

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. PĂMÎNTAȘ EUGEN

OPTIMIZAREA OPERAȚIEI DE STRUNJIRE ȘI A  
PARAMETRILOR DE REGIM ÎN CONDIȚIILE  
CONDUCERII AUTOMATE A CICLULUI DE LUCRU

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

Prof.dr.ing. AUREL DREUCEAN

TIMIȘOARA 1999

623.736  
181 C

# 1. INTRODUCERE

Un obiectiv important al tranziției economiei românești către economia de piață este restructurarea tehnologică și managerială a întreprinderilor constructoare de mașini, implementarea unei gândiri tehnice și economice orientate către eficiența maximă a efortului material și intelectual.

Atingerea acestui obiectiv este posibilă doar printr-o abordare sistemică a procesului tehnologic și a echipamentului tehnologic care are anumite elemente și o anumită organizare a acestora, cu legături funcționale bine precizate între elemente și cu un scop clar definit – rentabilizarea oricărei activități productive în general și în particular a activităților din domeniul tehnologiei construcțiilor de mașini. Considerând procesul tehnologic ca sistem și analizându-l în conformitate cu legile generale ale cercetării sistemice, rezultă că structura sistemului tehnologic de prelucrare din construcția de mașini (STP – CM) – fig.1.1[B10] - este formată din două componente subsistemice: subsistemul om (OM) și subsistemul tehnologic (TH). La rândul său subsistemul TH are în componență două subsisteme, unul tehnic (Th) și celălalt al semifabricatului (Sf). Subsistemul Th, la rândul său, are trei componente subsistemice: al mașini -unelte (MU), al sculei așchietoare (SA) și al dispozitivelor de orientare și fixare a semifabricatului (DOF).

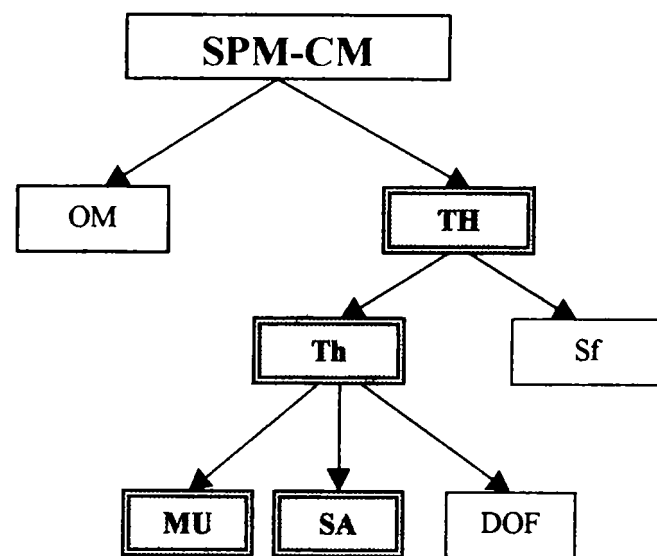


Fig. 1.1  
Structura sistemului tehnologic de producție  
din construcția de mașini

Precizările anterioare sunt făcute cu scopul de a delimita sfera preocupărilor prezentei lucrări și anume cercetarea procesului tehnologic de strunjire, cu scopul declarat de eficientizare a acestuia. Prin urmare, obiectul studiului este componenta tehnologică ( TH) cu subsistemele Th (MU și SA) și Sf, văzute ca principale elemente care interacționează în procesul de așchiere (PA).

Conform teoriei unitare a mașinilor [R5] și clasificării mașinilor după scopul lor, MU este o mașină ciclică antoare (antrenată de o mașină motoare) de tip mașină de lucru a cărei energie, sub formă de lucru mecanic neacumulabil și nerecirculabil, este transformată în sensul de a produce o sursă de energie finală

inextensibilă care încheie lanțul de transformări energetice cu scopul de a executa prelucrări tehnologice.

Privite astfel, pe plan mondial MU continuă să fie în prezent un domeniu în care noutățile de principiu, sau de soluție constructivă, sunt într-o permanentă evoluție. Astfel, MU așchietoare convenționale erau dotate inițial doar cu echipamente tehnologice (ET) care urmăreau numai controlul dimensional al pieselor și atunci doar la operațiile de finisare. Apariția acum patru decenii a comenzii numerice (CN) a constituit un moment esențial în evoluția construcției de MU. Acest lucru a făcut posibilă rezolvarea automatizării deplasărilor la dimensiune prin așa numitul “ciclu al cotelor”, precum și instalarea automată prin programul care conține cotele și a unor valori discrete ale parametrilor regimului de așchiere (numit și regim de lucru al MU) într-o succesiune precis anticipată. Necesitățile practice din industriile aerospațiale, nucleare și de armament au dus la o dezvoltare intensă a comenzilor numerice și la o mare diversitate a sistemelor realizate și experimentate. Acestea și-au găsit aplicabilitate atât în comenzile MU cât și în gestiunea datelor de comandă: programarea producerii datelor de comandă, programarea pieselor, culegerea datelor pentru programarea pieselor, stocarea datelor etc.

La sfârșitul anilor '60 era deja fezabilă instalarea unor microcomputere pe MU astfel încât aceasta putea fi programată operativ în procesul de producție. Acestea sunt MU dotate cu CNC (controlate numeric prin computer). În ultimii ani a devenit posibilă programarea MU “direct” de la distanță prin intermediul unui panou. În acest fel “comanda numerică directă” (DNC) a devenit un subsistem al producției în care programatorii creează programe într-un spațiu centralizat și-l trimit către una sau mai multe MU prin intermediul circuitelor de legătură ale DNC. Până la celulele flexibile de fabricație (FMC) și sistemele flexibile de fabricație (FMS) nu a mai fost decât un pas, pas ce a prefigurat direcțiile viitoare de cercetare în domeniu, direcții care converg către sistemele de fabricație integrate (CIM) – visul tehnic al secolului următor - care înglobează toate cuceririle științifice și practice de până acum dar și pe cele existente în stadiu de concepție (CAD, CAM, APT, CAPP, CAPS, CSG, ISIS, MAP, MCL, RAPT, AI, ACC, ACO etc., (vezi dicționarul de acronime).

Comanda după program, care a constituit un progres esențial la timpul său și a deschis calea către CIM, suferă încă de importante dezavantaje care nu au putut fi înlăturate și care pot fi rezumate astfel:

a) – pregătirea programului necesită un volum mare de calcule și operații, acestea având la bază un important volum de informații apriorice despre Sf, SA, condițiile concrete de lucru, volumul producției, informații economice etc.;

- b) – datele utilizate în calcule sunt stabilite cu inevitabile aproximări datorate coeficienților și exponenților specifici relațiilor experimentale din teoria așchierii precum și diversității cazurilor tehnologice concrete asociate necunoașterii exacte a proceselor și materialelor;
- c) – efectele uzurii normale a sculelor așchietoare provoacă variația cotelor piesei, a forțelor de așchiere etc., dar toate încercările de predicție a uzurii, având ca bază cercetările lui Taylor (1907) în domeniu, au un grad insuficient de încredere și repetabilitate;
- d) – variațiile dimensiunilor semifabricatului sunt imprevizibile și deci neprogramabile, motiv pentru care sunt luate în calcul dimensiuni maxime pentru adâncimea de așchiere, consimțind dintr-un început la rezultate economice neperformante.

Doar dezavantajele mai sus menționate, precum și pericolul ca erorile să conducă la defecte sau rebuturi de prelucrare, determină de regulă admiterea unor mari rezerve de siguranță în stabilirea parametrilor regimului de așchiere. Aceste rezerve determină, în cele mai multe cazuri, o încărcare a MU cu CN sau DNC mult inferioară celor convenționale similare, cu efecte economice nesatisfăcătoare.

Introducerea MU dotate cu sisteme de conducere automată a ciclului de lucru, înlătură total sau parțial dezavantajele de mai sus prin sistemul cu buclă închisă pe care îl conțin. Acest sistem de conducere automată numit comandă adaptivă (CA) are rolul de a calcula și a menține în mod automat o combinație optimă de valori ale parametrilor de așchiere, pe baza determinării valorilor pentru toți parametrii sau numai pentru o parte dintre aceștia. Această funcțiune este realizată de CA, în timpul desfășurării PA, pe baza măsurării parametrilor care asigură realizarea scopului propus. Ca regim de prelucrare, CA poate conduce PA fie la nivelul unei optimizări (ACO – comandă adaptivă de optimizare), fie la cel de a menține anumiți parametri în limite aprioric stabilite (ACC – comandă adaptivă cu constrângeri).

Prin funcția sa, CA este deosebit de eficientă în cazul producției individuale și de serie mică, la prelucrări complexe cu o mare diversitate a încărcării așa cum se întâmplă în situația centrelor de prelucrare (CP) din compunerea FMC, FMS și deci a CIM. De fapt, pe linia evoluției construcției de MU prezentată anterior, etapa următoare, care deja se conturează, aparține CP cu CA înglobate în CIM, previzionate ca fiabile prin anii 2020 [W1]. Studiarea CA pentru MUCN este oportună pentru că ea este capabilă să asigure MU o utilizare mai intensivă și deci mai rațională, să-i pună în valoare toate acumulările din domeniul performanțelor soluțiilor constructive și-i dă posibilitatea de a micșora erorile dinamice. Faptul că MUCN au deja ciclul automatizat, acționări continuu reglabile și CN pentru “ciclul



cotelor”, ușurează în mare măsură introducerea CA la aceste mașini. În principiu însă, domeniul de aplicabilitate al CA este mult mai mare, deoarece acest gen de sisteme sunt deja folosite și la MU cu CNC și DNC, lucru care are ca rezultat creșterea eficienței, a durabilității sculelor și a capacității de producție, în special în cadrul producției flexibile.

În țara noastră preocupările constructorilor de MU și în special a cercetătorilor în domeniu se încadrează în contextul general al efortului făcut pe plan mondial în direcția introducerii CN - și mai recent a CA - în structura celor mai diverse utilaje și echipamente tehnologice. Activitatea desfășurată în sensul realizării de noi sisteme de CN și CA pentru MU s-a bucurat de o atenție deosebită în perioada anilor 1974-1985, când contribuția autohtonă în domeniu urmărea îndeaproape realizările pe plan mondial.

Înscriindu-se în efortul general al constructorilor din domeniul MU, activitatea colectivului de MU din cadrul U.P. Timișoara a deținut o poziție de vârf chiar pe plan mondial în anii '60 ca urmare a cercetărilor asupra CA la MU făcute sub conducerea regretatului prof.dr.ing. Eugen Dodon [D4]. Cercetările desfășurate de colectivul amintit (la care autorul prezentei lucrări a participat ocazional și nu numai ca martor) au urmărit printre altele: soluționarea bazei tehnologice a CA, optimizarea regimului de lucru ținând cont de limitările date de durabilitatea sculelor și modul de încărcare a MU în diferite cazuri de prindere a piesei, introducerea și definirea de noi noțiuni ( forță de referință -  $F_{ref}$ , forță de strângere axială a piesei -  $F_{st}$  etc.), multe din ele netratate până la acea dată de literatura de specialitate [D4], [D5], [D6], [G1],[G7], [L3], [S16], [U1], [V3].

În prezent sistemele de CA propuse de firmele constructoare și de cele de cercetare în domeniul așchierii pe MU pornesc de la anumite valori inițiale introduse de regulă prin programare. Indiferent de numărul parametrilor procesului de așchiere ( de exemplu componenta forței de așchiere  $F_c$ ), valorile acestora sunt stabilite prin pregătirea tehnologică efectuată anterior începerii prelucrării. O astfel de abordare a CA simplifică într-un grad insuficient munca tehnologului și a programatorului, nereușind decât o cercetare a unor mărimi de referință stabilite de cele mai multe ori arbitrar sau în condiții de insuficiență și reală cunoaștere a fenomenului de așchiere.

Rezultă deci că, în realitatea actuală, problema fundamentală a unei CA o constituie stabilirea unei mărimi de referință care să asigure funcționarea MU în domeniul permis acesteia. De exemplu, forța de așchiere de referință ( $F_{cref}$ ) constituie o “funcție tehnologică” care trebuie să țină cont de capacitatea de producție, de precizia de lucru, de stabilitatea procesului de așchiere precum și de toate condițiile restrictive, inclusiv natura operației executate pe MU.

Prezenta lucrare se ocupă de elucidarea unor aspecte tehnologice ale prelucrării prin strunjire în scopul declarat de a facilita calculul sau alegerea parametrilor regimului de lucru în condiții de optim economic. În acest domeniu colectivul de cercetare din cadrul U.P. Timișoara deține câteva priorități pe plan mondial iar teza aceasta are menirea de a fundamenta pe baze științifice și experimentale anterioarele rezultate, de a explora aspectele tehnologice insuficient aprofundate sau neglijate cu bună știință, de a prezenta viitoarele căi de cercetare în domeniu dar și, lucru deloc de neglijat, de a arăta și drumurile înfundate, cele pe care, cel puțin în acest stadiu al dezvoltării tehnicii mondiale, nu are rost să se irosească munca de cercetare.

Teza de față a fost începută sub conducerea regretatului prof.dr.ing. E. Dodon, pionier în domeniul CA și finalizată sub conducerea prof.dr.ing. A.Dreucean, cu speranța că rezultatele obținute vor putea fi folosite de sistemele cu CA care vor fi industriale la modă în deceniul 2 al mileniului III, atunci când condițiile industriale vor putea asimila cuceririle științifice ale sfârșitului de mileniu în care ne aflăm.

Autorul speră că modesta sa contribuție în domeniul fundamentării tehnologice a prelucrărilor pe MU, va putea fi utilizată la ridicarea performanțelor obținute la strunjirea pieselor și va furniza baza de date tehnologice necesare conducerii automate a ciclului de lucru.

Totodată, autorul dorește să adreseze și pe această cale mulțumiri conducătorului științific prof.dr.ing. Aurel Dreucean, cunoscut și apreciat specialist în domeniul mașinilor-unelte și al așchierii, pentru răbdarea, atenția și înalta competență cu care l-a îndrumat și sprijinit în finalizarea obiectivelor propuse.

De asemenea, autorul aduce mulțumirile sale post-mortem eminentului dascăl, cercetător și inovator prof.dr.ing. Eugen Dodon, părinte al domeniului sub îndrumarea căruia a realizat primii pași în cercetarea științifică, precum și tuturor colegilor din Catedra de T.C.M. de la Facultatea de Mecanică din cadrul Universității "Politehnica" Timișoara, pentru sfaturile și ajutorul efectiv acordat pe tot parcursul efectuării lucrării de doctorat.

## 2. ANALIZA SOLUȚIILOR DE OPTIMIZARE EXISTENTE LA STRUNJIRE

### 2.1. Precizarea criteriilor și etapelor optimizării regimurilor de așchiere.

#### 2.1.1. Obiectul studiului.

Eficiența activității economice trebuie urmărită în oricare stadiu de existență a unui proces, tehnologie sau produs, una din căile de atingere a acestei finalități fiind optimizarea proceselor tehnologice sau tehnologiilor.

Optimizarea proceselor tehnologice sau a tehnologiilor este posibilă doar ca urmare a unei asidue cercetări științifice, orientată spre alegerea mijloacelor tehnice necesare atât vechilor procese tehnologice insuficient de performante cât și noilor procese tehnologice prefigurate de direcțiile dezvoltării producției materiale, a progresului tehnico-științific în general. Optimizarea trebuie bazată pe principiul praxeologic esențial – principiu economicității sau a variantelor sale echivalente – principiu productivității maxime (al efectului maxim) respectiv principiu consumului minim de mijloace (al economicității mijloacelor).

Prin urmare, marea majoritate a lucrărilor de specialitate conchid că, optimizarea utilizării mijloacelor de acțiune constă în maximizarea gradului de atingere a scopului sau în minimizarea eforturilor materiale și umane, funcție de domeniul de aplicare.

Cerința creșterii producției de bunuri materiale a avut ca urmare perfecționarea continuă a mijloacelor de producție, respectiv a mașinilor-unelte în cadrul industriei constructoare de mașini. Această perfecționare are la bază cunoștințele tehnologice care reprezintă stăpânirea rațională, prin știință, cercetare și experimentare, a fenomenelor care apar în procesul de prelucrare.

Interpretarea ansamblului de fenomene, care apar în complexul proces de generare a traiectoriilor și de formare a suprafețelor prin așchiere, devine real posibilă doar studiind sistemic separat cu legături procesul de așchiere, respectiv dinamica mașinii-unelte, prin prisma evoluției în timp a mărimilor de stare funcție de mărimile de intrare constituite din elementele regimului de așchiere: viteza de așchiere  $v$ , viteza de avans  $f$  și adâncimea de așchiere  $a_p$ .

Stabilirea dependenței între mărimile de stare și cele de intrare ale procesului de așchiere va permite evidențierea unui model matematic al acestuia având la bază tipul mașinii-unelte, dar în special tipul operației de așchiere-strunjire în cazul nostru. Aceasta pentru că în contextul optimizării sistemelor tehnologice fiecare tip de utilaj necesită o examinare particulară [D4], [G7], [G9],

[L3], [U1], [W1] etc., optimul găsindu-se experimental prin aproximări succesive. Mai mult decât în oricare domeniu, în cel pe care-l studiem sintagma că “optimul este un compromis” este adevărată.

Răspunsul subsistemului de prelucrare prin aşchiere la variaţiile mărimilor regimului de aşchiere este reprezentat de variaţia în timp a forţelor, momentelor, puterilor etc. la subsistemul maşină-unealtă, respectiv de precizia şi calitatea suprafeţei piesei, starea sculei aşchietoare evidenţiată de gradul şi viteza de uzură, costurile operaţiei etc.

Caracterul neliniar al modelului procesului de aşchiere face necesară introducerea unor tehnici de alegere a perechilor de mărimi de intrare cât mai adecvate scopurilor propuse ca răspuns.

Data fiind multitudinea de răspunsuri ce trebuie urmărite, pentru selectarea soluţiei optime este necesară precizarea criteriului de optimizare pentru care se doreşte cele mai bune performanţe. Pentru celelalte funcţii de răspuns se stabilesc anumite valori care să asigure derularea procesului. Altfel spus, se impune optimizarea procesului de aşchiere prin găsirea acelor seturi de valori ale elementelor regimului de aşchiere care să extremizeze un parametru de răspuns, numit criteriu de optimizare, în condiţiile unor restricţii impuse celorlalţi parametri ai procesului şi fără a omite faptul că alegerea sculelor şi a condiţiilor de aşchiere este esenţială pentru scopul urmărit, vis-a-vis de performanţele actuale ale strungurilor CNC.

### 2.1.2. Principiile de bază ale optimizării.

Stabilirea celui mai bun regim de aşchiere la prelucrarea unui semifabricat, din mulţimea posibilităţilor, trebuie făcută pe baza principiului optimizării unui criteriu de optimizare impus şi a mai multor relaţii restrictive care restrâng posibilităţile la cele reale.

În literatura de specialitate sunt prezentate mai multe criterii de optimizare a regimurilor de aşchiere: criteriul durabilităţii maxime a sculei, criteriul preţului de cost minim, criteriul capacităţii productive maxime, criteriul preciziei maxime de prelucrare, criteriul încărcării maxime etc. [A4], [B12], [D15], [G1], [G7], [G9], [K3], [K6], [M1,], [P9], [P10], [P30], [R5], [S7] [W1] etc.

Regimul de aşchiere instalat pe maşina-unealtă poate să corespundă, în general, doar unui extrem al unui criteriu de optimizare şi poate să satisfacă şi alte criterii de optimizare şi relaţii de restricţie, dar fără să le atingă indicele de performanţă (extremul).

Dacă pe abscisa unui sistem de coordonate se reprezintă viteza de aşchiere  $v$  relativă la plaja de valori permisă de caracteristicile MU, așa cum se vede în fig. 2.1, se constată că dacă se reprezintă suprapus pe ordonată durabilitatea sculei  $T$ , costul operației  $C_o$  și timpul unitar  $T_u$ , curbele care reprezintă variația acestora funcție de viteză vor avea extreme pentru valori diferite ale vitezei.

Așa cum reiese din [U1] regimurile de aşchiere corespunzătoare capacității productive maxime se vor considera în cazurile de strangulare a producției, lucru care impune utilizarea la maximum a MU.

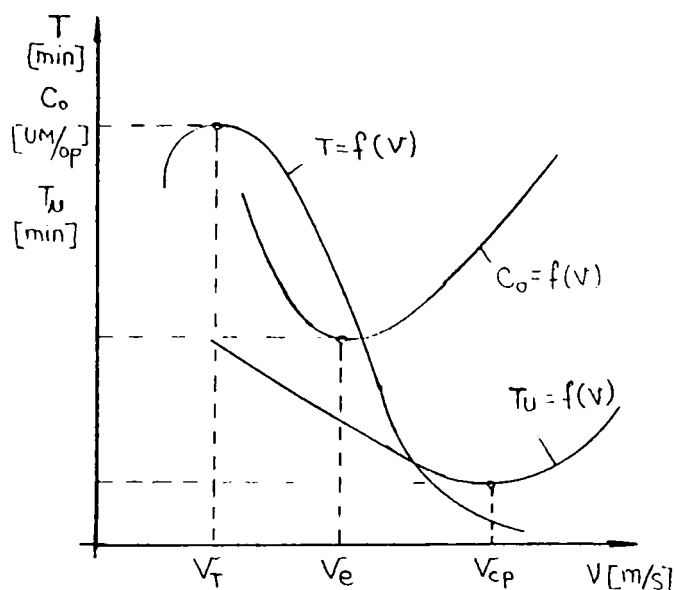


Fig.2.1

Diagrama pentru alegerea parametrului  $v$  funcție de criteriile  $T$ ,  $C_o$ ,  $T_u$  într-un caz general de prelucrare prin aşchiere

După cum se vede în figura 2.1 viteza  $v_{cp}$ , corespunzătoare capacității de producție maxime, constituie o limită superioară a regimului pe mașina-unealtă.

Limita inferioară a regimurilor de aşchiere o constituie acel regim care asigură un extrem al criteriului de optimizare legat de asigurarea durabilității maxime a sculei. Acest criteriu de optimizare se va considera când trebuie să se asigure o economie de scule deficitare, foarte scumpe, profilate complex sau a căror înlocuire este mare consumatoare de timp

auxiliari. După alte cercetări mai noi aceste valori nu oferă cu siguranță o limită inferioară.

În majoritatea cazurilor, regimurile de aşchiere optime se găsesc între aceste două limite amintite. Regimurile economice de aşchiere trebuie să ia în considerare obținerea costului minim al operației, dar cu satisfacerea condițiilor tehnice impuse piesei prin desenul său de execuție.

În general criteriile de optimizare sunt de natură economică sau tehnică și mai rar combinate. Dacă se alege un singur criteriu de optimizare, atunci celelalte criterii apar ca restricții în majoritatea situațiilor. Se cunosc mai multe criterii de optimizare – unele au câte un singur punct de extrem, altele au mai multe extreme locale – din care numai unul este cel căutat.

Pentru orice proces de aşchiere se poate pune problema optimizării dacă criteriul de optimizare permite mai multe soluții din care trebuie selectată soluția optimă.



Variabilele dependente de timp  $X_i(t)$  ale funcției scop  $Y$  sunt numite și variabile de decizie, prin determinarea lor găsindu-se elementele care definesc sistemul.

$$Y=f[X_i(t)] \quad (2.1)$$

Fiind vorba de a stabili relații matematice care reprezintă legături fizice reale între aceste variabile, din punct de vedere matematic, contează atât numărul lor precum și domeniul diferitelor variabile de decizie precizat de relațiile restrictive. Criteriul de optimizare poate cuprinde și termeni care nu depind de variabilele de decizie, acești termeni modifică doar valoarea funcției în punctul de extrem, ca atare la optimizare acești termeni se pot neglija, putându-se trece ușor de la o problemă de maximizare la una de minimizare sau invers.

### 2.1.3. Determinarea condițiilor și relațiilor restrictive.

#### 2.1.3.1. Relația restrictivă a durabilității sculei așchietoare.

Pentru determinarea relației restrictive a durabilității se pleacă de la egalarea relațiilor vitezei economice și a vitezei reale:

$$\frac{C_v}{T^{m_v} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \cdot \pi \cdot K_i = \pi \cdot D \cdot n_1, \quad (2.2)$$

de unde rezultă relația de restricție căutată:

$$T^{m_v} \cdot n_1 \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} = \frac{C_v \cdot \pi \cdot K_i}{\pi \cdot D}. \quad (2.3)$$

#### 2.1.3.2. Relația restrictivă a ritmului liniei tehnologice.

Atunci când procesul tehnologic de prelucrare se desfășoară pe o linie tehnologică în flux continuu, timpul de lucru pe bucată la fiecare operație trebuie să fie mai mic sau cel mult egal cu ritmul liniei tehnologice. Astfel se poate demonstra relația restrictivă:

$$n \cdot a_p \cdot f \geq \frac{l \cdot A_p}{R_e \cdot m_i \cdot K_i - \tau_1}, \quad (2.4)$$

în care:  $R_e$  – ritmul liniei tehnologice, [min];  
 $m_i$  – numărul de mașini-unelte la operația  $i$ ;  
 $K_i$  – coeficientul de încărcare al mașinilor-unelte;



$\tau_1$  – timpul auxiliar cumulat cu cei de deservire și de pregătire-încheiere;

$l$  – lungimea de prelucrat, [mm];

$A_p$  – adaosul de prelucrare care se îndepărtează de pe piesă în operația respectivă, [mm].

### 2.1.3.3. Relația restrictivă a puterii motorului electric.

Puterea motorului electric, respectiv cuplul motor, trebuie să fie egale cu puterea de așchiere plus pierderile de putere, respectiv cu momentul rezistent plus pierderile.

$$P_{em} = P_c + \Sigma P_f, \quad (2.5)$$

$$0,85 \cdot M_{\max} = 0,85 \cdot M_c \cdot \lambda \leq M_{em \max}; \lambda = \frac{M_{\max}}{M_c}. \quad (2.6)$$

Verificarea puterii motorului electric se va face după diagrama puterii de încărcare pe fazele ciclului și aflarea puterii echivalente  $P_{ech}$  (vezi [B10]) pentru evitarea pierderilor de capacitate de producție.

În unele tratate [V3], [V4], [V5] relația restrictivă pentru  $P_{em}$  este mult simplificată și pusă sub forma:

$$n \cdot a_p^{x_p} \cdot f^{y_p} \leq \frac{612 \cdot \eta \cdot P_{em}}{C_{F_i} \cdot \pi \cdot D}. \quad (2.7)$$

### 2.1.3.4. Relația restrictivă a mecanismului de avans.

Această relație are forma:

$$a_p^{x_{p_f}} \cdot f^{y_{p_f}} \leq \frac{F_{av}}{C_{F_f}}, \quad (2.8)$$

în care  $F_{av}$  este forța medie admisă de mecanismul de avans, [daN].

### 2.1.3.5. Relația restrictivă a temperaturii din zona de așchiere.

Această relație are forma:

$$a_p^{x_\theta} \cdot f^{y_\theta} \cdot n_e^{z_\theta} \leq \frac{\theta_a}{C_\theta}, \quad (2.9)$$

în care  $\theta_a$  este temperatura maximă pentru muchia activă a sculei așchietoare, [ $^{\circ}$ C].

### 2.1.3.6. Relația restrictivă a rugozității suprafeței prelucrate.

Această relație este de forma:

$$f^2 \leq 8 \cdot R_z \cdot r_\varepsilon, \quad (2.10)$$

în care  $R_z$  este înălțimea neragularităților [ $\mu\text{m}$ ] iar  $r_\varepsilon$  este raza de rotunjire la vârf a sculei așchietoare [ $\text{mm}$ ].

### 2.1.3.7. Relația restrictivă a adâncimii de așchiere.

Această relație are forma:

$$a_{p_o} \leq a_p \leq A_p, \quad (2.11)$$

în care  $A_p$  este adaosul de prelucrare în [ $\text{mm}$ ] iar  $a_{p_o}$  este adâncimea minimă sub care practic așchiera nu mai are loc, producându-se mai mult o ecrusare a stratului superficial.

### 2.1.3.8. Relațiile restrictive ale cinematicii mașinii-unelte.

Aceste relații sunt:

$$n_{\min} \leq n_1 \leq n_{\max}, \quad (2.12)$$

$$f_{\min} \leq f_1 \leq f_{\max}, \quad (2.13)$$

în care  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$ ,  $f_{\min}$  și  $f_{\max}$  sunt valorile limită ale turațiilor și avansurilor date de cinematica mașinii-unelte.

### 2.1.3.9. Relațiile restrictive ale rigidității semifabricatului și respectiv sculei așchietoare.

Pentru semifabricat prins între vârfuri, de exemplu:

$$\alpha^{x_F} \cdot f^{y_F} \leq \frac{48 \cdot EI \cdot K_2 \cdot T_p}{\lambda \cdot C_F \cdot l_{sf}^3}, \quad (2.14)$$

iar pentru sculă:

$$\alpha^{x_F} \cdot f^{y_F} \leq \frac{3 \cdot EI \cdot K_3 \cdot T_p}{\lambda \cdot C_F \cdot l_{sc}^3}, \quad (2.15)$$

în care:

- $l_{sf}$  și  $l_{sc}$  sunt lungimile de consolaj ale semifabricatului respectiv a sculei așchietoare în [ $\text{mm}$ ];
- $\lambda$  și  $K_2$ ,  $K_3$  sunt coeficienți de corecție subunitari [V4];
- $T_p$  este toleranța la prelucrarea respectivă [ $\text{mm}$ ].

### 2.1.3.10. Relația restrictivă a rigidității dinamice a mașinii-unelte.

Din studiul rigidității mașinii-unelte și a influenței acesteia asupra preciziei de prelucrare, se poate demonstra relația restrictivă:

$$a_p^{x_r} \cdot f^{y_r} \leq \frac{R_{as} \cdot K_i \cdot T_p}{\lambda \cdot C_F}, \quad (2.16)$$

în care  $R_{as}$  este rigiditatea mașinii-unelte în [N/mm].

### 2.1.3.11. Condițiile de stabilitate ale sistemului dinamic de prelucrare și optimizarea regimului de așchiere.

Cercetarea stabilității sistemului dinamic de prelucrare se concretizează, cel mai frecvent, în trasarea unor diagrame de stabilitate în planul a doi dintre parametrii sistemului. Informațiile conținute în asemenea diagrame au, în primul rând, o importanță calitativă permițând evidențierea regimurilor de așchiere, factorilor direcționali ai structurii elastice etc., la care “rezistența la vibrații” a mașinii-unelte este scăzută. Pentru a fi utilizate și în analizele cantitative, domeniul de stabilitate trebuie restrâns în funcție de diversele condiții limitative proprii cazului de prelucrare avut în vedere.

Cea mai mare parte dintre condițiile restrictive impuse domeniului de stabilitate, nu presupun o independență dinamică între structura elastică a mașinii-unelte și procesul de așchiere și se referă la valorile maxime și minime ale parametrilor  $n$ ,  $f$ ,  $a_p$  etc. care sunt permise de: cinematica mașinii-unelte (2.1.3.8.), puterea de așchiere maximă admisă (2.1.3.3.), temperatura de așchiere maximă permisă de tășurile sculei (2.1.3.5) etc.

De multe ori la restricțiile menționate se adaugă o condiție de forma  $|x_{sd}| \leq x_{ad}$  care reprezintă valoarea absolută a deplasării relative dintre sculă și piesă atunci când se ține seama de cel puțin una dintre componentele forței de așchiere, spre exemplu:

$$F(t) = F_r(t) + P_{1F}(t) + P_{sF}(t), \quad (2.17)$$

în care  $P_{1F}(t)$  și  $P_{sF}(t)$  – factori perturbatori cu acțiune lungă în timp (uzura sculei, dilatația termică, variația rigidității structurii elastice în lungul cursei de avans etc.), cu acțiune scurtă în timp (prezența unui grăunte dur sau un gol în materialul care se așchiază, variația bruscă a grosimii stratului de material, angajarea sau ieșirea sculei din așchiere etc.), respectiv perturbații directe la ieșire.

Pentru a calcula pe  $x_{sd}$  (în funcție de precizia dimensională și de formă a suprafeței piesei care trebuie obținută în urma prelucrării) trebuie să se aibă în vedere interdependența statică și/sau dinamică a sistemelor elastice și de prelucrare

care intră în componența sistemului dinamic de prelucrare aflat în regim stabil de funcționare.

Reprezentarea grafică a inecuațiilor, rezultate din luarea în considerare a condițiilor limitative, conduce la restrângerea domeniului admis pentru cei doi parametri în planul cărora s-a trasat diagrama de stabilitate. Noua imagine astfel obținută a diagramei de stabilitate poate fi numită diagramă practică de stabilitate

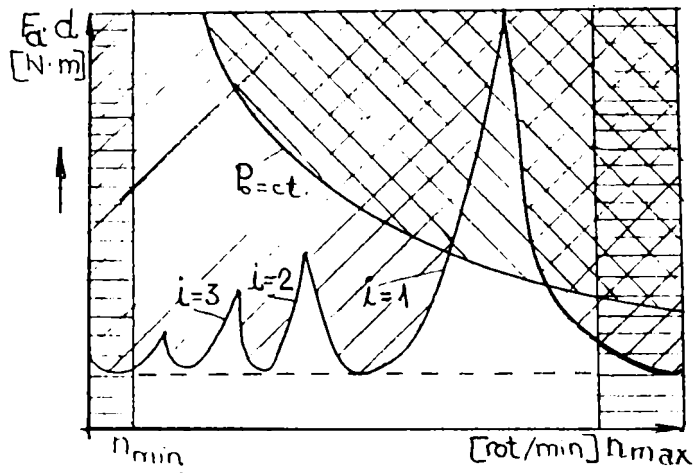


Fig.2.2  
Diagrama practica de stabilitate pentru un caz de strunjire de degrosare

(fig.2.2). Spre exemplificare, în fig. 2.2 este reprezentată diagrama practică de stabilitate a unui caz de strunjire de degrosare la care singurele restricții semnificative sunt: valoarea minimă ( $n_{min}$ ) și cea maximă ( $n_{max}$ ) a turației arborelui principal (AP) și  $K_p \cdot F \cdot d \cdot n \leq P_o$  ( $P_o$  fiind puterea nominală a motorului care antrenează anțul c nemat c princ pa ș pe ce e avans, multiplicată cu randamentul global al celor două lanțuri cinematice ( $P_o = \eta \cdot P = \eta(P_c + P_f)$ ),  $d$  este diametrul piesei strunjite iar  $K_p$  o

constantă care depinde de raza suprafeței generate și de condițiile de prelucrare: proprietățile fizico-mecanice ale materialului care se așchiază și ale celui al tășurilor sculei, geometria funcțională a sculei etc.) [C6].

Presupunând că s-a ținut cont de toate restricțiile cazului concret de prelucrare avut în vedere, oricare combinație a parametrilor (în funcție de care s-a trasat diagrama de stabilitate) localizată în zonele hașurate este corespunzătoare din punct de vedere tehnic. Decizia asupra valorilor pe care trebuie să le aibă cei doi parametri la prelucrarea efectivă este luată, însă, în funcție de îndeplinirea unui obiectiv care, cel mai frecvent, are un caracter economic: minimizarea prețului de cost al prelucrării, maximizarea capacității de producție a acesteia etc.

Problema optimizării parametrilor regimului de așchiere se pune atât în faza de proiectare a procesului de prelucrare mecanică (optimizarea externă), cât și în cazul mașinilor-unelte cu comandă adaptivă (optimizarea internă). Pentru unele procese particulare de prelucrare, în [B10], [C6],[D7], [G1],[G2], [K3], [S6], [S7] sunt prezentate o serie de modalități de completare a modelului matematic al optimizării externe, respectiv interne, cu relațiile restrictive care condiționează stabilitatea asimptotică a sistemului dinamic de prelucrare.

Neglijând interdependența dinamică între structura elastică și procesul de aşchiere și aplicând doar procedura cunoscută de optimizare prezentată în § 2.2. și restricțiile din § 2.1.3. se poate ajunge la valori ale regimului de aşchiere care, în diagrama de stabilitate reprezintă un punct în domeniul de instabilitate al sistemului dinamic de prelucrare. De aici rezultă că, în mod corect, relațiile restrictive ale modelului matematic folosit la optimizarea externă a parametrilor regimului de aşchiere, trebuie să fie corespunzătoare inegalităților care delimitează zonele nehașurate din diagrama de stabilitate de tipul celei din figura 2.2.

#### 2.1.4. Alegerea criteriului de optimizare.

##### 2.1.4.1. Cerințele prelucrării, felului piesei și cazurile de acordare.

Desfășurarea procesului de aşchiere (în scopul obținerii unei suprafețe prelucrate) are la bază informația tehnologică prescrisă în funcție de cunoașterea proprietăților fizice și a caracteristicilor de aşchiere ale sculelor și materialului prelucrat utilizate, forma și dimensiunile finale ale piesei prelucrate, precum și principalele caracteristici cinematice ale mașinii-unelte. Gradul de cunoaștere al tuturor acestor factori este diferit, pentru diferite piese, scule, mașini-unelte. Pe de altă parte, în timpul aşchierii, intervin o serie de alți factori perturbatori, mulți dintre ei imposibil actualmente de a fi exprimați matematic [D4], [W1] etc.

Perfecționările aduse sistemelor de conducere automată a mașinilor-unelte, trebuie să ia în considerație și perturbațiile menționate, în plus scopul principal este îmbunătățirea indicilor tehnico-economici de utilizare a mașinilor-unelte, reflectați într-o încărcare maximă, controlată, în sensul menținerii punctului de funcționare în interiorul domeniului admisibil de operare, definit de restricțiile cinematice, tehnologice și de stabilitate dinamică. Exploatarea și deci conducerea calitativ superioară a MU este obținută prin extremizarea unor indici tehnico-economici globali, care intervin în timpul prelucrării cum ar fi: costul operației, capacitatea de producție, timpul de prelucrare, durabilitatea sculei, precizia prelucrării, calitatea suprafeței prelucrate.

Matematic, un criteriu de optimizare se exprimă după cum s-a mai arătat sub forma unei funcții matematice dependente de variabilele care definesc procesul, având așa cum am constatat și o serie de limitări (restricții) destul de numeroase.

Dacă în ceea ce privește criteriul de optimizare, este în general unanim recunoscut ca fiind costul minim al operației pe mașina în cauză, forma funcției și îndeosebi restricțiile sunt dependente atât de tipul operației cât și de forma piesei, volumul de producție, tipul fabricației etc.

Astfel, restricțiile vor diferi chiar în cazul aceluiași tip de mașină-unealtă, pentru piese de forme diferite: arbore, flanșă, disc, piese cilindrice mari, arc, inele etc.

Funcție de volumul de producție, restricțiile vor fi de asemenea diferite: la piesele unicate sau serie mică, la serie mijlocie, la serie mare și masă.

În cazul în care producția este organizată pe linii automate, va trebui să adăugăm o restricție suplimentară și anume aceea legată de ritmul liniei tehnologice. În acest caz se va face așa numita acordare a capacității de producție, deci pentru anumite operații din linia tehnologică se va opta pentru criteriul capacității de producție maxime, sau nu se va aplica nici o optimizare a parametrilor de regim, sau se va mai instala încă un post de lucru în paralel. Toate aceste măsuri au drept scop păstrarea unui ritm constant al liniei tehnologice, ritm care corespunde costului minim pe ansamblul operațiilor liniei.

Cazurile din practica industrială care necesită aplicarea măsurilor de acordare sunt mult mai dese comparativ cu importanța care li s-a dat acestora până în prezent. Cazurile care necesită acordare trebuie analizate fiecare separat indicându-se de la caz la caz soluțiile de compromis care fac ca criteriul de optimizare să nu mai fie neaparat unul singur, ci el să se aleagă corespunzător fiecărei operații sau mașini-unelte din componența liniei automate sau liniei tehnologice.

## 2.2. Determinarea regimului de așchiere la strunjire și metode de optimizare cunoscute.

### 2.2.1. Considerații preliminare.

Stabilirea regimurilor de așchiere se face de către tehnolog, în cadrul operației de elaborare a tehnologiei de execuție, funcție de tipul piesei și materialul ei, volumul producției, felul operației de așchiere și caracteristicile mașinii-unelte, sculelor și dispozitivelor.

În general, la toți ceilalți factori asemănători, ceea ce hotărăște utilizarea uneia sau alteia dintre metodele de determinare a regimului de așchiere este volumul producției. Astfel, în cadrul producției individuale și de serie mică, regimul de așchiere se stabilește expeditiv pe baza indicațiilor din tabelele existente în literatura de specialitate sau a normativelor interne stabilite în baza experienței proprii a unității industriale.

Pentru producția de serie mare și masă regimurile de așchiere se stabilesc prin calcul, existând interes încă din această fază pentru o oarecare optimizare a



valorilor parametrilor aşchierii. Relațiile științifico-experimentale, folosite în acest sens, țin cont atât de mărimi ale procesului de aşchiere cât și de mărimile care caracterizează dinamica mașinii-unelte acordate cu cerințele de precizie și calitate ale suprafețelor aşchiate. Indiscutabil, nu este vorba de o optimizare în sensul tehnico-economic al cuvântului, cu atât mai puțin în sensul matematic al său, dar relațiile respective constituie germenele oricăror încercări de modelare matematică a procesului de aşchiere.

Diferența între modul de abordare a stabilirii regimului de aşchiere, funcție de volumul producției, se bazează pe costurile acestei operații care la producția de unicat nu se justifică.

### 2.2.2. Calculul uzual al regimului de aşchiere.

Modul de determinare a parametrilor regimului de aşchiere la strunjire se va prezenta în ordinea cronologică firească, precizându-se și factorii care influențează alegerea variantelor de relații și a mărimilor constante care intervin în acestea și modalitățile de verificare a viabilității rezultatelor obținute.

Din prezentarea modului de calcul al regimului de aşchiere vor rezulta și tehnicile de cercetare experimentală care trebuie abordate în cazul în care se dorește rezolvarea de pe alte principii a funcțiilor matematice care modelează diferiți parametri ai procesului de aşchiere.

A. Precizarea datelor inițiale – constă în stabilirea volumului producției (individuală, serie, de masă), tipul piesei (arbore, flanșă, disc, bucă etc), gabaritul acesteia, natura și proprietățile fizico-mecanice ale materialului semifabricatului, felul strunjirii (exterioară, interioară, frontală, degajare, retezare etc.), felul fazei de strunjire (degroșare sau finisare), operația anterioară și cea posterioară strunjirii, calitatea suprafeței și precizia piesei după strunjire.

Funcție de aceste date preliminare care se extrag sau se deduc de pe desenul de execuție al piesei, se stabilește: tipodimensiunea de strung; felul dispozitivului de prindere și măsurare sau a celor de control; tipul și forma sculei, materialul părții sale active și valorile unghiurilor constructive  $\alpha_p$ ,  $\gamma_p$ ,  $\chi_r$ ,  $\chi_r'$ ,  $\lambda_T$ ,  $r_E$ , durabilitatea economică a sculei (din standarde și tabele din literatura de specialitate [P16], [P17], [R6], [V3]), condițiile de lucru (fără sau cu răcire și felul lichidului de răcire) etc.

B. Stabilirea adâncimii de aşchiere  $a_p$  – se face funcție de felul fazei de strunjire (degroșare, finisare), profilul de contur al semifabricatului, valoarea adaosului de prelucrare pentru operația de strunjire, caracteristicile sistemului tehnologic elastic STE.

Deseori, pentru condiții tehnologice concrete sunt necesare câteva treceri pentru îndepărtarea adaosului de prelucrare. Numărul de treceri “i” depinde de factorii precizați anterior și în special de rigiditatea mașinii-unelte, adâncimea de

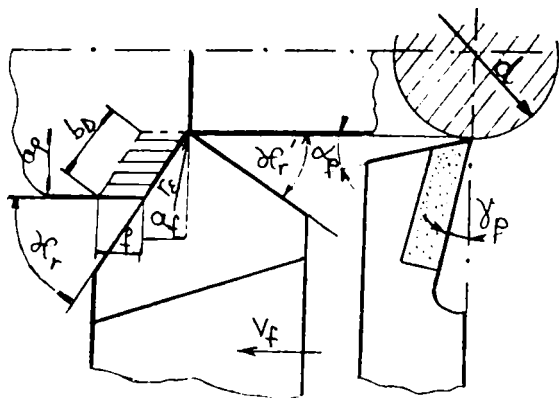


Fig.2.3  
 $a_p$  la strunjirea pe strunguri conventionale

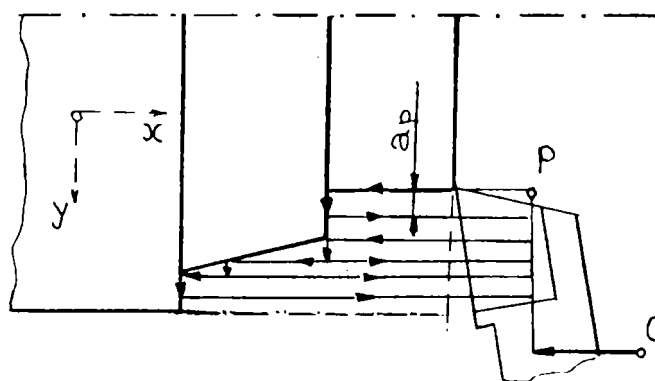


Fig.2.4  
 $a_p$  la strunjirea pe strunguri cu CN

așchiere  $a_p$  în acest caz (fig.2.3) fiind succesiv descrescătoare. De regulă, în scopul creșterii capacității de producție se urmărește ca numărul trecerilor de degroșare să fie egal cu 1 iar pentru finisare se recomandă, de exemplu, ca adâncimea minimă de așchiere să fie  $a_p=0,25$  mm pentru piese cu diametrul  $d \leq 15$  mm și maxim  $a_p=2$  mm pentru valori oricât de mari ale diametrului piesei.

La strunjirea pe strunguri cu opritoare, bacuri, sisteme de copiere sau CN, adâncimea de așchiere rezultă pentru fiecare trecere din “ciclul cotelor” de exemplu fig. 2.4. Prin “ciclul cotelor” se stabilește adâncimea de așchiat și nu adâncimea de așchiere reală (există variații de adaos pe piesă) fără a mai socoti că alegerea valorilor și numărul ciclurilor care se programează nu se determină prin metode tehnice acceptabile ci rutinier [D7].

C. Stabilirea mărimii avansului  $f$  - ține cont de : rezistența corpului cuțitului, rezistența plăcuței dure, mărimea componentei tangențiale sau/și celei normale (mai rar), eforturile admise de mecanismele de avans ale mașinii-unelte, momentul de torsiune admis de mecanismul mișcării AP al mașinii-unelte, precizia dimensiounală prescrisă, calitatea suprafeței prelucrate etc.

Pentru cazul producției individuale și de serie mică, valori medii ale avansului se aleg din tabelele existente într-o serie de normative [P16], [R6], [V3] etc. Aceste valori se iau orientativ în considerare și la producția de serie mare și masă ,dar neaparat ele vor trebui verificate din cele 5 considerente care se redau mai jos.

Pentru cazul finisării, funcție de geometria sculei utilizate și de calitatea suprafeței care trebuie obținută, avansul se calculează cu relația:

$$f = \frac{C_f \cdot R_a^y \cdot r_\varepsilon^u}{a_p^x \cdot \chi_r^z \cdot \chi_r'^z}, \quad [\text{mm/rot}], \quad (2.18)$$

în care:

$C_f$  – coeficient dependent de materialul de prelucrare și de mărimea avansului utilizat la degroșare – din tabele;

$R_a$  – abaterea medie aritmetică a profilului [ $\mu\text{m}$ ];

$r_\varepsilon$  – raza de rotunjire la vârf a sculei [ $\text{mm}$ ];

$\chi_r, \chi_r'$  – unghiul de atac principal, respectiv secundar al sculei [ $^\circ$ ];

$a_p$  – adâncimea de așchiere posterioară [ $\text{mm}$ ] (vezi fig.2.3);

$x, y, z, u$  – exponenți indicați în literatură [D12], [P24].

Verificarea avansului ales din punctul de vedere al rezistenței sculei, mecanismului de avans, rigidității piesei și momentului de torsiune admis de mecanismul acționării principale a mașinii-unelte se face astfel:

C1. Verificarea la încovoiere a cozii cuțitului:

Cerința ca forța de așchiere  $F_c$  să fie mai mică decât aceea admisă de rezistența la încovoiere a cozii sculei limitează avansul la valoarea dată de relația:

$$f = \left( \frac{W_z \cdot \sigma_{ai}}{l \cdot C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}}} \right)^{\frac{1}{y_{F_c}}}, \quad [\text{mm/rot}], \quad (2.19)$$

în care:

$W$  – modulul de rezistență al secțiunii cozii sculei [ $\text{mm}^3$ ];

$\sigma_{ai}$  – rezistența admisibilă la încovoiere [ $\text{MPa}$ ];

$l$  – lungimea de consolaj a cuțitului [ $\text{mm}$ ];

$C_{F_c}, x_{F_c}, y_{F_c}$  – constantă și exponenți ai forței de așchiere la strunjire, a căror valori sunt date în literatura de specialitate [D12], [P16], [P24], [V3] etc.;

C2. Verificarea avansului din punct de vedere al rezistenței plăcuței din aliaj dur – se face cu relațiile:

$$f \leq \frac{8,3 \cdot C^{1,8}}{a_p^{0,3} \cdot R_m} \cdot K, \quad \text{pentru } R_m > 600 \text{ Mpa}, \quad (2.20)$$

$$f \leq \frac{C^{1,8}}{a_p^{0,13} \cdot R_m^{0,5}} \cdot K, \quad \text{pentru } R_m \leq 600 \text{ Mpa}, \quad (2.21)$$

în care:

$R_m$  – rezistența la rupere a materialului de prelucrat;

$C$  – grosimea plăcuței din carburi metalice [ $\text{mm}$ ];

$K=1$  la prelucrarea oțelului, respectiv  $K \geq 2$  pentru prelucrarea fontei; se dă tabelar funcție de duritatea HB a fontei [P24].

C3. Verificarea avansului din punct de vedere al rezistenței mecanismului de avans – se face cu relația:

$$f \leq y_{F_f} \sqrt{\frac{F_{ig}}{3,4 \cdot C_{F_f} \cdot a_p^{x_{F_f}} \cdot (HB)^{n_1}}} , \quad [\text{mm/rot}] , \quad (2.22)$$

în care:

$n_1=0,35$  pentru oțel cu  $HB<170$ ,  $n_1=0,75$  pentru oțel cu  $HB>170$ , respectiv  $n_1=0,55$  pentru fontă.

Forța  $F_{ig}$  pe dinte se calculează din condiția ca forța  $Q$  ce acționează asupra saniei longitudinale pe direcția mișcării de avans să fie mai mică decât forța tangențială  $F_{ig}$  pe care o poate suporta dintele pinionului:  $F_{ig} \geq Q$ .

Mărimea  $Q$  se determină cu relația:

$$Q = F_f + \mu(F_c + F_p) , \quad [\text{MPa}] , \quad (\approx 0,34 \cdot F) \quad (2.23)$$

știind că  $F_f=0,2F_c$ ;  $F_p=0,4F_c$  și  $\mu \approx 0,1$ .

Pe de altă parte  $F_{ig}$  se poate calcula cu relația cunoscută din teoria angrenajelor:

$$F_{ig} = \pi \cdot m \cdot s_t \cdot y \cdot \sigma_{ai} , \quad [\text{MPa}] , \quad (2.24)$$

în care:

$m$  – modulul pinionului cremalierii [mm];

$s_t$  – lățimea dintelui cremalierii [mm];

$\sigma_{ai}$  – rezistența admisibilă la încovoiere a materialului pinionului [MPa];

$y$  – coeficient de formă a dintelui (din “Angrenaje” E.Botez, pag.83).

În cazul utilizării pentru mecanismul de avans al șurubului cu bile (caz frecvent la MU cu CN și CP), relația de verificare a avansului este mai complexă [D7]:

$$f \leq y_{F_c} \sqrt{\frac{\Delta U_{adm} - K_b \cdot \sigma_c - K_p \cdot p}{K \cdot C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot \left( \frac{4}{\pi \cdot E \cdot d_{min}^2} + \frac{u \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{SP}} \right)}} , \quad (2.25)$$

unde:

$U_{adm}$  – deformația maximă la pasul șurubului, [mm];

$K_b, K_p$  – coeficienți ai deformației la contact;

$\sigma_c$  – solicitarea la contactul bilei cu șurubul sau piulița, [MPa];

$K$  – coeficient al influenței forței de așchiere asupra forței de tragere la șurub;

$d_{min}$  – diametrul minim al șurubului, [mm];

$u$  – pasul șurubului, [mm];

$p$  – presiunea pe flancurile filetului;

$\eta_{SP}$  – randamentul mecanismului S-P.

C4. Verificarea avansului funcție de rigiditatea piesei – constă în a se asigura că săgeata de încovoiere  $f_i$  a piesei, produsă sub acțiunea forței de așchiere rezultante  $F_a = \sqrt{F_c^2 + F_f^2}$ , să nu depășească valoarea admisă în funcție de toleranța de execuție a piesei. Această verificare se face, de exemplu, după unele recomandări numai pentru piese având  $l/d \geq 7$ .

Valoarea săgeții depinde de modul de fixare al piesei în strung. Astfel, pentru cazul prinderii în universal avem:

$$f_i = \frac{F_s \cdot l_{sf}^3}{0,3 \cdot E \cdot I}, \quad [\text{mm}], \quad (2.26)$$

În cazul prinderii piesei în universal și vârful păpușii mobile avem:

$$f_i = \frac{7 \cdot F_s \cdot l_{sf}^3}{76,8 \cdot E \cdot I}, \quad [\text{mm}], \quad (2.27)$$

În cazul prinderii piesei între vârfuri avem:

$$f_i = \frac{F_s \cdot l_{sf}^3}{4,8 \cdot E \cdot I}, \quad [\text{mm}], \quad (2.28)$$

relații în care:  $E$  este modulul de elasticitate al materialului piesei de așchiat [MPa];  $I$  este momentul de inerție al secțiunii piesei [ $\text{mm}^4$ ];  $l$  este lungimea liberă a piesei [mm] iar  $F_s$  – forța capabilă de săgea  $f_i$ , [MPa].

Punând condiția ca forța  $F_s$ , calculată din relațiile (2.26), (2.27) și (2.28) în care  $f_i = f_{ai}$  ( $f_{ai}$  = săgeata admisă la încovoiere), să fie mai mică sau cel mult egală cu  $F_c$  și ținând seama că:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}}, \quad (2.29)$$

se obține valoarea admisă pentru avans:

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}}} \right)^{\frac{1}{y_{F_c}}}, \quad [\text{mm/rot}], \quad (2.30)$$

C5. Verificarea avansului la momentul de torsiune admis de mecanismul mișcării AP al mașinii-unelte – se face cu relația:

$$f \leq \left( \frac{2 \cdot 10^4 \cdot M_c}{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot d} \right)^{\frac{1}{y_{F_c}}}, \quad [\text{mm/rot}], \quad (2.31)$$

în care:

$d$  – diametrul piesei de prelucrat, [mm];

$M_c$  – cuplul exercitat de mișcarea de așchiere în jurul axei de rotație, [Nm].

Valoarea  $M_c$  se calculează cu relația experimentală:

$$M_c = \frac{9750 \cdot P_{em} \cdot \eta}{n_1}, \quad [\text{Nm}], \quad (2.32)$$

în care:

$P_{em}$  – puterea de acționare a electromotorului MU, [KW];

$n_1$  – turația arborelui principal în [rot/min];

$\eta$  - randamentul MU ( $\eta=0,7\div 0,9$ ).

D. Calculul vitezei economice de așchiere  $v_T$  și a turației  $n$  se face cu o relație experimentală de forma:

$$v_T = \frac{C_{v_T}}{a_p^{x_p} \cdot f^{y_v} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n} \cdot \pi \cdot K_i, \quad [\text{m/min}], \quad (2.33)$$

în care:

$C_{v_T}$  - o constantă dependentă de condițiile așchierii – se dă tabelar în literatura de specialitate (ex. [D12], [P25]);

HB – duritatea semifabricatului;

$n, x_p, y_v$  – coeficienți exponențiali – din tabele (ex. [D12], [P18]);

$K_i$  – coeficienți de corecție exprimați tabelar sau sub formă de relații astfel:

-  $K_1$  – influența unghiului de atac al cuțitului  $\chi_r$ :

$$K_1 = \left(\frac{45}{\chi_r}\right)^{x_1}, \quad (2.34)$$

$x_1=0,6$  pentru oțel carbon,  $x_1=0,45$  pentru fontă etc.;

-  $K_2$  – influența unghiului de atac secundar  $\chi_r'$ :

$$K_2 = \left(\frac{a'}{\chi_r'}\right)^{0,09}, \quad (2.35)$$

unde  $a'=10$  pentru scule din  $R_{p3}$  și  $a'=15$  pentru scule cu plăcuțe din carburi metalice ;

-  $K_3$  – influența razei de rotunjire a cuțitului  $r_\epsilon$ :

$$K_3 = \left(\frac{r_\epsilon}{2}\right)^{x_3}, \quad (2.36)$$

unde  $x_3=0,1$  pentru degroșare;  $x_3=0,2$  pentru finisare;

-  $K_4$  – influența materialului de prelucrat – se exprimă tabelar funcție de conținutul în carbon și elemente de aliere ale materialului de prelucrat și poate fi cuprins între  $0,6\div 1,2$  ( $K_4=1$  pentru oțel cu  $C\%<0,6\%$ );

-  $K_{i...m}$  – coeficienți de influență ai temperaturii din zona de așchiere, forma așchiei, existența depunerii pe tăiș etc.; coeficienți de mai redusă influență și care de obicei se neglijează.

În continuare se alege turația din două considerente:

a) – se calculează turația corespunzătoare vitezei economice:



$$n_T = \frac{v_T \cdot 1000}{\pi \cdot d} , \quad (2.37)$$

b) – se ține cont de viteza maximă permisă de acționarea AP a mașini-unelte.

Dintre cele două valori se ia cea mai mică.

Cum însă turația  $n_T$  dedusă prin calcul nu coincide de regulă cu cele existente în gama de turații a strungului, se alege o turație reală de lucru  $n_1$ , având cea mai apropiată valoare de  $n_T$ , nu neaparat mai mică decât aceasta. În cazul în care se lucrează cu turații mai ridicate decât  $n_T$ , durabilitatea  $T$  a sculei se va micșora în raportul:

$$\left( \frac{v_T}{v_1} \right)^m = \frac{T_1}{T} , \quad (2.38)$$

în care  $T_1$  este durabilitatea corespunzătoare vitezei  $v_1$  iar  $m$  este un coeficient al durabilității relative, având obișnuit valoarea  $0,1 \dots 0,22$ , cel mai des considerându-se  $m=0,2$ . Micșorarea durabilității se admite practic până la valori de 10% , întrucât o micșorare mai substanțială ar dezavantaja prelucrarea din punct de veder economic. Procentul indicat limitează alegerea turației  $n_1$  la valori superioare celei de calcul  $n_T$ .

Viteza de așchiere reală va fi:

$$v_1 = \pi \cdot d \cdot n_1 . \quad (2.39)$$

După determinarea parametrilor regimului de așchiere se trece la:

E. Verificarea energetică a strungului;

În acest scop, mai întâi se face calculul forței de așchiere:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} , \quad [\text{daN}] . \quad (2.40)$$

În relația (2.40) valorile pentru  $a_p$  și  $f$  vor fi cele reale de lucru iar coeficientul  $C_{F_c}$  și exponenții  $x_{F_c}$ ,  $y_{F_c}$  se aleg din tabelele din bibliografia de specialitate [P14], [P25], [V3] etc.

La verificarea energetică a strungului se impune respectarea condiției:

$$\eta \cdot P_{em} \geq P_c , \quad (2.41)$$

în care  $P_c$  este puterea de așchiere iar  $P_{em}$  este puterea electromotorului arborelui principal al MU:

$$P_c = F_c \cdot v_1 / 612 , \quad [\text{KW}] . \quad (2.42)$$

În cazul în care inegalitatea (2.41) nu este respectată, se vor micșora în ordine: - viteza de așchiere  $v_1$ , iar dacă nici atunci nu se asigură inegalitatea – avansul de lucru  $f$ , după care se refac din nou calculele mărimilor influențate de schimbarea unuia din cele două elemente ale regimului de lucru.

### 2.2.3. Principii practice de determinare a regimurilor de aşchiere.

În afara metodei de determinare a regimului de aşchiere descrisă în paragraful 2.2.2, mai există şi o altă posibilitate şi anume, cea bazată pe datele experimentale din practica productivă curentă, cumulate şi prezentate în literatura de specialitate sub forma tabelor normative şi diagramelor. Această metodă se aplică îndeosebi în cadrul producţiei individuale şi de serie mică unde metoda calculului nu se justifică economic.

Ordinea de stabilire a parametrilor se respectă şi în acest caz:

1. – determinarea durabilităţii economice  $T$  – cel mai adesea se alege din tabele normative funcţie de corpul sculei, calitatea materialului sculei şi a semifabricatului. Există şi posibilitatea de calcul a durabilităţii, lucru ce se face funcţie de scopul urmărit astfel [C6]:

a) – pentru o capacitate de producţie maximă:

$$T_{po}=(1-m)\tau_s/m, \quad [\text{min}]; \quad (2.43)$$

b) – pentru un cost minim al operaţiei:

$$T_{co}=(\tau_s+C_2/C_1)(1-m)/m, \quad [\text{min}]; \quad (2.44)$$

Relaţii în care:

$\tau_s$  – timpul necesar la o schimbare a sculei, [min];

$C_1$  – retribuţia muncitorului la MU, [lei/min];

$C_2$  – cheltuieli cu exploatarea sculei, [lei],

$$C_2=\tau_r \cdot C_3+C_s/n_{si}, \quad [\text{lei}]; \quad (2.45)$$

$\tau_r$  – timpul de ascuţire, [min];

$C_3$  – retribuţia ascuţitorului, [lei/min];

$C_s$  – costul iniţial al sculei, [lei];

$n_{si}$  – numărul de reascuţiri permis;

2. – stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri se face funcţie de mărimea adaosului de prelucrare pentru operaţia dată astfel încât să se asigure folosirea raţională a sculei, a puterii maşinii-unelte şi minimul numărului de treceri. Şi pentru acest parametru există tabele cu date orientative [V3], recomandându-se ca la prelucrarea de degroşare să se îndepărteze 70-80% din adaosul de prelucrare total;

3. – stabilirea avansului de aşchiere – are la bază natura prelucrării şi valoarea adâncimii stabilită anterior precum şi date referitoare la tipul maşinii-unelte şi dispozitivele de prindere. Din tabele [P16], [V3] etc. se alege valoarea avansului şi apoi se pune de acord această mărime cu gama de avansuri a maşinii-unelte şi cu posibilităţile acesteia;

4. – stabilirea vitezei de aşchiere și a turației semifabricatului se face funcție de materialul semifabricatului și a părții active a sculei, durabilitatea sculei, adâncimea și avansul de aşchiere determinate anterior și posibilitățile mașinii-unelte, alegând valoarea corespunzătoare din tabele [P16], [V3]. Se elimină în acest fel volumul mare de calcul necesitat de utilizarea relațiilor de calcul prezentate în paragraful 2.2.2. Pentru creșterea operativității, turațiile se pot alege direct din diagramele existente în literatură, funcție de viteza aleasă anterior și de diametrul piesei de prelucrat sau din nomogramele existente pe MU.

Pentru creșterea operativității în stabilirea parametrilor regimului de aşchiere s-au întocmit tabele normative, bazate atât pe calcul analitic cât mai ales pe date experimentale, pentru fiecare tip de producție: individuală, serie mică, mijlocie, mare și de masă.

Atât în cazul stabilirii prin calcul a parametrilor regimului de aşchiere cât și în cazul aplicării metodelor tabelare se au în vedere câteva importante principii, bazate pe logica procesului de aşchiere cât mai ales pe considerente practice și tehnico-economice. Aceste principii constituie embrionul regulilor care au stat la baza încercărilor de optimizare a procesului de aşchiere:

a) – partea activă a sculelor aşchietoare utilizate la operația în cauză va trebui să fie din materiale cu proprietăți adecvate, de preferință carburi metalice;

- unghiurile constructive  $\alpha_f, \gamma_f, \chi_r, \chi_r'$ , respectiv  $r_e$  și  $\lambda_T$  vor fi astfel alese încât să corespundă materialului de prelucrat dar și procesului de aşchiere;

- durabilitatea sculei se va calcula sau alege ținând cont de condițiile reale de lucru și de uzura maximă admisă care nu periclitizează precizia și calitatea suprafeței sau integritatea muchiilor active; la degroșări se vor putea admite valori mai ridicate de durabilitate dacă se face o alegere corespunzătoare a celorlalți parametri îndeosebi  $a_p$  și  $f$ ;

b) – adâncimea de aşchiere  $a$  ( $a_p, a_e$ ) se va alege așa încât adaosul de prelucrare să fie îndepărtat integral printr-o singură trecere dacă rigiditatea sistemului tehnologic și puterea mașinii-unelte permit acest lucru. Numai în cazuri deosebite se va diviza adaosul de prelucrare în mai multe treceri iar dacă se prevede o calitate și o precizie de prelucrare mai deosebite se prevede și o trecere de finisare;

c) – avansul de lucru  $f$  ( $f_z$ ) – se recomandă să se lucreze cu avansuri cât mai ridicate pentru a asigura o capacitate productivă cât mai mare, dacă mecanismul de avans și rigiditatea suportului sculei permite acest lucru. Se preferă folosirea avansurilor mari în detrimentul vitezei de aşchiere;

d) – viteza de aşchiere  $v$  – se preferă lucrul cu viteze mai reduse dar cu avansuri ridicate. În caz că există probleme la verificările de rigiditate și cele

energetice se preferă schimbarea valorii avansului la degroșare și a vitezei (turației) la finisare; foarte rar se va apela la ajustarea ambilor parametri;

e) – prin combinația celor trei parametri de bază ai așchierii  $a$ ,  $f$ ,  $v$  se va urmări:

- la degroșări – obținerea unui volum de așchii îndepărtate cât mai mare – premiză de optimizare a capacității de producție pe operația considerată;

- la finisare – obținerea preciziei de prelucrare și calității suprafeței prevăzute în desenul de execuție.

#### 2.2.4. Determinarea mecanizată a regimurilor de așchiere.

După cum s-a putut constata metoda clasică de determinare prin calcul analitic a parametrilor regimului de așchiere – metodă științifică ce oferă posibilitatea unui control mai realist al procesului de așchiere – conduce la un volum mare de calcule și necesită luarea în considerare a unui complex larg de factori de influență.

De aceea, pentru creșterea operativității în instalarea parametrilor de așchiere și utilizarea metodei analitice în mod expeditiv, chiar și la producția de serie mică (evitând alegerea parametrilor pe bază de tabele și normative, metodă supusă arbitrarului tehnologului) s-au dezvoltat în timp o serie de dispozitive și aparate.

Se utilizează astfel: nomograme, rigle de calcul specifice, abace, aparate pentru determinarea regimului de așchiere (reprezintă un calculator analogic cu un număr de potențiometre ce cuantifică fiecare unul sau mai mulți factori de influență - deși este un aparat complex, în cazul în care metoda de lucru este bine stăpânită, rezultatele sunt foarte rapide și viabile tehnic), calculatoare simple de birou, microcalculatoare programabile de buzunar, calculatoare personale dotate cu programe de calcul specifice pentru determinarea regimurilor de așchiere și microcalculatoare de proces speciale – cele mai performante și prezumtiv cele mai indicate pentru realizarea și a optimizării parametrilor calculați funcție de anumite scopuri tehnico-economice care se urmăresc.

#### 2.2.5. Alegerea criteriului de optimizare la strunjire – metoda uzuală.

În mod uzual, prin optimizarea regimurilor de așchiere la strunjire se înțelege găsirea valorilor optime ale parametrilor regimului: adâncimea de așchiere  $a_p$ , avansul longitudinal  $f$ , viteza de așchiere  $v$  (turația  $n$ ).

În realitate, fiind vorba de optimizarea întregului proces de aşchiere – ceea ce are un sens cu mult mai larg – va trebui să ținem seama de toți factorii și parametrii procesului de aşchiere anterior enumerați.

Drept criteriu de optimizare se desemnează “costul minim” al prelucrării (respectiv al operației) pe strungul în cauză.

În principiu, este necesar, așa cum s-a arătat în capitolul 1, să se găsească cea mai potrivită corelație între parametri  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$ . Pentru acest lucru este necesar să se țină seama în special de:

a1) – asigurarea și menținerea forțelor de aşchiere în limitele admise de rigiditatea STE-ului;

a2) – asigurarea unei anumite durabilități a tăișului sculei în funcție de durabilitatea presupusă ca cea mai economică;

a3) – să se folosească pe cât posibil întreaga putere disponibilă a lanțurilor cinematice ale strungului, fără însă a depăși puterea echivalentă a acestuia sau momentul maxim admisibil (după caz);

a4) – mărirea  $a_p$  duce la creșterea volumului de aşchii detașate față de mărirea în aceeași proporție a avansului  $f$ ;

a5) – mărirea oricărui factor  $f$  sau  $v$ , unul în contul celuilalt, peste valorile ce rezultă din condiția de durabilitate economică  $T$ , duce la scăderea capacității productive;

a6) – pentru aşchiera intensivă este preferabil a se lucra cu avans  $f$  mare și cu raportul  $a_p/f < 1$ .

În plus, pentru asigurarea costului minim, funcția de optimizare va trebui să țină seama de:

b1) – plata operatorului ce efectuează operația –  $C_1$  [lei/min];

b2) – cheltuielile făcute cu scoaterea sculei uzate din portcuțit, ascuțirea ei și apoi reglarea din nou la cotă a sculei reascuțite – notată  $C_2$  [lei/min];

b3) – timpul de bază de mașină  $t_b$  [min/buc];

b4) - numărul de reascuțiri, reglări la cotă și de instalări ale sculei pe mașină, în timpul prelucrării unei piese la operația respectivă, notat  $n_{si}$ :

$$n_{si} = t_b / T. \quad (2.46)$$

Astfel, costul operației se exprimă ca fiind:

$$C = C_1 \cdot t_b + C_2 \cdot n_{si}, \quad [\text{lei}]; \quad (2.47)$$

iar

$$t_b = \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f}, \quad [\text{min}]; \quad (2.48)$$

în care:  $l$  – lungimea porțiunii așchiate;  $A_p$  – adaosul de prelucrare care se îndepărtează în cadrul fazei care păstrează constanți toți parametrii regimului de așchiere.

Cu acestea, costul aproximativ al prelucrării este dat de:

$$C = C_1 \cdot \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f} \cdot \left( 1 + \frac{C_2}{C_1 \cdot T} \right), \quad [\text{lei}]. \quad (2.49)$$

Condițiile restrictive prezentate în subcapitolul 2.1.3. se adaugă modelului matematic alcătuind sistemul [V4]:

$$C = C_1 \cdot \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f} \cdot \left( 1 + \frac{C_2}{C_1 \cdot T} \right) \rightarrow \text{MINIM};$$

$$T^m \cdot n \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} = \frac{1000 \cdot C_v \cdot \pi \cdot K_i}{\pi \cdot D}, \quad (2.50)$$

$$n \cdot f \cdot a_p \geq \frac{l \cdot A_p}{R_e \cdot m_i \cdot K_i - \tau_1}, \quad (2.51)$$

$$n \cdot a_p^{x_{r_c}} \cdot f^{y_{r_c}} \leq \frac{612 \cdot \eta \cdot P_{em} \cdot 10^2}{C_{F_c} \cdot \pi \cdot D}, \quad (2.52)$$

$$a_p^{x_{r_c}} \cdot f^{y_{r_c}} \leq \frac{48 \cdot E \cdot I \cdot K_2 \cdot T_p}{\lambda \cdot C_{F_c}}, \quad (2.53)$$

$$a_p^{x_{r_c}} \cdot f^{y_{r_c}} \leq \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot K_3 \cdot T_p}{\lambda \cdot C_{F_c} \cdot l_{sc}^3}, \quad (2.54)$$

$$a_p^{x_{r_f}} \cdot f^{y_{r_f}} \leq \frac{F_f}{10 \cdot C_{F_f}}, \quad (2.55)$$

$$a_p^{x_\theta} \cdot f^{y_\theta} \cdot n_1^{2\theta} \leq \frac{\theta_a}{C_\theta}, \quad (2.56)$$

$$f^2 \leq \frac{8 \cdot R_z \cdot r_\varepsilon}{1000}, \quad (2.57)$$

$$a_p \leq A_p, \quad (2.58)$$

$$a_p \geq a_{p_0}, \quad (2.59)$$

$$n \leq n_{\max}, \quad (2.60)$$

$$n \geq n_{\min}, \quad (2.61)$$

$$f \leq f_{\max}, \quad (2.62)$$

$$f \geq f_{\min}. \quad (2.63)$$

## 2.2.6. Metoda capacității de așchiere maxime la durabilitate maximă (Duca 1).



Această metodă de calcul de optimizare [D13] utilizează condițiile a1), a2) și a3) enunțate principial în § 2.2.5. și relațiile ce decurg din ele:

$$- a1): F_c \leq F_{adm} \quad : \quad C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \leq F_{adm}; \quad (2.64)$$

$$- a2): v_l \leq v_T \quad : \quad v_l \leq \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}; \quad (2.65)$$

$$- a3): P_c \leq P_{em} \quad : \quad \frac{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_l}{6120} \leq \eta \cdot P_{em}. \quad (2.66)$$

La aceste ecuații se mai pot adăuga și ecuațiile care reprezintă condiția de netezime a suprafeței prelucrate în funcție de elementele geometrice ale sculei ( $r_\epsilon$ ,  $\chi_r$  și  $\chi_r'$ ) și funcție de înălțimea  $R_z$  admisă a neregularităților suprafeței :

$$f = \sqrt{8 \cdot r_\epsilon \cdot R_z}, \quad (2.67)$$

respectiv:

$$f = R_z (\text{ctg} \chi_r + \text{ctg} \chi_r'). \quad (2.68)$$

Deși teoretic trei din cele cinci ecuații scrise ar fi suficiente pentru determinarea celor trei parametri ai regimului de așchiere ( $a_p$ ,  $f$  și  $v$ ), totuși în practică numărul de ecuații nu este suficient deoarece:

- utilizarea întregii puteri a mașinii-unelte este foarte rar posibilă în cadrul operațiilor curente de strunjire, deci ecuația (2.66) este practic inutilizabilă;

- relațiile (2.67) și (2.68) restrâng doar la considerente geometrice influențele factorilor din procesul de așchiere asupra calității suprafeței prelucrate, deci nici aceste relații nu sunt determinante.

Rămân valabile deci doar ecuațiile (2.64) și (2.65) și întrucât sunt trei parametri de așchiere ce trebuiesc optimizați va trebui ca unul să se aleagă arbitrar. Acest lucru poate avea efecte majore asupra soluției optime a problemei, astfel încât ea devine foarte puțin probabilă.

Este, deci, neapărat necesar să se aleagă o a treia condiție exprimată printr-o ecuație matematică, ecuație valabilă în condițiile procesului de strunjire. O astfel de condiție o constituie “debitul maxim de așchii detașate”,  $Q_{max}$  la strunjirea de degroșare, adică:

$$Q = a_p \cdot f \cdot v \rightarrow Q_{max} \quad [\text{mm}^3/\text{min}]. \quad (2.69)$$

Astfel sistemul de ecuații care va face obiectul optimizării necunoscutelor (parametri ai așchierii) este alcătuit din ecuațiile (2.64), (2.65) și (2.69). Pentru rezolvarea sistemului se înlocuiește viteza economică  $v_T$  din (2.65) (obținută pentru cazul  $v_l=v_T$ ) în ecuația (2.69):

$$Q = a_p \cdot f \cdot \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} = C_v \cdot T^{-m} \cdot a_p^{1-x_v} \cdot f^{1-y_v}. \quad (2.70)$$

Cum  $C_v$ ,  $T$ ,  $m$  depind de materialul piesei, al sculei și de alte condiții ale așchierii care pe parcursul unei operații sunt inflexibile, termenul  $C_v \cdot T^{-m} = C_{vT}$ , o constantă globală ce permite scrierea ecuației (2.70) sub forma:

$$Q = C_{vT} \cdot a_p^{1-x_v} \cdot f^{1-y_v} \quad (2.71)$$

Din analiza matematică se cunoaște teorema conform căreia maximumul funcțiilor de forma:

$$F(x,y,z) = X^\alpha Y^\beta Z^\gamma \dots, X+Y+Z+\dots = \text{const.}, \quad (2.72)$$

se obține atunci când:

$$\frac{X}{\alpha} = \frac{Y}{\beta} = \frac{Z}{\gamma} = \dots \quad (2.73)$$

Dacă în ecuația (2.71) se respectă condiția:

$$a_p + f = \text{constant} = c, \quad (2.74)$$

atunci ecuația (2.71) poate fi considerată de forma (2.72) și ca atare, maximumul ei se va obține când:

$$\frac{a_p}{1-x_v} = \frac{f}{1-y_v} \quad (2.75)$$

Constanta  $c$  se va determina din inecuația (2.64) exprimată simplificat sub forma:

$$k_c \cdot a_p \cdot f \leq F_{adm}, \quad (2.76)$$

în care:

-  $k_c$  -  $[N/mm^2]$  este forța de așchiere pe unitatea de suprafață de așchiere, dependentă de  $f$  și  $a_p$  și care se găsește în literatură exprimată tabelar funcție de avansul preliminar considerat, felul operației, rigiditatea sistemului tehnologic elastic, puterea de avans a mașinii-unelte etc.

-  $F_{adm}$  este forța de așchiere maxim admisă care se calculează după criteriile de rezistență a piesei, a sculei etc. sau se găsește dată în cartea tehnică a mașinii-unelte.

La limită, inecuația (2.76) devine o ecuație pusă sub forma:

$$a_p \cdot f = \frac{F_{adm}}{k_c}, \quad (2.77)$$

care alături de ecuația (2.75) pusă sub forma:

$$\frac{a_p}{f} = \frac{1-x_v}{1-y_v} = r_{opt} \quad \text{- raport optim căutat} \quad (2.78)$$

și de relația (2.74) alcătuiesc un sistem de 3 ecuații liniare din a cărui rezolvare rezultă soluțiile:

$$c = (1 + r_{opt}) \sqrt{\frac{F_{adm}}{k_c \cdot r_{opt}}}; \quad (2.79)$$

$$f = \frac{c}{1+r_{opt}} \sqrt{\frac{F_{adm}}{k_c \cdot r_{opt}}} ; \quad (2.80)$$

$$a_p = \frac{c \cdot r_{opt}}{1+r_{opt}} = f \cdot r_{opt} . \quad (2.81)$$

Introducând valorile obținute pentru  $f$  și  $a_p$  în ecuația (2.65) obținem viteza de aşchiere optimă care asigură durabilitatea  $T$  preconizată.

Din cele expuse reiese că raportul între  $a_p$  și  $f$  notat cu  $r_{opt}$  depinde de valorile exponenților  $x_v$  și  $y_v$  și de durabilitatea  $T$  și împreună oferă soluția ce maximizează funcția (2.69) a capacității de aşchiere.

Din analiza valorilor pentru  $x_v$  și  $y_v$  ce se află în literatura de specialitate, se constată că  $r_{opt} \in (1,45-0,7)$ . Valorile apropiate de unu și chiar subunitare ale raportului  $r_{opt}$  motivează teoretic tendința practică de a se lucra cu avansuri ( $f$ ) mari comparativ cu adâncimea ( $a_p$ ).

### 2.2.7. Metoda parametrului de regim cu influență preponderentă asupra durabilității, capacității de aşchiere și a consumului energetic specific (Duca 2), [D13].

Considerând relația durabilității sub forma sa cunoscută:

$$T = \frac{C_T}{v^z \cdot a_p^x \cdot f^y} , \quad (2.82)$$

și admitând posibilitatea creșterii oricărui dintre parametri  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  pentru a menține  $T = \text{const}$ . Trebuie ca cel puțin unul din ceilalți parametri să se micșoreze. Cum  $z$ ,  $x$ ,  $y$  sunt exponenți cu valori diferite, va trebui stabilit care din cei trei parametri, la variația lor în același procent, pot produce influențe mai însemnate asupra durabilității, capacității de aşchiere sau a consumului energetic specific.

Astfel, din ecuația (2.71) se constată că în cazul în care  $r_{opt} = 1 - x_v / 1 - y_v > 1$ , mărirea lui  $a_p$  duce la un aport mai mare de capacitate de producție decât mărirea în aceleași proporții a avansului  $f$  (lucru știut de tehnologi) și invers în cazul în care  $r_{opt} < 1$  (lucru știut “apropae de loc”, [D13]). Această ultimă afirmație este întărită de datele prezentate în tabelul 2.1 din care rezultă cu claritate că în general și mai ales în cazurile de aşchiere de finisare cu scule moderne din aliaje foarte dure sau armate cu carburi metalice sau plăcuțe ceramice, este economic să se mărească avansul  $f$  în detrimentul adâncimii de aşchiere  $a_p$  – fapt în opoziție cu vechile concluzii care considerau aprioric  $a_p = A_p$  pentru o aşchiere economică.

De asemenea, dacă din ecuația (2.65) scoatem  $a_p$  (2.83) și îl înlocuim în (2.71) rezultă o nouă formă a ecuației care exprimă capacitatea de aşchiere (2.84):

$$a_p = \frac{C_v^{x_v}}{v_T^{x_v} \cdot f^{y_v}}; \quad (2.83)$$

$$Q = C_v \left( C_v^{x_v} \cdot \frac{1}{v_T^{x_v} \cdot f^{y_v}} \right)^{1-x_v} \cdot f^{1-x_v} = C_v^{\frac{1-x_v}{x_v}+1} \cdot \frac{f^{1-y_v}}{v_T^{x_v} \cdot f^{\frac{y_v(1-x_v)}{x_v}}} = C_v^{\frac{1}{x_v}} \cdot \frac{1}{v_T^{\left(\frac{1}{x_v}-1\right)} \cdot f^{\left(\frac{y_v}{x_v}-1\right)}}. \quad (2.84)$$

Din ecuația (2.84) se constată:

- 1) dacă  $(1/x_v-1)>0$  și  $(y_v/x_v-1)>0$ , mărirea oricărui factor  $v$  sau  $f$  unul în detrimentul celuilalt duce la scăderea capacității de așchiere. Din tabelul 2.1 se constată că doar când se lucrează cu  $a_p/f<0,5$  (finisare și retezare) exponentul  $(y_v/x_v-1)<0$  și deci capacitatea de așchiere ar crește la mărirea avansului în dauna vitezei de așchiere;

- 2) exponentul avansului fiind totdeauna mai mic decât acela al vitezei (vezi tab.2.1), influența negativă asupra capacității de așchiere a măririi avansului este totdeauna mai mică decât aceea introdusă de mărirea vitezei de așchiere (excepție – finisare).

Aceste două constatări pledează în favoarea utilizării așchierii intensive cu avansuri mari și cu adâncimi de așchiere mai mici decât avansul ( $a_p/f<1$ ).

Analiza consumului energetic specific pentru cazul păstrării constante a durabilității economice a tăișului sculei se face pornind de la raportul: energie consumată/volum de așchii detașate, pe durata așchierii  $t$ :

$$e_c = \frac{P_e \cdot t}{Q} = \frac{F_e \cdot v_l \cdot t}{a_p \cdot f \cdot v_T}. \quad (2.85)$$

Considerând constantă durabilitatea sculei, la limită,  $v_l=v_T$  și  $F_e=F_c$ , ecuația (2.85) devine:

$$e_c = \frac{F_c \cdot t}{a_p \cdot f} = \frac{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}}}{a_p \cdot f} = \frac{t \cdot C_{ec}}{a_p^{1-x_{F_c}} \cdot f^{1-y_{F_c}}}. \quad (2.86)$$

Având în vedere faptul că în literatura de specialitate exponentii  $x_{F_c}$  și  $y_{F_c}$  sunt subunitari și întotdeauna  $x_{F_c}<y_{F_c}$ , în medie cu  $0,1 \div 0,3$ , din ecuația (2.86) se desprinde clar concluzia că:

- creșterea avansului  $f$  duce la o scădere mai pronunțată a raportului  $e_c$  decât o creștere în același raport a adâncimii de așchiere.

Aceasta este o concluzie importantă ce contravine unor practici curente de a se lucra cu  $a_p$  cât mai mare ( $a_p=A_p$  dacă se poate) și implică neaparat considerarea și a numărului de treceri  $i$  în ecuațiile de optimizare.

De asemenea, dacă din ecuația (2.65) se explicitează  $a_p$  (ecuația (2.83)) și-l înlocuim în ecuația (2.86) va rezulta după calcule:

$$e_c = C_{ec} \cdot C_v^{x_v} \cdot v_T^{x_v} \cdot f^{x_v} \cdot t \quad (2.87)$$

Considerând valorile exponenților la prelucrarea oțelului ( $x_{Fc}=0,92$ ,  $y_{Fc}=0,78$ ,  $x_v=0,22$ ,  $y_v=0,66$ , pentru  $f>0,2$  mm/rot) ecuația devine:

$$e_c = C_{ec} \cdot v_T^{0,35} \cdot f^{0,02} \cdot t \quad (2.88)$$

de unde se observă creșterea consumului energetic specific la mărirea ambilor factori –  $v_T$  și  $f$  – dar în măsură neglijabilă la mărirea avansului  $f$ . Deci se recomandă creșterea avansului în contul vitezei de așchiere, atât cât este posibil.

Pentru exemplificarea concluziilor teoretice ale celor două teorii “Duca”, s-a considerat o aplicație – strunjirea unui ax din OL70 de  $\varnothing 80$  mm și lungime  $l=800$  mm având un adaos de prelucrare  $A_p=5$  mm, pe un strung normal SN 400 cu un cuțit armat cu plăcuță din carburi metalice P20 având durabilitatea economică  $T=30'$ . Utilizând relațiile din prezentul subcapitol precum și relațiile, constantele și exponenții din literatura de specialitate [P2], [P16], [P24] și [V4] s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Cazul (nr.tre- ceri i)	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/rot]	$a_p/f$	$r_{opt}$	$v$ [m/min]	$Q$ [mm <sup>3</sup> /min]	$t_b$ [min]	$E_c$ [KWh]	$e_c$ [KWh/ mm <sup>3</sup> ]
I $i=2$	2,25	1,55	1,45	1,45	122	$4,74 \cdot 10^5$	2,12	0,5	1,06
II $i=1$	5,0	0,55	9,26	9,26	161	$4,45 \cdot 10^5$	2,26	0,7	1,58
III $i=3$	1,66	2,38	0,7	0,7	118	$4,86 \cdot 10^5$	2,05	0,485	1,03

Din analiza tabelului 2.1 rezultă că cel mai avantajos caz de strunjire corespunzător aplicației date este acela în care se lucrează cu valori  $a_p$  și  $f$  a căror raport se încadrează în intervalul teoretic determinat [ $r_{opt} \in (1,45 \div 0,7)$ ], adică:

- debitul de așchii, deci și capacitatea de producție crește odată cu scăderea raportului  $r_{opt}$  sau cu creșterea avansului;

- timpul de bază  $t_b$  scade în același raport cu creșterea capacității de producție, deci cu scăderea raportului  $r_{opt}$ ;

- pentru ca și timpul pe operație  $T_{op}=t_b+t_a$  să fie mai mic în cazurile I și III față de cazul II va trebui ca timpii auxiliari în cazurile I și III să fie mai mici decât diferența de timp a timpilor de bază, lucru confirmat de literatura de specialitate [P16], [V3] și normativele uzuale utilizate la normarea operației de strunjire. Eventuala utilizare a strungurilor cu ciclu de lucru automatizat care reduc foarte mult timpii auxiliari, ar aduce avantaje și mai mari;

- în extremis, chiar dacă  $T_{opI}=T_{opII}$ , avantajul aşchierii în mai multe treceri, cu adâncimi de aşchiere mici şi avansuri mari, se menţine în ceea ce priveşte capacitatea de producţie şi consumul energetic, care se traduce în economia operaţiei prin scăderi ale preţului de cost.

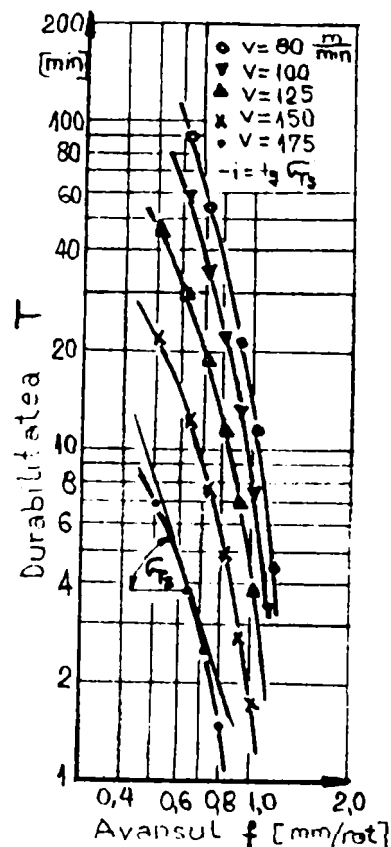
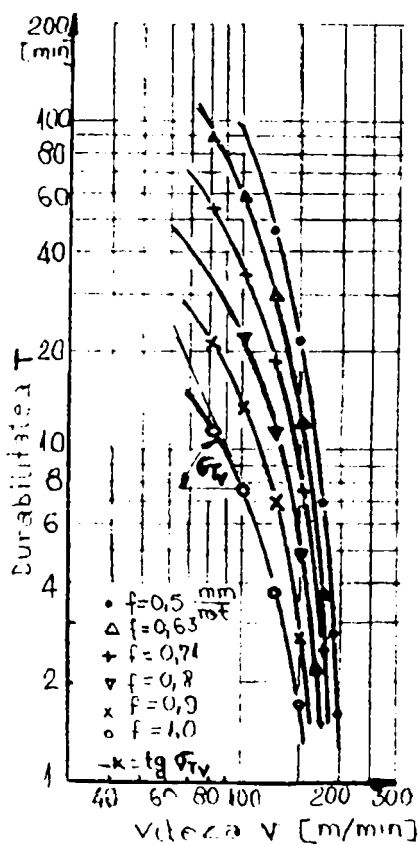
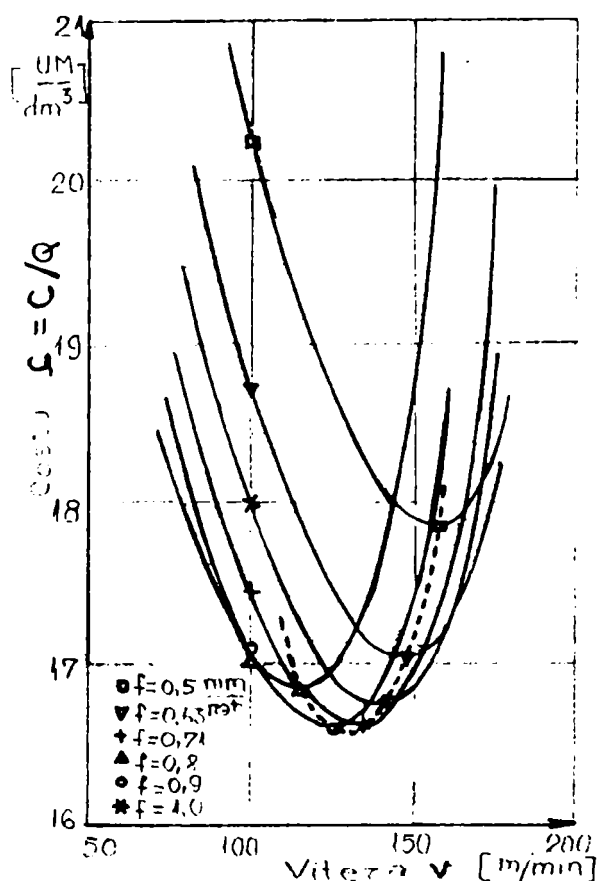


## 2.2.8. Metoda König-Depireaux de optimizare simultană avans-viteză de aşchiere la strunjire [K3].

Necesitatea optimizării concomitente f-v se bazează pe raționamentul simplu, că odată cu creșterea lui f și v scad timpii de prelucrare și în același timp cresc cheltuielile aferente cu sculele și MU, deci trebuie găsită o corelație f-v care să conducă la costuri minime, dacă nu cumva există alte criterii de limitare, în special pentru avans.

Metoda se exemplifică pentru un caz de prelucrare la strunjirea de degroșare a unui oțel de tip OLC45, cu un cuțit armat cu plăcuță P20 având geometria:  $\alpha_o=6^\circ$ ,  $\gamma_o=-6^\circ$ ,  $\lambda_r=-6^\circ$ ,  $\chi_r=70^\circ$ ,  $\epsilon_r=90^\circ$ ,  $r_e=1,2$  mm, adâncimea de aşchiat  $a_p=3$  mm.

Pentru compunerea curbelor costurilor  $C=f(f,v)$  (fig.2.5), s-a ținut cont de curbele experimentale de durabilitate prezentate în fig. 2.6.



Material OLC45  
Plăcuță HMP15  
Adâncime  $a_p=3$  mm

Geometria plăcuței  

$\alpha_o$	$\gamma_o$	$\lambda_r$	$\chi_r$	$\epsilon_r$	$r_e$
$6^\circ$	$-6^\circ$	$-6^\circ$	$70^\circ$	$90^\circ$	1,2

Fig.2.5  
Familia de curbe a costurilor C  
funcție de f și v

Fig.2.6  
Famiile curbelor de durabilitate T  
funcție de v și respectiv f

Expresia costului de prelucrare (2.89) ține cont de volumul Q de material aşchiat pentru a evita dependența acestuia de dimensiunile piesei:

$$C = \frac{(C_{rd} + C_{mu}) \cdot t_r}{60 \cdot W} + \frac{(C_{rd} + C_{mu}) \cdot t_a}{60 \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot a_p} + \frac{C_{rd} + C_{mu}}{60 \cdot 10^3 \cdot a_p \cdot f \cdot v} + \frac{(C_{rd} + C_{mu}) \cdot t_{ss} + 60 \cdot C_s}{60 \cdot 10^3 \cdot a_p \cdot f \cdot v \cdot T}, \quad (2.89)$$

în care notațiile au semnificațiile uzuale:

C – costul prelucrării, [lei/mm<sup>3</sup>];

C<sub>rd</sub> – cheltuieli cu retribuirea directă, [lei/h];

C<sub>mu</sub> – cheltuieli cu mașina-unealtă, [lei/h];

C<sub>s</sub> – cheltuieli cu sculele în perioada de durabilitate, [lei];

Q – volumul de aşchii detaşate, [mm<sup>3</sup>];

t<sub>r</sub> – timpul de rglare, [min];

t<sub>a</sub> – timpul auxiliar, [min];

t<sub>ss</sub> – timpul de schimbare a sculei, [min];

l – lungimea piesei prelucrate, [mm];

d – diametrul piesei prelucrate, [mm];

a<sub>p</sub> – adâncimea de aşchiere, [mm];

f – avansul longitudinal, [mm/rot];

v – viteza de aşchiere, [mm/min];

T – durabilitatea sculei, [min].

Pentru optimizarea relației (2.89) durabilitatea T trebuie exprimată funcție de f și v. Acestui deziderat nu-i corespunde nici formula lui Taylor  $v \cdot T^n = \text{const.}$  și nici polinoamele de ordin superior  $v \cdot T^n \cdot f^m = \text{const.}$ , deoarece m și n sunt la rândul lor variabile funcție de f și v. Trebuie găsită deci o nouă expresie a durabilității  $T=f(f,v)$ . Pentru aceasta, curbele din fig. 2.6 se dublulogaritmează și se consideră fiecare dependență  $\log T = i_f \cdot \log f$ , respectiv  $\log T = k_v \cdot \log v$ , ca derivate parțiale ale funcției  $T=f(f,v)$ ; suma celor două derivate parțiale în direcțiile v și f va fi:

$$dT = \frac{\partial T}{\partial v} dv + \frac{\partial T}{\partial f} df. \quad (2.90)$$

Întrucât condiția de integrabilitate a relației (2.90) este satisfăcută (derivatele mixte sunt nule), după integrarea ecuației (2.90) se obține expresia durabilității:

$$T = e^{\left( \frac{k_v}{m} \cdot v^m - \frac{i_f}{n} \cdot f^n + c \right)}, \quad (2.91)$$

care depinde atât de v cât și de f, ecuația Taylor fiind un caz particular ale ecuației (2.91) pentru eventualitatea în care din dublulogaritmare curbelor din fig. 2.6 rezultă drepte.

Introducând expresia (2.91) în (2.89) și notând cu literele A, B, C', D constantele din fiecare fracție componentă, expresia costului operației devine:

$$C = A + B + \frac{C'}{f \cdot v} + \frac{D}{f \cdot v \cdot e^{\left(\frac{k_v \cdot v^m - i_f}{m} \cdot f^n + c\right)}} \quad (2.92)$$

funcție ce descrie o suprafață.

Optimizarea funcției C înseamnă găsirea valorilor  $f_0$  și  $v_0$  pentru care aceasta prezintă un punct de extrem  $C_0$  (minim-optim). Valorile  $f_0$  și  $v_0$  se obțin din anularea derivatelor parțiale a relației (2.92). În final rezultă:

$$f^n = \frac{\ln \frac{C'}{D} + c - \frac{k_v}{m} \cdot v^m - \ln(k_v \cdot v^m - 1)}{\frac{i_f}{n}} \quad ; \quad (2.93)$$

$$v^m \left( \frac{k_v}{m} + \frac{k_v}{n} \right) - \left( \ln \frac{C'}{D} + c \right) = -\ln(k_v \cdot v^m - 1) \quad (2.94)$$

Ecuția (2.94) se rezolvă prin algoritmi de aproximare (preferabil pe un C.E.) iar valoarea obținută pentru  $v_0$  se introduce în (2.93) de unde rezultă  $f_0$ . Introducând valorile  $f_0$  și  $v_0$  în (2.92) rezultă valoarea minimă a costului  $C_0$ . Valorile

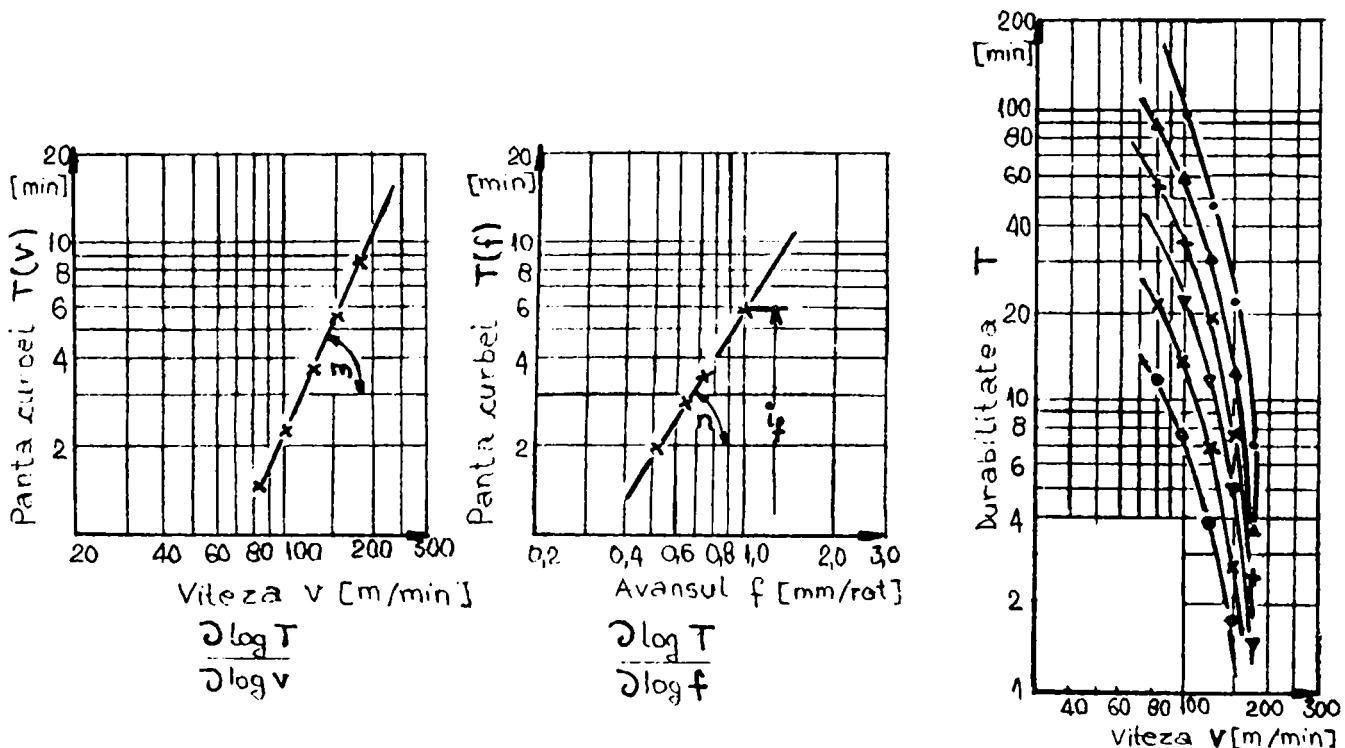


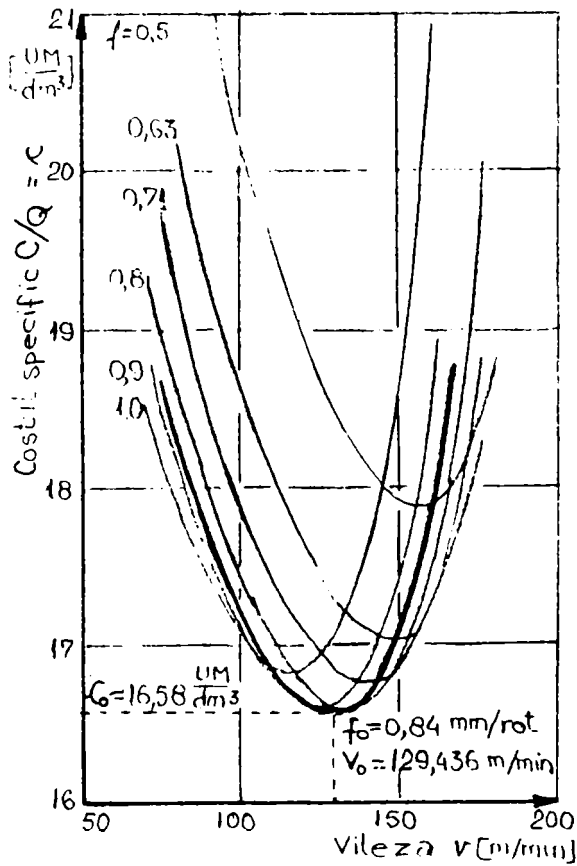
Fig.2.7

Curbele necesare determinării constantelor din relațiile (2.91)÷(2.94)

constantelor  $k_v$ ,  $m$ ,  $i_f$ ,  $n$  și  $c$  din expresiile (2.91)÷(2.94) se determină din 5 valori cunoscute ale durabilității pentru combinații  $f$ ,  $v$  cunoscute, luate din curbele din fig. 2.6 și introduse în relația (2.91). Din rezolvarea sistemului de 5 ecuații cu 5

necunoscute rezultă curbele din fig. 2.7 și următoarele valori ale constantelor pentru cazul de prelucrare considerat:

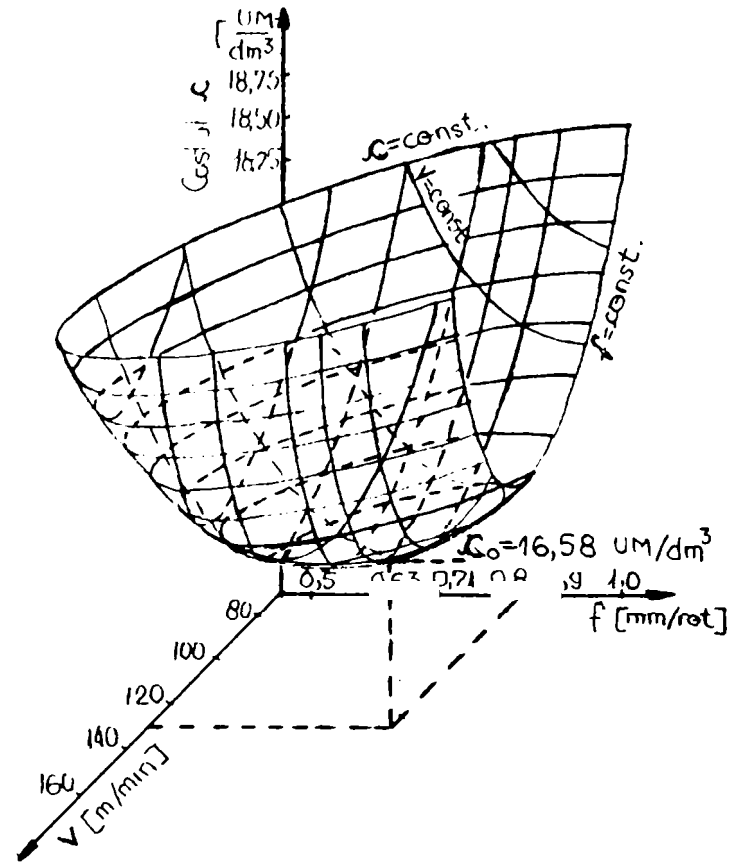
$$k_v = 2,34 \cdot 10^{-5}, m = 2,5, i_f = 5,91, n = 1,43, c = 7,16.$$



$L + K_m = 75 \text{ U}$      $V_0 l_g = 2 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$   
 $w_T = 1,5 \text{ U}$      $l = 500 \text{ mm}$   
 $t_w = 1 \text{ min}$      $d = 100 \text{ mm}$   
 $t_r = 60 \text{ min}$      $t_n = 3 \text{ min}$

Fig.2.8

Curbele de cost C ca functii de v și f



$L + K_m = 75 \text{ U}$      $V_0 l_g = 2 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$   
 $w_T = 1,5 \text{ U}$      $l = 500 \text{ mm}$   
 $t_w = 1 \text{ min}$      $d = 100 \text{ mm}$   
 $t_r = 60 \text{ min}$      $t_n = 3 \text{ min}$

Fig.2.9

Solutia grafica a ecuatiei (2.92)

Cu aceste valori ale constantelor și cu mărimile aferente exemplului de prelucrare:

$$C_{rd} + C_{mu} = 75.600 \text{ lei/h}, Q = 2 \cdot 10^7 \text{ mm}^3, t_r = 60 \text{ min}, t_a = 3 \text{ min}, C_s = 15.600 \text{ lei}, d = 100 \text{ mm}, l = 500 \text{ mm}, a_p = 3 \text{ mm}, t_{ss} = 1 \text{ min},$$

s-au obținut valorile optime:

$$v_0 = 129 \text{ m/min (2.94)} \text{ și } f_0 = 0,84 \text{ mm/rot (2.93).}$$

În fig. 2.8 curba costurilor corespunzătoare valorii optime a avansului  $f_0$  este îngroșat dusă, în timp ce reprezentarea grafică a expresiei (2.92) dă suprafața din fig. 2.9 în care curbele de costuri constante sunt reprezentate ca și curbe de nivel constant.

## 2.2.9. Optimizarea cu considerarea costurilor minime la calitate impusă.

### 2.2.9.1. Determinarea funcției de optimizare – Costul tehnologic unitar.

Constatând câteva din deficiențele relațiilor pentru optimizarea regimului de aşchiere, această metodă [P9], [S6] consideră ca și criteriu de optimizare costul minim al operației dar într-o formă ce include mai multe variabile ale procesului de aşchiere și în special un indicator de calitate. În baza acestei metodologii, utilizând procedee economice de comparație, se poate concluziona asupra eficienței economice a unei variante de comandă a procesului de prelucrare.

Astfel, drept criteriu de optimizare se utilizează costul de producție fără a ține cont însă de costurile cu materialele care se consideră egale pentru toate variantele de proces tehnologic la o piesă dată. Costul unitar pe produs este:

$$C_{up} = \sum_{i=1}^{n_m} M_{ur} + \sum_{i=1}^{n_{op}} \left[ C_{am} + C_{ech} + C_s + \left( 1 + \frac{c_{as} + c_{ax}}{100} \right) \cdot C_m \right], \quad (2.95)$$

unde :

$C_{up}$  – costul unitar pe produs;  $M_{ur}$  – cheltuieli unitare cu rezidurile de materiale aşchiate;  $n_m$  – numărul de mărci de materiale utilizate pe produs;  $n_{op}$  – numărul de operații pe unitatea de produs;  $C_{am}$  – cheltuieli cu amortismentul și exploatarea utilajului;  $C_{ech}$  – cheltuieli cu echipamentul tehnologic, mai puțin costul  $C_s$  cu sculele aşchietoare;  $c_{as}$  și  $c_{ax}$  – cote procentuale de cheltuieli pentru asistența socială respectiv pentru alte activități colaterale manoperei a cărei cost este  $C_m$ .

Pentru scrierea relațiilor matematice ale costului tehnologic este necesară analiza procesului de prelucrare pe o perioadă de timp care să includă toate etapele operației și deci nu numai timpii de bază ci și toți timpii intermediari și auxiliari: pentru schimbarea sculei, pentru reglarea la cotă, pentru compensarea și reajustarea STE etc. Acest timp se notează cu  $T_{bm} = \sum_{i=1}^m t_o$ , unde:  $m$  – numărul de faze și  $t_o = L_p/n \cdot f$  – timp de bază pe fază.

În aceste condiții, costul tehnologic pe lotul de  $n_{p1}$  piese este:

$$C = C_{cp} + C_r + C_i, \quad (2.96)$$

unde:  $C_{cp}$  – cheltuieli cu amortizarea și întreținerea STE;  $C_r$  – cheltuieli totale cu manopera muncitorului și reglorului;  $C_i$  – cheltuieli cu întreținerea utilajului.

Cele trei costuri parțiale din relația (2.96) se determină astfel:

$$C_{cp} = n_s(Q_f + Q_o + Q_i) + Q_i, \quad (2.97)$$

unde:  $n_s$  – numărul de scule utilizate:  $n_s = n_{pl}/n_{pr}$ , în care  $n_{pr}$  – număr de piese executate cu aceeași sculă în perioada totală de durabilitate;

$$Q_f - \text{cheltuieli cu aşchiera efectivă: } Q_f = a_{cp} \sum_{i=1}^m t_o, \quad (2.99)$$

în care:

$a_{cp}$  – cheltuieli pe minut pentru aşchiera efectivă;

$Q_o$  – cheltuieli pe timpul opririi MU:

$$Q_o = n_{pr} \cdot T_{sm} \cdot a_{cp}', \quad (2.100)$$

în care:

$T_{sm}$  – timpul unei opriri;

$a_{cp}'$  - cheltuieli pe minut legate de timpul de staționare.

$$Q_i = (n_{rc} \cdot t_{rc} + t_{is}) a_{cp}', \quad (2.101)$$

unde:  $Q_i$  – cheltuieli cu reinstalarea STE;

$$n_{rc} = h_r / (\delta - \varepsilon_s - \delta_l - \delta_{di}), \quad (2.102)$$

în care:

$t_{rc}$  – timpul necesar reglajului dimensional al STE;

$t_{is}$  – timpul trecerilor de reinstalare (inclusiv cea inițială).

În relația (2.102) s-au notat:

-  $\delta$  - [mm] - toleranța la dimensiunea de bază a piesei;

-  $\varepsilon_s$  - [mm] - valoarea erorii sistematice;

-  $\delta_l$  - [mm] - toleranța limitativă a câmpului momentan de dispersie a dimensiunii piesei;

-  $\delta_{di}$  - [mm] - toleranța la cota de instalare a STE;

-  $h_r$  - [mm] - uzura măsurată în direcția obținerii dimensiunii;

$$Q_i = T_{pi} \cdot a_{cp}' - \text{cheltuieli cu timpul de pregătire-încheiere.} \quad (2.103)$$

Înlocuind relațiile (2.98)÷(2.102) în (2.97) se obține costul  $C_{cp}$ :

$$C_{cp} = \frac{n_{pl}}{n_{pr}} \left[ a_{cp} \cdot \sum_{i=1}^m t_o + n_{pr} \cdot T_{sm} \cdot a_{cp}' + \left( \frac{h_r \cdot t_{rc}}{\delta - \varepsilon_s - \delta_l - \delta_{di}} + t_{is} \right) \cdot a_{cp}' \right] + T_{is} \cdot a_{cp}'. \quad (2.104)$$

Analog, cheltuielile totale cu manopera,  $C_r$ , sunt:

$$C_r = \frac{n_{pl}}{n_{pr}} \cdot \left[ a_{rm} \cdot \sum_{i=1}^m t_o + n_{pr} \cdot T_{sm} \cdot a_{rm}' + \left( \frac{h_r \cdot t_{rc}}{\delta - \varepsilon_s - \delta_l - \delta_{di}} + t_{is} \right) \cdot (a_{rm}' + a_{rr}') \right] + T_{pi} \cdot (a_{rm}' + a_{rr}'), \quad (2.105)$$

unde  $a_{rm}$  și  $a_{rr}$  sunt cheltuielile pe minut cu retribuțiile muncitorului, respectiv ale reglorului.

Notând cu B cota parte din valoarea cheltuielilor de întreținere ale MU, cheltuielile aferente întreținerii MU,  $C_i$  sunt:



$$C_i = (n_{pl}/n_{pr}) \cdot B. \quad (2.106)$$

Înlocuind relațiile (2.104), (2.105) și (2.106) în (2.96) obținem ecuația desfășurată a costului tehnologic pe lotul de piese C:

$$C = n_{pl} \left[ \frac{(a_{cp} + a_{rm}) \cdot \sum_{i=1}^m t_o + \frac{t_{rc} (a_{rm} + a_{rr} + a'_{cp})}{\delta + \varepsilon_s + \delta_l + \delta_{di}} \cdot h_r + (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}) \cdot t_{is} + B}{n_{pr}} + T_{sm} \cdot (a'_{cp} + a_{rm}) \right] + T_{pi} \cdot (a_{rm} + a_{rr} + a'_{cp}). \quad (2.107)$$

Costul tehnologic unitar pentru prelucrare va fi:

$$C_u = C/n_{pl} \quad (2.108)$$

și pentru a-l putea utiliza în optimizarea parametrilor regimului de așchiere va trebui ca aceștia să se regăsească în  $C_u$ , lucru care se va face în continuare. Pentru aceasta se exprimă numărul de piese prelucrate în perioada de durabilitate T de către o sculă:

$$n_{pr} = T/t_o, \quad (2.109)$$

în care:

$$T = h_{ra}/v_h, \quad (2.110)$$

unde  $h_{ra}$  – uzura în direcția radială, admisibilă la sculă

$$\text{iar } v_h = C_{vh} \cdot v^{u_v} \cdot f^{u_f} \cdot a_p^{u_a}, \quad (2.111)$$

$v_h$  - viteza medie de uzură exprimată funcție de parametrii de regim v, f,  $a_p$  și o serie de exponenți și constante:  $u_v$ ,  $u_f$ ,  $u_a$  și  $C_{vh}$ ;

$$t_o = \frac{L_p}{n \cdot f} = \frac{L_p \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot v \cdot f}, \quad (2.112)$$

$t_o$  – timpul de bază pe fază exprimat funcție de dimensiunile piesei  $L_p$ , D și parametrii așchierii.

Înlocuind în expresia (2.108) desfășurată prin (2.107) relația (2.109) dezvoltată prin înlocuirile cu (2.110)÷(2.112) precum și ținând cont că uzura  $h_r$  din (2.108) se poate exprima funcție de unghiul de așezare  $\alpha_f$  al sculei, de uzura admisibilă  $h_{ra}$  și de deformațiile termice  $\Delta_t^o$  cu

$$h_r = h_{ra} \cdot \text{tg} \alpha_f + \Delta_t^o, \quad (2.113)$$

rezultă după calcule:

$$C_u = \frac{\pi \cdot D \cdot L_p}{10^3 \cdot f} (a_{cp} + a_{rm}) \cdot \frac{1}{v} + \frac{\pi \cdot D \cdot L_p \cdot C_{vh} \cdot f^{u_f-1} \cdot a_p^{u_a}}{10^3 \cdot h_{ra}} \cdot v^{u_v-1} \cdot \left\{ \left[ t_{is} + k_{di} \cdot \delta_{di}^k \cdot \frac{h_{ra} (\Delta_t^o \cdot v^{-u_v} + C_{vh} \cdot f^{u_f} \cdot a_p^{u_a} \cdot \text{tg} \alpha_f)}{C_{vh} \cdot f^{u_f} \cdot a_p^{u_a} [\delta - (\varepsilon_s + \delta_l + \delta_{di})]} \right] \cdot (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}) + B \right\} + T_{sm} (a'_{cp} + a_{rm}) + \frac{T_{pi}}{n_{pl}} (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}). \quad (2.114)$$

Ținând cont de legăturile funcționale ale rugozității  $R_a$  cu toleranța maxim admisă a piesei la prelucrarea de strunjire și cu raza de bontire  $r_\epsilon$  a sculei, avansul maxim admis este  $f_{\max} = 2\sqrt{r_\epsilon^2 - (r_\epsilon - R_a)^2}$  (nu se exclude utilizarea și altor relații de dependență), iar expresia costului tehnologic unitar (2.114) devine:

$$C_u = \frac{\pi \cdot D \cdot L_p}{2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{r_\epsilon^2 - (r_\epsilon - R_a)^2}} \cdot (a_{cp} + a_{rm}) \cdot \frac{1}{v} + \frac{\pi \cdot D \cdot L_p \cdot C_{vh} \left[ 2\sqrt{r_\epsilon^2 - (r_\epsilon - R_a)^2} \right]^{u_f} \cdot a_p^{u_a} \cdot v^{u_v - 1}}{10^3 \cdot h_{ra}} \cdot \left\{ \left[ t_{is} + k_{di} \cdot \delta_{di}^\beta \cdot \frac{h_{ra} \left[ \Delta_{\rho'} \cdot v^{-u_v} + C_{vh} \left( 2\sqrt{r_\epsilon^2 - (r_\epsilon - R_a)^2} \right)^{-u_f} a_p^{u_a} \cdot \operatorname{tg} \alpha_f \right]}{C_{ch} \cdot \left( 2\sqrt{r_\epsilon^2 - (r_\epsilon - R_a)^2} \right)^{u_f} \cdot a_p^{u_a} \cdot [\delta - (\epsilon_s + \delta_l + \delta_{di})]} \right] \cdot (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}) + B \right\} + T_{sm} \cdot (a'_{cp} + a_{rm}) + \frac{T_{pi}}{n_{pl}} (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}). \quad (2.115)$$

Relația (2.115) poate fi particularizată pentru diferite cazuri de prelucrare, de exemplu dacă instalarea și reinstalarea STE se face manual odată pentru toate piesele din lot, atunci  $T_{pi}=0$  și deci ultimul termen al relației (2.115) dispăre. În mod analog se obțin expresiile pentru costul tehnologic unitar și pentru alte cazuri: reglarea STE se face de către reglor iar reinstalarea de către muncitor, reglarea STE se face de către reglor cu ajutorul muncitorului etc.

În relația (2.115) toți coeficienții, exponenții și cheltuielile parțiale se consideră a fi constante și cunoscute din tabelele din literatura de specialitate, corespunzător cazului de prelucrare dat.

Dacă se dispune de date referitoare la temperatura de așchiere  $\theta$  și tensiunea termoelectromotoare  $E$  care însoțesc procesul de așchiere, relația (2.115) poate fi exprimată în funcție de unul din acești parametri, ținându-se cont de dependența vitezei de uzură de acești parametri (de exemplu:  $v_h = K_{Eh} \cdot E^{Eh} = K_{\theta h} \cdot \theta^{\theta h}$ ), care pot avea expresiile:  $E = K_E \cdot v_h^{u_E}$ ,  $\theta = K_\theta \cdot v_h^{u_\theta}$  ( $v_h$  fiind dependent de parametrii de regim de așchiere  $v$ ,  $f$ ,  $a_p$ ). În felul acesta, după alegerea parametrilor de așchiere funcție de anumite restricții, se pot determina cu ajutorul calculatorului electronic, valorile optime atât pentru  $v$ ,  $f$ ,  $a_p$  cât și pentru  $E$  sau  $\theta$ .

Relația costului tehnologic unitar funcție de tensiunea  $E$  este:

$$C_u = \frac{\pi \cdot D \cdot L_p}{10^3 \cdot f} (a_{cp} + a_{rm}) \cdot \frac{K_E^{u_E}}{E^{u_E}} + \frac{\pi \cdot D \cdot L_p \cdot K_{Eh}^{u_{Eh}} \cdot E^{-u_E}}{10^3 \cdot f \cdot K_E^{u_E} \cdot h_{ra}} \cdot \left\{ \left[ t_{is} + \frac{h_{ra} (\Delta_{\rho'} \cdot E^{-u_{Eh}} + K_{Eh} \cdot \operatorname{tg} \alpha_f) \cdot k_{di} \cdot \delta_{di}^\beta}{K_{Eh} [\delta - (\epsilon_s + \delta_l + \delta_{di})]} \right] \cdot (a'_{cp} + a_{rm} + a_{rr}) + B \right\} +$$

$$+ T_{sm} (a_{cp}' + a_{rm}) + \frac{T_{pi}}{n_{pl}} (a_{cp}' + a_{rm} + a_{rr}); \quad (2.116)$$

iar relația costului tehnologic unitar funcție de temperatura de așchiere  $\theta$  este:

$$C_u + \frac{\pi \cdot D \cdot L_p}{10^3 \cdot f} (a_{cp}' + a_{rm}) \cdot \frac{K_{\theta}^{\frac{1}{u_{\theta}}}}{\theta^{\frac{1}{u_{\theta}}}} + \frac{\pi \cdot D \cdot L_p \cdot K_{\theta_h}^{u_{\theta_h}}}{10^3 \cdot f \cdot K_{\theta}^{\frac{1}{u_{\theta_h}}} \cdot h_{ra}^{\frac{1}{u_{\theta_h}}}} \cdot \left\{ \left[ t_{is} + \frac{h_{ra} (\Delta_{r^{\circ}} \cdot \theta^{-u_{\theta_h}} + K_{\theta_h} \cdot tg \alpha_f) \cdot k_{\delta} \cdot \delta_{di}^k}{K_{\theta_h} [\delta - (\varepsilon_s + \delta_1 + \delta_{di})]} \right] \cdot (a_{cp}' + a_{rm} + a_{rr}) + B \right\} + T_{sm} (a_{cp}' + a_{rm}) + \frac{T_{pi}}{n_{pl}} (a_{cp}' + a_{rm} + a_{rr}). \quad (2.117)$$

La folosirea comenzilor automate ale ciclului, instalarea și reinstalarea STE se face în mod automat, funcția reglorului fiind eliminată. În acest caz timpii necesari stabilirii cotelor de reglaj static inițial nu depășesc 5" și de obicei se suprapun peste timpul de apropiere a elementului de execuție. Urmează că în relațiile (2.115), (2.116), (2.117) pentru cazul comenzilor automate ale ciclului va dispărea termenul  $a_{rr}$  și se vor reduce timpii  $t_{rc}$  și  $t_{is}$ .

Particularitatea de obținere a criteriului de optimizare sub această formă constă în aceea că reflectă atât procesul de așchiere ca atare (prin parametrii  $v$ ,  $f$ ,  $a_p$ ), cât și aspecte privind: precizia de prelucrare prin toleranța  $\delta$  (IT – conf. STAS); calitatea suprafeței prelucrate prin rugozitatea  $R_a$ ; erorile tehnologice de prelucrare întâmplătoare și sistematice  $\varepsilon_s$  datorate în parte deformațiilor termice ale STE; caracteristica elastică a STE  $\delta_1$ ; parametrii de intrare ai piesei  $D$  și  $L_p$ ; durabilitatea sculei prin  $v_h$  sau  $h_{ra}$ ; precizia reinstalărilor la cotă ale STE prin  $\delta_{di}$ ; numărul de piese din lot prin  $n_{pl}$ ; parametrii geometrici de bază ai sculei așchietoare prin  $\alpha_f$  și  $\Delta_t^{\circ}$  precum și o serie de constante care caracterizează cheltuielile de unitate monetară (UM, bani) ( $a_{cp}$ ,  $a_{cp}'$ ,  $a_{rm}$ ,  $a_{rr}$ ) și de timp ( $T_{pi}$ ,  $t_o$ ,  $t_{rc}$ ,  $t_{is}$ ,  $T_{su}$ ).

Valorile optime pentru parametrii de lucru, sau pentru cei care pun în evidență calitatea prelucrării, se obțin prin rezolvarea matematică a derivatelor parțiale corespunzătoare, în oricare din relațiile (2.115)÷(2.117) după necesități.

### 2.2.9.2. Optimizarea variantelor de prelucrare și optimizarea parametrică cu ajutorul criteriului cost tehnologic unitar.

Criteriul cost tehnologic unitar este în esență un criteriu care permite optimizarea parametrilor de regim și de calitate [K3], [P10], [S7]. Acest criteriu este strâns legat de aspectul economic al procesului de prelucrare. În acest sens, se

socotește că cel mai bun indicator economic îl reprezintă valoarea totală a cheltuielilor de producție  $C_{tp}$ :

$$C_{tp} = G_i \cdot K + C_{pu} \cdot N, \quad (2.118)$$

unde:  $G_i$  – gradul de încărcare normal al bazei materiale [%an];

$K$  – costul investiției de capital [bani/an];

$N$  – numărul de piese anual;

$C_{pu}$  – costul complet de producție al unei piese;

$$C_{pu} = C_u + C_m, \quad (2.119)$$

în care  $C_u$  și  $C_m$  reprezintă costurile complete, tehnologice respectiv cu materialele, pentru o piesă.

Atunci relația (2.118) devine:

$$C_{tp} = (G_i \cdot K + C_m \cdot N) + N \cdot C_u. \quad (2.120)$$

Utilizând acest indicator economic drept criteriu de optimizare, se pot analiza două feluri de optimizare, parametrică (prin al doilea termen) și variantică (prin primul termen). Optimizarea variantică include în ea alegerea optimală a variantei de proces tehnologic, care asigură calitatea pieselor la o capacitate de producție prestabilită, realizabilă cu utilaje, scule, dispozitive și semifabricate diferite.

Fiecare din cele  $1 \dots j \dots J$  variante tehnologice, care rezolvă aceeași problemă de prelucrare, va fi caracterizată de o anumită valoare a criteriului  $C_{tp}$ :

$$C_{tpj} = (G_i \cdot K_j + C_{mj} \cdot N) + N \cdot C_{uj}, \quad (2.121)$$

$G_i$  și  $N$  nedepinzând de varianta  $j$ .

Scopul optimizării variantice este alegerea variantei cu cel mai mic  $C_{tpj}$ , adică:

$$C_{tpj} \rightarrow \min \text{ pentru } 1 \leq j \leq J. \quad (2.122)$$

Investiția de capital  $K_j$  și tipul de semifabricat și materiale auxiliare  $C_{mj}$  sunt specifice fiecărei variante  $j$  în mod univoc. Partea de costuri tehnologice  $C_{uj}$  depinde : de regimul de prelucrare prin parametrii de regim ( $v$ ,  $f$  și adaosurile de prelucrare intermediare  $a_{pm}$ ), de toleranțele la dimensiuni, de costurile sculelor așchietoare, de retribuția orară a muncitorului și de altele [S7]. Ca atare  $C_{uj}$  depinde de varianta  $j$  de prelucrare și apare problema optimizării parametrilor tehnologici astfel încât  $C_{uj}$  să fie minim.

Optimizarea parametrică presupune alegerea acelor parametrii tehnologici care să minimizeze costul unitar tehnologic al fiecărei variante concrete  $j$ . Fie  $C_{uj}$  partea din  $C_{tpj}$  dependentă de parametrii tehnologici ai variantei  $j$ . Analizarea procesului tehnologic de strunjire a unei piese care necesită 3 operații arată că parametrul  $C_{uj}$  va aparține unui domeniu închis de valori  $D_j$ , delimitat de cele circa 40 de restricții tehnologice de prelucrare, adică  $C_{uj} \in D_j$ .

Scopul optimizării parametrice este asigurarea condiției:

$$\min C_{uj}(C_{utj}; C_{utj} \in D_j). \quad (2.123)$$

Prin prisma celor prezentate, relația pentru optimizarea varianțică devine:

$$\min C_{tpj}(C_{utj}) = (G_j \cdot K_j + C_{mj} \cdot N) + N \cdot C_{uj}(C_{utj}) \rightarrow \min. \quad (2.124)$$

În aceste condiții, criteriul de optimizare al variantelor  $C_{tpj}$  și optimizarea parametrică  $C_{uj}$  nu sunt în opoziție. Mai mult, comparând condițiile (2.122) și (2.124), se poate concluziona: optimizarea varianțică permite evidențierea variantei optime a procesului de prelucrare numai în cazul când fiecare din variantele comparate au fost în prealabil optimizate parametric. Din această concluzie se desprinde un principiu numit al comparabilității, conform căruia condițiile (2.122), (2.123) și formula (2.124) permit obținerea ecuației matematice a unicului scop al optimizării varianțice și parametrice astfel:

$$\min[(G_j \cdot K_j + C_{mj} \cdot N) + N \cdot \min C_{uj}(C_{utj})], \quad C_{utj} \in D_j. \quad (2.125)$$

Ecuatiile prezentate permit reorganizarea metodologică a etapelor care trebuie parcurse pentru optimizarea tehnologică a unui proces. Astfel, concret, considerând procesul tehnologic polioperației de prelucrare a unei piese și presupunând că pentru fiecare din cele  $j$  variante ale procesului s-a efectuat optimizarea parametrică în urma căreia s-au obținut valorile optime ale parametrilor tehnologici  $C_{utj(j=1...j)}$ , costul minim tehnologic pentru varianta  $j$  va fi:

$$C_{oj} = C_{uj}(C_{utj}) = \min C_{uj}(C_{utj}), \quad C_{utj} \in D_j. \quad (2.126)$$

Astfel, condiția (2.118) care exprimă scopul optimizării varianțice poate fi scrisă ca:

$$\min[(G_j \cdot K_j + C_{mj} \cdot N) + N \cdot C_{oj}], \quad 1 \leq j \leq J. \quad (2.127)$$

Dacă piesa se realizează în  $1 \dots m \dots M$  operații, fiecare putând fi executată în  $J_m$  variante, numărul total al variantelor tehnologice teoretice este:

$$J = \prod_{m=1}^M J_m. \quad (2.128)$$

Varianta  $j$  a procesului tehnologic se determină prin selectarea variantelor corespunzătoare tehnic:  $i(-j,1), \dots, j(j,m), \dots, i(j,M), 1 \leq i(j,m) \leq J_m$ . La varianta de ordinul  $j$ , fiecare operație  $m$  se caracterizează prin: capital  $K_{j,m}$ , materiale  $C_{mj,m}$  și  $C_{oj,m}$  astfel încât:

$$K_j = \sum_{m=1}^M K_{j,m}; \quad C_{mj} = \sum_{m=1}^M C_{mj,m}; \quad C_{oj} = \sum_{m=1}^M C_{oj,m}. \quad (2.129)$$

După introducerea acestor expresii în ecuația (2.127) se găsește varianta optimă de proces tehnologic. În acest mod se realizează optimizarea varianțică. Principiul comparabilității este respectat la această metodă, deoarece pentru fiecare variantă sunt luate valorile minime ale costurilor tehnologice la parametrii tehnologici optimi.

Să analizăm un exemplu concret ce ilustrează principiul comparabilității. Procesul tehnologic de excuție al arborelui constă în două operații ( $M=2$ ): eboșare ( $m=1$ ) și finisare ( $m=M=2$ ) pe strung. Fiecare operație poate fi executată în două variante ( $J_1=J_2=2$ ). Prima variantă ( $i=1$  pentru fiecare din operații) este o prelucrare obișnuită. A doua variantă ( $i=2$  pentru fiecare din operații) este o prelucrare care utilizează sistemul de comandă automată al ciclului cotelor [B10], [D7], [S7]. Utilizarea SCA a ciclurilor permite ridicarea capacității de producție a procesului de reglare dimensională și prin urmare scad cheltuielile pe operație. La creerea și introducerea acestui sistem trebuie însă investiții suplimentare. Rezultă deci că este necesară rezolvarea problemei de optimizare variancică. Numărul total al variantelor procesului tehnologic este  $J=2 \cdot 2=4$ . Variantele posibile sunt prezentate în tabelul 2.2 iar mărimile necesare pentru realizarea optimizării variancice sunt redate în tabelul 2.3.

Tabelul 2.2

Varianta tehnologică a procesului.

Numărul operației	$I=1$	$i=J_1=J_2=2$
	Fără CA	cu CA
$m=1$	$J=1; 2$	$J=3; 4$
$m=2=M$	$J=1; 3$	$J=2; 4$

Tabelul 2.3

Valorile parametrilor pentru optimizare.

Parametrul operației	Valorile parametrului pentru operație [unitați monetare-UM]		Parametrul tehnologic al procesului	Valorile parametrului [UM]	Criteriul de optimizare [UM]
	1	2			
$K_1, m$	0	0	$K_1$	0	14000
$C_{m1}, m$	0,2	0,2	$C_{21}$	0,4	
$C_{01}, m$	0,4	0,6	$C_{01}$	1,0	
$K_2, m$	0	6000	$K_2$	6000	12200 (13200)
$C_{m2}, m$	0,2	0,2	$C_{22}$	0,4	
$C_{02}, m$	0,3 (0,4)	0,4	$C_{02}$	0,7 (0,8)	
$K_3, m$	6000	0	$K_3$	6000	13000
$C_{m3}, m$	0,2	0,2	$C_{23}$	0,4	
$C_{03}, m$	0,38	0,4	$C_{03}$	0,78	
$K_4, m$	6000	6000	$K_4$	12000	13200
$C_{m4}, m$	0,2	0,2	$C_{24}$	0,4	
$C_{04}, m$	0,34	0,34	$C_{04}$	0,68	

Observație: În paranteză sunt indicate valorile neoptime corespunzătoare.



$$C_{m,j}, C_{1j} > C_{0j}, C_{1pj} = G_i \cdot K_j + C_{uj} > G_i \cdot K_j + C_{0j}.$$

Valorile  $C_{1pj}$  după formula (2.124) sunt calculate din condiția ca:

$$G_i = 0,2; N = 10^4 \text{ buc/an.}$$

La un număr mare  $J$ , optimizarea varianțică se realizează cu ajutorul C.E.

În exemplu, este optimă varianta  $J=2$  (a doua operație este cu CA). La calculul parametrilor tehnologici optimi (optimizarea parametrică), pentru fiecare variantă se folosește metoda de calcul a parametrilor tehnologici dată în § 2.2.9.1. [P9], [S7]. Presupunem că în locul valorilor optimale ale costurilor tehnologice  $C_{0j}$  se folosesc valorile de mai sus. Acest lucru este valabil atunci când nu se face optimizarea parametrică, adică principiul comparabilității nu mai este respectat.

În acest caz, rezultatul optimizării varianțice va fi  $J=3$  (prima operație cu CA, a doua – fără CA), adică se alege aprioric varianta neoptimă (la degroșare, operație mai puțin precisă, este mică probabilitatea de aplicare a CA, în timp ce la finisare, operație mult mai precisă, nu este economică utilizarea CA). În exemplul dat se ilustrează importanța principiului comparabilității la optimizarea varianțică și corespunzător, necesitatea optimizării parametrică. Optimizarea parametrică este necesară nu numai pentru respectarea principiului comparabilității la alegerea variantei optime. Parametrii tehnologici optimi sunt premisele pentru normarea tehnică, utilizarea rațională a utilajelor, a dispozitivelor, a sculelor și pentru realizarea planificării optime a producției (pe baza normelor tehnice de timp).

În acest mod, optimizarea varianțică urmează a se aplica la proiectarea proceselor tehnologice noi. Optimizarea parametrică în acest caz este necesară doar pentru respectarea principiului comparabilității, adică pentru alegerea variantei optime reale. La proiectarea noilor procese tehnologice în producția existentă, la utilaje neschimbate, optimizarea tehnologică, ca mijloc de normare tehnică științifică, capătă o valoare de sine stătătoare.

### 2.3. Analiza critică a metodelor de optimizare la strunjire.

#### 2.3.1. Structura operației tehnologice.

Operația tehnologică, element de bază al oricărui proces de prelucrare prin așchiere, caracterizată de unitatea locului, piesei, sculei de lucru și a operatorului se descompune în faze, treceri, mânuiri și mișcări.

Structura concretă a unei aceleiași operații diferă mult funcție de caracterul producției (seria de fabricație) și de tipul mașinii-unelte pe care aceasta se execută. Acest lucru se răsfrânge și asupra structurii timpului de muncă [D10], [P18]:

$$N_T = T_b + T_a + T_{dt} + T_{do} + T_{pi}/n = T_{op} + T_{dt} + T_{do} + T_{on} + T_{pi}/n = T_u + T_{pi}/n. \quad (2.130)$$

Optimizarea operației tehnologice are influență atât asupra ciclurilor de lucru cât și a timpului consumat pe operație, ambele creează efecte asupra costului operației, criteriu de performanță predominant.

În cele ce urmează se analizează structura operațiilor și ciclurile de lucru la prelucrarea unor piese tip reprezentative din clasele: flanșă, bucușă și arbore, în cazul producției individuale. Prelucrările se consideră a fi executate pe două tipuri de strunguri: I – prelucrare pe strunguri clasice sau cu CN și II – prelucrare pe un centru de prelucrare. Exemplele de prelucrare alese, nu sunt tratate exhaustiv din punct de vedere tehnologic, ci doar prin prisma scopului analizei: identificarea factorilor de pondere în cadrul structurii operației, a timpului consumat pe operație și a ciclului de lucru. Timpii  $T_{dt}$ ,  $T_{do}$ ,  $T_{ou}$  și  $T_{pi}$  fiind dependenți de  $T_{op}$ , numărul de piese din lot și tipul mașinii-unelte nu se analizează din punctul de vedere al optimizării.

Pentru concentrarea prezentării exemplilor de prelucrare, semnificațiile simbolurilor și notațiile utilizate se prezintă în anexa cu notații din finalul tezei.

### 2.3.2 Prelucrare pe strunguri clasice sau cu CN.

A. Piesă de tip flanșă (fig. 2.10 și 2.11) – prelucrare pe strung clasic.

- semifabricat forjat liber la ciocane;
- material: 31 Mn Si 12 STAS 880-80.

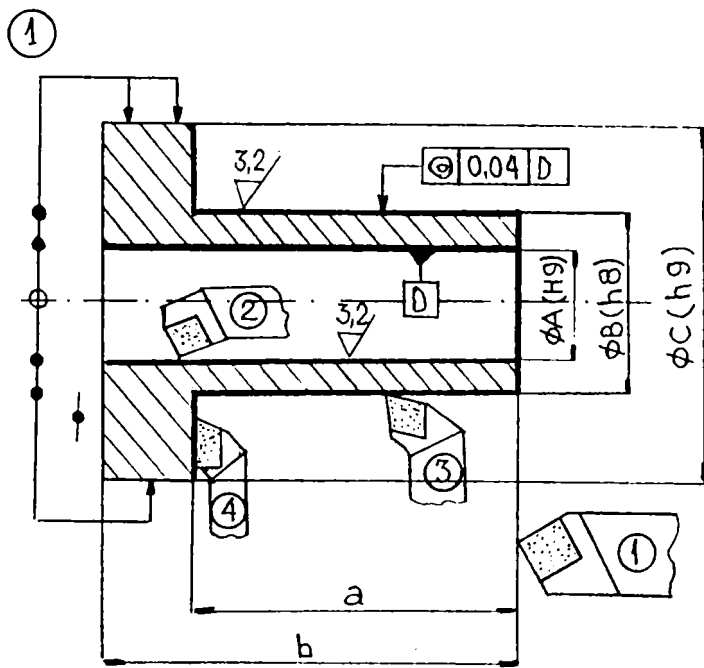
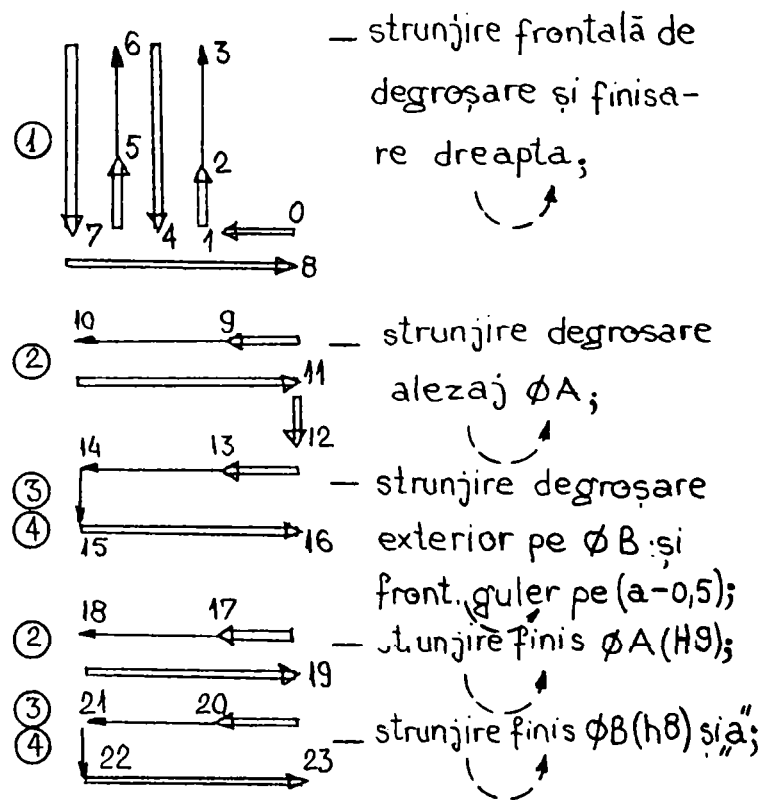


Fig. 2.10



② — întoarcere piesă și prindere pe dorn;

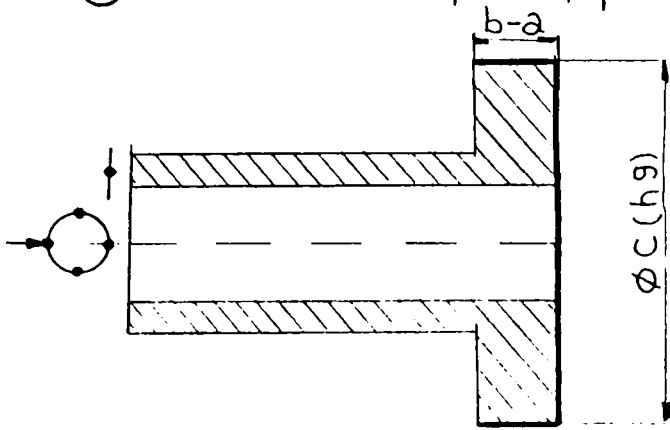
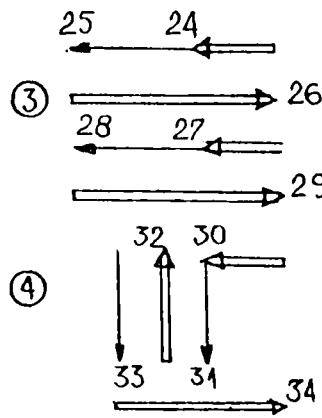


Fig. 2.11



— strunjire de degroșare și finisare  $\varnothing C (h9)$ ;

— strunjire de degroșare  $(b-a+0,5)$  și finisare  $(b-a)$  pe partea front. stg.

— Pentru valorile cotelor:  $A = \varnothing 20$ ,  $B = \varnothing 30$ ,  $C = \varnothing 40$ ,  $a = 60$ ,  $b = 100$  rezultă:  $T_b = 1,81 \text{ min}$ ;  $T_a = 2,41 \text{ min}$ ;  $T_{op} = 4,22 \text{ min}$ ;  $N_{me} = 11$ ;  $N_{ma} = 23$ ;  $N_{mt} = 34$ ;  $n_{max} = 4$ .

B. Piesă de tip bucșă (fig. 2.12 ÷ 2.15) — prelucrare pe strung automat.

- semifabricat forjat liber la ciocane;
- material: 31 Mn Si 12 STAS 880-80.

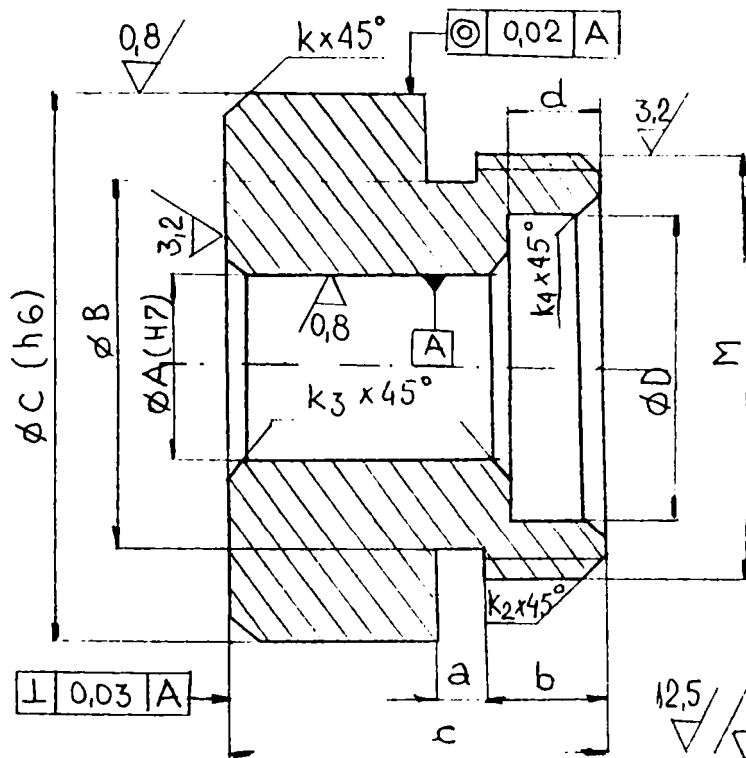
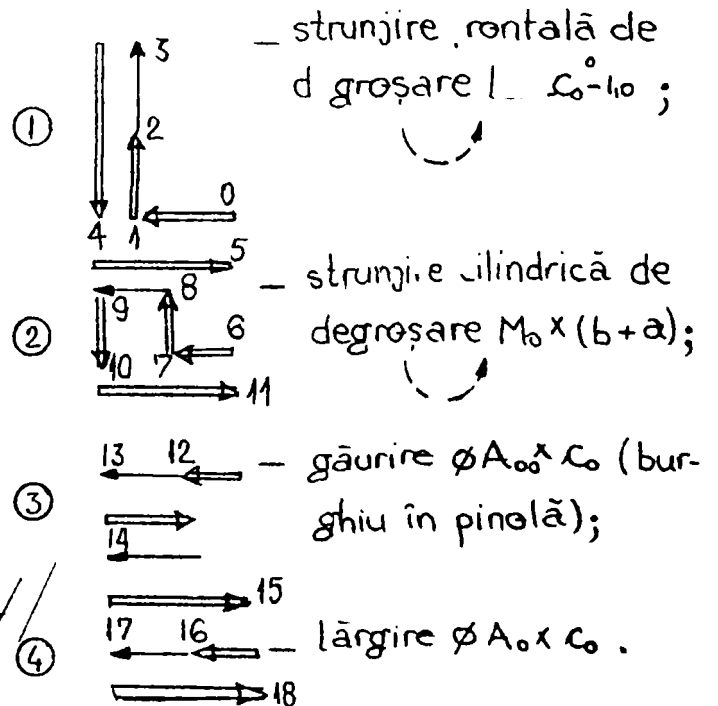


Fig. 2.12

① — O. i. ntare și fixare pt. aza ①.



— strunjire rotundă de degroșare  $l_{Co} - l_0$ ;

— strunjire cilindrică de degroșare  $M_0 \times (b+a)$ ;

— găurire  $\varnothing A_{00} \times C_0$  (burghiu în pinolă);

— lărgire  $\varnothing A_0 \times C_0$ .

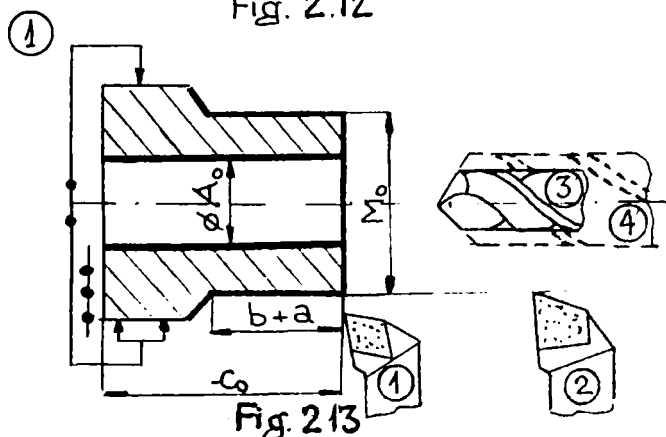


Fig. 2.13

② — Desprindere, întoarcere, orientare și fixare semifabricat pentru faza ②.

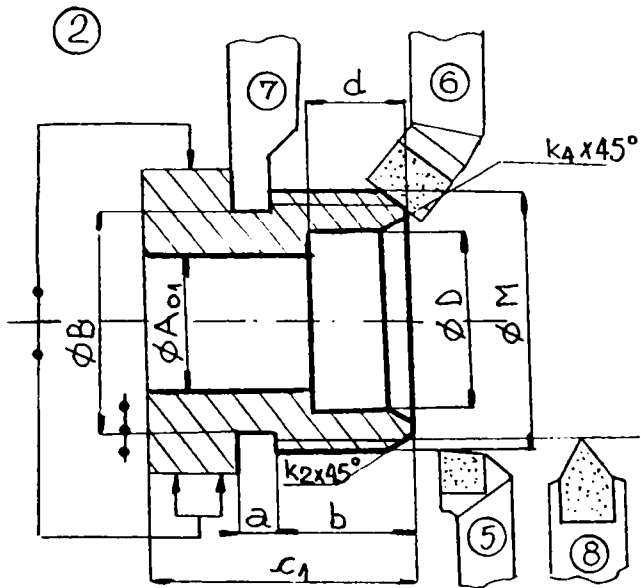


Fig. 2.14

(M3) - Desprindere, întoarcere, orientare și fixare semifabricat pentru faza (3).

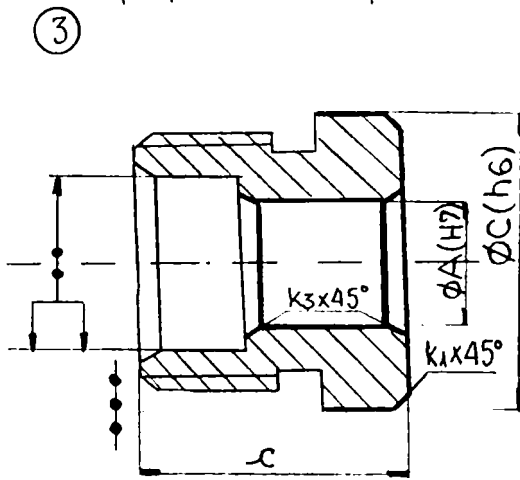
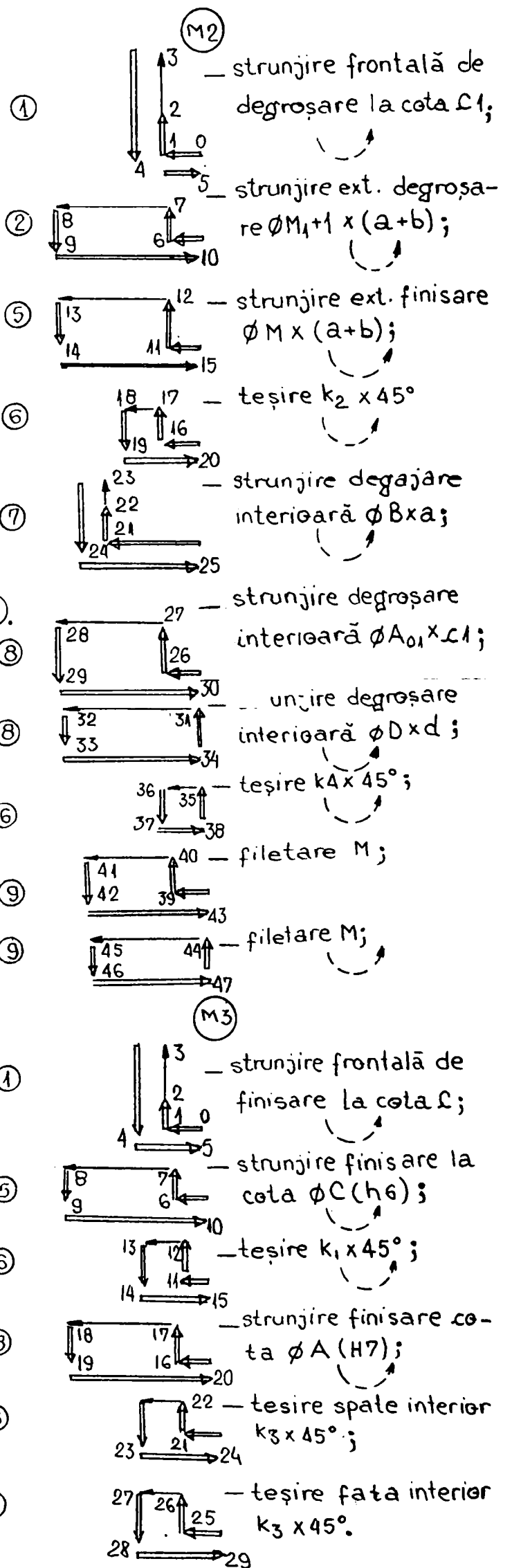


Fig. 2.15

(M4) - Desprindere piesă.

Pentru valorile cotelor:  
 $\phi C = 130$ ,  $\phi A_1 = 50$ ,  $M = 120$ ,  $c = 50$ ,  
 rezultă:

- $T_b = 12,80 \text{ min}$ ,
- $T_a = 19,50 \text{ min}$ ,
- $T_{op} = 32,30 \text{ min}$ ,
- $N_{ml} = 22$ ,
- $N_{ma} = 72$ ,
- $N_{mt} = 94$ ,
- (n) max = 9.



C. Piesă de tip arbore (fig.2.16÷2.18) – prelucrare pe strung de copiat cu CN.  
 – semifabricat forjat liber cu o treaptă de diametru;  
 – material: 31MnSi12 STAS 880-80.

(M1) – Orientare și fixare semifabricat pentru faza ①.

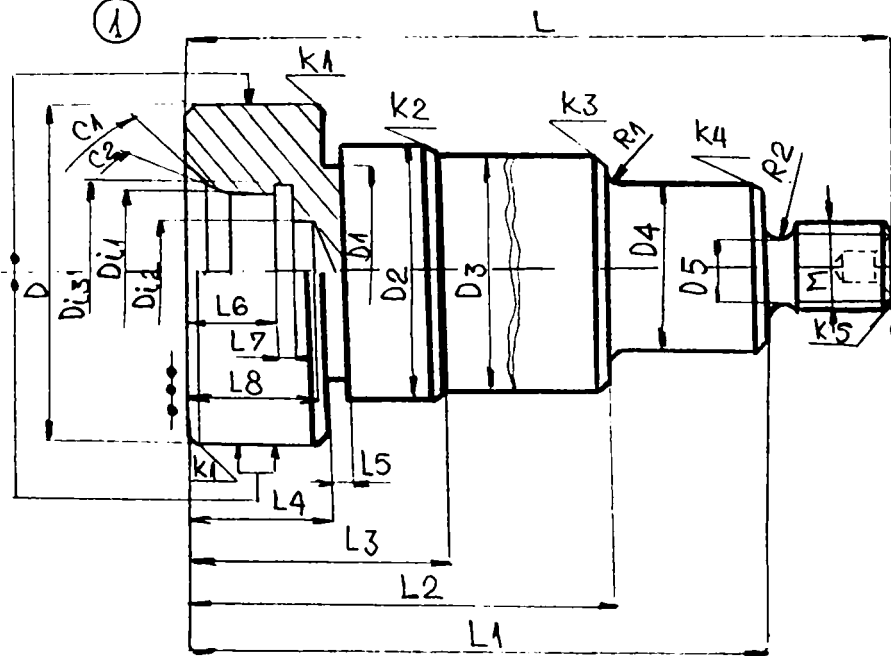


Fig.2.16

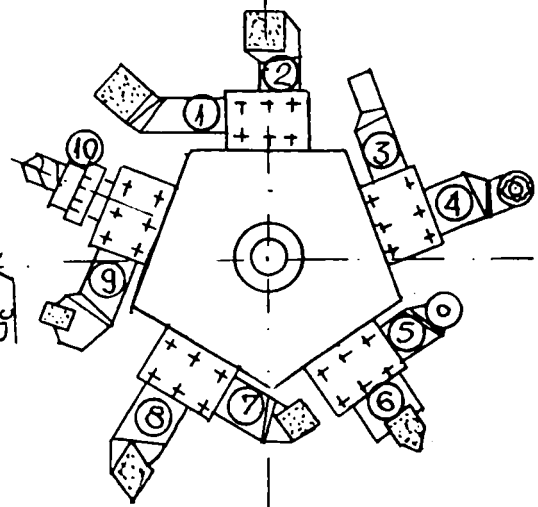


Fig.2.17

- ① 1 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 2 2 – strunjire ext. degr. și finis (copiere) D2,3,4,5 și M;
- 3 3 – filetare exterioară pe strung în trei treceri pentru cota M;
- 4 4 – centruiere pe strung;
- 5 5 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 6 6 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 7 7 – centruiere pe strung;
- 8 8 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 9 9 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 10 10 – centruiere pe strung;
- 11 11 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 12 12 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 13 13 – centruiere pe strung;
- 14 14 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 15 15 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 16 16 – centruiere pe strung;
- 17 17 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 18 18 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 19 19 – centruiere pe strung;
- 20 20 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 21 21 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 22 22 – centruiere pe strung;
- 23 23 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 24 24 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 25 25 – centruiere pe strung;
- 26 26 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;

(M2) – Desprindere, întoarcere, orientare și fixare semifabricat pentru faza ②.

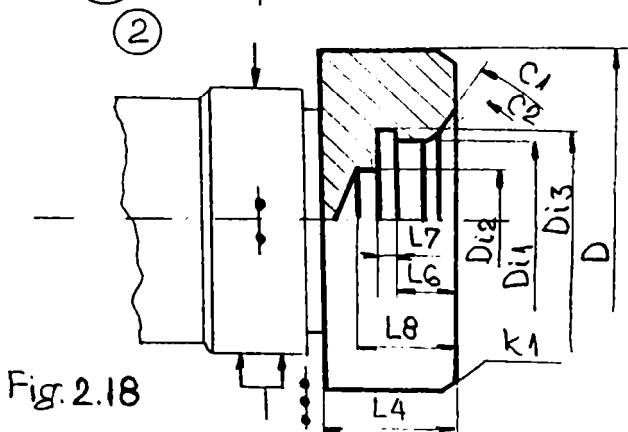


Fig.2.18

- 1 1 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 2 2 – centruiere pe strung;
- 3 3 – strunjire ext. degroșare și finisare la D pe L4;
- 4 4 – tesire exterioară K1;
- 5 5 – tesire interioară C1 și C2;
- 6 6 – degajare interioară Di3 x L7.
- 7 7 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 8 8 – centruiere pe strung;
- 9 9 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 10 10 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 11 11 – centruiere pe strung;
- 12 12 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 13 13 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 14 14 – centruiere pe strung;
- 15 15 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 16 16 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 17 17 – centruiere pe strung;
- 18 18 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 19 19 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 20 20 – centruiere pe strung;
- 21 21 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 22 22 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 23 23 – centruiere pe strung;
- 24 24 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 25 25 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 26 26 – centruiere pe strung;
- 27 27 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 28 28 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 29 29 – centruiere pe strung;
- 30 30 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 31 31 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 32 32 – centruiere pe strung;
- 33 33 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 34 34 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 35 35 – centruiere pe strung;
- 36 36 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 37 37 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 38 38 – centruiere pe strung;
- 39 39 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 40 40 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 41 41 – centruiere pe strung;
- 42 42 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 43 43 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 44 44 – centruiere pe strung;
- 45 45 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 46 46 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 47 47 – centruiere pe strung;
- 48 48 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 49 49 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 50 50 – centruiere pe strung;
- 51 51 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 52 52 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 53 53 – centruiere pe strung;
- 54 54 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 55 55 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 56 56 – centruiere pe strung;
- 57 57 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 58 58 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 59 59 – centruiere pe strung;
- 60 60 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 61 61 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 62 62 – centruiere pe strung;
- 63 63 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 64 64 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 65 65 – centruiere pe strung;
- 66 66 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 67 67 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 68 68 – centruiere pe strung;
- 69 69 – strunjiri degajări ext pe strung de copiat pt. D1, R1, R2;
- 70 70 – strunjire frontală degr. și finisare;
- 71 71 – centruiere pe strung;

Pentru valorile cotelor: D=100, M=30 și L=500

rezultă:  $T_b=20,58$  min;  $T_a=33,31$  min;  $T_{op}=53,89$  min;  $N_{ml}=21$ ;  $N_{ma}=50$ ;  $N_{mt}=71$ ;  $\textcircled{N}_{max}=11$ .

### 2.3.3. Prelucrare pe centru de prelucrare prin strunjire (fig. 2.19. și 2.20)

- semifabricat forjat liber, frezat frontal și centrit bilateral;
- material: 31MnSi12 STAS 880-80.

(M1) - Orientare și fixare între vîrfuri cu antrenare și sprijin în lunetă; Bloc scule (S1)

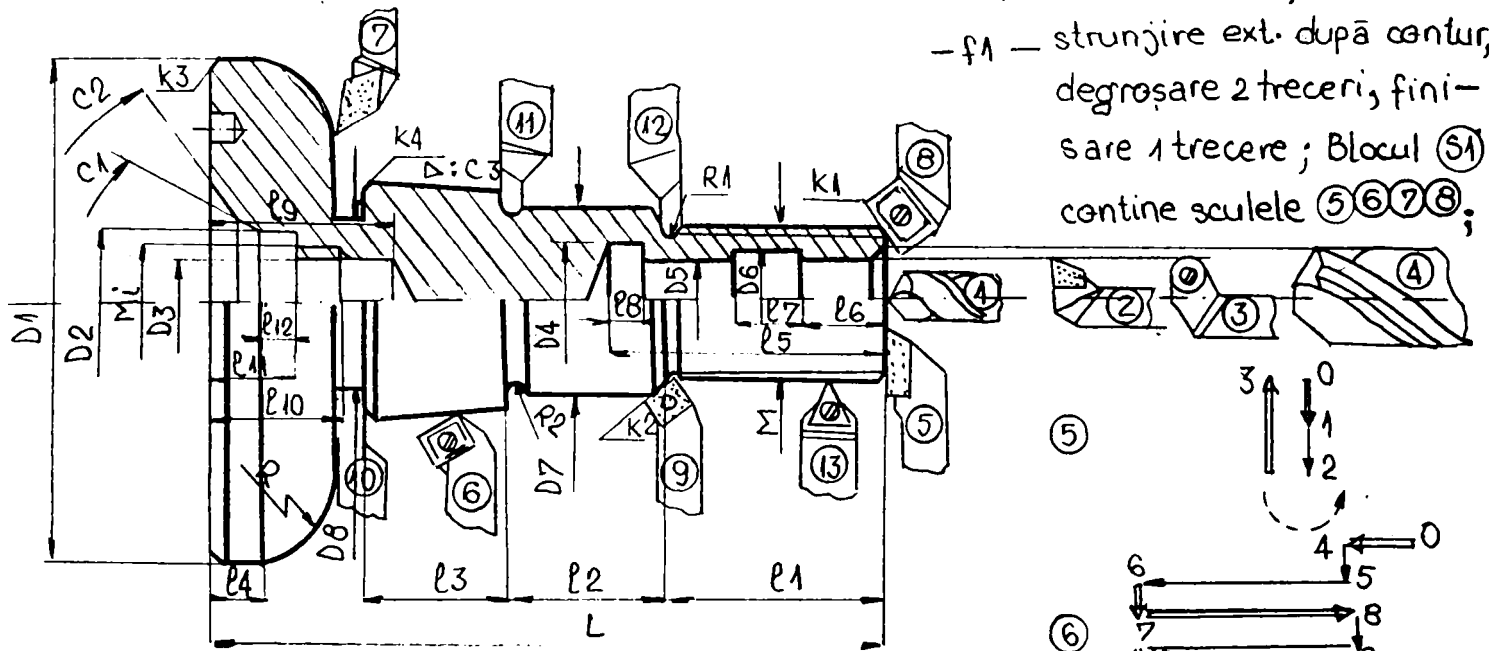
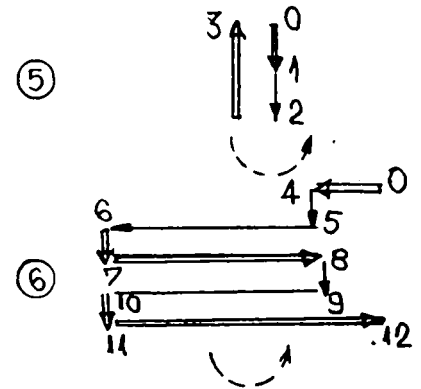
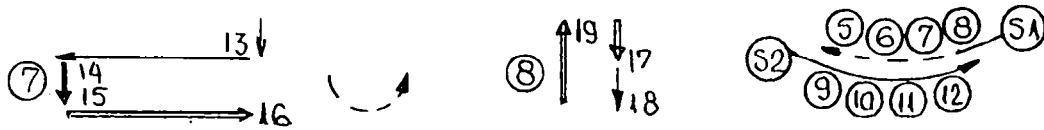


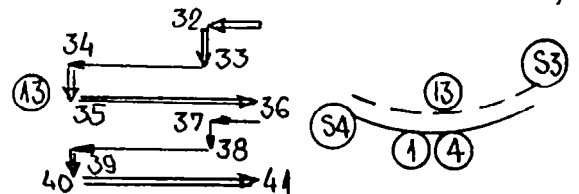
Fig. 2.19

- f1 - strunjire ext. după contur, degroșare 2 treceri, finisare 1 trecere; Blocul (S1) conține sculele (5)(6)(7)(8);



- f2 - strunjire canelări și degroșări ext.;

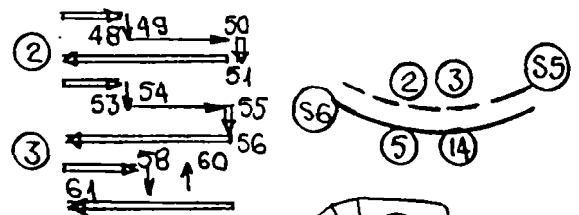
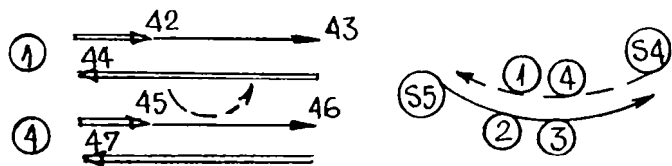
- f3 - filetare exterioară (i=2);



(M2) - Îndepărtare vîrf dreapta, prindere în univ.

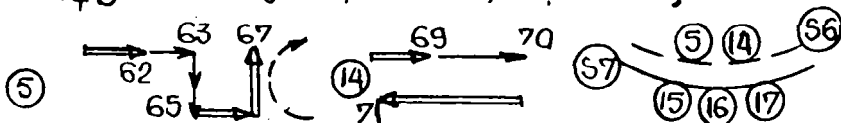
- f4 - găurire și tesire interior dr.;

- f5 - strunjire interioară dreapta;

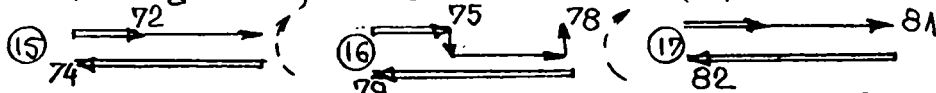


(M3) - Întoarcere, orientare, prindere în universal.

- f6 - strunjire frontală, tesire k3;



- f7 - găurire, strunjire interioară și filetare.



(M4) - Eliberare, evacuare-alimentare, schimb (S7) cu (S1).

Pentru o piesă  $\phi 100 \times 500$  și un CP cu  $T_{schs} = 0,15'$

s-a obținut rezultatele:  $T_b = 22,16$  min,  $T = 9,93$  min,

$T_{op} = 32,09$  min,  $N_{me} = 38$ ,  $N_{ma} = 44$ ,  $N_{mt} = 82$ ,  $\text{Pr}_{max} = 16$ ,  $S_{pr}_{max} = 7$ .

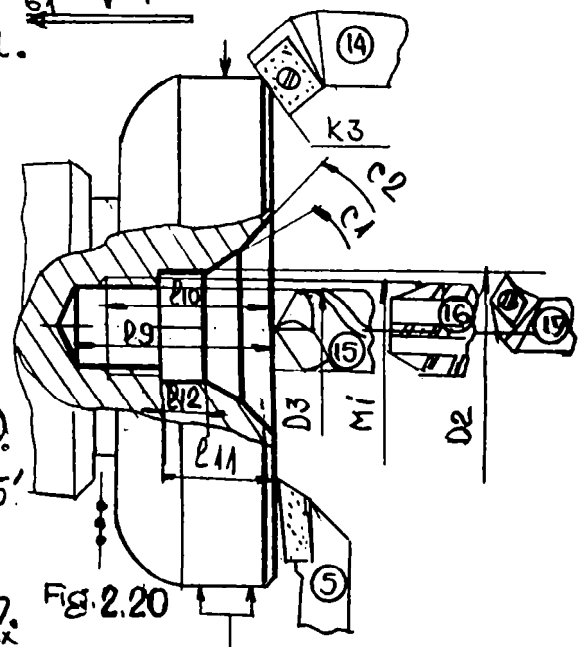


Fig. 2.20



Tabelul 2.4

Nr. caz	Tip de strung	Tip de piesă reprezentativă	$T_b = \Sigma t_b$ [min]	$T_a = \Sigma t_a$ [min]	$T_{op}$ [min]	$T_b/T_{op}$ [%]	$N_{m1}$	$N_{ma}$	$N_{mt}$	$N_{m1}/N_{mt}$ [%]
I	clasic automat sau CN	A flanșă	1,81	2,41	4,22	43	11	23	34	33
		B bucușă	12,80	19,50	32,30	39	22	72	94	24
		C arbore	20,58	33,31	53,89	39	21	50	70	30
II	centru de prelucrare	arbore complex	22,16	9,93	32,09	69	38	44	82	46

#### 2.3.4. Identificarea factorilor de influență posibili de a fi optimizați.

Din analiza datelor din tabelul 2.4 rezultă mai multe informații despre procesul de așchiere la strunjire dintre care menționăm:

a) – timpul în care sculele sunt active este sub 50% din timpul total operativ pentru prelucrările pe strunguri clasice, automate sau CN (cazul I);

b) – timpul în care sculele sunt active la prelucrarea pe centrul de prelucrare prin strunjire (cazul II), este cu 26-30% mai mare decât în cazul I – ceea ce confirmă avantajele centrelor de prelucrare date în literatura de specialitate (cca 35%); această creștere a timpului efectiv de lucru din timpul total pe operație este făcută pe seama reducerii substanțiale a timpilor auxiliari;

c) – pentru cazul I, timpii consumați cu mișcările auxiliare, care reprezintă în medie 70% din totalitatea mișcărilor pe operație, constituie în medie 60% din timpii totali pe operație, în timp ce pentru cazul II la 31% timpii auxiliari corespund 54% din totalitatea mișcărilor pe operație. Deci, pe CP se reduc substanțial și numărul mișcărilor auxiliare, aceasta datorită posibilității de programare mai rațională a ciclului cotelor și în special datorită suprapunerii parțiale a timpilor de schimbare a sculelor cu timpii de prelucrare.

Dacă se ia în considerare și gradul de complexitate a pieselor supuse prelucrării în exemplele date, grad care crește de la cazul I la II, avantajele prelucrării pe centrele de prelucrare sunt și mai substanțiale iar scăderea ponderii timpilor auxiliari este mult mai evidentă.

Data fiind ponderea mare a timpilor auxiliari din timpul total pe operație, minimizarea acestora se impune cu precădere. Pentru aceasta, din cadrul structurii timpilor auxiliari vor trebui identificați aceia care se pretează la optimizări. În

structura timpului auxiliar  $T_a$  intră timpii afectați pentru: prinderea semifabricatului ( $t_p$ ), desprinderea semifabricatului ( $t_d$ ), timpul pentru comanda mașinii-unelte ( $t_{a1}$ ), timpul pentru apropierea și îndepărtarea sculei ( $t_{a2}$ ), timpul legat de treceri ( $t_{a3}$ ), timpul pentru controlul periodic al dimensiunilor ( $t_{a4}$ ) și timpul pentru pornirea-oprirea sistemului de răcire-ungere ( $t_{a5}$ ).

Timpii  $t_{a1}$  și  $t_{a5}$  pentru comenzile MU includ timpii necesari efectuării comenzii și cel necesar răspunsului din partea MU, acesta din urmă fiind legat de performanțele mașinii-unelte și ca atare nu pot constitui obiect al optimizării, fiind însă mai reduși la strungurile cu CN și centrele de prelucrare, la care în plus, sunt independenți de reacțiile operatorului.

Timpii  $t_p$  și  $t_d$  necesari prinderii-desprinderii semifabricatului pot fi reduși prin dispozitivare adecvată sau automatizare; deci și acești timpi sunt constanți, corespunzător tipului de mașină-unelte și nu pot fi optimizați.

Timpul  $t_{a4}$  pentru control dimensional poate fi redus prin automatizare sau chiar eliminat, în cazul folosirii sistemelor de control automat activ la MU universale, la MUCN și CP dacă prin automatizare această fază se poate suprapune peste timpul de bază.

Timpii  $t_{a2}$  și  $t_{a3}$  necesari pentru apropieri-depărtări ale sculei, poziționări etc. au o pondere însemnată în cadrul  $T_a$  și pot fi minimizați pe două căi: 1 – optimizarea regimului de deplasare în gol; 2 – optimizarea ciclului cotelor prin automatizarea calculului numărului de treceri.

În concluzie, optimizarea operației de strunjire va trebui să cuprindă printre parametri și timpul auxiliar consumat cu mișcările ajutătoare pe întreaga operație.

### 2.3.5. Analiza metodelor de optimizare prezentate.

Metoda uzuală de calcul a regimului de așchiere prezentată în subcapitolul 2.2.2., chiar în condițiile în care se iau în considerare și relațiile restrictive date în paragraful 2.1.3., nu constituie un algoritm de optimizare cum impropriu este prezentat în unele surse bibliografice românești [P16], [V5] etc. De menționat că acest algoritm de calcul se referă în exclusivitate la așchiera efectivă pe parcursul unei faze a operației, putându-se stabili niște valori pentru parametrii de regim fără a se putea stabili influența acestora asupra costului de prelucrare, respectiv al operației. Metoda Duca 1 (paragraful 2.2.6.) constituie un calcul de optimizare bazat pe maximizarea debitului de așchii detașate la strunjire, criteriu mai puțin utilizat decât cel al costului minim. În urma aplicării acestei metode de optimizare se ajunge la stabilirea unui raport optim  $r_{opt}$  între  $a_p$  și  $f$  care conduce la calculul unei viteze de așchiere optime  $v_{opt}$  care asigură o durabilitate  $T$  preconizată. Deși

concluziile teoretice desprinse în urma aplicării metodei sunt logice și cu aplicabilitate practică (să se lucreze cu  $f$  mari comparativ cu  $a_p$ ), nici acest procedeu de optimizare nu ia în considerare întreaga operație ci doar așchiera propriu-zisă dintr-o fază a operației.

Metoda Duca 2 (§ 2.2.7.) care are la bază tot criteriul capacității de așchiere iar ca rezultat al optimizării stabilește ponderea de influență a avansului  $f$ , respectiv a vitezei  $v$  asupra debitului de așchii. Metoda reprezintă un pas înainte în ceea ce privește abordarea optimizării, conținând referiri și la numărul de treceri și la timpul pe operație  $T_{op}$ , dar fără ca acestea să se regăsească în funcția de optimizare. Ca atare nici în acest caz nu s-a abordat optimizarea completă a operației.

Metoda König-Depireaux (§ 2.2.8.) consideră ca și criteriu de optimizare costul de prelucrare și are ca rezultat găsirea unor perechi de valori  $f$  și  $v$  care minimizează valoarea costului  $C$ . Deși expresia costului prelucrării conține și timpii de reglare  $t_r$  și cei auxiliari  $t_a$ , aceștia sunt considerați constanți iar adâncimea de așchiere  $a_p$  se stabilește aprioric în afara algoritmului de optimizare. Aceste două simplificări în abordarea optimizării creează impresia unei așchieri continue, lucru inexact și scade gradul de valabilitate a metodei atunci când este vorba de considerarea pe ansamblu a operației.

Metoda de optimizare prezentată în § 2.2.9. este de o complexitate crescută prin faptul că deși criteriul de optimizare utilizat este în esență tot costul minim, acesta este de fapt costul tehnologic unitar de prelucrare a piesei la toate operațiile executate la același loc de muncă. În plus, această metodă de calcul a regimului optim de așchiere rezolvă și următoarele aspecte ale procesului:

1. – realizează o legătură obiectivă a regimului de așchiere cu indicatorul de calitate – considerat ca fiind realizat automat în celelalte metode – luând în calcul mărimea câmpului de toleranță a dimensiunii principal-funcționale a piesei;

2. – durabilitatea sculei se consideră dependentă de variația factorilor de intrare în proces ca duritate și caracteristicile munciei așchietoare;

3. - ține cont de erorile aleatorii și cele sistematice care apar în cazul reinstalărilor la cotă, elemente care determină calitatea procesului de formare a suprafeței piesei;

4 – include în expresia criteriului de optimizare cheltuielile cu timpul de pregătire și încheiere, cheltuielile legate de munca reglorului, costurile punerii în funcționare a MU etc.

Expresia criteriului de optimizare- cost tehnologic unitar, este utilizată în continuare la optimizarea fabricării unui produs, introducându-se un procedeu de optimizare a variantelor de procese tehnologice prin care se poate realiza un produs. Acest concept, mai larg decât o optimizare de parametri de regim este

prezentat în baza unui principiu numit al comparabilității, conform căruia varianta cea mai ieftină de proces de fabricație va avea automat și procesul tehnologic cu cost minim și parametrii de regim de așchiere optimizați. În calculul costului tehnologic unitar se face apel la costuri parțiale și alți coeficienți ai acestora, cifre economice de care de altfel practica tehnologică nu dispune. Acest dezavantaj este cu atât mai mare cu cât chiar având aceste date economice, ca urmare a unor mari eforturi de calcul, rezultatele optimizării ar putea fi inutilizabile datorită neluării în seamă a tuturor restricțiilor tehnologice importante.

În [V5] este prezentată o metodă de optimizare pe criteriul costului minim al prelucrării care utilizează o relație simplificată, impropriu denumită a costului de prelucrare (lipsește multe cheltuieli aferente procesului de prelucrare), iar rezolvarea și interpretarea modelului matematic propus se face sub formă de reprezentări grafice în trei dimensiuni. Metoda, pe lângă faptul că reprezintă aceleași neajunsuri ca și metoda König-Depireaux, prezintă și dezavantajul dificultății de transpunere matematică a relațiilor într-un sistem automat de calcul.

Toate metodele prezentate utilizează unul din cele mai importante criterii de optimizare cunoscute și anume cel economic al costului minim al fazei, al operației etc., rezolvând în maniere diferite, în baza unor strategii mai mult sau mai puțin simplificatoare, găsirea unor corelații între parametrii așchierii  $a_p$ ,  $f$  și  $v$ , considerate a fi cele mai bune. În realitate expresiile obținute fie că nu sunt operante, fie că se referă la cazuri cu grad mic de generalizare sau duc la interpretări contradictorii. Aceste lucruri se întâmplă, pe de o parte datorită numeroaselor simplificări și chiar omisiuni necesitate de simplificarea modelării matematice a procesului, iar pe de altă parte datorită unor încărcări excesive cu factori de influență a căror prioritate în economia procesului nu mai poate fi stabilită datorită lipsei unor relații restrictive obiective.

În subcapitolul următor se va alcătui unui opis cu problemele care trebuie rezolvate, pentru o mai bună cunoaștere a intimității procesului de așchiere și implicit pentru alegerea factorilor importanți de influență în scrierea expresiei criteriului de optimizare a regimului de lucru.

## 2.4. Concluzii

Faptul că relațiile utilizate în algoritmi de calcul sunt în marea lor majoritate experimentale iar valorile tabelate pentru constantele și exponenții aferenți nu pot modela întregul complex de factori care intervin aleator în proces, face ca acest mod de abordare al calculului de optimizare al regimului de așchiere să aibă un grad de încredere scăzut. De asemenea, eficiența unui astfel de calcul, fără

utilizarea mijloacelor moderne de calcul electronic, este scăzută din punct de vedere economic, excepție făcând cazul producției de masă.

Calculul regimului de așchiere este laborios și dificil întrucât intervin o serie de factori aleatori ca:

- parametri care caracterizează scula și semifabricatul cu un grad mare de dispersie;
- piesele au o configurație complexă și dimensiuni variabile;
- STE este complex, caracteristicile sale variind în timpul prelucrării în funcție de regimul de lucru utilizat și de poziția momentană a contactului sculă-piesă;
- costurile parțiale sunt practic necunoscute sau greu de determinat.

Ca atare, procesul de așchiere la strunjire este asimilabil unui sistem multivariabil ce cuprinde:

- mărimi de intrare  $V_{ai}(\sigma_{rpi}, \sigma_{rsi}, HRC_i \text{ etc.})$  și intermediare  $U_{ai}(d_i, n_i, f_i, l_i \text{ etc.})$ , care se pot îngloba în categoria mărimilor de stare.

$$X_{ai} = U_{ai} / V_{ai} \text{ sau vectorial } X = |U/V|; \quad (2.131)$$

- mărimi perturbatoare  $P_{ai}$  care modifică relațiile între mărimile de intrare și cele de ieșire;

- mărimi de ieșire  $Y_{ai}$  dependente de mărimile de stare și de perturbații –  
 $Y_{ai} = f(X_{ai}, P_{ai})$ . (2.132)

Din cadrul mărimilor de intrare trebuie să facă parte și alți factori de mare influență asupra procesului de așchiere, care deși sunt de obicei cunoscuți, ei nu sunt cuantificați direct și ca atare, pentru simplificare de multe ori aceștia se consideră factori perturbatori sau se ignoră total. Dintre aceștia amintim:

- geometria inițială a asclei (unghiurile constructive de așchiere);
- geometria din timpul fazelor de așchiere (unghiurile efective);
- gradul de uzură inițial al sculei și evoluția acesteia în timpul prelucrării (viteza de uzură a unui parametru caracteristic a acesteia);
- frecările dintre așchii și sculă respectiv piesă;
- temperatura de așchiere;
- influența lichidului de răcire-ungere asupra durabilității sculei;
- vibrații și autovibrații care apar în proces.

Ca urmare a multitudinii de factori aleatori, unii dintre ei nedeterminabili direct, pentru cunoașterea procesului de așchiere la strunjire va trebui să se adopte un model matematic complex, dar elastic în ceea ce privește plaja de variație a mărimilor din proces, în baza căruia să se stabilească un algoritm operațional pe mijloacele de calcul din dotarea strungurilor moderne (microprocesoare). Adoptarea unui astfel de model matematic operațional, rezolvă în mare măsură



cunoașterea procesului de așchiere. În vederea conducerii acestui proces, se impune optimizarea parametrilor procesului – lucru care se face în baza unuia dintre cele trei mai importante criterii: al prețului de cost minim, al capacității maxime de așchiere sau al durabilității maxime a sculei așchietoare, funcție de tipul producției și necesitatea acordării intervalelor de debitare (tactelor), în cadrul liniilor și sistemelor tehnologice flexibile.

Privite prin prisma acestui mare deziderat, modelele matematice de descriere ale procesului de așchiere din cadrul operației de strunjire analizate prezintă multe neajunsuri de esență dar și câteva informații demne de remarcat:

1. – Aplicarea oricăror teorii de optimizare are ca rezultat obținerea de anumite corelații, de obicei între doi dintre cei trei parametri ai șchierii  $v$ ,  $f$ ,  $a_p$  a căror valori, în general, depășesc limitele impuse de anumite restricții și care nu țin cont de numărul de treceri și de mișcările în gol.

2. – Se recomandă în general un număr minim de treceri în așchiere, soluție care nu întotdeauna asigură precizia sau nu este și economică (vezi metoda Duca 2), deși asigură un timp minim de prelucrare al fazei.

3. - Mișcările ajutătoare și în special cele legate de cursele în gol ( $t_{a2}$  și  $t_{a3}$ ) nu sunt studiate cu optimizare deși ele au o pondere însemnată în economia operației.

4. - În general și mai ales la strunjirea de finisare cu scule armate cu plăcuțe din carburi metalice (CM) sau ceramice este economic avantajos (scade consumul energetic specific) să se mărească avansul  $f$  în detrimentul adâncimii de așchiere  $a_p$  – fapt în opoziție cu vechea recomandare ca  $a_p = A_p$ .

5. – Quasitotalitatea metodelor de optimizare cunoscute nu tratează optimizarea operației în ansamblul ei ci doar anumite faze ale ei, astfel că rezultatele obținute, de multe ori, nu corespund realităților practice.

6. – Conceptul de durabilitate utilizat în dezvoltarea teoriilor de optimizare nu corespunde vitezei de uzură a sculei și este neoperant la calculul automatizat.

Având în vedere neajunsurile semnalate în abordarea optimizării regimului de așchiere la strunjire, pentru o completă soluționare a problemei, se impun inițial ca prioritare următoarele direcții de cercetare:

a) – Găsirea variantei optime de proces tehnologic și a schemei de așchiere optime în cadrul acesteia;

b) – Alcătuiră unei ecuații de cost a întregii operații care să cuprindă ca variabile atât numărul de treceri cât și timpii necesari mișcărilor ajutătoare  $t_{a2}$  și  $t_{a3}$ , pe lângă celelalte variabile:  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  etc.;



c) – Din condiția costului minim al operației pe MU considerată separat, să se facă optimizarea nu numai a regimului de aşchiere ci și a regimului trecerilor prealabile și a curselor în gol;

d) – Expresia criteriului de optimizare să aibe valori de extrem pentru mărimi ale variabilelor de regim de lucru care respectă toate restricțiile impuse de caracteristicile sistemului de prelucrare, inclusiv acelea privind calitatea suprafeței prelucrate;

e) – Considerarea geometriei efective a sculelor aşchietoare;

f) – Considerarea vitezei de uzură a sculei ca și criteriu de durabilitate al acesteia;

g) – Acordarea capacității de producție în cazul sistemelor flexibile și a liniilor tehnologice;

h) – Stabilirea automată a adâncimii de aşchiere și a ciclului cotelor;

i) – Utilizarea pe cât posibil a întregii puteri a mașinii-unelte;

j) – Asigurarea și menținerea forțelor de aşchiere în limitele admise de rigiditatea STE pentru diferite poziții de lucru ale sculei pe axa  $OZ_f$ .

Complexitatea funcției de optimizare va impune în rezolvare metode matematice laborioase și ca atare, utilizarea calcului automat devine indispensabilă. Urmare a acestui fapt, costul efortului de optimizare crește substanțial ceea ce impune anumite restricții de utilizare a optimizării complete. La prelucrările pe strunguri clasice sau automate, costul unei astfel de optimizări se justifică doar în cazul producției de serie mare și masă în timp ce pentru producția de serie mică și individuală este suficient să se lucreze cu  $f$  mari și viteze corelate cu viteza de uzură a sculei.

Pentru MUCN și în special pentru CP și LF optimizarea completă este o necesitate justificată economic.

### 3. OPTIMIZAREA REGIMURILOR DE LUCRU ȘI COMANDA ADAPTIVĂ

#### 3.1. Limitele de aplicabilitate ale metodelor de optimizare ai parametrilor de lucru în tehnologia prelucrărilor prin așchiere.

Considerând un proces tehnologic cu un număr de operații (fig.2.1), acesta are ca scop obținerea unei capacități de producție  $Q_E$  [buc/h], la un efect economic maxim. Necesitatea egalizării capacităților de producție interoperaționale  $Q_i$  impune optimizarea unor operații astfel încât  $Q_i \cong \text{const.} = Q_E$ .

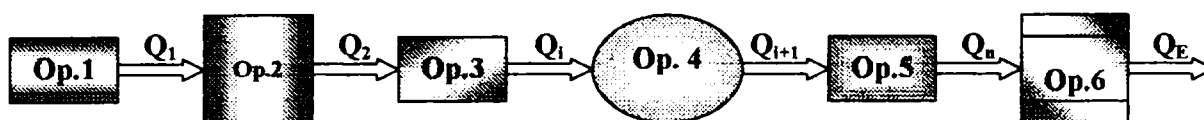


Fig 3.1  
Schema unui proces tehnologic multioperațional

Vor trebui optimizate acele operații la care  $Q_i - Q_E < 0$ , și anume prin maximizarea capacității productive, deci  $Q_i \rightarrow \max$ . Precizăm că, de regulă, capacitatea de producție  $Q_E$  corespunzătoare costului minim pe ansamblul procesului tehnologic  $C_E$ , nu corespunde cu capacitatea maximă de producție a acestuia  $Q_{\max}$ , deci  $Q_E \neq Q_{\max}$  și cel mai adesea  $Q_E < Q_{\max}$ .

Rezolvarea problemei de optim în baza criteriului preț de cost minim, conform relațiilor prezentate în capitolul 2 devine foarte complicată datorită prezenței multor factori, inclusiv de ordin social, de asigurarea calității, de protecția muncii, de conjunctură economică etc. a căror variație nu numai că nu se supune controlului, dar de cele mai multe ori nici nu se cunoaște.

Teoretic, modalitățile matematice de optimizare a unui proces sunt mult mai multe decât cele luate în considerare pentru cazul concret al unui proces de așchiere, amintim aici: căutarea prin succesiuni de simplexuri, metoda gradientului în diferite variante (plan factorial integral  $2^3$ , plan factorial fracționat  $2^{4-1}$  etc.), metoda modelării procesului etc. [B11], [C5], [D1], [G3], [G4], [M5], [Z3]. Toate metodele de optimizare au la bază un criteriu de optimizare care în expresia sa matematică se numește funcție obiectiv. Funcția obiectiv are un domeniu de definiție constituit din mulțimea valorilor pe care poate să le ia respectivul parametru. În general, valorile din domeniul de definiție pot fi continue

sau discrete, limitate sau nelimitate. Pentru cazul concret al prelucrărilor prin aşchiere se poate considera că domeniul de definiție este alcătuit din valori continue și limitate fapt care simplifică relativ forma matematică a funcției obiectiv preț de cost.

În ceea ce privește variabilele funcției obiectiv, acestea pot fi stabilizate (menținute constante la un moment dat în căutarea optimului - forța de încărcare a MU, caracteristicile materialului semifabricatului, caracteristicile sculelor etc.) sau aleatorii (care primesc anumite valori în căutarea optimului - costul manoperei, costul materialelor etc.).

Elementele mai sus prezentate duc la concluzia că abordarea unei probleme de optimizare presupune de fapt o activitate de proiectare a sistemului. Ca primă etapă de proiectare se consideră definirea tuturor parametrilor și condițiilor, deci a tuturor variabilelor atât stabilizate cât și aleatorii, considerate ca având influență semnificativă în proces. În această etapă este utilă o ierarhizare a variabilelor după gradul de influență asupra funcției obiectiv - preț de cost al operației - prin analiza atentă a expresiei matematice a acestora și eventual coroborat cu datele experimentale de care se dispune.

Urmează apoi delimitarea domeniului de definiție a funcției obiectiv prin precizarea limitelor tehnice ale variabilelor, fapt care are ca scop conturarea domeniului de fezabilitate, deci cel în care procesul de aşchiere este posibil. Bineînțeles că se va ține seama și de utilitatea practică a optimizării prelucrării funcție de tipul producției, complexitatea proiectării sistemului supus optimizării și puterii economice a agentului economic.

Etapa următoare de proiectare constă în stabilirea variabilelor independente (de decizie) dintre cele identificate ca având ponderile majore.

Alcătuirea algoritmului matematic care modelează procesul de aşchiere considerat, încheie acest prim grup de etape de proiectare.

Datorită volumului mare de calcul pe care îl presupune rezolvarea problemei de optimizare, este necesară utilizarea unor automate programabile sau cel mai adesea a unui calculator electronic. Posibilitatea de calcul practic instantaneu și continuu oferită de calculator, este deosebit de importantă pentru optimizarea procesului de aşchiere, cu atât mai mult cu cât condițiile de lucru sunt continuu variabile, ca și parametrii de intrare de intrare de altfel. Pentru a explica această afirmație se va exemplifica cu câteva cazuri concrete, considerate semnificative, de prelucrare prin strunjire pe strung sau pe CP, la care variația parametrilor de intrare și a caracteristicilor STE limitează capacitatea de producție  $Q$  [buc/h] în tot câmpul dimensional de prelucrare al strungului sau CP (fig.3.2÷3.8).

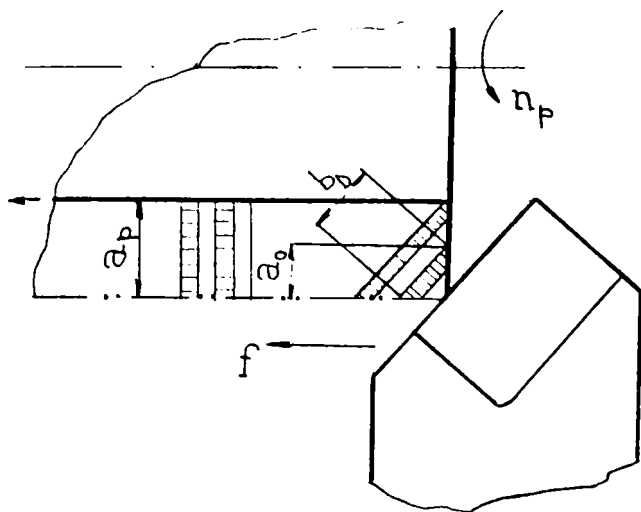


Fig.3.2  
Strunjire longitudinală cu cutit drept  $\chi_r=45^\circ$

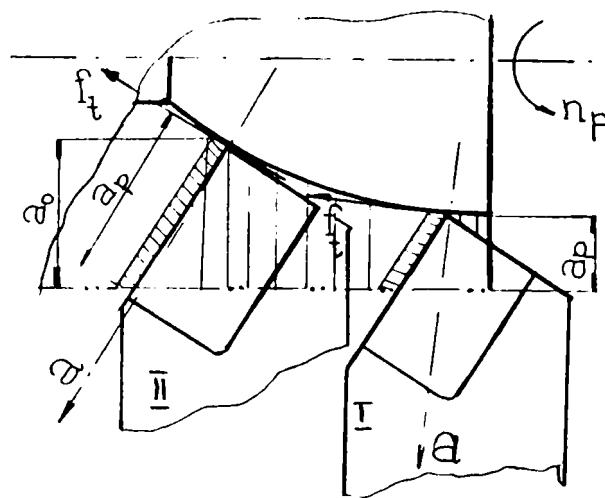


Fig.3.3  
Strunjire convexă cu cutit drept  $\chi_r=75^\circ$

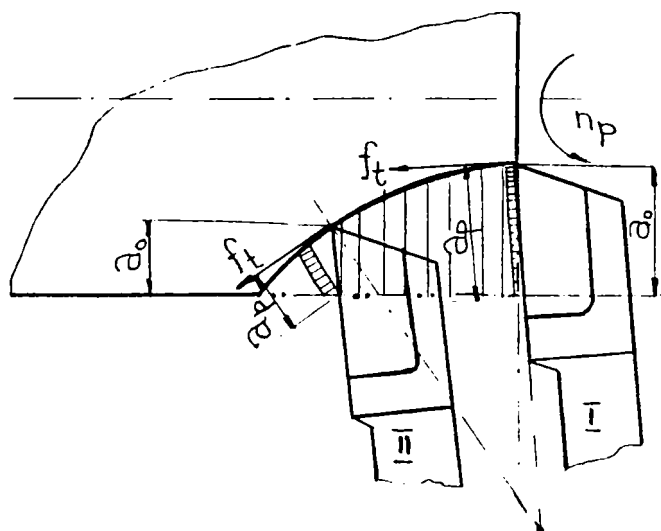


Fig.3.4  
Strunjire concavă cu cutit  $\chi_r=90^\circ$

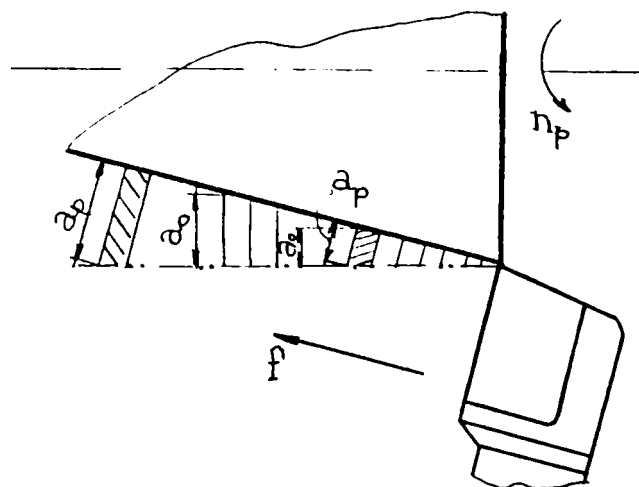


Fig.3.5  
Strunjire conicitate directă  $\chi_r=75^\circ$

Se observa cu ușurință în toate cazurile prezentate că dimensiunile așchii sunt variabile, cel puțin în fazele de intrare și ieșire din așchiere. În cazurile din fig. 3.3, 3.4, 3.7 și 3.8, pe lângă variația dimensiunilor așchii, în special a lui  $a_p$ , apar variații semnificative ale unghiurilor efective de așchiere ale sculei, fapt ce atrage după sine condiții de așchiere variabile pe tot parcursul efectuării strunjirii. Ca atare, mărimile de intrare în procesul de așchiere sunt continuu variabile iar legile

de variație ale acestora sunt individuale, specifice fiecărui caz de prelucrare în parte și deci eforturile de a le cunoaște sunt nejustificate economic datorită infinitei variabilității ale pieselor supuse strunjirii.

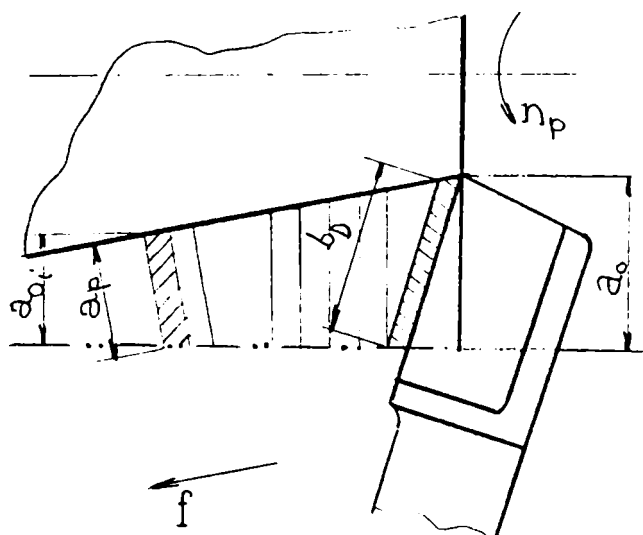


Fig.3.6  
Strunjire conicitate inversa cu cutit  $\chi_r=75^\circ$

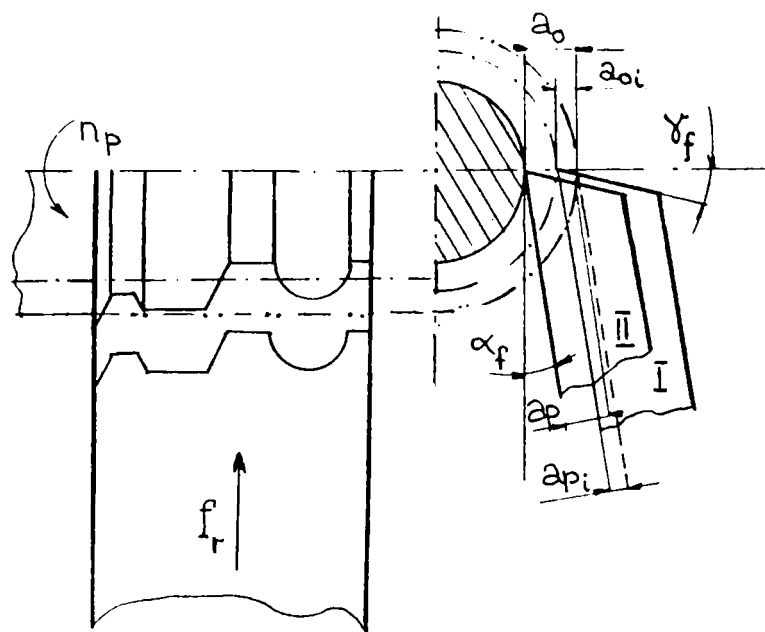


Fig.3.7  
Strunjire cu cutit prismatic și avans radial

Cel puțin la fel de complexă este și problema cunoașterii caracteristicilor STE în timpul desfășurării procesului de

așchiere. La strunjire, de exemplu, majoritatea strategiilor de optimizare ana zate în capitolul 2, nu iau în considerare deloc acest aspect sau fac abstracție de o serie de aspecte care definesc situația în care se găsește piesa și portscula cum ar fi:

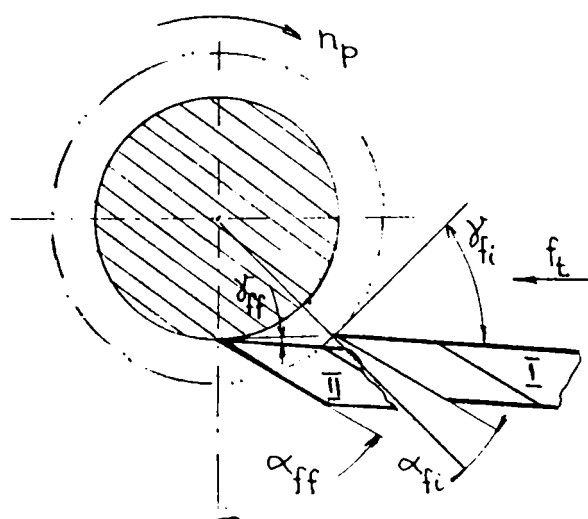


Fig.3.8  
Strunjire profilata cu avans tangential

- modul de prindere al semifabricatului: în universal, între vârfuri sau combinat;
- tipul constructiv al pinolei – u sau fără b'ocare;
- modul în care piesa este efectiv solicitată, lucru care depinde de mai mulți parametri ai piesei prelucrate și ai strungului;

- consecințele variației diametrului la arborii în trepte în stabilirea valorii optime a forței de așchiere pe fiecare tronson;
- modul de variație a deformației elastice a STE funcție de poziția portsculei pe axa Oz a strungului;
- portcuțitul strungului are el însuși o rigiditate variabilă, inferioară rigidității cerute de necesitatea prelucrării cu eficiență maximă.

Studiile efectuate de unii autori [V3] întăresc observația că problema cunoașterii caracteristicilor STE este complexă. Se știe că rigiditatea  $R_{STE}$  este funcție de soluțiile constructive ale mașinii, ale subsamblelor componente, de pretensionările elementelor, de temperatură etc. Spre exemplu în fig. 3.9, 3.10 și 3.11 sunt prezentate deformațiile termice la păpușa fixă, sanie și respectiv sculă, în cazul strunjirii de degroșare pe SN 400, cuțit 25x25 cu plăcuță P20, piesă  $\varnothing 80 \times 400$  din OL70,  $a_p, f=0,25$  mm/rot,  $v=78,5$  m/min.

Bineînțeles, rigiditatea mai depinde la fel de mult de rigiditatea piesei, a cărei valoare se schimbă pentru diferite moduri de fixare. Rigiditatea interesează în măsura în care conduce la apariția deformațiilor în STE care afectează direct precizia de prelucrare prin deplasarea care apare la sculă în timpul prelucrării și în raport cu sistemul de coordonate al mașinii. Deci, determinarea rigidității este un element de bază care se ia în considerare la alcătuirea sistemelor de modelare matematică ale proceselor de așchiere.

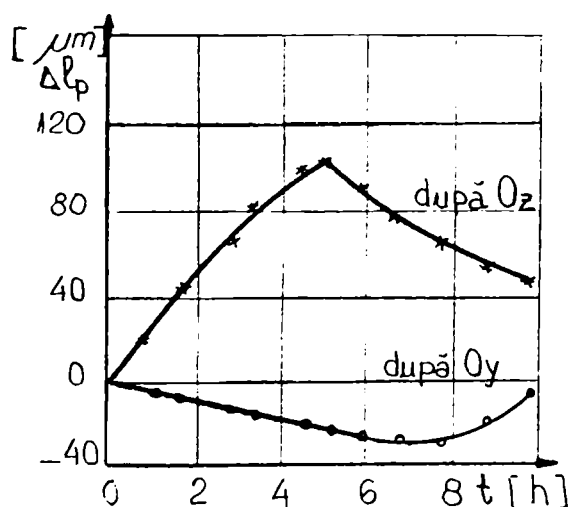


Fig.3.9  
Deformații termice ale papusii fixe la strung  
SN400 Model N833-62

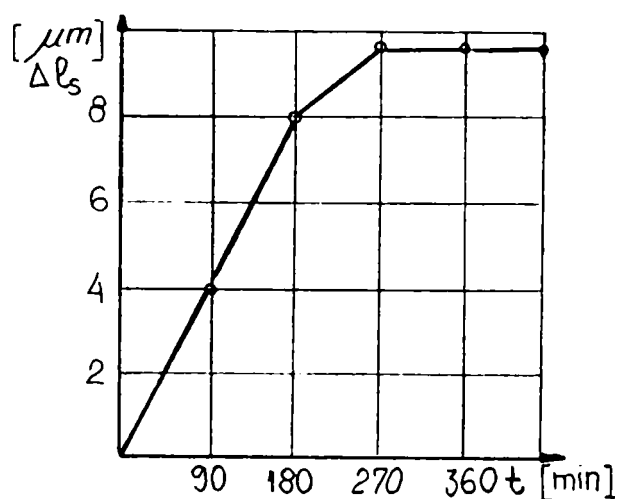


Fig.3.10  
Deformații termice ale saniei la strung  
SN400 Model N833-62

Deformația STE nu este constantă în timpul așchierii, aceasta modificându-se odată cu deplasarea sculei, precum și datorită variației eforturilor de așchiere funcție de variația adâncimii de așchiere și cu schimbarea diametrului piesei. Acest



lucru face deosebit de complicată determinarea rigidității pe cale analitică. Determinarea rigidității sistemului, respectiv a subansamblelor se face experimental prin metode cu caracter static și mai rar în așchiere, rezultatele diferind mult de metoda aplicată. Ca atare, este necesar stabilirea unei metodici

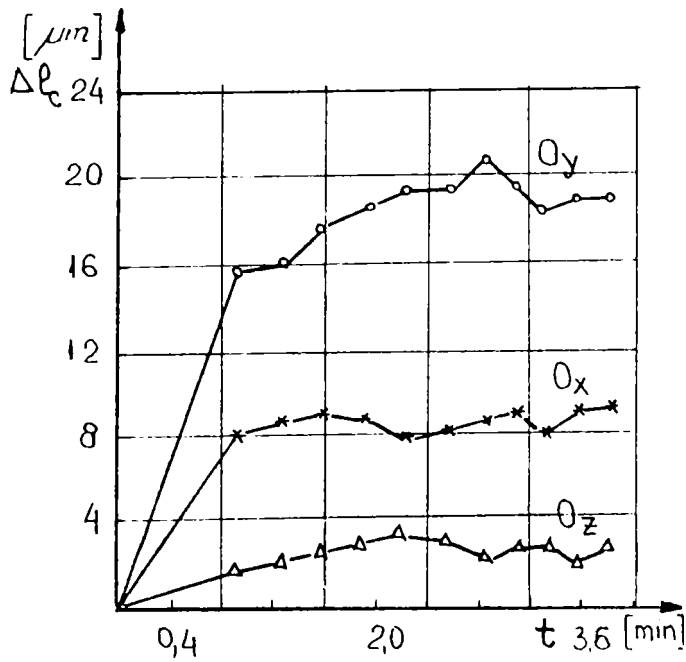


Fig.3.11  
Deformațiile termice ale unui cutit de strung

convenabile de determinare a rigidității de ansamblu a întregului sistem în așchiere  $R_{STE}$ , valoare care să reflecte direct caracteristica de “rigiditate tehnologică”.

Deformația totală a sistemului apare la cota de închidere a lanțului de dimensiuni, respectiv redusă la punctul de așchiere și este funcție de suma algebrică a deplasărilor elastice a deplasărilor elastice a tuturor elementelor STE: strung, piesă, dispozitiv și scul.

În consecință, sistemul de așchiere la strunjire este un sistem dinamic compus din STE și procesul de așchiere, considerate în interacțiunea lor. Datorită acestor interacțiuni sistemul dinamic al operației de strunjire face parte din categoria sistemelor închise. În cel mai general caz, ecuația unui astfel de sistem dinamic închis care are factorii externi  $f(t)$ , mărimea de ieșire  $x_e(t)$  și mărimile de reglare  $y(t)$ , se poate scrie ca o ecuație diferențială neliniară:

$$E = \left( x_e, \frac{dx_e}{dt}, \frac{d^2x_e}{dt^2}, \dots \right) = F \left( f, \frac{df}{dt}, \frac{d^2f}{dt^2}, \dots, y, \frac{dy}{dt}, \frac{d^2y}{dt^2}, \dots \right) \quad (3.1)$$

Rezolvarea acestei ecuații necesită tehnică de calcul electronic, cu atât mai mult cu cât soluțiile trebuie cunoscute în timp util, pentru a se putea interveni în proces în sensul dorit prin optimizare.

Cele mai sus prezentate duc la concluzia că numai prin introducerea automată a datelor de intrare și calculul parametrilor așchierii, problema găsirii optimului nu este rezolvată. Rezultă clar necesitatea măsurării continue a parametrilor variabili și utilizarea rezultatelor pentru găsirea optimului printr-un calcul, practic simultan, cu ajutorul unui calculator electronic sau al unor componente electronice specializate, în baza unor algoritmi care deservește strategia de optimizare adoptată.

Singura soluție, de a depăși numeroasele omisiuni și inexactități ale metodelor de optimizare off-line, este introducerea în sistemul de comandă al procesului de așchiere a unei bucle de reacție inversă. În felul acesta procesul de așchiere nu va mai fi comandat de mărimile de intrare, ci de mărimea sau mărimile de acționare “a”, care sunt efecte ale procesului de prelucrare. Schema bloc funcțională a unui sistem de reglare automată este redată în figura 3.12.

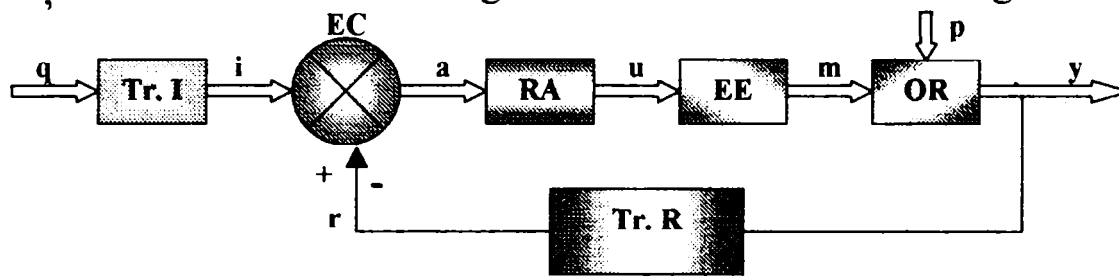


Fig.3.12

Schema bloc funcțională a unui sistem de reglare automată

q – mărimi programate; i – mărimi de intrare; EC – element de comparație; a – mărimi de acționare; RA – regulator automat; u – mărimi de comandă; EE – element de execuție; m – mărimi de execuție; p – perturbația la ieșire; OR – obiectul reglării; y – mărimi de ieșire; TrI – traductorul de intrare; TrR – traductorul de reacție; w – perturbația pe calea de reacție; r – mărimi de reacție.

Pentru o aplicație de tipul operației de strunjire, schema din figura 3.12 va trebui să devină specializată, cu mai multe intrări și ieșiri și cu mai multe circuite închise. Schema bloc de principiu a unei astfel de comenzi adaptive este redată în fig. 3.13 [B10].

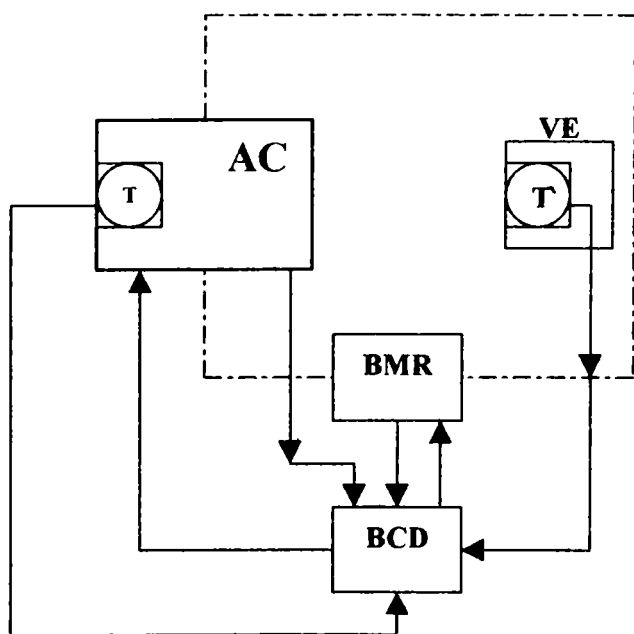


Fig.3.13

Schema bloc pentru CA la strunjire

TR – traductoarele necesare comenzii adaptive;  
 AC – acționările (principală, de avans etc.);  
 VE – verigile executante ale MU;  
 BMR – blocul mărimilor de referință;  
 BCD – blocul de calcul și de decizie al comenzii adaptive.

Comenzile adaptive tehnologice se utilizează cu precădere la operații de degroșare și au în mod obișnuit ca și parametri principali v și f și doar secundar  $a_p$  – când

posibilitățile de comandă a primilor doi au fost epuizate. Aceasta, cu toate că reglarea lui  $a_p$  ar permite o descărcare rapidă a MU ajunsă în regim instabil datorită unui  $M_c > M_{cmax}$  sau  $F_c > F_{cmax}$ .

Aplicarea unor strategii de optimizare în condițiile în care procesul de așchiere prezintă foarte multe mărimi de intrare variabile aleator, după cum s-a arătat anterior, presupune apelarea la anumite condiții criteriale restrictive simplificatoare de tipul celor prezentate în capitolul 2. Rezolvarea acestor probleme fără calculatorul electronic devine de neconceput în cadrul mașinilor-unelte cu CN și comandă adaptivă.

Este cert că realizarea unei comenzi adaptive a procesului de așchiere necesită studii amănunțite pentru toate variabilele din proces. Acest studiu se poate executa doar cu referire la mărimile de ieșire din proces și anume la acelea considerate de referință, cu implicații majore asupra scopului prelucrării prin așchiere – forțe, momente, calitatea suprafeței, precizia dimensională, durabilitatea și uzura sculelor etc. Mărimile de referință se culeg din proces prin intermediul traductoarelor care trebuie să îndeplinească anumite condiții: rigiditate, sensibilitate, domeniu de măsurare cât mai extins, fiabilitate, promptitudinea semnalului, continuitatea semnalului și gabarit redus. Aceste traductoare vor echipa dispozitive de măsurare ale mărimilor de referință de tipul portcuțitelor dinamometrice, ale căror forme și construcții vor diferi funcție de construcția mașinii-unelte, de locul de culegere a informației etc.

Faptul că procesul de așchiere este un fenomen multivariabil cu stări dinamice în afară de echilibru, iar reglarea parametrilor așchierii din mers introduce și alte componente tranzitorii, atrage după sine și necesitatea studierii stabilității dinamice a procesului prin tehnici specifice tipului de sistem considerat – tehnici liniare (polinomiale, Nyquist, Hurwitz, Routh, Schur, Jury) sau neliniare (Laplace, Lagrange, penalizări diferențiale etc.) [B4], [B9], [C6], [K5], [M4], [M11], [P31], [R2], [S9], [S11]. Acest studiu, obligatoriu, se face utilizând calculatorul electronic folosind, tehnici specifice de optimizare asistată cu sau fără restricții.

### 3.2. Comanda adaptivă și teoriile de optimizare.

Majoritatea deficiențelor pe care le-am sesizat anterior în posibilitatea de programare tehnologică, chiar și a mașinilor-unelte dotate cu comandă numerică, sunt diminuate prin introducerea comenzii adaptive. Ca obiectiv funcțional, comanda adaptivă trebuie să instaleze parametrii regimului de așchiere  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  care să facă procesul optim din punct de vedere economic sau al capacității de așchiere.

Vom examina în continuare care dintre teoriile de optimizare studiate sunt compatibile cu rigorile impuse de principiile funcționării comenzii adaptive.

a) – calculul uzual al regimului de aşchiere, în afara deficiențelor semnalate ca și teorie în sine, prezintă inconvinierea că relațiile de calcul nu conțin mărimi posibile de măsurat în procesul de aşchiere de către comanda adaptivă; rămâne în atenție sistematizarea sub forma unor inegalități matematice a unui număr însemnat de restricții ale domeniului în care se desfășoară procesul de aşchiere.

b) – teoriile Duca 1 și Duca 2, valabile numai pentru durata aşchierii, nu pot fi combinate cu comanda adaptivă întrucât deși relațiile pentru  $a_p$ ,  $f$  și  $v$  pot fi aduse sub forma dependenței de o mărime măsurabilă în proces, F(3.2÷3.4), parametrul  $a_p$  rezultă că poate fi instalat independent de către ciclul cotelor, fapt neadevărat. Indiscutabil, teoria are meritul coerenței în rezolvarea problemei de optim a capacității de aşchiere, atât din punct de vedere matematic cât și ca ordine logică în algoritmul căutării parametrilor de regim.

$$a_p = \frac{F_{cadm}}{k_c} \cdot \frac{1-x_v}{1-y_v} = f \cdot \frac{1-x_v}{1-y_v}; \quad (3.2)$$

$$f = \frac{F_{cadm}}{k_c} \cdot \left( \frac{1-x_v}{1-y_v} \right)^{-1} = a_p^2 \cdot \left( \frac{1-x_v}{1-y_v} \right)^{-2}; \quad (3.3)$$

$$v = \frac{C_v}{T^m} \cdot \left( \frac{F_{cadm}}{k_c} \right)^{\frac{2}{x_v+2y_v}} \cdot \left( \frac{1-x_v}{1-y_v} \right)^{\frac{2}{x_v-2y_v}} = \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}. \quad (3.4)$$

c) – teoria König-Depireaux nu poate face obiectul comenzii adaptive întrucât perechea de parametri  $f$  și  $v$ , care se instalează automat pentru optimizarea costurilor, nu depinde de nici o mărime măsurabilă în procesul de aşchiere așa cum se vede din relațiile 3.5 și 3.6 iar constantele  $k_v$ ,  $m$ ,  $i_f$ ,  $n$  și  $c$  sunt constante doar pentru fiecare caz de prelucrare în parte. În plus, față de omisiunile tehnologice ale teoriei și imposibilitatea de a controla procesul prin comandă adaptivă, se mai adaugă și dificultățile de aplicabilitate practică datorate lipsei de date experimentale necesare programării off-line a constantelor din relații dar și a realizării eventualelor circuite electronice de calcul a mărimilor de reacție.

$$f = \sqrt[n]{\frac{\ln \frac{C'}{D} + c - \frac{k_v}{m} \cdot v^m - \ln(k_v \cdot v^m - 1)}{\frac{i_f}{n}}}; \quad (3.5)$$

$$v = \sqrt[m]{\frac{\ln \frac{C'}{D} + c - \ln(k_v \cdot v^m - 1)}{\frac{k_v}{m} + \frac{k_v}{n}}}. \quad (3.6)$$

d) – teoria variantei optime care minimizează costul tehnologic unitar la calitate impusă, deși prin funcția obiectiv reflectă atât procesul de așchiere (prin  $a_p$ ,  $f$  și  $v$ ) cât și alte aspecte calitative și tehnologice ( $\delta$ ,  $R_a$ ,  $R_{STE}$ ,  $L_p$ ,  $\alpha_f$  etc.), așa cum se vede din relația (2.115), este inoperantă în această formă în cazul comenzii adaptive datorită lipsei de mărimi măsurabile în proces. Chiar dacă relația (2.115) se poate aduce sub forma (2.116) dependentă de tensiunea termoelectromotoare  $E$ , măsurabilă în proces, conducerea automată nu se poate face întrucât în acest caz lipsește legătura directă între mărimea de măsurat și mărimile reglabile  $a_p$ ,  $f$  și  $v$ .

Fără pretenția unei tratări exhaustive a teoriilor de optimizare și aplicabilitatea lor în condițiile comenzii adaptive, se concluzionează că nu există actual nici o teorie care să poată fi reprodusă de un sistem cu reacție inversă generală. Indiferent că este vorba de instalarea prin comandă adaptivă chiar și a unui singur parametru de regim, teoria de optimizare trebuie să se bazeze pe mărimi măsurabile în procesul de așchiere. Prin urmare, orice teorie de optimizare, pentru a putea fi aplicată în sisteme cu conducere automată, este necesar să fie exprimată funcție de o mărime variabilă de răspuns a procesului de așchiere.

### 3.3. Mărimi de proces controlabile și tehnici de măsurare.

#### 3.3.1. Mărimi controlabile.

Conform celor cunoscute până în prezent, în comenzile adaptive realizate și încercate, se știe că în proces se pot măsura: puteri, momente, rezultante sau componente ale forțelor de așchiere, tensiunea termoelectromotoare etc. Oricare dintre aceste mărimi dau informații despre gradul de încărcare a mașinii-unelte. De exemplu, posibilitățile de încărcare a strungurilor sunt variabile și depind de: rigiditatea sculei, felul trecerii, modul de prindere al piesei, diametrul și lungimea piesei, rigiditatea variabilă a strungului în lungul axei OZ etc. iar aceste încărcări se fac cu forțe, momente, puteri etc. măsurabile de către comanda adaptivă.

Până în prezent, sistemele de comandă adaptivă la strunjire au considerat următoarele mărimi controlabile în procesul de așchiere:

a) Puterea absorbită de acționarea principală. Măsurarea acestui parametru are drept scop determinarea în mod indirect a forței tangențiale de așchiere și are ca rezultat o mărime foarte aproximativă, care eronează mult interpretarea stării procesului de așchiere. Chiar dacă se cunosc prin măsurări diametrele piesei  $d_p$  și turația arborelui principal  $n_p$ , totuși mărimea puterii absorbite de motorul electric  $P_{em}$  poate fi eronată, întrucât odată cu variația încărcării motorului electric ME se schimbă randamentul transmisiilor și randamentul ME,  $\eta_{em}$ , așa cum arată



diagrama de sarcină a ME și alte diagrame ale altor caracteristici ale ME asincrone trifazate.

Soluțiile moderne de acționare a strungurilor cu ME cu frecvență variabilă, în plaja 20÷150 Hz, prezintă variații ale randamentului  $\eta_{em}$  și mai importante, fapt care face măsurarea  $P_{em}$  și mai puțin relevantă.

Este totuși posibilă utilizarea acestei măsurări la prelucrări de serie mare și masă, dar în condițiile unor rezultate mai puțin remarcabile și îndeosebi la mașinile specializate.

b) Puterea la arborele motorului electric al arborelui principal. Măsurarea are același scop ca precedenta și poate da în anumite condiții rezultate care indică corect starea procesului. Principala condiție de aplicabilitate este ca să se poată determina relativ ușor și să se poată menține aproximativ constantă puterea pierdută în acționarea principală de la arborele motorului electric de acționare până la elementul de așchiere.

Acest tip de măsurare s-a aplicat de către colectivul de MU la mașini de danturat și la mașini de cojit. Măsurarea s-a făcut pe circuitul de alimentare al electromotorului principal al MU folosind pentru etalonare o frână mecanică iar pentru compensarea pierderilor de putere a ME un circuit electric simplu cu condensatori și rezistențe. Soluția este mult mai simplă și mai ieftină decât cea wattmetrică, ceea ce nu se cunoaște la acest tip de măsurare fiind comportarea electromotorului asincron trifazat (EMAT) cu frecvență variabilă.

c) Momentul la arborele principal (AP). Această mărime caracterizează direct procesul de așchiere la găurire și honuire dar se poate utiliza și pentru determinarea indirectă a forței de așchiere la strunjire. Arborii care transmit momentele fiind în mișcare de rotație, este necesar ca metoda de măsurare să evite folosirea contactelor electrice de curent între partea în mișcare și cea statică. Sunt cunoscute câteva soluții de măsurare:

- cu traductoare rezistive realizat de firma Philips (fig.3.14). Alimentarea se face prin primarul staționar PA și secundarul rotitor SA, după care redresorul RE alimentează

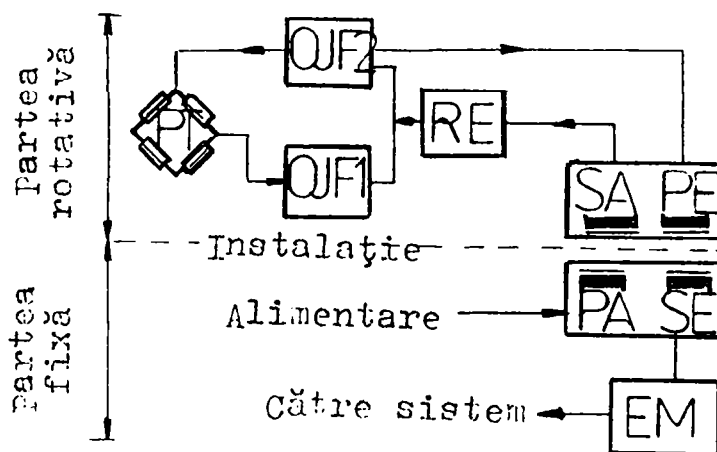


Fig.3.14  
Măsurarea momentului la AP cu traductoare rezistive



oscilatoarele de joasă frecvență OJF1-2. Traductoarele rezistive din puntea PT determină variația frecvenței oscilatorului, conform cu variația momentului la arborele principal, iar semnalul modulat este transmis prin primarul de ieșire PE la secundarul de ieșire SE și de la acesta în sistem prin elementul EM. Soluția s-a dovedit a fi complicată comparativ cu alte procedee și bineînțeles, mai scumpă.

- cu traductoare magneto-elastice se măsoară indirect momentul de torsiune prin forțele tangențiale la angrenarea cu o roată dințată intermediară  $z_i$  (fig.3.15), lăgăruită față de pârghia 1 care este articulată față de arborele principal; prin etalonări rezultă echivalența între forța în lagăr și momentul la arborele principal [G7]. Metoda se poate aplica și la centre de prelucrare prin strunjire dacă prin etalonări se găsește echivalența între forța în lagărul intermediar și forța tangențială în așchiere.

- cu traductoare magneto-elastice montate direct pe arborele principal al acționării principale. Soluția afectează construcția arborelui principal și ca atare este mai puțin recomandată.

d) Forțele de așchiere. Acestea caracterizează direct cel mai fiabil proces de lucru și permit dirijarea corectă a acestuia.

Sunt cunoscute diferite construcții de traductoare în acest scop, cele mai multe având domeniul de aplicabilitate limitat la experimentări de laborator. Se consideră acceptabile pentru aplicații industriale două soluții de port-cuțite bazate pe elemente deformabile după o direcție și suficient de rigide după celelalte.

1. Pentru prima soluție, principiul constructiv este cel al unui U culcat (fig.3.16). Partea inferioară se fixează pe sanie iar cea superioară este liber deformabilă. Verificările experimentale au arătat că deformațiile după direcțiile radială și axială sunt sub 10  $\mu\text{m}$  iar cele după direcție tangențială variabile la nivel de sute de  $\mu\text{m}$  pentru forțe cuprinse între 600-1200 daN, valori uzuale în procesul de așchiere. Schița constructivă simplificată este redată în fig. 3.17, unde se observă că între traductorul TR și zona deformațiilor maxime s-a introdus ca amplificator mecanic pârghia PR iar prin pana PA se poate căuta poziția neutră a capătului pârghiei PR care acționează asupra traductoarelor TR, preluând totodată microvibrațiile componente  $F_c$ .

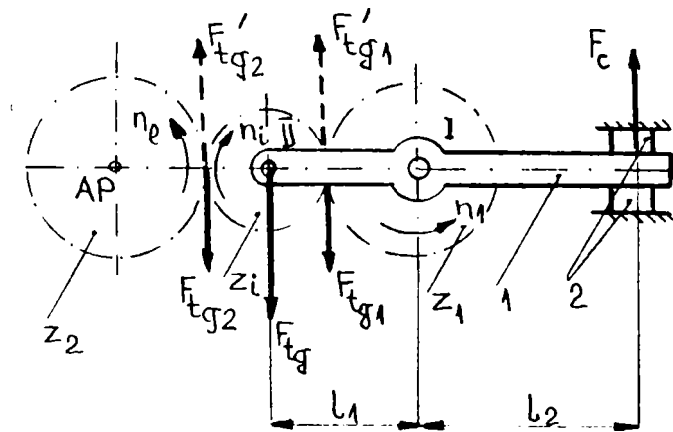


Fig.3.14  
Măsurarea momentului la AP cu traductoare magneto-elastice

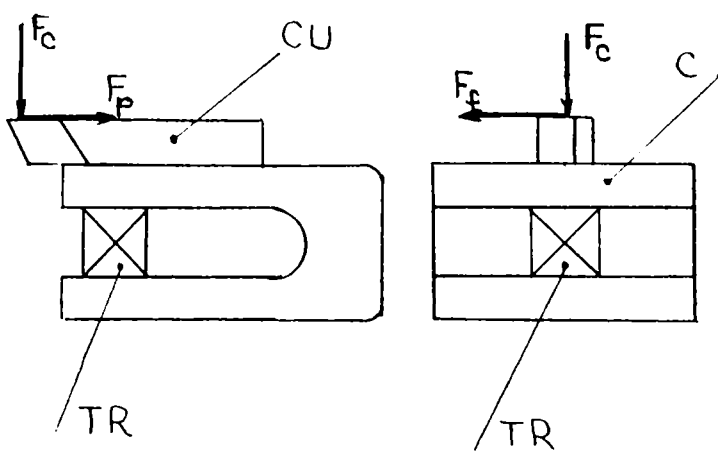


Fig.3.16  
Port-cutit in U – principiu

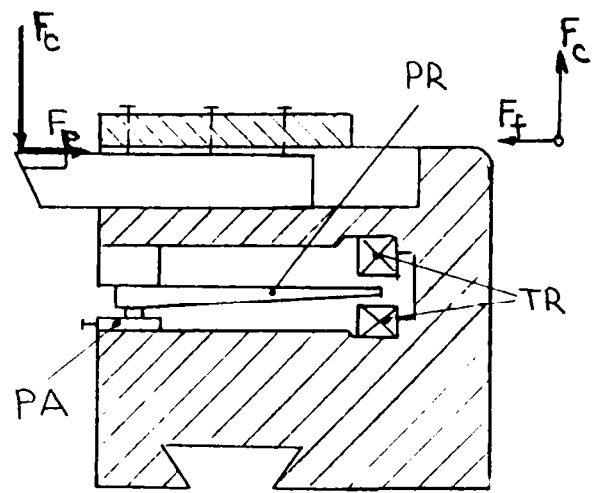


Fig.3.17  
Port-cutit in U – solutie constructiva

Pentru utilizarea în condițiile comenzii adaptive nu se recomandă traductoarele rezistive ci cele inductive sau în cel mai bun caz a celor magnetoelastice care prezintă avantaje suplimentare ca: o bună repetabilitate, lipsa uzurii, rigiditate foarte ridicată etc.

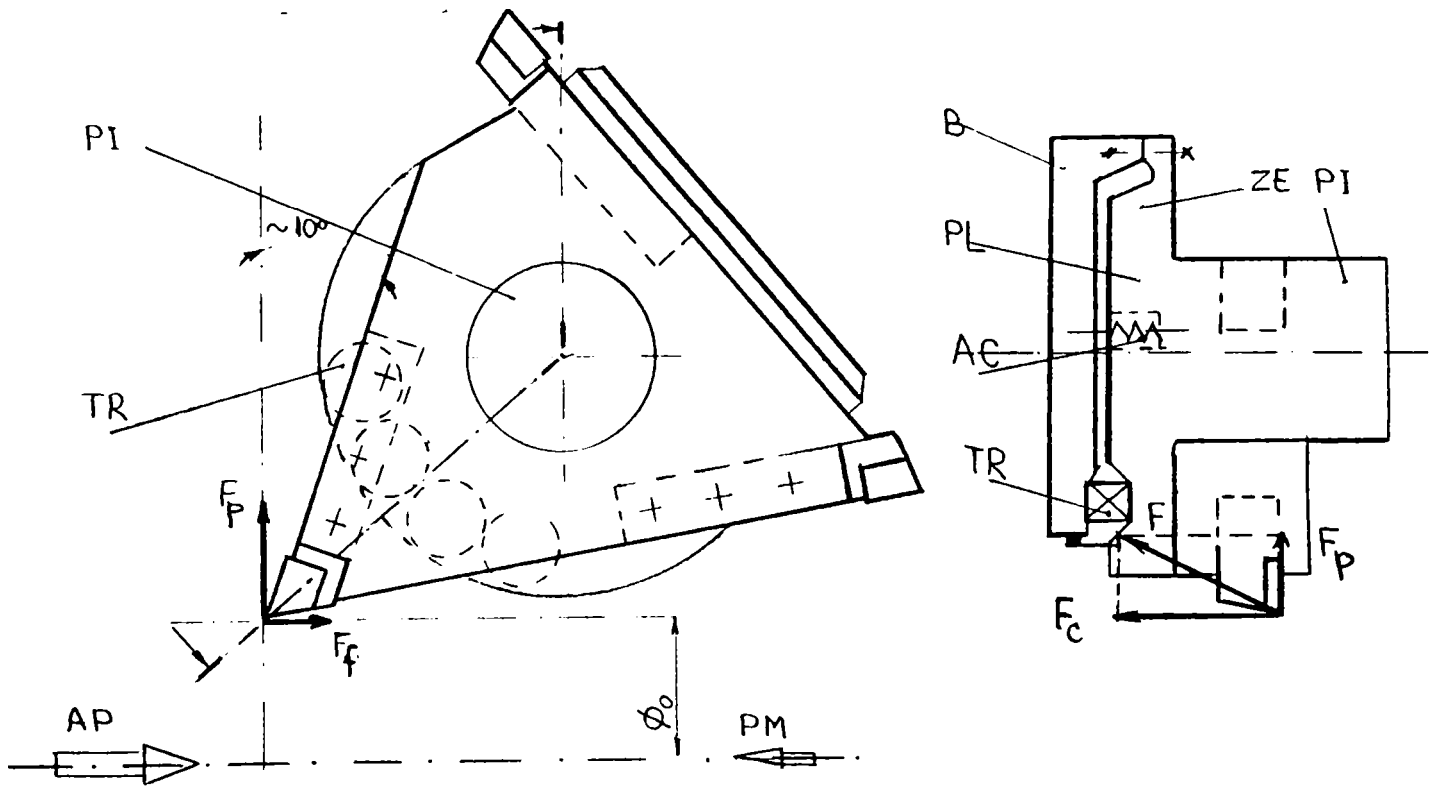


Fig.3.18  
Port-cutit triunghiular

Dezavantajele în aplicațiile industriale ale soluției constau în reducerea posibilităților tehnologice ale utilizării port-cuțitului datorită necesității de a păstra

obligatoriu o poziție centrală a sculei și inaplicabilitatea la strunjirea frontală în construcțiile existente.

2. Soluția a doua adoptă un port-cuțit triunghiular (fig.3.18) plasat cu latura înclinată cu  $10^{\circ}$  față de axa  $OX_f$ . Schimbarea automată a sculei este posibilă datorită corpului port-cuțitului care se poate roti pe pivotul PI, solidar cu placa PL rigidizată pe baza B, prin intermediul unei zone ZE elastice numai după direcția  $F_c$  și rigidă pentru componentele  $F_f$  și  $F_p$ . Traductoarele foarte rigide de tip magnetoelastic TR amplasate în zona elastică ZE dintre placa PL și baza B, preiau corect componenta F la orice valori normal posibile ale rapoartelor  $F_f/F_c$ . Arcul AC asigură contactul pe traductoare în starea inițială nesolicitată a port-cuțitului.

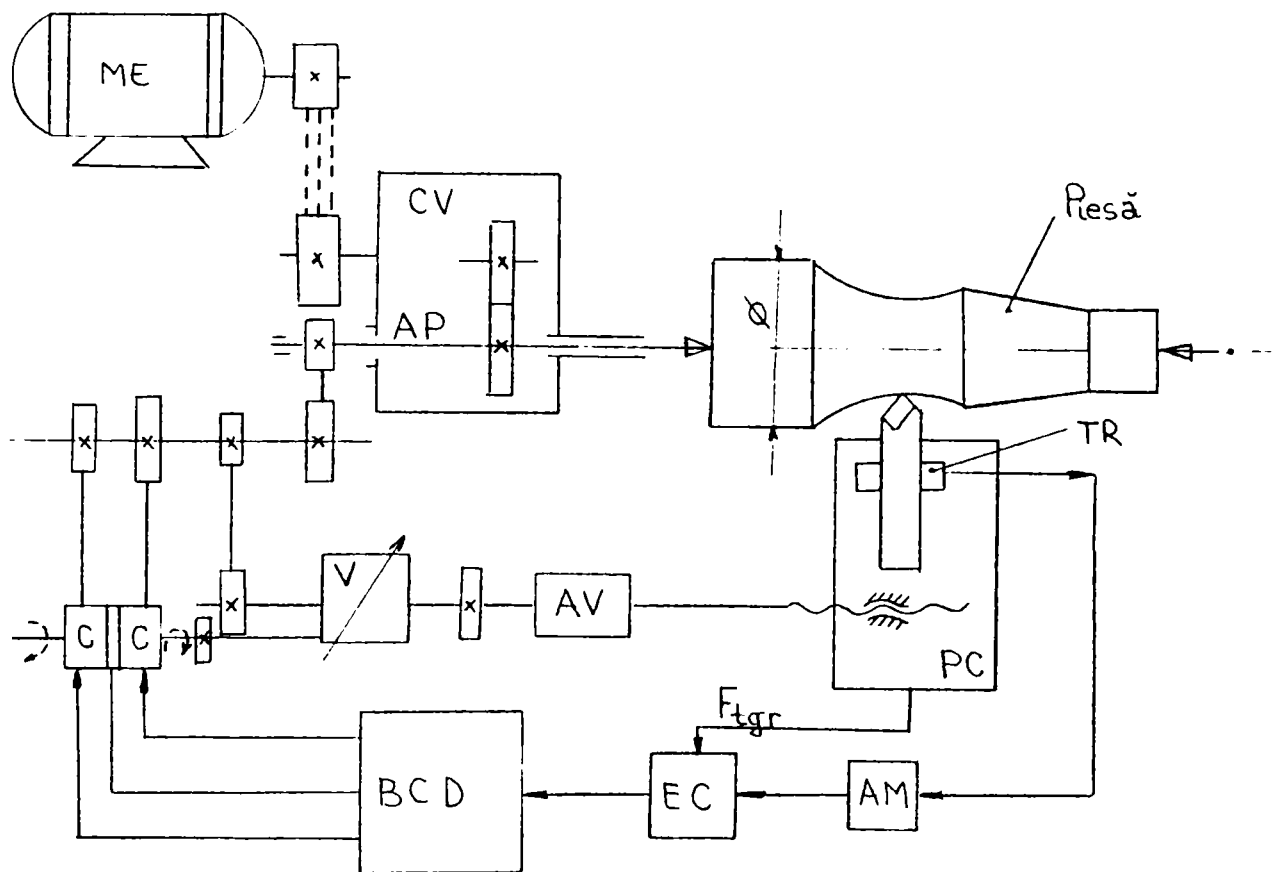


Fig.3.19  
Sistem de CA la strunjire cu măsurarea forței  $F_c$

e) Tensiunea termoelectromotoare. Măsurarea acestui parametru are drept scop determinarea vitezei la care uzura este minimă. Acest tip de măsurări a fost executat cu bune rezultate la mașini de cojit bare dar aplicabilitatea industrială este limitată de lipsa datelor experimentale pentru multitudinea cazurilor de prelucrare.

Din scurta analiză a mărimilor măsurabile în proces și a tehnicilor de măsurare prezentate, dar mai ales din practica utilizării comenzii adaptive la

strunjire și studiile detaliate ale unor autori, se detașează net concluzia că pentru comanda adaptivă la strunjire, mărimea măsurabilă în proces cea mai avantajoasă este componenta forței totale de așchiere  $F_c$ , pentru că :

- pe baza sa se poate stabili avansul tehnologic maxim admisibil ( $f_{maxadm}$ ), indiferent de variația multor parametri ai procesului (excepție-rugozitatea suprafeței piesei);

- asigură controlul utilizării puterii de acționare și controlul supraîncărcării;

- permite obținerea unei precizii mai ridicate a piesei, prin menținerea constantă a sa la o anumită valoare etc.

Schema principală a unui sistem de comandă adaptivă la strunjire cu măsurarea forței  $F_c$  este redată în fig. 3.19 după [D4].

### 3.3.2. Valori de referință.

Sistemul de prelucrare cu CA la strunjire urmărește ca în timpul prelucrării să se mențină valoarea forței  $F_c$  la valoarea forței de referință  $F_{ref}$ . De gra ul e fi 'e'it te al urmării valorii forței de referință  $F_{ref}$  dep.nde precizia și gradul de încărcare al mașinii. Cunoașterea funcții-lor tehnologice  $F_{ref}$  și  $F_{st}$  (forța de strângere la instalarea piesei) condiționează realizarea sistemelor de modelare analogică ale acestora. Sub formă generală funcția tehnologică este dată de o relație de forma:

$$F_{ref} = f(y_{STE}, l, x, \varnothing, R_i \dots) \quad (3.7)$$

În lucrarea [V3] sunt stabilite relațiile generale ale funcțiilor tehnologice  $F_{ref}$  și  $F_{st}$  pentru cele trei moduri de prindere ale semifabricatului la strunjire și de cele două tipuri de pinole cunoscute (blocată sau nu). Mai mult, pentru cazul particular al unui strung cu CN sunt stabilite concret formele funcțiilor tehnologice sub forma

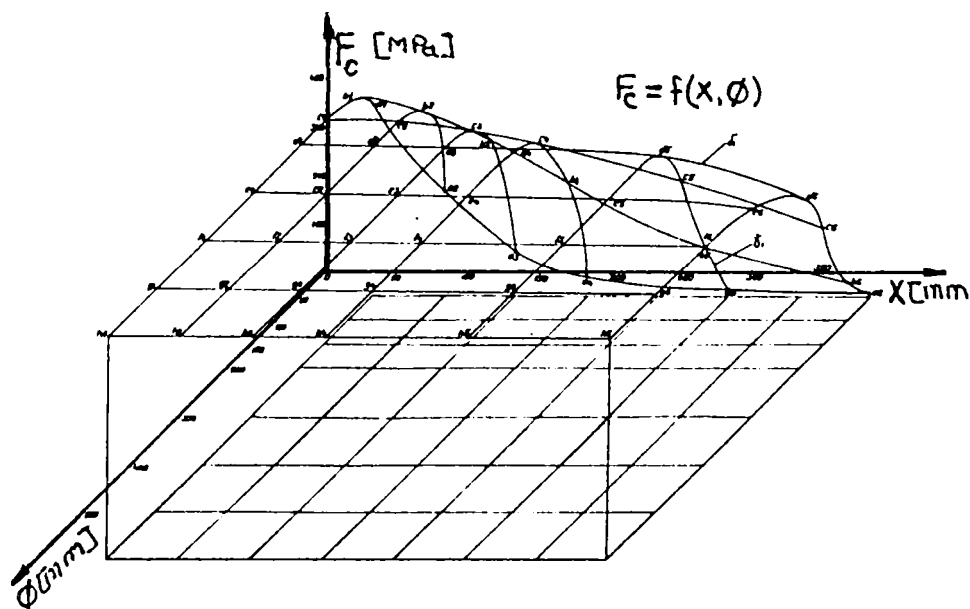


Fig.3.20  
Dependenta  $F=f(x, \varnothing)$  pentru un SN400

unor dependențe grafice  $F_{ref}=f(l)$ ,  $F_{ref}=f(x)$ ,  $F_{ref}=f(\varnothing)$  etc. Se concluzionează că funcțiile tehnologice care se apropie cel mai mult de realitatea fenomenului de așchiere sunt în ordine, funcțiile  $F_{ref}=f(l, \varnothing)$  și  $F_{ref}=f(x, \varnothing)$ , prezentate ca exemplu în graficele spațiale din fig. 3.20 și respectiv 3.21.

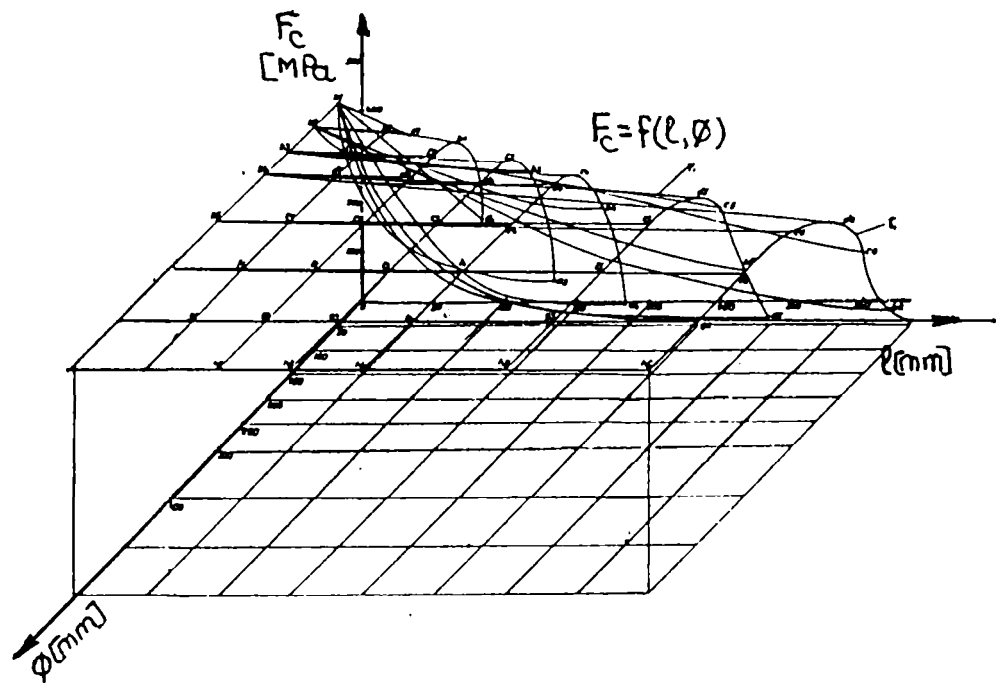


Fig.3.21  
Dependenta  $F=f(l, \varnothing)$  pentru SN400

În concluzie, stabilirea valorilor de referință pentru mărirea controlată  $F_c$ , în cazul unui strung, se bazează pe valorile caracteristice ale MU în cauză ( $R_{STE}$ ), care introduse în expresiile generale ale funcțiilor tehnologice le individualizează. Urmează calculul, neaparat electronic, pentru condițiile variației parametrilor: lungime de piesă  $l$ , diametru de piesă  $\varnothing$  și poziție curentă  $x$  a contactului sculă-piesă pe axa  $OZ_p$ , între limitele date de celelalte condiții tehnologice restrictive, cum ar fi solicitarea maxim admisă de sculă sau de mecanismul de avans.

Deși cel mai des utilizat, din considerentele prezentate, sistemul de CA având ca mărime controlată  $F_c$ , nu este singurul care poate dirija mărimile de execuție  $a_p$ ,  $f$  și  $v$ . Astfel, de exemplu, stabilitatea dimensională a sculei se știe că depinde de viteza de uzură  $v_b$ , de uzura relativă radială  $u_{rr}$  (fig.3.22) sau de temperatura tăișului  $\theta$  și de tensiunea termoelectromotoare  $E$ . Aceasta înseamnă că, măsurând de exemplu  $\theta$  sau  $E$  și menținându-se la o anumită valoare, prin variația unei mărimi de execuție  $f$  (fig.3.23) sau a două mărimi de execuție  $f$  și  $v$ , se poate obține durabilitatea, respectiv stabilitatea dimensională maximă a sculei [M1].

Măsurarea temperaturii de așchiere după cum s-a arătat este o modalitate care nu are decât șanse de laborator deocamdată. Rezultatele, prezentate în literatura de specialitate [M1], oferă pentru strunjire informații (fig.3.24-3.25) care duc la concluzia că temperatura de așchiere modelează în măsura cea mai bună intimitatea fenomenelor de așchiere. Chiar mai mult, se constată din figurile indicate, că valorile uzurii relative pe suprafața așchiată  $u_{rrs}$ , funcție de perechea de parametri  $f$ ,  $v$ , sunt minime pentru una și aceeași valoare a temperaturii de așchiere pentru un material dat. Pentru perechile de materiale sculă-piesă care s-au

experimentat, valorile minime pentru  $u_{rrs}$  se regătesc într-o plajă restrânsă  $850 \div 950^\circ\text{C}$ .

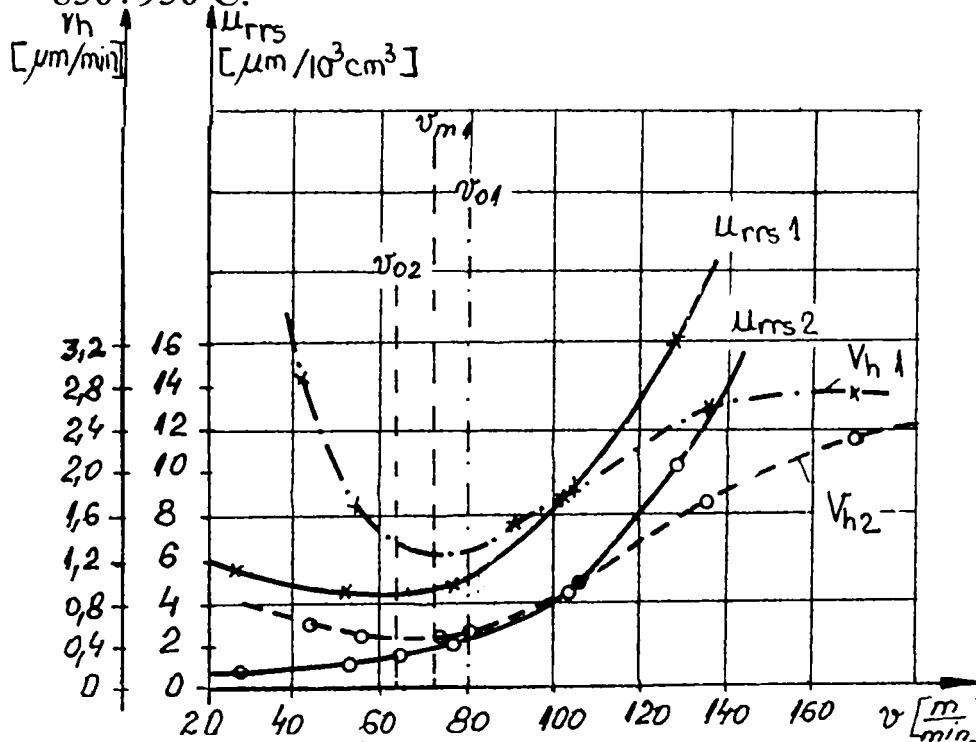


Fig. 3.22  
Influenta vitezei de aschiere asupra uzurii cutitului de strung

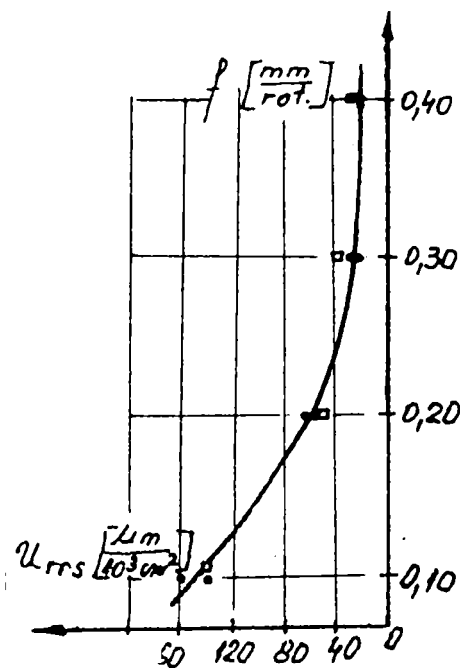


Fig. 3.23  
Influenta avansului asupra uzurii cutitului de strung

Măsurarea mai comodă a tensiunii termoelectromotoare a întărit concluzia

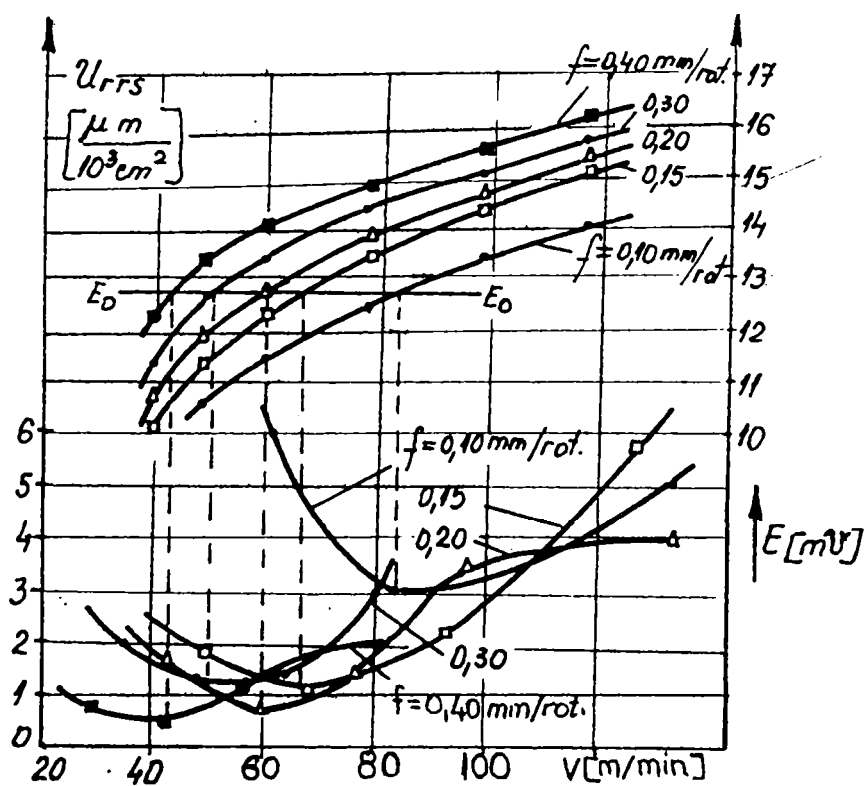


Fig. 3.24  
Uzura si tensiunea termoelectromotoare

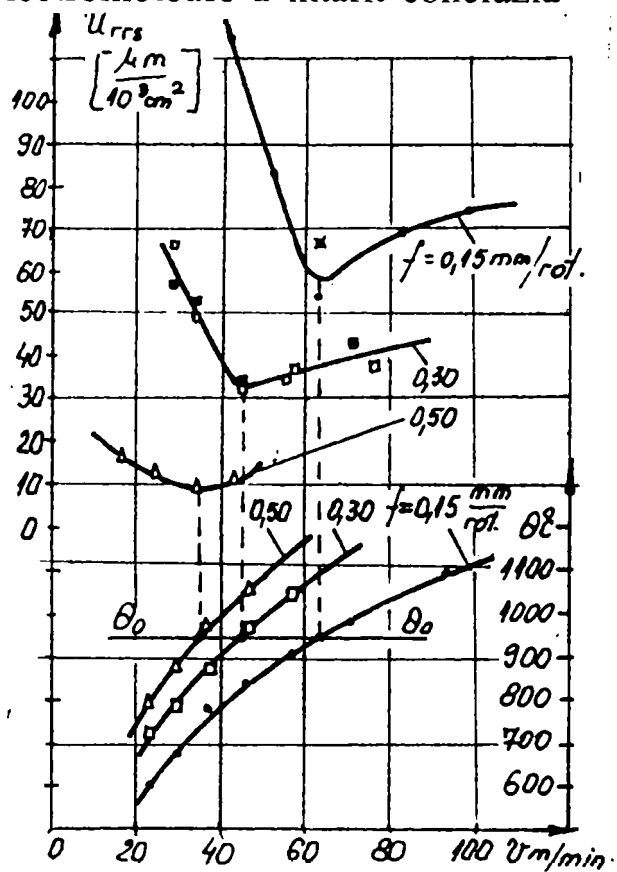


Fig. 3.25  
Uzura si temperatura in aschiere



anterioară, perechile de valori instalate  $f, v$  sunt cele optime, din punctul de vedere al stabilității dimensionale a sculei, la una și aceeași valoare  $E$ .

Dificultățile sunt în a găsi valorile considerate ca referință pentru  $\theta_r$  sau  $E_r$ , lucru ce presupune un volum foarte mare de experimentări și apoi să se găsească soluții practice industriale de măsurare pentru  $\theta_{ref}$  și  $E_{ref}$  ca mărimi controlate de comanda adaptivă.

### 3.4. Principii de stabilire a algoritmului CA la strunjire.

S-a stabilit că scopul urmărit prin CA la strunjire este costul tehnologic unitar minim al operației. Algoritmul care asigură minimizarea criteriului considerat, va trebui să găsească tripleta de valori  $a_p, f, v$  care să-l satisfacă.

Dintre mărimile de referință care pot realiza CA, poate fi aleasă componenta forței totale de așchiere  $F_c$  și doar în cazuri restrânse tensiunea termoelectromotoare  $E$ . Mărimile de execuție se regăsesc toate în expresia analitică a forței  $F_c$ :

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v^{z_{F_c}}, \quad (3.8)$$

și deci  $a_p, f$  și  $v$  pot fi exprimate funcție de  $F_c$  (vezi rel.3.2, 3.3, 3.4).

Determinarea algoritmului se face pe baza relației dintre parametrii tehnologici dată de ecuația costului tehnologic unitar (2.114) și parametrii de rigiditate ai strungului dată de relația (2.116), coroborată cu graficul 3.21 transpus în relații matematice cu ajutorul calculatoarelor electronice al MU.

Valorile  $F_c$  calculate cu (3.8) sunt limitate de  $F_{c_{refmax}}$  rezultat din graficul 3.21 precum și de limitele cinematice pentru  $f$  și  $v$  date de caracteristicile MU. Cu valoarea  $F_{c_{ref}} \leq F_{c_{refmax}}$  se calculează avansul maxim admisibil, având în prealabil stabilit prin ecuații matematice  $a_p$  care ține cont neaparat și de dimensiunea finală programată a piesei pe baza ciclului cotelor. La limită, pentru  $F_{c_{ref}} = F_{c_{refmax}}$  se obține avansul tehnologic maxim  $f_{tmax}$ :

$$f = y_{F_c} \sqrt{\frac{F_{c_{ref}}}{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}}}}, \quad (3.9)$$

sau:

$$f = \frac{F_{c_{ref}}}{k_c} \cdot \left( \frac{1 - x_v}{1 - y_v} \right)^{-1}. \quad (3.10)$$

Un sistem cu CA care urmărește respectarea condiției  $F_c = F_{cref}$ , va stabili valorile  $f$  pentru avans, valori variabile cu forța de referință  $F_{cref}$  și  $a_p$ .

Următorul parametru care se poate determina este viteza de așchiere  $v$ , funcție de  $F_{cref}$  și  $f$  deja instalat:

$$v = \left( \frac{C_v \cdot C_{F_c}}{F_{cref}} \right)^{\frac{x_v}{x_{F_c}}} \cdot (f)^{\frac{y_{F_c} \cdot x_v}{x_{F_c} \cdot y_v}} \quad (3.11)$$

Chiar dacă expresia vitezei (3.11) este derivată din expresia cunoscută a vitezei economice, este indicat ca aceasta să se optimizeze, în condițiile în care avansul  $f$  este variabil, după valoarea minimă a uzurii radiale relative (fig.3.22÷3.25).

În felul acesta, pe parcursul unor treceri complete, sau pe porțiuni, forța de reglaj  $F_{cref}$  se menține constantă sau variază conform funcției tehnologice  $F_{cref} = f(l, \emptyset)$ .

### 3.5. Concluzii

Din studiul efectuat s-au desprins următoarele concluzii finale:

- toate teoriile de optimizare tehnologică considerate nu se referă la sisteme cu comandă adaptivă;

- aplicarea teoriilor de optimizare în sisteme cu comandă adaptivă presupune modificări care să le facă compatibile cu principiile de funcționare ale acestora. Singurele teorii care prezintă un anumit grad de compatibilitate sunt teoriile Duca și teoria costului tehnologic unitar minim, dar și aici problemele sunt doar parțial rezolvate – lipsește considerarea ca parametri variabili în proces: adâncimea  $a_p$ , numărul de treceri, timpii de mers în gol etc;

- nici una din teoriile de optimizare nu explicitează funcția obiectiv sau parametrii de execuție din proces funcție de o mărime controlabilă în procesul de așchiere și deci utilizabilă la conducerea cu comandă adaptivă;

- dintre mărimile posibile de a fi măsurate în procesul de așchiere doar componenta forței totale de așchiere-  $F_c$  și temperatura  $\theta$  sau tensiunea termoelectromotoare  $E$  pot fi incluse în ecuațiile funcției obiectiv, ele redând cel mai fidel procesul de așchiere;

- dintre mărimile măsurabile în procesul de așchiere, componenta  $F_c$  și în mai mică măsură tensiunea termoelectromotoare  $E$  sunt singurele care dispun de tehnici de măsurare cu soluții viabile industrial;

- orice algoritm pentru comanda adaptivă care să răspundă posibilităților de optimizare a procesului de aşchiere suferă de imposibilitatea instalării unui parametru. Acest parametru este adâncimea de aşchiere  $a_p$ , care deocamdată nu poate fi introdusă prin CA, fiind un parametru independent.

## 4. ECHIPAMENTUL EXPERIMENTAL

### 4.1. Obiective

Încercările experimentale urmăresc să stabilească gradul de concordanță între dependențele teoretice prezentate în capitolele 2 și 3 și realitatea procesului de strunjire, elucidarea aspectelor în care teoria este neconcludentă și îndeosebi să verifice posibilitatea de optimizare a parametrilor de regim de așchiere în condițiile unei viitoare conduceri automate a operației de strunjire.

Dificultatea stabilirii programului experimental constă, cum s-a arătat în § 3.5, în aceea că majoritatea teoriilor de optimizare la strunjire nu se referă la condițiile unei conduceri automate. Ca atare, întrucât optimul este un compromis în general, în cazul de față el trebuie particularizat strict la operația de strunjire de degroșare pe un anumit strung și deci în anumite condiții specifice de lucru.

Întrucât aspectele care trebuie verificate experimental sunt foarte multe, programul de cercetare se va axa doar asupra acelor de maximă importanță și pentru care se pot constitui instalații experimentale în vederea evaluării lor:

- legătura între geometria cuțitului și elementele așchiei;
- forțele de așchiere – mărimi măsurabile în procesul de așchiere;
- considerarea adâncimii de așchiere ca parametru variabil;
- influența variației  $a_p$  asupra stabilității dinamice a procesului de strunjire;
- dependența forțelor de așchiere de parametrii regimului de lucru;
- influența variației parametrilor de regim de lucru asupra calității suprafeței prelucrate;
- uzura și durabilitatea sculei în condițiile unor regimuri tranzitorii de strunjire.

Pentru a da răspuns acestor obiective prioritare, s-au conceput și s-au construit o serie de dispozitive, dinamometre și standuri experimentale.

### 4.2. Dispozitiv pentru obținerea rădăcinii de așchie

În literatura de specialitate [D12] sunt prezentate diferite construcții de astfel de dispozitive de întrerupere bruscă a procesului de așchiere, de regulă prin deplasarea rapidă a cuțitului în sensul mișcării de așchiere sau în sens invers avansului.

Pentru studiul legăturii dintre geometria cuțitului, elementele așchiei și parametrii regimului de așchiere s-a conceput și s-a construit un dispozitiv de

întrerupere bruscă în aşchiere, prin deplasarea rapidă a cuţitului în sens invers avansului de lucru. Schema dispozitivului este prezentată în fig. 4.1 iar realizarea practică în figura 4.2.

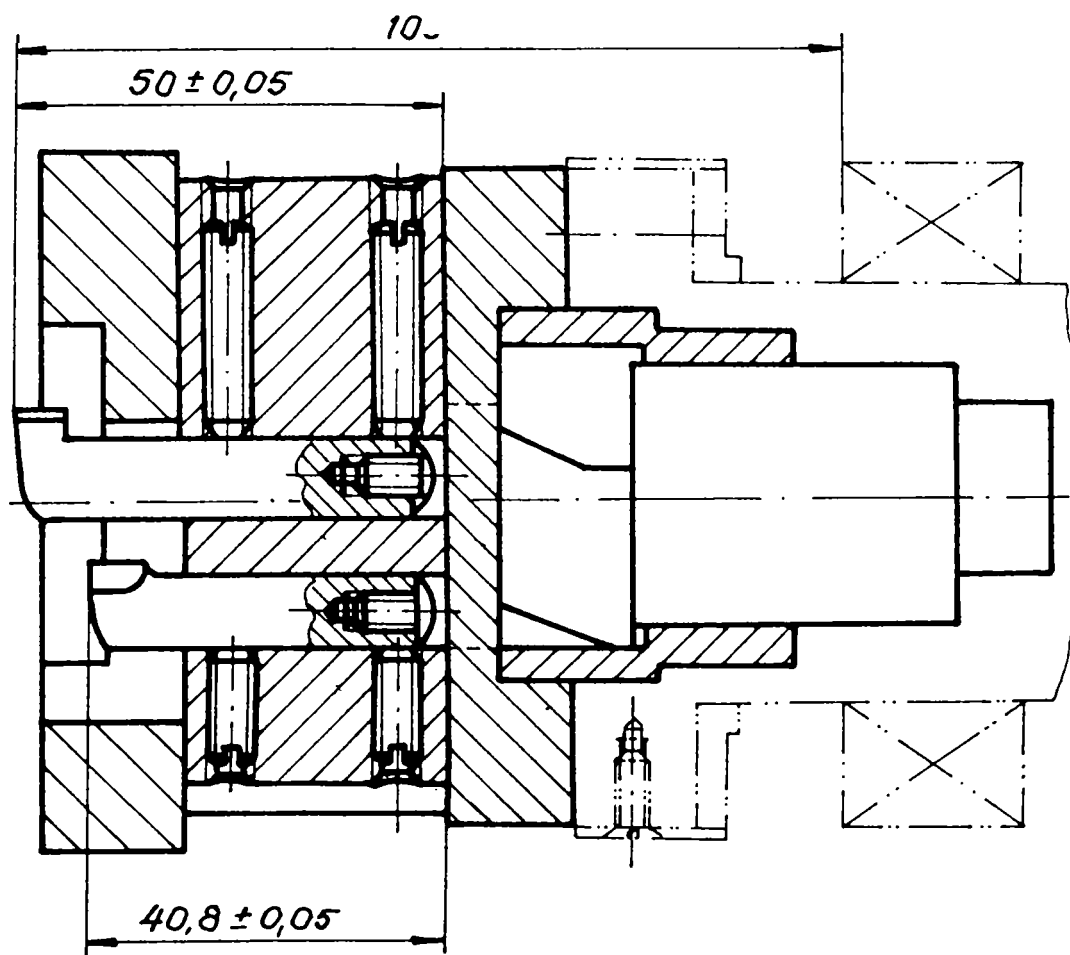


Fig.4.1  
Schema dispozitivului de intrerupere brusca a aschierii

Dispozitivul este compus din cuţitul 1, montat în unul din cele două locaşe practicate în culisa 2, mobilă pe ghidajele practicate în corpul 3 sub acţiunea mecanismului de tip pană înclinată 4, comandat manual sau mecanic de plunjerul axial 5. Dispozitivul este astfel conceput încât să poată fi folosit și pentru alte operații la care scula efectuează mișcarea de rotație, caz în care se atașează un dispozitiv de legătură 6. Cursa maximă a cuţitului este de 10 mm.

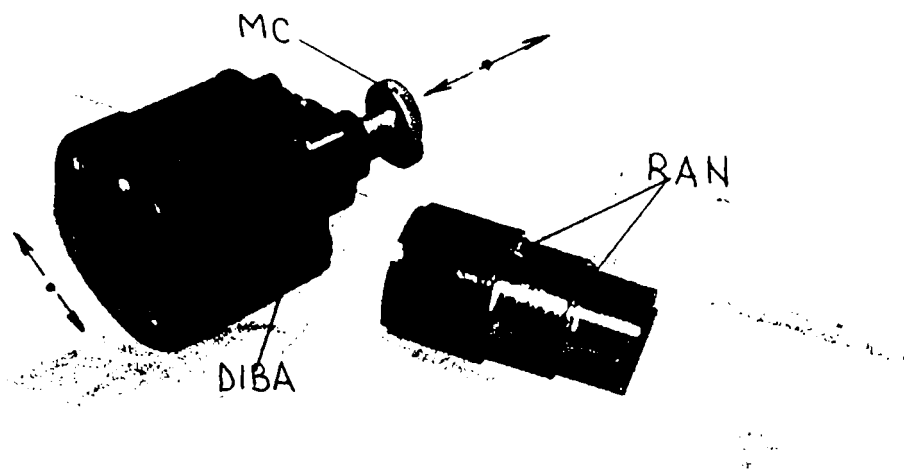


Fig.4.2  
Dispozitiv pentru intreruperea brusca a aschierii

S-a optat pentru o astfel de construcție întrucât este simplă, rigidă și nu are nici un element elastic (readucerea în poziția de lucru este manuală) care să denatureze procesul de așchiere.

În timpul probelor de ajustare, dispozitivul s-a comportat conform așteptărilor, singurul dezavantaj constituindu-l dimensiunea mică permisă suportului cuțitului (10x10), lucru de altfel avut inițial în vedere și considerat nesemnificativ relativ la scopul experimentelor a caror rezultate sunt prezentate în capitolul 6.

#### 4.3. Dinamometru pentru măsurarea a 3 componente la strunjire

Faptul că există în literatura de specialitate, așa cum s-a arătat și în capitolul 3, multe soluții de dinamometre pentru măsurarea forțelor și momentelor, înseamnă că fiecare construcție are limitele ei și răspunde doar la condițiile de cercetare impuse. Datorită acestui fapt, pentru atingerea obiectivelor declarate, s-a optat pentru construcția unui dinamometru propriu care să poată măsura toate cele trei componente ale forței de așchiere totale:  $F_c$ ,  $F_p$  și  $F_f$ .

Utilizând cunoștințele din literatura [C8], [C9], [D12], [G7], [G9], [G10], [G11], [P20], [P22], [P24] dar și experiența proprie anterioară, s-a conceput și realizat



un dinamometru cu traductoare tensometrice, schematic redat în fig. 4.3 și prezentat ca realizare în fig. 4.4.

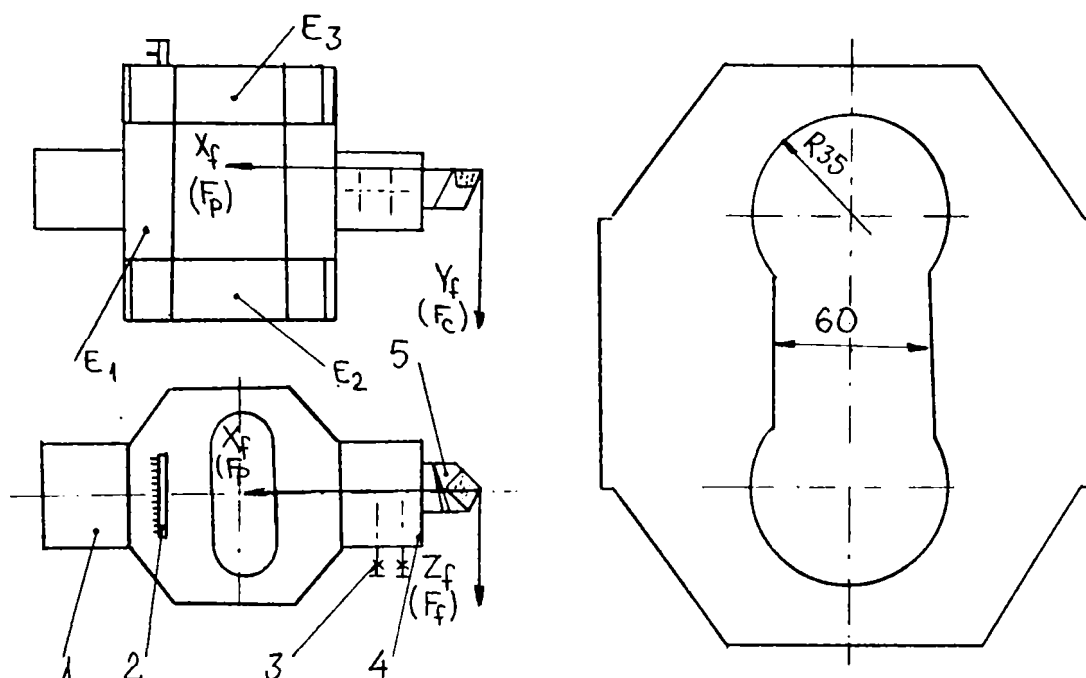


Fig.4.3  
Schema elementelor elastice ale dinamometrului rezistiv

Ideea de bază a acestui dinamometru este preluarea celor trei componente ale forței totale de așchiere, pe trei grupuri distincte de elemente traductoare electrotensometrice rezistive cu fir de tip CEA-06-375UW 350 Micro-Measurements MICHIGAN. Caracteristicile timbrilor tensometrice sunt: lungimea bazei de măsurare 3 mm, rezistența electrică  $350 \Omega \pm 0,3\%$ , factorul de sensibilitate  $2,06 \pm 0,5\%$ , domeniul de temperatură  $-50^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ .

Cele 24 timbre tensometrice sunt legate în 3 punți a 8 timbre fiecare [C8], [P24], corespunzător celor trei elemente elastice E1, E2, E3 și conectate la punțile tensometrice prin intermediul prizei 2.

Dinamometrul se fixează în suportul portcuțit al strungului prin porțiunea 1 astfel calculată încât pentru un cuțit 5 cu suport 20x20 să nu fie nevoie de plăcuțe de adaos. Cuțitele care se pot monta în locașul suportului 4 al dinamometrului cu ajutorul a două șuruburi 3 sunt de secțiune maximă 25x25.

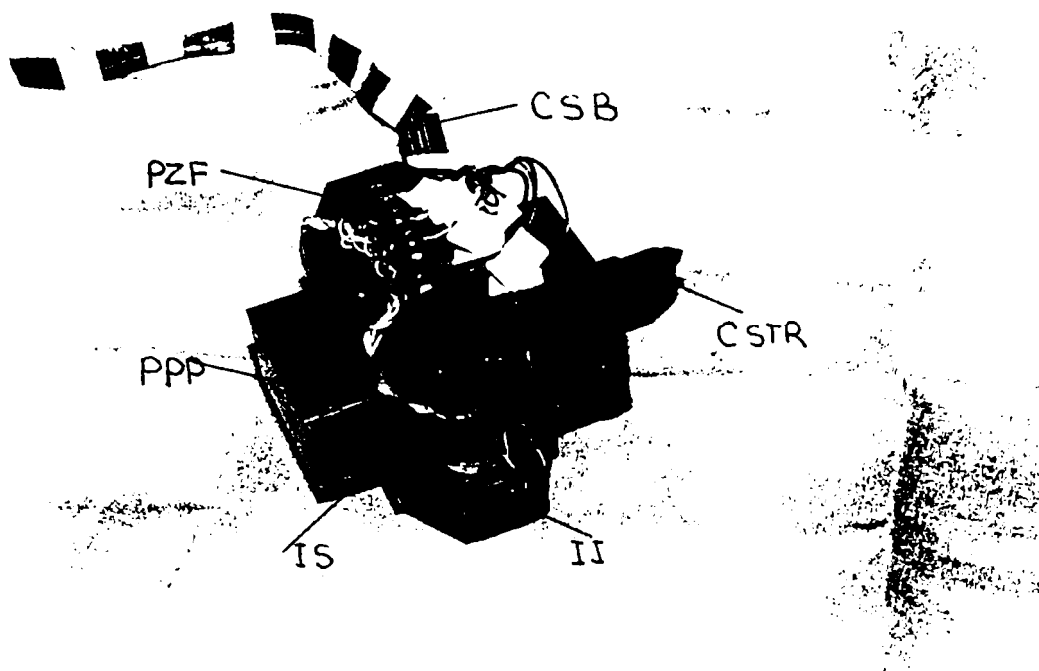


Fig.4.4

Dinamometru pentru masurarea a 3 componente a fortei de aschiere la strunjire

Caracteristicile tehnice ale dinamometrului astfel construit și calculat din punctul de vedere al teoriilor din rezistența materialelor [B13] sunt:

- domeniile de măsurare ale forțelor de așchiere și rigiditatea dinamometrului:

$$- F_c = 0 \div 4000 \text{ N} \quad - R_{y_f} = 120000 \text{ N}$$

$$- F_p = 0 \div 2000 \text{ N} \quad - R_{x_f} = 200000 \text{ N}$$

$$- F_f = 0 \div 2000 \text{ N} \quad - R_{z_f} = 120000 \text{ N}$$

- alungirile relative după:

$$- F_c - \varepsilon_{y_f} = 0,7 \mu\text{m/mm}$$

$$- F_p - \varepsilon_{x_f} = 0,4 \mu\text{m/mm}$$

$$- F_f - \varepsilon_{z_f} = 0,7 \mu\text{m/mm}$$

- frecvența proprie de rezonanță:  $\nu_0 = 792 \text{ Hz}$ .

În urma calculelor de rezistență a reieșit faptul că pentru o sensibilitate cât mai bună a dinamometrului este necesară reducerea la minimum posibil a razelor medii

ale inelelor elastice și a consolajului cuțitului. De aceea în construcție s-a optat pentru  $R=35$  mm, grosimea inelului de 10 mm și lungimea între inele de 100 mm.

Etalonarea dinamometrului s-a făcut după cele trei direcții ale componentelor forței de așchiere totale utilizând cele trei posibilități de încărcare statică ale unei mașini de frezat FUS 22 și un inel dinamometric dotat cu ceas comparator cu diviziunea de  $2\ \mu\text{m}$  și caracteristici cunoscute. Răspunsul dinamometrului s-a măsurat cu o punte tensometrică cu 6 canale tip N 2302 IEMI București – 1978, folosind câte un canal pentru fiecare din direcțiile de măsurare. Curbele de etalonare sunt prezentate în fig. 4.5.

În urma etalonării s-a concluzionat că eroarea de măsurare este de maxim 2%, histerezisul este de maxim 5% iar influențele de încărcare pe celelate două direcții date de încărcarea pe direcția prioritară ( $F_c$ ) sunt de maxim 16% dar nu și invers, lucru considerat acceptabil.

Se menționează că înainte de a construi acest tip de dinamometru, viabilitatea soluției cu inel octogonal a fost verificată prin construirea unui dinamometru monoinel ( Brevet IPT 389/1986) pentru captarea forțelor de așchiere pe două direcții. Rezultatele obținute [G10] au condus la optimizarea formei și dimensiunilor soluției de dinamometru pentru strunjire.

#### 4.4. Dinamometru pentru studiul autovibrațiilor la strunjire

Pentru cercetarea regimului optim de strunjire din punctul de vedere al stabilității procesului de așchiere s-a conceput și construit împreună cu colaboratorii

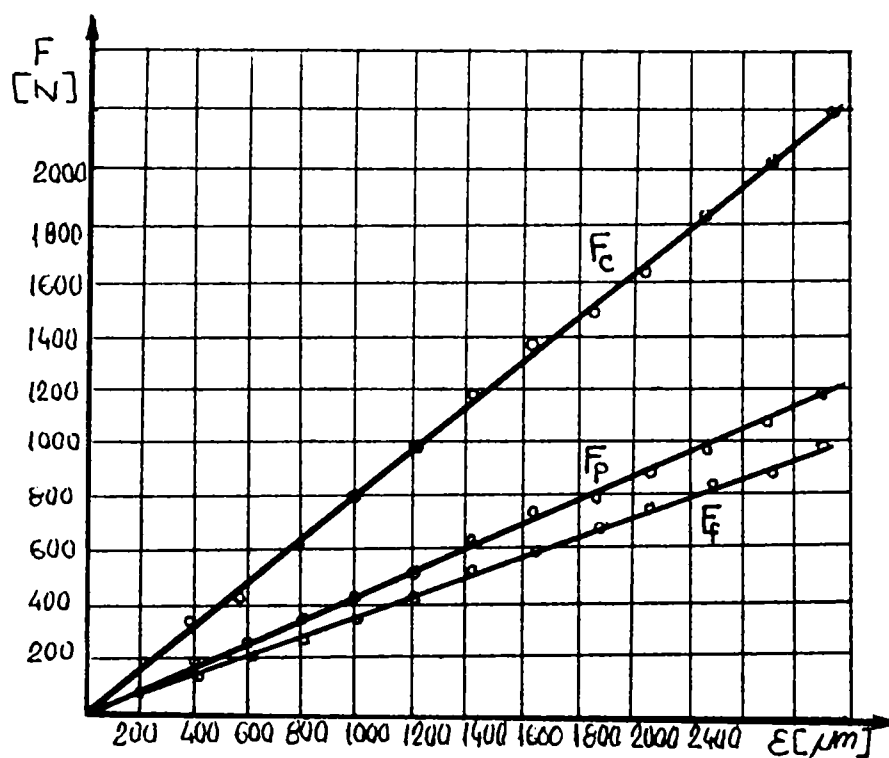


Fig.4.5  
Curbele de etalonare

[P20] un dispozitiv dinamometric (brevetat ca inovație), compact și relativ simplu comparativ cu soluțiile cunoscute [E3].

Construcția dinamometrului este reprezentată în fig. 4.6 și conține placa de bază 1 pe care se montează consola 2 prin intermediul șuruburilor 3 și piulițelor 4 cu șaibe 5. De placa de bază 1 și respectiv de consola 2 se prind cu șuruburile 6 suportii care au secțiunea transversală în forma de I, 7 respectiv 8, pe pereții cărora sunt lipite perechi timbrele tensometrice respective 9. De suportii 7 se fixează rigid prin intermediul șuruburilor 10 portcuțitul 11 în care se instalează cuțitul 12 care se fixează cu șuruburile 13. Portcuțitul 11 se rezemă suplimentar de consola 12 prin intermediul suportului 8.

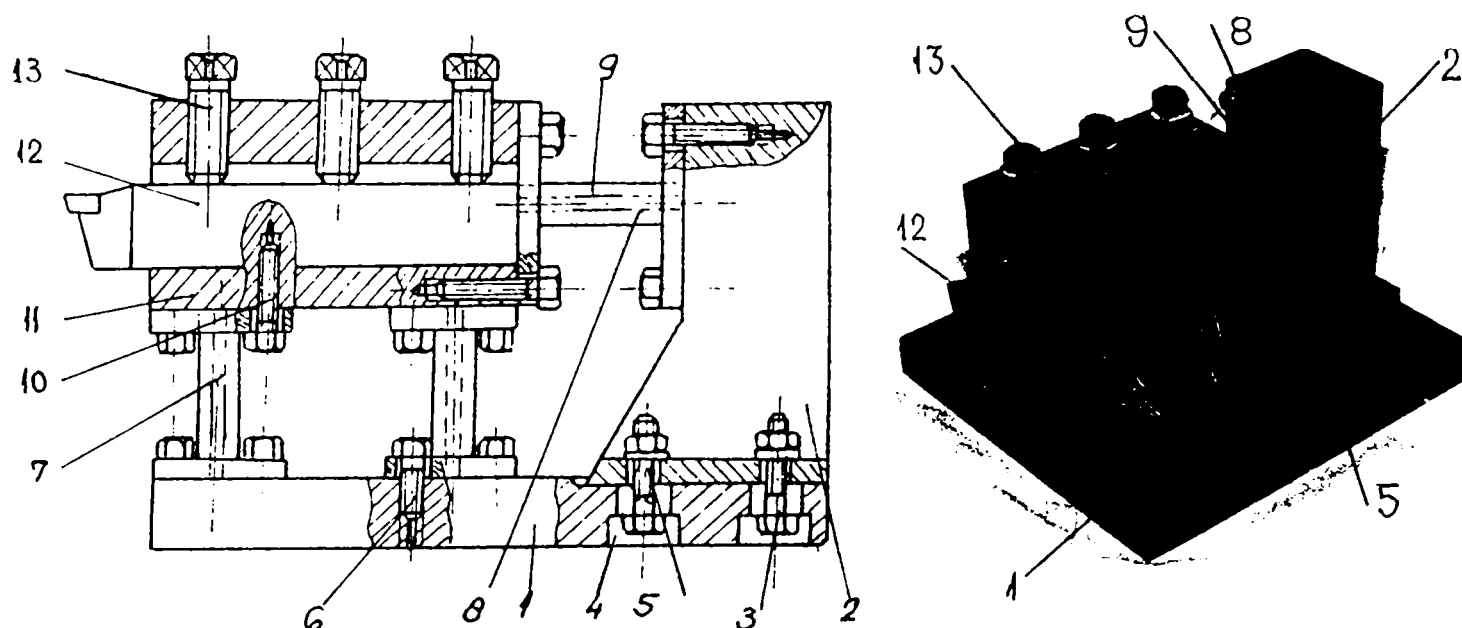


Fig.4.6  
Dinamometru pentru studiul autovibrațiilor la strunjire

Dispozitivul dinamometric se montează pe sania transversală a strungului prin intermediul plăcii sale de bază 1, care se potrivește ca formă și dimensiuni cu suprafața de asamblare a saniei portcuțit.

În timpul aşchierii unor epruvete canelate pe generatoare, suportii 7 și 8 construiți din oțel arc se deformează elastic, deformare care preluată fiind de timbrele tensometrice și tradusa în semnal electric la o punte de măsurare, permite determinarea duratei de întârziere a forțelor  $F_c$  și  $F_p$  față de deplasarea cuțitului pe

direcția radială, putându-se evidenția astfel autovibrațiile sistemului datorate procesului discontinuu de formare a așchii la strunjire.

Echipamentul de măsurare este compus din dispozitivul tensometric prezentat, o punte tensometrică tip N 2302 IEMI, un osciloscop E 0101 și un oscilograf cu 12 canale tip 12 LS 1 pentru înregistrarea mărimilor de ieșire.

#### 4.5. Stand pentru măsurarea rugozității pieselor strunjite

Pentru determinarea rugozității suprafețelor așchiate se utilizează un stand (fig.4.7) compus din profilometrul electronic 2 – tip N 2801 – MF București

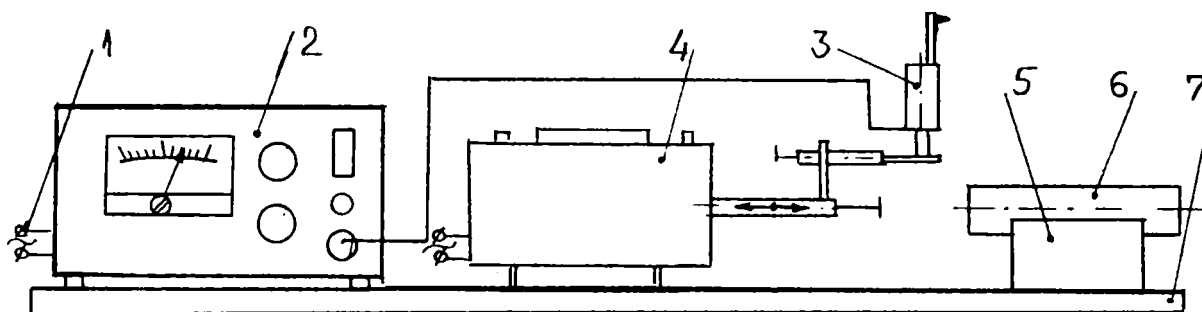


Fig.4.7  
Stand pentru masurarea rugozitatii

(domeniul de măsurare  $R_z=0,08\div 25 \mu\text{m}$ ) echipat cu traductorul inductiv 3 antrenat de mecanismul 4 – tip N 2801 M – MF București 1979 (cursă de 40 mm și două viteze: 2 mm/s, 6 mm/s) și prisma 5 care susține piesa 6, toate amplasate pe placa de bază 7.

Pentru etalonare se folosește un dispozitiv de concepție și execuție proprie (fig.4.8) și o trusă de cale de rugozitate DIN4763 produsă de firma MASSI-Germany.

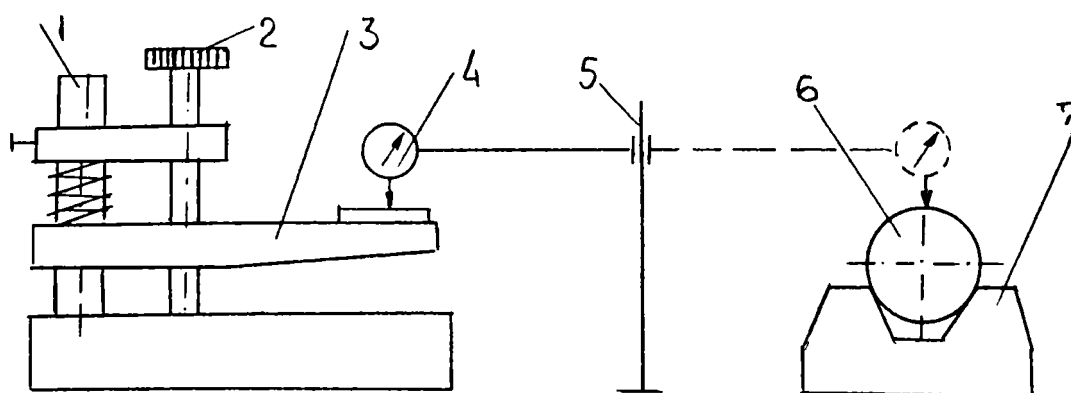


Fig.4.8  
Etalonarea standului pentru masurarea rugozitatii

O vedere completa a echipamentului utilizat pentru măsurarea rugozității este prezentată în fig. 4.9.

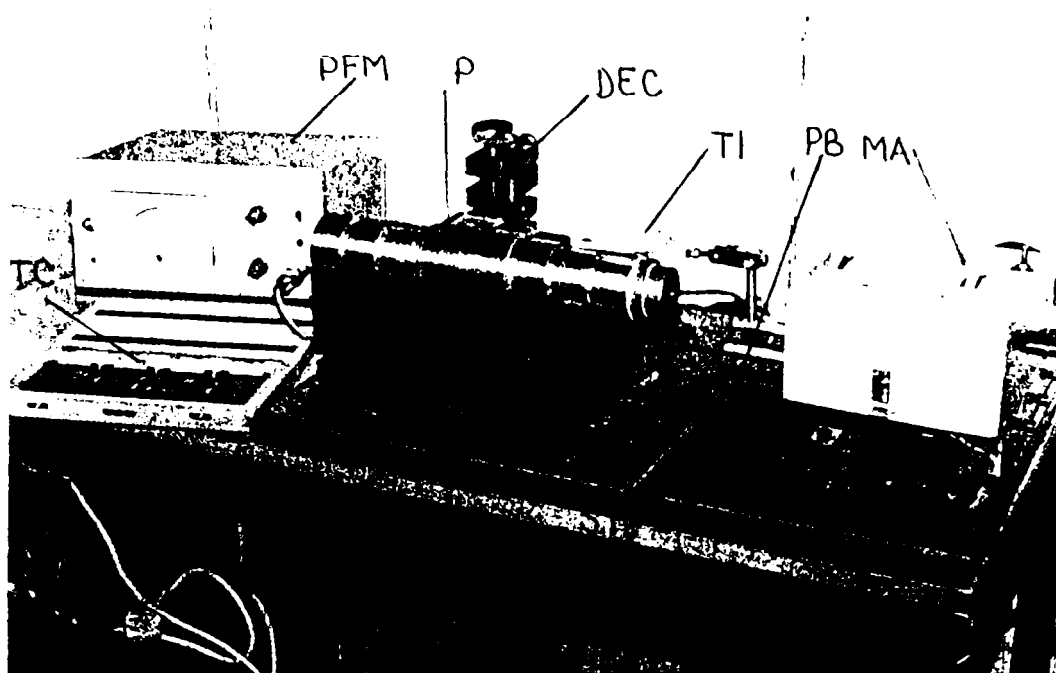


Fig.4.9  
Stand pentru măsurarea rugozității

#### 4.6. Stand pentru achiziția și prelucrarea automată a datelor experimentale

##### 4.6.1. Componerea standului

Pentru a cerceta aspectele legate de variația forțelor de strunjire funcție de parametrii regimului de așchiere, geometria și durabilitatea sculei etc., s-a realizat, cu mijloacele care au stat la dispoziție, un sistem de achiziție și prelucrare numerică a forțelor de așchiere, gestionat de microcalculator.

Standul (fig.4.10) este compus din:

- 1 – Strung SN 400x1000 Tip 1162-S3/1960 STAS 3022-52;
- 2 – Dinamometru pentru trei componente la strunjire – construcție proprie;
- 3 – Sursă stabilizată de tensiune I 4108 (0÷30 V, 0÷1 A)–tip N 23/1423 IEMI – 1982;
- 4 – Sursă stabilizată de tensiune alternativă I 4201 – IAM (210÷230 V);
- 5 – Punte tensometrică cu 6 canale N 2323 – IEMI/1978;
- 6 – Microcalculator TIM-S-Plus-FMT/1990 – cu tastatură modificată;
- 7 – Blocul de prelucrare electronică a semnalelor analogice – construcție originală;



8 – Blocul de prelucrare digitala a marimilor masurate – construcție originala a colectivului de la disciplina Scule Așchietoare al catedrei TCM, format din ing.Kovacs A. și ing.Pamîntaș E.

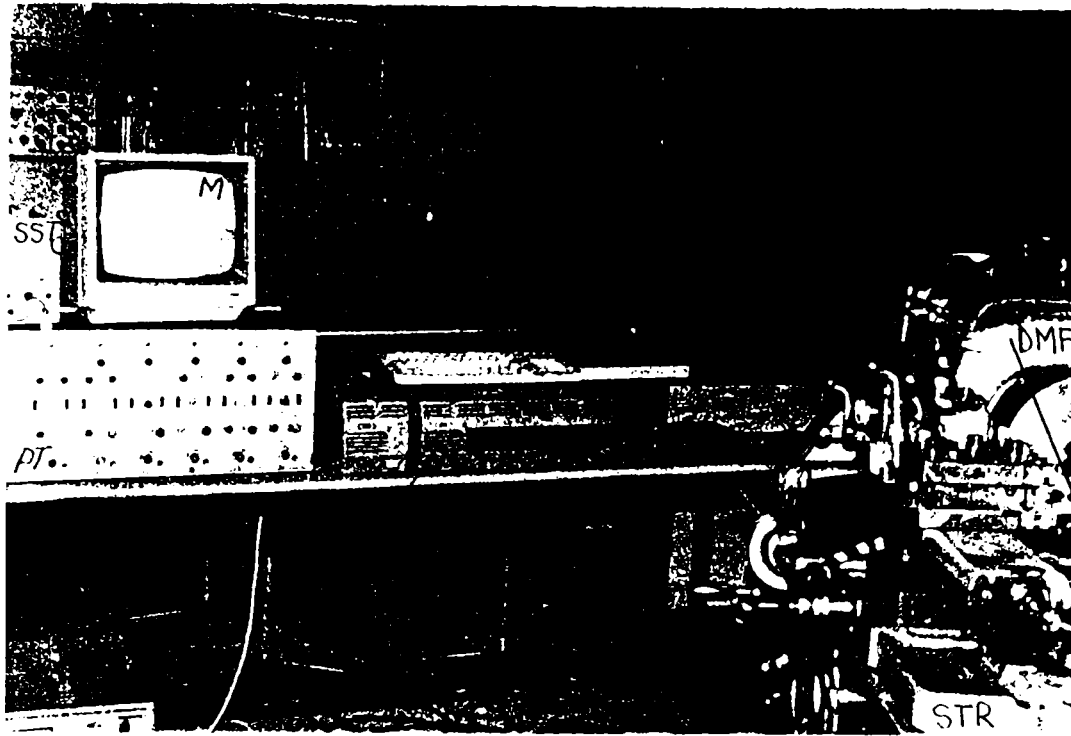


Fig.4.10  
Standul pentru achiziția forțelor la strângere

Constituirea blocului de prelucrare electronica a semnalelor analogice a necesitat doua faze intermediare. Într-o prima faza acest bloc a avut în compunere o punte tensometrică cu un singur canal tip N 2301, un comutator cu trei poziții, pentru a putea citi pe rând fiecare componenta de forță, convertorul analog digital de tip ADC 0804- INTERSIL pentru transformarea semnalelor de intrare în eșantioane de 8 biți, un demultiplexor necesar transmiterii semnalelor spre citire prin portul paralel al calculatorului TIM-S Plus. Puntea și convertorul acestei faze de început sunt prezentate în fig. 4.11.

Datorita dificultăților de comutare, timp de conversie lung pentru trei canale și imposibilității de control a duratei citirilor, varianta inițială a fost modernizata prin folosirea a doua punți tensometrice tip N 2323 și încercata pentru prelucrarea a doua semnale de forță pentru operația de frezare (fig.4.12).

Succesul obținut [K4], [\*17] cu aceasta varianta a condus catre construcția finala a standului (fig.4.13) în care s-au folosit trei canale ale unei punți tensometrice cu 6 canale N 2302. Deși aceasta punte nu permite citirea semnalelor digitale pe 16 bit

ca puntea N 2323, este mult mai rapida putând face citirea celor 3 canale

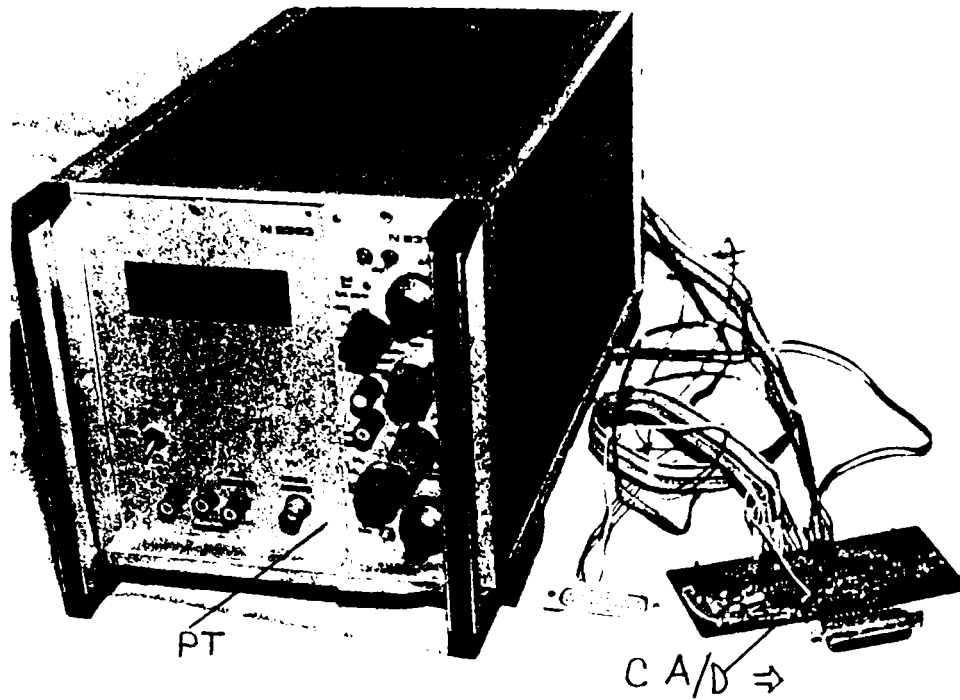


Fig.4.11  
Blocul punte - convertor - varianta 1

quasisimultan, prin baleierea succesiva și stocarea datelor în memoria

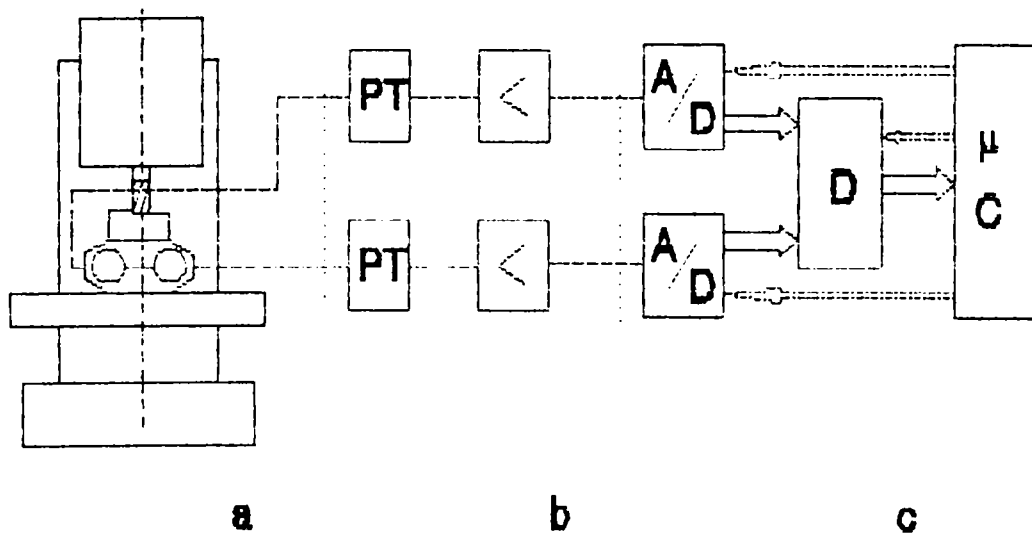


Fig.4.12  
Blocul de prelucrare electronica si digitala - varianta 2 - frezare

demultiplexorului. În felul acesta, prelucrarea datelor din memorie se poate face dupa momentul achiziției, la comanda calculatorului. Diagrama de citire prin convertor a celor trei canale este redată în fig. 4.14.

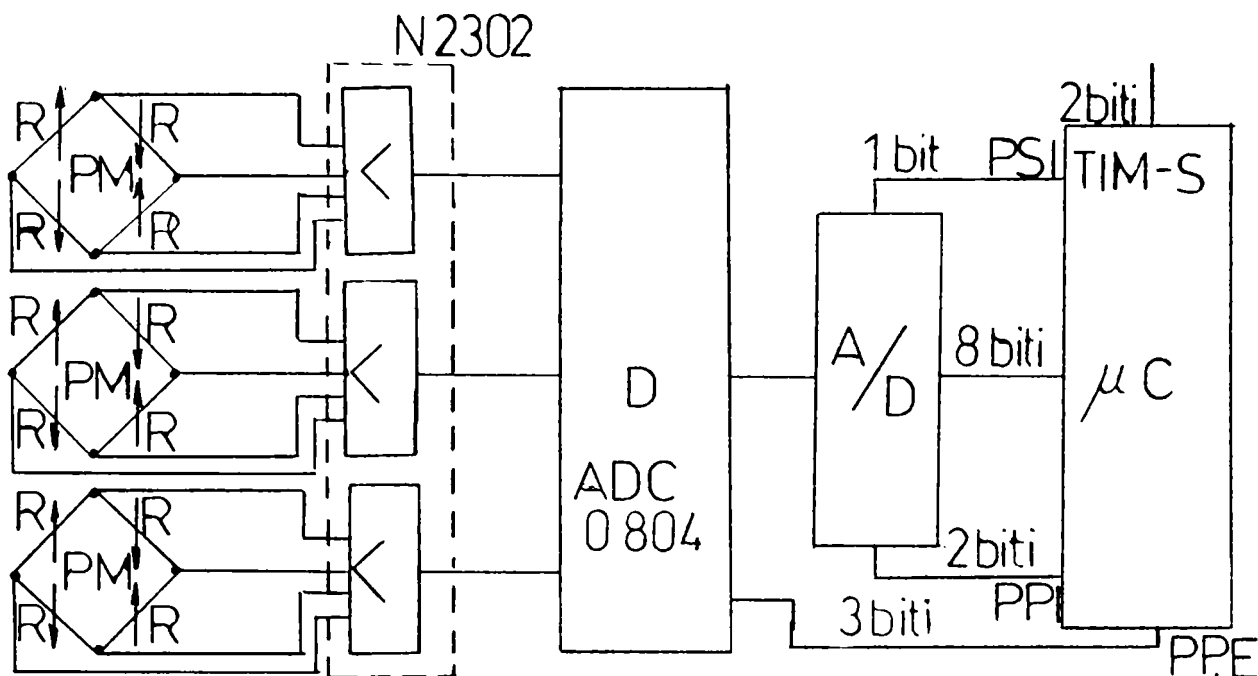


Fig.4.13

Stand pentru achizitia automata pentru 3 componente ale fortei

Pentru a citi rapid cele trei semnale (în quasiparalel) s-a folosit un convertor analog-digital (A/D) INTERSIL A DC 0804 care face conversia în circa  $5 \mu\text{s}$ , practic insuficient pentru ca să se modifice ceva semnificativ în procesul de aşchiere.

Demultiplexerul (D), în varianta finală este comutat de trei relee de 24 V alimentate separat de la o sursă externă de curent continuu stabilizat tip I 4108 ( $0 \div 30 \text{ V}$ ,  $0 \div 1 \text{ A}$ ). Aceasta pentru că prin contacte galvanice se transmit cele mai "curate" semnale, fără a introduce "zgomote" și în plus, varianta este mult mai simplă, ea permițând comutarea automată, succesivă a celor trei canale ale punții, la comanda microcalculatorului ( $\mu\text{C}$ ).

Standul în varianta finală,

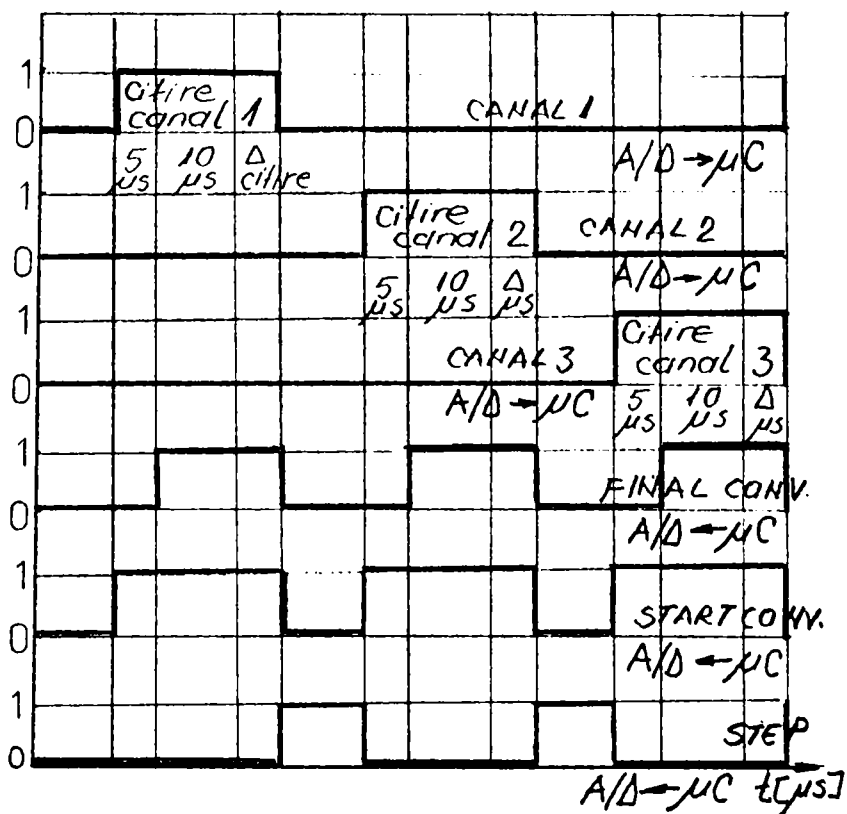


Fig.4.14

Diagrama de citire prin convertor a celor 3 canale

în poziția de lucru, este prezentat în fig. 4.15 și fig. 4.17 iar construcția demultiplexorului în fig. 4.16. În aceste figuri semnificația cifrelor este aceea prezentată în § 4.6.1.

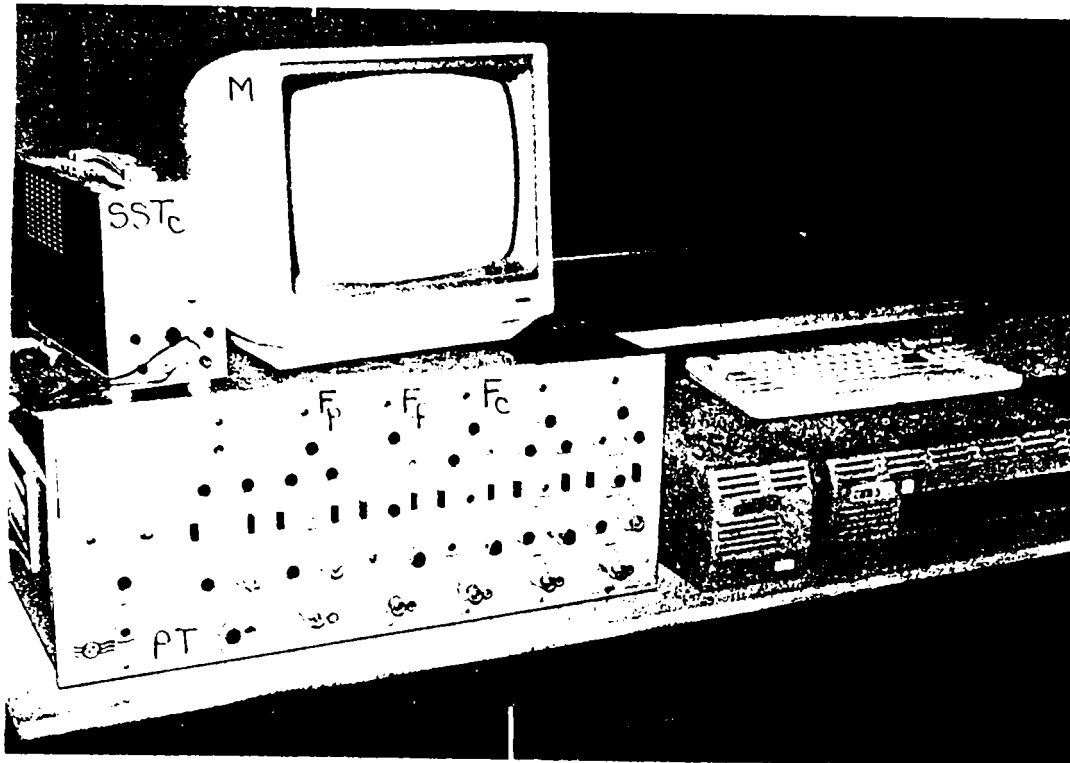


Fig.4.15

Blocul de masurare electronica, conversie digitala si prelucrare a datelor de masura

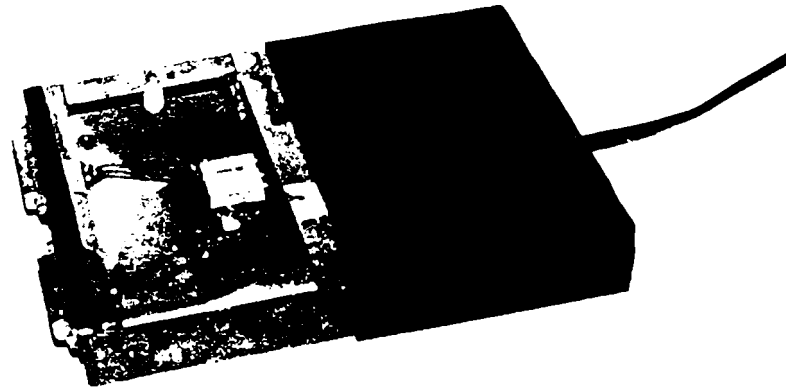


Fig.4.16

Construcția demultiplexorului

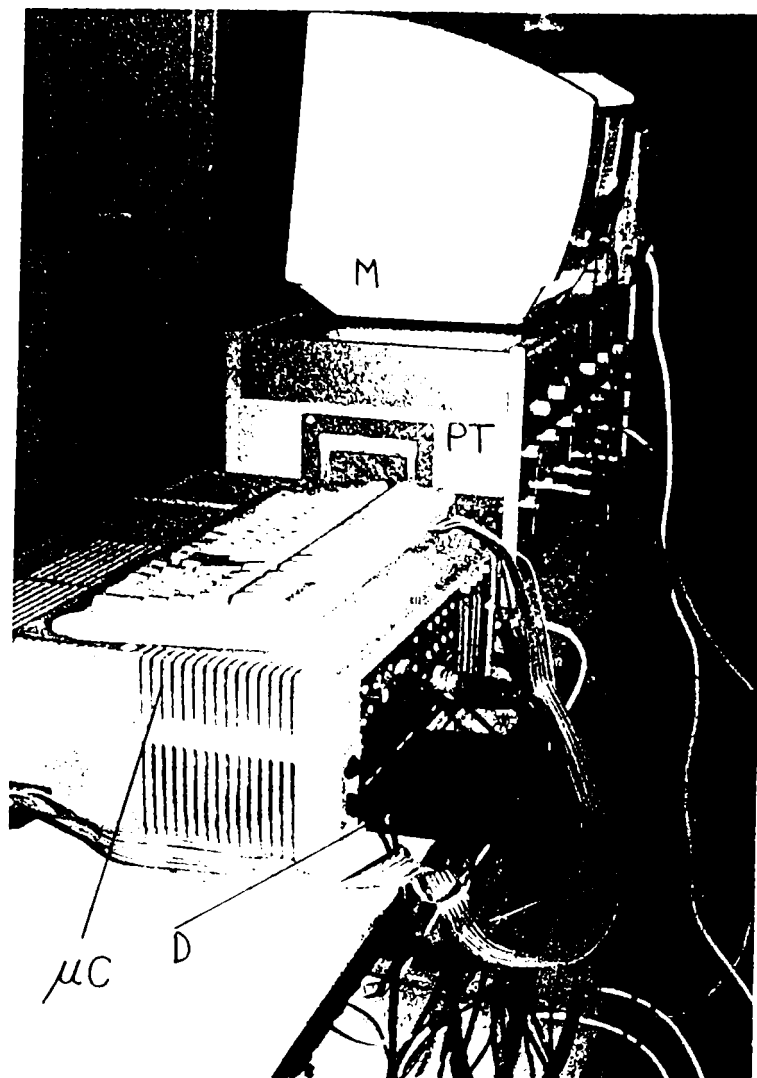


Fig.4.17  
Blocul de masurare -- vedere laterala

#### 4.6.2. Algoritmul de eșantionare

Blocul de prelucrare electronica a semnalelor analogice (fig.4.18) are rolul de a pregăti marimile măsurate în vederea transferului spre microcalculator. Acest bloc are în componență trei canale ale punții N2302, câte unul pentru fiecare mărime eșantionată și amplificatoarele necesare aducerii semnalelor la ieșirea celor trei punți în plaja  $-10 \dots +10$  V, strict proporțional cu semnalele de intrare. [F2]

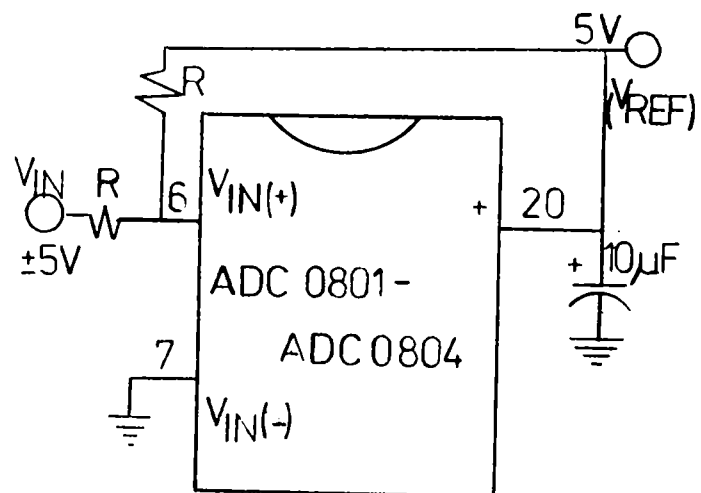


Fig.4.18  
Blocul analogic

Blocul de prelucrare numerică a mărimilor măsurate (fig.4.19) conține convertoarele analog-digitale A/D, demultiplexorul D și microcalculatorul  $\mu C$  cu perifericile aferente (monitor, imprimantă etc.). Convertoarele AD 0804 au rolul de a transforma semnalele de intrare în eșantioane de 8 biți și au sensibilitatea de  $20/245=0,08$  V/bit.

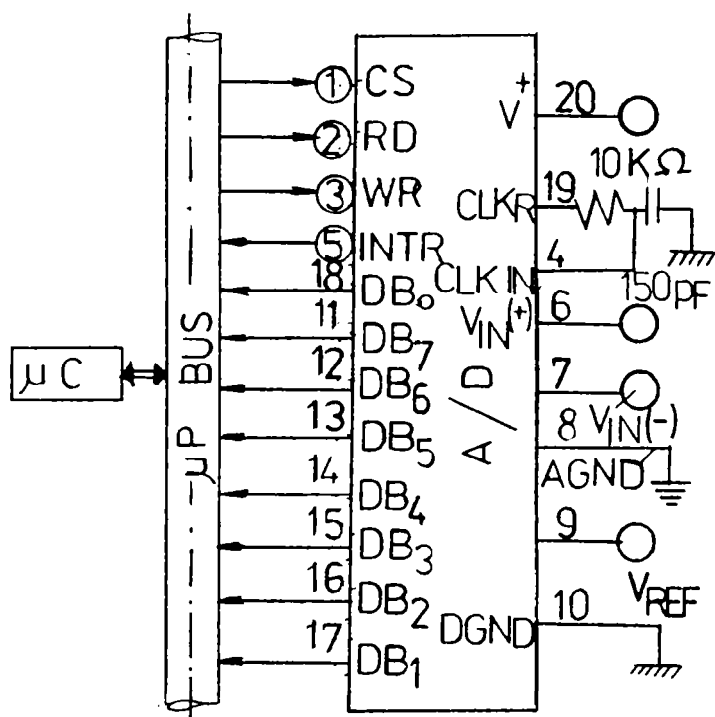


Fig.4.19  
Blocul logic

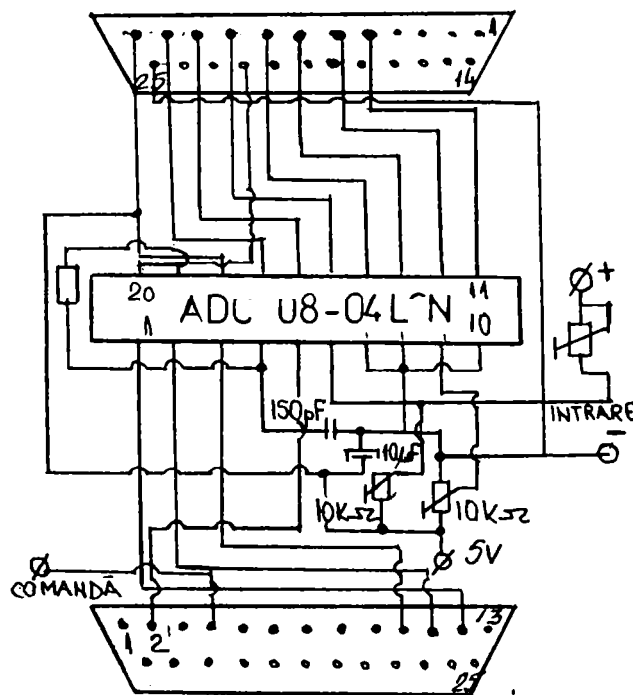


Fig.4.20  
Interfata - digitala

Demultiplexorul are rolul de a selecta canalul activ conform comenzii calculatorului și de a oferi spre calculator, prin portul paralel de intrare al acestuia, semnalul de pe canalul activ (fig.4.20).

Calculatorul are rolul de a comanda și supraveghea întreg ciclul de achiziție, de a memora și prelucra eșantioanele prelucrate în vederea aprecierii eforturilor din procesul de așchiere [D2].

Pentru a mări frecvența de eșantionare [D9], culegerea eșantioanelor se face distinct față de celelalte faze ale programelor, cu depunerea în memorie a eșantioanelor preluate [P23].

Algoritmul de eșantionare este:

1. – introducerea datelor inițiale referitoare la tipul prelucrării, al sculei, regimul de așchiere, numărul eșantioanelor de citit, frecvența de eșantionare etc.;



2. – comanda canalului activ pentru componenta de forță  $F_c$ ,  $F_p$  sau  $F_f$ ;
3. – memorarea eșantioanelor preluate, de regulă timp de 1 s la frecvența de 500 Hz și așteptarea de aproximativ 5  $\mu$ s, în funcție de secvența de eșantionare prescrisă (fig.4.14);
4. – se continuă ciclul 2., 3. până la achiziția întregului număr de eșantioane prescrise;
5. – se filtrează masivele de date memorate;
6. – se face prelucrarea automată a datelor.

Filtrarea masivelor de date s-a introdus pentru a putea refăce conținutul eșantioanelor deteriorate din cauza unor eventuale perturbații externe procesului de așchiere. Aceste eșantioane pot fi recunoscute pe cale de program software, “curățate” și redatate apoi în circuitul de calcul, totul în foarte scurt timp.

Prelucrarea automată a datelor se face în baza unor subprograme originale și specifice procesului de strunjire (regresie liniară, logaritmare, reprezentări grafice în coordonate carteziene și în coordonate dublulogaritmice etc.).

Algoritmul prezentat este compilat în limbaj TURBO-PASCAL 3.0, iar pentru a obține frecvența maximă de eșantionare de 5 KHz, subrutinele de achiziție au fost scrise direct în cod mașină [M10], [V2], [\*15].

#### 4.6.3. Protocolul de prelucrare automată a datelor experimentale

Din reprezentarea grafică a celor n date experimentale se obține un “nor” de puncte mărginit de un contur similar celui prezentat în fig. 4.21, având densitatea

u t i o r o .....ă în j ..... i ..... b-  
 generice  $F_c=f(a_p, f)$  numită curbă de regresie și care poate fi aproximată cu o funcție de tip exponențial.

În cazul strunjirii și pe această cale se ajunge la relații analitice de forma cunoscută:

$$F_c = C_F \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad (4.1)$$

adică o ecuație de tip exponențial cu două variabile independente  $a_p$  și  $f$ . Această e u ț ..... p ..... l i ..... r i .....  
 logaritmare:

$$\ln F_c = \ln C_{Fc} + x_{Fc} \cdot \ln a_p + y_{Fc} \cdot \ln f \quad (4.2)$$

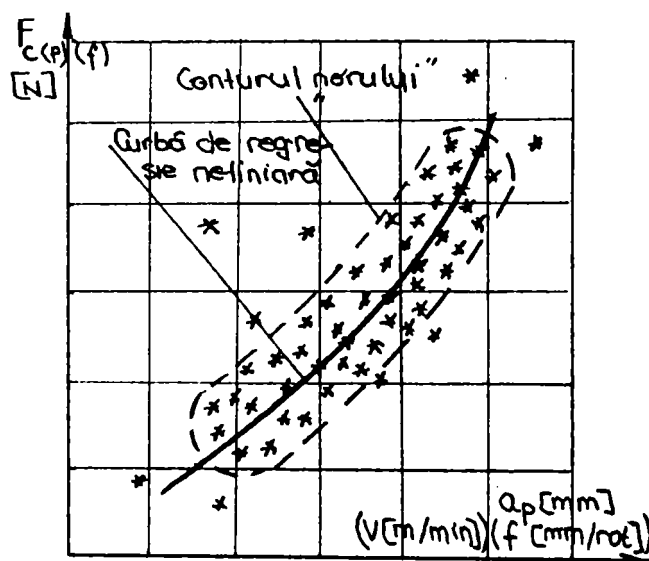


Fig.4.21  
 “Norul” de date experimentale

Notând  $\ln F_c = y$ ,  $\ln C_{Fc} = a(0)$ ,  $x_{Fc} = a(1)$ ,  $\ln a_p = x_1$ ,  $y_{Fc} = a(2)$  și  $\ln f = x_2$ , ecuația 4.2 devine:

$$y = a(0) + a(1)x_1 + a(2)x_2 \quad (4.3)$$

Mai notăm:  $n$  = numărul de experimentări referitoare la o variabilă;  $i = 1 \dots n$ ;  $j = 1$  sau  $j = 2$  este variabila la care se referă cele  $n$  experimentări ( $x_1$  sau  $x_2$ ). Astfel ecuația (4.3) se poate scrie sub forma:

$$y(i,j) = a(0) + a(j) \cdot x(i,j) + c(j) \quad (4.4)$$

unde  $c(j)$  reprezintă suma factorilor care rămân constanți în decursul experimentărilor referitoare la o variabilă.

Pentru fiecare variabilă  $j$ , se reprezintă grafic punctele  $P[x(i,j), y(i,j)]$  și se unesc în ordinea crescătoare a lui  $i$  (fig.4.22).

Se calculează panta fiecărui segment cu formula [F1], [M2]:

$$\beta_{(i,j)} = \frac{y_{(i+1,j)} - y_{(i,j)}}{x_{(i+1,j)} - x_{(i,j)}}, \quad (4.5)$$

coeficientul  $a(j)$  ca medie a pantelor:

$$a(j) = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_{(i,j)}}{n}, \quad (4.6)$$

coeficientul  $a(0)$  cu relația:

$$a(0) = \frac{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n [y(i,j) - a(j) \cdot x(i,j) - c(i)]}{2 \cdot n} \quad (4.7)$$

și în final se revine la notațiile făcute.

Sub această formă, datele  $y(i,j)$  și  $x(i,j)$  se pot prelucra în baza unui program pe un  $\mu C$ . Ordinograma nucleului unui astfel de program - fiind eliminat blocurile de intrucere a datelor, afișare și reprezentare grafice, listate pe seama sistemului automat de achiziție (SAA) a datelor - este dată mai jos:

- Pentru  $j = 1 \div 2$ :

- se inițializează  $a(j) = 0$ ;

- Pentru  $i = 1 \div (n-1)$ ;

- calculează  $\beta_{(i,j)}$  cu formula (4.5);

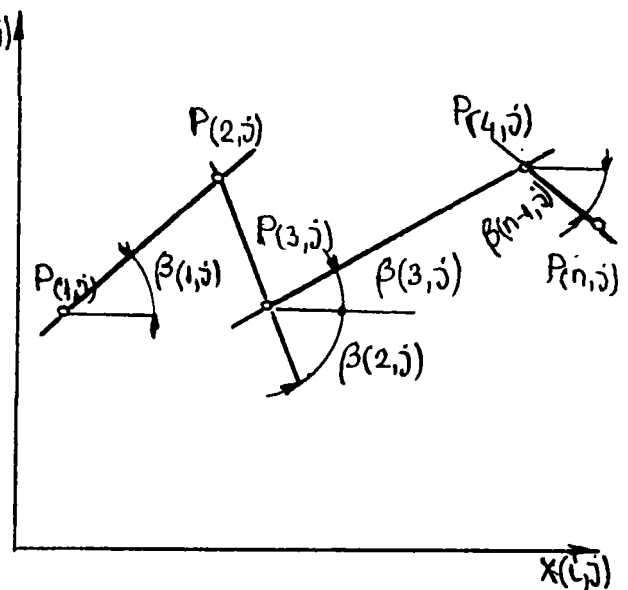


Fig.4.22  
Schema de calcul grafic

- se însumează  $a(j)=a(j)+\beta(i,j)$ ;
  - se trece la următorul  $i$ ;
  - se calculează  $\beta(n,j)=[y(n,j)-y(1,j)]/[x(n,j)-x(1,j)]$ ;
  - se însumează  $a(j)=a(j)+\beta(n,j)$ ;
  - se calculează  $a(j)=a(j)/n$ ;
  - se trece la următorul  $j$ ;
  - Pentru  $j=1\div 2$ :
    - se inițializează  $a(0)=0$ ;
    - Pentru  $i=1\div n$ :
      - se calculează  $x=y(j)-a(j)\cdot x(i,j)-c(j)$ ;
      - se însumează  $a(0)=a(0)+x$ ;
      - se trece la următorul  $i$ ;
    - se trece la următorul  $j$ ;
  - se calculează  $a(0)=a(0)/(2\cdot n)$ .
- 

#### 4.6.4. Concluzii

Toate dispozitivele dinamometrice prezentate sunt elemente de originalitate brevetate ca inovație. Avantajele date de simplitatea acestor construcții coroborate cu performanțele ridicate și costul redus al acestora face ca standurile de experimentări să fie competitive, cu atât mai mult cu cât prin construirea sistemului automat de achiziție a datelor, se ușurează mult munca cercetătorului în domeniu.

Mai mult, introducerea unui calculator într-o configurație de conducere automată a procesului de așchiere a permis cvasisuprapunerea a trei operații: achiziția datelor, prelucrarea rezultatelor și comanda procesului condus (rezerva de 2 biți din schema din fig. 4.10).

Termenul “prelucrare în timp real” apare astfel în mod natural datorită faptului că prelucrările sunt declanșate de evenimente externe și rezultatele depind, în afara de datele de intrare, de calculele efectuate și de valoarea variabilei timp, atât ca moment al măsurării cât și ca durată.

## 5. ADAOSUL DE PRELUCRARE, ADÂNCIMEA DE AȘCHIERE ȘI NUMĂRUL DE TRECERI

### 5.1. Considerații privind adaosul de prelucrare

Piese utilizate în construcția de mașini sunt în general corpuri solide delimitate în spațiu de diferite combinații de suprafețe (fig.5.1) [D15] având dimensiuni și rugozități corespunzătoare asamblării și funcționării lor.

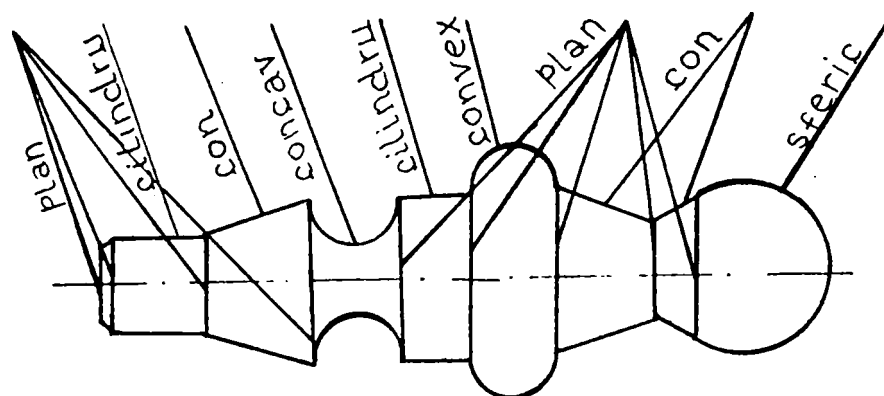


Fig.5.1  
Suprafețe exterioare tipice pentru o piesa strunjita

Execuția acestor piese comportă un șir de diferite procedee de prelucrări mecanice avînd ca scop modificarea succesivă a configurației inițiale a semifabricatului, poziției reciproce a suprafețelor și a calității acestora, astfel încât, în final, să se obțină valorile dimensionale, forma geometrică și gradul de rugozitate prescrise în desenul de execuție al piesei. Cantitatea de material cuprinsă între suprafața semifabricatului și suprafața finală a piesei poartă numele de adaos de prelucrare și se notează în general cu A.

Adaosul de prelucrare poate fi îndepărtat prin diferite procedee (tăiere cu flacără oxiacetilenică, tăiere cu foarfeci sau ștanțe, prin așchiere sau procedee neconvenționale). Îndepărtarea adaosului sub formă de așchii este, încă în etapa actuală, procedeul cel mai sigur de obținere a pieselor în construcția de mașini cu precizie dimensională ridicată, forme geometrice corespunzătoare și rugozitatea prescrisă suprafețelor. Datorită acestui lucru, prelucrările prin așchiere ocupă aproximativ 70% din totalul manoperei pentru realizarea unui produs. Aproape jumătate din piesele așchiate sînt supuse operației de strunjire, fapt ce face ca acest tip de prelucrare să ocupe o poziție privilegiată în preocupările specialiștilor în

domeniu.

Datorită factorilor specifici sistemului tehnologic ca: rigiditatea mașinii-unelte, uzura sculei așchietoare, erorile de poziționare și fixare a semifabricatului în dispozitivul de prindere, dilatarea termică, erorile de măsurare ș.a. care influențează în mod direct desfășurarea procesului de așchiere - factori analizați detaliat în literatura de specialitate [K6], se impune ca forma geometrică și calitatea suprafețelor semifabricatului să fie diferite de acelea ale piesei finite. Din motive tehnico-economice se impune însă ca diferența aceasta, care se regăsește în mărimea adaosului de prelucrare, să nu fie prea mare. În scopul realizării acestei condiții, semifabricatele destinate strunjirii se obțin de obicei prin turnare, laminare, extrudare, forjare sau tragere. O schemă pentru determinarea adaosului de prelucrare a semifabricatelor folosite la strunjire este prezentată în fig. 5.2.

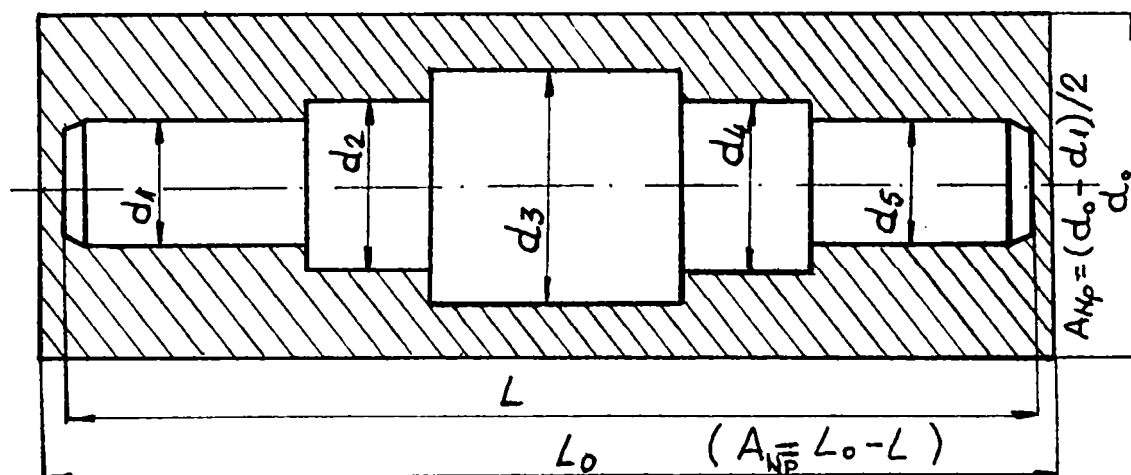


Fig.5.2  
Schema pentru determinarea  $a_p$  la strunjire

În funcție de configurația piesei adaosul de prelucrare la strunjire poate fi repartizat simetric (cazul pieselor definite în spațiu de suprafețele exterioare și interioare de revoluție) și mai rar asimetric (suprafețele frontale).

Deoarece mărimea adaosului de prelucrare nu poate fi aprioric stabilită cu suficientă precizie, se admit toleranțe dimensionale pentru adaosul de prelucrare, a căror valoare depinde de procedeul de elaborare a semifabricatului, tipul procedeeului de strunjire, rigiditatea STE, calitatea cuțitului de strung etc.

Pentru a se evita creșteri exagerate ale adaosului de prelucrare, ca urmare a acceptării unor valori mari ale toleranțelor adaosurilor parțiale de prelucrare, vor trebui luate în considerare numai mărimile adaosurilor parțiale pentru operația anterioară celei considerate. Acesta înseamnă că toleranța pentru adaosul de prelucrare va trebui să coincidă cu toleranța dimensiunii respective. Astfel,

toleranța adaosului de prelucrare corespunzătoare unei faze a operației de strunjire (fig.5.3) [D15], va fi identică cu toleranța semifabricatului. Semifabricatele vor avea un adaos de prelucrare minim, când la faza anterioară s-a înlăturat întreaga valoare a toleranței adaosului respectiv de prelucrare, iar la faza următoare se lucrează cu valoarea minimă a toleranței adaosului de prelucrare considerat. După cum rezultă din schema din fig. 5.3, mărimea adaosului de prelucrare scade de la o fază de degroșare spre faza de finisare și superfinisare, astfel că la faza de ordinul  $n$ , adaosul de prelucrare este mai mic decât acela corespunzător operației de ordinul  $n-1$ .

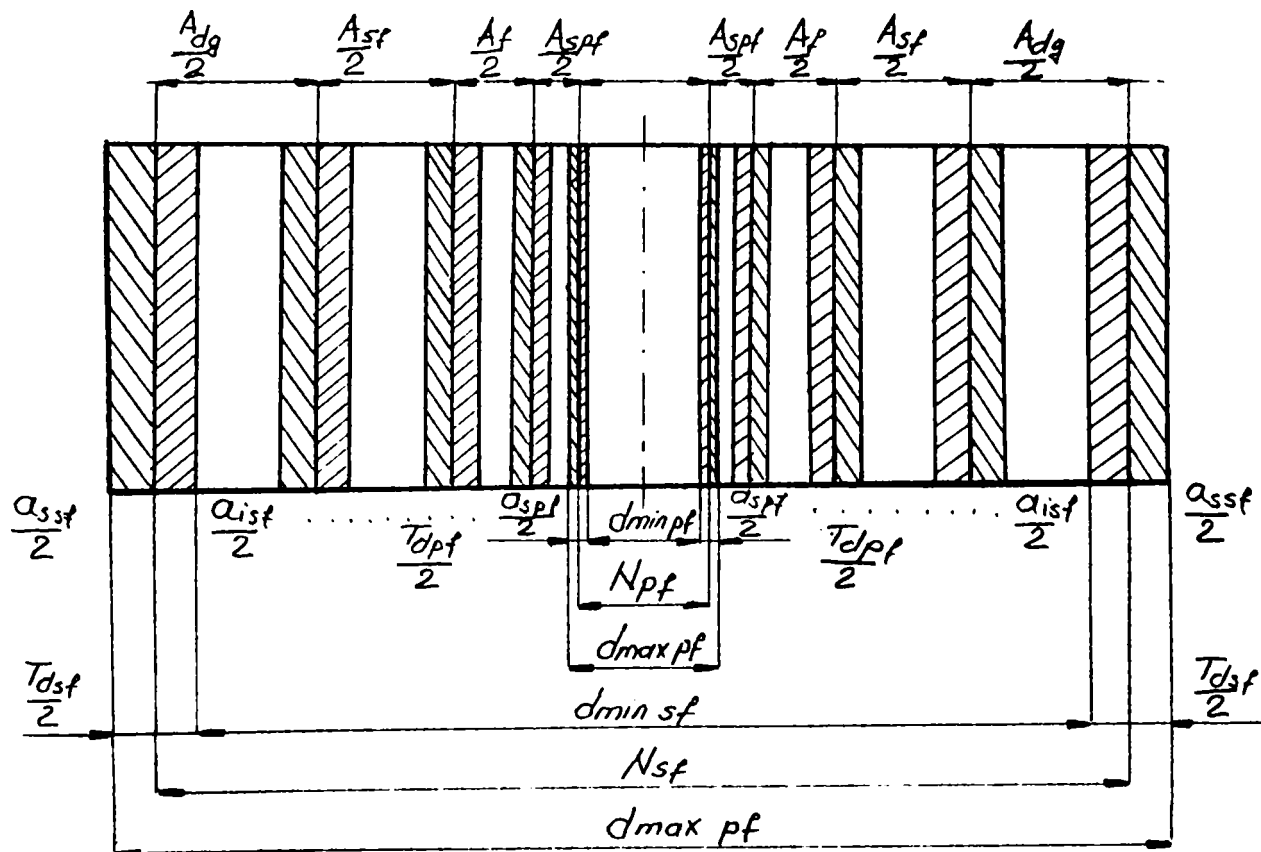


Fig.5.3

Schema de calcul a  $a_p$  la strunjire cu considerarea toleranțelor fazelor intermediare

Adaosul nominal de prelucrare al unei piese, definită în spațiu de către o suprafață exterioară, poate fi exprimat cu relația:

$$A_{N_p} = (N_{dsf} - N_{dpf}) / 2 \quad [ \text{mm} ], \quad (5.1)$$

sau

$$A_{N_p} = (N_{Dsf} - N_{Dsf}) / 2 \quad [ \text{mm} ], \quad (5.2)$$



dacă piesa este definită în spațiu de o suprafață de revoluție interioară. Pentru lungimea piesei, delimitată în spațiu de suprafețele plane frontale, adaosul nominal de prelucrare, poate fi determinat cu relația:

$$A_{Np} = L_{Nsf} - L_{Npf} \quad (5.3)$$

În relațiile (5.1), (5.2) și (5.3),  $N_{dsf}$ ,  $N_{Dsf}$ ,  $N_{dpf}$  și  $N_{Dpf}$  reprezintă dimensiunile semifabricatului și respectiv ale piesei finite de tip arbore și respectiv alezaj, iar  $L_{Nsf}$  și  $L_{Npf}$  exprimă aceleași mărimi pentru lungimile tronsoanelor cilindrice cuprinse între suprafețe plane frontale.

Adaosul efectiv de prelucrare poate fi calculat cu ecuațiile:

$$A_{efp} = d_{efsf} - d_{efpf} / 2, \text{ pentru piese de tip arbore;} \quad (5.4)$$

$$A_{efp} = D_{efpf} - D_{efsf} / 2, \text{ pentru piesa de tip alezaj;} \quad (5.5)$$

$$A_{efp} = L_{efsf} - L_{efpf}, \text{ pentru lungimea tronsonului piesei.} \quad (5.6)$$

Stabilirea adaosului efectiv de prelucrare în condiții avantajoase tehnico-economice se realizează atunci când este respectată condiția:

$$A_{maxp} \geq A_{efsf} \geq A_{minp} \quad (5.7)$$

În inecuația (5.7),  $A_{maxp}$  și  $A_{minp}$  reprezintă valoarea maximă și respectiv minimă a adaosului de prelucrare care, după cum rezultă din scrierea lanțului de dimensiuni (fig.5.3), pot fi calculate cu relațiile:

$$2A_{maxp} = d_{maxsf} - d_{maxpf} = A_{dg} + A_{sf} + A_f + A_{spf} + a_{spf} + a_{ipf}; \quad (5.8)$$

$$2A_{minp} = d_{minsf} - d_{minpf} = A_{dg} + A_{sf} + A_f + A_{spf} + a_{isf} - a_{spf}; \quad (5.9)$$

în care:  $A_{dg}$ ,  $A_{sf}$ ,  $A_f$ ,  $A_{spf}$  reprezintă adaosul necesar prelucrărilor de degroșare, semifinisare, finisare și superfinisare iar  $a_{ipf}$ ,  $a_{spf}$ ,  $a_{isf}$  și  $a_{ssf}$  reprezintă abaterile dimensionale ale piesei finite și respectiv semifabricatului.

Dacă în relația (5.8) se înlocuiește  $A_{minp}$  cu formula rezultată din ecuația (5.9), se obține:

$$2A_{maxp} = 2A_{minp} + (a_{ssf} - a_{isf}) - (a_{spf} - a_{ipf}); \quad (5.10)$$

sau

$$A_{maxp} = A_{minp} + 1/2(T_{dsf} - T_{dpf}), \text{ pentru piese tip arbore;} \quad (5.11)$$

și

$$A_{maxp} = A_{minp} + 1/2(T_{Dpf} - T_{Dsf}), \text{ pentru piese tip alezaj;} \quad (5.12)$$

respectiv

$$A_{maxp} = A_{minp} + T_{Lsf} - T_{Lpf}, \text{ pentru lungimi de piesă;} \quad (5.13)$$

relații în care  $T_{dpf}$ ,  $T_{Dsf}$ ,  $T_{dsf}$  și  $T_{Dpf}$  reprezintă toleranța dimensională a piesei finite, respectiv a semifabricatului de tip arbore și respectiv alezaj, iar  $T_{Lsf}$  și  $T_{Lpf}$  - toleranța dimensională pentru lungimile semifabricatului și piesei finite.

La calculul adaosului minim de prelucrare se utilizează relațiile:

$$A_{minp} = (1/2) \left\{ \sum_{j=1}^n [T_{dj} + 2(R_{zj} + S_{pj})] + 2\sqrt{\rho_a^2 + \omega_{asb}^2} \right\}, \quad (5.14)$$

$$A_{\min p} = \sum_{j=1}^n (T_{Lj} + R_{zj} + S_{pj}) + \sqrt{\rho_a^2 + \omega_{asb}^2}, \quad - \text{ pentru lungimi.} \quad (5.15)$$

Semnificațiile simbolurilor utilizate în relațiile (5.14) și (5.15) sunt cele cunoscute din tehnologie:  $R_{zj}$  - rugozitatea maximă a suprafeței corespunzătoare fazei de prelucrare de rangul  $j$ ;  $S_{pj}$  - grosimea stratului de material degradat la prelucrarea precedentă;  $T_{dj}$  și  $T_{Lj}$  - abaterile dimensionale de la prelucrarea precedentă;  $\omega_{asb}$  - eroarea de așezare a fazei considerate;  $\rho_a$  - abaterea spațială de fixare în dispozitivul de lucru.

Introducînd relațiile (5.14) și (5.15) în ecuațiile (5.11), (5.12) și (5.13) se obțin expresiile analitice pentru calculul adaosului maxim de prelucrare;

- pentru piese de tip arbore:

$$A_{\max p} = (1/2) \left\{ \sum_{j=1}^n [T_{dj} + 2(R_{zj} + S_{pj})] + 2\sqrt{\rho_a^2 + \omega_{asb}^2} + 2(T_{dsf} - T_{dpf}) \right\}; \quad (5.16)$$

- pentru piese de tip alezaj:

$$A_{\max p} = (1/2) \left\{ \sum_{j=1}^n [T_{dj} + 2(R_{zj} + S_{pj})] + 2\sqrt{\rho_a^2 + \omega_{asb}^2} + 2(T_{Dpf} - T_{Dsf}) \right\}; \quad (5.17)$$

- pentru lungimile tronsoanelor cilindrice ale piesei:

$$A_{\max p} = \sum_{j=1}^n (T_{Lj} + R_{zj} + S_{pj}) + \sqrt{\rho_a^2 + \omega_{asb}^2} + T_{Lsf} - T_{Lpf}. \quad (5.18)$$

Ultimele trei relații arată că adaosul maxim de prelucrare la piesele strunjite (și nu numai) depinde de toleranța dimensională a semifabricatului și piesei finite pentru fazele de degroșare, semifinisare, finisare și superfinisare, precum și de rugozitatea suprafeței rezultată la faza anterioară și abaterile spațiale (încovoiere, neperpendicularitate, necoaxialitate, excentricitate etc.) care iau naștere la prelucrarea fazelor precedente.

Calculul adaosului de prelucrare conform relațiilor (5.16) ... (5.18) nu este deloc simplu dacă se ține cont de aspectele de detaliu ale factorilor  $\omega_{asb}$  și  $\rho_a$  (vezi [K6]) iar rezultatele au o marjă de eroare ce nu poate fi ignorată de tehnolog, datorată în special valorilor termenilor  $R_{zj}$  și  $S_{pj}$  care se găsesc tabelate în literatură [N2], [P16], [R6], [S14], [V5], [V6], după metode experimental-statistice.

În producție, cea mai utilizată metodă de stabilire a adaosurilor de prelucrare este metoda experimental-statistică și doar în cazul producției de masă se utilizează metoda de calcul analitică. În acest sens, au fost elaborate standarde cu adaosurile de prelucrare pentru toate procedeele de obținere a semifabricatelor și pentru diferite prelucrări prin așchiere.

Considerînd standardele cu adaosuri de prelucrare pentru semifabricatele cel mai des supuse strunjirii, pentru exemplificarea necesității calculului rațional al numărului de treceri  $i$  se prezintă în cele ce urmează câteva valori:

- semifabricate turnate din oțel, gabarit  $\varnothing \times L = 1200 \times 1200$ :
  - clasa I de precizie  $A=5,0$  mm cu abateri  $\pm 1,25$  mm
  - clasa a II-a de precizie  $A=5,5$  mm cu abateri  $\pm 2$  mm
  - clasa a III-a de precizie  $A=9$  mm cu abateri  $\pm 3$  mm
  - clasa a IV-a de precizie  $A=11$  mm cu abateri  $\begin{matrix} +4,2 \\ -2,8 \end{matrix}$  mm
  - clasa a V-a de precizie  $A=13$  mm cu abateri  $\begin{matrix} +4,8 \\ -3,2 \end{matrix}$  mm.

- piese turnate din fontă și cele turnate din aliaje neferoase au adaosurile de prelucrare în medie cu 1 mm mai mici decât cele turnate din oțel la gabarite similare.

- semifabricate matritate -  $H \times L = 400 \times 1000$ , cu  $A=5,25 \dots 6$  mm funcție de clasa de precizie, iar pentru un disc forjat liber  $A=22$  mm la gabaritul  $D \times h = 500 \times 250$  și respectiv  $A=62$  mm pentru o piesă cavă forjată pe dorn la presă (gabariți  $\varnothing 800 \times 2500$ ).

- semifabricate laminate - adaosul de prelucrare se poate alege cât mai mic posibil datorită varietății mari de tipodimensiuni prevăzute în standardele de materiale laminate.

Dacă ținem seama de faptul că aceleași standarde prevăd pentru strunjirea de finisare cilindrică adaosuri de 2,2 mm (pentru gabaritele luate ca exemplu), rezultă că la degroșare trebuie îndepărtat un adaos de prelucrare cuprins între 3,2 și 59,8 mm. Acest lucru se poate face într-o singură trecere pentru piesele turnate în clasele I și maxim II de precizie dar devine imposibil pentru celelalte tipuri de semifabricate prezentate. În aceste cazuri, determinarea rațională a adâncimii de așchiere  $a_p$  și deci și a numărului de treceri  $i$ , devine o necesitate.

## 5.2. Considerații privind adâncimea de așchiere

Literatura de specialitate [G2], [N1], [P16], [R6], [S14], [V5], la stabilirea adâncimii de așchiere recomandă pentru prelucrările de semifinisare și finisare ca aceasta să fie egală cu adaosul de prelucrare intermediar calculat analitic sau ales din normative, rotunjit la o mărime realizabilă prin reglajele strungului.

Pentru prelucrarea de degroșare la care se tinde către realizarea unui cost minim, se recomandă înlăturarea întregului adaos de prelucrare printr-o singură trecere, în cazul în care sistemul tehnologic și condițiile de așchiere permit acest lucru. După cum a reieșit din paragraful precedent, degroșarea într-o singură trecere este de cele mai multe ori imposibilă și aceasta pentru că alegerea lui  $a_p$  depinde de o serie de factori din procesul de așchiere, în afară de adaosul de prelucrare  $A$ , cum ar fi lungimea tăișului  $b_D$ , unghiul de atac principal  $\chi_r$ ,

încovoierea piesei sub apăsarea forțelor de așchiere, deformarea locală a pieselor cu pereți subțiri sub acțiunea forței  $F_p$ , încovoierea cuțitului sub acțiunea componentei  $F_c$ , comprimarea plăcuței din carburi metalice sub acțiunea componentei  $F_c$  etc.

Literatura de specialitate [P16], referitor la parametrul  $a_p$  prezintă o serie de limitări ale acestuia. Succint acestea sînt redate mai jos.

$$a_p \leq A ; \quad (5.19)$$

- adâncimea maxim admisă de lungimea tăișului principal și  $\chi_r$ :

$$a_{p1} \leq 0,8 b_D \sin \chi_r, \quad (2.20)$$

valori tabelate în [P16], [S14], [V6] etc. pentru diferite cuțite de strung;

- adâncimea de așchiere este limitată de mărimea maxim admisă pentru săgeata în punctul de aplicare a forței de așchiere; săgeata se calculează conform celor trei tipuri de prinderi ale semifabricatelor la strunjire și este limitată de precizia de prelucrare impusă, spre exemplu:

$$a_{p2} = 0,0374 K_{t2} K_{t22} K_{t23} K_{t24} [(D^4 - d^4)^{0,578} D_{pr}^{0,207}] / I^{1,734} \cdot e^{\frac{0,2645 \cdot C_{ISO}}{D_{pr}^{0,00224}}} \quad (5.21)$$

Există valori tabelate în literatura de specialitate și pentru  $a_{p2}$ . Din aceste tabele se pot trage câteva concluzii privind modul în care anumiți factori din procesul de așchiere influențează adâncimea de așchiere; astfel, următorii factori favorizează prin valorile lor alegerea unei mărimi mai ridicate pentru  $a_p$ : duritatea materialului de prelucrat, unghiul de atac principal  $\chi_r$ , diametrul exterior al piesei  $D$  și prinderea combinată a semifabricatului pe strung; alți factori, prin creșterea valorilor lor duc la necesitatea scăderii valorii alese pentru  $a_p$ : clasa de precizie  $C_{ISO}$ , lungimea de prelucrat, diametrul interior al semifabricatului  $d$  și raza de bontire a cuțitului  $r_e$  ( $a_{p2} \cong 9,77$  pentru o piesă  $\varnothing 200 \times 400$ , HB=315,  $C_{150}=10$ , prindere între vîrfuri,  $r_e=2\text{mm}$  și  $\chi_r=45^\circ$ ).

- adâncimea de așchiere la strunjirea pieselor cu pereți subțiri  $a_{p3}$  este limitată de deformarea locală a pieselor;  $a_{p3}$  este cu 16÷70% mai mic față de limitarea impusă de încovoierea piesei și se poate calcula:

$$a_{p3} = 29,3 K_{31} K_{32} [(D-d)^{2,146} D^{4,719}] / [(D+d)^{1,609} d^{4,581}] IT^{0,536}, \quad (5.22)$$

rezultînd pentru o piesă din oțel  $\varnothing 200 / \varnothing 170 \times 400$ ,  $C_{ISO}=10$  valoarea  $a_{p3}=5,49$ .

- adâncimea de așchiere este limitată de încovoierea cuțitului de strung; de exemplu, pentru strunjirea exterioară literatura [P16] prezintă relația:

$$a_{p4} = 0,176 K_{t41} K_{t42} K_{t43} (b \cdot h)^{0,571}; \quad (5.23)$$

din datele tabelate în [P16] se concluzionează că  $0,51 \leq a_{p4} \leq 3,43$  pentru cuțite având  $6 \leq b \times h \leq 32$ , care lucrează la degroșare,  $a_{p4}$  fiind influențat de către duritatea materialului de prelucrat și  $r_\epsilon$ .

- adâncimea de așchiere este limitată de rezistența la compresiune a plăcuței din carbură metalică [P16] care are grosimea  $s$ :

$$a_{p5} = 0,714 K_{t51} K_{t52} K_{t53} s^{1,28}, \quad (5.24)$$

rezultând în urma consultării datelor tabelate oferite de [P16] că  $1,73 \leq a_{p5} \leq 13,6$  pentru  $2 \leq s \leq 10$ , cu corecțiile corespunzătoare funcție de duritatea HB,  $\chi_\sigma$  și  $r_\epsilon$  care influențează direct rezistența la compresiune a plăcuței.

- adâncimea de așchiere este limitată și inferior din considerente practice care au și un suport teoretic. Există deci valori ale lui  $a_p$  sub care suprafața așchiată suferă doar deformații elastice sau în foarte mică măsură și plastice, neexistând deci fenomenul de detașare de așchii. Această limită a lui  $a_p$  depinde de HB,  $r_\epsilon$  și  $\gamma_f$  [P16]:

$$a_{p6} = 0,036 r_\epsilon^{0,25} e^{(HB/195) K_{t61}}, \quad K_{t61} = f(\gamma_f). \quad (5.25)$$

Valorile date tabelar în [P16] plasează  $a_{p6} \in (0,02 \div 0,32)$  pentru  $r_\epsilon = 0,1 \div 3$  și  $HB = 15 \div 375$ .

Logic, din limitările enumerate  $a_{p1} \div a_{p5}$  se alege valoarea cea mai mică, dar care este mai mare decât limitarea  $a_{p6}$ . Există în literatura de specialitate [N1], [P16], [V5], [V6] tabele care combină toate limitările enumerate, într-un mod empiric, considerînd o mulțime de ipoteze simplificatoare.

În tabelul 5.1 sunt prezentate concentrat datele folosite în exemplificările anterioare. Din analiza acestor date se observă că indicația  $a_p = A$  nu este valabilă pentru piesele forjate, în special, dar nici pentru celelalte tipuri de piese care au diametre în trepte cu diferențe ce depășesc mărimea  $a_p$  recomandată (cazul pieselor de tip flanșă, arbori în trepte, pinioane etc.). În aceste cazuri, nu puțin la număr se impune calculul numărului de treceri.

Tabelul 5.1

Tipul semifabricatului	Gabarit [mm]	Clasă Precizie	A [mm]	$a_p$ [mm]	Originea limitării
oțel turnat	Ø1200x1200	III	9	9,3	4
fontă turnată	Ø1200x1200	III	8	11,5	3
Matritat	Ø400x1000	III	6	9,2	4
Forjat liber	Ø500x250	III	22	7,6	3
Forjat pe dorn la presă	Ø800x2500	III	62	11,9	4

Din analiza limitărilor lui  $a_p$  se constată că limitările date de lungimea tăișului activ  $b_D$  și grosimea plăcuței sunt neoperative din cauza limitărilor  $a_{p2,3,4}$  iar limitarea  $a_{p6}$  de asemenea nu-și are rostul decât la faze de finisare.

Din literatura de specialitate, referitor la tipurile de prindere pe strung a pieselor și influența asupra mărimii  $a_p$  se mai constată:

- la prinderea în universal -  $a_p$  este limitat de deformarea locală la piese cu pereți subțiri și de încovoierea cuțitului pentru celelalte piese;

- la prinderea între vîrfuri -  $a_p$  este aproape exclusiv limitat de săgeata la vîrfurile cuțitului;

- la prinderea combinată -  $a_p$  este limitat preponderent de încovoierea cuțitului la piese avînd diametrul peste 150 mm și respectiv de săgeata la vîrfurile cuțitului pentru piese mai mari.

### 5.3. Influența lui $a_p$ asupra procesului de așchiere

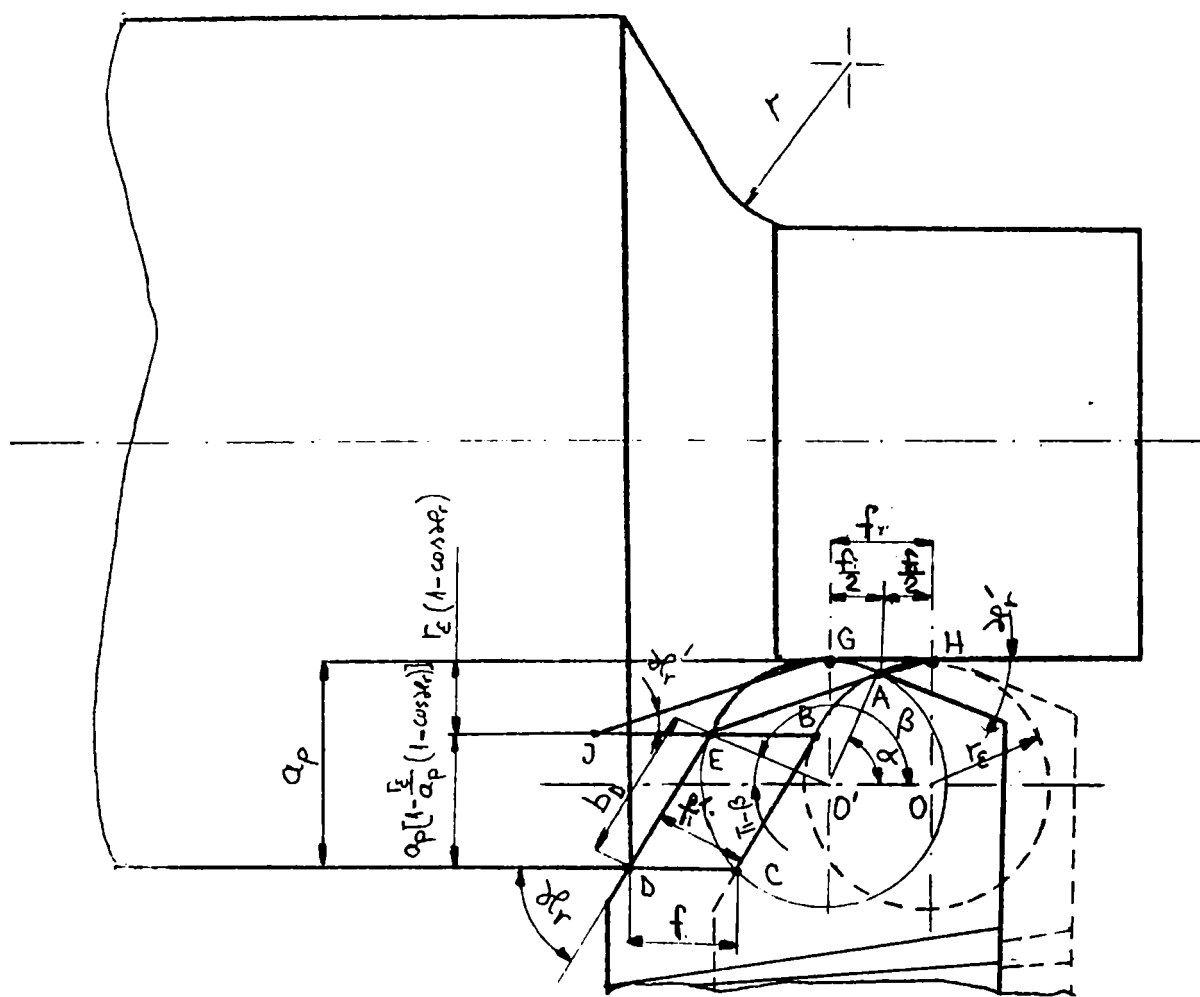


Fig.5.4  
Schema de calcul a secțiunii așchii la strunjire



Bineînțeles, procesul de așchiere este un fenomen complex în care-și manifestă influențele o multitudine de factori precizați de literatura de specialitate [D14], [D15], [N1] etc. Încercarea de individualizare a influenței adâncimii de așchiere are drept scop găsirea de noi modalități pentru calculul sau alegerea acesteia pe baze științifice. În felul acesta,  $a_p$  nu va mai fi considerat ca factor independent în încercările de optimizare a procesului de așchiere.

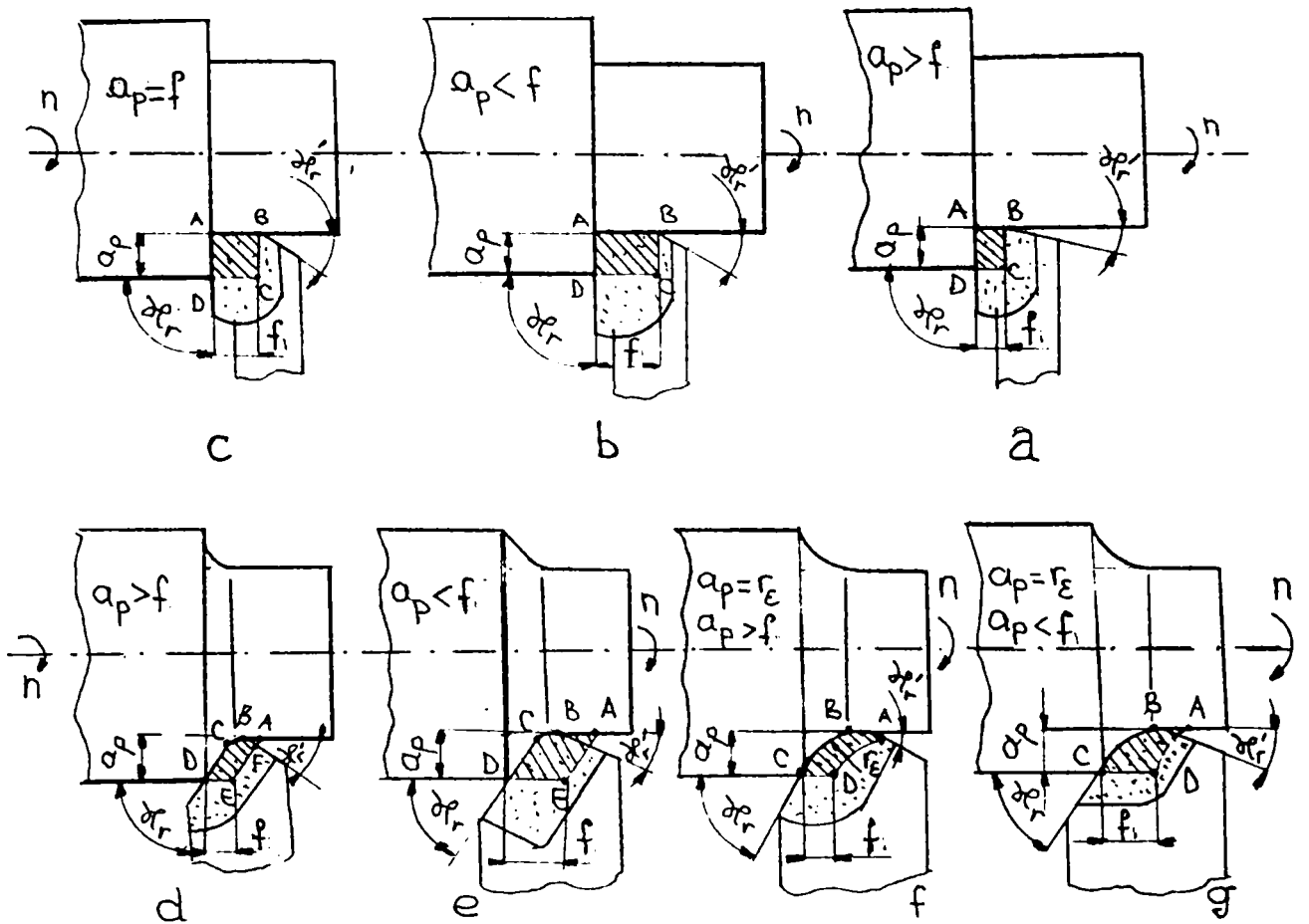


Fig.5.5  
Formele posibile ale secțiunii transversale ale așchii

În procesul de formare a așchii  $a_p$ , alături de avansul  $f$  și unghiul de atac principal  $\chi_r$  definesc secțiunea transversală efectivă a așchii. Conform literaturii de specialitate [D14], [D15] ecuația generalizată pentru calculul secțiunii transversale reale a așchii este:

$$A_D = f \cdot a_p [1 - (r_e/a_p)(1 - \cos \chi_r) + (r_e/a_p)(\chi_r + \chi_r') \sin(\chi_r + \chi_r')/2], \quad (5.26)$$

cu notațiile explicitate de schema de calcul din figura 5.4.

Secțiunea așchii obținută cu relația (5.26) este specifică operației de strunjire de degroșare cu cuțit drept și  $a_p > f$  (fig.5.5 a) dacă însă  $a_p < f$  iar celelalte condiții rămân neschimbate, va rezulta o așchie dreptunghiulară cu baza mare în direcția avansului (fig.5.5 b) iar când  $a_p = f$ , așchia are secțiunea pătrată (fig.5.5 c).

Dacă  $r_\epsilon \neq 0$ ,  $r_\epsilon < a_p$ ,  $\chi_r \in (0, 90)$ ,  $\chi_r' > 0$ ,  $\gamma_f = \lambda_T = 0$  și  $a_p > f$ , secțiunea transversală ia forma din fig. 5.5 d) iar cînd  $a_p < f$  ia forma din figura 5.5 e).

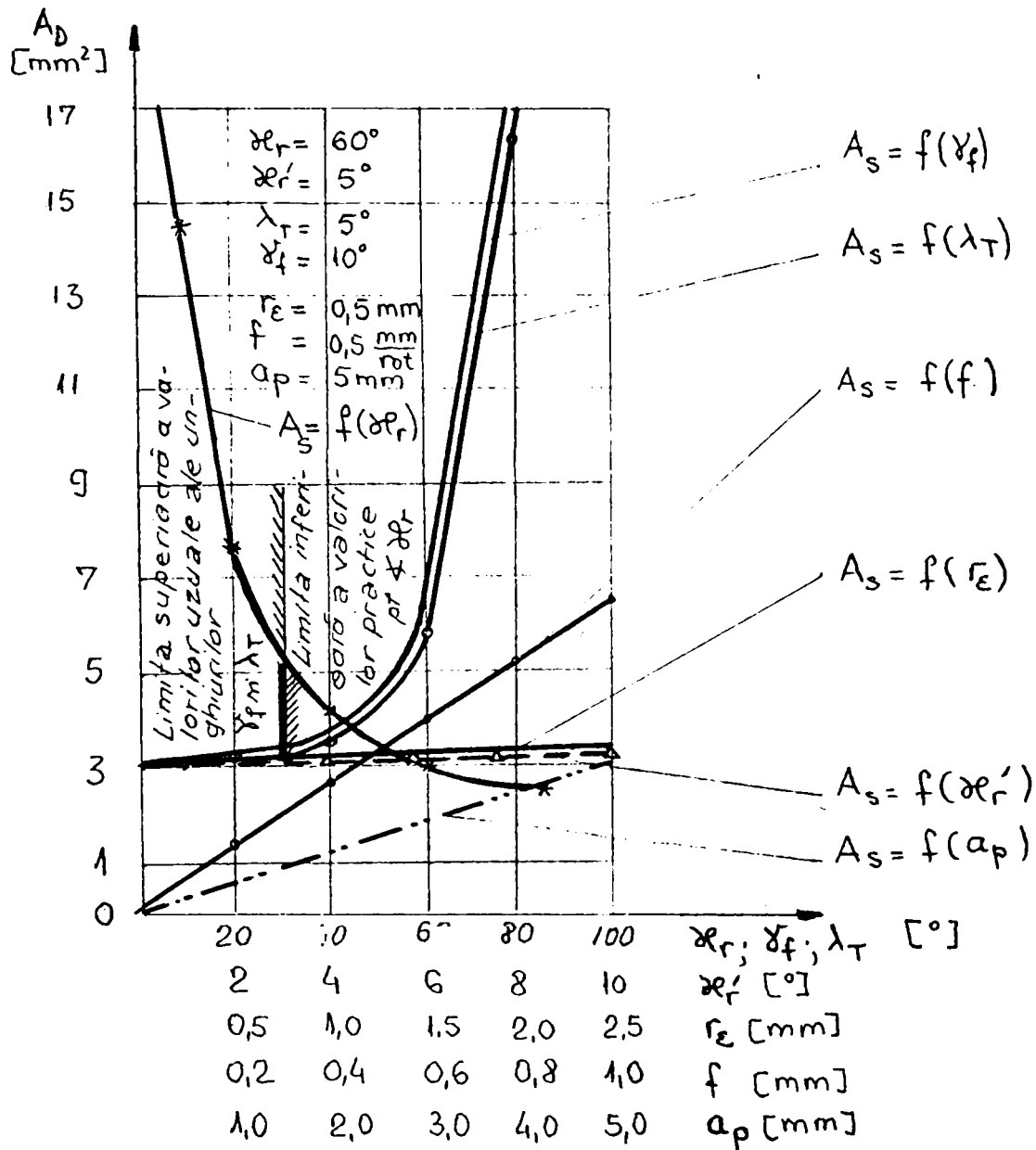


Fig.5.6  
Reprezentarea grafică a dependentelor din relația 5.26

Dacă în condițiile de mai sus se modifică  $r_\epsilon > a_p$  și  $a_p < f$  secțiunea așchii este cea reprezentată în fig. 5.5 f) sau fig. 5.5 g).

Din cele prezentate rezultă că în afara formelor geometrice prezentate în figura 5.5, secțiunea așchii nu mai poate căpăta alte forme geometrice și deci ecuația (5.26) are un grad maxim de generalitate, ea putând fi pusă și sub forma  $A_D = \varphi(a_p, f, \gamma_f, \lambda_T, \chi_r, \chi_r', r_\epsilon)$ .

Reprezentarea grafică a funcției (5.26) pune în evidență faptul că secțiunea așchii și deci și forțele de așchiere cresc liniar în raport cu  $a_p$ ,  $f$ ,  $r_\epsilon$  și  $\chi_r$  (fig.5.6).

Având în vedere corecta determinare relației (5.26) și faptul că prin intermediul ei se poate face un calcul exact al componentelor forțelor de așchiere în cazul prelucrărilor prin strunjire, rezultă că prin intermediul ei se poate controla influența adâncimii de așchiere asupra funcției de optimizare dorite.

Mai mult, relația (5.26) ar permite determinarea lui  $a_p$  astfel încât secțiunea așchii să îndeplinească orice formă geometrică impusă.

#### 5.4. Considerații asupra determinării numărului de treceri $i$

Stabilirea numărului de treceri  $i$  la prelucrarea prin așchiere, în general este o problemă complexă, cu atât mai mult cu cât în relația sa de definiție (5.27) apar doi termeni cu mărimi necunoscute.

$$i = \frac{A}{a_p} \quad (5.27)$$

Importanța stabilirii numărului de treceri rezidă din influența majoră pe care acesta îl are asupra indicatorilor economici ai operației și în special asupra costului tehnologic unitar al operației. Numărul de treceri este un termen multiplicator direct atât pentru timpul de bază  $t_b$  cât și pentru timpii auxiliari de retragere și de reglare la cotă, lucru care este evidențiat foarte bine de relația costului tehnologic unitar (2.114).

La influențele directe ale numărului de treceri asupra valorii optime a criteriului cost minim al operației, se adaugă și influențele indirecte, deloc neglijabile, date de termenii din expresia (5.27). Astfel, stabilirea mărimii adaosului de prelucrare  $A$  reprezintă o problemă deosebit de complexă și depinde de foarte mulți factori, determinați de procesul tehnologic de elaborare a semifabricatului și anume de: forma și dimensiunile piesei, rolul funcțional al piesei și condițiile de exploatare, natura materialului semifabricatului, greutatea piesei, caracterul producției, felul și numărul operațiilor de prelucrare, rigiditatea și precizia de prelucrare a sistemului tehnologic, sistemul de bazare etc. Dacă se admite un adaos de prelucrare prin așchiere prea mare, se face risipă de material, crește volumul de muncă, consumul de scule și de energie electrică, fapt care duce la creșterea costului de fabricație al produsului. Admiterea unui adaos de prelucrare prea mic, poate conduce la rebutarea piesei ca urmare a influenței negative exercitate de factorii enumerați. Rezultă, deci, că pentru stabilirea unui adaos de prelucrare cât mai rațional se impune efectuarea unui calcul, pe cât posibil, mai exact, astfel încât, să se asigure obținerea preciziei dimensionale, formei geometrice și a calității suprafețelor piesei, în condițiile cele mai economice de prelucrare.

Scopul acestui subcapitol este precizarea stadiului actual al calculului numărului de treceri și alcătuirea unui algoritm viabil pentru calculul lui  $i$  ținând cont de influențele lui  $A$  și în special al lui  $a_p$  asupra procesului de așchiere.

Literatura de specialitate, în majoritate, referitor la numărul de treceri prezintă relația de calcul de tipul (5.27) și recomandă pe cât posibil  $i=1$  și deci  $a_p=A$ . Această modalitate de "calcul" nu este însă nicăieri justificată științific, motivațiile invocate fiind doar de ordin economic dar și acestea numai la nivel de "afirmații", deci nedemonstrate.

Cea mai detaliată explicație referitoare la calculul numărului de treceri este prezentată în [P16]:

$$i = \left[ \frac{A}{a_p} + 0,99 \right], \text{ (adică partea întreagă a numărului),} \quad (5.28)$$

iar dacă  $i > 1$ , atunci se recomandă împărțirea lui  $A$  la  $i$  astfel încât  $a_p$  să fie mai mare decât adâncimea minimă admisă de existența fenomenului de așchiere.

Din cele prezentate rezultă cu claritate faptul că deși se proclamă ca un factor de mare importanță, calculul numărului de treceri nu se face funcție de mărimile care caracterizează procesul de așchiere. Dacă stabilirea adaosului de prelucrare se face oarecum justificat, în mare parte independent de procesul de așchiere, stabilirea adâncimii de prelucrare  $a_p$  nu mai trebuie făcută empiric ci funcție de parametrii caracteristici ai procesului de așchiere și ai STE. În felul acesta,  $i$  va fi legat atât de forma piesei - prin ciclul cotelor, cât și de procesul de așchiere prin influențele lui  $a_p$  asupra efectelor așchierii, asupra rigidității STE și asupra preciziei și calității suprafeței așchiate.

### 5.5. Algoritm de stabilire a numărului de treceri

În cele ce urmează se propune un algoritm de stabilire a numărului de treceri la degroșare, finisare și eventual semifinisare. Notățiile folosite au semnificația cunoscută din capitolele precedente la care se adaugă notațiile:  $a_{pf}$ ,  $a_{pf}'$ ,  $a_{pf}''$  - adâncimi de așchiere la finisare;  $a_{psf}$  - adâncimea de așchiere la semifinisare ;  $i_f$  - număr de treceri la finisare;  $i_i$ ,  $i_r$  - partea întreagă respectiv restul subunitar rezultat din calculul numărului de treceri.

Algoritmul propus este doar de raționalizare al calculului iar prin dezvoltarea calculului lui  $a_p$  funcție de criteriul de optimizare ales pentru procesul de strunjire el poate deveni un instrument util conducerii adaptive și funcție de  $a_p$  (fig.5.7).

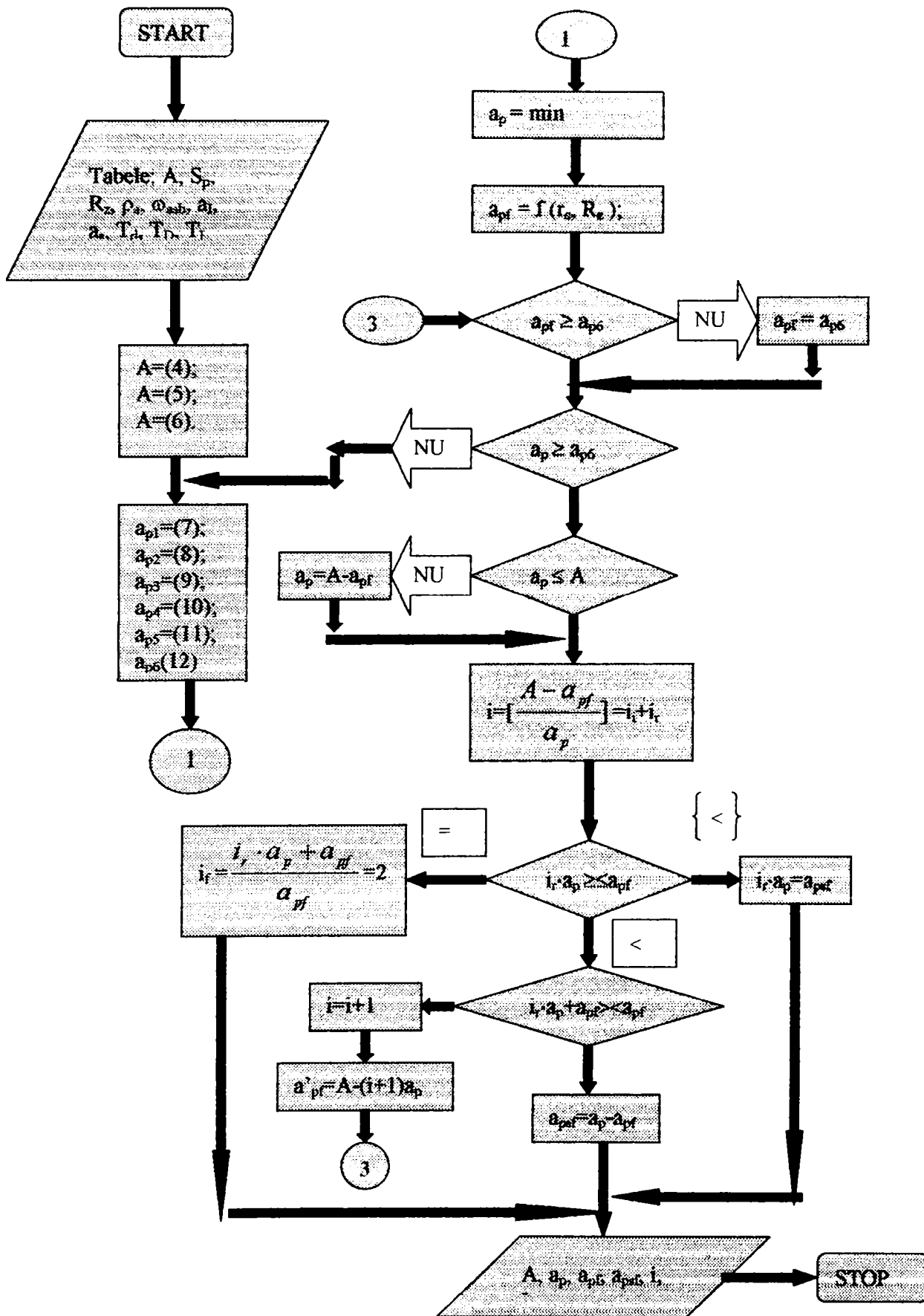


Fig.5.7  
Algoritmul de stabilire al numărului de treceri la strunjire

## 5.6. Concluzii

Marimea adaosului de prelucrare nu poate fi deocamdata stabilita decât prin relații empirice bazate pe date statistice privitoare la toleranțele dimensionale dependente de procedeele de elaborare ale semifabricatelor etc., acest lucru face ca de regulă  $A_p$  sa fie mult mai mare decât cel realmente necesar. Rezultatul este nefavorabil asupra efortului uman și material.

Întocmirea unei bănci de date privind adaosurile de prelucrare, deși necesită un volum de muncă imens și-ar găsi utilitatea în produse software care să permită un calcul rapid.

Considerând limitările lui  $a_p$  date în literatura de specialitate și rezultatele cercetărilor proprii, cu ajutorul standului experimental descris în capitolul 4, se poate ajunge la concretizarea relației (5.26). Coroborând cunoștințele exacte despre  $a_p$  și  $A$ , alegerea pe baze științifice a lui  $a_p$  este posibilă, de asemenea și calculul numărului de treceri  $i$ , dacă se lucrează după algoritmul prezentat în fig. 5.7.



## 6. REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETAREA ACESTORA

### 6.1. Scopul, condițiile și programul cercetarilor experimentale

#### 6.1.1. Scopul cercetarilor experimentale

Principalul scop al programului experimental este acela de a pune la dispoziția constructorilor de mașini-unelte automate, în special a celor conduse numeric cu calculatorul și cu CA, a informațiilor tehnologice care să aibă drept bază realitatea din procesul de așchiere. Aceste informații, coroborate cu cele din studiile de dinamică și cinematică a mașinilor-unelte existente, vor degreva activitatea constructorilor de mașini-unelte, care astfel se pot concentra asupra celor mai bune soluții constructive și de automatizare a mașinilor-unelte.

Răspunzând titlului temei de cercetare, informațiile tehnologice care urmează a fi obținute trebuie să elucideze următoarele aspecte privind procesul de strunjire longitudinală de degroșare:

- influența geometriei sculei asupra:
  - modului de formare a așchiei;
  - mărimii uzurii sculei;
  - stabilității dinamice a procesului de așchiere;
  - mărimii componentelor forței totale de așchiere;
  - preciziei dimensionale și calității suprafețelor strunjite;
- influența parametrilor de regim asupra:
  - formei și modului de degajare a așchiei;
  - mărimii uzurii sculei;
  - stabilității dinamice a procesului de așchiere;
  - mărimii componentelor forței totale de așchiere;
  - preciziei dimensionale și calității suprafețelor strunjite.

Rezultatele experimentale se vor concretiza în diagrame care vor fi interpretate în sensul scopului declarat precizând: care este ordinea de alegere (calcul) a parametrilor de lucru în condițiile conducerii automate a mașinilor-unelte, care mărimi de ieșire din procesul de așchiere pot fi urmărite în condițiile criteriului de optimizare – cost al operației, care este câmpul de mărimi recomandat pentru fiecare parametru de regim de lucru etc.

## 6.1.2. Condițiile generale ale cercetarilor experimentale

Pentru determinarile experimentale se vor folosi echipamentele și standurile prezentate în capitolul 4 și următoarele:

- a) strung paralel SN 400x1000, Tip 1162-S3/1960 STAS 3022-52
- b) set de cuțite pentru strunjire cu secțiunea cozii între 16x16 și 25x25 din oțel rapid Rp3 respectiv armate cu placuțe brazate din carburi metalice grupa P10 și P20 STAS 6373/1-1986 (STAS: 353-86, 354-86, 358-67, 359-67, 361-80, 6376-80, 6377-80, 6379-80, 6380-80, 6381-80, 6382-80, 6383-80), ascuțite la diverse valori ale parametrilor geometrici. De asemenea, s-au proiectat și executat și doua seturi de cuțite prismatice profilate concav, respectiv convex. Drept exemplificare, în fig. 6.1 sunt prezentate câteva din cuțitele utilizate.

Geometria cuțitelor utilizate a fost prezentată în lucrările [P4], [P6], [P7], [P11], [P20], [P28] etc.



Fig.6.1  
Set de cutite standard si profilate utilizate

- c) set de semifabricate în gama dimensionala: diametre  $\varnothing 40 \div \varnothing 110$  mm și lungimi între 100 și 400 mm din calitațiile:

- oțel OL 37 STAS 500/1-88 – recopt la 136÷145 HB;

- oțel OLC 45 STAS 880/1-88 - îmbunătățit la 297÷320 HB;
- oțel 35MnSi12 STAS 880/1-88 – normalizat la 185÷197 HB.

Unele semifabricate au fost prelucrate în diferite forme constructive pentru a servi la studierea anumitor aspecte ale procesului de strunjire. Astfel, în figura 6.2 se prezintă schița unei piese semifabricat, pentru studiul influenței variației  $a_p$  asupra forțelor de strunjire iar în figura 6.3 se prezintă schița unei piese folosite la studiul vibrațiilor autoinduse la strunjire.

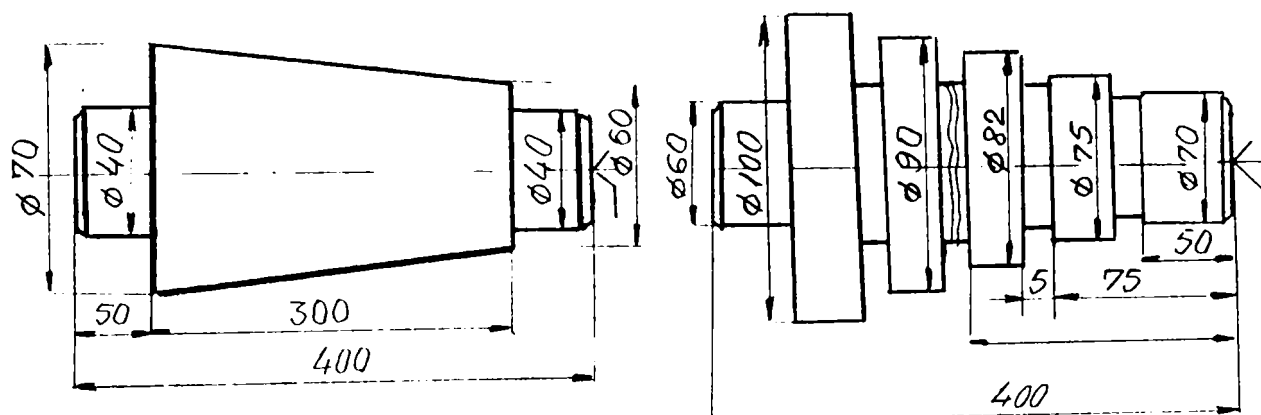


Fig.6.2  
Schița-piesa pentru studiul  $F_c(a_p)$

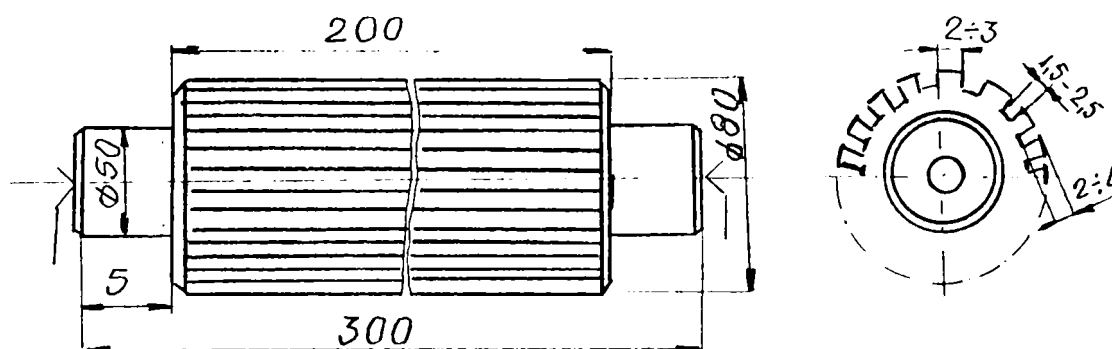


Fig.6.3  
Schița-piesa pentru studiul autovibrațiilor

În figura 6.4 sunt prezentate , spre exemplu, câteva din semifabricatele utilizate, atât în stare brută cât și în stare semiprelucrată și prelucrată.



Fig.6.4  
Semifabricate - exemplificare

### 6.1.3. Programul cercetarilor experimentale

Pentru a cerceta principalii factori de influență asupra valorilor componentelor forței totale de așchiere, aceștia au fost grupați în doua mari categorii: geometria sculei așchietoare și parametrii regimului de așchiere, plus criteriul de uzură VB, și s-au planificat experiențele.

Planificarea experiențelor s-a făcut printr-un program compus central, cu 25 experiențe, redat în tabelul 6.1. Acest program are 5 niveluri codificate (-2, -1, 0, 1, 2) pentru fiecare din cele 4 variabile considerate.

Pentru studiul influenței geometriei sculei așchietoare valorile variabilelor considerate, corespunzătoare nivelurilor codificate au fost:

Tabelul 6.1

Nr.crt.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
V a r  I n d	$x_1$	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
	$x_2$	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	1	1	-	1	0	0	2	-	0	0	0	0	0	0	
	$x_3$	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	0	0	0	0	2	-	0	0	0
	$x_4$	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	-	0
$F_{спл0}$																										

- unghiul de aşezare ortogonal  $\alpha_0=4^0; 5^0; 6^0; 7^0; 8^0;$
- unghiul de degajare ortogonal  $\gamma_0=-6^0; -2^0; 0^0; 5^0; 8^0;$
- unghiul de atac principal  $\chi_r=90^0; 75^0; 60^0; 45^0; 30^0;$
- unghiul de atac secundar  $\chi_r'=5^0; 10^0; 15^0; 20^0; 25^0.$

Pentru studiul influenţei parametrilor de regim de aşchiere şi criteriului VB al uzurii, valorile variabilelor considerate, corespunzătoare celor 5 niveluri de codificare, au fost:

- adâncimea de aşchiere  $a_p=0,5$  mm; 1 mm; 2 mm; 3,5 mm; 5 mm;
- avansul  $f=0,125$  mm/rot; 0,25 mm/rot; 0,45 mm/rot; 0,63 mm/rot; 0,8 mm/rot;
- viteza de aşchiere  $v=50$  m/min; 80 m/min; 100 m/min; 120 m/min; 150m/min;
- uzura sculei pe faţa de aşezare  $VB=0,15$  mm; 0,30 mm; 0,45 mm; 0,60 mm; 0,80 mm.

Cele două programe de bază care împreună cuprind 50 de experimente s-au aplicat fiecare în parte pentru cele trei tipuri de materiale utilizate şi apoi pentru cele două tipuri de materiale de scule aşchietoare. Fără efectuarea combinaţiilor între programul central şi perechile posibile material sculă - material piesă, a rezultat un program general de 250 experimente la care s-au adăugat experimentările pentru studiul autovibraţiilor la strunjire, a rădăcinii de aşchie, a strunjirii profilate cu avans transversal etc.

## 6.2. Rezultate experimentale prelucrate şi interpretate

### 6.2.1. Influenţa geometriei sculei asupra procesului de aşchiere

#### a) Modul de formare a aşchiei.

Modul de formare a aşchiei s-a studiat utilizând dispozitivul descris în § 4.2. pentru întreruperea instantanee a procesului de aşchiere ortogonală realizată prin strunjire cu avans longitudinal. S-au folosit semifabricate cilindrice din OL 37, OLC 45 şi 35MnSi12, viteze de aşchiere de 50 m/min, 80 m/min şi 120 m/min, grosimea aşchiei nedetaşate de 0,2 mm şi cuţite drepte armate cu plăcuţă P20 având  $\gamma_f=6^0$ ,  $\alpha_f=6^0$ . Eşantioanele care conţineau rădăcina aşchiei (fig.6.5) au fost analizate la microscop şi comparate cu elementele teoretice ale aşchiei (fig.6.6) [D12].

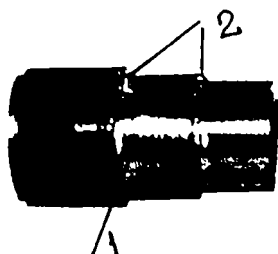


Fig.6.5  
Esantion de piesa (1)  
Radacini de aschie (2)

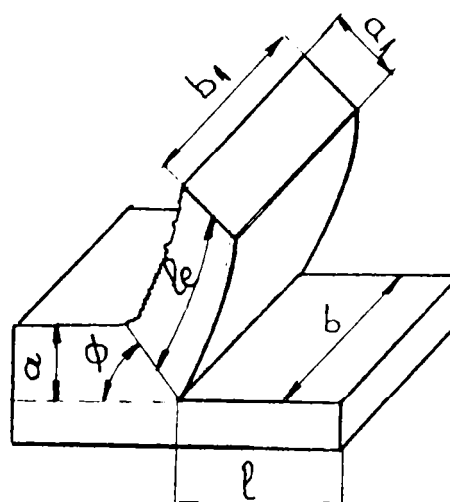


Fig.6.6  
Elemente teoretice ale aschii

Teoriile cu privire la procesul de formare a aşchii, sub acţiunea componentelor forţei totale de aşchiere generate de maşina-unealta şi transmisă materialului piesei prin intermediul sculei, dispun de un aparat matematic considerabil (legea efortului unitar maxim, legea constanţei lucrului mecanic, legea constanţei volumului, legea rezistenţei minime, legea eforturilor unitare suplimentare etc. [D15], [B13] etc.). Cu toate acestea, în urma analizei procesului de formare a aşchii, se poate considera că doar în ceea ce priveşte direcţiile de curgere a aşchii şi formele geometrice ale secţiunii transversale ale aşchii la strunjire, teoriile sunt în mare parte verificate.

Analiza rădăcinii de aşchie a demonstrat însă că în ceea ce priveşte grosimea efectivă a aşchii  $a_1$  (fig.6.7), aceasta este impredictibilă. Chiar pentru aceeaşi valoare a lui  $a_p$ ,  $\alpha_0$ ,  $v$ ,  $f$  şi acelaşi material şi condiţii de lucru, grosimea efectivă a

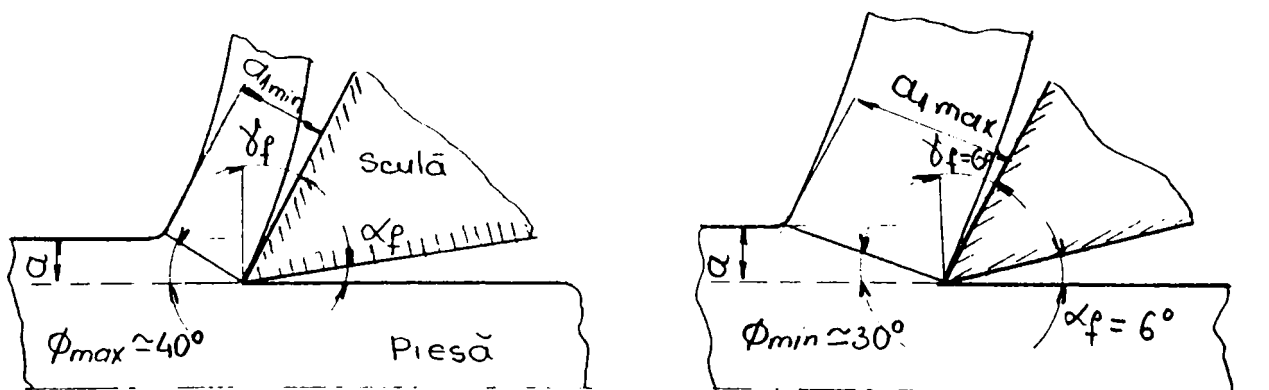


Fig.6.7  
Variatia alcatoare a grosimii efective a aschii

aşchii  $a_1$  variază necontrolabil între  $a_{1min}$  şi  $a_{1max}$ , corespunzător unghiului de



forfecare  $\varnothing$  (după care aluneca graunții rețelei cristaline a materialului așchiat) între  $\varnothing_{\max}$  și  $\varnothing_{\min}$ . Acest lucru se poate datora: variației forțelor de frecare pe fața de degajare a sculei, variației proprietăților stratului de material al piesei din zona de așchiere etc.

Variația grosimii așchii duce la apariția unor fenomene de care trebuie să se țină seama: vibrații, variații ale mărimii componentelor forței totale de așchiere, fenomene acustice, uzuri premature ale sculei, diminuarea domeniului de stabilitate dinamică a procesului de așchiere etc.

Folosind schema din figura 6.7 și valorile măsurate pentru unghiul de propagare al fisurilor în radacina așchii față de direcția așchierii ( $\varnothing_{\min} \div \varnothing_{\max}$ ), se propune următoarea relație experimentală pentru grosimea efectivă de așchie detașată  $a_1$ :

$$a_1 = a / \operatorname{tg} \varnothing = (1,19 \div 1,73) \cdot a \quad ; \quad (6.1)$$

deci coeficientul efectiv de îngroșare a așchii este:

$$k_a = a_e / a = \operatorname{tg} \varnothing = 1,19 \div 1,73. \quad (6.2)$$

$$\text{Cum } a = f \cdot \sin \chi_r, \quad b_1 \cong b = a_p / \sin \chi_r, \quad (6.3)$$

rezultă că secțiunea efectivă a așchii detașate  $P_D$  [\*2] este:

$$P_D = a_1 \cdot b_1 = (1,19 \div 1,73) \cdot f \cdot a_p. \quad (6.4)$$

Relativ la influențele geometriei cuțitului ( $\alpha_0, \gamma_0, \chi_r, \chi_r', \lambda_1$ ) asupra procesului de formare a așchii se poate menționa că deși acestea exista, ele se manifestă cu precădere în gradul de farâmițare a așchei.

b) Mărimea uzurii sculei.

S-a considerat drept criteriu de uzură mărimea acesteia pe fața de așezare VB. Măsurările au fost făcute în plan ortogonal la tăișul principal folosind un microscop de atelier cu grosismentul 25x, un dispozitiv cu piese tampon pentru repetabilitatea instalărilor sub obiectiv pe masa microscopului și condițiile de experimentare conform programului din § 6.1.3.

Rezultatele experimentale au fost prelucrate sub forma dependențelor din graficele redată în figurile 6.8÷6.11 și confirmate de experimentările suplimentare redată în paragraful 6.3.2.

Se constată comportarea superioară în general a plăcuței P10 comparativ cu cuțitele din Rp3, precum și anumite intervale de valori care asigură uzuri minime, respectiv durabilități maxime, pentru condițiile concrete în care s-au desfășurat experiențele. De exemplu, pentru strunjirea longitudinală de degroșare, fără răcire, cu cuțite având plăcuța P10 a oțelului 35MnSi12 (190 HB), se recomandă:  $\alpha_0 = 6^0 \div 8^0$ ,  $\gamma_0 = -4^0 \div -2^0$ ,  $\chi_r \cong 45^0$ ,  $\chi_r' = 15^0 \div 20^0$ , geometrie ce asigură o uzură minimă  $VB \cong 0,1$  mm pentru  $t \cong 25$  min.

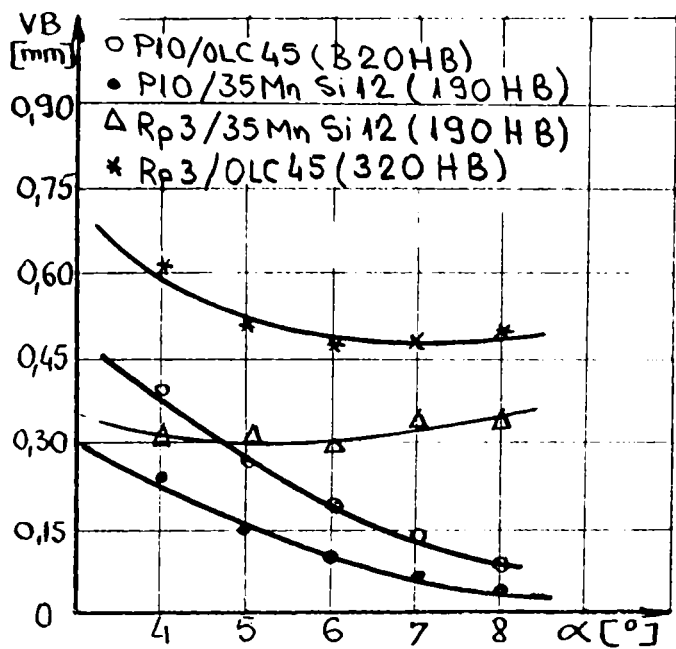


Fig.6.8  
Influenta variatiei unghiului  $\alpha_0$   
asupra uzurii VB

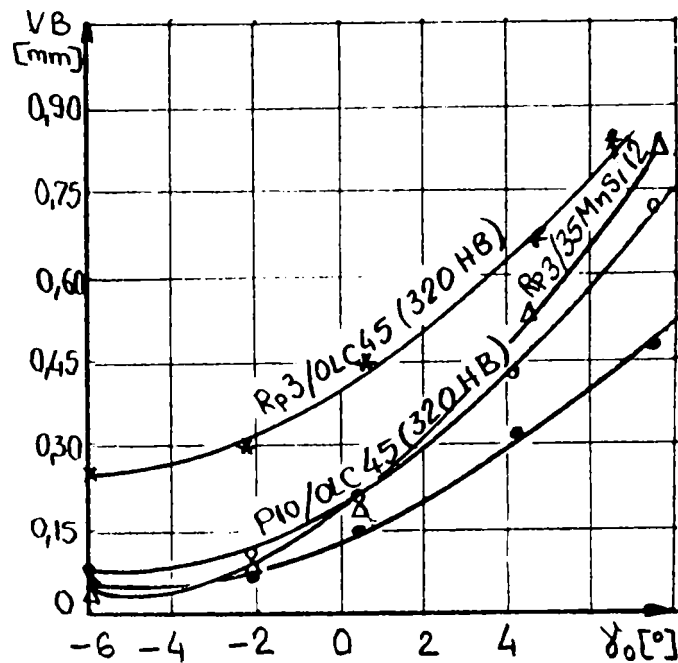


Fig.6.9  
Influenta variatiei unghiului  $\gamma_0$   
asupra uzurii VB

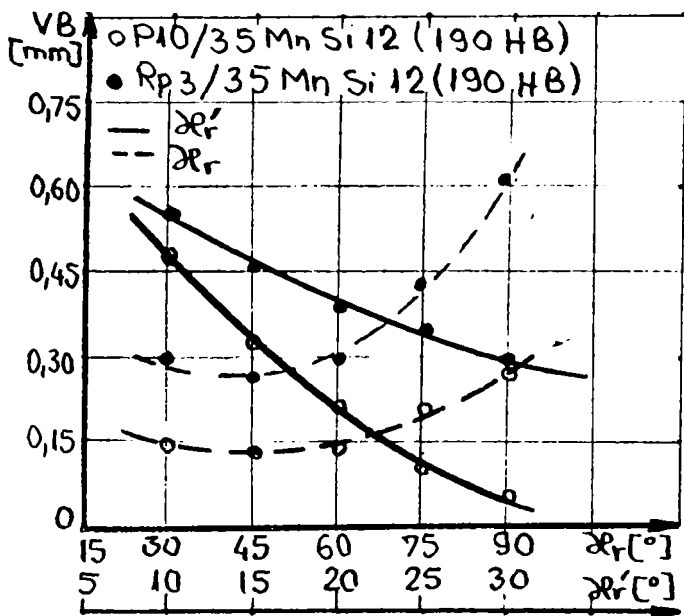


Fig.6.10  
Influenta variatiei unghiurilor  $\chi_r$  si  $\chi_r'$   
asupra uzurii VB

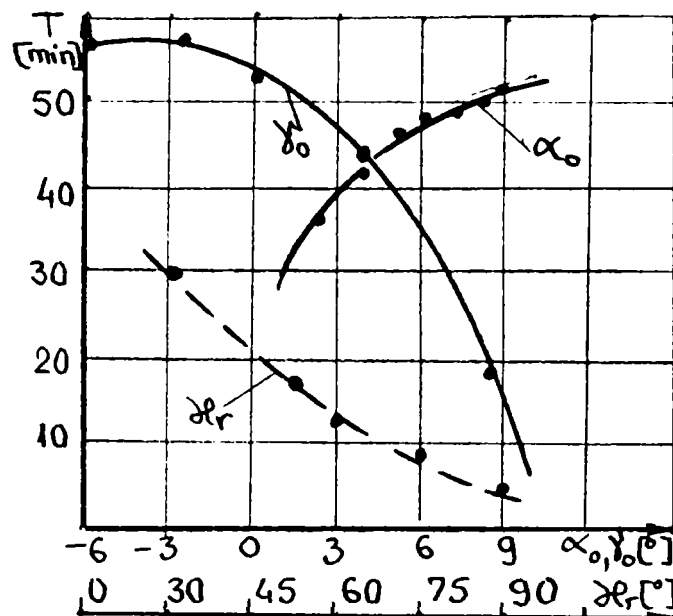


Fig.6.11  
Influenta unghiurilor  $\alpha_0, \gamma_0, \chi_r$   
asupra durabilitatii T

### c) Stabilitatea dinamică a procesului de aşchiere.

Datorită variației grosimii aşchii din motivele arătate la punctul a) se constată un proces vibrator, mai puternic sau mai atenuat, funcție și de parametrii de regim (în special turația  $n$ ). Spre exemplificare în figura 6.12 se prezintă o

diagramă de înregistrare a forțelor  $F_c$  și  $F_p$  la strunjirea longitudinală de degroșare, fără răcire a oțelului 35MnSi12 (190 HB) cu cuțit cu plăcută P20 brazată:  $\alpha_0=5^\circ$ ,  $\gamma_0=0^\circ$ ,  $\chi_r=75^\circ$ ,  $\chi_r'=15^\circ$ ,  $\lambda_r=0^\circ$ ,  $r_\varepsilon=0,3$  mm.

Procesul vibrator este evident, fluctuațiile forței  $F_c$  fiind 30% ÷ 50% din valoarea maximă de 800 N. Vibrațiile sunt însoțite de un sunet de joasă tonalitate și volum redus.

Considerăm că aceste fenomene sunt mai puțin din cauza procesului de așchiere, cât mai ales datorită rezemării deficitare a strungului.

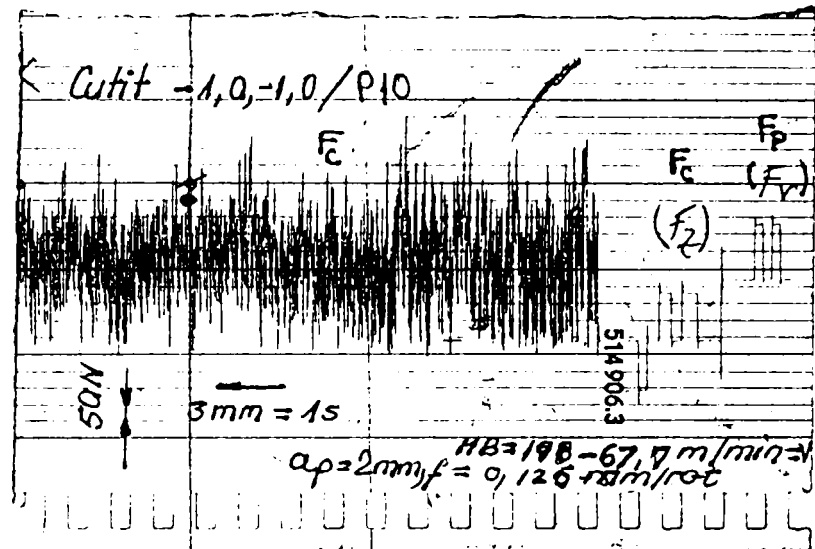


Fig.6.12  
Proces vibrator la strunjire

d) Mărirea componentelor forței totale de achiere.

Valorile parametrilor geometriei ai sculei influențează atât mărirea secțiunii așchii cât și mărirea uzurii sculei. Aceste influențe se regăsesc cu mare fidelitate în valoarea componentelor forței totale de achiere, așa cum se observă, de exemplu, în rezultatele experimentale prelucrate în diagramele 6.13 ÷ 6.14.

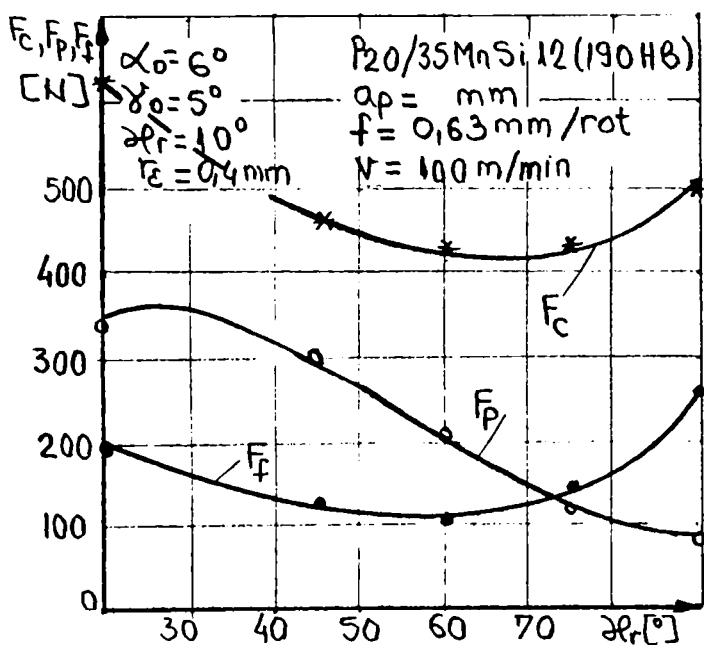


Fig.6.13  
Influenta unghiului  $\chi_r$  asupra componentelor  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$

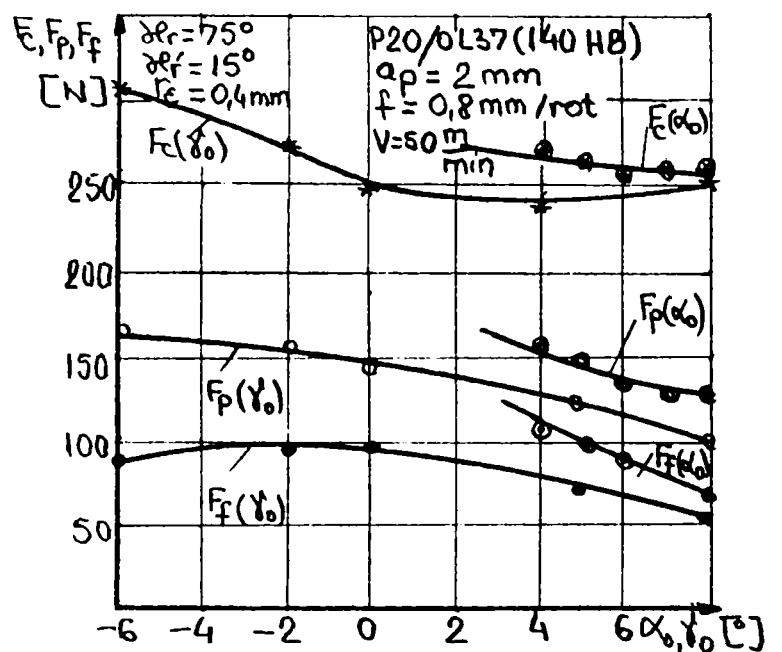


Fig.6.14  
Influenta unghiurilor  $\alpha_0$  și  $\gamma_0$  asupra componentelor  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$

Pentru a nu crește inutil încărcarea strungului, folosind observațiile din figurile 6.13 și 6.14, va trebui să corectăm valorile recomandate la punctul b) astfel:  $\gamma_0=0^{\circ}\div 3^{\circ}$ ,  $\chi_r=60^{\circ}\div 70^{\circ}$ .

e) Precizia dimensională și calitatea suprafețelor strunjite.

Dacă în ceea ce privește precizia dimensională, influența parametrilor geometrici ai sculei este nesemnificativă, asupra calității suprafeței strunjite ea este majoră. Din rezultatele experimentale nu s-au desprins însă aspecte suplimentare față de cele îndeobște cunoscute [P19], [P24], [R6], [T15], [Ș3], [S16] etc.

Pentru condițiile de lucru experimentale, în vederea conducerii automate a procesului de așchiere la degroșare cu considerarea aspectelor calitative, se recomandă față de parametrii geometrici ai sculei deja stabiliți:  $r_c=1,5\div 3$  mm,  $\chi_r'=10^{\circ}\div 15^{\circ}$ ,  $\alpha_0=5\div 7^{\circ}$  și  $\lambda_r=-2^{\circ}\div +2^{\circ}$ . Se menționează că ordinea enumerării este și ordinea gradului de influență asupra mărimii rugozității suprafețelor strunjite.

### 6.2.2. Influența parametrilor regimului de lucru asupra procesului de strunjire

a) Modul de formare a așchiei.

Formarea așchiei, detașarea și fărâmițarea ei este puternic influențată, în afară de factorii originari dependenți de proprietățile fizico-chimice ale materialului semifabricatului, de parametrii de regim de lucru. Fărâmițarea așchiei este dorită în general la mașini-unelte și cu atât mai mult la cele automate cu CNC și CA dotate cu transportoare de șpan.

Un regim de lucru adecvat poate elimina necesitatea unor scule cu geometrie specifică, forme constructive speciale, rupătoare de așchii sau dispozitive vibratoare consumatoare de energie exterioară.

Variația grosimii de așchie în timp ( $t$ ) a cărei valoare este dată de expresia (6.5) duce la apariția autooscilațiilor în procesul de așchiere:

$$a(t)=f+2\cdot A_m \cdot \sin(\varphi/2) \cdot \cos(2\pi v t + \varphi/2), \quad (6.5)$$

unde  $A_m \in (0, f)$  este amplitudinea vibrațiilor,  $\varphi$  - defazajul oscilațiilor și  $v$  - frecvența oscilațiilor. Conform [P24] și [S16], condițiile fărâmițării dinamice a așchiei sunt:

- existența unui raport  $A_m/f$  cât mai mare;
- $v$  să nu fie multiplu sau submultiplu al turației semifabricatului.

Cercetările din programul experimental care au urmărit acest aspect pun în evidență, prin diagramele condensate din fig 6.15 și 6.16, influențele celor trei parametri de regim de lucru asupra gradului de fărâmițare al așchiei  $W$  ( $W$ =volumul așchiei detașate în stare afânată/volumul de material detașat).

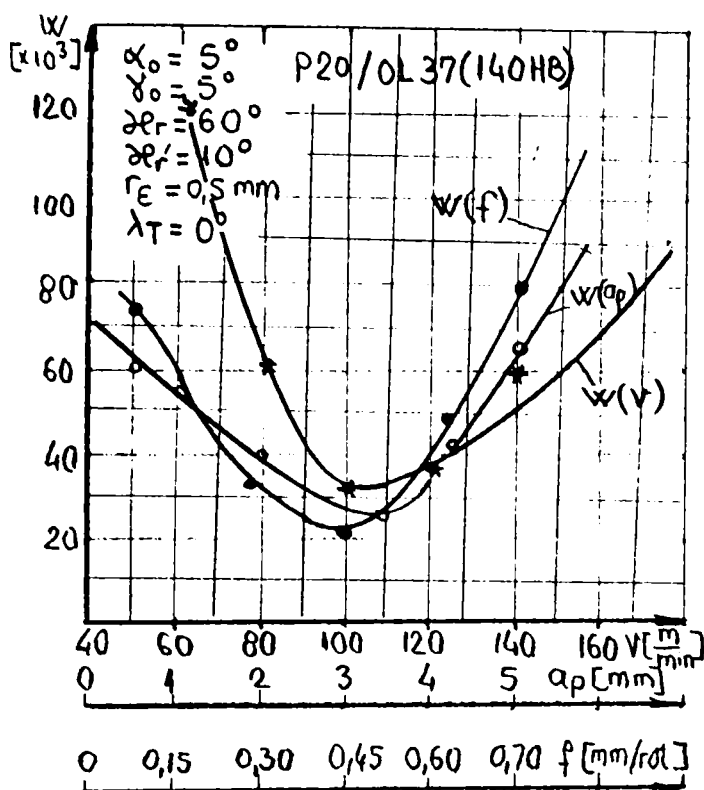


Fig.6.15

Influenta parametrilor  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  asupra gradului de farimitare  $W$  pentru OL37 (147 HB)

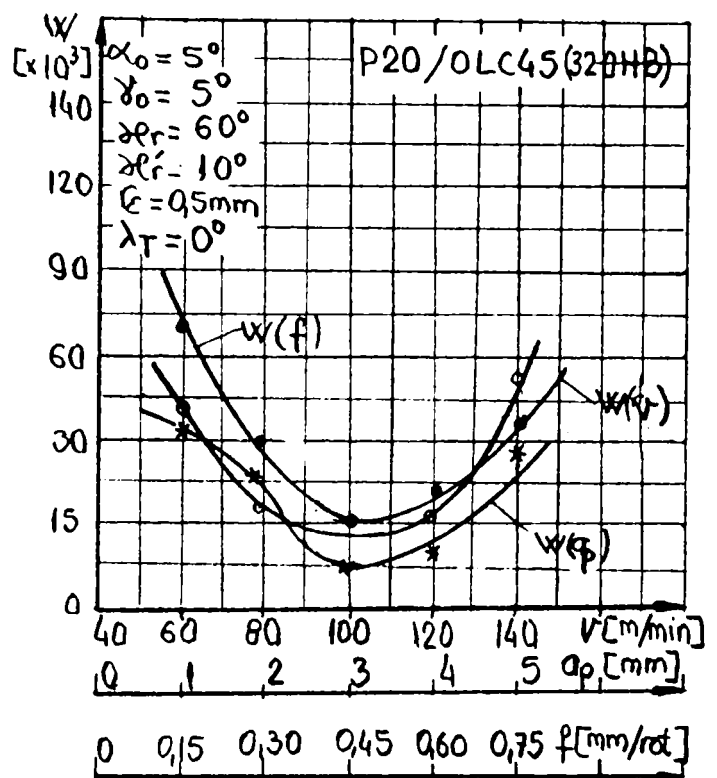


Fig.6.16

Influenta parametrilor  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  asupra gradului de farimitare  $W$  pentru OLC 45 (320 HB)

Pentru o farîmitare optimă, în condițiile precizate pentru strunjire, se recomandă următoarele valori ale parametrilor de regim de lucru:  $v=90\div 110$  m/min,  $a_p=2,5\div 3,5$  mm și  $f=0,35\div 0,45$  mm/rot.

b) Mărimea uzurii sculei.

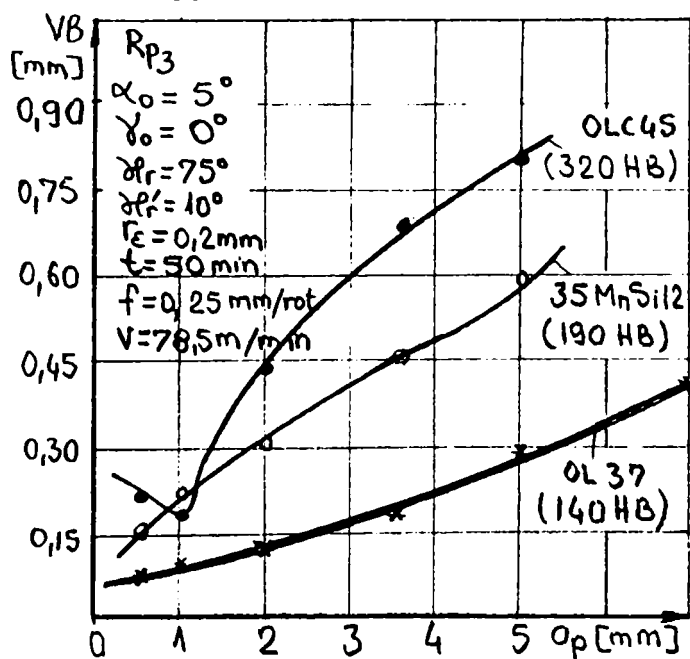


Fig.6.17

Influenta  $a_p$  asupra criteriului VB al uzurii cutitului

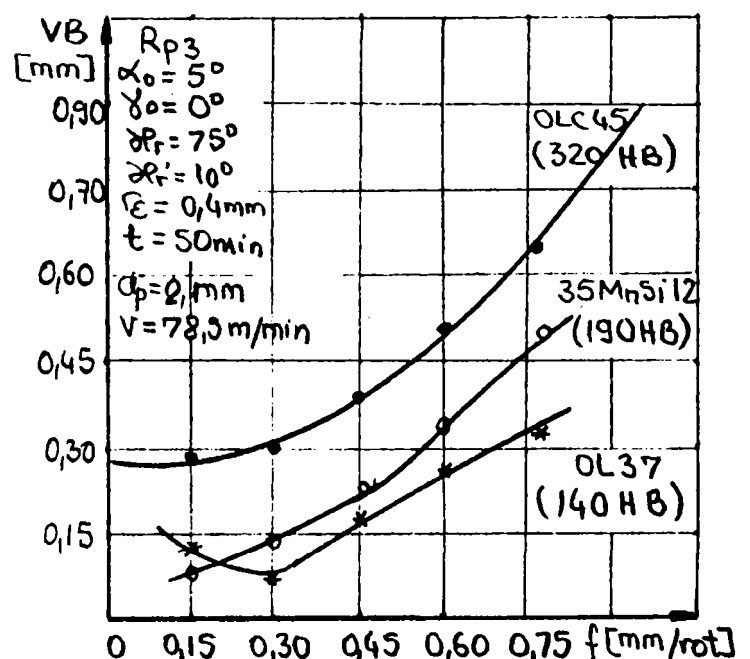


Fig.6.18

Influenta  $f$  asupra criteriului VB al uzurii cutitului

Uzura sculei este un fenomen cu majore implicații atât în economia procesului de așchiere cât și în calitatea prelucrării, de aceea el este analizat separat



în § 6.5.1. și 6.5.2, și pentru alte condiții experimentale decât cele din programul general.

Câteva din influențele considerate semnificative ale parametrilor de regim de așchiere asupra uzurii cuțitului, reieșite din programul centralizat de cercetare, sunt prezentate în figurile 6.17÷6.20.

Rezultatele obținute sunt în domeniul celor existente în literatura de specialitate [C6], [M8], [P19] etc., dar alura curbelor este în cea mai mare parte diferită. Pentru combinațiile de material piesă - regim de așchiere experimentate, se pot da indicații tehnologice pentru o conducere optimală a procesului următoarele:  $a_p=2\div4$  mm,  $f=0,3\div0,45$  mm/rot,  $v=70\div90$  m/min pentru așchiera oțelurilor necălite ( $t\approx 60$  min), respectiv  $a_p=0,5\div1,5$  mm,  $f=0,1\div0,25$  mm,  $v=50\div60$  m/min pentru oțelurile cu duritate  $280\div360$  HB.

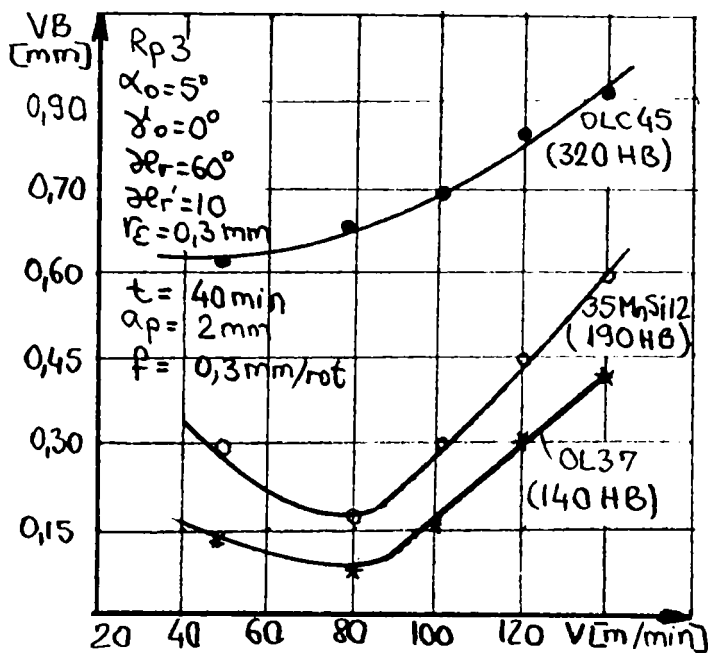


Fig.6.19  
Influenta  $v$  asupra criteriului  $VB$  al azurii

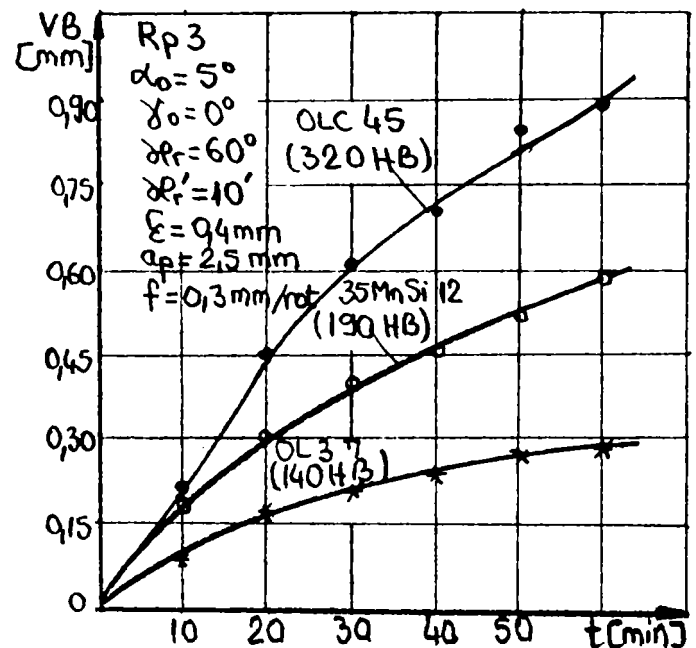


FIG.6.20  
Influenta  $v$  asupra criteriului  $VB$  al uzurii

### c) Stabilitatea dinamică a procesului de așchiere.

Stabilitatea statică a procesului de așchiere se manifestă prin formarea așchiilor de alunecare și lipsa formării depunerii pe tăiș [M11] iar stabilitatea dinamică se manifestă prin oscilațiile neamortizate ale sistemului mecanic mașină-unealtă în jurul poziției de echilibru. Cauza instabilității dinamice o reprezintă variația deplasărilor (dimensiunilor așchiei) sau viteza sau ambele [A1], [A2], [B2], [B4], [B10], [C6], [D6], [H3], [I3], [K5], [L2], [M1], [M4], [M8], [M11], [N2], [P3], [P20], [R2], [R5], [R7], [S6], [S16], [V7], [V8].



Asupra cauzelor autovibrațiilor la mașinile-unelte așchietoare, literatura de specialitate mai sus menționată a emis o mare varietate de teorii care au clarificat în bună măsură fenomenul, dar nu atât de mult încât să-l facă și controlabil.

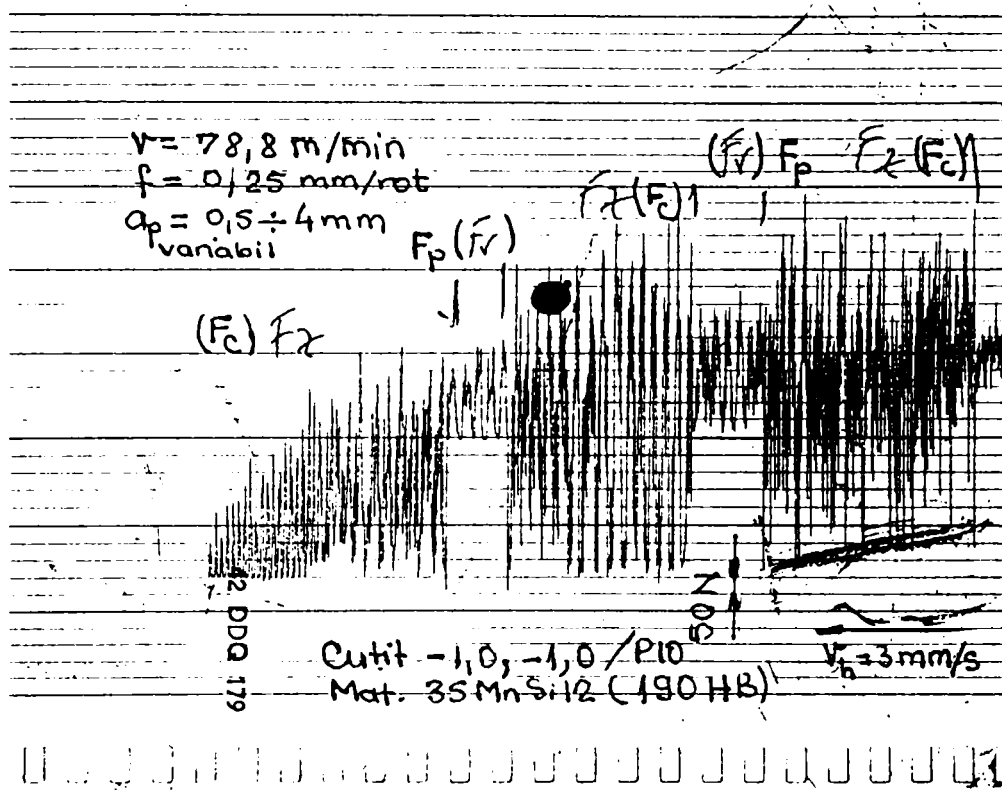


Fig. 6.21  
Variația forțelor  $F_c$  și  $F_p$  la strunjirea cu  $a_p$  variabil

Utilizând dinamometrul pentru studiul autovibrațiilor și echipamentul de măsurare și înregistrare descris în capitolul 4, în timpul încercărilor experimentale

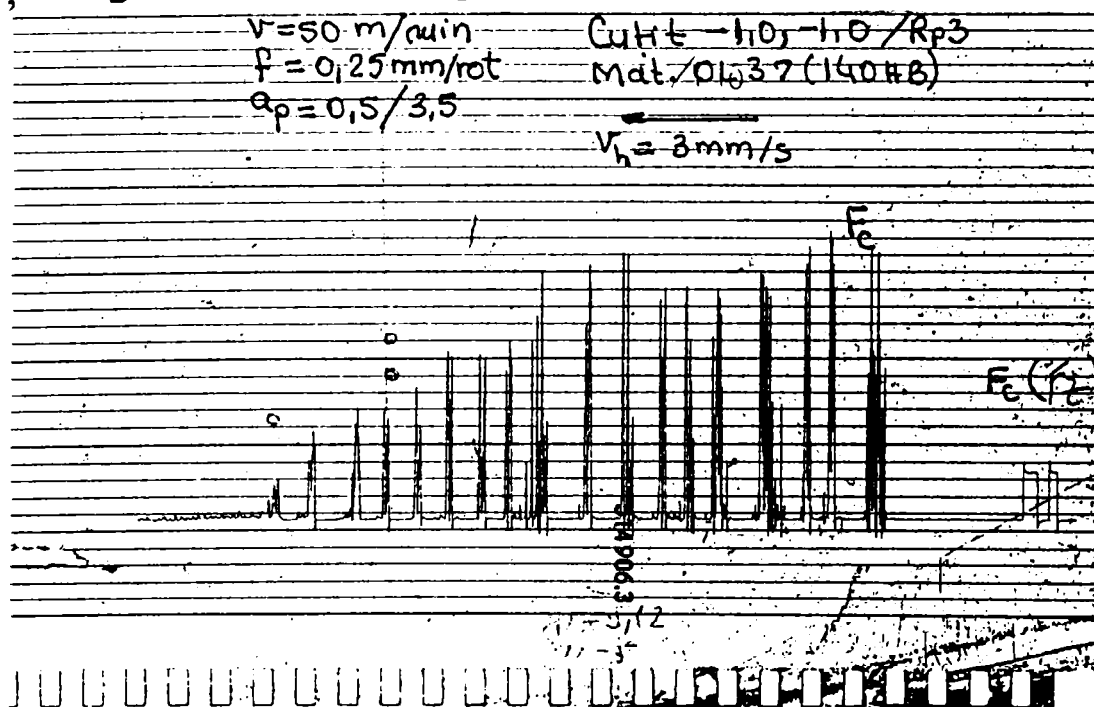


Fig. 6.22  
Variația forței  $F_c$  la strunjirea unei piese canelate

s-a constatat existența vibrațiilor în toate momentele procesului de așchiere.

Amplitudinea și frecvența vibrațiilor sunt în general aleatoare funcție de parametrii de așchiere  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$ , dar cu precădere acestea cresc cu majorarea parametrilor  $v$  și  $a_p$ .

Spre exemplificare în figura 6.21 se prezintă o oscilogramă înregistrată pentru măsurarea forțelor  $F_c$  și  $F_p$  la o strunjire longitudinală cu adâncime variabilă (pe o piesă ca în figura 6.2) ,iar în figura 6.22 se prezintă oscilogramă înregistrată la strunjirea longitudinală a unei piese canelate (fig.6.3).

Același proces vibrator s-a constatat și în cazul încercărilor experimentale din cadrul programului central , când pentru măsurarea forțelor s-a utilizat standul de achiziție automată a datelor descris în capitolul 4 (fig.6.23).

Concluzionăm că ambele dispozitive concepute au o bună sensibilitate și ca

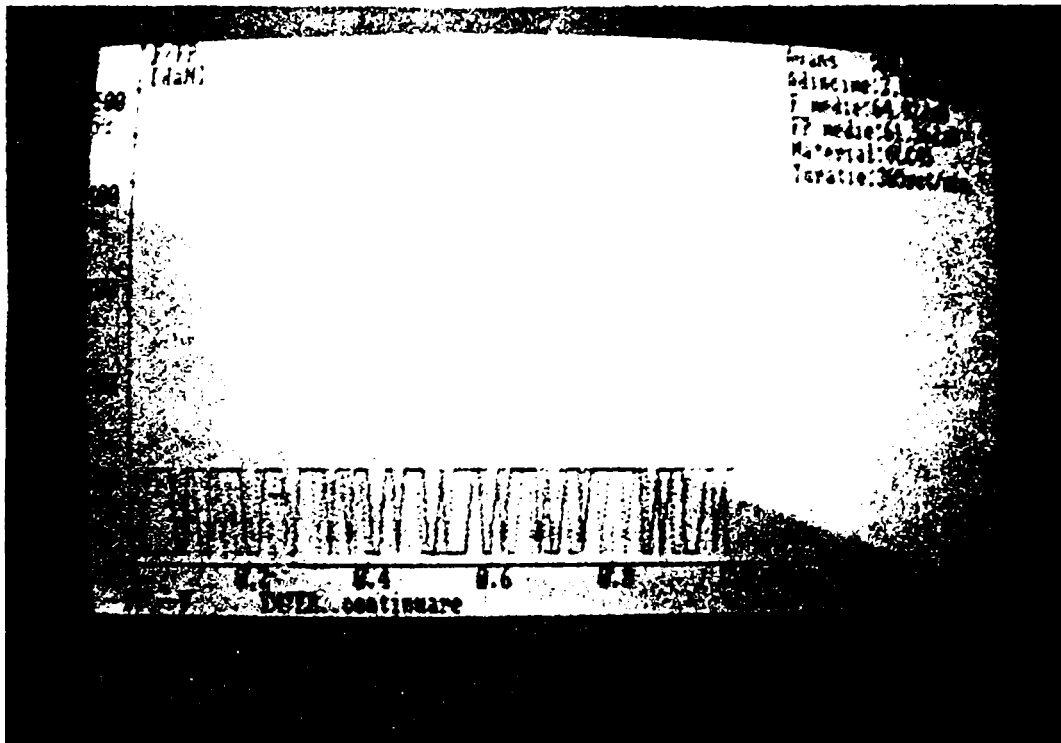


Fig.6.23  
Proces vibrator în timpul măsurării  $F_c$ ,  $F_p$  la strunjire cilindrică  
- semnul de tip "telegraf" -

ele pot servi la construirea diagramelor de stabilitate de tip Sweeney-Tobias, existând o concordanță remarcabilă între datele experimentale proprii și cele rezultate din analiza teoretică a dinamicii strungului existentă în literatura de specialitate amintită.

Rezultatele obținute sunt utile pentru diagnosticarea de ansamblu a stabilității dinamice a strungurilor. De exemplu, comparând diagramele 6.21÷6.23 (dar și celelalte oscilograme din lucrare) proprii strungului SNA 400x1000 Model 1962, cu cele ale unui strung 630 SPC NC [S16], se poate trage concluzia că SNA 400 are o comportare dinamică superioară. Deci o eventuală MUCN și CA este preferabil să aibe ca model de bază strungul clasic, nu unul modern, datorită avantajului conferit de stabilitatea statică și dinamică a construcției proprii.

Alte aspecte legate de rigiditatea STE la strunjire sunt prezentate în § 6.3.

d) Marimea componentelor forței totale de așchiere.

Studiul componentelor forței totale de așchiere s-a realizat în baza programului centralizat, descris în paragraful 6.1 , pe standul descris în capitolul 4.

Modul de lucru cu standul de achiziție automată a datelor (SAA) este următorul:

1. – Se cuplează alimentarea electrică generală și sursa stabilizată de tensiune și apoi microcalculatorul;

2. – Se introduce discheta de 5,25" purtătoare a programului de achiziție și de prelucrare a datelor și se cere programul de "studiu al forțelor la strunjire"; pe ecranul monitorului va apărea meniul arătat în figura 6.24.

3. – Se activează de la tastatură  $\mu C$  tasta pentru S.A.A., se cere numele fișierului ce va conține datele achiziționate (ex.S1) după care, se cere introducerea variabilelor: material, turație, diametru piesă, adâncime, avans (ex.fig.6.25.a) – se introduc datele cerute;

4. – Apare un mesaj pe monitor privind comanda punții tensometrice cu 6 canale și a sursei de 24 V a releelor de comutare automată a canalelor (ex.fig.6.25.b) – se execută operațiile cerute;

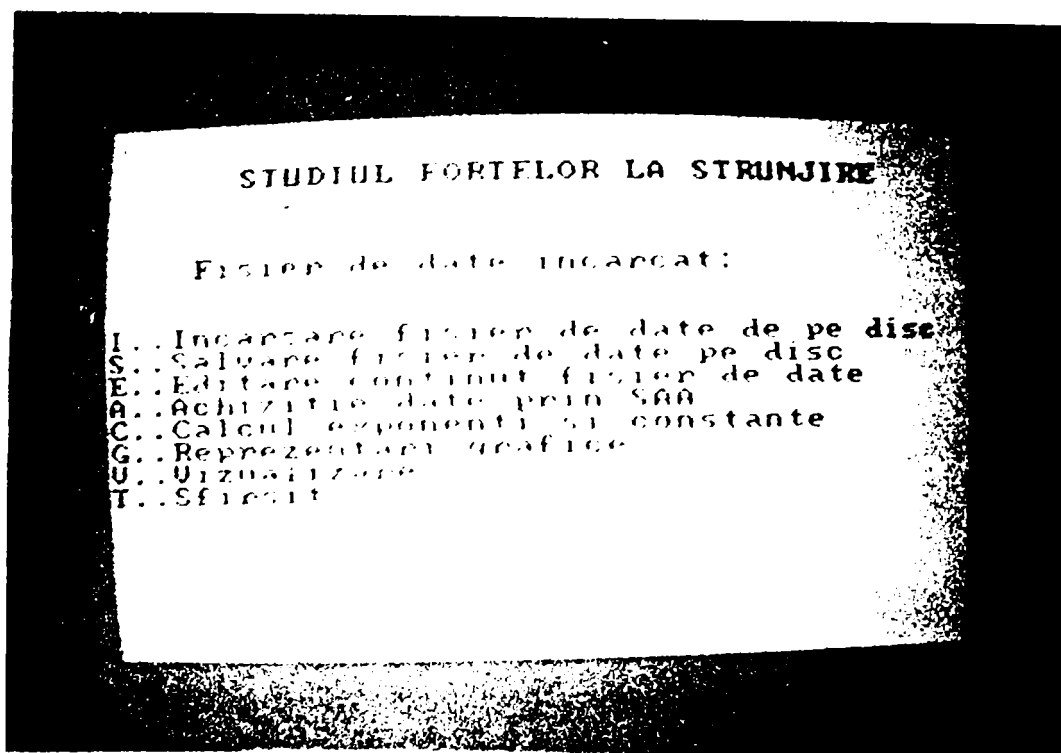


Fig.6.24  
Meniul programului S.A.A.

5. – Apare un mesaj cu privire la inițializarea experimentului (fig.6.25.c);

6. – După începerea prelucrării și apăsarea unei taste la  $\mu C$ , monitorul

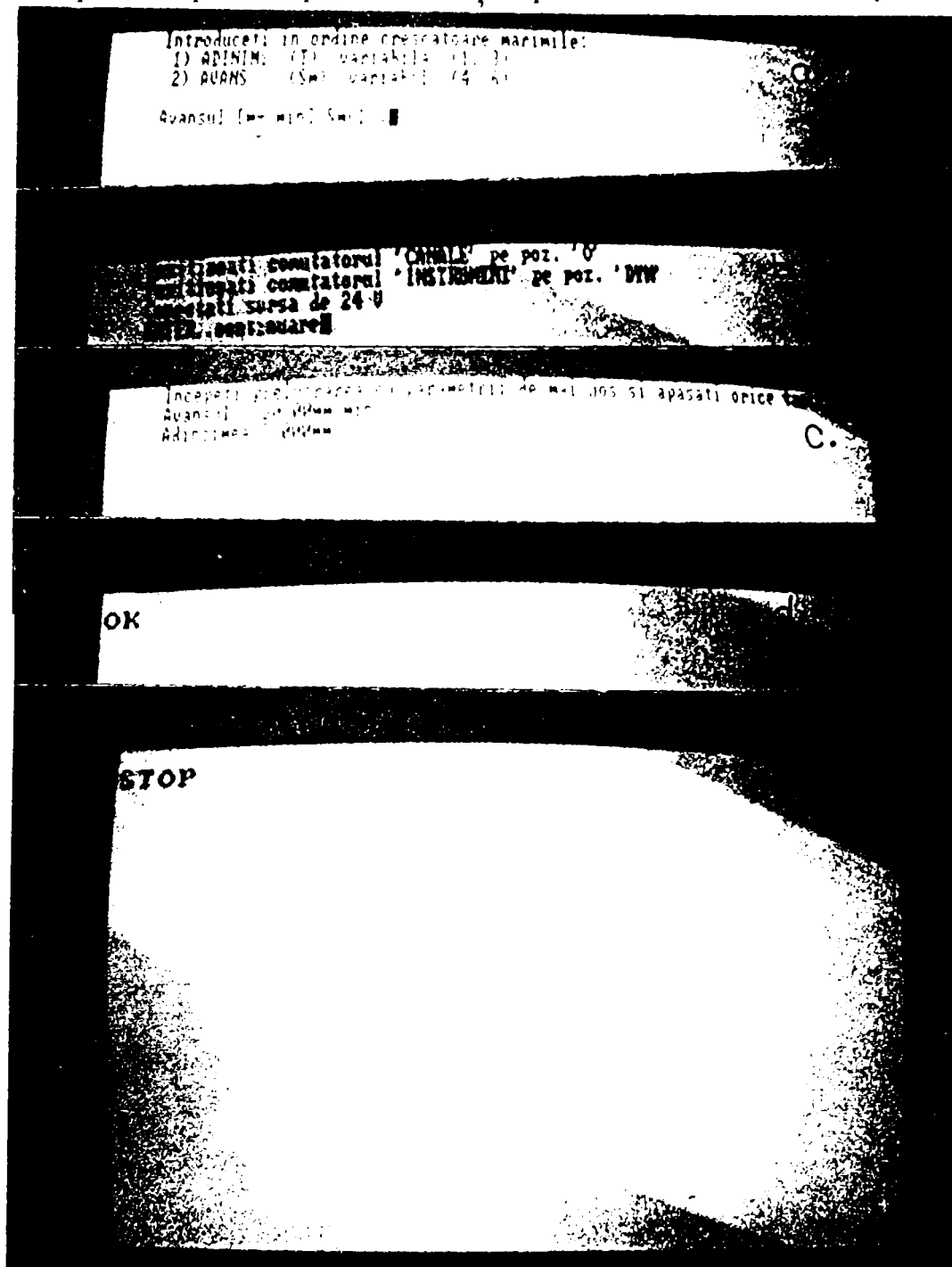


Fig.6.25

Etaple de lucru cu S.A.A. - exemplu

afișează “OK” pe tot timpul efectuării citirii automate a celor trei canale pe care și le comută singur la interval de o secundă (fig.6.26.d). La terminarea citirii celor trei componente ale forței, pe monitor apare comanda “STOP” (fig.6.26.e) și apoi comanda de inițializare pentru următoarea prelucrare din experiment (fig.6.26.c); ș.a.m.d. până la epuizarea programului experimental cerut.

7. – La terminarea achiziției datelor apare automat pe monitor meniul general. Din acesta se poate face în continuare:

- S – salvare fișier de date pe disc;
- E – editarea fișierului de date achiziționat;

- C – calculul exponenților și constantelor pentru forțele  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$ ;
- G – reprezentarea grafica a componentelor  $F_c$  și  $F_p$  în coordonate carteziene și dublu-logaritmice;
- V – vizualizarea modului în care au variat forțele  $F_c$  și  $F_p$  în timpul achiziției datelor;
- I – începerea unui nou experiment cu SAA ,sau
- T – sfârșitul sesiunii de lucru urmată de oprirea și asigurarea întregului stand.

SAA astfel construit poate fi utilizat pentru măsurarea (citirea) oricărui 3 mărimi ale oricărui proces, cu condiția ca semnalele sa fie electrice, compatibile cu domeniile punții N 2302 și sa se dispuna de un program, de calcul și interpretare a rezultatelor, adecvat respectivei aplicații. De exemplu, programul folosit pentru prelucrarea semnalelor dinamometrului pentru strunjire (fig.6.26 și exemplul de vizualizare din figura 6.27) poate fi utilizat cu minime schimbări în programul de calculator și pentru achiziția componentelor  $F_H$  și  $F_V$  la frezare (fig.6.28 a – calcul exponenți (C), b) – editare fișier de date (E); C-M- ridicare de grafice(G).).

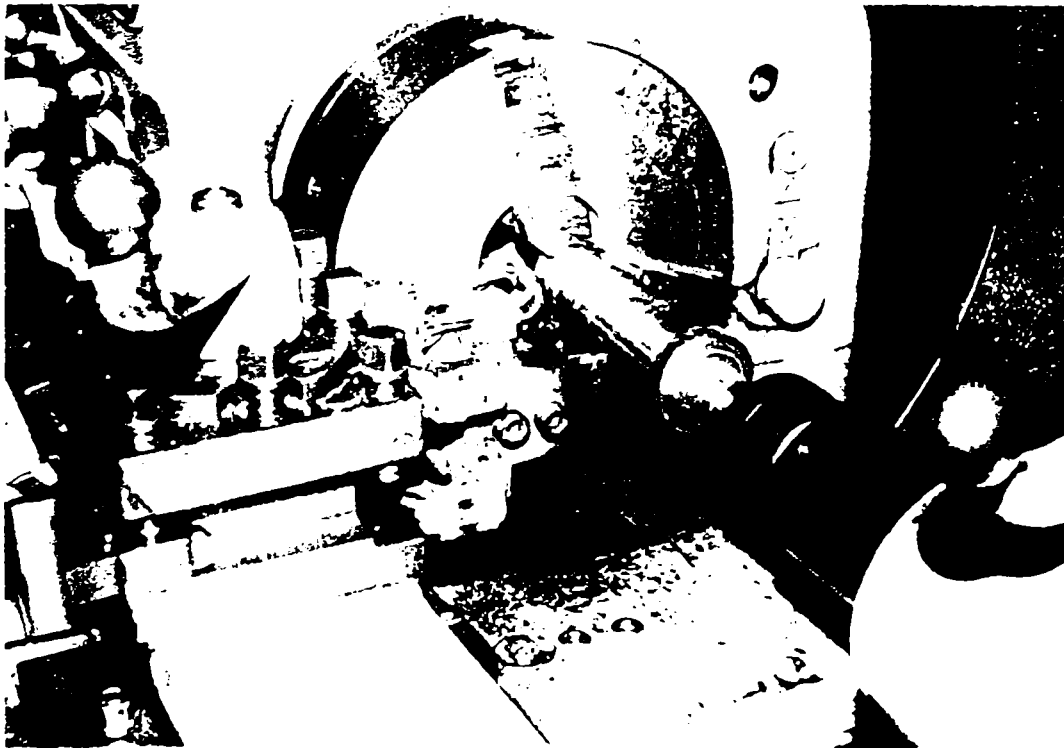


Fig.6.26  
Studiul componentelor  $F_c$ ,  $F_p$  și  $F_f$  la strunjire  
cu  $a_p$  variabil continuu (piesa conicitate inversa) și SAA

- Adâncimea de așchiere – suplimentar față de cele deja arătate despre influența acesteia asupra procesului de așchiere (cap.5), în oscilogramele din figura 6.29.a, b, se prezintă influența variației continue a lui  $a_p$  asupra valorilor

componentelor  $F_c$  și  $F_p$ . În ambele cazuri, se constata ca în momentul intrării în așchiere,  $F_c$  și  $F_p$  cresc iar  $F_p > F_c$  după care  $F_p$  ia valori apropiate de ale lui  $F_c$ . Pe măsura creșterii  $a_p$  spre  $a_{pmax}$ , cresc ambele componente ale forței active de așchiere și se intensifică și procesul autooscilator. Odata cu creșterea avansului, pastrând constanți ceilalți parametri, procesul de așchiere se desfășoara identic dar la valori mai ridicate pentru forțe și vibrații.

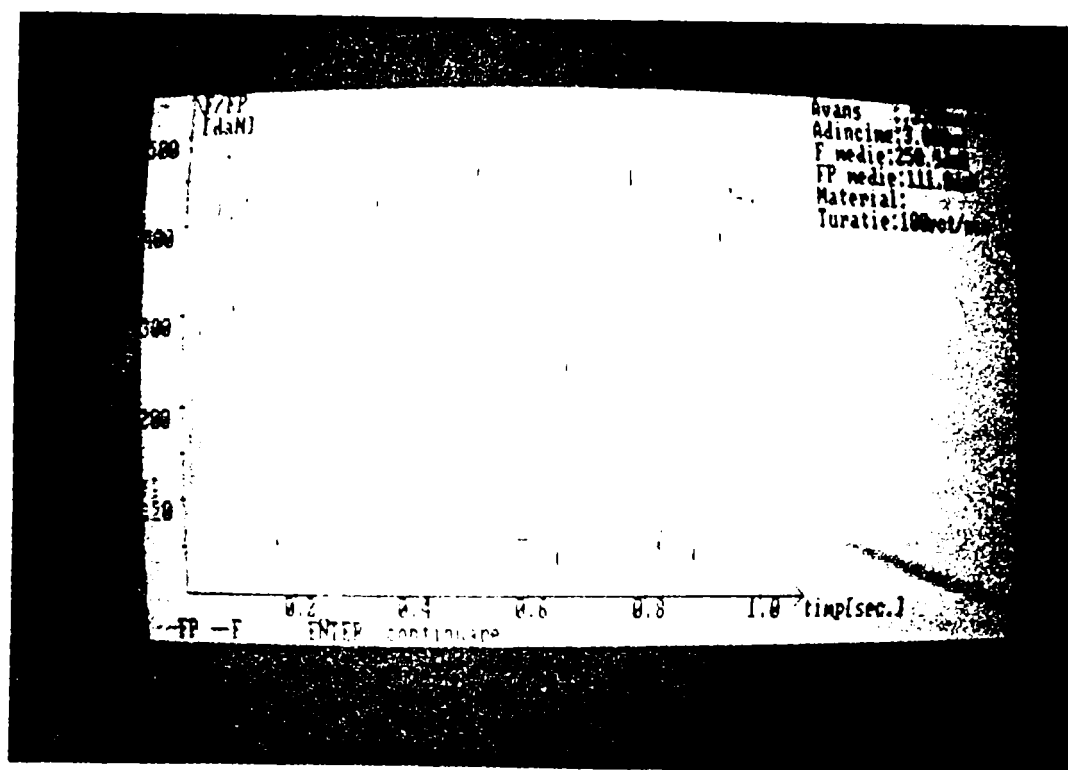


Fig.6.27

Vizualizarea variatiei  $F_c(F)$  la strunjirea unei piese  
Canlate (fig.6.2) timp de 1s cu S.A.A.

În figura 6.30 este prezentată dependența componentelor  $F_c$ ,  $F_p$  și  $F_f$  de  $a_p$  la strunjirea de degroșare pentru câteva condiții din programul de încercări.

Spre deosebire de majoritatea indicațiilor din literatura de specialitate amintită, se observă că dependențele nu sunt liniare și că panta curbei variază între 0,6 pentru  $F_f$  la oțelul 35MnSi12 și 1,4 pentru  $F_c$ . Valorile maxime ale exponentului  $x_F$  a lui  $a_p$  din expresia analitică a forței de așchiere, sunt valabile pentru adâncimile mari de așchiere, deci tocmai pentru cazurile de strunjire de degroșare.

- Avansul longitudinal – influențează mărimea componentelor  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$  similar ca și  $a_p$ , lucru ce se vede și în exemplul din figura 6.31 a, b. Forțele  $F_c$  și  $F_p$  cresc accentuat în zona angajării în așchiere, mai mult decât saltul forțelor la trecerea de la un avans la altul mai mare. De remarcat că în cazul acesta  $F_p < F_c$  întotdeauna și deci avem încă un argument să considerăm influența lui  $a_p$  ca principală iar necesitatea stabilirii acestui parametru cu prioritate- pe deplin justă.



... exponenți și constante

Valori rezultate din calcul:

$YU = -9.484118922E-02$   
 $YV = 1.8774356253E+00$   
 $YH = 4.6471175802E-01$   
 $YH = 9.3953334471E-01$   
 $CU = 4.172324373E+01$   
 $CH = 8.264667042E+01$

ENTER continuare

... listare fișier date: .1

$S_m$ [mm/min]	$Ln(S_m)$	$T$ [min]	$Ln(T)$	$FV$ [daN]	$Ln(FV)$	$FH$ [daN]	$Ln(FH)$
10.00	3.912	1.000	0.000	54.64	4.004	72.48	4.283
10.00	3.912	2.000	0.693	49.03	4.223	66.60	4.198
10.00	3.912	3.000	1.099	51.56	4.238	54.52	4.173
11.50	3.449	2.000	0.693	50.72	4.216	51.56	4.120
10.00	3.912	2.000	0.693	53.07	4.233	66.60	4.198
10.00	4.382	2.000	0.693	69.96	4.247	69.12	4.235

Turația: 305 rot/min  
 Materialul piesei: OLC45

... modificati (D/D)28

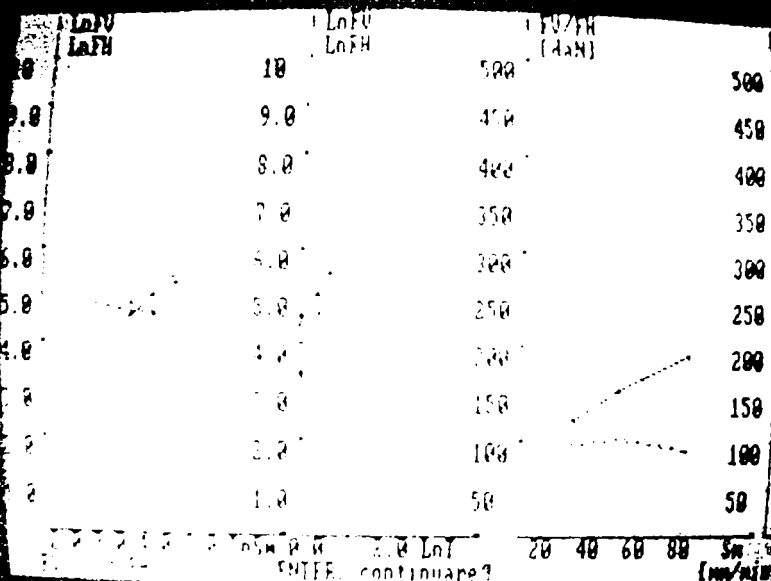
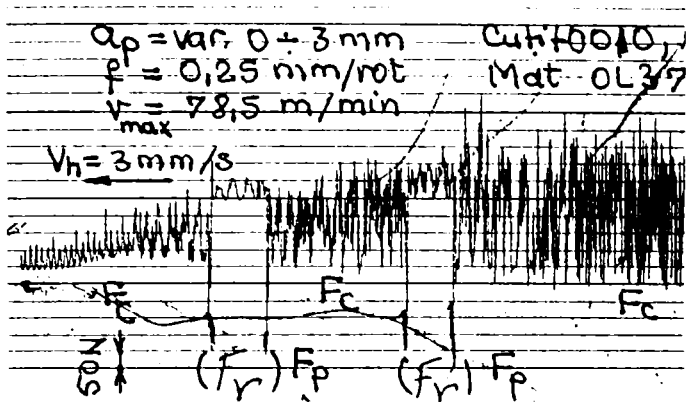
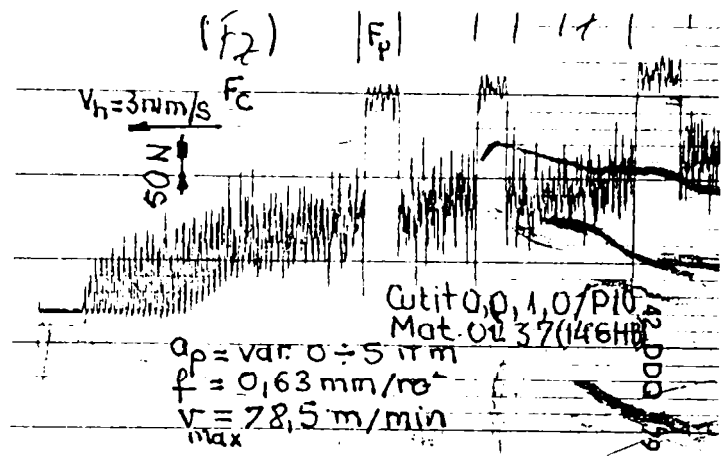


Fig.6.28

S.A.A. utilizat pentru masurarea forțelor la frezare



a)



b)

Fig.6.29 a, b

Oscilograma pentru  $F_c$  și  $F_p$  la strunjirea cu  $a_p$  variabil

În figura 6.32 este prezentată dependența componentelor  $F_c$ ,  $F_p$  și  $F_f$  de  $f$  la strunjire, pentru condiții similare de experimentare cazului din figura 6.30. Corespunzător acestor curbe, exponentul  $y_F$  al avansului  $f$ , din relația analitică generală între componentele forței active, este cuprins între 0,46 și 0,84. Valorile pentru exponentul  $y_F$  rămân aproximativ constante odată cu creșterea avansului; valorile minime sunt variabile pentru calculul componentei  $F_f$  iar valorile maxime sunt pentru calculul componentei  $F_c$ .

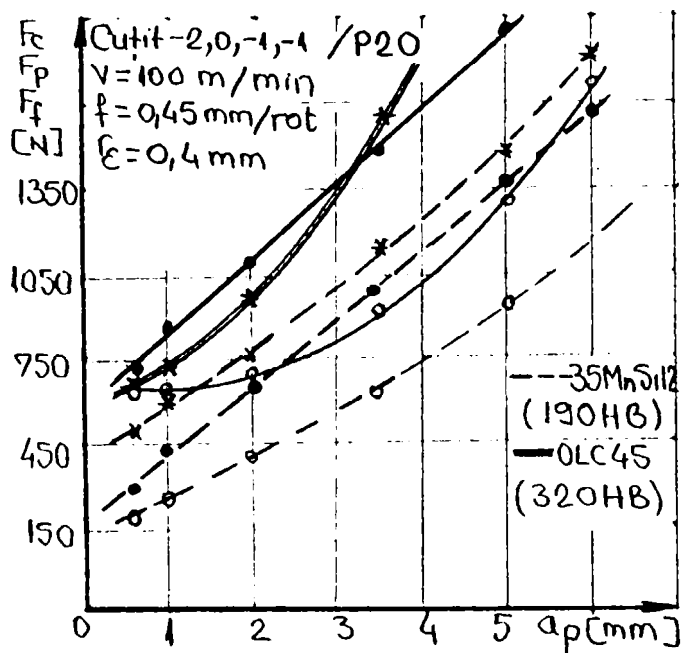


Fig.6.30

Influența  $a_p$  asupra  $F_p$ ,  $F_f$ ,  $F_c$

- Viteza de așchiere – influențează valorile componentelor forței active de așchiere în sensul că odată cu creșterea acesteia, (menținând toți ceilalți parametri din procesul de așchiere constant) se constată o ușoară scădere a efortului de așchiere. Experimental s-a constatat că la creșterea

vitezei de la 50 m/min la 140 m/min componentele  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$  scad în medie cu 20% (fig.6.33).

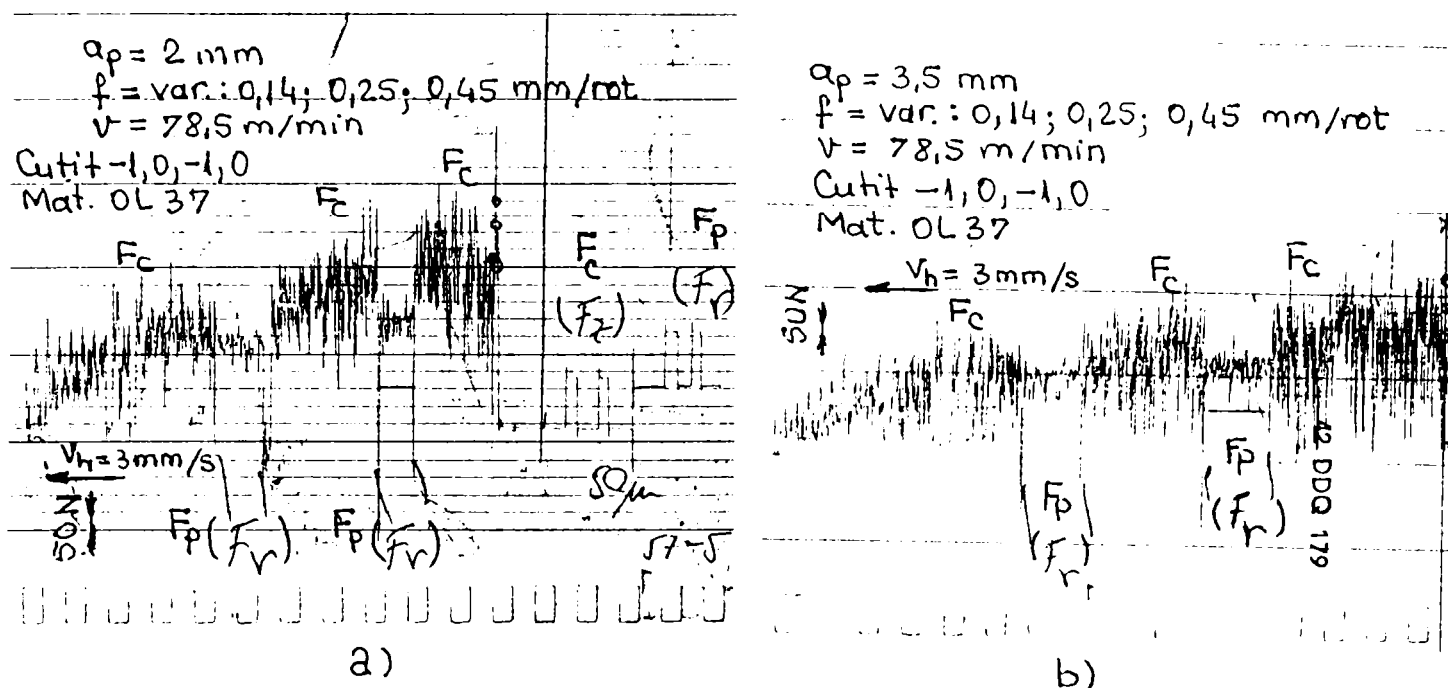


Fig.6.31 ab  
Oscilogram pentru  $F_c$  și  $F_p$  la strunjirea cu  $f$  variabil

Rezultatele experimentale sunt în concordanță cu literatura de specialitate indicată la punctul c), cu deosebirea că lucrând cu  $v \in (50 \div 140)$  m/min, nu s-au putut face referiri la zonele vitezelor mici și a celor foarte mari din cauza limitărilor impuse de stabilitatea dinamică a echipamentului experimental și a condițiilor de lucru.

e) Precizia dimensională și calitatea suprafețelor așchiate.

Programul de experimente este conceput pentru regimuri de așchiere folosite preponderent la degroșare. Cum la degroșare cerințele de precizie dimensională și de calitate a

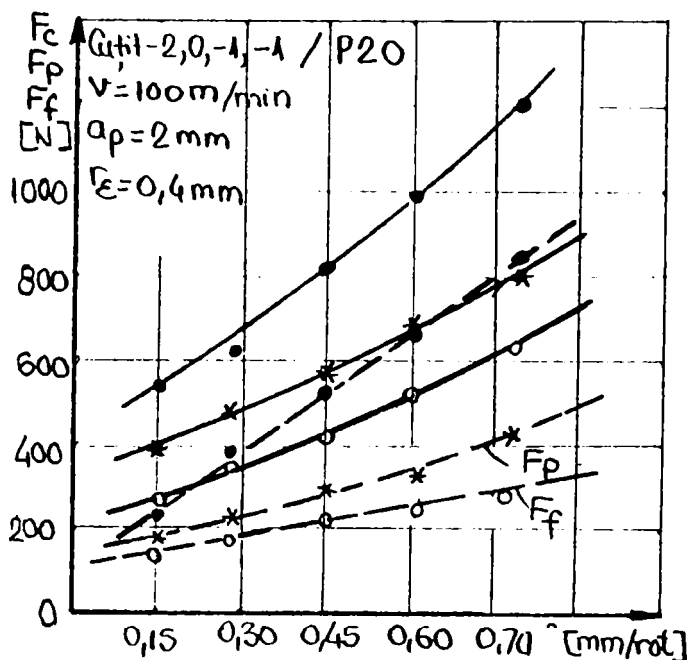


Fig.6.32  
Influența avansului de lucru  $f$  asupra componentelor de forță  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$

suprafeții sunt mai reduse, acestea au fost studiate în mai mică măsură cu asiduitate.

Influențele regimului de lucru asupra preciziei dimensionale țin doar de gradul de încărcare al STE și de rigiditatea STE, lucru ce se va prezenta mai detaliat în subcapitolul 6.3.

Influența parametrilor regimului de așchiere asupra rugozității suprafețelor strunjite este exemplificată în figura 6.34 a, b, c, pentru trei materiale și un singur tip de cutit P10, cod -2,-1,-1,0.

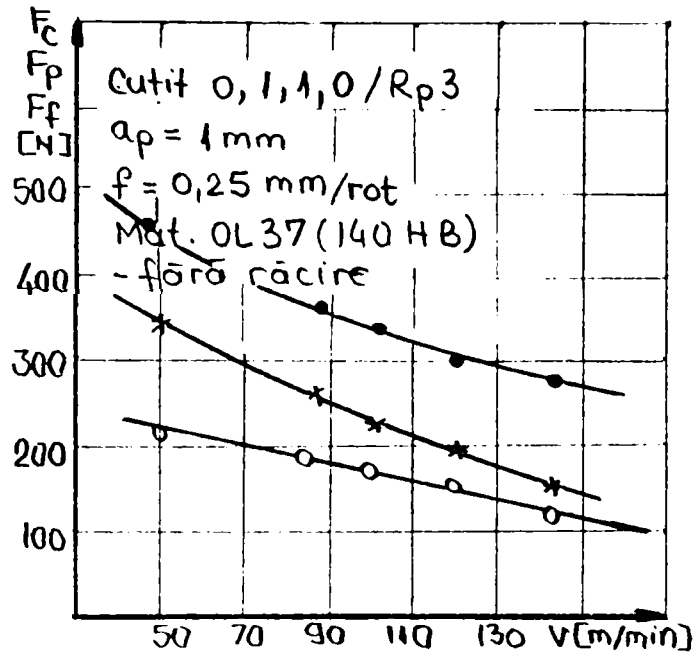


Fig.6.33  
Influența vitezei principale de așchiere asupra forțelor  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$

Din analiza dependențelor prezentate în figura 6.34 se desprinde concluzia

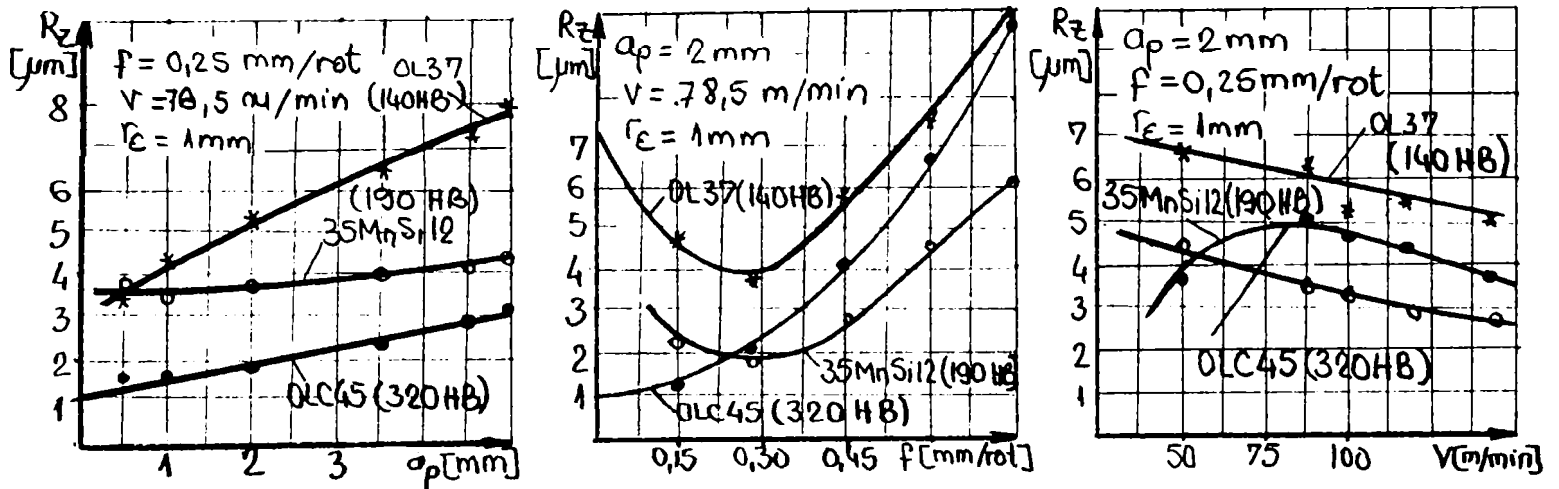


Fig.6.34  
Influențe ale parametrilor de regim de așchiere asupra mării rugozității  $R_z$

că cea mai mare influență asupra rugozității  $R_z$  o are avansul longitudinal  $f$ . Dacă se dorește ca după degroșare rugozitatea să fie sub  $6 \mu\text{m}$  se recomandă  $f \in (0,45 \div 0,6)$  mm/rot pentru oțeluri de îmbunătățire cu  $\text{HB} \in (200 \div 350)$ .

## 6.3. Uzura sculelor și deformațiile STE – considerații teoretice și practice

### 6.3.1. Considerații privind uzura cuțitelor de strung

Fiind unul din elementele sistemului tehnologic, scula are o importanță deosebită în ceea ce privește rigiditatea de ansamblu a STE, precizia de prelucrare și indicatorii de prelucrabilitate. Deși în majoritatea cazurilor la strunjire scula este relativ simplă, ea îndeplinește un rol complex, datorită participării directe în

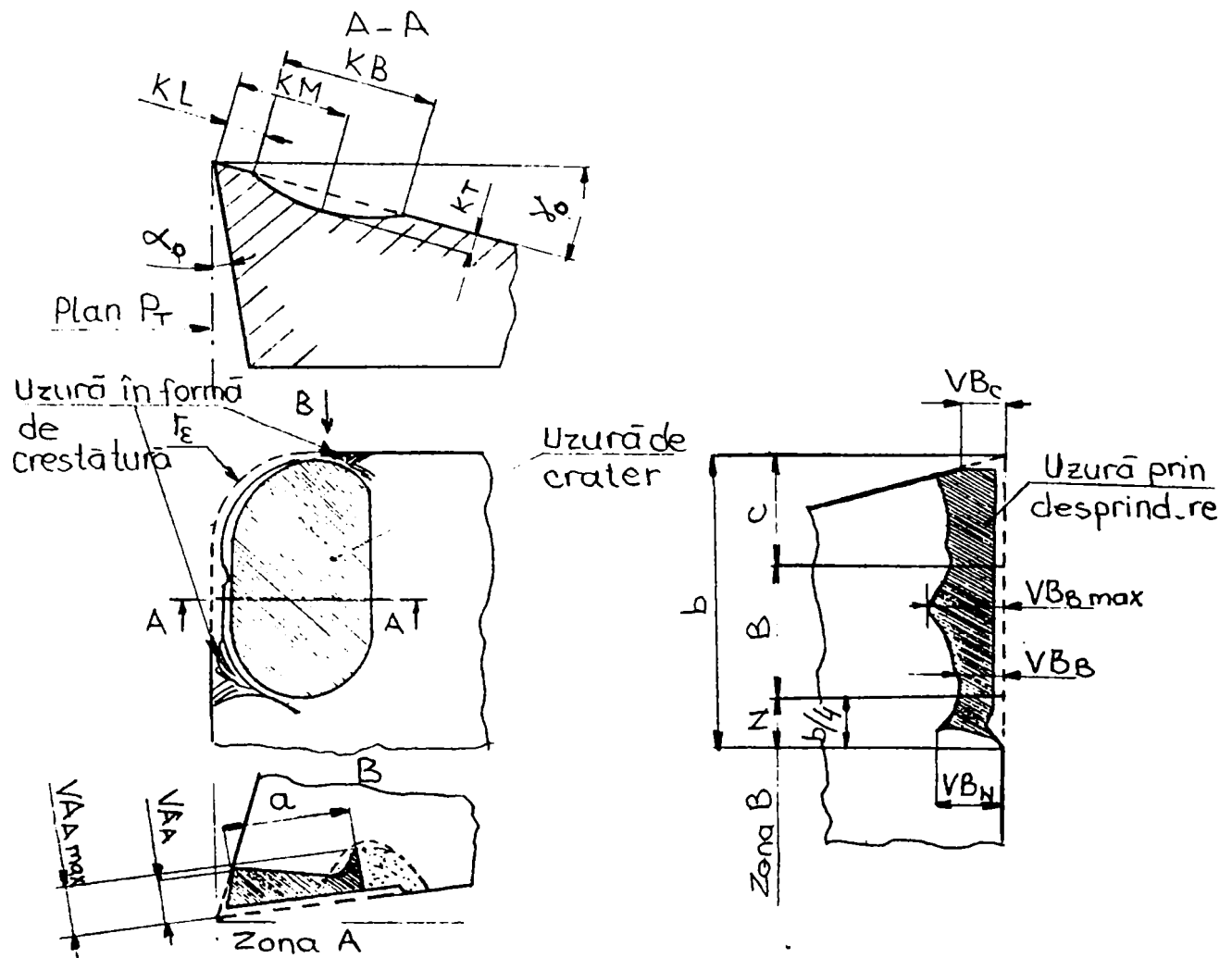


Fig.6.35

Formele și marimile uzurii cuțitului de strung

procesul de așchiere.

Micșorarea durabilității și fiabilității sculei se datorează, în principal, procesului de uzură de pe fața de așezare și de degajare, respectiv a modificării formei muchiei așchietoare și conduce la înrăutățirea însemnată a mecanismului așchierii, a indicatorilor tehnico-economici ai procesului de așchiere, a calității suprafeței așchiate etc.

Funcție de dispunerea pe suprafețele părții așchietoare (fig.6.35) [\*2], se deosebesc următoarele uzuri: - uzura feței de așezare principală, caracterizată de mărimile VB și b; - uzura feței de așezare secundară, caracterizată de mărimile VA și a; - uzura feței de degajare caracterizată de mărimile KL, KM, KB și KT.

Din punctul de vedere al mecanicii procesului de uzură, literatura de specialitate [A4], [D15], [M1], [\*2] prezintă numeroase teorii și ipoteze dintre care unanim acceptată și frecvent utilizată este uzura de adeziune – bazată pe teoriile: punților de sudură (Beare, Tabor etc.), interacțiunii atomice (Holm, Rabinowicz etc.) și adezivității (Greenwood, Finkin etc). Modelele de uzură prin adeziune iau în considerare existența unor presiuni și temperaturi mari între suprafețele în contact, care facilitează aderarea feritei din materialul sculei la cel al semifabricatului.

Pe baza cercetărilor lui Taylor, mărimea uzurii volumice V pe fața de așezare (fig.6.36) se calculează cu relația:

$$V = 1/2 \cdot A_k \cdot b_D \cdot (VB)^2, \quad (6.6)$$

unde A este o constantă iar b lățimea de contact sculă-piesă.

Volumul uzat variază în timp:

$$dV \cdot dt = k \cdot b_D \cdot VB, \quad (6.7)$$

iar din egalizarea relațiilor (6.6) cu (6.7) și integrare, se obține expresia uzurii pe fața de așezare:

$$VB = k/A_k \cdot t + VB_0, \quad (6.8)$$

unde t - timpul și VB<sub>0</sub> - uzura inițială.

Relația (6.8) ne arată o variație liniară în timp a uzurii volumice.

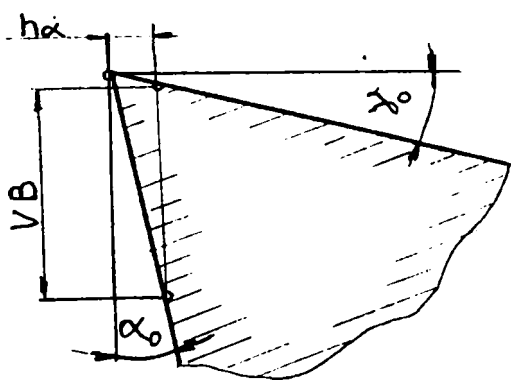


Fig.6.36  
Mărimea uzurii pe fața de așezare VB

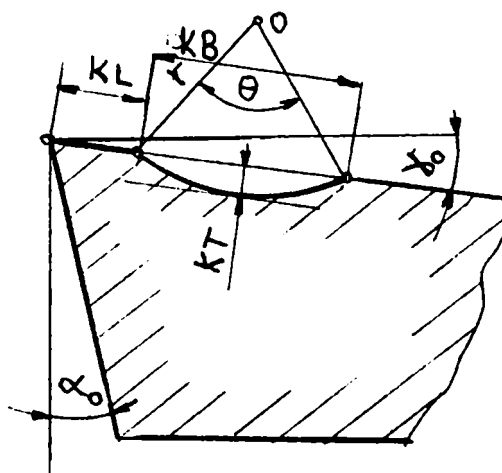


Fig.6.37  
Mărimea uzurii pe fața de degajare KB, KL



Cercetările aceluiași autor pentru uzura pe fața de degajare sub formă de crater (fig.6.37) stabilesc că volumul uzat este dat de relația:

$$V = 1/2 \cdot r^2 \cdot (\theta - \sin\theta) \cdot KB, \quad (6.9)$$

care dezvoltată prin (6.7) și considerând:

$$r = \xi \cdot t^n, \quad (6.10)$$

în final se ajunge la o relație (6.11) ce exprimă proporționalitatea între lățimea craterului pe fața de degajare  $K$  și timp ( $t$ ):

$$KB = \xi \cdot t^n \cdot \theta^2 / 8. \quad (6.11)$$

Eventualele criterii de uzură ce se vor folosi pentru optimizarea regimurilor de lucru vor trebui să se bazeze pe relațiile de uzură unanim recunoscute ca valide: (6.8) și (6.11).

### 6.3.2. Rezultatele cercetărilor experimentale proprii privind factorii de influență asupra uzurii sculei la strunjire

Practica uzinală precum și cercetările experimentale ale diverșilor autori [A4], [E1], [M1], [P6], [P18] demonstrează că asupra intensității uzurii sculelor așchietoare acționează o serie de factori printre care se pot menționa următorii:

- a) caracteristicile de material ale semifabricatului;
- b) caracteristicile de material ale sculei așchietoare;
- c) valorile parametrilor geometrici ai sculelor așchietoare;
- d) parametrii regimului de așchiere;
- e) temperatura din zona de așchiere;
- f) rigiditatea sistemului tehnologic elastic;
- g) lichidele de răcire-ungere folosite.

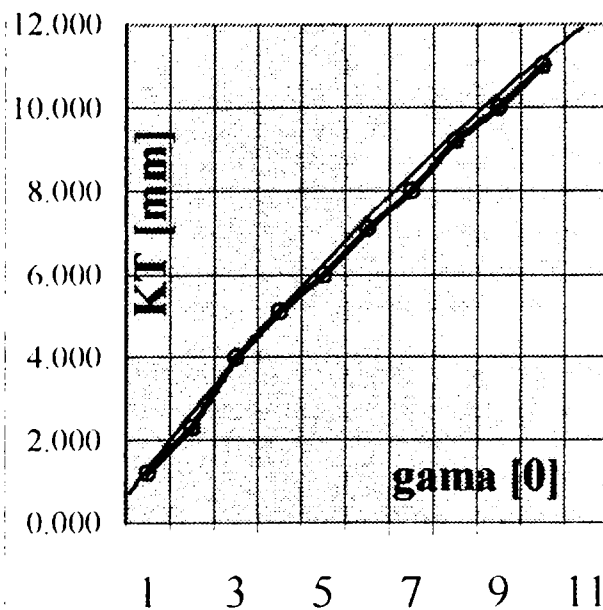
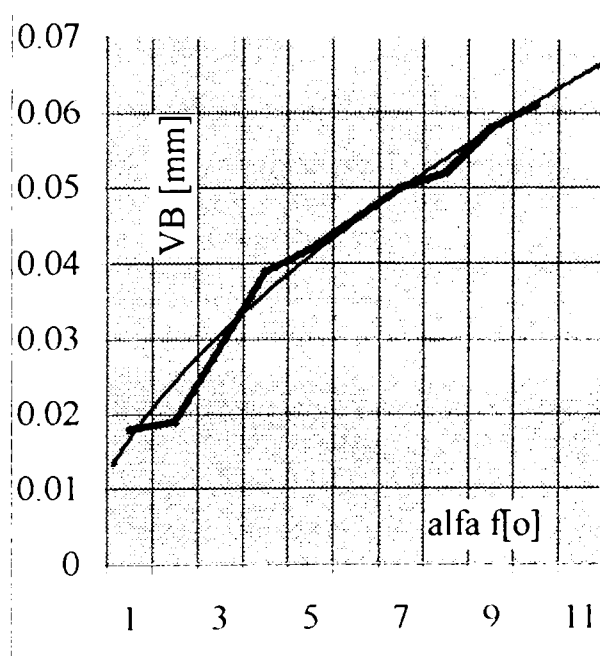
Dacă în ceea ce privește influențele asupra uzurii sculei date de factorii a), b), g) și parțial c), pentru o prelucrare anumită, ele pot fi considerate constante în timp, nu la fel stau lucrurile cu ceilalți factori.

1. Influența parametrilor geometrici ai sculei - din încercările experimentale efectuate pe parcursul ultimilor 10 ani în laboratorul de PSA, în afară de încercările experimentale din programul general, deja prezentate în § 6.2.1., pentru cuțite: drept de dreapta armate cu plăcuțe din carburi metalice P10, la prelucrarea oțelului OL37, cu  $v=80$  m/min,  $a_p=1,5 \div 2,5$  mm și  $f=0,15 \div 0,25$  mm/rot, s-au constatat următoarele:

- unghiul de așezare  $\alpha_f$  - diagrama din fig. 6.38 – arată uzuri minime pentru valori sub  $3^\circ$ , dar coroborat cu alte influențe ale lui  $\alpha_f$  asupra forțelor de așchiere și rugozității suprafeței, se recomandă  $\alpha_f=4^0 \div 6^0$ .

- unghiul de degajare  $\gamma_f$  - diagrama din fig. 6.39 – odata cu creșterea lui  $\gamma_f$  crește și adâncimea craterului KT pe fața de degajare, dar utilizarea unghiurilor de degajare mici sau negative mărește mult forțele de așchiere.

Concluziile experimentelor proprii sunt în concordanța cu literatura de specialitate indicata cu amendamentul ca alura curbelor și valorile uzurii sunt ușor modificate pentru ca în literatura s-a masurat  $\alpha_0$  și  $\gamma_0$  și nu  $\alpha_f$  și  $\gamma_f$ .



$$0.01*(2.8167*0.01*x^2+0.7979087*x+0.8512168),\{x,0,12\}$$

Fig.6.38  
Influenta unghiului  $\alpha_i$  asupra criteriului  
VB al uzurii pe  $A_r$

Fig.6.39  
Influenta unghiului  $\gamma_i$  asupra criteriului  
KT al uzurii  $A_\gamma$

2. Influența parametrilor regimului de așchiere – experimentările s-au realizat pe un strung SN 400, epruveta din OLC 45 STAS 880-80 – bara laminată  $\varnothing 100 \times 800$  normalizata la duritatea de  $216 \div 219$  HB, prindere combinata - suplimentar față de experimentările din programul compus central (vezi § 6.2.1.).

S-a utilizat un cuțit de strung drept de dreapta pentru degroșare având coada  $20 \times 20$ , partea activa din carbura metalica calitatea P10, lipită și ascuțită la următorii parametri geometrici:  $\alpha_0 = 5^\circ 20'$ ,  $\gamma_0 = 5^\circ 12'$ ,  $\lambda_T = 0^\circ 16'$ ,  $\chi_r = 75^\circ 31'$ ,  $\epsilon_r = 90^\circ 2'$  și  $r_e = 0,8$  mm. Consolajul cuțitului prins în portcuțit este 25,2 mm, vârful sculei fiind situat peste axa piesei cu 0,08 mm.

În timpul experimentarilor nu s-a utilizat lichid de racire-ungere și nici praguri de sfărâmare a așchiilor, în schimb, înainte de prima prelucrare, suprafețele de așezare și de degajare ale placuței așchietoare au fost prelucrate fin ( $R_a \approx 0,2$ ) pentru a reduce uzura inițială, iar la controlul vizual cu o lupă de grosiment 25x nu s-au observat defecte de suprafața pe suprafețele active.

Parametrii de regim de aşchiere utilizați au fost: avansul  $f=(0,1\div 0,63)$  mm/rot, adâncimea de aşchiere  $a_p=(1\div 3,5)$  mm și viteza  $v=(50\div 125)$  m/min.

Măsurarea uzurii pe fața de aşezare VB s-a făcut cu ajutorul unui microscop de atelier având grosimentul 25x și precizia de măsurare 0,005 mm. De menționat că s-a măsurat uzura cumulată pentru fiecare serie de experimentări care a utilizat câte un singur cuțit. Spre exemplu, un set de rezultate experimentale sunt prezentate în tabelul 6.2. Rezultatele experimentale din tabelul 6.2 au fost prelucrate sub forma a patru diagrame  $VB=f(a_p)$ ,  $VB=f(f)$ ,  $VB=f(v)$ ,  $VB=f(t)$ , redată în figurile 6.40÷6.43, concluziile desprinse din analiza acestora întărind observațiile din programul general experimental (vezi § 6.2.2.).

Tabelul 6.2

Nr. Crt.	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/rot]	$v$ [m/min]	$T$ [min]	VB [mm] cumulat
0	1	2	3	4	5
1.	1	0,25	88	10	0,04
2.	1,5				0,07
3.	2				0,08
4.	2,5				0,10
5.	3				0,15
6.	3,5				0,22
7.	2	0,1			0,02
8.	2	0,16			0,04
9.	2	0,20			0,05
10.	2	0,25			0,06
11.	2	0,40	88	10	0,14
12.		0,63			0,23
13.		0,25	50		0,04
14.			60		0,08
15.			70		0,10
16.			88		0,12
17.			100		0,18
18.			125		0,25
19.			88	10	0,02
20.				20	0,03
21.				30	0,05
22.				40	0,09
23.				50	0,16
24.				60	0,26

Rezultatele experimentale pot fi prelucrate în continuare, în spiritul celor prezentate în subcapitolul 6.3 până la determinarea unor relații de forma  $(a_p, f, v) = C(VB)^x$  sau  $VB = f(a_p, f, v)$ . Aceste tipuri de relații, introduse în formulele de calcul ale forțelor de așchiere la strunjire vor putea fi utilizate pentru comanda automată a ciclului de lucru. Pentru aceasta este însă necesar un volum mare de date experimentale, care să permită cu ajutorul tehnicii de calcul o prelucrare de statistică matematică de calitate a rezultatelor, dar și tehnici de măsurare în timp real a uzurii.

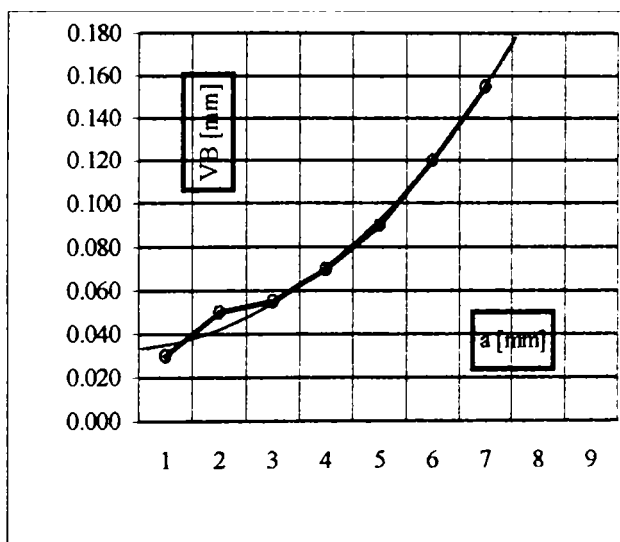


Fig.6.40

Influența  $a_p$  asupra criteriului VB

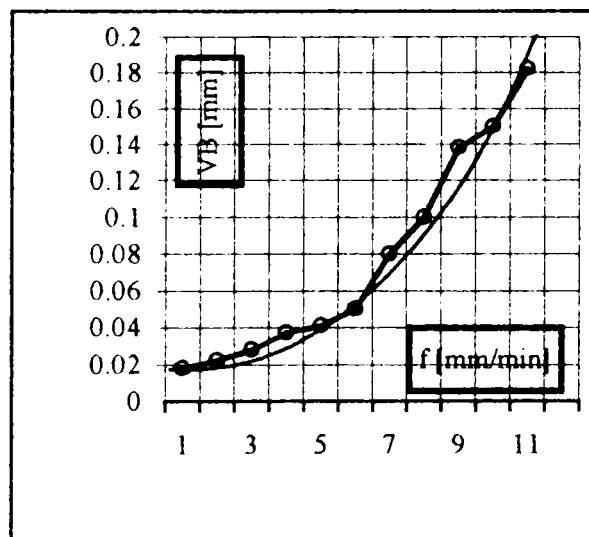


Fig.6.41

Influența avansului asupra criteriului VB

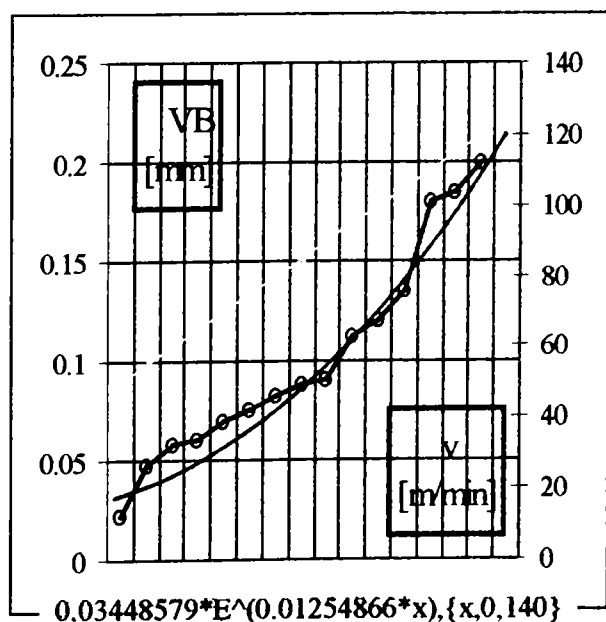


Fig.6.42

Influența vitezei asupra criteriului VB

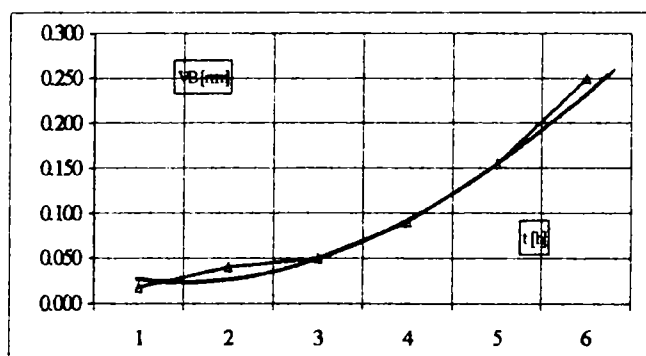


Fig.6.43

Influența duratei aschierii asupra criteriului VB

3. Influența temperaturii tăișului sculei – cercetările experimentale, chiar și cele efectuate în catedra TCM, demonstrează că cea mai mare influență asupra temperaturii o are viteza de așchiere. Când viteza se dublează, temperatura crește cu 120°, în timp ce la dublarea avansului temperatura crește cu 30°C.

După Groover [D15], relația între temperatură și uzură este:

$$V = S_0 + R \cdot (\theta - \theta_0), \quad (6.12)$$

unde  $V$  - volumul de material uzat,  $S_0$  – suprafața de contact inițială sculă-piesă,  $\theta_0$  - temperatura de la începutul uzării,  $\theta$  - temperatura din momentul așchierii iar  $R=R(t)$  - coeficient ce se determină experimental.

Momentul opririi așchierii corespunde unei anumite valori a uzurii limită a sculei care se stabilește pe baza unui criteriu de uzură. Literatura de specialitate [D15], [E1],[\*2] prezintă trei criterii mai importante:

a) Criteriul uzurii optime - scula se suspune reascuțirii când uzura  $VB$  ajunge la un nivel limită egal cu uzura optimă, adică uzura corespunzătoare durabilității totale efective maxime a sculei  $T_{tot}$ :

$$T_{tot} = n_s \cdot T; \quad (6.13)$$

$T$  - durabilitatea medie între două reascuțiri,  $n_s$  – numărul de reascuțiri permise până la amortizarea costului ei.

Pentru determinarea uzurii  $VB$  (fig.6.44) [A4], Zorev propune schema de calcul redată în continuare. Se consideră că scula uzată cu  $VB$ , pentru a fi repusă în funcționare trebuie rectificată pe o grosime  $h_\alpha + \Delta h_\alpha$ . Utilizând fig. (6.44), aplicând teorema sinusurilor în  $\Delta ABC$ , explicitând laturile  $AB$  și  $AC$  și efectuând calculele se obține:

$$VB = AE = AC \cos \alpha_p = [(\cos \alpha_p \cos \gamma_p) / \sin \alpha_p] [(h_\alpha + \Delta h_\alpha) / \cos(\alpha_p + \gamma_p)], \quad (6.14)$$

care pentru un cuțit de strung cu  $\alpha_p$  și  $\gamma_p$  fixate se poate scrie:

$$VB = (h_\alpha + \Delta h_\alpha) / c, \text{ unde } c = \text{constantă}. \quad (6.15)$$

În aceste condiții, numărul total de reascuțiri permise și durabilitatea totală efectivă se exprimă prin relațiile:

$$n_s = H_\alpha / (h_\alpha + \Delta h_\alpha); T_{tot} = T \cdot H_\alpha / (c \cdot VB). \quad (6.16)$$

Pentru a determina  $T_{tot \max}$ , trebuie găsită valoarea lui  $VB$  pentru care se anulează derivata întâi a funcției (6.16). După calcule rezultă viteza de uzură:

$$V_{hVB} = d(VB) / dT = [(VB) + \Delta h_\alpha / c] / T, \quad (6.17)$$

căreia îi corespunde  $T_{tot \max}$ .

Din curba uzurii (fig.6.41) rezultă viteza optimă de uzare:

$$\text{tg} \psi = [(VB) + \Delta h_\alpha / c] / T. \quad (6.18)$$

Acest criteriu se poate aplica cu rezultate bune în cazul cercetărilor de laborator [P24] a durabilității sculelor de degroșare precum și în cazul producției

industriale de serie mare și masă pentru cuțite de strung și blocuri portcuțite cu cost ridicat. Este considerat de mulți autori, criteriul ideal al uzurii sculei [L2], [N2],

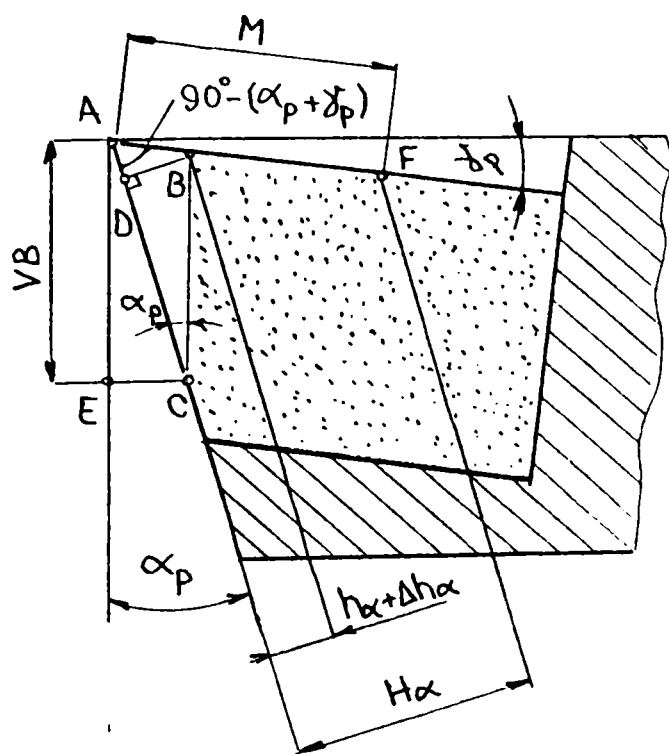


Fig.6.44  
Schema pentru calculul numărului de reascutiri  
i pe  $A_{\alpha}$

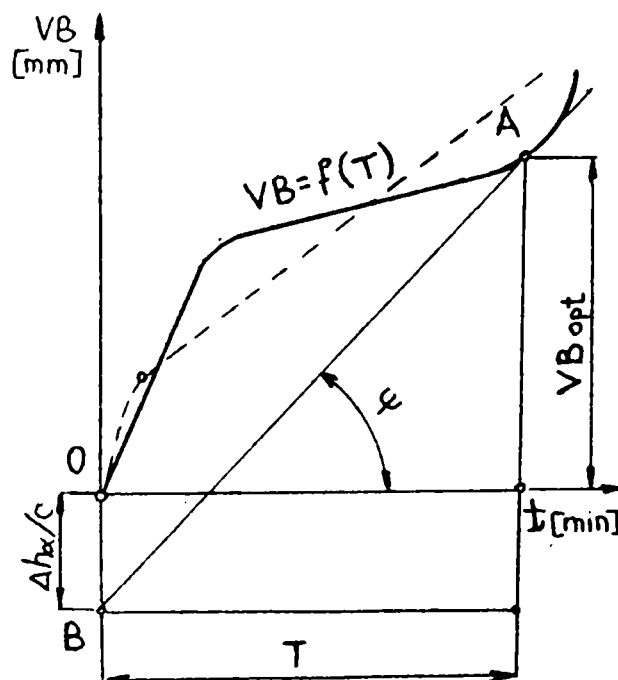


Fig.6.45  
Curba de uzura pe  $A_{\alpha}$

[R2], [R3], [S11], [Z4].

Același lucru a reieșit și din cercetările proprii [P6], [P7], [P11], unde criteriul uzurii optime a fost propus ca și criteriu de autodiagnosticare a procesului de așchiere.

b) Criteriul uzurii tehnologice - se utilizează în cazul în care lipsește punctul de inflexiune al uzurii catastrofale de pe curba  $VB = f(t)$ . În acest caz (figurat punctat în fig. 6.45) se folosește criteriul uzurii tehnologice care consideră scula uzată atunci când VB ajunge la o valoare pentru care funcționarea sculei se oprește din motive tehnologice: rugozitate prea mare, precizie scăzută, vibrații, așchii prea calde, ciupiri pe partea activă a sculei etc.

Dacă scula trebuie oprită din funcționare când uzura pe direcție radială depășește jumătate din toleranța dimensională a piesei, ținând cont de fig. (6.44), criteriul se exprimă cu relația:

$$(VB)_{teh} \leq t_{dp} / (2 \operatorname{tg} \alpha_p) \quad (6.19)$$

c) Criteriul petelor lucioase - se aplică la prelucrările de degroșare când datorită frecărilor mari între  $A_{\alpha}$  sculă și piesă, pe piesă apar pete lucioase sau



scânței în zona de contact. Practic în acest caz  $VB = 1,5 \dots 2,5$  mm și prelucrarea trebuie întreruptă.

Fig. 6.46 prezintă cele șase situații distincte în care se poate afla un sistem de urmărire a uzurii sculei la strunjire.

În esență sistemul urmărește modificarea forței de așchiere  $F_c$ , raportând înscirerea acestor variații la niște limite admise și introduse de operator, coroborat cu o situație "etalon" înregistrată cu ocazia prelucrării unei piese de probă. Funcție de modul în care variază  $F_c$  în timp față de situația considerată "optimă", sistemul ia decizia de activare a sistemului de măsurare (alarmă 2), de avertizare sau de oprire a strungului (alarmă 1).

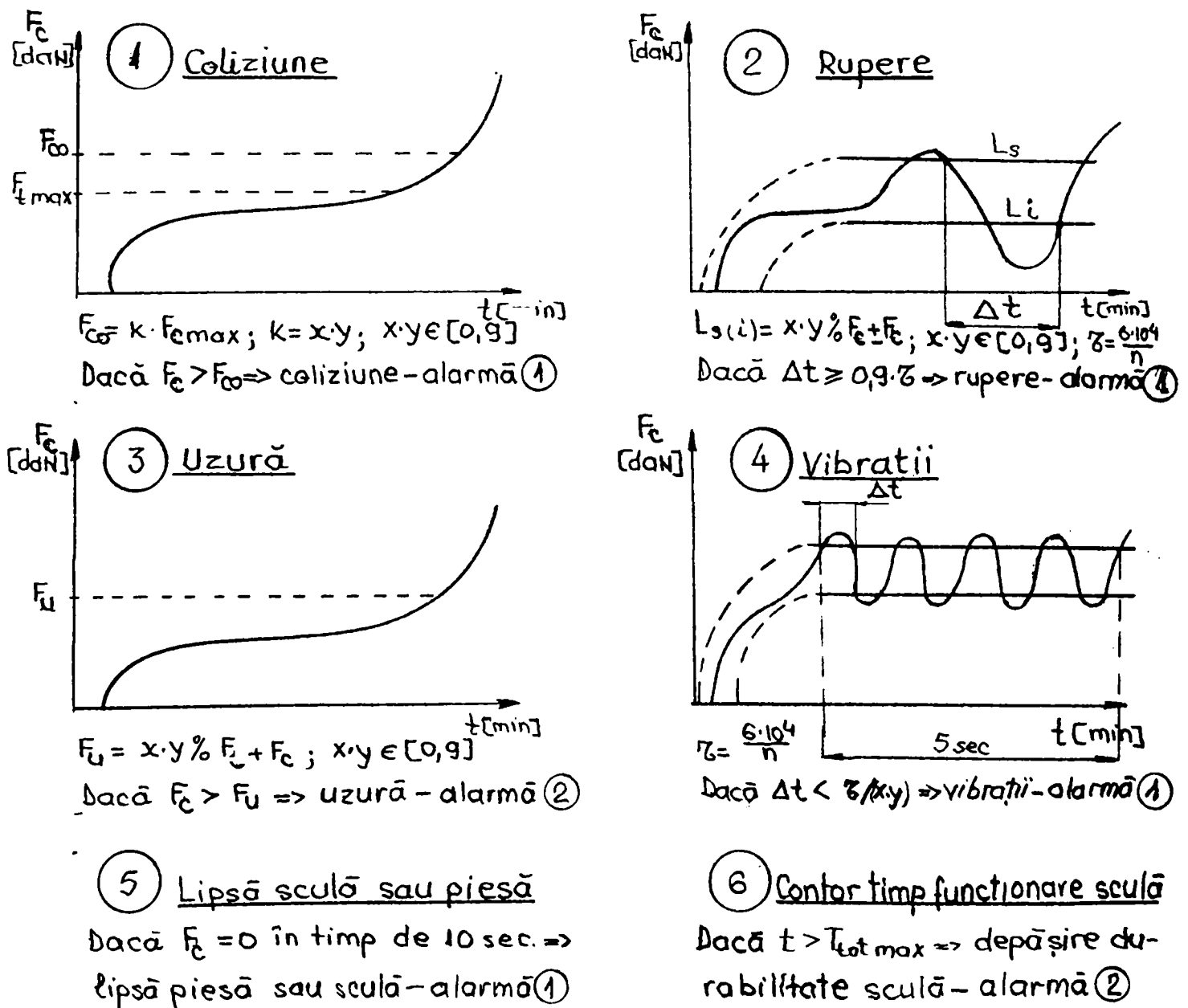


Fig.6.46

Raspunsurile posibile ale unui sistem de urmarire a uzurii cutitului la strunjire

În fig. 6.47 se prezintă schema bloc a sistemului de urmărirea uzurii-ruperii sculei pentru un strung cu CN. Echipamentul de urmărirea afișează limitele de coliziune, rupere etc. iar de la tastatură pot fi introduse mărimile restrictive.

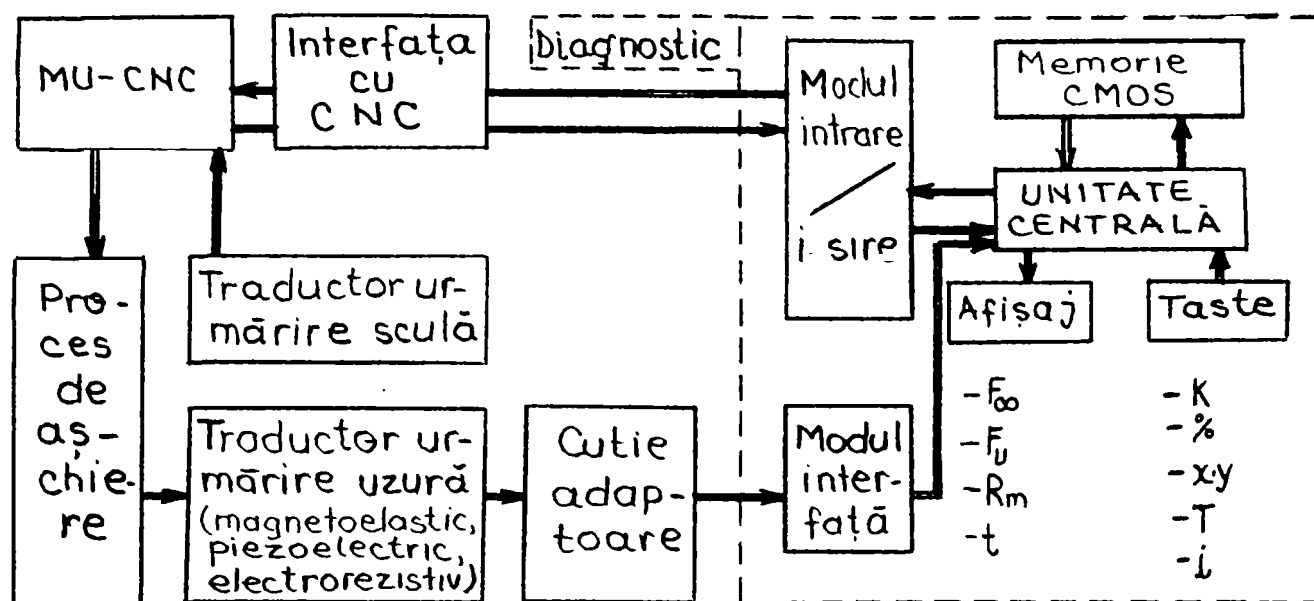


Fig.6.47

Schema bloc a sistemului de urmărirea uzurii - ruperii sculei pentru un strung cu CN

### 6.3.3. Considerații privind deformațiile STE la strunjire

Utilizarea industrială a sistemelor de comandă adaptivă (CA) la strunjire și respectiv a construcției strungurilor, impune perfecționări constructive ale subansamblelor care suportă sarcini în procesul de lucru. Aceste concluzii au apărut din studiul condițiilor și fenomenelor care însoțesc regimurile de lucru.

Analiza multipleror cazuri reale de strunjire a dovedit că nu se poate practic considera ca și constanți parametrii regimului de așchiere, deoarece trebuie să se țină cont și de încărcarea subansamblelor portante ale mașinii. Ori, partea portantă a strungului nu are o rigiditate constantă în tot spațiul său dimensional [V8], ca de altfel și piesa de prelucrare - deci întreg STE. Efectul acestui lucru este că la așchiera unui strat foarte constant  $a_p$ , datorită rigidității variabile a STE, trebuie neaparat ca ceilalți parametri de regim  $v$  și  $f$  să fie variabili.

În literatura de specialitate sunt cunoscute diferite modele de calcul a deformațiilor diferitelor părți componente ale STE, dar nu lămuresc și nu evidențiază logic modul în care rigiditatea statică și dinamică a tuturor elementelor STE influențează precizia de prelucrare și alegerea regimului de așchiere.

Separarea în trei zone a oricărei treceri: pătrundere, parcurgere și ieșire, permite evidențierea condițiilor în care are loc încărcarea STE. S-a constatat variabilitatea încărcării STE-ului atât la intrare cât și la ieșire din așchiere, precum și că rigiditatea pe axa OZ a strungului este responsabilă de deplasarea originii în așchiere. Pentru a evita acest lucru s-a recomandat ca partea portantă a strungului care preia forța în lungul axei OZ și în primul rând: port-cuțitul, îmbinările săniilor longitudinale și transversale precum și alte elemente din cărucior, să aibă o rigiditate mai mare pe direcția OZ. Dacă nu se poate crește rigiditatea STE în direcția OZ, atunci ar trebui să se lucreze cu  $a_p$  variabil cel puțin în faza de pătrundere - de unde rezultă necesitatea CA și după  $a_p$  la degroșare..

În concluzie, cunoașterea funcțiilor de încărcare a STE și capacitatea de așchiere a sculei, se pot considera ca surse de bază pentru determinarea mărimilor de referință necesare conducerii automate a procesului de așchiere.

Pentru procesul de strunjire s-au elaborat funcții tehnologice [V8] care țin cont de: parametrii geometrici ai piesei, parametrii curenți ai regimului de așchiere ( $a_p$ ,  $f$ ,  $v$ ) și de rigiditatea STE. S-a obținut forța de așchiere de referință  $F_{cref}$ , adică forța admisibilă la o anumită rigiditate tehnologică a STE sub forma unei funcții:

$$F_{cref} = f_1(l, \varnothing_1, z, R_{STE}, E, F_{cadm}). \quad (6.20)$$

Expresia (6.20) ține cont de: variația lungimii  $l$  și a diametrului  $\varnothing_1$  al piesei, de modul de prindere (combinat, între vârfuri sau în universal) prin ecuația forței de strângere  $F_{st}$  (6.21), de coordonata curentă  $z$  a vârfului sculei pe axa OZ, modulul de elasticitate  $E$  al piesei, de rigiditatea tehnologică  $R_{STE}$  a STE și de forța maxim admisibilă de așchiere  $F_{cadm}$  la un anumit mod de prindere.

$$F_{st} = f_2(l, \varnothing_1, z, R_{STE}, F_{cmax}, E). \quad (6.21)$$

Între forțele  $F_{cref}$  și  $F_{st}$  se poate stabili o anumită corelație prin intermediul unuia din parametrii de dependență, de exemplu cota curentă  $z$  pentru care corespunde o anumită forță  $F_{cref}$  la o anumită  $F_{st}$ .

Pentru cazul unei piese prinse în universal și sprijinită în vârful pinolei blocate corelația este:

$$F_{cref} = [Y_{STE} - \varnothing_1(Y_t', Y_t'', l, z, \xi)] / 0,49 \{ [\varnothing_2(l, z)] / R_{pf} + [\varnothing_3(l, z)] / R_{pm} + 1/R_c + 1/R_s \}, \quad (6.22)$$

în care: -  $Y_{STE}$  este deformația elastică totală a fibrei medii în prelucrare (6.24);

-  $\varnothing_1$  este o funcție dependentă de derivatele  $Y_t'$  și  $Y_t''$  ale ecuației fibrei medii deformată la piesă, de lungimea  $l$  a piesei, cota curentă  $z$  a cuțitului pe OZ și de rotirile  $\xi$  în reazeme;

-  $\varnothing_2$  și  $\varnothing_3$  sunt funcții dependente de  $l$  și  $z$ ;

-  $R_{pf}$ ,  $R_{pm}$ ,  $R_c$  și  $R_s$  - valori ale rigidității păpușii fixe, a păpușii mobile, a căruciorului și respectiv a sculei.

$$F_{st} = C_{AP} \cdot [0,3 F_{cadm} R_{pf} / (R_{pf} + R_{pm}) + 6,4 \cdot 10^{-6} R_{pf} I], \quad (6.23)$$

$$Y_{STE} = 0,49 F_c [\varnothing_2(l, z) / R_{pf} + \varnothing_3(l, z) / R_{pm} + 1 / R_c + 1 / R_s] + \varnothing_1 + \varnothing_4(l, z), \quad (6.24)$$

Din formulele (6.22)÷(6.24) se constată că rigiditatea de ansamblu a strungului  $R_{STE}$  din relațiile (6.20) și (6.21) depinde de soluția constructivă a subansamblelor componente (prin  $R_{pf}$ ,  $R_{pm}$ ,  $R_c$ ,  $R_s$ ) iar valoarea sa se schimbă funcție de pretensionările elementelor, de temperatură etc. Rigiditatea STE interesează pentru că ea favorizează apariția deformațiilor  $Y_{STE}$  în STE, afectând direct precizia de prelucrare, prin deplasarea care apare la scula în timpul prelucrării și favorizând apariția vibrațiilor așa cum s-a văzut în § 6.2.

În [V8] s-au determinat experimental valorile rigidităților componente ale lui  $R_{STE}$  pentru un strung SP630NC. Funcția (6.22) s-a transformat în dependente de genul  $F_{cref} = f(l, \varnothing_i)$  și  $F_{cref} = f(z, \varnothing_i)$ .

Experimentările practice ale unei astfel de CA la strunjire au arătat că pentru diferite minime ale funcției tehnologice  $F_{cref}$  se obțin (fig.6.48) toate cazurile cunoscute de abateri dimensionale la diametrul  $\varnothing_i$  al piesei prelucrate.

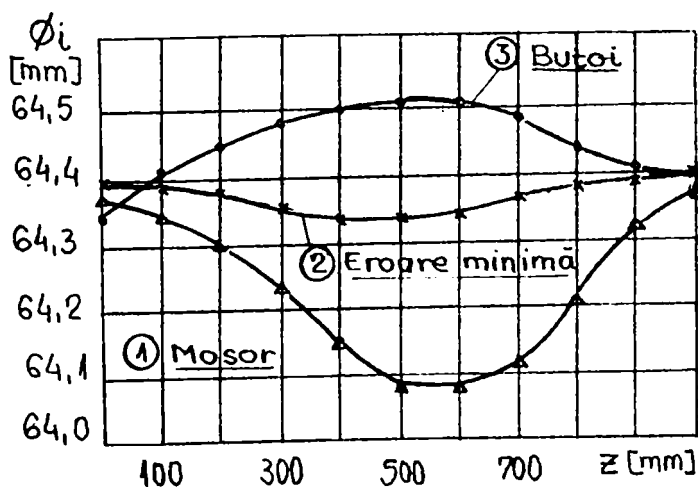


Fig.6.48  
Abaterile dimensionale ale pieselor strunjite

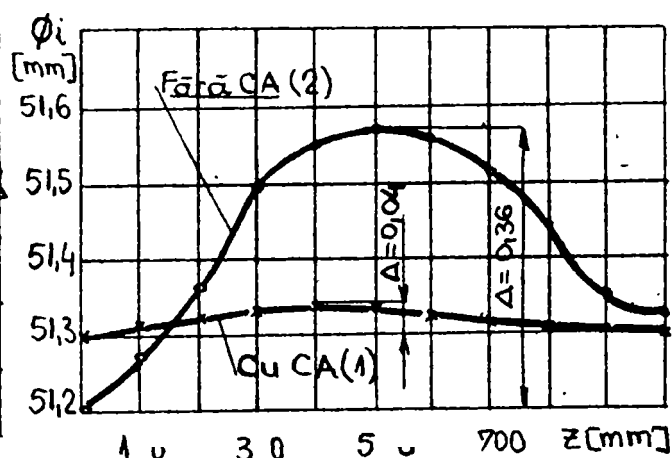


Fig.6.49  
Comparatie a abaterilor dimensionale ale piesei la strunjirea cu /fara SCA

Prelucrarea comparativă a două piese pe același strung, în aceleași condiții dar o dată cu CA (1) și a doua oară fără CA (2) (fig.6.49) a relevat că utilizarea CA cu sistem de încărcare optimizat conduce la micșorarea esențială a abaterii dimensionale de prelucrare și de formă.

## 6.4. Prelucrarea numerică a datelor experimentale

Evoluția cercetărilor legate de procesul de așchiere este marcată de o disjuncție majoră și anume cercetare științifică respectiv cercetare experimentală.

Spre exemplu, cercetările de optimizare ale procesului de așchiere duc la necesitatea calculului componentelor forței totale de așchiere. Componentele forțelor de așchiere se calculează cu ajutorul teoriei științifice a deformațiilor volumetrice a stratului așchiat care duce în final la relațiile [D15]:

$$F_c = \sigma_r \cdot a_p \cdot f \cdot K_{dc} + \mu_\alpha \cdot \sigma_c \cdot f_1 \cdot b_D \cdot K_{ec} \quad , \quad (6.25)$$

$$F_p = \mu_\gamma \cdot \sigma_r \cdot a_p \cdot f \cdot K_{dp} + \sigma_c \cdot f_1 \cdot b_D \cdot K_{ep} \quad , \quad (6.26)$$

$$F_f = \mu_\gamma \cdot \sigma_r \cdot a_p \cdot f \cdot K_{df} + \sigma_c \cdot f_1 \cdot b_D \cdot K_{ef} \quad , \quad (6.27)$$

unde  $K_{dc(p)(f)}$  și  $K_{ec(p)(f)}$  sunt funcții de:  $r_\varepsilon$ ,  $a_p$ ,  $\mu_\alpha$ ,  $\mu_\gamma$ ,  $\chi_r$ ,  $\chi_r'$ ,  $\alpha_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\lambda_T$ ,  $\mu_\alpha$ ,  $\mu_\gamma$  sunt coeficienți de frecare piesă-față de așezare a sculei,  $f_1$  este fațeta tăișului sculei,  $b_D$  este lățimea tăișului sculei în contact cu piesa iar  $\sigma_r$  și  $\sigma_c$  sunt caracteristicile mecanice ale materialului de prelucrat.

Deși exacte matematic, relațiile sunt inutilizabile practic pentru că în timpul procesului de așchiere chiar și “constantele”  $\sigma_r$ ,  $\sigma_c$ ,  $b_D$ ,  $f_1$  sunt variabile. De aceea, prin simplificări și neglijări de variabile practicienii au ajuns la relații de forma:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad , \quad (6.28)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{x_{F_p}} \cdot f^{y_{F_p}} \quad , \quad (6.29)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \quad , \quad (6.30)$$

sau chiar mai mult, la relații de forma:

$$F_c = C_F \cdot a_p^{x_F} \cdot f^{y_F} \quad , \quad (6.31)$$

$$F_p = (0,5 \div 0,7) \cdot F_c \quad , \quad (6.32)$$

$$F_f = (0,25 \div 0,45) \cdot F_c \quad , \quad (6.33)$$

relații care deși au ajuns ușor calculabile, dau rezultate departe de realitate în majoritatea cazurilor.

De aceea, pentru fiecare caz de rezolvat în parte, cercetătorii experimentali trebuie să caute relații proprii din masivele de date experimentale. Rezolvarea acestei probleme este de domeniul statisticii matematice. Literatura de specialitate abundă de metode de analiză a corelației fenomenelor studiate, de funcții de regresie liniară sau neliniară cu forme polinomiale și politropice, precum și de subrutine specializate pentru prelucrarea șirurilor de date obținute prin măsurări cu traductoare tensometrice rezistive (spre exemplu).

Spre exemplu, pentru modelarea matematică a forțelor de așchiere exprimată ca funcție generalizată:

$$F = \varphi(a_p, f, v_c, VB), \quad (6.34)$$

se poate utiliza relația polinomială cu coeficienți politropici:

$$F=q_0+q_1 \cdot a_p+q_2 \cdot f+q_3 \cdot v_c+q_4 \cdot VB+q_{12} \cdot a_p \cdot f+q_{13} \cdot a_p \cdot v_c+q_{14} \cdot a_p \cdot VB+q_{23} \cdot f \cdot v_c+q_{24} \cdot f \cdot VB+q_{34} \cdot v_c \cdot VB+q_{11} \cdot a_p^2+q_{22} \cdot f^2+q_{33} \cdot v_c^2+q_{44} \cdot VB^2, (6.35)$$

unde  $q_i$  sunt coeficienți politropici ce se determină pe baza unor experimente ortogonale.

Prelucrarea rezultatelor experimentale are la bază metoda celor mai mici pătrate iar după determinarea coeficienților de regresie se face analiza de regresie verificând adecvanța modelului, semnificația coeficienților de regresie, erorile statistice și intervalele de încredere.

Numărul mare de experimente din programul central permite utilizarea oricăror programe soft care rezolvă problema descrisă. Se pot obține pentru cazul experimental relații pentru forțe, uzură, rugozități etc.; funcție de necesitățile constructorului de mașini-unelte, cu CA și nu numai, care are nevoie de o bază tehnologică reală pentru optimizarea sistemului proiectat.

De exemplu, pentru oțelul 35MnSi12 normalizat la 190 HB strunjit cilindric exterior cu cuțit P20, cod -1,0,-1,0 s-au obținut relațiile:

$$\begin{aligned} - \text{ pentru forțe } - F_c = & +63,5-689,3 \cdot a_p-1211,6 \cdot f+0,15 \cdot v_c-219,8 \cdot VB-1861 \cdot a_p \cdot f+ \\ & +0,21 \cdot a_p \cdot v_c+0,29 \cdot a_p \cdot VB+0,1 \cdot f \cdot v_c-371 \cdot f \cdot VB-0,33 \cdot v_c \cdot VB+ \\ & +500,2 \cdot a_p^2-1881 \cdot f^2-0,001 \cdot v_c^2+1000 \cdot VB^2; \quad (6.36) \end{aligned}$$

- eroare maximă  $\varepsilon\%=6,6\%$  ;

-verificare pentru:  $a_p=3,5$  mm;  $f=0,45$  mm/rot;  $v=100$  m/min;  $VB=0,6$  min  $\Rightarrow F_c=1114,75$  N.

Din diagrama 6.30 rezultă pentru regimul de lucru fixat  $F_c=1150$  N și deci eroarea relativă este  $3,1\%<\varepsilon\%$  etc.

Din calculul teoretic [D15] tab.3.5 rezultă  $F_c=1264$  N și deci o eroare de  $10\%>\varepsilon\%$ .

Cu formule de tipul (6.31) și coeficienți spre exemplu din [P24] rezultă  $F_c=3513,26$  și deci eroare de  $205,5\%$ , deci complet eronat.

$$- \text{ pentru rugozitate } - R_z=44,66 \cdot v^{-0,15} \cdot f^{1,6} \cdot r_e^{-0,4} [\mu\text{m}]. \quad (6.37)$$

Pentru  $a_p=2$  mm,  $v=100$  rot/min,  $f=0,25$  mm/rot și  $r_e=1$  mm (vezi fig.6.30), se obține din relația (6.37) valoarea  $R_z=2,44$   $\mu\text{m}$ . Verificând rezultatele experimentale redate în figura 6.30 rezultă  $R_z=2,5$   $\mu\text{m}$  și deci eroare de  $2,6\%$  ceea ce certifică valabilitatea softwarelui de regresie folosit.

La cerere, folosind datele experimentale stocate pe dischete și un program de calculator dedicat(Statgraphics,Mathlab), se pot forma tabele sau orice relații de dependență între parametrii procesului de așchiere, cu condiția ca între aceștia să existe o relație iar testele de adecvanță și erorile statistice să fie îndeplinite.



## 6.5. Concluzii

Cercetările experimentale s-au desfășurat după un program central compus cu 25 de experiențe pentru trei materiale diferite de semifabricat și două tipuri de material de scule. Împreună cu experiențele privitoare la autovibrații, formarea așchiei și strunjirea cu cuțite profilate, numărul de încercări programate a depășit cifra 300.

Din interpretarea rezultatelor experimentale sunt de reținut:

- unghiul de forfecare  $\phi$  la detașarea așchiei este imprevizibil ceea ce face ca și efectele acestei variații, vibrații, uzuri ale sculei, variații ale forțelor de așchiere etc., să fie necontrolabile în procesul de așchiere;
- geometria sculei influențează cu precădere modul de detașare a așchiei și în special gradul de fărâmițare al așchiei, uzura sculei, durabilitatea acesteia și rugozitatea suprafeței prelucrate;
- pentru condițiile de lucru precizate în programul experimental, din coroborarea interdependențelor între parametrii geometrici ai sculei și economia de mijloace și efort de așchiere, se recomandă următoarele valori pentru geometria cuțitului de strung:  $\alpha_0=5^{\circ}\div 7^{\circ}$ ,  $\gamma_0=0^{\circ}\div 3^{\circ}$ ,  $\chi_r=60^{\circ}\div 70^{\circ}$ ,  $\chi_r'=10^{\circ}\div 15^{\circ}$ ,  $r_e=1,5\div 3$  mm,  $\lambda=-2^{\circ}\div 2^{\circ}$ ;
- parametrii regimului de așchiere au influența cea mai însemnată atât asupra stabilității dinamice a procesului de așchiere cât și asupra eforturilor de așchiere;
- se consideră ca optimă următoarea pereche de valori pentru parametrii regimului de așchiere:  $a_p=2,5\div 4$  mm,  $f=0,35\div 0,45$  mm/rot,  $v=80\div 100$  m/min, pentru oțeluri cu duritatea sub 280 HB, cuțite cu plăcuță P20;
- stabilitatea dinamică a procesului de așchiere este precară pe parcursul angajării cuțitului în așchie și în cazul variației parametrului  $a_p$ ;
- componentele forțelor de așchiere nu variază liniar nici măcar funcție de  $a_p$ , valoarea exponentului său  $x_F$  din formula empirică de calcul a forței este variabilă între  $0,6\div 1,4$  și nu egală cu 1 cum susține literatura de specialitate clasică; de asemenea exponentul  $y_F$  al parametrului  $f$  variază în plaja  $0,46\div 0,84$  și nu  $0,7\div 0,75$  [P16], [P24], [V3] etc.
- noile relații de calcul pentru  $F_c$  și  $F_p$  la strunjirea profilată cu avans transversal au valori în medie cu 25% mai mari [P7] decât cele din literatură [P16], [P24], [V3];
- orice studiu de optimizare a unui proces de așchiere este de neconceput fără informațiile referitoare la deformațiile STE, specifice fiecărei mașini-unealte în parte;
- rezultatele experimentale prelucrate grafic și apoi numeric automat au un procent de eroare sub cel estimat (6,6%) și sunt de natură să corijeze valorile coeficienților

și exponenților pentru calculul forțelor, uzurii, rugozității și durabilității existente în multe lucrări de specialitate;

- standul experimental constituit poate satisface orice cerință de măsurare în trei coordonate a fenomenelor din spațiul de lucru.

## 7. ALGORITM DE CONDUCERE ADAPTIVĂ DE OPTIMIZARE A PROCESULUI DE STRUNJIRE

### 7.1. Expresia funcției de transfer pentru optimizarea operației de strunjire

Problemele de optimizare ocupă un loc central în teoria modernă a sistemelor tehnico-ingineresti și economice. Optimizarea unor indicatori de performanță sau calitativi trebuie să fie o caracteristică a sistemului organizat care este procesul tehnologic, a cărui funcționare este posibilă sau rentabilă numai la valori extreme și în domenii înguste de variație a parametrilor tehnologici (vezi restricțiile din § 2.1.3.).

În rezolvarea problemei de optimizare, un important accent se pune pe diferiți algoritmi, bazați în special pe metodele algebrei liniare și neliniare, meniți să reducă efortul de calcul, costul proiectării, costul produsului și realizarea de sisteme conduse on-line prin calculatoare.

Chiar dacă evoluția rapidă în acest domeniu al optimizării proceselor de așchiere va face ca algoritmi de calcul care se vor propune să fie depășiți de soluții mai bune încă din momentul prezentării lor, ideile de bază vor fi utile, cu siguranță, pentru activitatea de viitor în domeniu.

Procesul de strunjire este un proces dinamic care evidențiază dependențele mărimilor de efort (forțe de așchiere, de deformare, momente de torsiune etc.) care iau naștere în timpul procesului de așchiere, de mărimile de intrare:  $a_p$ ,  $f$  și  $v_c$ . Conform cu problemele expuse în § 2.2.9. și §3.2, în cazul strunjirii de degroșare longitudinale exterioare, funcția scop de optimizare este descrisă de ecuația costului tehnologic unitar  $C_u$ , pusă sub forma (2.114). Atașând acestei funcții restricțiile sistemului tehnologic descrise prin expresiile (2.50)-(2.63) se obține modelul matematic neliniar cu variabile multiple și restricții care trebuie minimizat.

Urmărind indicațiile din capitolul 3 privind modalitățile de rezolvare a problemei de optimizare simultană în cazul conducerii automate a procesului de așchiere precum și metodele numerice de rezolvare a acestor probleme [B6], [B8], [B9], [B12], [D15], [M2], [S3] etc. se dezvoltă strategia de calcul prezentată în continuare:

a) - În ecuația costului tehnologic unitar (2.114), relativ la cazul concret al strunjirii în condițiile comenzii adaptive se pot considera:

- instalarea și reinstalarea STE se face manual odată pentru toate piesele din lot  $\Rightarrow$   
 $T_{pi}=0$ ;

- la prelucrarea pe MUCN și CA care se pretează la producția de unicate și serie mică, durata prelucrării lotului de piese fiind redusă, toate variabilele de tip economic se pot considera ca și constante ( $a_{cp}$ ,  $a_{rm}$ ,  $a_{cp}'$ ,  $a_{rr}$ , B), ele fiind reinițializate periodic funcție de conjunctura economică în care funcționează agentul economic posesor de astfel de sisteme de prelucrare;
- pentru un lot de piese dat, parametrii de precizie dimensională și de calitate ai suprafeței sunt constanți pentru toate piesele din lot ( $\delta$ ,  $\varepsilon_s$ ,  $\delta_l$ ,  $\delta_{di}$ ,  $k_{di}$ ,  $\beta_i$  sunt constante);
- pentru fiecare sculă în parte  $\Delta_1^0$ ,  $C_{vh}$ ,  $h_{ra}$  și pentru fiecare lot de piese, la introducerea valorilor de material piesă, automat se poate face reinițializarea datelor ca și constante pentru faza curentă;
- pentru fiecare fază de strunjire cilindrică, diametrul D și lungimea L de prelucrat sunt definite prin programul piesei introdus în memoria calculatorului și deci în momentul trecerii la prelucrarea acelei faze, L și D sunt constante;
- timpii necesari trecerilor de reinstalare pentru o piesă dată depind de performanțele mașinii-unelte și de ciclul deplasărilor impus de programul piesă, deci el se calculează automat.

În aceste condiții relația (2.114) pentru o fază de prelucrare prin strunjire devine:

$$C_u = \frac{k_{1i}}{v \cdot f} + k_{2i} \cdot f^{u_f-1} \cdot a_p^{u_a} \cdot v^{u_v-1} \left\{ \left[ k_{3i} + \frac{k_{4i} (k_{5i} \cdot v^{-u_v} + k_{6i} \cdot a_p^{u_a} \cdot f^{u_f})}{f^{u_f} \cdot a_p^{u_a}} \right] \cdot k_{7i} + k_{8i} \right\} + k_{9i} \quad (7.1)$$

unde constantele  $k_{ji}$  se calculează automat de blocul de calcul al mașinii-unelte:

$$k_{1i} = k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_{13} = (\pi/10^3) \cdot (D \cdot L_p) \cdot (a_{cp} + a_{rm}); \quad (7.2)$$

$$k_{2i} = k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_{21} = (\pi/2 \cdot 10^3) \cdot (D \cdot L_p) \cdot (C_{vh}/h_{ra}); \quad (7.3)$$

$$k_{3i} = t_{is} \quad (7.4)$$

$$k_{4i} = \frac{k_{42}}{k_{21} \cdot k_{41}} = \frac{(k_{di} \cdot \delta_{di}^{\beta_i})}{k_{21} \cdot [\delta - (\varepsilon_s + \delta_l + \delta_{di})]} \quad (7.5)$$

$$k_{5i} = k_{51} \quad (7.6)$$

$$k_{6i} = k_{61} \cdot k_{62} = (C_{vh}) \cdot (\text{tg} \alpha_f) \quad (7.7)$$

$$k_{7i} = k_{71} = (a_{cp}' + a_{rm} + a_{rr}) \quad (7.8)$$

$$k_{8i} = k_{81} = B \quad (7.9)$$

$$k_{9i} = k_{91} \cdot k_{92} = (T_{su}) \cdot (a_{cp}' + a_{rm}) \quad (7.10)$$

Operând matematic în ecuația (7.1) se ajunge la forma:

$$C_u = K_0 + K_1 \cdot f^{-1} \cdot v^{-1} + K_2 \cdot a_p \cdot f^{u_f-1} \cdot v^{u_v-1} \quad (7.11)$$

unde constantele  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  rezultă din dezvoltarea ecuației (7.1) și regruparea termenilor și coeficienților constanți. Ecuația (7.1) este deci de forma generală

(2.72) sau (2.131) (incluzând și cazul particular (2.92) dar cu prezența și celui de al treilea parametru  $a_p$ ).

Etapele de definire a tuturor parametrilor și a condițiilor au dus la identificarea tuturor variabilelor atât stabilizate cât și aleatorii ale procesului de așchiere precum și ierarhizarea variabilelor după gradul de influență a funcției obiectiv. Analizând ecuația (7.11) și coroborând rezultatele cu datele experimentale din capitolul 6, se concluzionează că ordinea de influență este:  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$ , dacă ne referim doar la variabilele independente (de decizie) dintre cele identificate ca având ponderi majore.

Rezolvarea ecuației (7.11) este de neconceput fără programe software de calculator adecvate sistemelor neliniare multivariabile cu restricții. Rezultatul îl va reprezenta localizarea punctului de extrem al funcției  $C_u$  în domeniul admisibil.

Problema restricțiilor de tip inegalitate (2.51)-(2.63) este soluționată utilizând derivate direcționale. Reducând problema la 3 variabile independente, înseamnă că atât funcția obiectiv cât și restricțiile necesită diferențiabilitate de ordinul 3.

Reducerea numărului de restricții doar la două, puse sub forma (2.64) și (2.65) face ca problema de optimizare să fie mai ușor de rezolvat dar soluțiile ei vor avea un grad de încredere mai mic.

Adoptarea unei strategii sau a alteia depinde de cerințele proiectantului de CA pentru mașina-unealtă.

## 7.2. Algoritm de conducere optimală

În cele ce urmează se propune următorul algoritm de optimizare:

1. - În funcție de forma piesei și a condițiilor tehnice înscrise în desenul de execuție al piesei, se stabilește itinerarul tehnologic;
2. - Se calculează adaosul de prelucrare sau se alege din normative utilizând un program de calcul, respectiv de căutare în băncile de date (§ 5.1.);
3. - Se calculează adâncimea de așchiere  $a_p$  și numărul de treceri  $i$  după algoritmul propus în §5.5;
4. - Se calculează avansul din condiția (2.64):

$$f \leq y_{F_c} \sqrt{\frac{F_{adm}}{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}}}},$$

unde  $F_{adm}$  - este stabilit din condiții de rigiditate și stabilitate a mașinii-unelte așa cum se prezintă în [V3];  $y_{F_c}$ ,  $x_{F_c}$ ,  $C_{F_c}$  sunt cunoscute pe baza rezultatelor experimentale din capitolul 6, care se pun la dispoziție ca bază de date tehnologice;

- Avansul  $f$  se poate calcula și cu relația:

$$f = C_f \cdot D^{x_f}, \quad (7.12)$$

unde  $D$  – diametrul piesei prelucrat în faza curentă,  $C_f$ ,  $x_f$  – se pun la dispoziție din prelucrarea masivelor de date experimentale;

- valoarea lui  $f$  se fixează la cea mai apropiată valoare existentă în gama de avansuri a strungului;

5. – Se verifică restricțiile (2.53), (2.57), exceptând (2.56) pentru care nu se dispune de bază de date concludentă și inegalitățile (2.62) și (2.63).

- Dacă avansul nu verifică una sau mai multe restricții, valoarea acestuia se reinițializează cu valoarea imediat sub aceea reieșită din restricția cea mai drastică, dar existentă în gama de avansuri a mașinii-unelte.

- Pentru avansul recalculat, eventual, se recalculează  $a_p$  și se introduce în bucla algoritmului de calcul a numărului de treceri, cu valoarea  $a_p$  ieșită din buclă se reia calculul de la punctul 4. În caz de imposibilitate se dă mesaj și se cheamă programatorul;

6. – Se calculează  $v$  și respectiv  $n$  din relația de restricție a durabilității cuțitului de strung (2.50) sau alte forme ale acesteia;

7. – Se verifică restricțiile pentru  $n$ : (2.60), (2.61), (2.51) și (2.52) și dacă se poate se alege turația din gama de avansuri a mașinii-unelte.

- Dacă  $v$  nu verifică relațiile se procedează ca la punctul 4 cu recalcularea durabilității cuțitului de strung;

8. – Se calculează valoarea funcției (7.11) pentru costul unitar  $C_u$  și se verifică dacă valoarea se află în zona optimală. Dacă nu, din relația costului se calculează pentru  $f$  și  $v$  fixați anterior care este valoarea lui  $a_p$  care satisface  $C_{u\min}$  și se reintroduce în algoritm în punctul 2.

Ciclul de calcul se repetă până la satisfacerea tuturor condițiilor și restricțiilor tehnologice impuse, fapt certificat de validarea unei triplete  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$ .

9. - Se calculează valorile de referință pentru componentele forței de așchiere ( $F_{ref}$ ) cu relațiile (2.28)÷(2.30) sau mai exact cu relațiile polinomiale experimentale deduse (6.35).

Valorile obținute sunt cele care se transmit ca referință pentru sistemul de urmărire al CA.

10. – Valorile forțelor măsurate în procesul de așchiere se compară cu cele de referință iar diferența,  $\Delta F = F_{ref} - F$ , mai mare în modul decât cea admisă, constituie reacția sistemului de conducere cu buclă închisă. Semnalul de reacție se transmite blocului de calcul de optimizare a parametrilor de regim care va căuta să aducă din nou forțele de așchiere din proces la valoarea impusă  $F_{ref}$ .



Problema adaptării regimului de aşchiere, în continuare poate urma mai multe căi, după cum se cere prin tema de proiectare a MUCN și CA sau după cum tehnica la zi permite constructorului de mașini-unelte să adopte o soluție sau alta.

Continuăm dezvoltarea strategiei în condițiile în care ar fi posibilă o CA generalizată care permite conducerea a trei parametri de regim  $a_p$ ,  $f$  și  $v$ .

11.a. – Se calculează mărimea cu care trebuie modificată adâncimea de aşchiere  $\Delta a_p$  din condiția satisfacerii diferenței  $|F_{ref}-F|$  (prin  $F_{ref}$  și  $F$  se înțelege oricare din componentele forței de aşchiere).

- această strategie se adoptă doar dacă  $i \geq 2$ , dacă nu:

11.b. – Se calculează  $\Delta f$  pe baza diferenței  $\Delta F$  sau:

11.c. – Se calculează  $\Delta v$  pe baza diferenței  $\Delta F$ .

12. – Se face suma algebrică între parametrul existent și diferența rezultată din calculul de la punctul 11 corespunzător cazului considerat. Cu noua valoare a parametrului se reia calculul restricțiilor aferente.

13. - În cazul în care noua valoare a parametrilor este validată, se comandă reinstalarea noilor parametri și așa mai departe până la terminarea prelucrării sau prelucrărilor.

Detalierea etapelor 11÷13 presupune precizarea cazului concret supus adaptării.

Ca observație practică, problema adaptării simultane a celor trei parametri de regim, deși posibilă, este prea costisitoare și prea complicată pentru construcția de mașini-unelte. Cel mai probabil, instalarea tuturor parametrilor este necesară doar în momentele de inițializare a fazei de strunjire iar pentru adaptare este suficientă comanda a doi parametri (în ordinea ponderilor) sau a unuia singur (în acest caz  $f$  sau  $v$ ).

### 7.3. Concluzii

Până în prezent se cunoaște că s-au oferit doar câteva strunguri cu CA, toate având ca mărime de execuție doar un parametru de regim de aşchiere,  $f$ , iar ca parametru măsurat, respectiv reglat, fie momentul la arborele principal, fie puterea de aşchiere sau componenta forței de aşchiere  $F_c$ .

Soluția prezentată oferă posibilitatea de conducere optimală a operației la strunjire considerând trei parametri din proces, adâncimea de aşchiere  $a_p$ , avansul longitudinal  $f$  și viteza principală de aşchiere  $v_c$ .

Parametrul controlat în aşchiere s-a considerat a fi una din componentele forței totale de aşchiere  $F_c$ ,  $F_p$  sau  $F_f$  pentru care se dispune de baza de date tehnologice ca urmare a rezultatelor experimentelor proprii care completează

informațiile referitoare la rigiditatea și indicatorii de stabilitate a strungului SN 400 existente deja în literatura de specialitate menționată.

Întrucât rezolvarea problemelor de proiectare algoritmică a sistemelor de reglare automată se face în special prin procedee iterative de calcul aparținând programării matematice liniare (matematica neliniară nu a evidențiat încă vreun software competitiv în aplicațiile ingineresti), necesitatea calculatoarelor de proces devine evidentă. Rezultă că implementarea unor tehnici de optimizare bazate pe căutare (sistemul Bendix) este posibilă doar la mașini-unelte care dispun de sisteme CNC sau măcar NC.

Utilizând metodele statisticii matematice, este nevoie de un volum mare de date experimentale pentru a oferi soluții credibile și de aceea, măsurarea unei singure mărimi de ieșire din procesul de așchiere s-ar putea să nu fie suficient. Pentru aceasta, se propune dublarea parametrilor controlați cu: valoarea uzurii VB, mărimea frecvenței de vibrație a strungului sau temperatura în zona de așchiere. Pentru o parte din acești parametri lucrarea de față dispune de suficiente informații tehnologice astfel încât se pot construi sisteme paralele adjuvante, de validare a funcționării sistemului principal bazat pe măsurarea și reglarea forțelor de așchiere.

Algoritmul de optimizare propus corespunde pentru conducerea în timp real a procesului de strunjire întrucât informațiile evolutive în timp între intrarea și ieșirea din sistemul tehnologic sunt preluate sub formă de flux de date și prelucrate prin sarcini software.

Algoritmul propus este flexibil, el poate răspunde atât cererii proiectanților de mașini-unelte cât și disponibilităților oferite de noile dezvoltări software în domeniul rezolvării problemelor de optimizare neliniară cu restricții.

## 8. CONCLUZII GENERALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE

### 8.1. Sinteza rezultatelor teoretice și experimentale

#### A. Concluzii teoretice

1. Activitatea de producție din domeniul bunurilor materiale are obligația de a ridica calitatea produselor menținând un cost atractiv al acestora. Doar folosirea la maxim a mașinii-unelte și alegerea celor mai performante tehnologii de prelucrare pot răspunde scopului economic “cel mai bun produs, obținut de prima dată, în cel mai scurt timp”.

Dezideratele de mai sus se pot împlini prin optimizarea proceselor de prelucrare. Optimul tehnico-economic este un bun compromis între tehnic și economic care depinde de un mare număr de factori: tipul de mașină-unealtă utilizată, piesa de prelucrat, sculele, dispozitivele și tehnologiile utilizate etc.

Fiecare tip de mașină-unealtă necesită un studiu individual pentru că există atât metode de calcul de optimizare cât și metode experimentale de optimizare prin încercări succesive, deci metode general valabile pentru proiectarea optimală nu există.

Din motivele arătate, realizarea de mașini-unelte cu comenzi adaptive este o preocupare intensă pe plan mondial menită să pună bazele fabricației inteligente în CIM-urile uzinelor automate ale anilor 2050.

2. În cadrul tezei s-au analizat performanțele obținute de strungurile cu CA, multe din ele aflate încă în stadiu de laborator și s-a constatat că problema fundamentală a unei CA o constituie stabilirea unei mărimi de referință controlabilă în procesul de așchiere care să asigure obținerea unui criteriu de performanță al prelucrării, de regulă, de natura economică.

3. Pentru conducerea optimală a procesului de strunjire se impune optimizarea parametrilor de regim ai acestuia.

4. Calculul actual al regimului de așchiere la strunjire nu este unul optimal ci bazat pe relații experimentale sau valori tabelate, care nu iau în considerare importante fenomene intime prelucrării (parametrii geometrici ai sculei și uzura sa, temperatura de așchiere, vibrațiile etc.).

5. Toate metodele de optimizare cunoscute nu tratează optimizarea operației de strunjire în ansamblul ei ci doar fazele de așchiere, rezultatul optimizării fiind obținerea unei corelații între cel mult doi parametri ai regimului de lucru, de

regulă între  $f$  și  $v$ ,  $a_p$  considerându-se aprioric egal cu adaosul de prelucrare (lucru inexact și adesea neeconomic).

6. Toate teoriile de optimizare tehnologică studiate nu se referă la sisteme cu CA și nu explicitează funcția obiectiv sau parametrii de execuție din proces funcție de o mărime controlabilă și deci utilizabilă în conducerea adaptivă a mașinii-unelte.

7. Dintre mărimile măsurabile în procesul de așchiere care-l modelează cel mai fidel, doar componenta forță de așchiere  $F_c$ , temperatura de așchiere  $\theta$  (sau tensiunea termoelectromotoare  $E$ ), criteriul de uzură VB al cuțitului, parametrul de rugozitate  $R_a$  și amplitudinea autovibrațiilor, pot fi incluse în ecuațiile funcției obiectiv, dar puține dintre acestea dispun de tehnici de măsurare cu soluții viabile industrial.

8. Orice algoritm pentru comanda adaptivă care să răspundă posibilităților de optimizare a procesului de așchiere are ca deficiență imposibilitatea instalării unui parametru. Acest parametru este adâncimea de așchiere  $a_p$  considerat quasiunanim ca independent.

9. Pentru calculul adâncimii de așchiere și a numărului de treceri ( $i$ ), s-a conceput o ordinogramă tradusă într-un program de calcul și alegere a parametrilor menționați.

10. Pentru calculul adaosului de prelucrare s-a prevăzut o strategie bazată pe calcul și biblioteci de date normative.

11. Datorită faptului că forțele de așchiere modelează bine procesul de așchiere și se pretează la măsurare în timp real, acestea au fost alese ca mărimi controlabile. Avantajele acestei alegeri sunt:

- forțele pot fi măsurate precis în timpul procesului de așchiere;
- cunoașterea forțelor din așchiere asigură cunoașterea stării de solicitare a STE fără să fie necesare alte măsurări speciale;
- asigură diagnosticarea stării de uzură a cuțitului de strung.

12. Analiza tipurilor de traductoare și a soluțiilor de construcții de captori de forță a condus la soluții și construcții proprii de astfel de componente de măsurare.

13. Analiza teoretică a cauzelor detașării așchiei a condus la concluzia că examinarea rădăcinii de așchie poate oferi răspunsuri cu privire la intimitatea fenomenului de așchiere.

14. Multitudinea factorilor care intervin în stabilizarea procesului de așchiere, au condus la emiterea unor ipoteze cu privire la natura autovibrațiilor la strunjire și s-a propus studierea acestor vibrații cu mijloace proprii.

15. În lucrare s-au stabilit expresiile generale ale componentelor forței de așchiere.

## B. Rezultate experimentale

1. Algoritmul teoretic pentru calculul adâncimii de aşchiere şi al numărului de treceri s-a transpus în program de calculator. Rularea acestui program a dat bune rezultate în special la piesele de diametre peste 200 mm, forjate şi turnate. Programul se consideră bun şi capabil de performanţe superioare în cazul în care se dispune şi de un program de calcul al adaosului de prelucrare cu o bază de date mult mai cuprinzătoare decât cel experimentat pentru exemplificare.

2. Pentru calculul forţei de aşchiere de referinţă, în baza datelor experimentale proprii s-a conceput un program software de modelare a componentelor forţei de aşchiere. Rezultatele obţinute cu acest program sunt sub eroarea admisă (3%).

3. Pentru prelucrarea automată a rezultatelor experimentale (componentele forţei totale de aşchiere) sub formă de grafice şi calcule de coeficienţi s-a conceput şi aplicat un protocol specializat de achiziţie şi prelucrare.

4. Pentru studiul rădăcinii de aşchie s-a proiectat, executat şi încercat un dispozitiv de întrerupere bruscă a aşchierii. Rezultatul experienţelor a constatat în elucidarea unor aspecte privind procesul de formare a aşchiei şi în precizarea fermă a impredictibilităţii direcţiei de forfecare la baza aşchiei.

5. Pentru studiul autovibraţiilor constatate în timpul strunjirii s-a conceput şi construit, împreună cu un colectiv, un dispozitiv dinamometric. Experimentările au evidenţiat existenţa unui puternic proces vibrator în timpul aşchierii.

6. Programul central experimental a cuprins peste 250 de experimente planificate, executate pe un stand propriu dotat cu sistem automat de achiziţie a datelor rezultate în urma experimentelor. Dintre rezultatele cercetării experimentale amintim pe cele esenţiale:

- variaţia unghiului  $\varnothing$  sub care se foarfecă aşchia are ca efecte vibraţii ale STE, variaţii substanţiale ale valorilor forţelor de aşchiere, uzura prematură a sculei etc.;

- geometria sculei are o importanţă majoră asupra gradului de fărâmiţare al aşchiei, a uzurii sculei pe faţa de aşezare şi pe faţa de degajare şi a rugozităţii suprafeţei aşchiate dar şi asupra forţelor de aşchiere;

- pentru condiţii concrete de experimentare s-au putut recomanda valorile optime atât pentru geometria sculei cât şi pentru parametrii regimului de aşchiere;

- stabilitatea dinamică a procesului de aşchiere suferă modificări importante pe durata scurtă de timp în care scula se angajează în aşchiere (la ieşirea din aşchiere fenomenul este practic inexistent), dar şi în cazul în care apar variaţii importante ale adâncimii de aşchiere, atât continue cât şi discontinue;



- componentele forțelor de așchiere nu variază liniar la variația liniară a adâncimii de așchiere așa cum prezintă marea majoritate a literaturii de specialitate;

- la strunjirea cu avans transversal, s-au obținut valori ale forțelor cu 20÷25% mai mari decât cele calculate cu relațiile din literatura de specialitate; acest lucru explică deseori ruperi de sculă întâlnite la acest tip de prelucrare;

- mărirea vitezei de așchiere conduce la o micșorare a forțelor de așchiere cu circa 20% ceea ce contrazice atât teoriile din stabilitatea dinamică a strunjirii cât mai ales mărimea ponderii de importanță a factorului viteză (clasat pe ultimul loc în urma calculului statistic).;

- standul experimental de achiziție automată a datelor poate satisface orice cerință de măsurare în trei coordonate a fenomenelor din spațiul procesului de așchiere;

- deformațiile STE induc influențe importante în mecanismul procesului de așchiere; un studiu de optimizare fără considerarea rigidității STE este de neconceput.

7. Soluția de optimizare cu considerarea criteriului cost tehnologic unitar minim oferă (prin funcția scop și algoritmul iterativ de rezolvare a sa) posibilitatea teoretică de a conduce optimal quasisimultan cei trei parametri ai regimului de așchiere.

## 2. Contribuții originale

1. Proiectarea, execuția și încercarea unui dispozitiv de întrerupere instantanee a așchierii la strunjirea longitudinală, frontală și alezare, necesar studiului procesului de formare a așchiei și a rădăcinii așchiei.

2. Proiectarea, execuția, etalonarea și experimentarea unui dinamometru cu timbre electrezistive pentru studiul autovibrațiilor la strunjire, împreună cu un colectiv – Brevet de inovație [P20].

3. Proiectarea, execuția, etalonarea și experimentarea unui dinamometru cu timbre electrezistive pentru măsurarea a două componente ale forței de așchiere la frezare, împreună cu un colectiv – Brevet de inovație [G8].

4. Proiectarea, execuția, etalonarea și experimentarea unui dispozitiv dinamometric cu timbre electrezistive pentru măsurarea simultană a trei componente ortogonale ale forței de așchiere la strunjire.

5. Proiectarea, execuția, etalonarea și experimentarea unui sistem automat de achiziție și prelucrare quasisimultană pe trei canale a rezultatelor experimentale la strunjire. Acest sistem înglobează următoarele elemente de originalitate:



- convertorul analog –digital cu 4 canale (trei active);
- demultiplexorul;
- sistemul automat de comutare succesivă a canalelor punții de măsurare cu relee de comandă și temporizare;
- programul software de achiziție și prelucrare a datelor experimentale scris în cod mașină în limbaj TURBO PASCAL 3.0 și implementat pe un microcalculator TIM-S Plus.

6. Arhitectura structurală a sistemului automat de achiziție a datelor și folosirea programării în cod mașină face ca pentru viteza de desfășurare a fenomenelor la strunjire, prelucrarea semnalelor să fie executată practic în timp real (5  $\mu$ s), (on-line). Pe cei doi biți de ieșire liberi ai demultiplexorului se poate transmite un semnal de comandă către un eventual element de execuție din cadrul comenzii adaptive a strungului.

7. Stabilirea funcției de transfer pentru optimizarea a trei parametri ai regimului de așchiere la strunjirea longitudinală.

8. Stabilirea algoritmului de căutare iterativă a tripletei de valori  $a_p$ ,  $f$ ,  $v$  care să asigure minimizarea funcției cost tehnologic unitar pe operație  $C_u$ .

9. Stabilirea ecuației generale de regresie cu coeficienți polinomiali politropici pentru modelarea analitică a expresiei forțelor de așchiere pe baza unui program planificat central de experimentări.

Se menționează că rezultatele obținute prin experimentările cu dispozitivele dinamometrice și standurile concepute, au făcut parte din protocoalele de finalizare a trei contracte de cercetare științifică cu întreprinderi din țară, cu participarea autorului în perioada 1984-1990, [\*19], [\*20], [\*21].

Autorul apreciază, că prin problematica abordată și rezultatele obținute în cercetarea teoretică și practică, a elucidat anumite laturi ale bazei tehnologice necesare oricărei încercări de conducere automată a a procesului de așchiere și că prin aspectele semnalate dar nerezolvate în totalitate, a prefigurat noi căi de cercetare în acest domeniu de viitor, pentru mașini-unelte, sisteme de mașini și prelucrări prin așchiere.

## BIBLIOGRAFIE

- [A1] Aelenei, M.Gheghea, I., Probleme de mașini-unelte și de așchiere, Editura Tehnică, București, 1985
- [A2] Albu, A., ș.a., Programarea asistată de calculator a mașinilor-unelte, Editura Tehnică, București, 1980
- [A3] Arhip, M., Botu, A., Sisteme de comandă adaptivă la mașinile-unelte, ANC-20 A, Editura Tehnică, București, 1975
- [A4] Arșinov, V.A., ș.a., Rezanie i rejușcii instrument, Mașinostroenie, Moskva, 1976
- [B1] Babuția, I., ș.a., Automatizări electronice în construcția de mașini, Editura Facla, București, 1983
- [B2] Bagard, P., Palleau, M., Pour fabriquer les outillages, on gagne a les usiner a grande vitesse , CETIM, - Information, nr.142, febr.1995
- [B3] Bagiu, L., Toleranțe și ajustaje, Editura Helicon, Timișoara, 1994
- [B4] Balacsin, B.S., ș.a., Adaptivnîie upravlenia stankami, Mașinostroenie, Moskva, 1973
- [B5] Balacsin, B.S., Perspectivele utilizării sistemului de comandă adaptivă la mașini-unelte pentru comanda și optimizarea proceselor tehnologice, Fertigungs tehnic und Betrieb, vol.21
- [B6] Barbu, V., Metode matematice în optimizarea sistemelor diferențiale, Editura Academiei RSR, București, 1983
- [B7] Belous, V., Creația tehnică în construcția de mașini. Inventica, Editura Junimea, Iași, 1986
- [B8] Belea, C., Varldomei, M., Metode algebrice și algoritmi de sinteză optimală a sistemelor dinamice, Editura Academiei RSR, București, 1985
- [B9] Borangiu, Th.,ș.a., Structuri moderne de conducere automată a mașinilor-unelte, Editura Tehnică, București, 1982
- [B10] Boangiu, G., ș.a., Mașini-unelte și agregate, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
- [B11] Boroș, E., ș.a., Introducere în optimizarea liniară și aplicații, Editura Facla, Timișoara, 1979
- [B12] Brăgaru, A., ș.a., Optimizarea proceselor și echipamentelor tehnologice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996
- [B13] Buzdugan, G., Rezistența materialelor, Editura Tehnică, București, 1980
- [C1] Călin, S., ș.a., Sisteme automate adaptive, Editura Tehnică, București, 1971

- [C2] Călin, S., ș.a., Reglarea numerică a proceselor tehnologice, Editura Tehnică, București, 1984
- [C3] Călin, S., ș.a., Sisteme automate numerice, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1984
- [C4] Căpățînă, O., ș.a., Proiectarea cu microprocesoare, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1983
- [C5] Cernetki, V.I., ș.a., Metode matematice și algoritmi în studiul sistemelor automate, Editura Tehnică, București, 1973
- [C6] Chiricescu, S., Stabilitatea în dinamica aşchierii metalelor, Editura Academiei, București, 1984
- [C7] Chişiu, A., Matesian, D., Organe de maşini, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [C8] Ciocârdia, C., Ungureanu, I., Bazele cercetării experimentale în tehnologia construcțiilor de maşini, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- [C9] Constantinescu, I.N., Măsurarea mărimilor mecanice cu ajutorul tensometriei, Editura Tehnică, București, 1989
- [C10] Constantinescu, I., ș.a., Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice, Editura Tehnică, București, 1980
- [D1] Dancea, I., Metode de optimizare, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1976
- [D2] Davidoviciu, A., ș.a., Minicalculatoarele și macrocalculatoarele în conducerea proceselor industriale, Editura Tehnică, București, 1983
- [D3] Dodon, E., Grozav, I., Optimizarea regimului de aşchiere la frezare pe baza criteriului costului minim, Sesiunea de Comunicări Științifice, Arad, mai, 1986
- [D4] Dodon, E., Asupra reglării automate a regimului de aşchiere la strunjire, Teză de Doctorat, I.P. București, 1960
- [D5] Dodon, E., ș.a., Colaborare la realizarea strungului normal cu comandă adaptivă, Contract de cercetare ICPMUA, București, 1973
- [D6] Dodon, E., La determinazione della rigidezza dinamica dei torni, Macchine utensili Nr.4., Milano, 1964
- [D7] Dodon, E., Maşini-unelte și agregate, Vol.I, Litografia U.P.Timişoara, 1988
- [D8] Dragu, I., ș.a., Circuite integrate liniare. Amplificatori operaționali, Editura Militară, București, 1981
- [D9] Dragu, I., ș.a., Prelucrarea numerică a semnalelor discrete în timp, Editura Militară, București, 1985
- [D10] Drăghici, G., Tehnologia construcțiilor de maşini, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984

- [D11] Dreucean, A., ș.a., Mașini-unelte și control dimensional, Centrul de Multiplicare U.P.Timișoara, 1984
- [D12] Dreucean, A., ș.a., Îndrumător pentru lucrări de laborator la BAGS și MUCD, Vol.I, II, Litografia U.P.Timișoara, 1995
- [D13] Duca, Z., Contribuții la metoda de calcul a regimurilor optime de așchiere, Buletin Științific I.P.București, Tom XIX, Fasc.1-2, 1957
- [D14] Duca, Z., Bazele teoretice ale prelucrării pe mașini-unelte, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969
- [D15] Dumitraș, C., ș.a., Așchiera metalelor și fiabilitatea sculelor așchietoare, Editura Tehnică, București, 1983
- [D16] Dumitrescu, S., ș.a., Aplicații ingineresti ale calculatoarelor. Calculatoare de proces, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977
- [D17] David, T., Bagiu, L., Toleranțe și măsurări tehnice, Vol.I, CM-UP Timișoara, 1992
- [E1] Enache, S., Studiul uzurii cuțitelor din oțel rapid și armate cu plăcuțe din carburi metalice, Revista Construcției de Mașini, nr.11/1973
- [E2] Etin, A., Rasciot i regulirovanie rejimov rezanie dlea obrabotki nametalorejuscih stankah, Vesnik Mașinostroienia, nr.5, 7 – 1972
- [E3] Eliasberg, M.E., Savinov, I.A., Experimentanoe opredelenie parametrov obrabotivaenovo materiala, vlianischi na ustricinosti protiv autokolebanii I rascet stankov, În stanki instrument, nr.12, p.23, 1979
- [F1] Florea, S., ș.a., Electronică industrială și automatizări, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
- [F2] Fletcher, R., Methods for nonlinear constraints, Academic Press, London, 1982
- [G1] Ganea, M., Probleme ale comenzii adaptive a vitezei la mașini de găurit și centre de prelucrare, Teză de Doctorat, U.P.Timișoara, 1985
- [G2] Gavrilaș, S., ș.a., Îndrumar pentru proiectarea tehnologiilor pe strunguri, I.P.București, 1974
- [G3] Gibson, I.E., Sisteme automate neliniare, Editura Tehnică, București, 1974
- [G4] Gill, P.E., ș.a., Practical Optimization, Academic Press, New York, 1981
- [G5] Gill, P.E., ș.a., Software for constrained optimization, Academic Press, London 1982
- [G6] Gonzales, P., La commande numerique par calculator, Editura Casteilla, Paris, 1993
- [G7] Grosu, F., Comanda adaptivă a avansului la mașina de găurit, Teză de Doctorat, Timișoara, 1985

- [G8] Grozav, I., Pămîntaş, E., Dinamometru pentru studiul dinamicii procesului de găurire, Sesiunea de Comunicări Științifice "Electromotor", Timișoara, 1986
- [G9] Grozav, I., Comanda adaptivă a avansului la mașini de frezat orizontale cu consolă, Teză de Doctorat, Timișoara, 1997
- [G10] Grozav, I., Putz, V., Pămîntaş, E., Dinamometru pentru studiul dinamicii procesului de frezare, Brevet inovație I.P.T. nr.389/27.05.1986
- [G11] Grozav, I., Putz, V., Pămîntaş, E., Dinamometru pentru studiul dinamicii procesului de găurire, Brevet inovație I.P.T. nr.390/27.05.1986
- [H1] Heath, W.S.A. System Executive for Real-Time Microcomputer Programs, IEEE MICRO, Iunie, 1984
- [H2] Hemenway, J.E., Advanced 16-Bit Operating System Handles Multiplie. Tasks in Real Time, Microprocessors and Microsystems, Vol.7, no 8, 1983
- [H3] Hoshi, T., Measurement of cutting dynamics in orthogonal cutting condition, Research report submitted to Ma T. C. of CIRP, Martie, 1975
- [I1] Ionescu, G., ș.a., Traductoare pentru automatizări industriale, Vol.I, Editura Tehnică, București, 1985
- [I2] Ivan, M., ș.a., Mașini-unelte și control dimensional, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [I3] Ispas, C., ș.a., Studiul fiabilității funcționale a centrelor de prelucrare, Lucrare Conferința I de DPCACM, I.P.București, 1985
- [K1] Kapajiotidis, N., Adaptive Control (AC), E.T. in Fertigung, nr.63-1973
- [K2] Kauffman, B., Schmidt, H.I.Erhöhen der Zuverlässigkeiten und Genauigkeit von Werkzeugmaschinen. Integration von Messsystem, Werkstatt und Betrieb 114 nr.18, 1981
- [K3] König, E., Depireux, W.R., Cum se pot optimiza avansul și viteza de aşchiere, IndustrieAnzeiger nr.61/1969, Aachen
- [K4] Kovacs, A., Stand pentru achiziția componentelor forței de frezare, Analele Universității Oradea, 1995
- [K5] Kovali, A.V. Adaptivanaia sistema upravlenia s organiciem avlocolebanii stanka, stanki i instrument, nr.2, 1980
- [K6] Kovan, M.V.,ș.a., Fundamentals of manufacturing engineering, Mir Publishess, Moscow, 1985
- [K7] Kuo, B., Sisteme cu eşantionare, Editura Tehnică, București, 1968
- [L1] Lederbergher, A., Adaptive Regelung bei Drehbearbeitung, Industrie Anzeiger, nr.70, 71, 1970



- [L2] Lombard, I., ș.a., Dynamic performance tests for machine tools. Some findings from the industrial experiences of CERMO and MNRA, Annals of the CIRP, 25, 1, 282-286, 1976
- [L3] Lungu, I., Studiul conducerii automate a regimurilor de lucru la superfinisare, Teză de Doctoart, U.P.Timișoara, 1976
- [L4] Lăzărescu, I.D. Teoria așchierii metalelor și proiectarea sculelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964
- [M1] Makarov, A., Optimizația proțesov rezaniia, Mașinostroenie, Moskva, 1976
- [M2] Marinescu, G., ș.a., Probleme de analiză numerică rezolvate cu calculatorul, Editura Academiei RSR, București, 1987
- [M3] Mateescu, A., Semnale, circuite și sisteme, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984
- [M4] Mazand, M., Stade actuel et perspectives de la comande adaptive en tournage, GAMIISMCN, Iunie 1971
- [M5] Mărușter, S., Metode numerice în rezolvarea ecuațiilor neliniare, Editura Tehnică, București, 1981
- [M6] Micșa, I., ș.a., Tehnologia construcției de mașini. Îndrumar de proiectare, U.P.Timișoara, 1988
- [M7] Micu, C., Aparate și sisteme de măsurare în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1980
- [M8] Militaru, C., Fiabilitatea și precizia în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1987
- [M9] Minciu, C., ș.a., Scule așchietoare. Îndrumător de proiectare, Vol.I, Editura Tehnică, București, 1995
- [M10] Moraru, F., ș.a., Programarea microcalculatoarelor în sistemul de operare CP/M. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1989
- [M11] Moraru, V., ș.a., Vibrațiile și stabilitatea mașinilor-unelte, Editura Tehnică, București, 1982
- [N1] Nanu, A., ș.a., Manualul inginerului mecanic T.C.M., Editura Tehnică, București, 1974
- [N2] Nigm, M., ș.a., Determination of dynamic cutting coefficients from steady-state cutting date, Inst.I.Mach.Tool Des.Res., 17, 1, 19-37, 1977
- [N3] Nichici, A., Cicala, E., Prelucrarea datelor experimentale, CMUP Timișoara, 1996.
- [O1] Opitz, H., Masnahmen zur virtachaftlinchen Erzeilung und Erhaltung der Fertung enaigkeit von Workzeungmaschinen, Industrie Anzeiger nr.62, 2 August, 1960



- [O2] Orszari, E. Sistem de comandă adaptivă și reinstalare automată la cotă la mașini de cojit bare, Teză de Doctorat, U.P.Timișoara, 1977
- [P1] Postelnicu, V., Coatu, S., Mica Enciclopedie matematică, Editura Tehnică, București, 1980
- [P2] Pămîntaş, E., Grozav, I., Teoria și proiectarea asistată a sculelor aşchietoare, Centrul de Multiplicare al U.P.Timișoara, 1993
- [P3] Pămîntaş, E., ș.a., Ciclograma de lucru a robotului REMT din cadrul celulei de prelucrare a bazelor tehnologice a arborilor și osiilor tractorului U650, Sesiunea de Comunicări Științifice, I.P.Timișoara, 1985
- [P4] Pămîntaş, E., Relații teoretice și experimentale pentru determinarea forței de aşchiere la strunjirea profilată rotundă, Sesiunea de Comunicări Științifice, “Electromotor”, Timișoara, 1988
- [P5] Pămîntaş, E., Sistem de prindere cu axă invariantă spațial, Sesiunea Internațională, Cugir, 1991
- [P6] Pămîntaş, E., Lățimea medie a uzurii pe fața de aşzare – parametru de diagnosticare a procesului de aşchiere pe strungurile cu CN, Buletin Științific, Universitatea Cluj-Napoca, 1993
- [P7] Pămîntaş, E., Particularități ale procesului de aşchiere la strunjirea profilată cu avans radial, Buletin Științific, Universitatea Cluj-Napoca, 1993
- [P8] Pămîntaş, E., Analiza structurii unei operații de aşchiere în care piesa execută mișcarea principală de rotire, A VII-a Conferință Internațională de IMT, Tehno '95, Timișoara, 1995
- [P9] Pămîntaş, E., Optimizarea parametrilor de regim la faze de strunjire cu considerarea costurilor minime la calitate impusă, A VII-a Conferință Internațională de IMT, Tehno '95, Timișoara, 1995
- [P10] Pămîntaş, E., Metodă de alegere a variantei de prelucrare optime cu parametrii de lucru optimizați, A VII-a Conferință Internațională, Tehno '95, Timișoara, 1995
- [P11] Pămîntaş, E., Considerații privind factorii de influență asupra uzurii sculelor la strunjire, A VII-a Conferință Internațională de IMT, Tehno '98, Timișoara, 1998
- [P12] Pămîntaş, E., Stabilirea adaosului de prelucrare și a adâncimii de aşchiere la strunjire, A VII-a Conf. Internațională de IMT, Tehno '98, Timișoara, 1998
- [P13] Pămîntaş, E., Principii de stabilitate a algoritmului comenzii adaptive la strunjire. Stabilirea numărului de treceri, A VII-a Conferință Internațională de IMT, Tehno '98, Timișoara, 1998

- [P14] Pămîntaş, E., Influența adâncimii de aşchiere asupra procesului de aşchiere la strunjire, A VII-a Conferința Internațională de IMT, Tehno '98, Timișoara, 1998
- [P15] Pănescu, D., ș.a., Tim-S Plus, șapte calculatoare într-unul singur, Vol.I, Editura "TM", Timișoara, 1990
- [P16] Picoș, C., ș.a., Calculul adaosului de prelucrare și al regimurilor de aşchiere, Vol.I, II. Editura Tehnică, București, 1979
- [P17] Picoș, C., ș.a., Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin aşchiere, Vol.I, Editura Universitas, Chișinău, 1992
- [P18] Picoș, C., ș.a., Normarea tehnică pentru prelucrări prin aşchiere, Vol.I, II, Editura Tehnică, București, 1979
- [P19] Picoș, C., ș.a., Prelucrabilitatea prin aşchiere a aliajelor feroase, Editura Tehnică, București, 1981
- [P20] Pop, I., Pămîntaş, E., Dispozitiv dinamometric pentru studiul autovibrațiilor a strunjire, Brevet de inovație, I.P.T., nr.391/27.05.1986
- [P21] Pop, I., ..., Pămîntaş, E., Celulă flexibilă robotizată pentru prelucrarea arborilor și osiilor tractorului U650, Brevet de Inovație, nr.551/23.03.1987
- [P22] Pop, E., ș.a., Tehnici moderne de măsurare, Editura Facla, Timișoara, 1983
- [P23] Pop, E., ș.a., Metode în prelucrarea numerică a semnalelor, Vol.I, II, Editura Facla, Timișoara, 1989
- [P24] Pop., I., Pămîntaş, E., ș.a., Îndrumător pentru lucrări de laborator la PSA, Centrul de Multiplicare U.P.Timișoara, 1991
- [P25] Pop, I., Pămîntaş, E., ș.a., Îndrumător de proiectare la proiectarea sculelor aşchietoare, Centrul de Multiplicare U.P.Timișoara, 1995
- [P26] Pop, I., Pămîntaş, E., Robotizarea prelucrării bazelor tehnologice la arborii și osiile tractorului U650, Al IV-lea Simpozion Internațional de Robotică, Timișoara, 1984
- [P27] Pop, I., Proiectarea sculelor aşchietoare, Vol.I, Centrul de Multiplicare U.P.Timișoara, 1991
- [P28] Pop, I., Pămîntaş, E., Unele probleme ale exploatării sculei pe MUCN, Sesiunea de Comunicări Științifice "Electromotor", Timișoara, 1991
- [P29] Popa, B., ș.a., Solicitări termice în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1980
- [P30] Popescu, I., Optimizarea procesului de aşchiere, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1987
- [P31] PoWell, M.J.D., Convergence properties of algorithms for nonlinear optimization, Report DAMPT 1985, University of Cambridge, England

- [P32] Pruteanu, O., ș.a., Tehnologia fabricării mașinilor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [P33] Pircea, I., Program de calcul pentru ordonarea operațiilor tehnologice în condițiile fabricației flexibile, Conferința Internațională "Tehno 98", U.P.Timișoara, 1998
- [R1] Rabiner, L.R., Schafer, R.W. Digital processing of speech signals, Prentice-Hall Inc., Englewood, New Jersey, 1978
- [R2] Radisch, B., Strunjirea cu comandă numerică și comandă adaptivă, T.Z. für praktische metallbearbeitung, Vol 65, nr.4, Aprilie, 1971
- [R3] Ramalinganu, S., Watson, J.D., Tool-life distribution, in Trans ASME, nr.3, 1977
- [R4] Rădulescu, O., Sinteze optimale în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1984
- [R5] Rădulescu, O., Principii și metode de optimizare a exploatării mașinilor, Editura Militară, București, 1970
- [R6] Rădulescu, V., ș.a., Regimuri de așchiere și metodica alegerii lor pentru diferite prelucrări pe mașini-unelte, I.P.București, 1975
- [R7] Rusu, S., Asupra valorilor forțelor dinamice de așchiere la strunjirea cilindrică, Revista Construcției de Mașini, nr.2, 1976
- [S1] Sampăleanu, M., Circuite pentru conversia datelor. Seria Electronică aplicată, Editura Tehnică, București, 1980
- [S2] Savas, E.S., Conducerea cu calculatoare a proceselor industriale, Editura Tehnică, București, 1969
- [S3] Sima, V., Varga, A., Practica optimizării asistate de calculator, Editura Tehnică, București, 1985
- [S4] Simon, W., Conducerea numerică a mașinilor-unelte, Editura Tehnică, București, 1967
- [S5] Slavici, T., Contribuții la programarea asistată de calculator a mașinilor-unelte cu comandă numerică în vederea prelucrării entităților geometrice complexe, Teză de Doctorat, U.P.Timișoara, 1994
- [S6] Solomentev, I.M., ș.a., Procese tehnologice cu comandă adaptivă, Editura Mașchiz, Moscova, 1984
- [S7] Solomentev, I.M., ș.a., Metodologia optimizării proceselor tehnologice de strunjire, Vesnic Mașinostroenie, Nr.6, pag.62-66, 1974
- [S8] Spineanu, U., Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1987

- [S9] Spur, G., Adaptives System für Drehmaschinen zeitstrift für Wirtschaftliche, Fertigung, 1971
- [S10] Spur, G., ș.a., Einsatz von Prozessrechner für DNC und AC System, Fertigungstechnik und Betrieb nr.1, 1971
- [S11] Spur, G., Poitschov, G., Adaptiv control an spanender Werkzeugmaschinen, VDI – Berichte nr.168, 1971
- [S12] Stupel, F.A., Traductoare și conventoare electromecanice, Editura Tehnică, București, 1967
- [S13] Stanomir, A., Stănășilă, O., Metode matematice în teoria semnalelor, Editura Tehnică, București, 1980
- [S14] Sturzu, A., Metodologie și normativ pentru determinarea adaosului de prelucrare și dimensiunilor intermediare, I.P.București, 1978
- [S15] Suru, P., Arhitectura construcțiilor mecanice, Editura Mirton, Timișoara, 1998
- [S16] Suru, P., Comanda adaptivă după autovibrații la strunjire, Teză de Doctorat, U.P.Timișoara, 1980
- [Ș1] Șoșdean, D., Pămîntaș, E., Program pentru efectuarea controlului statistic al preciziei de prelucrare pe calculator, Sesiunea Tinerilor Absolvenți, IPTV Timișoara, 1986
- [Ș2] Șoșdean, D., Pămîntaș, E., Dispozitiv de broșare pe strunguri automate, Brevet de Inovație, I.P.T. nr.437/24.07.1986
- [Ș3] Ștetiu, E., Oprean, C., Măsurări geometrice în construcția de mașini, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1988
- [T1] Tache, V., ș.a., Elemente de proiectare a dispozitivelor pentru mașini-unelte, Editura Tehnică, București, 1985
- [T2] Tănase, N., Pop, I., Pămîntaș, E., Celulă flexibilă robotizată, Al V-lea Simpozion Internațional de Roboți Industriali, I.P.București, 1985
- [T3] Tănase, N., ..., Pămîntaș, E., Sistem interfață pentru celulă inflexibilă robotizată de prelucrare arbori și osii pentru tractoare U650, Brevet de Inovație, I.P.T. nr.543/12.03.1987
- [T4] Teodorescu, D., Introducere în microelectronică, Editura Facla, Timișoara, 1985
- [T5] Tîrpe, G., Precizia prelucrării prin așchiere, Editura Tehnică, București, 1972
- [U1] Urdea, G., Comanda adaptivă la mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri, Teză de Doctorat, U.P.Timișoara, 1975

- [V1] Varga, A.Davidoviciu, A., CASAD-Pachet interactiv pentru analiza și proiectarea asistată de calculator a sistemelor automate, AMC nr.49, 1985
- [V2] Vasiu, I., Grama, R., Turbo Pascal 6.0. Ghid de utilizare, Editura Microinformatica, Cluj-Napoca, 1992
- [V3] Vlase, I., ș.a., Regimuri de așchiere, adaosuri de prelucrare și norme tehnice de timp, Vol.I, Editura Tehnică, București, 1985
- [V4] Vlase, I., Model programat pentru optimizarea regimului de așchiere la strunjire, Sesiunea de Comunicări Științifice, I.P.București, 1980
- [V5] Vlase, I., ș.a., Tehnologii de prelucrare pe strunguri, Editura Tehnică, București, 1989
- [V6] Vlase, A., ș.a., Metodologie și tabele normative pentru stabilirea adaosurilor de prelucrare, Vol.I, I.P.București, 1979
- [V7] Voicu, M., Tehnici de analiză a stabilității sistemului automat, Editura Tehnică, București, 1986
- [V8] Vonica, C., Stabilirea automată a încărcării la comanda adaptivă a strungurilor, Teză de Doctorat, I.P.Timișoara, 1976
- [W1] Wright, P.K., ș.a., Manufacturing intelligence, Editura Addison-Wesley, Massachusetts, S.U.A., 1988
- [Y1] Young, P.C., Comments on on-line identification of a linear dynamic systems with applications to Kalman filtering, IEEE Trans.AC, 17,1972
- [Z1] Zetu, D., ș.a., Mașini-unelte automate și cu comandă numerică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [Z2] Zgură, G., Ispas, C., Cercetări privind construcția unui dinamometru pentru studierea celor trei componente ale forței de așchiere. În studii și cercetări de mecanică aplicată nr.1, 1971
- [Z3] Zhang, I., ș.a., An improved successive linear programming algorithm, Working Paper 84/85-3-2, University of Texas at Austin, 1985
- [Z4] Zompi, A., Tool-life distribution in process optimization; parameter identification and application, Annals of the CIRP, Vol.27
- [\*1] STAS 6599/3,4-1989, Cinematica așchierii; Forțe, energii, puteri
- [\*2] Scule așchietoare și portsucle pentru prelucrarea metalelor, Vol. I, II, Colecția STAS, Editura Tehnică, București, 1987
- [\*3] Adaptive Control Versuch einer einbeitlichen Begriffsbeistimmung. Wt-z ind. Fertigung nr.11, 1970
- [\*4] Development of adaptive control techniques for numerically-controlled milling machines. The Benolix Corporation, Michigan, 1964



- [\*5] Instalație de comandă adaptivă geometrică la mașini-unelte. Industrie Anzeiger, nr.87, 1972
- [\*6] Adaptive steuerung AEG, Adaptive sistem AEG, Prospect Adaptic 100, 200, 300
- [\*7] Cartea tehnică strung SP-630-NC, ICPMUA, București
- [\*8] Cartea tehnică strung paralel SN 350, I.Ranghet, Arad
- [\*9] Mazak-Turning. Center "R" can be used as Adaptive Controlled NC la the Prospect Aichi Prof., Japonia
- [\*10] Comanda sau reglarea adaptivă la mașini-unelte, Tokio Koggo. Co Ltd., Iulie, 1973
- [\*11] Circuite integrate liniare, Manual de utilizare, Vol. 3, 4, Editura Tehnică, București, 1984
- [\*12] Circuite integrate analogice: Catalog, Editura Tehnică, București, 1983
- [\*13] Cutting force coefficients, In "specific abd tests metal cutting machine tools, Vol. I, 109-124, Manchester, 1972
- [\*14] Prelucrarea metalelor prin așchiere (B17) octombrie 1972 – mai 1973
- [\*15] Manual de programare în GW-BASIC. Commodore, SUA, 1988
- [\*16] Toleranțe și ajustaje (Standarde și comentarii), Editura Tehnică, București, 1969
- [\*17] Scheme mecanice. Simboluri grafice. STAS 1543-86
- [\*18] Toleranțe generale pentru piese prelucrate prin așchiere. STAS 2300-88
- [\*19] Contract Nr.83/1984, Celulă flexibilă robotizată pentru prelucrarea arborilor și osiilor tractorului U650, Intreprinderea de Autoturisme Timișoara, U.P.Timișoara
- [\*20] Contract Nr.229/1985÷1990, Modernizări tehnologice și proiectarea echipamentelor tehnologice pentru liniile de fabricație repere de motoare electrice, Electromotor Timișoara, U.P.Timișoara
- [\*21] Contract Nr.1563/1987 ICSITMUA-Nr.7585-1-1-/87, IMAMUS IAȘI – agregat de frezat borne, U.P.Timișoara



## Dicționar de notații și terminologie


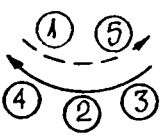
$A_p$	adaosul de prelucrare la faza operației		pentru săgeata în punctul de aplicare a forței de așchiere
$A_{Np}$	adaosul nominal de prelucrare al piesei	$a_{p3}$	adâncimea de așchiere la strunjirea pieselor cu pereți subțiri, limitată de deformarea locală a piesei
$A_{efp}$	adaosul efectiv de prelucrare al piesei		
$A_{maxp}$	valoarea maximă a adaosului de prelucrare	$a_{p4}$	adâncimea de așchiere limitată de încovoierea cuțitului de strung
$A_{minp}$	valoarea minimă a adaosului de prelucrare	$a_{p5}$	adâncimea de așchiere limitată de rezistența la compresiune a plăcuței din carbură metalică
$A_{dg}, A_{sf}, A_f, A_{spf}$	adaosul necesar prelucrărilor de degroșare, semifinisare, finisare și semifinisare	$a_{p6}$	adâncimea de așchiere limitată inferior, neexistând fenomenul de detașare de așchii
$A_{if}, a_{spf}, a_{isf}, a_{psf}$	abaterile dimensionale ale piesei finite și respectiv ale semifabricatului	$a_{pf}, a_{pf}', a_{pf}''$	adâncimi de așchiere la finisare
$A_s$	secțiunea transversală reală a așchiei	$a_{psf}$	adâncimea de așchiere la semifinisare
$A$	constantă	$a$	mărime ce caracterizează uzura feței de așzare secundară a cuțitelor de strung
$a_p$	adâncimea de așchiere	$a_{pm}$	adaosuri de prelucrare intermediare
$a_{p0}$	adâncimea de așchiere posterioară	$B$	constantă
$a_{cp}$	cheltuieli pe minut pentru așchiera efectivă	$b$	mărime ce caracterizează uzura feței de așzare principală - lățimea de contact sculă-piesă
$a_{cp}'$	cheltuieli pe minut legate de timpul de staționare	$b_D$	lungimea tăișului principal
$a_{rm}$	cheltuieli pe minut cu retribuiția muncitorului	$C_u$	costul tehnologic unitar pentru prelucrare
$a_{rr}$	cheltuieli pe minut cu retribuiția reglorului	$C_{tp}$	valoarea totală a cheltuielilor de producție
$a_{p1}$	adâncimea de așchiere maxim admisă de lungimea tăișului principal și $\chi_r$	$C_{pu}$	costul complet de producție al unei piese
$a_{p2}$	adâncimea de așchiere limitată de mărimea maxim admisă		

$C_m$	costul cu materialele pentru o piesă	$h_{ra}$	uzura radială admisibilă la sculă
$C_{tpj}$	valoarea criteriului $C_{tp}$ crespunzător variantei tehnologice $j$	$I$	momentul de inerție al secțiunii piesei
$C_{ISO}$	clasa de precizie	$i$	numărul de treceri la prelucrarea prin așchiere
$C_o$	costul operației	$i_f$	numărul de treceri la finisare
$C$	constantă	$i_t, i_r$	partea întreagă respectiv restul subunitar rezultat din calculul numărului de treceri
$C_i$	cheltuieli cu întreținerea utilajului	$J$	variantă tehnologică
$D$	diametrul exterior al piesei	$J_m$	variantă de operație
$D$	constantă	$j$	rangul fazei de prelucrare
$D_j$	domeniu închis de valori al $C_{utj}$	$K$	coeficient al influenței forței de așchiere asupra forței de tragere la șurub
$d$	diametrul interior al piesei	$K_b, K_p$	coeficienți ai deformației la contact
$d_{min}$	diametrul minim al șurubului	$K_i$	coeficienți de corecție
$E$	modulul de elasticitate	$K_{i...m}$	coeficienți de influență ai temperaturii din zona de așchiere
$F_c$	forța de așchiere	$K_i$	coeficient de încărcare al MU
$F_p$	forța pasivă	$K_j$	costul investiției de capital aferent variantei tehnologice $j$
$F_f$	forța de avans	$l$	lungimea de prelucrat
$F_s$	forța capabilă de săgeată	$l_{sf}, l_{sc}$	lungimi de consolaj semifabricat, sculă
$F_a$	forța de așchiere rezultantă	$L_{Nsf}, L_{Npf}$	mărimi pentru lungimile tronsoanelor cilindrice cuprinse între suprafețe plan paralele
$F_{tg}$	forța tangențială pe dinte	$M_t$	momentul de torsiune
$F_{ref}$	forța de referință	$m$	modulul pinionului cremalierii
$F_{st}$	forța de strângere axială	$N$	numărul de piese anual
$F_{cadm}$	forța de așchiere maxim admisă	$N_T$	timpul de muncă al operației tehnologice
$F_z, F_y$	componențe ale forței de așchiere, de comprimare și respectiv de deformare	$N_{ml}$	numărul de mișcări de lucru pe operație
$f$	avansul longitudinal		
$f_{min}$	viteza de avans minimă		
$f_{max}$	viteza de avans maximă		
$f_i$	săgeata de încovoiere a piesei		
$f_{ai}$	săgeata admisă la încovoiere		
$G_i$	gradul de încărcare al bazei materiale [%/an]		
$h_r$	uzura măsurată în direcția obținerii dimensiunii		

$N_{ma}$	numărul de mișcări auxiliare pe operație	$R_{pf}, R_{pm}, R_c, R_s$	valori ale rigidității păpușii fixe, a păpușii mobile, a căruciorului și respectiv a sculei
$N_{mt}$	numărul total de mișcări ale verigilor executante pe operație	$R_{zj}$	rugozitatea maximă a suprafeței corespunzătoare fazei de prelucrare la rangul j
$N_{dsf}, N_{Dsf}, N_{dpf}, N_{Dpf}$	dimensiunile semifabricatului și respectiv ale piesei finite de tip arbore și respectiv alezaj	$R_z$	înălțimea admisă a neregularităților suprafeței
n	turația	$R_m$	rezistența la rupere a materialului prelucrat
$n_1$	turația arborelui principal	$R_a$	mărimea medie pătratică a înălțimii neregularităților suprafeței
$n_T$	turația corespunzătoare durabilității (vitezei) economice	$R_e$	ritmul liniei tehnologice
$n_{min}$	turația minimă a AP	$R_{as}$	rigiditatea MU
$n_{max}$	turația maximă a AP	$r_e$	raza de rotunjire la vârf a sculei așchietoare
$n_s$	numărul de reascuțiri permis	$r_s$	raza de bontire a cuțitului
$n_{si}$	numărul de reascuțiri și reglări la cotă și de instalări ale sculei, în timpul prelucrării unei piese la operația respectivă	$S_o$	suprafața de contact inițială sculă-piesă
$P_{em}$	puterea motorului electric (a electromotorului MU)	$S_{pj}$	grosimea stratului de material degradat la prelucrarea precedentă
$P_u$	puterea de așchiere	$s_t$	lățimea dintelui cremalierii
$P_f$	pierderi de putere	T	durabilitatea sculei
$P_{ech}$	puterea echivalentă	$T_u$	timpul unitar
$P_o$	puterea nominală a motorului care antrenează lanțul cinematic principal și pe cel de avans	$T_p$	toleranța la prelucrarea respectivă
$P_{ai}$	mărimi perturbatoare	$T_1$	durabilitatea corespunzătoare vitezei reale $v_1$
$P_{1F}(t), P_{SF}(t)$	factori perturbatori cu acțiune lungă de timp	$T_{op}$	durabilitatea economică pentru o capacitate de producție maximă
$P_{disp}$	puterea disponibilă la AP	$T_{oc}$	durabilitatea economică pentru un cost minim al operației
$P_{ef}$	puterea consumată	$T_{dpf}, T_{Dsf}, T_{dsf}, T_{Dpf}$	reprezintă toleranța dimensională a
p	apăsarea specifică		
$R=R(t)$	coeficient ce se determină experimental		
$R_{STE}$	rigiditatea tehnologică a STE		

	semifabricatului, respectiv a piesei finite de tip arbore și alezaj	$v$	viteza de așchiere
$T_{Lsf}$	$T_{Lpf}$ toleranța dimensională pentru lungimile piesei	$v_{cp}$	viteza de așchiere corespunzătoare capacității de producție maxime
$T_{dj}$	$T_{Lj}$ abaterile dimensionale de la prelucrarea precedentă	$v_T$	viteza de așchiere corespunzătoare durabilității maxime
$T_b$	timpul total pe operație în care sculele au mișcări de lucru	$v_l$	viteza reală de așchiere
$T_a$	timpul auxiliar total pe operație	$v_{opt}$	viteza optimă de așchiere
$t_p$	timpul auxiliar pentru prinderea semifabricatului	$v_h$	viteza medie de uzură exprimată funcție de parametri de regim
$t_o$	timpul de bază pe fază	$v_{ai}$	mărimi de intrare ale unui sistem multivariabil asimilat de către procesul de așchiere la strunjire
$t_b$	timpul de bază de mașină	VB	mărime ce caracterizează uzura feței de așzare principală a cuțitelor de strung
$t_r$	timpul de reglare	VA	mărime ce caracterizează uzura feței de așzare secundară a cuțitelor de strung
$t_{ss}$	timpul de schimbare a sculei	VB <sub>0</sub>	uzura inițială
$t_{rc}$	timpul necesar reglajului dimensional al STE	(VB) <sub>the</sub>	criteriul uzurii tehnologice
$t_{is}$	timpul trecerilor de reinstalare	W	modulul de rezistență al secțiunii cozii sculei
$t_d$	timpul auxiliar pentru desprinderea semifabricatului	$w_s$	consum energetic specific
$t_{a1}$	timpul auxiliar pentru comanda MU	$X_i(t)$	variabilă dependentă de timp (variabile de decizie)
$t_{a2}$	timpul auxiliar pentru apropierea și îndepărtarea sculei	$x_{sd}$	deplasarea relativă dintre sculă și piesă
$t_{a3}$	timpul auxiliar funcție de treceri	z	cota curentă a cuțitului pe axa OZ
$t_{a4}$	timpul auxiliar pentru controlul periodic al dimensiunilor	Q	forța ce acționează asupra saniei longitudinale pe direcția mișcării de avans
$t_{a5}$	timpul auxiliar pentru pornirea-oprirea sistemului de răcire-ungere	Q <sub>T</sub>	capacitate de producție
$u_{adm}$	deformația maximă la pasul șurubului	Q <sub>f</sub>	cheltuieli cu așchiera efectivă
u	pasul șurubului		
V	mărimea uzurii volumice pe fața de așzare		

## simboluri și notații

- $\longrightarrow$ ,  $\uparrow$  — deplasarea elementului de execuție cu avans de lucru, longitudinal, respectiv radial;
- $\Longrightarrow$ ,  $\Uparrow$  — deplasarea elementului de execuție cu avans rapid, longitudinal, respectiv radial;
- $(n)$  — numărul sculei care execută faza de prelucrare;
- $(M_n)$  — numărul manipulării piesei;
-  — schimbare scula prin rotirea portcuțitului (pentru  $n > 4$  se consideră că scula cu numărul  $n+1$  poate fi montată în portcuțit în timpul aşchierii);
-  — schimbare bloc portscule vechi ( $\dashleftarrow$ ) cu unul nou ( $\dashrightarrow$ ) pe centru de prelucrare;
- $(S_n)$  — numărul blocului portsculă din magazia centrului de prelucrare;
- $T'_b = \sum t'_b$  — timpul total pe operație în care sculele au mișcări de lucru, [min];
- $T_a = \sum t_a$  — timpul auxiliar total pe operație, [min];
- $T_{op} = T_b + T_a$  — timpul operativ al operației, [min];
- $N_{ml}$  — numărul de mișcări de lucru pe operație;
- $N_{ma}$  — numărul de mișcări auxiliare pe operație;
- $N_{mt}$  — numărul total de mișcări ale verigilor executante pe operație.

## Dicționar de acronime specifice

MU	mașină-unealtă	ACC	Adaptive Control of Constrains (comanda adaptivă cu constrângeri)
STP	sistem tehnologic de prelucrare	ACO	Adaptive Control of Optimization (comanda adaptivă de optimizare)
CM	construcția de mașini	CP	centre de prelucrare
OM	subsistemul om	MUCN	mașină-unealtă cu comandă numerică
TH	subsistem tehnologic	AP	arbore principal
SA	sculă așchietoare	SCA	sistem cu comanda adaptivă
DOF	sistem de orientare și fixare a semifabricatului	LF	linii de fabricație
PA	procesul de așchiere	STE	sistem tehnologic elastic
ET	echipament tehnologic	ME	motor electric
CN	comanda numerică	TR	trunctoare necesare comenzii adaptive
CNC	comandă numerică prin computer	AC	acționările (principală, de avans etc.)
DNC	comanda numerică directă	VE	verigile executante ale mașinii-unealte
FMC	celule flexibile de fabricație	BMR	blocul mărimilor de referință
FMS	sisteme flexibile de fabricație	BCD	blocul de calcul și de decizie al comenzii adaptive
CIM	sisteme de fabricație integrată		
CAD	Computer Aided Design		
CAM	Computer Aided Manufacturing		
APT	Automatically Programmed Tool		
CAPP	Computer Aided Process Planning		
CAPS	Computer Aided Planning System		
CSG	Constructive Solid Geometry		
ISIS	Intelligent Scheduling and Information System		
MAP	Manufacturing Automation Protocol		
MCL	Machine Control Language		
RAPT	Robot Automatically Programmed Tool		
AI	Artificial Intelligence		



OPTIMIZAREA OPERAȚIEI DE STRUNJIRE SI A PARAMETRILOR DE  
REGIM ÎN CONDIȚIILE CONDUCERII AUTOMATE A CICLULUI DE  
LUCRU  
CUPRINS

1. Introducere.....	1
2. Analiza soluțiilor existente de optimizare la strunjire.....	6
2.1. Precizarea criteriilor și etapelor optimizării regimurilor de aşchiere.....	6
2.1.1. Obiectul studiului.....	6
2.1.2. Principiile de bază ale optimizării.....	7
2.1.3. Determinarea condițiilor și relațiilor restrictive.....	9
2.1.3.1. Relația restrictivă a durabilității sculei aşchietoare.....	9
2.1.3.2. Relația restrictivă a ritmului liniei tehnologice.....	9
2.1.3.3. Relația restrictivă a puterii motorului electric.....	10
2.1.3.4. Relația restrictivă a mecanismului de avans.....	10
2.1.3.5. Relația restrictivă a temperaturii din zona de aşchiere.....	10
2.1.3.6. Relația restrictivă a rugozității suprefetei aşchiate.....	10
2.1.3.7. Relația restrictivă a adâncimii de aşchiere.....	11
2.1.3.8. Relațiile restrictive ale cinematicii MU.....	11
2.1.3.9. Relațiile restrictive ale rigidității semifabricatului și respectiv ale sculei aşchietoare.....	11
2.1.3.10. Relația restrictivă a rigidității dinamice a MU.....	12
2.1.3.11. Condițiile de stabilitate ale sistemului dinamic de prelucrare și optimizare a regimului de aşchiere.....	12
2.1.4. Alegerea criteriului de optimizare.....	14
2.1.4.1. Cerințele prelucrării, felul piesei și cazurile de acordare.....	14
2.2. Determinarea regimului de aşchiere la strunjire și metodele de optimizare cunoscute.....	15
2.2.1. Considerații preliminare.....	15
2.2.2. Calculul uzual al regimului de aşchiere.....	16
2.2.3. Principii practice de determinare a regimurilor de aşchiere.....	23
2.2.4. Determinarea mecanizată a regimurilor de aşchiere.....	25
2.2.5. Alegerea criteriului de optimizare la strunjire – metoda uzuală.....	25
2.2.6. Metoda capacității de aşchiere maxime la durabilitate maximă (Duca 1).....	27

2.2.7. Metoda parametrului de regim cu influență preponderentă asupra durabilității, capacității de așchiere și a consumului energetic specific (Duca 2), [D13].....	30
2.2.8. Metoda König Depireaux de optimizare simultană avans-viteză de așchiere la strunjire [K3].....	34
2.2.9. Optimizarea cu considerarea costurilor minime la calitate impusă.....	38
2.2.9.1. Determinarea funcției de optimizare – Costul tehnologic unitar.....	38
2.2.9.2. Optimizarea variantelor de prelucrare și optimizarea parametrică cu ajutorul criteriului cost tehnologic unitar.....	42
2.3. Analiza critică a metodelor de optimizare la strunjire.....	46
2.3.1. Structura operației tehnologice.....	46
2.3.2. Prelucrarea pe stunguri clasice sau cu CN.....	47
2.3.3. Prelucrarea pe centru de prelucrare prin strunjire.....	51
2.3.4. Identificarea factorilor de influență posibili de a fi optimizați.....	52
2.3.5. Analiza metodelor de optimizare prezentate.....	53
2.4 Concluzii.....	55
3. Optimizarea regimurilor de lucru și comandă adaptivă.....	59
3.1. Limitele de aplicabilitate ale metodelor de optimizare a parametrilor de lucru în tehnologia prelucrării prin așchiere.....	59
3.2. Comanda adaptivă și teoriile de optimizare.....	66
3.3. Mărimi de proces controlabile și tehnici de măsurare.....	68
3.3.1. Mărimi controlabile.....	68
3.3.2. Valori de referință.....	73
3.4. Principii de stabilire a algoritmului de conducere a CA la strunjire ....	76
3.5 Concluzii.....	77
4. Echipamentul experimental.....	79
4.1. Obiective.....	79
4.2. Dispozitiv pentru obținerea rădăcinii de așchie.....	79
4.3. Dinamometru pentru măsurarea a 3 componente ale forței de așchiere la strunjire.....	81
4.4. Dinamometru pentru studiul autovibrațiilor la strunjire.....	84
4.5. Stand pentru măsurarea rugozității pieselor strunjite.....	86
4.6 Stand pentru achiziția și prelucrarea automată a datelor experimentale.....	87
4.6.1. Compunerea standului.....	87
4.6.2. Algoritm de eșantionare.....	92

4.6.3. Protocolul de prelucrare automată a datelor experimentale.....	94
4.6.4. Concluzii.....	96
5. Adaosul de prelucrare, adâncimea de aşchiere şi numărul de treceri la strunjire	97
5.1. Consideraţii privind adaosului de prelucrare.....	97
5.2. Consideraţii privind adâncimea de aşchiere.....	102
5.3. Influenţa $a_p$ asupra procesului de aşchiere.....	105
5.4. Consideraţii asupra determinării numărului de treceri $i$ .....	108
5.5. Algoritm de stabilire a numărului de treceri.....	109
5.6. Concluzii.....	111
6. Rezultate experimentale şi interpretarea acestora.....	112
6.1. Scopul, condiţii generale şi programul cercetărilor experimentale....	112
6.1.1. Scopul cercetărilor experimentale.....	112
6.1.2. Condiţiile generale ale cercetărilor experimentale.....	113
6.1.3. Programul cercetărilor experimentale.....	115
6.2. Rezultate experimentale prelucrate şi interpretate.....	116
6.2.1. Influenţa geometriei sculei asupra procesului de aşchiere....	116
6.2.2. Influenţa parametrilor regimului de lucru asupra procesului de strunjire.....	121
6.3. Uzura sculelor şi deformaţiile STE-consideraţii teoretice şi practice..	134
6.3.1. Consideraţii privind uzura cuţitelor de strung.....	134
6.3.2. Rezultatele cercetărilor experimentale proprii privind factorii de influenţă asupra uzurii sculei la strunjire.....	136
6.3.3. Consideraţii privind deformaţiile STE la strunjire.....	143
6.4. Prelucrarea numerică a datelor experimentale.....	146
6.5. Concluzii.....	148
7. Algoritm de conducere adaptivă de optimizare a procesului de strunjire.....	150
7.1. Expresia funcţiei de transfer pentru optimizarea operaţiei de strunjire.....	150
7.2. Algoritm de conducere optimală.....	152
7.3. Concluzii.....	154
8. Concluzii generale şi contribuţii originale.....	156
8.1. Sinteza rezultatelor cercetărilor teoretice şi experimentale.....	156
8.2. Contribuţii originale .....	159
Bibliografie.....	161
Dicţionar de notaţii şi terminologie .....	172
Dicţionar de acronime specifice.....	177
Cuprins.....	178