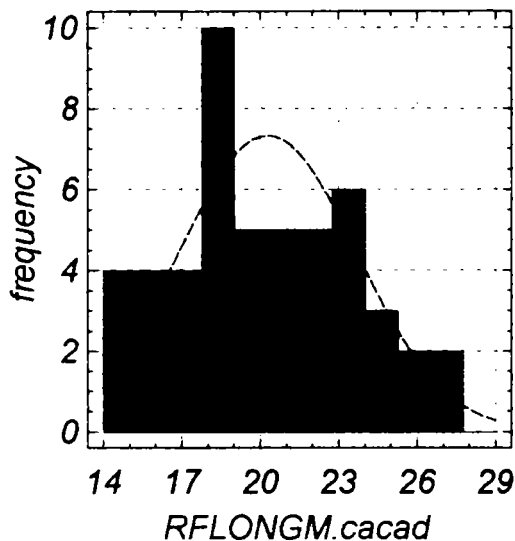
Length =  
Minimum =  
Maximum =

Top Title:        Frequency Histogram  
(2 lines)  
X-axis title: RFLONGM.cacad  
Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

Primary Variable		Secondary Variable	
Type	Continuous	Type	
Lower limit	14	Lower limit	
Upper limit	29	Upper limit	
No. of classes	17	No. of classes	
Length =	50	Length =	
Minimum =	15	Minimum =	
Maximum =	27	Maximum =	

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		16.647	8	7.1	.10658
	16.647	18.412	9	7.4	.32922
	18.412	20.176	10	9.8	.00299
	20.176	21.059	5	5.1	.00374
	21.059	22.824	5	9.1	1.85600
	22.824	24.588	6	6.2	.00866
above	24.588		7	5.1	.68673

Chisquare = 2.99392 with 4 d.f. Sig. level = 0.558844

RFLONGM/erori

Multiple Box-and-Whisker Plot

Data: RFLONGME.erori

Level codes: RFLONGME.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

Notched Box-and-Whisker Plot

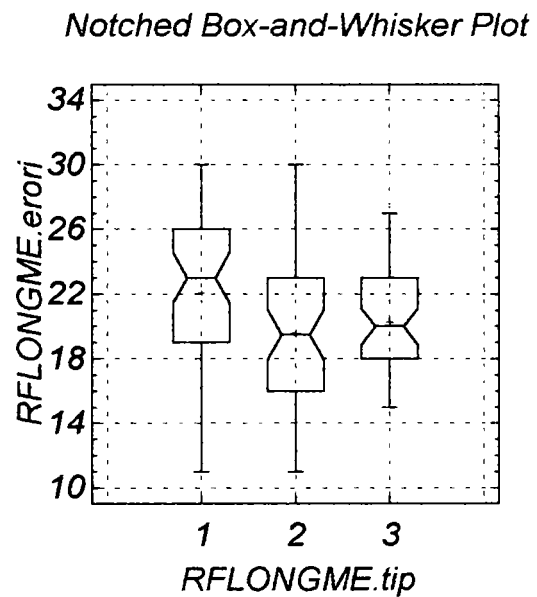
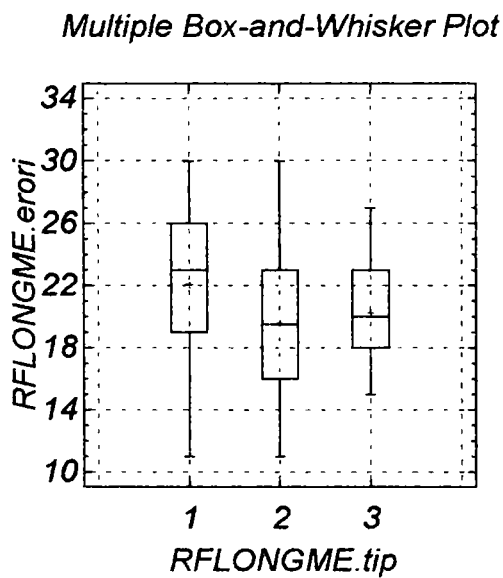
Data: RFLONGME.erori

Level codes: RFLONGME.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes



RFLONGPM/fca

Distribution Fitting

Data: RFLONGPM.fca

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

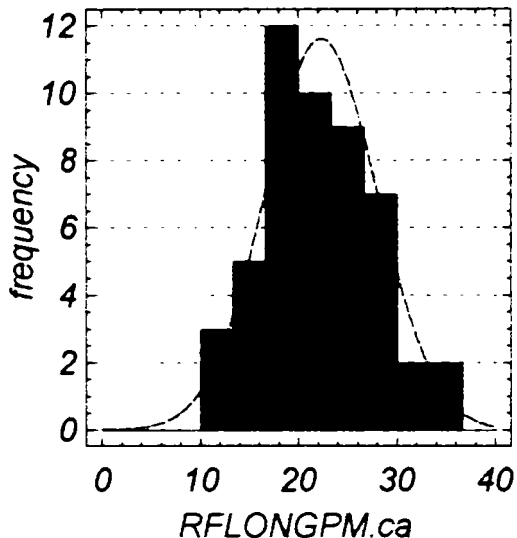
Distribution number: 14







Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

Primary Variable		Secondary Variable	
Type	Continuous	Type	
Lower limit	0	Lower limit	
Upper limit	40	Upper limit	
No. of classes	17	No. of classes	
Length =	50	Length =	
Minimum =	11	Minimum =	
Maximum =	35	Maximum =	

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		16.471	8	7.7	.01434
	16.471	18.824	4	5.9	.59160
	18.824	21.176	12	7.5	2.68470
	21.176	23.529	6	8.1	.56431
	23.529	25.882	6	7.5	.29101
	25.882	28.235	6	5.8	.00636
above	28.235		8	7.5	.02895

Chisquare = 4.18125 with 4 d.f. Sig. level = 0.382031

RFLONGPM/cacad

Distribution Fitting

Data: RFLONGPM.cacad

Distributions available:

- |                       |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli         | (7) Beta         | (13) Lognormal   |
| (2) Binomial          | (8) Chi-square   | (14) Normal      |
| (3) Discrete uniform  | (9) Erlang       | (15) Student's t |
| (4) Geometric         | (10) Exponential | (16) Triangular  |
| (5) Negative binomial | (11) F           | (17) Uniform     |
| (6) Poisson           | (12) Gamma       | (18) Weibull     |

Distribution number: 14

Mean: 21.34

Standard deviation: 3.57777

.....  
Tabulation Input Panel

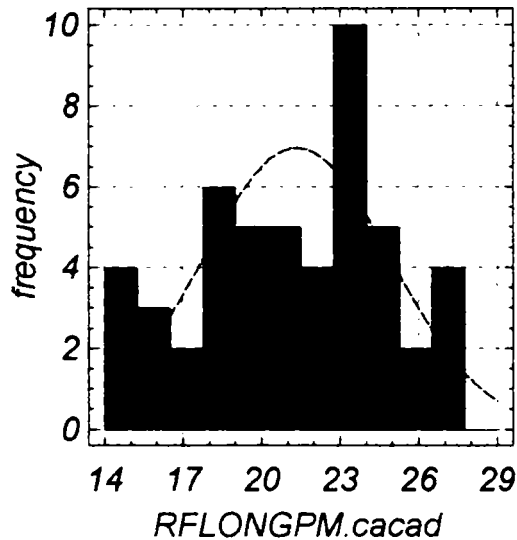
Primary Variable		Secondary Variable	
Type	Continuous	Type	
Lower limit	14	Lower limit	
Upper limit	29	Upper limit	
No. of classes	12	No. of classes	
Length =	50	Length =	
Minimum =	15	Minimum =	
Maximum =	27	Maximum =	

Top Title:      Frequency Histogram  
 (2 lines)  
 X-axis title: RFLONGPM.cacad  
 Y-axis title: frequency

Cumulative: No

Relative: No

Frequency Histogram



Tabulation Input Panel

-----  
 Primary Variable

Secondary Variable  
 -----

Type                    Continuous  
 Lower limit        14  
 Upper limit        29  
 No. of classes    17

Type  
 Lower limit  
 Upper limit  
 No. of classes

Length = 50  
 Minimum = 15  
 Maximum = 27

Length =  
 Minimum =  
 Maximum =

.....  
 Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		17.529	9	7.2	.4665
	17.529	19.294	6	7.0	.1468
	19.294	21.059	10	9.2	.0611
	21.059	22.824	4	9.6	3.2719
	22.824	24.588	10	7.9	.5817
above	24.588		11	9.1	.3975

-----  
 Chisquare = 4.92552 with 3 d.f.    Sig. level = 0.177333

RFLONGPM/erori

Multiple Box-and-Whisker Plot

-----  
 Data: RFLOPMER.erori

Level codes: RFLOPMER.tip

Labels:

Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

.....  
Notched Box-and-Whisker Plot

-----  
Data: RFLOPMER.erori

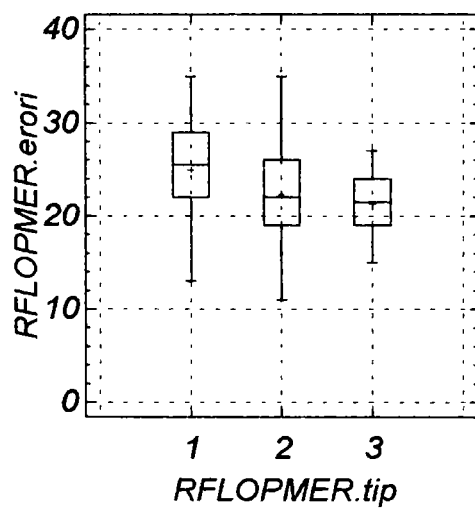
Level codes: RFLOPMER.tip

Labels:

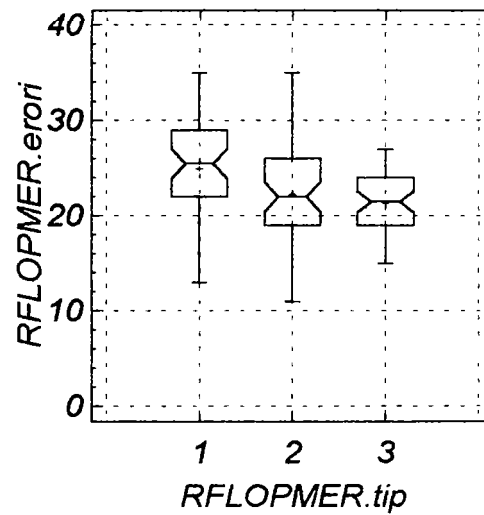
Flag outside points: Yes

Mark means: Yes

*Multiple Box-and-Whisker Plot*



*Notched Box-and-Whisker Plot*



## C U P R I N S

	Pag.
<b>1. INTRODUCERE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL CONTROLULUI ACTIV.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ANALIZA FACTORILOR CARE INFLUENȚEAZĂ PRECIZIA DE PRELUCRARE PE MAȘINI DE RECTIFICAT .....</b>	<b>7</b>
3.1. Procedee la rectificarea rotundă exterioară și repartiția adaosului de prelucrare .....	7
3.1.1. Influența preciziei geometrice a mașinii .....	11
3.1.2. Influența preciziei de lucru a mașinii .....	13
3.1.2.1. Influența rigidității STE asupra preciziei .....	15
3.1.2.2. Forțele la rectificarea rotundă exterioară între vârfuri..	23
3.1.2.3. Abaterile de precizie dimensională de formă și de calitatea suprafețelor la rectificarea rotundă exterioară	24
3.1.3. Influența regimului de așchiere .....	26
3.1.3.1. Influența vitezei periferice a discului de rectificare asupra preciziei și calității suprafeței .....	26
3.1.3.2. Influența adâncimii și a avansului de pătrundere .....	28
3.1.3.3. Influența avansului longitudinal .....	28
3.1.4. Influența regimului de corecție a pietrei .....	29
3.1.5. Influența deformațiilor termice .....	30
3.1.5.1. Metodă pentru calculul temperaturii în procesul de rectificare .....	31
3.1.6. Influența vibrațiilor .....	46
3.1.7. Influența lichidelor de răcire-ungere .....	53
3.1.8. Influența sistemului de control activ .....	55
3.2. Determinarea regimului optim care asigură precizia impusă la rectificare .....	57
<b>4. CICLURILE DE PĂTRUNDERE ALE PIETREI LA RECTIFICĂRILE CU CONTROL ACTIV .....</b>	<b>68</b>
4.1. Analiza ciclului de pătrundere la rectificarea rotundă exterioară, influența fazelor ciclului asupra capacității productive și calității pieselor rectificate .....	68
4.2. Variante ale ciclului de pătrundere a pietrei și posibilități de conducere prin sistemul de control activ .....	73

	Pag.
<b>5. SISTEME DE CONTROL ACTIV UTILIZATE PE MAȘINI DE RECTIFICAT ROTUND EXTERIOR ÎNTRE VÂRFURI .....</b>	78
5.1. Stadiul actual al sistemelor de control activ .....	78
5.2. Clasificarea și structura sistemelor de control activ .....	79
5.3. Sisteme actuale de control activ pe mașini de rectificat .....	86
5.3.1. Sisteme de control activ cu contacte și traductoare inductive	87
5.3.2. Sisteme de control activ cu traductoare pneumatice .....	91
5.3.3. Sisteme de control activ cu traductoare pe bază de izotopi radioactivi .....	97
5.3.4. Complet electronic pentru controlul activ al suprafețelor continui .....	99
<b>6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE .....</b>	105
6.1. Scopul cercetarilor experimentale .....	105
6.2. Asigurarea preciziei dimensiunilor prin comanda reinstalării automate a pietrei de rectificat .....	105
6.3. Măsurarea componentelor $F_x$ și $F_y$ în procesul de rectificare rotundă exterioară între vârfuri .....	111
6.4. Determinarea rigidităților subansamblurilor mașinii de rectificat RE350CA .....	119
6.5. Rugozitatea suprafeței și temperatura de contact dintre piatră și piesă .....	121
6.6. Prezentarea standului .....	124
6.6.1. Mașina de rectificat RE350CA .....	126
6.6.2. Parametrii pietrei abrazive .....	128
6.6.3. Sistemul de răcire - ungere .....	128
6.6.4. Semifabricatele supuse rectificării .....	129
6.6.5. Asigurarea condițiilor pentru desfasurarea rectificării.....	129
6.7. Precizia dimensională și de formă a pieselor rectificate .....	130
<b>7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE .....</b>	145
7.1. Concluzii generale .....	145
7.2. Contribuții originale .....	147
7.3. Recomandări privind realizarea celui mai eficient proces de rectificare rotundă exterioară între vârfuri .....	149
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	151
<b>ANALIZA STATISTICĂ A DATELOR EXPERIMENTALE SUB MEDIUL STATGRAPHICS –ANEXA.....</b>	161
<b>CUPRINS .....</b>	184