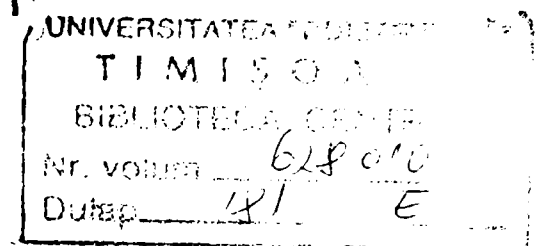


UNIVERSITATEA "POLITEHNICA TIMIȘOARA"

FACULTATEA DE MECANICĂ

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA  
PRELUCRĂRII SUPRAFEȚELOR COAXIALE  
CILINDRICE CU SCULE COMBINATE ÎN  
SISTEME FLEXIBILE DE FABRICAȚIE**

TEZĂ DE DOCTORAT



Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Dr. h. c. **Kovács Francisc Viliam**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Elaborată: ing. Pop Mircea Teodor

2000

**CUPRINS**

<b>1.INTRODUCERE</b>	<b>1</b>
<b>2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND S.F.F. PENTRU PRELUCRĂRI PRIN AȘCHIERE</b>	<b>2</b>
<b>3. STADIUL ACTUAL AL CERCECTĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA SCULELOR AȘCHIETOARE COMBINATE</b>	<b>69</b>
<b>4. SCULE COMBINATE IDEALE PENTRU PROCESE TEHNOLOGICE DE FABRICAȚIE DE GRUP PRIN AȘCHIERE, EFECTUATE ÎN CADRUL SFF</b>	<b>108</b>
<b>5. MODELAREA UZURII SCULELOR COMBINATE LA PRELUCRAREA PRIN AȘCHIERE ȘI SIMULAREA DESFĂȘURĂRII EI</b>	<b>122</b>
<b>6. ANALIZA DINAMICII PROCESULUI DE AȘCHIERE CU SCULE COMBINATE</b>	<b>166</b>
<b>7.CONTRIBUȚII PRACTICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND UTILIZAREA SCULELOR COMBINATE ÎN SISTEMELE DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ</b>	<b>185</b>
<b>8. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE.</b>	<b>226</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIE</b>	<b>230</b>
<b>10.ANEXE</b>	<b>239</b>

---



## 1.INTRODUCERE

În industria constructoare de mașini marea majoritate a reperelor care compun un ansamblu sunt prelucrate parțial sau integral prin așchiere. În consecință scula așchietoare ca parte a sistemului de prelucrare joacă un rol important.

Au fost efectuate numeroase cercetări în direcția îmbunătățirii performanțelor constructive, în vederea creșterii productivității prelucrării, din punctul de vedere al sculei așchietoare, astfel încât acestea să permită regimuri intense de prelucrare. În această direcție nu se întrevăd rezultate spectaculoase în viitorul apropiat. O cale de urmat este dată de acele soluții care reduc timpul de bază și cel auxiliar, pe baza dezvoltării și utilizării sculelor combinate, a celor cu reglare automată și a celor inteligente.

La sculele combinate problemele care apar sunt legate de condițiile diferite în care lucrează tășurile, ceea ce duce la o uzură diferită a acestora.

Unul din obiectivele tezei constă în conceperea și dezvoltarea, pentru prelucrarea prin așchiere a suprafețelor cilindrice coaxiale cu scule combinate, a unor modele matematice pentru studiul și analiza uzurii tășurilor și a dinamicii procesului de așchiere, modele validate printr-un set de cercetări experimentale și concretizate într-un program complex care să automatizeze procesul de simulare și să permită o optimizare a procesului. În vederea validării experimentale autorul își propune proiectarea și materializarea unui dispozitiv cu funcționalitate multiplă, dotat cu toate mijloacele fizice și logice necesare procesului de măsurare a forțelor, a puterii, a uzurii și a unor parametri specifici mișcărilor vibratorii din proces, integrabil în sistemele flexibile de prelucrare prin așchiere. În acestea un factor important îl constituie estimarea durabilității sculelor așchietoare, care permite stabilirea numărului lor în magazinele de scule ale mașinilor prelucrătoare. Actualmente s-a constatat o variație foarte mare a durabilității sculelor așchietoare ceea ce duce la frecvente opriri ale procesului în vederea înlocuirii celor uzate.

Având în vedere importanța structurilor de fabricație flexibilă implementate în ramuri industriale în întreaga lume, un alt obiectiv al tezei îl constituie rezolvarea

principalelor aspecte cu privire la integrarea acestui tip de sculă în respectivele sisteme și perfectarea unor soluții cu privire la monitorizarea uzurii tășurilor în vederea stabilirii momentului schimbării sculelor așchietoare ieșite din parametrii geometrici, necesari unei prelucrări la precizia și cu calitatea suprafeței impusă.

## 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND SISTEMELE DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ (S.F.F.) PENTRU PRELUCRĂRI PRIN AȘCHIERE

### 2.1. Considerații generale

În scopul stabilirii aspectelor legate de folosirea sculelor combinate în sistemele flexibile de fabricație, în vederea definirii condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească aceste scule cât și a mediului în care acestea acționează, în acest capitol sunt prezentate noțiunile de bază privind sistemele flexibile de fabricație (S.F.F.) așa cum sunt definite ele în concepția tehnologică modernă a majorității specialiștilor din acest domeniu [K6], [D7], [K8], [B7], [K7]. Contextul mai larg în care se încadrează tema discutată este cel al *producției*.

Funcția generală a *producției* este de a asigura producerea de bunuri materiale, spirituale și de servicii necesare consumatorilor.

Prin *producție* se înțelege suma tuturor activităților ce presupun transformări de bunuri materiale sau servicii prin consum de forță de muncă (intrări) în bunuri materiale modificate sau servicii (ieșiri), în scopul satisfacerii unor necesități.

În cadrul producției sunt incluse mai multe activități:

- depistarea necesităților prin prospectarea pieței – *marketing*;
- stabilirea concepției constructive și/sau tehnologice a produsului prin – *proiectare (design)*;
- *fabricația* – totalitatea activităților pentru realizarea *concretă* a unui produs (bun material sau serviciu), prin consum de bunuri materiale sau servicii, forță de muncă și energie;
- *vânzarea* – desfacerea produsului, se consumă atât forță de muncă cât și alte servicii, pentru a putea desfășura normal vânzarea;
- *servicii după vânzare*, ca: întreținere, reparații, asigurări de up-grade;
- activitatea organizatorică pentru corelarea tuturor acestor activități – *management*.

Din cele enumerate, activitatea ce prezintă importanță în cazul tezei este fabricația. Fabricația privită în complexitatea ei este considerată ca fiind un proces incluzând aspecte tehnologice și economice. Cadrul general în care pot fi plasate

**Teză de doctorat**

sistemele de fabricație este alcătuit de sfera proceselor de fabricație. Sculele combinate sunt utilizate în cadrul specific al proceselor de prelucrare, relația dintre acestea și procesele de fabricație urmărind să se definească în continuare așa cum se arată în [K6], [K8], [K7], [R4], [C1].

În lucrarea [K6], *procesul de fabricație* este definit ca o entitate tehnologică ce include totalitatea acțiunilor umane și a activităților utilajelor/instalațiilor care concură la realizarea unui produs, pornind de la starea de semifabricat și până la starea de produs finit.

Acțiunile și activitățile amintite se numesc uzual operații și se împart la rândul lor conform figurii 2.1 în:

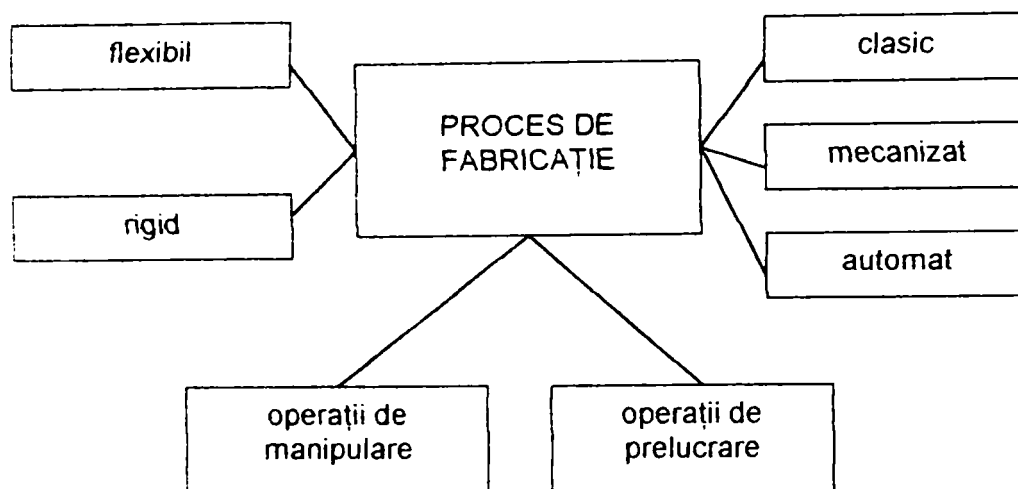


Figura 2.1.

Clasificarea și componența proceselor de fabricație

- *operații de manipulare*, sunt acele operații prin care se schimbă situarea obiectului manipulat în cadrul sistemului de fabricație (transfer scurt). El poate fi obiect de lucru (asupra căruia se efectuează operații de prelucrare), o sculă sau un dispozitiv de lucru, deșeuri, etc.

- *operații de prelucrare*, sunt acele operații în cursul cărora se schimbă forma, dimensiunile, starea de agregare, componența, proprietățile fizice și chimice ale obiectului de lucru.

Procesul de fabricație este inclus la rândul său în *procesul de producție*, care, în sens larg conține toate activitățile care se realizează în întreprindere, iar în sens îngust, cele care sunt legate de nivelul de execuție: depozitare, transfer fabricație, control. Procesul de fabricație după cum rezultă din figura 2.1 se poate clasifica, funcție de participarea operatorului uman în *proces clasic mecanizat și automat*.

- *procesul de fabricație clasic* presupune o participare activă a operatorului uman atât în activitățile legate de manipularea obiectului de lucru cât și cele legate de operații de prelucrare.

- *procesul de fabricație mecanizat* necesită prezența operatorului uman doar în activitățile de comandă ale procesului, toate celelalte fiind realizate potrivit comenzii de către instalații mecanizate.

- *procesul de fabricație automat* presupune atât conducerea cât și desfășurarea operațiilor fără intervenția operatorului uman, el având doar rolul de supraveghere a procesului de fabricație.

Funcție de rapiditatea de răspuns la comenzile de lansare în producție a unui nou produs, procesul de fabricație poate fi caracterizat ca :

- *proces rigid* (necesită timp îndelungat, respectiv, costuri mari pentru schimbarea produsului în fabricație)
- *proces flexibil* (trecerea la fabricarea unui nou obiect se face cu consum minim de material și manoperă).

Flexibilitatea este calitatea de a răspunde eficient la circumstanțe schimbătoare:

- *de stare* când sistemul funcționează în condiții variate cum sunt: ordinea operațiilor, trasee diferite, volum schimbător al producției, etc.
- *de acțiune* care se referă la volumul schimbărilor necesare pentru modificarea condițiilor la mașina de lucru, la dispozitivele de lucru etc.

Procesele de fabricație se derulează cu ajutorul unui suport fizico–informatic complex numit sistem de fabricație. Conform lucrării [K6] *sistemul de fabricație* poate fi definit ca totalitatea mijloacelor necesare, grupate în spațiu, precum și totalitatea programelor, documentelor, deprinderilor pentru realizarea procesului de fabricație.

O clasificare a sistemelor de fabricație este dată în figura 2.2., această clasificare prezentând o similitudine avansată cu cea a proceselor de fabricație.

Subsistemul de manipulare realizează operațiile de manipulare ale procesului de fabricație. În caz general el este compus din operatorul uman (OU), robot industrial (RI) – care execută operațiile de manipulare de mare complexitate și instalația aducătoare de evacuare (IA/E) – care realizează operațiile de manipulare simple. La rândul său instalația IA/E conține, în caz general, instalația



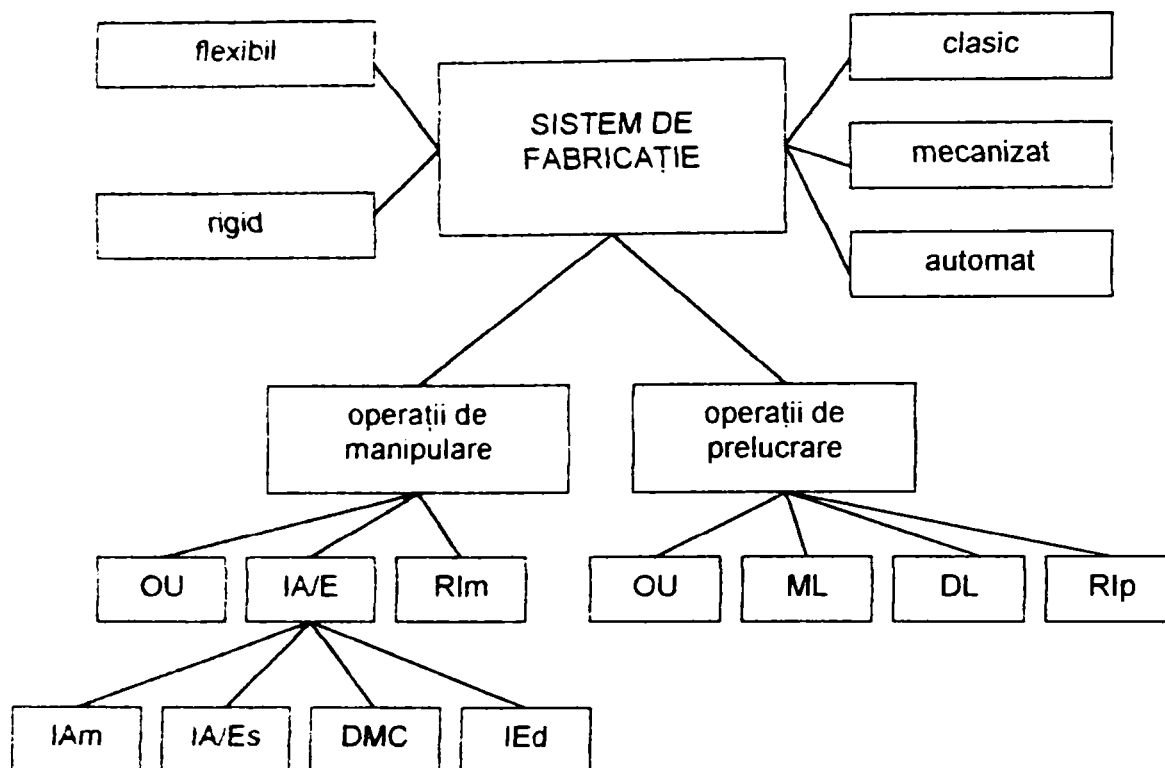


Figura 2.2.

Clasificarea și componența sistemelor de fabricație

aducătoare de material ( $IA_m$ ), instalația aducătoare / de evacuare scule ( $IA/E_s$ ), dispozitive de măsurare și control (DMC) și instalația de evacuare deșeuri ( $IE_d$ ).

Subsistemul de prelucrare realizează operațiile de prelucrare. În caz general el cuprinde OU, mașini de lucru (ML), dispozitive de lucru (DL) și roboți industriali de prelucrare ( $RI_p$ ).

Semnificația abrevierilor din figura 2.2 este:

OU – operator uman;

IA/E – instalație aducătoare / de evacuare materiale;

RI – roboți industriali (membru al “familiei robot”) [K4];

DL – dispozitiv de lucru;

DMC – dispozitiv de măsurare și control;

m – manipulare.

p – prelucrare;

s – scula.

d – deșeuri.

În cadrul *sistemului de fabricație clasic*, operatorul uman (OU) îndeplinește în totalitate funcțiunile subsistemului de manipulare a obiectului de lucru, acest tip de sistem neavând în componența sa IAE, RI.

La *sistemul de fabricație mecanizat* operațiile de manipulare se realizează cu IAE, manipolatoare, OU îndeplinind funcții de comandă manuală.

Pe cea mai înaltă treaptă de dezvoltare a sistemelor de fabricație stau *sistemele automatizate* care au eliminat complet OU din procesul de fabricație funcțiile acestuia fiind prelucrate de către sisteme de conducere avansate.

Fiecare dintre aceste tipuri de sisteme de fabricație poate, funcție de caracterul universal al componentelor sale, să permită schimbarea facilă / dificilă a sarcinii de fabricație (obiectului de prelucrat). Astfel, sistemele pot avea proprietăți de flexibilitate, respectiv rigiditate.

Gruparea spațială a mijloacele de producție aferente unui sistem de fabricație este arătată în figura 2.3.

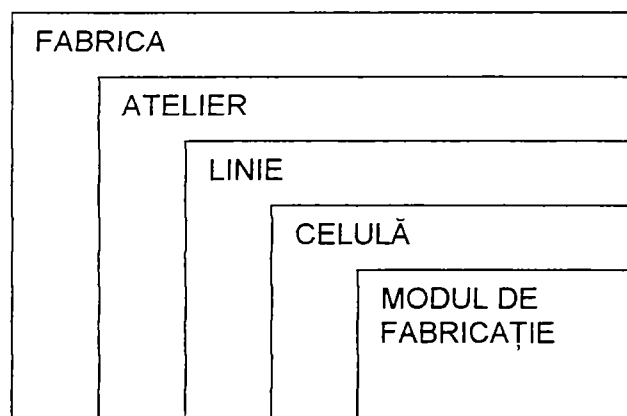


Figura 2.3.

Ierarhia sistemelor de fabricație

Modalitatea cea mai adecvată de descriere a sistemelor de fabricație, respectiv de prelucrare, este dată de către un ansamblu de metode constituite în "Teoria sistemelor", [K8], [K7]. Descrierea, analiza și proiectarea sistemelor de fabricație flexibilă în termenii teoriei sistemelor, necesită definirea câtorva noțiuni de bază. În lucrarea [K6] sunt definite cele mai importante noțiuni ce fac parte din teoria sistemelor și pot fi folosite în mod corespunzător în descrierea sistemelor flexibile.

Cuvântul *sistem* își are originea în grecescul "to systema" și are înțelesul de un tot întreg. Potrivit concepției moderne, prin *sistem* se înțelege un ansamblu

**Teză de doctorat**

organic (multime) de elemente între care există o mulțime de relații (de coordonare, de subordonare, de cooperare etc.).

În funcție de raporturile sistemului cu mediul, sistemele se pot clasifica în :

- *sistem izolat* (închis) – sistemul care nu are nici o legătură cu mediul său;

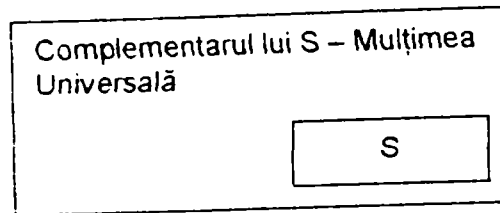


Figura 2.4.

**Sistem izolat (închis)**

- *sistem deschis* – sistemul care are legături (relații) cu mediul său; aceste legături pot fi *orientate sau neorientate*; legăturile orientate pot fi la rândul lor de două feluri: *intrări (input)* și respectiv *ieșiri (output)*.

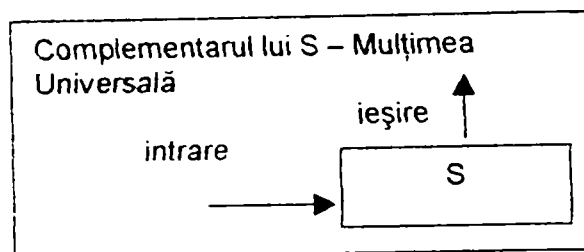


Figura 2.5.

**Sistem deschis**

În funcție de numărul elementelor și a relațiilor există:

- *sisteme simple* – ce includ două subsisteme și respectiv relațiile dintre ele.
- *sisteme multiple* – sunt formate din mai mult de două elemente și relațiile dintre ele.

După concordanța (corespondența) intrărilor și ieșirilor există:

- *sistem determinat* – dacă oricărei intrări îi corespunde o ieșire bine determinată;
- *sistem nedeterminat* – dacă această corespondență nu se poate realiza.

Clasificarea sistemelor este mai vastă, dar nu face obiectul lucrării de față.

Descrierea în limbaj matematic este posibilă prin realizarea unui model matematic al sistemului.

Pentru a putea modela un sistem este necesară cunoașterea structurii sale, a intrărilor, a ieșirilor și a funcției sale. Primul pas al definirii unui model este realizarea unei scheme bloc. Prin *schemă bloc* se înțelege o reprezentare simplificată a unui sistem în care subsistemele sunt reprezentate prin dreptunghiuri și legăturile între acestea prin săgeți.

Schema bloc a sistemului S – reprezentată în figura 2.6 – se caracterizează prin mărimi de intrare  $\underline{X}$ , (input sau excitația sistemului), cu cele n componente scalare ale sale  $\underline{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ , respectiv vectorul de ieșire  $\underline{Y}$ , (output sau răspunsul sistemului), cu cele m componente scalare  $\underline{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$

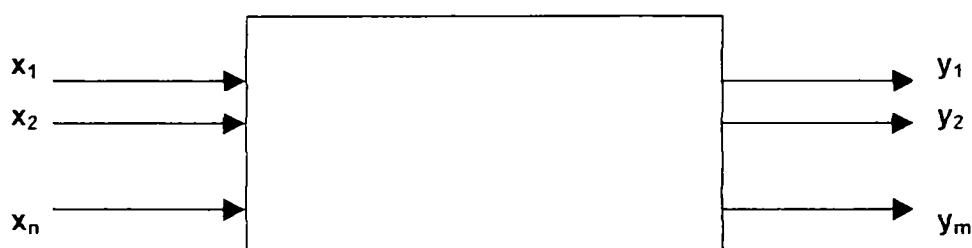


Figura 2.6.

**Schema bloc a unui sistem S**

Între vectorul de intrare și cel de ieșire întotdeauna se poate stabili o relație de forma:

$$\underline{Y} = \underline{T} \cdot \underline{X}$$

unde: T-reprezintă matricea de transfer (exprimând funcția sau sarcina) a sistemului. Prin *funcția (sarcina)* unui sistem se înțelege acea funcție ce transformă starea caracterizată prin intrări, într-o altă stare caracterizată prin ieșirile sistemului.

Din punctul de vedere al sistemelor pot fi dezvoltate trei aspecte importante:

- funcțional,
- structural,
- ierarhic.

Sistemele de fabricație trebuie și ele să se integreze în această viziune.

Aspectul *funcțional*, (figura 2.6.) descrie sistemul într-o formulă cauzală, în sensul dependenței ieșirilor din sistem de intrările în sistem. În sistemele de fabricație acest aspect reprezintă viziunea tehnologică, adică sistemul este cel care trebuie să

transforme "n" semifabricate în "m" produse finite materializând anumite procedee tehnologice.

La aspectul *structural* se urmărește componența sistemului și relațiile dintre elementele sale. În sistemele de fabricație acest aspect vizează preocupările constructive, adică proiectarea echipamentelor din care este compus sistemul și crearea posibilităților de interconectare a acestora.

În sfârșit, aspectul *ierarhic* conturează limitele sistemelor, adică posibilitățile de agregare respectiv dezagregare a unui sistem într-unul mai mare sau în sub sisteme. Acest aspect este cel organizatoric (managerial) care face ca sistemul de fabricație să fie mai mult decât suma componentelor sale. El atașează ranguri componentelor sistemului de fabricație, le interfațează, le asociază unor funcții, le stabilește criteriile de performanță și modalități de conducere, le integrează și le conectează cu elemente din mediul înconjurător.

În figura 2.7 se prezintă un exemplu de schemă bloc a unei celule flexibile de fabricație.

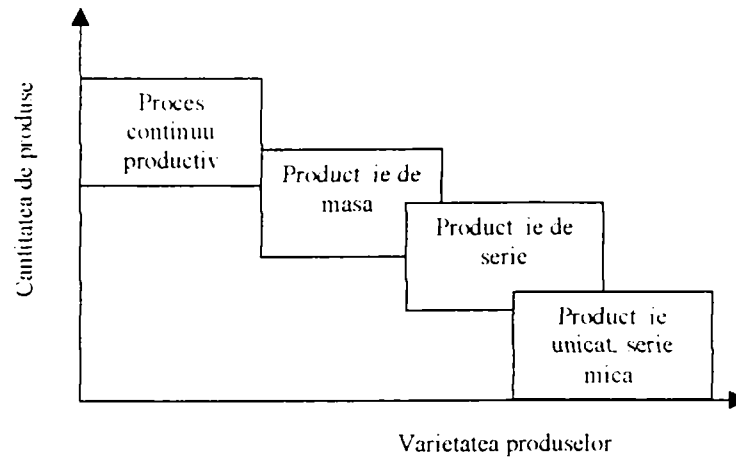


Figura 2.7.

Schema bloc a unei celule flexibile de fabricație

Două dintre cele mai importante caracteristici ale sistemelor flexibile de fabricație sunt: *flexibilitatea* ( termen regăsit și în denumire) și *automatizarea*.

După cum se arată și în lucrările [K7], [K8] flexibilitatea se definește ca fiind calitatea unui sistem de a răspunde eficient la circumstanțele schimbătoare: *de stare* și respectiv *de acțiune*.



**Figura 2.8.**

**Cantitatea de produse funcție de varietatea acestora**

Necesitatea flexibilității apare odată cu creșterea varietății produselor.

În cazul fabricației clasice se folosește, în general, noțiunea de elasticitate tehnologică.

Flexibilitatea fabricației prezintă mai multe categorii:

a) *Flexibilitatea de utilizare* ( $F_u$ ) reprezintă capacitatea unui sistem de fabricație de a realiza un anumit număr de sarcini de fabricație dintr-o mulțime de sarcini de fabricație posibile:

$$F_u = \frac{S_R}{S_T} \leq 1 \quad (2.1)$$

unde:

$S_R$  – numărul sarcinilor de fabricație pe care le poate executa sistemul considerat;

$S_T$  – numărul total al sarcinilor de fabricație.

b) *Flexibilitatea de adaptare* ( $F_A$ ) reprezintă capacitatea mijloacelor de producție ce constituie sistemul de a se adapta la diferite sarcini de fabricație și se apreciază valoric:

$$F_A = \frac{V}{C_{A1}} \quad (2.2)$$

unde:

$C_{A1}$  – cheltuielile necesare realizării sarcinii I;

$V$  – valoarea mijloacelor de producție incluse în sistem.

Adaptarea se poate realiza prin:

**Teză de doctorat**

- transformare – înlocuirea unor elemente funcționale a mijloacelor de producție cu altele;
- modificare – selectarea pentru un anumit proces a unor elemente funcționale dintr-o mulțime existentă;
- reglarea – se înțelege adaptarea ce se face prin modificarea caracteristicilor elementelor funcționale (reechipare).

c) *Flexibilitatea de acces* este capacitatea unui anumit mijloc de producție de a accepta să fie străbătut de un anumit flux de fabricație.

$$F_{a,c} = \frac{N_r}{N_f} \quad (2.3)$$

unde:

$N_r$  – numărul fluxurilor de fabricație ce pot trece prin utilajul respectiv;

$N_f$  – numărul total al fluxurilor de fabricație.

d) *Flexibilitatea de redundanță* este capacitatea unui sistem de fabricație de a avea la dispoziție mai multe mijloace de producție pentru aceeași sarcină tehnologică.

$$F_r = \frac{N_{pr}}{N_p} \quad (2.4)$$

unde:

$N_{pr}$  – numărul posturilor de lucru care pot efectua aceeași sarcină de fabricație în mai multe variante ale traseului tehnologic;

$N_p$  – numărul total al posturilor de lucru.

e) *Flexibilitatea de modificare structurală* reprezintă capacitatea sistemului de a-și modifica structura în funcție de sarcina tehnologică (extindere, restructurare, modificarea amplasamentelor mașinilor de lucru).

$$F_s = \frac{n_{st}}{n_{str}} \quad (2.5)$$

unde:

$n_{str}$  – numărul variantelor de structură realizabile din punct de vedere practic;

$n_{st}$  – numărul total al variantelor structurale posibil matematic pentru

sistemul respectiv.

f) *Flexibilitate de stocaj* reprezintă capacitatea sistemului de a permite acumularea unui număr de produse între două mijloace de producție care funcționează cu capacități diferite.

$$F_{stocaj} = C_i - C_{i+1} \quad (2.6)$$

unde:

$C_i, C_{i+1}$  – capacitatea de fabricație a mijloacelor de producție “i” și respectiv “i+1” în unitatea de timp.

g) *Flexibilitatea de programare* reprezintă capacitatea sistemului de a accepta programe de conducere de o varietate cât mai mare dintr-o mulțime de programe.

$$F_{prg} = \frac{N_f}{N_p} \quad (2.7)$$

unde:

$n_{prg}$  – numărul real de programe acceptate de sistemul de fabricație flexibilă;

$n_{prt}$  – numărul total de programe posibile.

În concluzie, flexibilitatea unui sistem de fabricație presupune:

- o structură variabilă;
- posibilitatea schimbării, înlocuirii, reglării unor subsisteme în funcție de sarcinile de fabricație;
- programabilitatea / reprogramabilitatea mijloacelor de producție.

Mijloacele de producție trebuie să corespundă cerințelor de flexibilitate a sistemului în care sunt implicate, adică să fie adecvate mediului în care se utilizează. Prin *adecvare* se înțelege gradul în care proprietățile mijlocului de producție corespund cu cerințele impuse de fabricația de serie flexibilă. Adecvarea este necesar a fi privită din două puncte de vedere: tehnic și economic.

*Adecvarea tehnică* se impune prin două aspecte, și anume: *calitative* respectiv *cantitative*.

În cazul în care se au în vedere *considerațiile calitative* este necesar a se stabili dacă:

- mijloacele de producție se pot adecva modului în care se realizează prelucrarea;



Teză de doctorat

- se pot realiza cicluri de funcționare diferite;
- mijlocul de producție poate fi interconectat cu alte mijloace de producție.

*Considerentele cantitative* sunt legate în principal de:

- sarcina de fabricație
- proces, funcție de puteri, viteze, avansuri, precizie, calitate, etc.

În cazul *adecvării economice* se analizează în principal următoarele aspecte legate de fabricație

- capacitatea de fabricație
- disponibilitatea în timp
- utilizarea mijloacelor de producție, aspect ce poate fi privit atât din punct de vedere cantitativ, cât și din punct de vedere calitativ.

Utilizarea mijloacelor de producție poate fi tratată *cantitativ* și anume utilizare în timp, respectiv prin intensificarea regimurilor sau *calitativ* prin utilizarea posibilităților graduale sau alternative.

Principala caracteristică a unui *proces de fabricație automatizat* o reprezintă neparticiparea operatorului uman la conducerea și desfășurarea operațiilor din cadrul procesului de fabricație, rolul său fiind acela de supervizor (de supraveghere) al procesului. Conform [K7] prin *automatizare* se înțelege organizarea unui proces de fabricație astfel încât participarea operatorului uman la desfășurarea procesului să nu aibă loc nici într-un mod continuu, nici într-un ritm impus.

Condițiile funcționării automate a unui proces de fabricație se prezintă sintetic în tabelul 2.1

Dacă se analizează tipurile de activități ale operatorului uman executate în cadrul unui sistem clasic și modul în care se poate automatiza fiecare activitate în parte se obțin următoarele grupe:

- manipularea obiectelor de lucru se poate automatiza prin alegerea instalației aducătoare / de evacuare I/AE sau / și a unui robot industrial (manipulator) respectând condiția ca sistemul să prezinte un plan de amplasament adecvat;
- comanda mijloacelor de producție care efectuează prelucrare se poate automatiza sub două aspecte și anume prin automatizarea comenzilor de

pornire / oprire și respectiv prin automatizarea propriuzisă a desfășurării prelucrării;

- automatizarea controlului și verificării calității se realizează prin automatizarea operațiilor de măsurare și control (posturi integrate în sistem, control activ, posturi separate de sistem);
- efectuarea unor operații auxiliare procesului: automatizarea evacuării șpanului, automatizarea aducerii materialelor auxiliare;
- supravegherea și întreținerea se automatizează cu ajutorul programelor de monitorizare/ diagnoză.

Tabelul 2.1.

Categorii de operații de executat	Soluții tehnice	Măsuri Organizatorice
Acțiunea sculei asupra obiectului: - mișcarea relativă; - variabilitatea parametrilor procesului.	Automatizarea acționării	Realizarea Acționării
Conducerea procesului: - transmiterea comenzii; - culegerea informațiilor de stare.	Informatizare	Integrarea din punct de vedere informațional a subsistemelor
Manipularea obiectelor de lucru	Logistică internă	Integrarea fluxului material
Adaptarea mijloacelor de producție la sarcini variabile	Reechipare automată	Realizarea condițiilor de flexibilitate

Combinând cele două caracteristici de bază putem spune că proprietățile fabricației flexibile automate sunt:

Teză de doctorat

- *integrabilitatea*: permite realizarea legăturilor între sisteme. Ea se referă atât la componentele sistemului cât și la fluxurile de materiale, energie și respectiv informație;
- *adaptabilitatea*: permite adaptarea sistemului la diferite sarcini de fabricație prin acțiuni suplimentare de modificări în sistem;
- *adekvarea*: permite adaptarea sistemului la diferite sarcini de fabricație fără intervenții suplimentare în sistem;
- *concepția dinamică*: permite realizarea unor modificări structurale ale sistemului. [R4].

Sistemele flexibile de fabricație, în dezvoltarea lor, au trecut prin mai multe faze conceptuale, în care gradul de automatizare realizat a fost din ce în ce mai ridicat. Una dintre ultimele astfel de faze, bine conturate din punct de vedere conceptual și de o mare importanță, se numește CIM. Desigur, conceptul CIM nu este ultimul, deoarece sistemele flexibile de fabricație sunt în continuă dezvoltare.

CIM este acronimul denumirii *Computer Integrated Manufacturing* și înseamnă *fabricație integrată cu calculatorul*.

Potrivit lucrării [K8], *principiul CIM* stă la baza *fabricii viitorului*. El preconizează automatizarea integrală a tuturor activităților care concurează la realizarea anumitor produse și integrarea (cuprinderea) acestor activități automate într-un ansamblu unic, prin interconectarea calculatoarelor într-o rețea unică (*rețeaua informațională CIM*) care comandă tot sistemul.

Fabricația este, de fapt, una dintre activitățile producției. Integrarea prin calculator se extinde în realitate și asupra altor genuri de activități. În acest sens, mai potrivită conținutului ar fi denumirea *Computer Integrated Production (CIP)*.

Primele încercări de a realiza o *fabrică fără operator uman* a apărut în ultimele două decenii. Fabrica *Fujitsu* al concernului *Fanuc* a fost pusă în funcție în 1981, produce roboți industriali, lucrează în două schimburi fără operator uman, iar în schimbul trei aceștia intervin numai pentru efectuarea lucrărilor de întreținere și reparație. În prima jumătate a anilor '80 o asemenea fabrică a fost pusă în funcție în Luxemburg. La mijlocul deceniului trecut, concernul japonez fabricant de mașini unelte *Yamasaki* a construit și organizat după principiul CIM fabrica *Mazak* din Anglia. Secțiunile de uzinat bloc motor și de montaj motor ale fabricii de motoare pentru automobile *Francaise de Mecanique* de la Douvrin (Franța), pusă în funcție în anul

1991 lucrează, de asemenea, după principiile CIM. *Fabrica de roboți* de la Plovdiv (Bulgaria) dotată de *Fanuc* în 1985 are secții care pot produce, de asemenea, fără operatori umani.

În paralel cu aceste realizări tehnice și tehnologice – de fapt stimulate de ele – tot în deceniul anilor '80 a fost dezvoltat suportul teoretic al *principiului CIM* la universitățile și instituțiile de cercetare din SUA, Europa de Vest și Japonia. Un rol de frunte a avut în această direcție *Institutul de Producție și Automatizare (IPA)* din Stuttgart a *Societății Fraunhofer* (Germania).

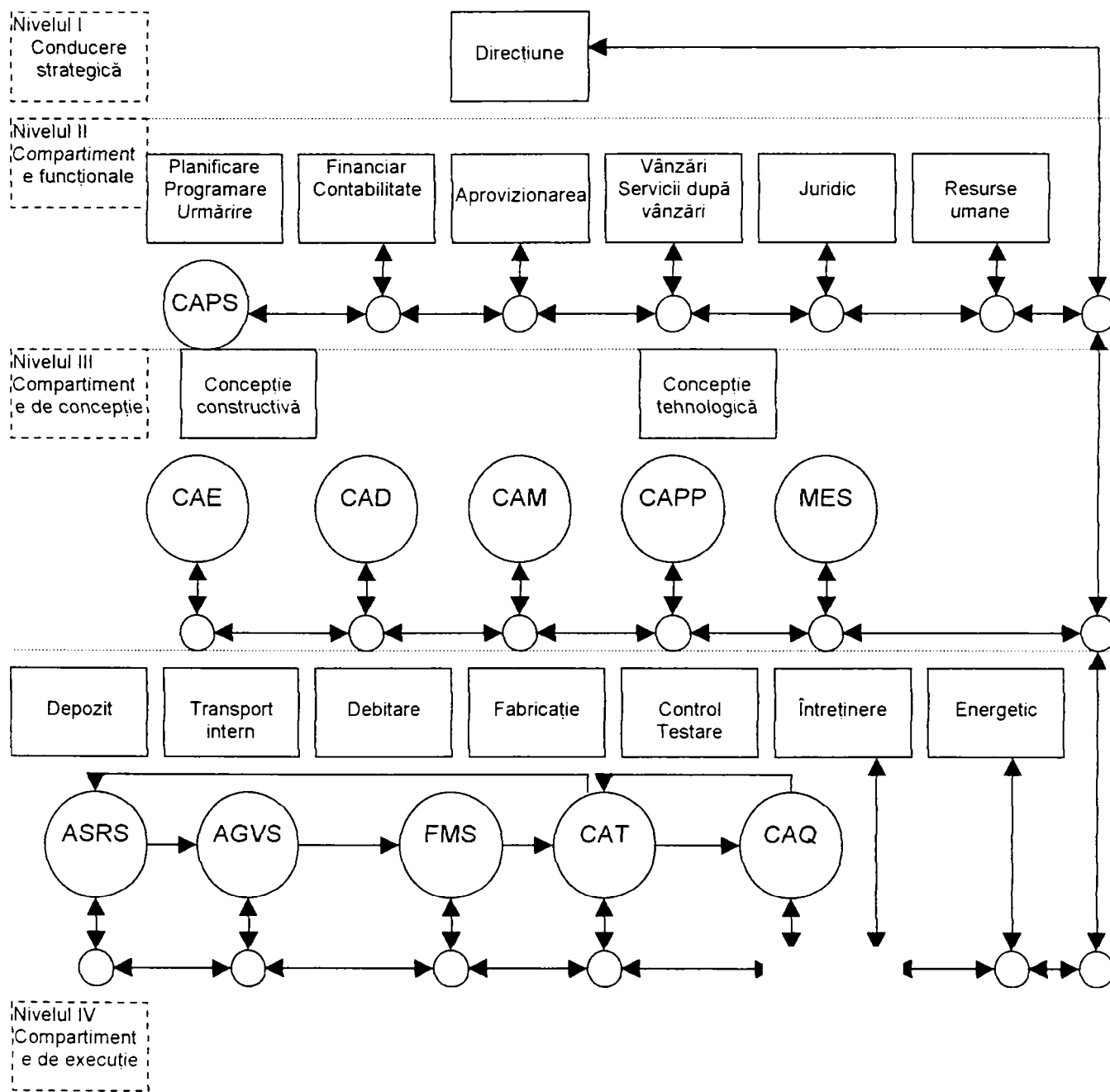


Figura 2.9.

Hipersistem CIM

CIM este de fapt un hipersistem care constă dintr-o mulțime din așa zise *facilități*, precum sunt: mașinile, dispozitivele, instalațiile, rețelele de calculatoare,

interfețele, programele, structurile de organizare, care sunt interconectate prin fluxurile de materiale, de energie și mai ales de informații.

Pentru exemplificare se va prezenta schema unui asemenea hipersistem CIM grefat pe organigrama unei întreprinderi industriale mijlocii sau mari. Într-o asemenea organigramă se disting patru nivele de activitate: strategic, funcțional, de concepție și de execuție [K8], figura. 2.9. Unora dintre compartimentele nivelelor de execuție le sunt aferente facilități CIM, alte compartimente utilizează calculatoare (rețele de calculatoare). Atât facilitățile cât și calculatoarele celorlalte compartimente sunt interconectate într-o rețea informațională CIM.

Facilitatea aferentă pentru concepția constructivă este CAD (Computer Aided Design, proiectare constructivă asistată de calculator), concepției tehnologice îi este aferent CAPP (Computer Aided Process Planning, planificarea proceselor tehnologice asistată de calculator). Aceste facilități, la rândul lor, conlucrează cu niște facilități de tip sistem expert și anume CAD cu CAE (Computer Aided Engineering, inginerie asistată de calculator), iar CAPP cu MES (Manufacturing Expert System, sistem expert pentru fabricație).

CAD și CAPP conlucrează și transmit informațiile elaborate prin facilitatea CAM (Computer Aided Manufacturing) la nivelul de execuție.

Facilitățile aferente acestui nivel sunt:

- ASRS (Automated Storage and Retrieval System, sistem automat de depozitare și regăsire);
- AGVS (Automated Guided Vehicle System, sistem de vehicule ghidate automat);
- FMS (Flexible Manufacturing System, sistem de fabricație flexibilă) pentru debitare și fabricație;
- CAT (Computer Aided Testing, testare asistată de calculator) și CAQ (Computer Aided Quality Assurance, asigurarea calității asistate de calculator)

La nivel de compartimente funcționale există o singură facilitate : CAPS (Computer Aided Programming Scheduling, planificare, programare, urmărire asistate de calculator).

Informațiile provenite CAM și CAPS se transmit mai departe la facilitățile de execuție. La restul compartimentelor – Direcțiune, Financiar-contabil, Aprovizionare,

Vânzări și servicii după vânzări, Juridic, Resurse umane, Întreținere, Energetic – nu se atribuie facilități CIM separate. Ele utilizează calculatoare și sunt legate la sistemul informațional așa cum s-a arătat mai sus.

Principiul CIM elimină hârtia ca și purtător de informație. Toate informațiile se transmit prin rețeaua informațională ceea ce elimină munca umană neproductivă.

Se diminuează, de asemenea, pericolul transmiterii și interpretării documentelor cu erori. Datele din sistemul informațional stocate în baze de date sunt accesibile tuturor care au nevoie de ele, în orice moment. Întregul proces de producție devine astfel transparent și se elimină o serie de verigi birocratice, necreatoare. Orice modificare în documentație se operează simultan în toate bazele de date la care toți utilizatorii potențiali au acces.

Modelarea și simularea se folosesc la toate nivelele hipersistemului CIM ca și mijloace de simplificare și diversificare ale activităților specifice diferitelor facilități.

La nivelul de concepție se modelează produsul ca formă și comportament, prin utilizarea metodelor de modelare geometrică și grafică pe calculator, metoda elementului finit, etc. Ca urmare, nu mai este nevoie de execuția prototipului. Se execută modelul produsului și în locul încercării prototipului, testarea funcțională se efectuează prin simulare pe model. Se elimină astfel cheltuielile pentru materiale și pentru manopera necesară executării prototipului, respectiv, se scurtează ciclul de pregătire a fabricației.

O altă posibilitate legată de reducerea ciclului de pregătire a fabricației este așa numitul *Rapid Prototyping* (Construcția rapidă prototipului). Pe prototipul simplificat se testează caracteristicile greu de modelat, cum ar fi, de exemplu, cercetarea comportamentului în tunel aerodinamic.

Modelarea proceselor și simularea lor sunt metode specifice în cadrul facilităților CAPP și CAPS, în elaborarea, planificarea, programarea proceselor de producție și/sau fabricație. Procesele tehnologice sunt, de asemenea, modelate și simulate. În cadrul simulării proceselor tehnologice se urmărește desfășurarea lor în timp pentru mai multe variante și se trag concluziile necesare. Numai după verificarea corectitudinii concepțiilor preconizate se lansează procesul de fabricație a produsului.

Modelarea și simularea sunt utilizate și la nivelul conducerii strategice. În acest caz modelul se referă la întreaga întreprindere, la întregul sistem CIM.

**Teză de doctorat**

Principalul avantaj al utilizării calculatoarelor este posibilitatea elaborării unui număr mare de variante. În condițiile CIM, date fiind capacitățile de calcul disponibile, se pot elabora în scurt timp nu una, ci mai multe variante, dintre care se poate selecta rapid varianta optimă pentru fiecare caz dat. Astfel, numai în condițiile CIM se poate vorbi de conducerea științifică a activităților productive atât pe ansamblu, cât și pe componente.

Hipersistemul CIM înseamnă automatizare la nivel calitativ superior față de cel întâlnit în cadrul *insulelor automatizate* izolate. Scopul principiului CIM este ca în fiecare moment fiecare loc de muncă să aibă toate informațiile, materialele, dispozitivele, și sculele necesare pentru îndeplinirea sarcinii de producție pe care o are în momentul respectiv.

Într-un hipersistem CIM se corelează trei lumi: *gândirea umană, lumea modelului în calculator și lumea produsului fizic* (figura 2.10) [K8].

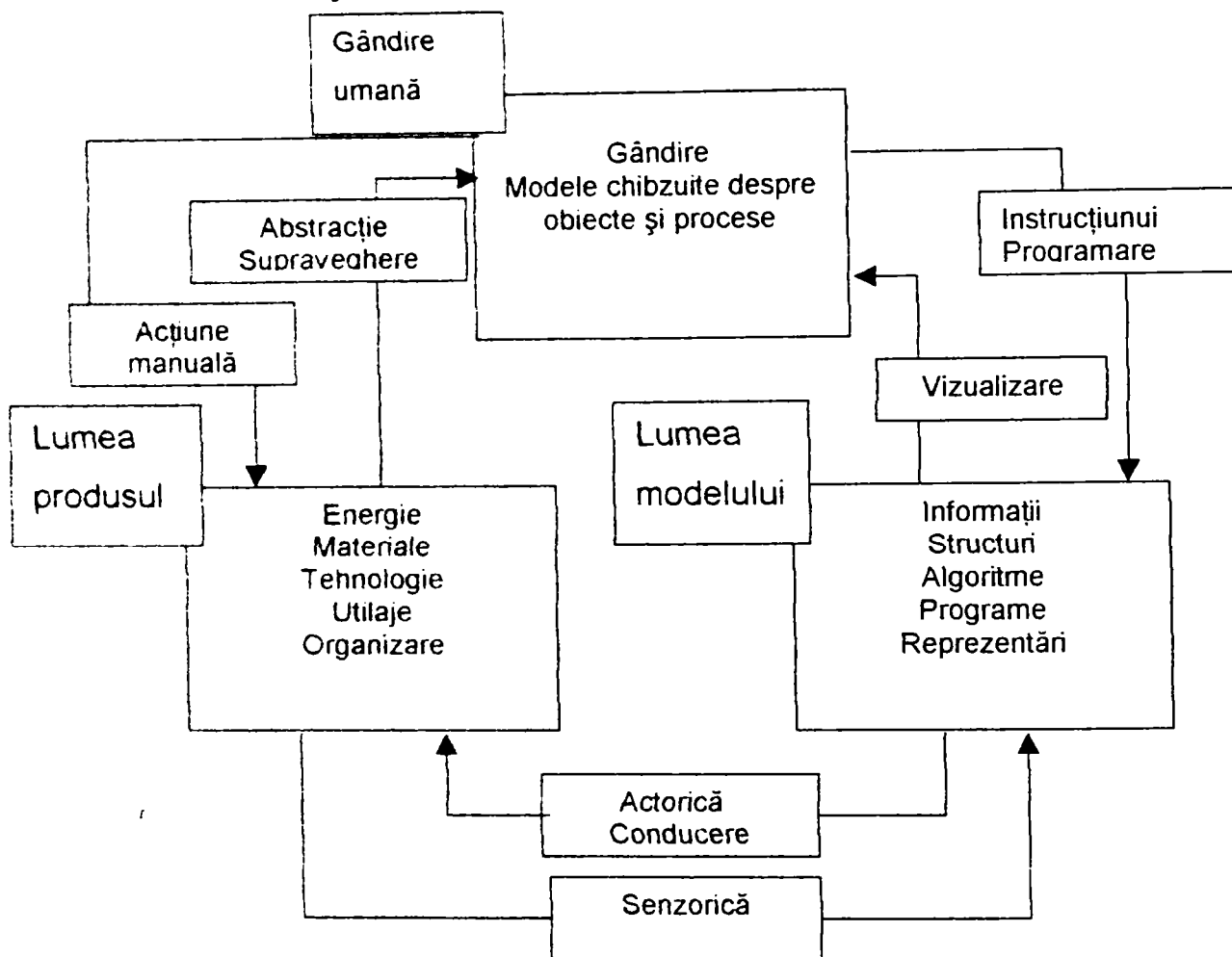


Figura 2.10

Corelarea celor trei lumi: *gândirea umană, lumea modelului în calculator și lumea produsului fizic*

*Lumea modelului în calculator* reprezintă sistemul și funcția de comandă. Ea acționează asupra lumii produsului fizic prin ceea ce se cheamă *actorică*, primind de la această lume fizică informații feedback denumite generic *senzorică*.

Legătura dintre gândirea umană și lumea modelului se realizează în transmiterea de instrucțiuni, care se integrează în *programe*. Feedback-ul constă în vizualizarea informațiilor furnizate de calculator, fie pe ecran, fie în documentele tipărite.

Prin arhitectura unui sistem de comandă se înțelege modul de dispunere al componentelor *hard* ale acestuia (calculatoare, dispozitive periferice, interfețe, etc.), funcțiile lor și legăturile între ele.

Sistemul de comandă al hipersistemului CIM (figura 2.11) este structurat pe un număr de rețele de calculatoare locale (de arie, LAN Local Area Network), destinate unor facilități, respectiv, compartimente ale hipersistemului CIM. Fiecare dintre aceste rețele este coordonată de câte un calculator de comandă (AC Area Controller).

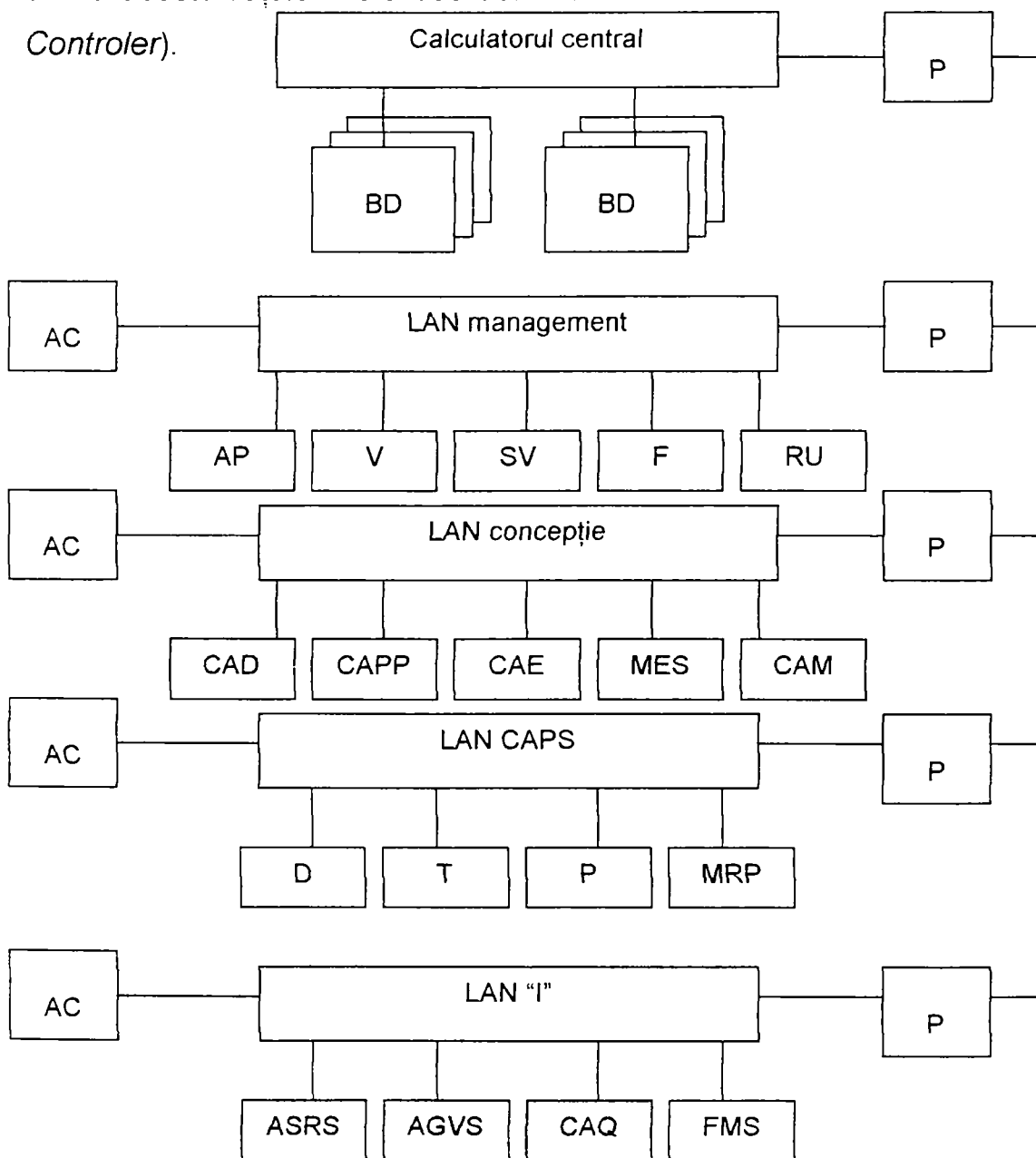


Figura 2.11

Sistemul de comandă al hipersistemului CIM



Teză de doctorat

Retelele locale sunt legate de magistrala informațională comună (BUS, *backbone* – șira spinării) prin porturile (P). Coordonarea rețelelor locale de calculatoare se realizează prin intermediul unui calculator central (*Director Computer*), care gestionează și baza de date centrale (BD). Calculatorul central servește activitatea direcțiunii.

Reteaua *LAN management* servește compartimentele funcționale de aprovizionare (AP), vânzare (V), servicii după vânzare (SV), financiar-contabil (F), resurse umane (RU) Reteaua *LAN concepție* servește facilitățile CAD, CAPP, CAE, MES și CAM. Reteaua LAN afectată facilității CAPS este dedicată activităților specifice acestei facilități precum sunt planificarea temporală (T), gestionarea planului principal al resurselor (*MRP Master Requirements Plan*), cât și conducerii unor activități corelate, precum sunt conducerea depozitelor și conducerea transportului intern.

Reteaua LAN "I" este destinată conducerii facilității / sistemului "I" ( $I = 1, 2, \dots, n$ ), care poate fi una dintre facilitățile ASRS, AGVS, CAQ – CAT, respectiv diferite sisteme de fabricație (FMS)

Organizarea întreprinderilor ca și introducerea hipersistemelor CIM prezintă numeroase avantaje. Printre acestea se remarcă:

- a) Creșterea capacităților tehnologice și organizatorice ale întreprinderilor industriale. În toate compartimentele care concură la producție apare o creștere a productivității muncii.
- b) Îmbunătățirea calității produselor, nu numai prin activitatea sectoarelor de execuție ci și prin cea a celorlalte compartimente.
- c) Scade timpul de răspuns al întreprinderii față de cerințele formulate de clienți. Întreprinderea devine mai flexibilă, mai repede adaptabilă la cerințele pieței, ca urmare crește capacitatea sa concurențială.
- d) Timpul de parcurgere a unui produs se scurtează, scade ciclul de fabricație, întreprinderea răspunde mai repede la cerințe, capitalul imobilizat în producția neterminată scade, crește eficiența economică a întreprinderii. Aplicarea principiului *just in time* (exact la timp) în cadrul facilității ASRS permite reducerea stocurilor și a spațiilor de depozitare
- e) Se depășesc unele contradicții care în producția clasică erau considerate fundamentale și de nereconciliat, după cum urmează:

e1) *Contradicția dintre flexibilitate-economicitate.* Într-un sistem de producție clasic schimbarea frecventă a produsului este dezavantajoasă din punct de vedere economic, pentru că în condițiile unei producții mai mult sau mai puțin rigide orice schimbare de produs conduce la cheltuieli suplimentare. Într-un sistem de producție flexibil, integrat informațional, la limită este economicoasă și producția de unicate.

e2) *Contradicția dintre calitate-cantitate.* În sistemul de producție clasic, în cazul executării produselor în cantități mari, nu există posibilitatea fizică să fie controlată calitatea fiecărui exemplar de produs. În condițiile sistemului CIM, aplicând metodologiile de management al calității, există posibilitatea de a ține sub control ambele aspecte, de a produce întreaga cantitate de produs la nivelul cerut de client, pentru fiecare exemplar.

f) Încărcarea rațională a mijloacelor de producție, reducerea parcului de dotări la strictul necesar, condus la exploatarea rațională a utilajelor și la reducerea cheltuielilor de investiție.

Ca dezavantaje ale hipersistemului CIM se amintesc:

a) Echipamentele, programele, etc., care constituie un hipersistem CIM sunt foarte scumpe. De aceea, organizarea întreprinderilor după principiul CIM trebuie făcută graduat, în mai multe etape, prin implementarea succesivă a unor insule automatizate flexibil.

b) Hipersistemul CIM este de mare complexitate, are multe componente și multe legături între acestea. Asigurarea fiabilității sistemului presupune dezvoltarea căilor de acces pentru ușurarea procurării componentelor de schimb.

c) Un hipersistem CIM se conduce după programe care materializează modele matematice. Experiența arată că procesele de producție nu pot fi totdeauna modelate matematic exact, între modelul matematic și procesul fizic există deosebiri, erori mai mari sau mai mici ale modelului matematic. Imposibilitatea modelării exacte a fenomenelor și a proceselor fizice conduce uneori, la scara de integrare a hipersistemului CIM, la perturbații majore, care la rândul lor pot produce disfuncționalități cu pierderi economice.

j) Hipersistemul CIM exclude în mare măsură operatorul uman pentru că este generator de erori, manopera lui constă mult, este uneori indisciplinat ca factor tehnologic, perturbă producția făcând grevă.

**Teză de doctorat**

Realitatea arată că în ultimii ani și operatorul uman a evoluat în țările dezvoltate. Morala muncii s-a schimbat în sensul, că dacă prin anii '70 stimulentele determinant al operatorului uman pentru muncă era asigurarea unui trai decent, a unui loc de muncă sigur și condiții de muncă potrivite cerințelor sale, după ce societățile din țările respective au ajuns să îndeplinească în linii mari aceste cerințe, oamenii tind spre găsirea unor obiective noi. De exemplu, ei apreciază dacă la locul de muncă au posibilitatea să colaboreze cu colegi simpatici, dacă există condiții pentru afirmarea calităților individuale, dacă li se acordă anumite libertăți în organizarea timpului de lucru, etc.

Desigur că asigurarea unor locuri de muncă sigure, cu salarii mari și timp de muncă redus, reclamă cheltuieli de producție mari, pentru soluționarea acestor probleme, cei care stăpâneau mijloacele de producție au adoptat inițial tendința înlocuirii operatorilor umani cu roboți și sisteme automate. În condițiile moralei de muncă noi, problema nu se mai pune cu aceeași acuitate, pentru că stimulentele amintite pot fi utilizate chiar în sensul îmbunătățirii activității productive, atât în folosul patronului cât și al operatorilor.

Din acest punct de vedere principiul CIM este depășit. Au apărut principii post CIM (*producția suplă, producția inteligentă, fabrica fractală, etc.*), care păstrează unele elemente ale principiului CIM și le dezvoltă prin revalorizarea rolului operatorului uman, mai ales în activitățile creative, precum și în luarea descentralizată a deciziilor.

## **2.2. Procese tehnologice de grup în sisteme de fabricație flexibile pentru prelucrări prin așchiere**

S-a arătat mai sus că în cadrul procesului tehnologic de fabricație flexibil se trece de la prelucrarea unui obiect de lucru la prelucrarea altuia cu cheltuieli minimale materiale și de manoperă. Condiția de bază a unui proces tehnologic flexibil este ca între obiectele de lucru care se prelucrează să existe o anumită înrudire. Obiectele de lucru care prezintă asemenea caracteristici de înrudire formează un grup [M4] (grup tehnologic).

Procesul tehnologic de fabricație flexibil este de fapt un proces tehnologic elaborat pentru toate obiectele de lucru din grup. El se obține alegându-se un obiect de lucru ideal (complex), care conține toate caracteristicile obiectelor de lucru din

grup. Un anumit obiect de lucru particular din grup se deduce din obiectul de lucru ideal prin particularizare, lăsând la o parte unele caracteristici ale obiectului de lucru ideal.

Procesul tehnologic de fabricație de grup se elaborează pentru prelucrarea piesei ideale. El va conține concepția tuturor operațiilor de prelucrare și de manipulare ale obiectelor de lucru ideal, a regimurilor de prelucrare și a programelor de manipulare aferente acestora, cât și a dispozitivelor de lucru și ale IAE, respectiv dispozitivului de prehensiune a RIm.

Dispozitivele aferente prelucrării, respectiv manipulării obiectului de lucru ideal poartă numele de dispozitive ideale.

Particularizarea procesului tehnologic ideal la fabricația unui obiect de lucru concret din grup se face prin anularea operațiilor din cadrul procesului tehnologic de grup care se referă la caracteristici ale obiectului de lucru ideal care nu se regăsesc în obiectul de lucru particular în discuție și a acelor elemente ale dispozitivului/dispozitivelor ideal/ideale care se referă la caracteristicile de mai sus.

În cazul proceselor tehnologice de fabricație conduse automat, procesul tehnologic de fabricație este codificat printr-un program de calculator compus din mai multe module, care se particularizează pentru execuția unui anumit obiect de lucru din grup prin rularea pe calculator a unui modul de program.

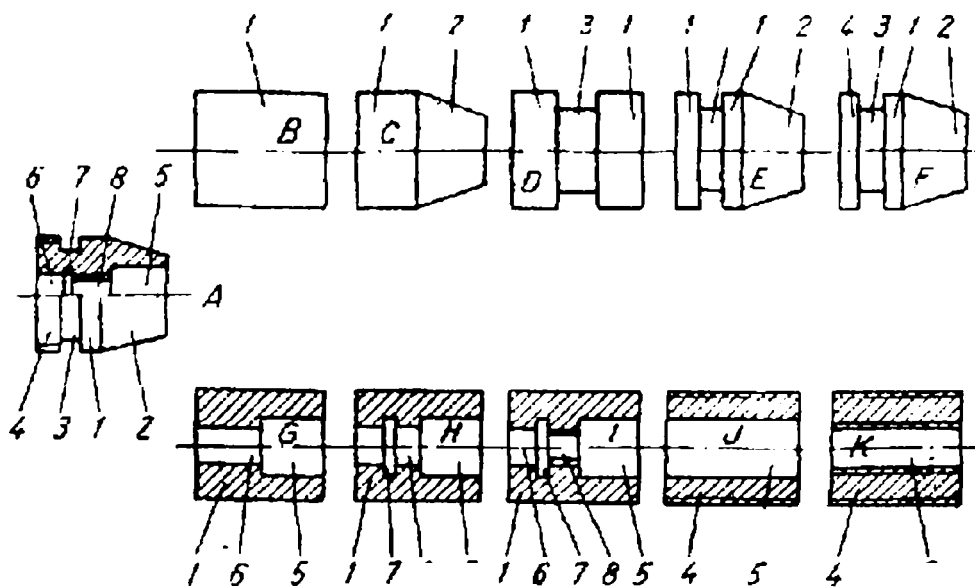


Figura 2.12

Formarea unui grup de obiecte de lucru și a obiectului de lucru

ideal pentru un proces tehnologic de grup pentru prelucrări prin așchiere (strunjire)

Pentru procese tehnologice de fabricație prin așchiere de grup, criteriile de formare a grupelor de obiecte de lucru iau în considerare următorii factori:

**Teză de doctorat**

- materialul din care se prevede a fi confecționate obiectele de lucru:
- caracterul comun al elementelor geometrice care definesc formele geometrice ale obiectelor de lucru:
- caracterul comun al proceselor tehnologice de realizat în decursul prelucrării obiectelor de lucru:
- gradul de netezire și de precizie a suprafețelor prelucrate pe fiecare obiect de lucru în parte:
- felul semifabricatului;
- dimensiunile loturilor de fabricație ale obiectului de lucru:

Pentru exemplificarea modului în care se formează o grupă de obiecte de lucru și cum se alege obiectul de lucru ideal, se prezintă figura 2.12 [M4].

Se presupune faptul că obiectele de lucru B... K sunt din oțel, se prelucrează din semifabricate laminate cilindrice, au dimensiuni de gabarit și grade de netezire precizie a suprafețelor prelucrate apropiate.

Se observă că obiectele de lucru luate în considerare sunt delimitate de unele din următoarele suprafețe elementare având axă geometrică comună (Tabelul 2.2).

Tabelul 2.2

Nr crt	Denumirea suprafeței elementare	Nr.crt.	Denumirea suprafeței elementare
1	cilindru exterior	5	cilindru interior
2	trunchi de con exterior	6	gaură cilindrică
3	degajare exterioară	7	canal interior
4	filet exterior	8	filet interior

Obiectul ideal A conține fiecare suprafață elementară o singură dată.

Obiectele de lucru ideale pot fi "naturale" (reale), în cazul în care unul din obiectele de lucru particulare din grup are caracteristici care îl fac capabil să joace rol de obiect de lucru "ideal" sau "artificial" (convențional) în cazul în care nu se poate găsi un obiect de lucru ideal "natural". În lucrarea [K7] se prezintă o metodă de formare a obiectului de lucru ideal prin descompunerea obiectelor de lucru din grup și recompunerea lor, luate fiecare o singură dată, în obiectul de lucru ideal pentru procese tehnologice de grup pentru prelucrări prin așchiere, indiferent de natura operațiilor. Lucrările [K8] și [G4] prezintă metode matriciale riguroase pentru definirea

obiectului de lucru ideal. Una dintre aceste metode a fost extinsă în lucrarea [T2] și pentru procese tehnologice de grup pentru asamblarea subansamblelor sudate. Dimensiunile suprafețelor elementare se vor alege între o limită maximă și una minimă. Valoarea maximă a dimensiunii în cauză va fi aleasă valoarea cea mai mare a unei suprafețe curbe delimitând un obiect de lucru particular aparținând grupului de obiecte de lucru.

## 2.3. Componentele sistemelor automate pentru prelucrări prin așchiere

### 2.3.1. Funcțiile sistemelor flexibile de prelucrări prin așchiere

Sistemele de prelucrări prin așchiere ( atât cele clasice cât și cele flexibile) au ca funcție principală transformarea prin mijloace specifice prelucrărilor prin așchiere, a semifabricatelor în piese finite. Sistemele flexibile automatizate trebuie să îndeplinească și o serie de alte funcții care în sistemele clasice sunt executate de către operatorul uman. Astfel, funcțiile unui sistem de prelucrare prin așchiere sunt:

- conducerea sistemului de fabricație;
- alimentarea cu materiale;
- manipularea pieselor și a materialelor;
- prelucrarea;
- alimentarea și evacuarea sculelor așchietoare;
- măsurarea și controlul pieselor executate;
- evacuarea pieselor din sistem;
- evacuarea așchiilor și deșeurilor din sistem.

Realizarea acestor funcții este atribuită unor componente ale sistemului flexibil, grupându-se, acolo unde este posibil, mai multe sarcini pe un anumit tip de element. Conducerea sistemului flexibil este atribuită *subsistemul informațional* care este de fapt o rețea de elemente informaționale ( calculatoare electronice), pe care sunt implementate programe ( soft-uri) adecvate. Informațiile se transmit între aceste calculatoare pe magistrale de date, sistemul fiind dotat cu interfețe soft ( protocoale de comunicare) ce asigură transferul corect al informațiilor. Transmisia poate consta în: baze de date ( parametrii tehnologici necesari prelucrării unei anumite piese, liste de scule ), programe (program piesă pentru o mașină CNC, program de fabricație ce

**Teză de doctorat**

contine ordinea de prelucrare a unui grup de piese), mesaje operative ("stand by", "ready", "busy", "enable"). Alimentarea cu materiale și evacuarea pieselor este realizată de *instalații aducătoare și de evacuare*. Manipularea pieselor ( între posturile de lucru sau între anumite posturi de lucru și instalațiile aducătoare și de evacuare) este realizată de *roboti industriali*. Prelucrarea propriu zisă este realizată de către *mașini unelte cu comandă numerică*, complet automatizate și în unele cazuri poate fi realizată de către roboti adecvati pentru anumite tipuri de prelucrări : ajustare, debavurare, găurire, polizare. Alimentarea și evacuarea sculelor este asigurată la nivelul sistemului de *instalații aducătoare și de evacuare speciale* (sisteme de depozitare și gestiune automată a sculelor) iar la nivelul mașinilor de prelucrare de către *sisteme de schimbare a sculelor*, ce se compun de obicei dintr-un manipulator și o magazie de scule locală. În cazul în care schimbarea sculelor se realizează la comanda unui sistem de monitorizare și diagnoză, aceasta poartă denumirea de *schimbare automată a sculelor*. *Măsurarea și controlul pieselor* pot fi realizate de către sisteme specializate (dispozitive de măsurat/control, inclusiv mașini de măsurat în coordonate), sau de către anumite elemente din componența mașinilor unelte cu comandă numerică ( palpatoare care se fixează în axul principal al mașinii în locul sculei ). *Evacuarea așchiilor* este realizată prin folosirea unor sisteme automate specializate.

În continuarea acestui paragraf se prezintă pe scurt componentele amintite, cât și unele principii de ordonare în timp ( ciclograme de funcționare) și în spațiu (scheme de amplasament) la funcționarea componentelor sistemelor flexibile.

**2.3.2. Subsistemul de prelucrare.** Din subsistemul de prelucrare al unui sistem flexibil de prelucrare prin așchiere fac parte: mașini-unelte, scule și dispozitive de lucru, acestea trebuind să fie adecvate prelucrării flexibile și automate în sensul celor arătate în paragraful 2.1.

**Mașinile unelte** pentru sistemele flexibile de fabricație sunt mașini-unelte cu comandă numerică standard și mașini specializate. Selecția mașinilor se face în funcție de cerintele procesului de prelucrare, determinată de următorii factori principali:

- mărimea semifabricatului;
- forma semifabricatului;

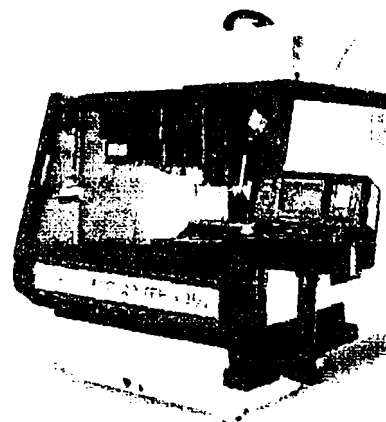
- varietatea formelor;
- ciclul de viață al produsului;
- perspectiva de viitor.

Mărimea semifabricatului determină alegerea mașinilor unelte din punctul de vedere al volumului maxim instalabil. Din punctul de vedere al formei, semifabricatele de revoluție, cum ar fi arbori, discuri, roți de angrenaj, etc. solicită mașini de tipul centrelor de prelucrare prin strunjire, figura 2.13. Semifabricatele prismatice solicită procedee de prelucrare cum ar fi frezarea sau găurirea care se execută pe centre de prelucrare prin frezare și găurire, figura 2.14. Varietatea formelor prelucrate impune, dacă este redusă, utilizarea unor mașini unelte specializate. Mărimea ciclului de viață al produsului poate determina utilizarea unor mașini cu o flexibilitate ridicată, atunci când acesta este scurt și e necesar să apară schimbări rapide, respectiv o flexibilitate mai scăzută când acesta este mare. Mașinile unelte utilizate în sistemele flexibile de fabricație au o serie de particularități, dintre care cele mai importante pot fi menționate:

- o construcție modulară;
- permit o mare concentrare a operațiilor de prelucrare, fiind dotate cu magazine de scule cu capacități care pot ajunge la peste 200 de locașuri;
- au autonomie în funcționare fără a fi necesară intervenția operatorului uman, fiind dotate cu o serie de subsisteme de control și diagnosticare a stării de funcționare.



**Figura 2.13**  
Centru de prelucrare prin strunjire



**Figura 2.14**  
Centru de prelucrare prin frezare



**Teză de doctorat**

După cum este prezentat în [D7], utilizarea mașinilor-unelte cu comandă numerică (MUCN) a permis reducerea sensibilă a timpilor auxiliari, datorită măririi vitezei de poziționare, automatizării lanțurilor cinematice auxiliare, programării ciclului de lucru și reglării sculelor în afara mașinilor unelte (MU), în timpul de funcționare al acestora. Preciziile de prelucrare care se pot obține pe MUCN sunt, la ora actuală, destul de ridicate:  $\pm (0.01 \dots 0.02)$  mm, în cazul centrelor de prelucrare și de până la  $\pm 0.002$  mm la mașinile de construcție specială. Obținerea unor precizii dimensionale și de formă ridicate, a unor calități ale suprafețelor tot mai înalte, în condiții de productivitate mărită, caracteristică MUCN, este condiționată atât de performanțele mașinii, cât și de cele ale sculelor așchietoare și ale dispozitivelor de fixare ale acestora.

**Sculele așchietoare** folosite în sistemele flexibile de fabricație sunt concepute în sisteme modulare de scule care încearcă să acopere o gamă cât mai largă de prelucrări.

Folosirea eficientă a MUCN este strict dependentă și de alegerea rațională a sculelor așchietoare datorită următoarelor motive principale:

- precizia de prelucrare depinde direct de precizia de poziționare și de rigiditatea proprie a sculelor folosite;
- productivitatea prelucrării este funcție de calitatea sculelor reflectată prin capacitatea de așchiere a acestora;
- efectuarea unui număr de operații diferite necesită scule adecvate acestora.

Unele dintre particularitățile MUCN ca de exemplu: automatizarea completă a ciclurilor de prelucrare, schimbarea automată a sculelor, compensarea uzurii sculei, lipsa dispozitivelor de ghidare a sculelor la prelucrarea găurilor, utilizarea sculelor prereglate la cotă etc., au impus tratarea într-o manieră unitară, sistematică a sculelor și portsculelor pentru MUCN. Aceasta are drept consecință crearea unor sisteme de scule și dispozitive de prindere pe MUCN, ultraperfecționate la ora actuală pe plan mondial.

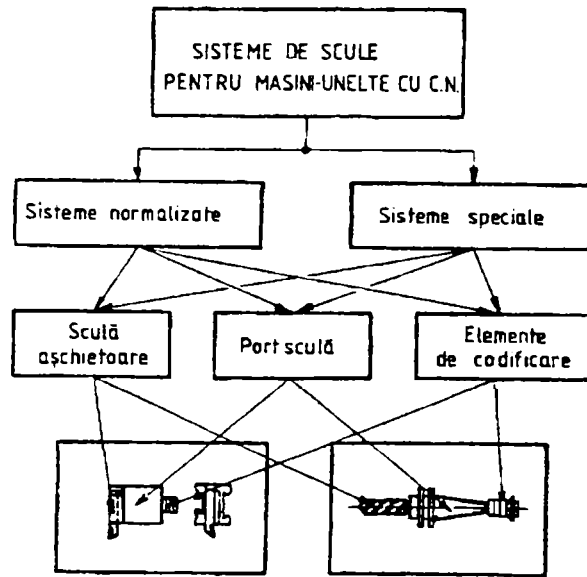


Figura. 2.15

Schema sistemului de scule pentru MUCN, [D7].

În figura 2.15 este prezentat un sistem de scule generalizat care reflectă particularitățile sculelor aşchietoare folosite pe MUCN, iar în figura 2.16 sunt indicate modalitățile de schimbare a sculelor la MUCN. Din analiza acestor figuri se observă că în afara caracteristicilor constructive și geometrice, cu sculele cu schimbare automată trebuie să se prevadă modul de codificare și de reglare (axială sau radială) ale acestora.

În figura 2.17 este prezentat un sistem de scule folosit pe mașini de lucru încorporate uzual în sisteme flexibile de fabricație (SFF). Din analiza sistemelor prezentate reiese că precizia și rigiditatea prinderii sculelor sunt dependente de numărul și de tipul portsculelor utilizate, de forma și lungimea cozilor sculelor, iar durata și precizia prereglării sunt funcție de numărul și de tipul portsculelor, precum și de tipul aparatului folosit la prereglare.

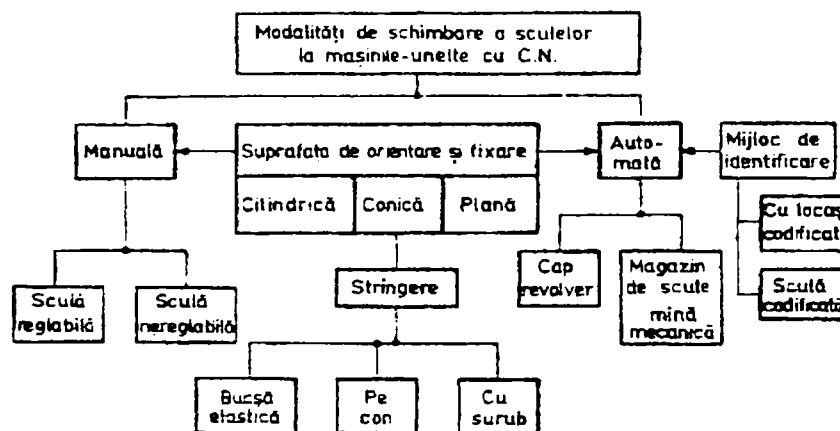


Fig. 2.16

Schema bloc a modalităților de schimbare a sculelor pe MUCN [D7]

**Teză de doctorat**

Crearea unor sisteme de scule pentru MUCN permite ca, folosind un număr minim, rational, de elemente schimbabile, să poată fi deservite cât mai multe mașini. Aceste cerințe au dus la nivele foarte înalte de normalizare și standardizare atât ale sculelor, portsculelor cât și ale diverselor părți caracteristice ale MUCN (arbori principali, pinole etc.)

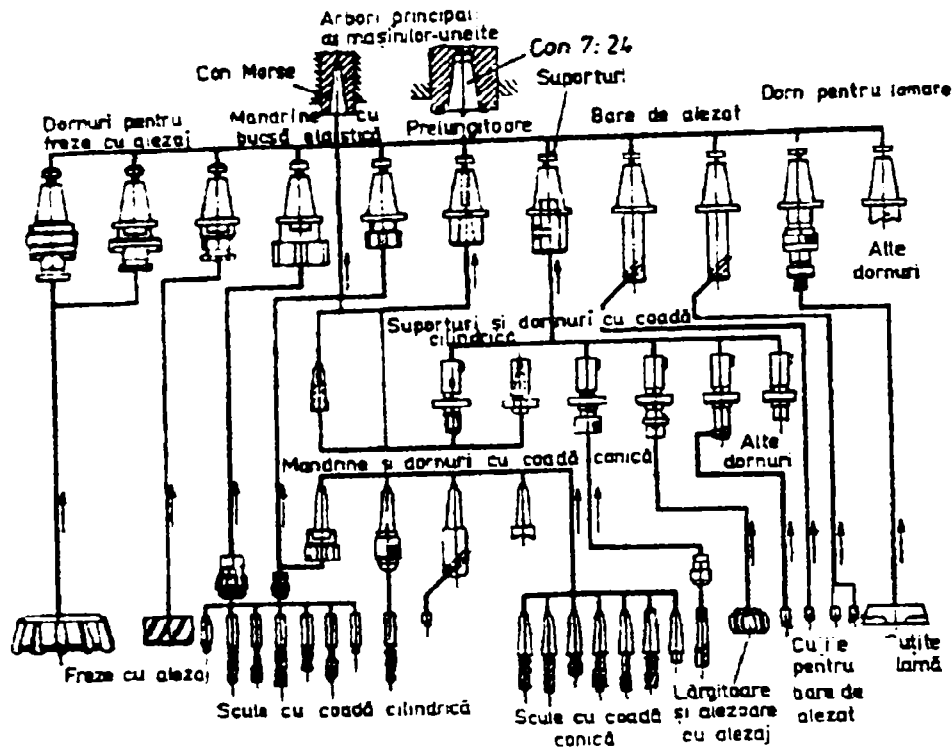


Fig. 2.17

Schema unui sistem de scule folosit pe MUCN încorporate în SFF [D7]

Prin *sistem de scule* se înțelege un ansamblu format din următoarele elemente (figura 2 15):

- sculă așchietoare propriu-zisă (cuțit, freză, burghiu etc.);
- portsculă (mandrină, reducție etc.);
- elemente de codificare-identificare.

*Scula* are rolul de a îndepărta adaosul de prelucrare, sub formă de așchii, în procesul de generare a suprafețelor. *Portscula* servește la prinderea sculei așchietoare pe MU, la determinarea poziției față de piesa de prelucrat, în conformitate cu schema de așchiere și cu procesul tehnologic stabilit, la determinarea reglării sculei pe MU sau în afara ei pentru depozitarea sculei în magazie

*Prinderea sculelor pe MUCN* se face de obicei prin intermediul unor portscule

cu suprafețe de fixare de revoluție (tip dorn, con Morse sau 7:24, mandrine cu bușă elastică etc.) sau cu suprafețe poliedrice (uzual tip "coadă de rândunică").

Fixarea și eliberarea sculei din arborele principal al MU depinde de forma cozii portsculei care, în principiu, poate fi cilindrică sau conică. Pentru cozile cilindrice fixarea în arborele principal se face cu ajutorul bușei elastice, iar pentru cele conice se poate realiza cu dispozitive pe bază de bușă elastică sau cu bile.

Pentru **sculele combinate** folosite pe MUCN din componența sistemelor flexibile de prelucrare prin așchiere se impun condiții similare cu cele prezentate până acum:

- părțile de prindere ale sculelor combinate vor trebui să fie proiectate în așa fel încât să se încadreze în sistemele de scule prezentate ( ca de exemplu în figura 2.17);
- o atenție deosebită trebuie acordată restricțiilor în ce privește masa sculei și gabaritul acesteia. Aceste caracteristici sunt importante din punctul de vedere al capacității de manipulare a sistemului de schimbare de sculă;
- codificarea sculei combinate implică unele probleme ce trebuie luate în considerare :
  - mărimea memoriei alocate codului și parametrilor sculei trebuie să fie mai mare decât la sculele simple;
  - sculele combinate posedă caracteristici în plus ce nu apar la sculele simple (distanța radială, respectiv distanța axială dintre tășuri) și care necesită spații de memorare în plus în cadrul sistemului informațional al comenzii numerice (CN);
  - trebuie alocați mai mulți regiștri pentru corecțiile de rază și lungime;
- dacă sculele combinate sunt echipate cu senzori sau traductoare, transmiterea semnalelor către comanda numerică (CN) sau către sistemul de supraveghere a procesului respectiv comanda adaptivă (CA) necesită mai multe canale de achiziție. În consecință aceste scule pot fi utilizate numai pe mașinile echipate cu mai multe canale de achiziție a semnalelor sau cu echipamente electronice multiplexoare.

**Dispozitivele de lucru** utilizate la prelucrarea pe MUCN din componența sistemelor flexibile de fabricație trebuie să îndeplinească și ele cerințele de adecvare necesare, dintre care se pot aminti :

Teză de doctorat

- modularizarea – dispozitivele de lucru sunt asamblate din module ce fac parte dintr-un sistem: sistemul de module tinde să acopere toată gama de dispozitive necesare în sistemul flexibil de prelucrare prin aşchiere: folosind sisteme de dispozitive modulare creşte flexibilitatea SFF;
- automatizarea – dispozitivele sunt echipate cu senzori şi traductoare ce măsoară deplasările dintre componentele dispozitivului ( deplasări ce iau naştere datorită forţelor de aşchiere sau datorită forţelor de strângere, fixare) şi cu elemente de acţionare ce corectează aceste deplasări, eliminând astfel erorile de poziţionare: un exemplu de astfel de sistem îl constituie dispozitivele de lucru de pe linia de montaj a structurilor de la fabrica de avioane din Craiova.

**Roboţii industriali** sunt consideraţi sisteme mecatronice mobile, destinate automatizării interacţiunii omului cu mediul în care evoluează [K8]. Prin sistem mecatronic se înţelege un sistem alcătuit din componente mecanice, electronice şi de calcul automat precum şi relaţiile dintre acestea. Funcţia robotului este pe de o parte de a creşte productivitatea muncii umane şi pe de altă parte de a adecva omul la mediul cu care el interacţionează. În conformitate cu funcţiile amintite, robotul poate avea aplicaţii industriale, neindustriale producătoare de bunuri sau în domeniul prestărilor de servicii.

Pentru SFF prezintă interes manipuloarele, roboţii staţionari şi instalaţiile de teleoperare. Acestea sunt membrii ai "familiei robot [K8]". Robotul manipulează obiecte de lucru sau scule, în primul caz fiind vorba de un robot de manipulare, iar în cel de-al doilea de un robot de prelucrare. Pentru ca un robot să-şi îndeplinească funcţia trebuie să aibă o structură antropomorfă care să-i permită să execute automat ceea ce face omul cu mâna lui. Pentru aceasta sistemul de comandă joacă rolul sistemului nervos uman, sistemul de acţionare este echivalentul sistemului mecanic, iar sistemul mecanic, celui osos. Sistemul de comandă este prevăzut cu reacţie de la mediu prin intermediul unor senzori şi acţionează prin comenzi asupra sistemului de acţionare, care la rândul lui prin forţă/moment acţionează asupra sistemului mecanic şi acesta la rândul lui prin efectori finali asupra mediului. Flexibilitatea roboţilor industriali este asigurată de o reprogramare facilă, de posibilitatea de a schimba efectorul final, iar automatizarea de comanda prin calculator a acestora şi posibilităţile de teleoperare, acestea fiind condiţii cheie pentru integrarea lor în SFF.

### 2.3.3. Instalații aducătoare și de evacuare a materialelor, semifabricatelor și pieselor finite [K7]

Instalația aducătoare și de evacuare, (IA/E) este o componentă a subsistemului de manipulare ale cărei funcțiuni sunt generarea anumitor mișcări ale obiectului de lucru și efectuarea acestora în conformitate cu o logică secvențială și cu cerințele de manipulare care urmează a fi realizate.

Funcțiile IAE poartă denumirea de funcții aducătoare și au fost sistematizate după cum urmează :

- depozitare – păstrarea unui număr mai mare de obiecte de lucru pentru o folosire ulterioară;
- captarea – extragerea obiectului de manipulat din spațiul de depozitare;
- transferul – deplasarea obiectului de manipulat în spațiu;
- ordonarea – dispunerea obiectelor într-o formație, în poziții relative bine determinate;
- separarea – izolarea unuia sau a mai multor obiecte din formația în care au fost ordonate;
- reunirea – operația opusă separării;
- numărarea – determinarea numărului de obiecte;
- dozarea – separarea unei anumite cantități de obiecte;
- măsurarea – controlul;
- sortarea – separarea după un anumit criteriu;
- livrarea;
- evacuarea.

Dispozitivele care realizează aceste funcțiuni sunt foarte diverse, folosind deopotrivă elemente de mecanizare cât și de automatizare.

*Depozitele* sunt dispozitive care realizează funcția de depozitare acumulând obiectele de lucru și eliberându-le în momentul oportun. Funcția de depozitare este un transfer al obiectului manipulat în timp. Acesta poate fi realizat prin intermediul mai multor tipuri de componente :

- buncăre;
- acumularoare;
- magazine;

- palete;
- containere.

*Elementele și dispozitivele de captare* au funcția de a extrage obiectul manipulat din depozit și de a-l pune la dispoziție în vederea unei manipulari ulterioare

Captarea este realizată fizic, în cele mai multe cazuri, de către dispozitive care îndeplinesc și alte scopuri (spre ex. transfer, dozare). Elementele de captare pot fi, cu mișcări liniare (spre ex. împingătoare) sau cu mișcări circulare (spre ex. discuri).

*Dispozitivele de transfer* realizează funcția de transfer care constă în deplasarea în spațiu a obiectului manipulat, modificându-i-se și situarea. Transferul se poate clasifica în :

- transfer lung de la depozitul central la sistemul de fabricație și între sisteme de fabricație;
- transfer scurt : în interiorul sistemului de fabricație.

Clasificarea sistemelor de transfer se poate face pe baza mai multor criterii :

- din punctul de vedere al energiei utilizate :
  - gravitaționale;
  - cu aport de energie.
- din punctul de vedere al geometriei mișcării :
  - cu mișcare de rotație;
  - cu mișcare de translație;
  - cu mișcare complexă;
- din punctul de vedere al tipului mișcării :
  - cu mișcare continuă;
  - cu mișcare intermitentă;
  - cu mișcare în impulsuri.
- din punctul de vedere al situației finale :
  - cu situație exactă;
  - cu situație aproximativă.

Din punctul de vedere al realizării fizice elemente ce pot constitui dispozitive de transfer sunt ,

- jgheaburi;
- căi cu role;
- benzi rulante.

- lanț articulat;

*Dispozitivele de ordonare* – aduc obiectele cu poziționări și orientări aleatoare într-o mulțime cu poziționări și orientări bine definite.

Poziția și orientarea unui obiect (figura 2.18 ) poate fi definită prin următorii parametrii :

- punct caracteristic (P);
- dreaptă caracteristică (dc);
- dreaptă auxiliară (da).

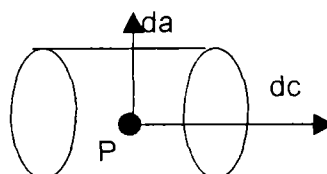


Figura 2.18.

Parametrii situării obiectului.

Dispozitivele de ordonare realizează poziționarea dreptelor caracteristice într-o poziție relativă paralelă sau după razele unui cerc și a punctelor caracteristice la distanțe bine definite (eventual identice).

*Dispozitivele de numărare / dozare* urmăresc realizarea a două funcții importante :

- determinarea numărului de obiecte manipulate care trec printr-un punct al traseului într-un interval de timp;
- gruparea obiectelor în formații de o mărime dată pentru un interval de timp prestabilit.

#### 2.3.4. Instalații aducătoare – de evacuare (subsisteme de transport-depozitare) a sculelor așchietoare [B7]

Pentru depozitarea, transferul, și manipularea sculelor așchietoare nu sunt adecvate instalațiile aducătoare și de evacuare a semifabricatelor și pieselor finite descrise anterior. În acest scop se folosesc alte tipuri de instalații prezentate pe scurt în acest paragraf, iar mai pe larg în paragraful următor. Cele mai răspândite instalații de alimentare cu scule a mașinilor-unelte din componența sistemelor flexibile, cât și unele caracteristici reprezentative sunt următoarele :



- magazin cu lanț în dotarea mașinii-unelte: depozitează un număr de scule cuprins între 40-100; prezintă dezavantajele unei durate mari de alimentare a magazinului și a unui cost ridicat (figura 2.19.a);
- două magazine cu lanț în dotarea mașinii unelte depozitând un număr de 60-120 scule în acest caz fiind caracterizat de o durată scurtă de alimentare a magazinului, dar costurile fiind în continuare ridicate (figura 2.19.b);
- magazin tip disc interschimbabil: depozitează un număr de 20-40 scule; durata de alimentare a magazinului este medie, iar cheltuielile de asemenea (figura 2.19.c);
- magazin suplimentar staționar: depozitează un număr de 20-40 scule; în acest caz durata de alimentare a magazinului este zero, iar costul este mediu (figura 2.19.d);
- înlocuirea unor scule cu ajutorul robotului mobil depozitează un număr de 20-40 scule, durata de alimentare a magazinului este zero, iar cheltuielile sunt scăzute (figura 2.19.e);

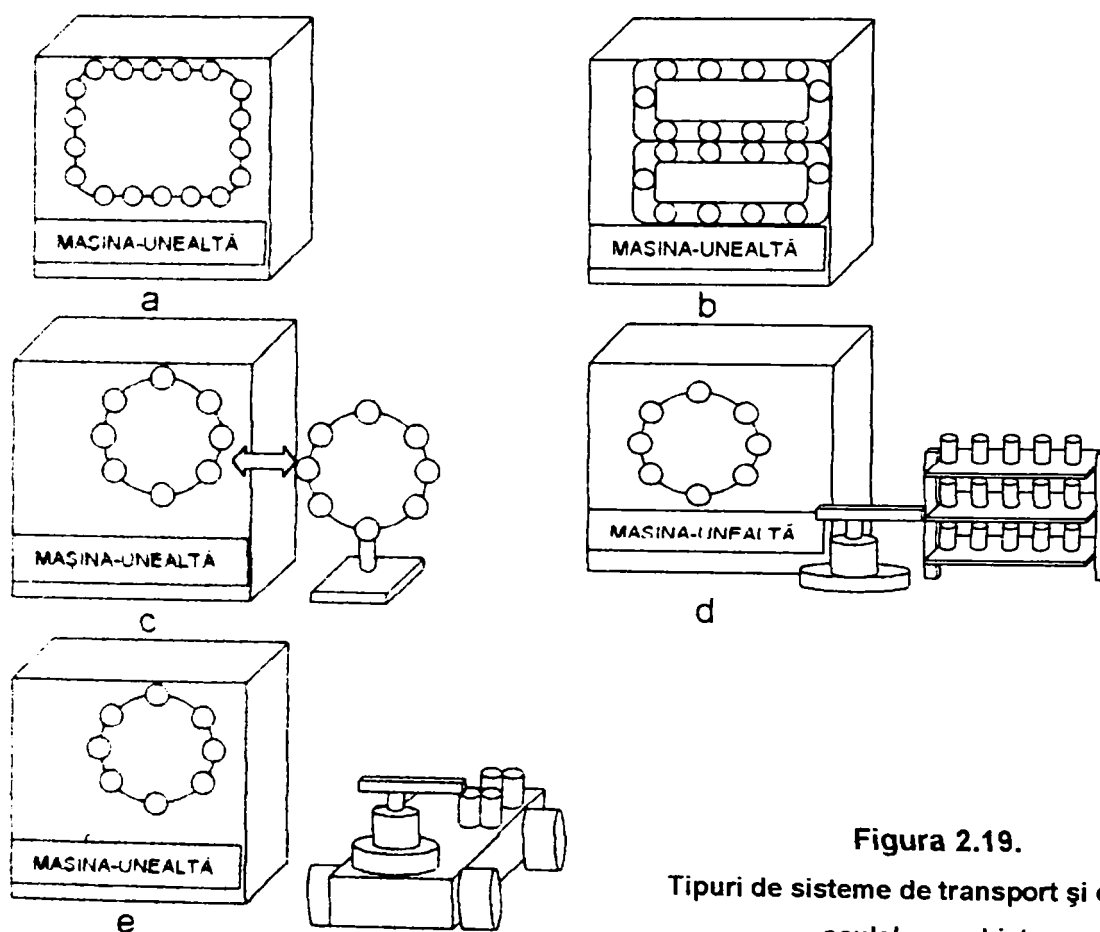


Figura 2.19.

Tipuri de sisteme de transport și depozitare a  
sculelor

### 2.3.5. Dispozitive de măsurare și control (subsisteme de control) ale pieselor

Controlul piesei finite poate fi pasiv sau activ. La rândul lui cel pasiv poate fi post operație sau postcelulă, respectiv cel activ, automat.

După cum se arată în lucrarea [B7], întrucât asigurarea calității impune prelucrării la toate posturile de lucru (mașini-unelte) reprezintă una dintre problemele de bază în cadrul tehnologiilor flexibile, o atenție deosebită se acordă mijloacelor și metodelor de obținere practică a acestora în procesul de execuție a piesei. Din această cauză, mijloacele de măsurare și control trebuie să fie instalate în apropierea nemijlocită a mașinilor-unelte și să fie integrate în sistemele tehnologice, atât din punct de vedere tehnic, cât și de organizare a fluxului informațional.

În aceste sens, performanțele tehnico-economice cele mai mari le au *mașinile de măsurat în coordonate cu CN*, utilizate până în prezent doar în laboratoarele de măsurare. Acestea asigură, pe lângă precizie ridicată de măsurare, și flexibilitate mare (prin dotarea cu dispozitive de înlocuire automată a diverselor elemente necesare măsurării: cale, tampon, tije de măsurare etc.). Prin diferite piese prelucrate, indiferent de ordine, prin apelarea la programul de măsurare corespunzător, se pot efectua măsurări și aprecieri ale rezultatelor în regim automat.

Având în vedere însă influența unor factori perturbatori externi asupra preciziei de măsurare, se impun a fi luate o serie de măsuri pentru izolarea mașinilor de măsurat în coordonate de acțiuni exterioare: temperatură, vibrații, impurități.

Datorită diversității mari de piese prelucrate în cadrul sistemelor flexibile, este economic și oportun ca pregătirea operativă a programelor de control și a datelor de comandă să se efectueze folosind calculatorul electronic, în afara mașinii de măsurat. În acest sens, sunt deja elaborate programe, asemănătoare din punct de vedere tehnic cu cele ale sistemelor de programare pentru CN, permițându-se astfel integrarea mașinilor de măsurat în coordonate în fluxul informațional-tehnic al sistemului central de conducere.

Alte mijloace cu flexibilitate mare și viteză ridicată de măsurare sunt roboții de măsurare (bazați pe diverse principii de funcționare: electrice, optoelectronice etc.) asemănători ca mod de lucru cu mașinile de măsurat în coordonate. Deși realizează măsurarea cu o precizie mai mică, roboții depășesc mașinile de măsurat în coordonate în privința rapidității în acțiune și adaptabilității la condițiile reale de prelucrare.

Măsurarea parametrilor geometrici ai pieselor prelucrate direct pe mașină prezintă următoarele avantaje: exclude erorile de reinstalare a aparatului, este posibilă o reacție rapidă în procesul tehnologic în urma obținerii rezultatelor

măsurătorilor, datorită utilizării sistemelor CN, mergând până la întreruperea procesului de prelucrare dacă abaterile suprafețelor depășesc limitele admisibile. Procesul de măsurare are loc fie înainte de prelucrării, având drept scop reducerea influenței erorilor de fixare a paletelor și dispozitivelor de lucru, fie în timpul sau după efectuarea prelucrării, în scopul controlului calității piesei.

Dezavantajul metodei de control cu mașini de măsurat în coordonate și roboți de măsurare constă în creșterea timpului de mașină pe seama operațiilor de control.

În vederea creșterii preciziei de măsurare a pieselor în timpul prelucrării, se prevede compensarea erorilor sistematice de influență, cu ajutorul unui sistem (matrice) de corecție, introdus în echipamentul CN adaptat special la fiecare mașină.

De asemenea, pentru piesele de tip corpuri de revoluție, se recomandă utilizarea în locul dispozitivelor de măsurare cu contact, care, în general, au flexibilitate mică și necesită cheltuieli mari pentru reglare, mijloace de control optoelectronice fără contact, mult mai flexibile. Principul de lucru al acestor mijloace moderne de măsurare și control poate fi diferit: prin exploatarea suprafeței piesei prelucrate cu raze laser, fibre optice, diode cu emisie luminoasă etc. Avantajele esențiale ale tehnicii de măsurare optice sunt legate în special de: inexistența contactului sistemului de măsurare cu suprafața piesei, timp mic etc. Și în acest caz rezultatele măsurătorilor sunt influențate de: variația temperaturii, impuritățile pe suprafețele de verificat, existența așchiilor etc. Din această cauză piesele, înainte de măsurare, se curăță folosind roboți industriali (prin spălare cu jet de lichid cu presiune înaltă, orientat spre piesă).

### **2.3.6. Dispozitive (subsisteme) de evacuare a așchiilor.[B7]**

În cazul sistemelor flexibile de prelucrare prin așchiere, problema evacuării așchiilor este de foarte mare importanță, întrucât de procedeu utilizat depinde, în mare măsură, coeficientul de încărcare al mașinilor-unelte automate componente, buna funcționare a sistemului tehnologic și chiar calitatea pieselor.

Dacă în condițiile utilizării lor în cadrul proceselor tehnologice tradiționale la proiectarea mașinilor-unelte se are în vedere, în principal, realizarea mișcărilor necesare de așchiere, o dată cu aplicarea în fabricație a automatizării flexibile pe scară largă și cu necesitatea creșterii performanțelor de productivitate, se exclude evacuarea așchiilor de pe mașină de către operator.

Avându-se în vedere că procesul tehnologic de prelucrare se desfășoară în regim automat, evacuarea (eliminarea) așchiilor, în principal, din zona de așchiere, constituie una dintre cele mai importante condiții ale unei prelucrări sigure de calitate și de mare productivitate. Prezența așchiilor în zona de lucru poate conduce la înrăutățirea calității suprafeței prelucrate, la uzura prematură a tăișului sculei așchietoare și, în multe cazuri, la ruperea acesteia.

Pentru o funcționare sigură a sistemului de evacuare și prelucrare a așchiilor, trebuie să fie îndeplinită condiția de omogenitate a fragmentelor de așchii (de obicei cu o lungime de 10-20 mm). Diversitatea sculelor așchietoare utilizate, a formelor și materialelor semifabricatelor prelucrate conduce la obținerea unor așchii foarte variate ca formă și dimensiuni (de curgere, spiralate-tubulare, semiinelare, lamelare, prismatice, spiralate-conic, în formă de fulgi etc.) depinzând de tipul și calitățile fizico-mecanice ale materialului prelucrat, de valorile parametrilor regimului de așchiere utilizat. În legătură cu cele mai de sus una din problemele cele mai importante legate de evacuarea mai ușoară a așchiilor este asigurarea sfărâmării acestora, dacă este posibil chiar în timpul prelucrării, deoarece cea mai mare perturbare în regimul de lucru automat al utilajelor o creează așchiile de curgere și spiralate.

Din această cauză o serie de recomandări pentru îndepărtarea așchiilor de pe strungurile cu CN și alte mașini-unelte de același tip care intră în componența diverselor module de prelucrare se referă la utilizarea următoarelor metode tehnologice de sfărâmare a așchiilor:

a) Alegerea geometriei părții așchietoare a sculei care să conducă la obținerea unor așchii fragmentate; totodată, utilizarea unor spărgătoare de așchii în formă de scobitură (alveolă), prag sau canal executate pe fața de degajare a sculei așchietoare sau folosirea unor spărgătoare de așchii fixate mecanic pe fața superioară a plăcuței așchietoare.

b) Alegerea unor valori optime ale parametrilor regimului de așchiere și în special a celui raport între adâncimea de așchiere și avans la care are loc efectul de sfărâmare a așchiei.

c) Alegerea unor scheme de lucru în care deplasarea sculei să se realizeze pe distanțe mici, de exemplu la prelucrarea canalelor sau în cazul alezării de degroșare.

d) Realizarea avansului cu discontinuitate.

## Teză de doctorat

e) Realizarea unor canale elicoidale (cu unghi de înclinare mai mic de  $6^\circ$ ) de separare a așchiilor, în prealabil față de trecerile de finisare. Adâncimea unor astfel de canale este de 0.05...0.06 mm, având valoare mai mică decât adâncimea de prelucrare adoptată.

f) Efectuarea unor deplasări suplimentare relative ale sculei (întreruperi sau accelerări ale procesului de lucru, așchiere locală, îndepărtarea sculei etc.).

Pentru exemplificare, în figura 2.20 se prezintă schema principial-constructivă a unui transportor cu racleți amplasat în interiorul batiului mașinii-unelte, care asigură scoaterea așchiilor pe partea laterală și trimiterea acestora spre conveiorul liniei de prelucrare. Transportul cu racleți antrenat de motor prin intermediul unui reductor special, este amplasat într-un jgheab. Unghiul de amplasare a jgheabului cu transportor față de baza mașinii-unelte este de aproximativ  $20^\circ$ . Din zona de prelucrare așchiile sunt spălate de lichidul de așchiere și se deplasează sub acțiunea greutății proprii prin niște tuburi spre transportorul cu racleți, care le cedează conveiorului. În deplasarea lor, așchiile se eliberează de lichidul de așchiere, care prin fantele existente în peretele jgheabului, se scurge în rezervorul mașinii-unelte.

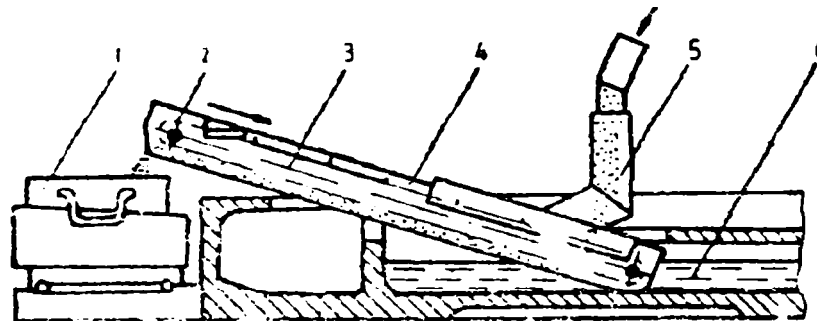


Figura. 2.20

Schema transportorului cu racleți

### 2.3.7. Montorizarea și diagnoza funcționării sistemelor de fabricație flexibilă automată

În funcționarea sistemelor de fabricație flexibilă automată pot să apară erori sau defectiuni care sunt cu atât mai greu de depistat și remediat cu cât sistemul este mai complex. Totodată este deosebit de important ca remediarea defectiunilor să se poată realiza într-un timp cât mai scurt datorită costurilor ridicate pe care le implică stagnarea producției. Din aceste considerente sistemele de fabricație flexibilă sunt dotate cu dispozitive de monitorizare a funcționării și diagnoză a defectiunilor. Aceste dispozitive au componente distribuite începând de la utilajele și mașinile-unelte din

cadrul sistemului și până la centre de supraveghere situate la sediile furnizorilor de echipamente. Monitorizarea este înlesnită de faptul că sistemele de fabricație flexibilă sunt dotate la toate nivelele cu senzori și traductoare ce oferă informații asupra componentelor sistemului. Astfel defectele componentelor mecanice pot fi sesizate prin compararea datelor furnizate de mai mulți senzori : de forță, de proximitate, de deplasare și prin compararea timpilor reali în care se realizează anumite operații cu timpi medii necesari realizării operației în cauză. Acolo unde este posibil componentele defecte se înlocuiesc în mod automat ( scula uzată, paletă port piesă defectă). Există însă o bună parte din defecte ce necesită intervenție umană, dar și în acest caz timpul de remediere, mai ales timpul de căutare a cauzei defectiunii, este mult scurtat prin folosirea informațiilor date de către sistemele de monitorizare. În unele situații în care există pericolul defectării senzorilor sau traductorilor se va admite o anumită redundanță a folosirii acestora. Componentele electronice pot fi diagnosticate chiar de către furnizorii de echipamente, prin legături cu ajutorul modemului ( sau altor interfețe) direct cu centrele de asistență ale acestora. Astfel, în cazul apariției unei defectiuni, intrând în legătură cu centrul de asistență acesta poate rula programe de testare ale echipamentului care pot localiza într-un timp foarte scurt circuitele defecte, transmitând apoi operatorului uman care este componenta care trebuie înlocuită. Construcția modulară a componentelor de orice tip ( mecanice, electronice, electrice, hidraulice, etc.), facilitează atât depistarea cât și înlocuirea rapidă a componentelor defecte.

### 2.3.8. Ciclograme de funcționare [K6]

Ciclograma de funcționare a unui sistem flexibil de fabricație reprezintă o diagramă unidimensională în funcție de timp, care pune în evidență secvențele de funcționare/mișcare sau de repaus ale sistemului. Ciclogramele se deduc din legile de mișcare ale diferitelor componente ale sistemului. Ciclograma unui sistem se elaborează în ordinea descrescătoare a ierarhiei sistemului.

Un exemplu de elaborare a ciclogramei unui sistem de fabricație flexibilă robotizat este prezentat în lucrarea [K6]. În figura 2.21. este prezentată schița amplasării componentelor sistemului, în figura 2.22 a este reprezentată ciclograma

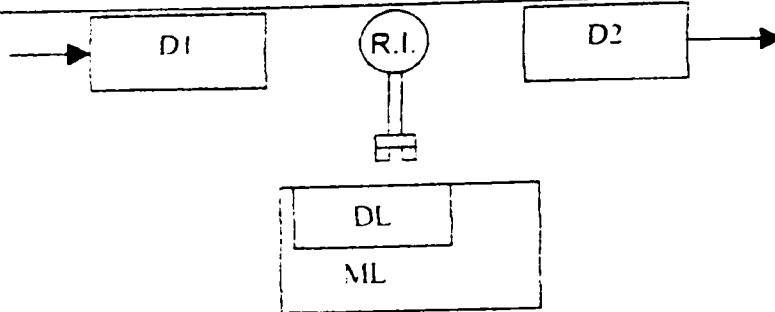


Figura. 2.21

Amplasarea componentelor sistemului de fabricație flexibilă :

D1 – dispozitiv de alimentare; R.I. – robot industrial; D2 – dispozitiv de evacuare;

ML – mașină de lucru; DL – dispozitiv de lucru.

de funcționare a sistemului de rang R, iar în figurile 2.28. b.c.d ciclogramele de funcționare ale subsistemelor de rang R-1, R-2 și R-3.

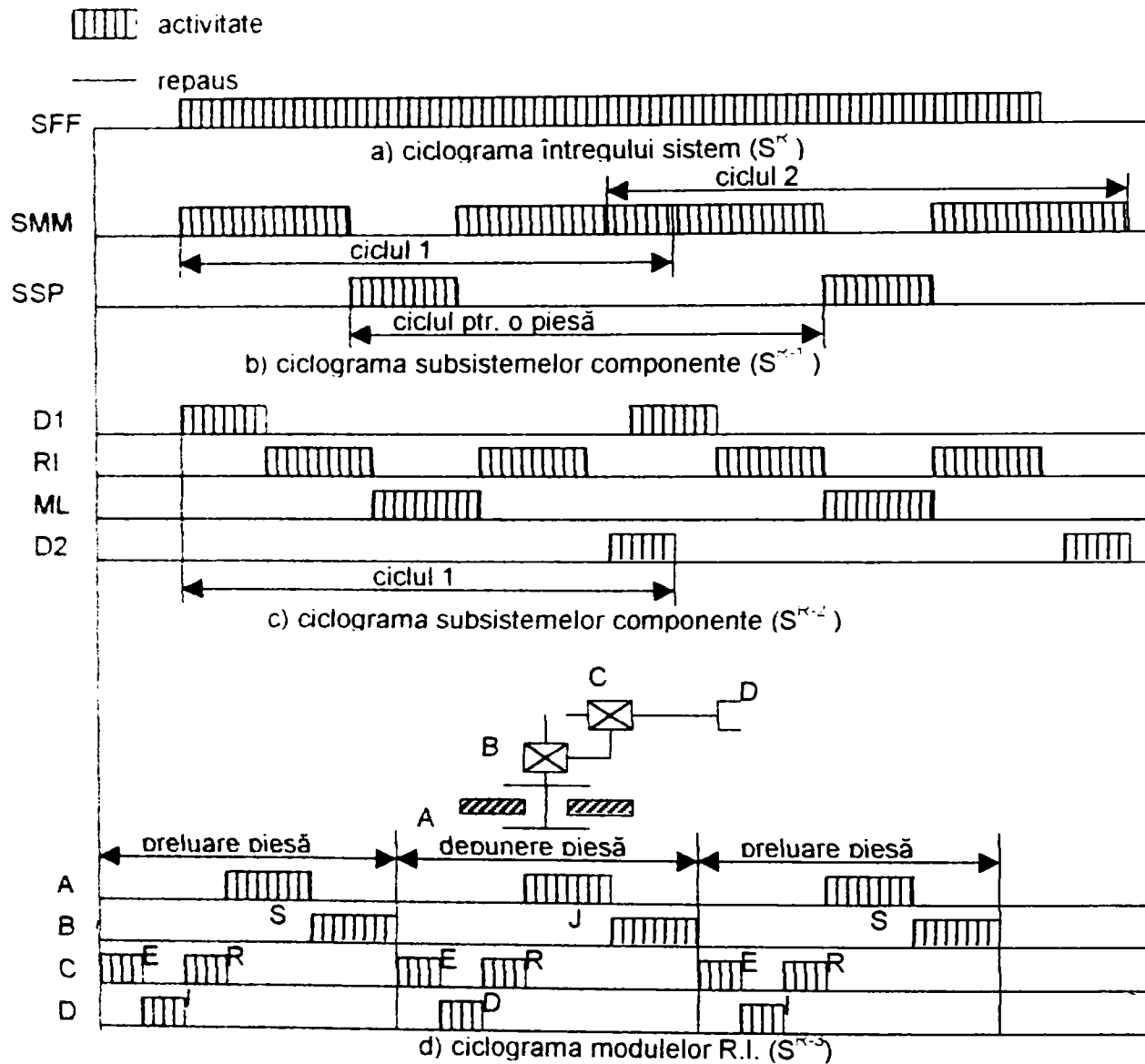


Figura. 2.22

Ciclograma unui sistem de fabricație flexibilă :

E – braț extins; R – braț retras (cupla C);

S – braț sus; J – braț jos (cupla B);

I – DP închis; D – DP deschis

(DP – dispozitiv de prehensiune).

Programarea funcționării automate a sistemului de fabricație flexibilă se realizează pe baza ciclogramelor întocmite la conceperea procesului tehnologic de fabricație de grup care se va executa în cadrul sistemului.

Pentru fabricarea fiecărei piese aparținând grupului se vor elabora ciclograme specifice de funcționare ale componentelor sistemului.

### **2.3.9. Amplasamentul componentelor sistemului flexibil (“layout”) [K6]**

În schema de amplasare (“layout”), se stabilesc pozițiile relative ale tuturor subsistemelor componente ale unui sistem de fabricație. Pentru tratarea matematică a problemei se alege un sistem de referință fix, atașat halei și câte un sistem de referință atașat fiecărui mijloc de producție al sistemului. Proiectarea “layout”-ului constă în determinarea situațiilor relative ale fiecărui sistem de referință a componentelor sistemului în raport cu sistemul de referință fix.

Regulile fundamentale ale proiectării “layout”-ului sunt [K6]:

- spațiile de lucru ale subsistemelor care au relații de schimb între ele, deci sunt cuplate, se intersectează;
- spațiile de coliziune instantanee ale sistemului de fabricație flexibilă nu trebuie să se intersecteze;
- subsistemele sistemului de fabricație se vor amplasa de așa manieră, încât să respecte regulile 1,2, iar lungimile arcelor de traiectorie ale punctului caracteristic al obiectului de manipulat, respectiv timpii de mișcare ai acestuia să fie minimi;
- subsistemele sistemului de fabricație se vor amplasa la distanțe care să evite influența reciprocă nefavorabilă;
- subsistemele sistemului de fabricație se vor amplasa la distanțe optime din punctul de vedere al traseelor raționale ale conductelor și conductorilor pentru circulația purtătorilor de energie, respectiv de informație;
- subsistemele sistemului de fabricație se vor amplasa de așa manieră încât din pozițiile lor relative să nu rezulte pericol de accidente.

În figura 2.23 se exemplifică câteva amplasamente considerate clasice.



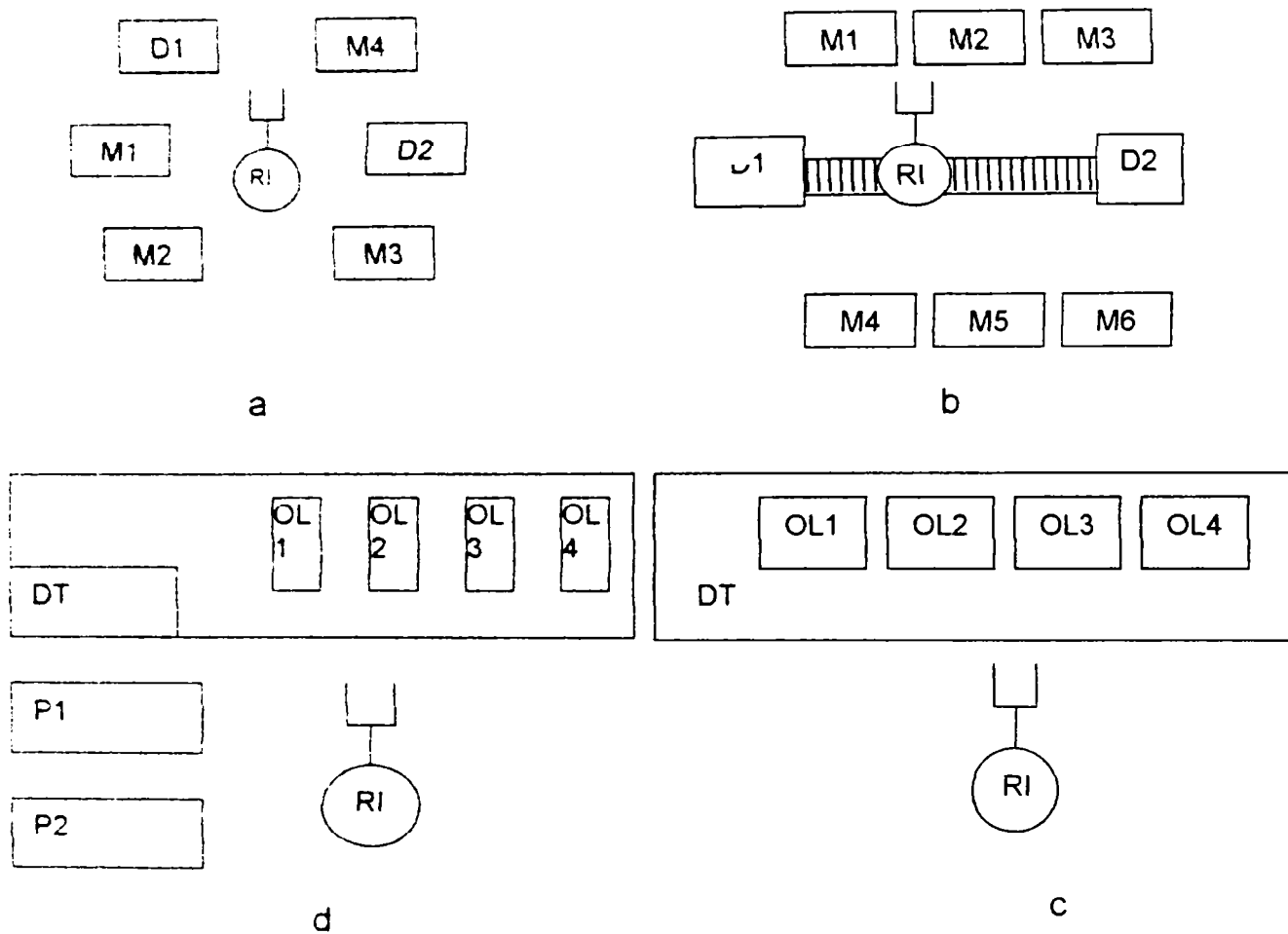


Figura. 2.23

Variante tipice de amplasamente a) în cerc; b) în linie dublă; c) subsistem cu RI și conveior; d) subsistem cu RI și palete de transport ale obiectelor de lucru. (M1..6 – mașini de lucru; OL1..4 – obiecte de lucru; P1, P2 – palete; DT – transportor ; RI – robot industrial ; D1, D2 – posturi de încărcare/descărcare).

## 2.4. Unele probleme privind utilizarea sculelor în SFF pentru prelucrări prin aşchiere automate

Problemele legate de utilizarea sculelor în SFF pentru prelucrări prin aşchiere sunt tratate în diverse lucrări [D7],[B7]. O trecere în revistă a activităţilor legate de utilizarea sculelor aşchietoare este dată în [B7]. Aceste activităţi aparţin următoarelor categorii :

- prereglarea sculelor;
- stocarea şi transferul sculelor;
- controlul automat al stării sculelor:
  - controlul automat al uzurii;
  - controlul automat al integrităţii.

**Prereglarea sculelor aşchietoare** are multiple implicaţii tehnice şi organizatorice. Organigrama procesului de prereglare a sculelor este prezentată în figura 2.24.[B7].

Pentru aparatele de prereglare se impun unele condiţii comune:

- sistemele de prindere să fie identice cu cele de pe MUCN;
- precizia de bazare pentru fixarea sistemului de scule să fie cu o clasă de precizie mai mare decât a suprafeţelor corespunzătoare pe MUCN;
- construcţia sistemelor de ghidare, poziţionare a ansamblurilor în mişcare să fie corespunzătoare incrementului de măsurare;
- forţele de strângere a sculei să fie constante;
- fiabilitate ridicată;
- timp de prereglare minim.

În cazul unor linii de fabricaţie flexibile complet automatizate, se face prereglarea întregii magazii de scule. Aceasta se schimbă apoi complet pe fiecare MUCN. Locul fişelor de prereglare este preluat de adrese pe suport magnetic însoţitoare ale sculelor. Citirea rapidă, optoelectronică, a acestora permite vizualizarea pe monitor a tuturor datelor legate de scula respectivă.

Prereglarea presupune, în principiu, reglarea sculelor pentru prelucrarea suprafețelor de rotație la lungime (axială) și la diametru (radială), precum și a unor parametri geometrici. Prereglarea sculelor de strunjire (staționare) este o operație similară cu cea de la sculele rotative. În funcție de precizia dorită, se pot utiliza sisteme rigide, strict mecanice, aparate optice sau electronice. Sistemele moderne sunt în totalitate asistate de calculatorul electronic care gestionează toate datele necesare

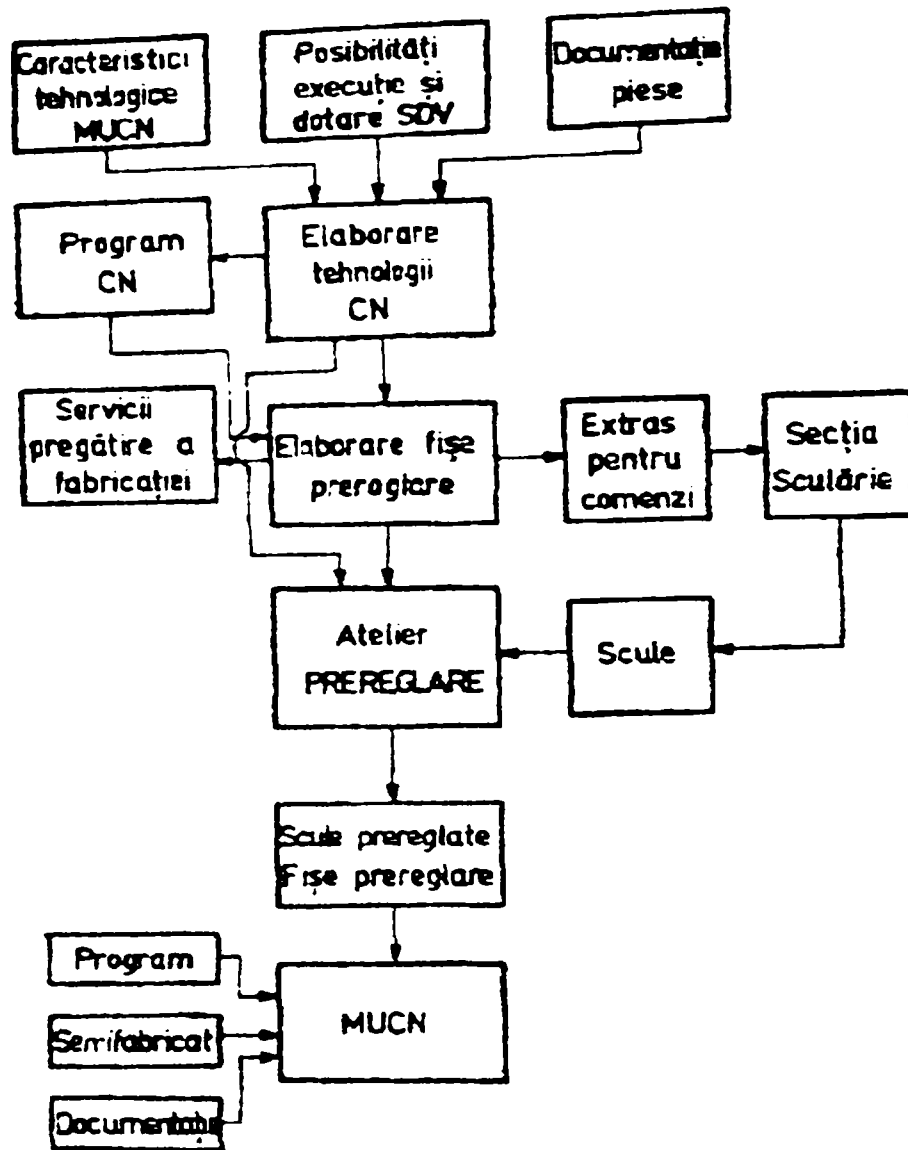


Figura. 2.24

Prereglarea sculelor

**Dispozitivele de stocare și transport ale sculelor prereglate** cunosc o mare diversitate în funcție de spațiul afectat, tipul sculelor prereglate, dimensiunile lor, precum și posibilitățile de execuție ale secției sau fabricii utilizatoare. Ele trebuie să

păstreze intacte dimensiunile prereglate, starea generală a sculelor ferindu-le de șocuri, lovituri, atacuri corosive etc. În același timp, trebuie să fie ușor manevrabile, cu acces facil la scule și să aibă un gabarit minim. Sistemele de stocare și transport, cele mai uzuale, sunt de tip "turelă" putând fi montate direct pe mașină sau deplasabile pe roțile proprii, ca în figura 2.25. Astfel de sisteme permit gestionarea și transportul a cca. 30...50 scule prereglate.

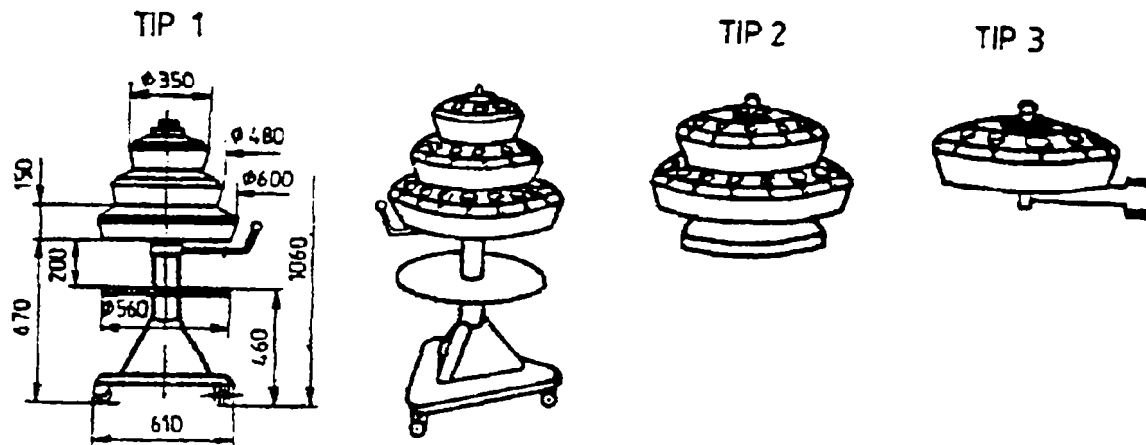


Figura 2.32

Sisteme de stocare și transport de tip "turelă"

**Controlului sculei așchietoare** trebuie să i se acorde o atenție deosebită, deoarece aceasta influențează în mod direct siguranța în funcționare a procesului de producție. În funcție de parametrul care se măsoară, se folosesc, în general, următoarele metode de control automat al sculelor:

- *activ* (în timpul prelucrării): controlul curentului absorbit de motorul electric de acționare din lanțul cinematic principal al MU, controlul durabilității (contorizarea timpului efectiv de așchiere), controlul sarcinii în lagăre (reacțiunile din rulmenți) ca imagine indirectă a uzurii prin creșterea eforturilor de așchiere etc.;
- *pasiv* (înainte și după prelucrare): cu palpatori, cu sisteme optice (electronice) sau alte metode de evaluare a parametrilor dimensionali ai părților active (tăișurilor) ale sculelor.

În prezent, pe MUCN se folosesc mai ales *metodele indirecte* de evaluare a uzurii. Pentru aceasta, ca indice de apreciere, se pot utiliza:

- timpul efectiv de aşchiere a sculei;
- modificarea geometriei muchiilor aşchietoare;
- modificarea valorilor unor parametri ai procesului de aşchiere (temperatură, zgomot, putere consumată etc.).

*Timpul efectiv de aşchiere al sculei.* Metoda se bazează pe compararea timpilor de aşchiere efectivi ai sculelor aşchietoare folosite cu media statistică a durabilităţii normale. Pot să apară două cazuri:

- scula a cărei durabilitate reală este superioară celei normale nu va fi utilizată integral, ea prezentând o "rezervă" de durabilitate;
- scula a cărei durabilitate reală este inferioară celei normale iese din funcţie prematur.

Calculul timpilor de aşchiere se face de către calculator utilizând totalitatea parametrilor disponibili (coordonate, spaţii de aşchiere, viteze etc.) cu relaţia:

$$\tau = \frac{L_i}{w}$$

unde:

- $i \in [1, n]$  şi reprezintă indicele sculei;
- $L_i$  este spaţiul (drumul, lungimea) de aşchiere, [mm];
- $w$  este viteza de avans, [mm/s].

Ținând apoi seama de numărul de "intervenții" (aşchieri) ale sculei de indice  $i$ , în același ciclu, se vor obține prin multiplicare timpii totali pe ciclu  $\{\tau_{1c}, \tau_{2c}, \dots, \tau_{ic}\}$ . Pe baza înregistrării continue (contorizare) a numărului identic de piese prelucrate ( $m$ ) se determină apoi timpul real de aşchiere al sculei " $m\tau_{ic}$ " pentru condițiile date de prelucrare. Acest timp se compară cu durabilitatea normală " $T_i$ " care există deja în memoria calculatorului introdusă direct (din tabele) sau în urma unui calcul efectuat "a priori" de tipul  $T = f(n, w)$ . În continuare, se pot stabili următoarele:

- dacă  $m\tau_{ic} \cong T_i$  - se ia decizia de schimbare a sculei;

- dacă  $m\tau_{ic} < T_i$  - se calculează "rezerva de durabilitate"  $T_{ri} = T_i - m\tau_{ic}$ , [min; sec].

Pe această bază se determină numărul de piese identice " $m_i$ " care pot fi prelucrate de fiecare sculă în perioada de durabilitate (dimensionarea unui lot):

$$m_i = \frac{T_i}{\tau_{ic}}$$

La prelucrarea în continuare a unui alt lot de piese noi, diferite de cele anterioare, se pot utiliza aceleași scule dar la alte regimuri de aşchiere ( $n_j, w_j, t_j$ ). Fiecărui regim îi va corespunde o durabilitate *normată* (calculată):

$$T_1 = f(n_1; w_1); T_2 = f(n_2; w_2); \dots T_j = f(n_j; w_j).$$

Între valorile acestor durabilități pot exista diferite relații de tipul  $<$ ,  $>$  sau  $=$ .

Perioada de durabilitate a sculei rămasă disponibilă " $T_j^*$ " (rezerva) pentru prelucrarea lotului următor, ținând cont de cota parte consumată anterior este:

$$T_j^* = T_j \left( 1 - \frac{\tau_{j-1}}{T_{j-1}} \right) \text{ [min; sec],}$$

în care:

- $T_j, T_{j-1}$  sunt durabilități normate pentru lotul în cauză și cel anterior, [min];
- $\tau_{j-1}$  este timpul total de aşchiere al sculei în regimul " $j-1$ ";
- $j, j-1$  sunt indicii regimului (lotului) aferent.

Dacă la terminarea unui lot de piese, scula mai are încă o rezervă de durabilitate " $T_j^*$ " atunci calculatorul va proceda în continuare în mod analog și scula va putea fi folosită pentru un nou lot, până la epuizarea totală a durabilității normate. După aceea se va înlocui cu o alta reascuțită (nouă).

*Modificarea geometriei muchiilor aşchietoare.* Această metodă, de măsurare directă a uzurii muchiilor tăietoare se folosește relativ rar, întrucât evaluările geometrice (măsurări directe) ridică probleme tehnice deosebite, mai ales la MUCN grele pentru sculele cu mai mulți dinți (de exemplu freze frontale sau cilindro-frontale) și, în special, în cazul când pe MU se folosește un număr mare de scule diferite (vezi centre de prelucrare). Procedul se bazează pe palparea directă a tăişului cu un

dispozitiv de măsurare sau pe vizualizarea lui cu o cameră video care permite compararea imaginii achiziționate cu o imagine etalon.

*Modificarea valorilor unor parametri ai procesului de așchiere* (temperatură, zgomot, putere consumată etc.). Evaluarea indirectă a uzurii sculelor prin procedeul din titlu, este o metodă relativ ușor de aplicat și universal valabilă pentru orice fel de sculă. În principiu, ca și parametri indirecti pentru evaluarea uzurii sculei pot fi aleși: forța de așchiere, momentul la arborele principal, puterea sau curentul absorbite de motorul electric de antrenare a lanțului cinematic principal, zgomotul (vibrațiile) lagărelor (rulmentilor), temperatura acestora etc.

Inițial, pentru fiecare tip de sculă și anumite condiții de așchiere (adaos de prelucrare, duritatea semifabricatului, viteză de așchiere, avans) se determină experimental dependența dintre uzura sculei și unul dintre parametrii de mai sus. În timpul prelucrării, periodic, se măsoară parametrul fixat și, pe baza unor dependențe functionale (automat prin calculator!) se determină uzura aferentă.

Dintre metodele grupate în această categorie cea mai simplă (care nu necesită modificări constructive ale MUCN) constă în măsurarea intensității curentului electric sau a puterii consumate de motoarele de antrenare a lanțului cinematic principal și, respectiv, de avans. După cum rezultă și din figura 2.26,  $P_{as}$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  reprezintă puterile consumate în lanțul cinematic principal și respectiv în lanțurile cinematice de poziționare sau avans după axele  $x$ ,  $y$ ,  $z$  iar  $T_{rx}$ ,  $T_{ry}$ ,  $T_{rz}$  traductorii (senzorii) care sesizează (măsoară) aceste mărimi. De la traductori, aceste semnale sunt amplificate, convertite și oferite apoi calculatorului central al SFF.

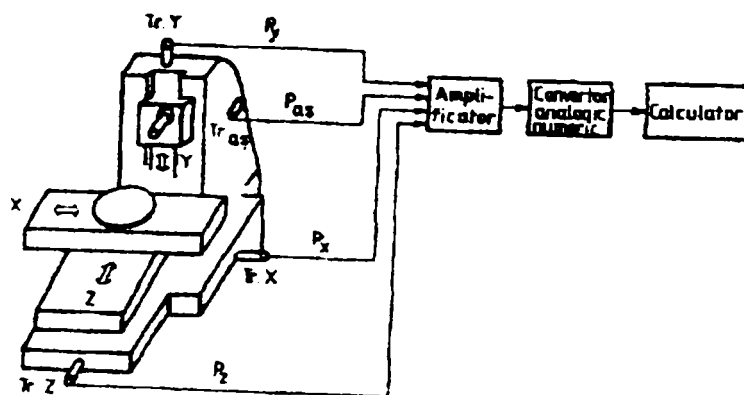


Figura. 2.26

Schema de principiu a măsurării puterilor consumate pentru MUCN

În figura 2.27 se prezintă grafic un exemplu de variație în procente a forței axiale  $F_x$  și a momentului rezistent  $M_r$  la arborele principal al unei MU. Domeniile notate cu "1" reprezintă valorile corespunzătoare unor scule așchietoare noi sau cu uzură admisibilă, iar cele notate cu "2" reprezintă câmpul de valori care denotă uzura inadmisibilă a sculelor.

Pentru evaluarea stării sculei în funcție de sarcină, în cadrul SFF se utilizează regimul de auto instruire. În timpul utilizării fiecărei scule noi (ascuțite) se măsoară și se memorează la prima trecere puterea inițială " $P_0$ " din lanțul cinematic principal. Se ia în considerare un coeficient de creștere (liniară) a sarcinii în urma uzurii sculei și se determină valoarea limită a sarcinii  $P_{0\lim} = kP_0$  la atingerea căreia se dă comanda de schimbare automată a sculei. Spre exemplu: pentru burghie  $k = 1,3...1,5$  iar pentru alezoare  $k = 1,9...2,2$ .

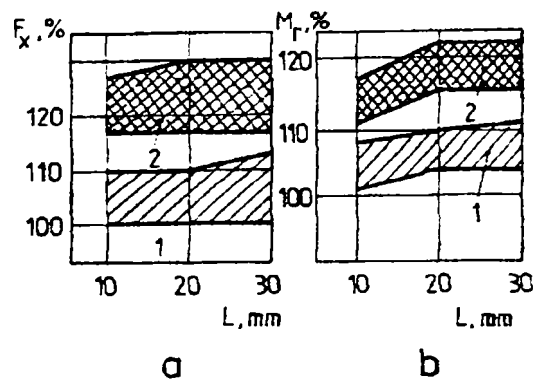


Figura 2.27

Variația forței  $F_x$  (a) și a momentului  $M_r$  (b) pe măsura avansării uzurii sculei

**Controlul automat al integrității sculei.** În cadrul sistemelor automate de fabricație asigurarea unei supravegheri atente, permanente, a integrității sculelor prezintă o importanță deosebită. Dacă la MU clasice aceste lucru se realizează de către operator, vizual în timpul prelucrării, la mașinile automate problema devine mai dificilă. Supravegherea de către operatorul uman devine cu atât mai greoaie cu cât numărul sculelor respectiv al posturilor (mașinilor) de lucru, este mai mare.

Controlul integrității sculei, în majoritatea cazurilor, se realizează prin metode indirecte. Se cunosc algoritmi cu ajutorul cărora se poate deduce, indirect, starea sculei (de exemplu prin analiza comparativă a forțelor, a cuplului sau a puterii de



așchiere calculate și măsurate). Dacă, spre exemplu, conform programului de comandă la un anumit moment dat trebuie să înceapă procesul de așchiere, iar după valoarea parametrului "forță de așchiere" rezultă că aceasta nu crește până la valoarea stabilită, atunci se ia decizia că scula s-a defectat (rezultă ruperi parțiale sau integrale).

Probabilitatea de apariție a defecțiunilor accidentale în cazul sculelor depinde, în principal, de mărimile adâncimii de așchiere "t" și ale avansului "w" (sau "s"). De exemplu, în cazul cuțitelor de strung, prin mărirea lui "t" și "s" crește forța de așchiere care solicită cuțitul și, drept urmare se mărește numărul defecțiunilor accidentale (ruperea muchiilor așchietoare). De aceea, este rațional ca adâncimea de așchiere să nu depășească 60% din lungimea muchiei așchietoare, iar avansul să ia valorile indicate în tabele din literatura de specialitate.

Spre exemplu, în cazul operațiilor de strunjire pe MUCN, s-a pus în evidență faptul că 75% din defecțiunile accidentale ale sculelor se produc în momentul "atacului" semifabricatului de către sculă (intrarea în așchiere). De aceea, pentru o bună protecție a sculelor se recomandă diminuarea avansului pe perioada de început cu 45-50% față de cel recomandat.

În cazul metodelor directe de control automat al integrității sculelor așchietoare, acestea din urmă, după apelarea prealabilă de către programul de comandă, se introduc în arborele principal sau în suportul portsculă și se deplasează până la un dispozitiv de măsurare a lungimii sculelor, care este montat în zona de așchiere. Aceste dispozitive ocupă o poziție bine determinată în raport cu punctul de zero al sistemului de coordonate al MUCN. În cazul dispozitivului cu palpator, acesta va determina dimensiunea sculei, urmând ca valorile determinate să fie comparate cu cele înscrise în program. În acest mod se evidențiază integritatea sculei și se pot face corecții axiale și radiale.

În figura 2.28 a este prezentat un asemenea dispozitiv (5), montat în suportul (1), care se fixează pe masa (2) a MUCN în zona de lucru. Prin intermediul palpatorilor (senzorilor) (4) se controlează starea plăcuțelor active ale capului de frezare (6), montat în arborele principal al mu. Sistemul de măsurare va emite un

semnal (optic, acustic) care va caracteriza poziția muchiei așchietoare a sculei în raport cu poziția inițială (sculă nouă, care nu este uzată).

În figura 2.28b se prezintă dispozitivul de măsurare cu palpator a integrității cuțitelor de strung, fixat pe păpușa mobilă a strungului. Periodic scula este apelată prin program și se deplasează în dreptul dispozitivului care măsoară după două direcții dimensiunile cuțitului de strung, controlând atât uzura sculei cât și integritatea ei.

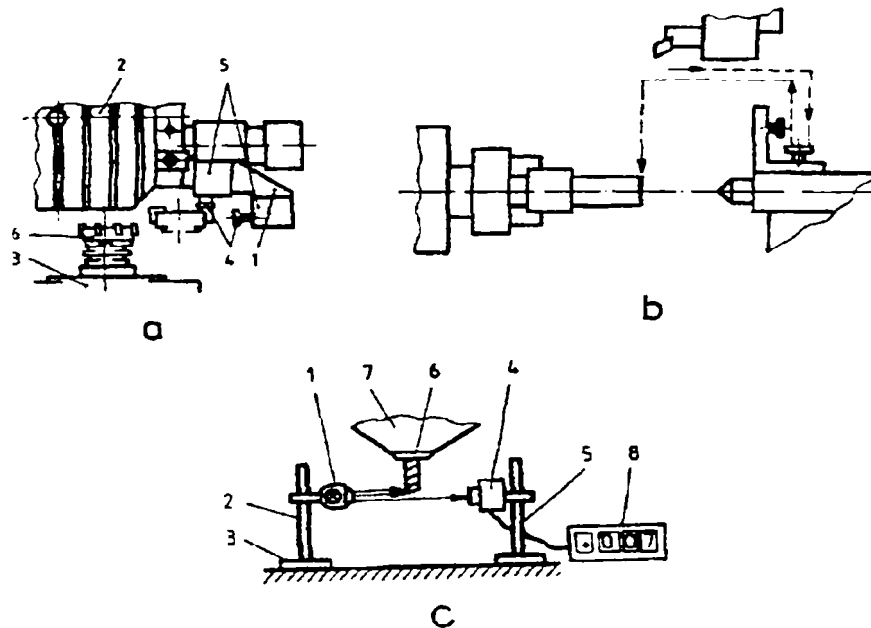


Figura 2.28

Dispozitive cu palpator pentru măsurarea uzurii sculei

Dintre sistemele de control direct al integrității sculelor așchietoare fac parte și cele fără contact nemijlocit (direct) cu scula, optice sau optoelectronice. Sistemele de măsurare optice sunt caracterizate de o viteză mare de reacție, precizie și stabilitate a măsurării.

În aceste sisteme se folosesc, de regulă, senzori optici (traductori fotoelectrici) care prezintă următoarele avantaje: fiabilitate foarte ridicată, preț de cost scăzut, posibilități largi de integrare cu calculatorul, lipsa deformației geometrice a rasterului.

Sistemele optice de măsurare din cadrul SFF se pot monta direct pe MUCN, pot fi deplasate în zona de măsurare cu ajutorul roboților industriali (structuri "portale") sau pot fi posturi de măsurare de sine stătătoare. Datorită preciziei mai ridicate, în prezent se preferă sistemele de măsurare staționară a pieselor sau a sculelor.

În figura 2.28c se prezintă un sistem optic de control al integrității și uzurii sculei așchietoare. Sistemul de iluminare (1), fixat pe suportul (2) la o anumită distanță (corespunzătoare unei scule noi, ascuțite), față de placa de bază (3), emite un fascicul luminos care este receptat de către telecamera (4). Aceasta este plasată pe suportul (5) la aceeași distanță față de placa de bază ca și sistemul de iluminare. În calea sa fasciculul luminos întâlnește scula (6), fixată în capul revolver (7), a cărei integritate sau uzură trebuie controlată. În funcție de dimensiunile sculei va varia intensitatea fluxului luminos recepționat de telecamera (4) și, deci, și semnalul electric emis de aceasta. Dimensiunea măsurată este apoi afișată pe display-ul blocului (8) de prelucrare a informației.

**Compensarea uzurii sculelor.** În mod clasic, uzura sculei așchietoare se compensează prin reascuțirea acesteia, în afara MU pe mașini speciale de ascuțit. În cadrul SFF moderne, au fost puse la punct și unele sisteme de compensare automată a uzurii sculelor așchietoare. Astfel, la capetele de alezare cu excentric și la barele de alezat (pentru prelucrări interioare, precise), reglarea sculei, eroarea ei de poziționare și uzura pot fi compensate în mod automat.

La prelucrarea găurilor precise trebuie evitată schimbarea sculei în vederea măsurării ei în timpul procesului de producție. De aceea, după prelucrare, capul de alezat cu excentric (sau bara de alezat) rămân fixate în arborele principal al MU iar în alezaj se introduce un dispozitiv special de măsurare destinat să controleze gaura prelucrată. Aceste dispozitive sunt bare (sau dornuri de control) dotate cu senzori de proximitate (inductivi sau pneumatici) reglați la diametrul găurii de măsurat și lucrează ca traductori fără contact (fig. 2.29). În funcție de programul de prelucrare și lungimea găurii, cu ajutorul dornului de control se măsoară (într-un singur punct sau, după necesități, în mai multe puncte) diametrul găurii alezate, realizate într-o singură trecere. Dacă prin aceasta se constată o abatere de la dimensiunea dată, atunci se realizează corecția care se introduce în program funcție de scula cu care s-a prelucrat.

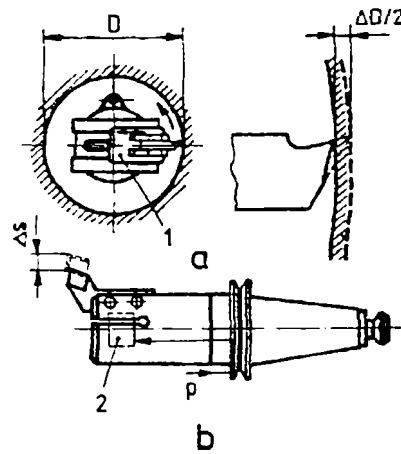


Figura 2.29

Din cele prezentate succint în paragraful 2.4., rezultă ca *evaluarea stării unei scule* aşchiitoare poate fi făcută pe baza unui volum de informații referitoare la:

- timpul efectiv de aşchiere al sculei și perioada (rezerva de timp) care a mai rămas până la epuizarea durabilității acesteia;
- creșterea forței sau a momentului de aşchiere care determină ieșirea din funcțiune a sculei;
- integritatea sculei;
- mărimea uzurii acesteia;
- ieșirea din câmpul de toleranță a parametrilor care caracterizează precizia de prelucrare a pieselor uzinate.

Prelucrarea acestui volum de informații și luarea deciziei în ceea ce privește continuarea procesului de aşchiere cu aceeași sculă sau schimbarea automată a ei este realizată de către calculatorul electronic care comandă funcționarea SFF.

**Schimbarea automată a sculelor.** Problema schimbării automate (după program) a sculelor este una din premisele fundamentale ale creșterii productivității MUCN. Prelucrarea unor piese prismatice de dimensiuni medii pe centre de prelucrare necesită, în general, 5...30 scule diferite (freze, burghie, alezoare, lărgitoare, adâncitoare, bare de alezat, tarozi etc.). Durabilitatea efectivă a acestor scule se modifică de 1,3...1,5 ori (în sensul micșorării) datorită numeroșilor factori care influențează direct procesul de aşchiere:

- vibrații;
- deformații elastice și termice ale sculelor și semifabricatelor;
- neuniformitatea adaosurilor de prelucrare (piese turnate etc.);

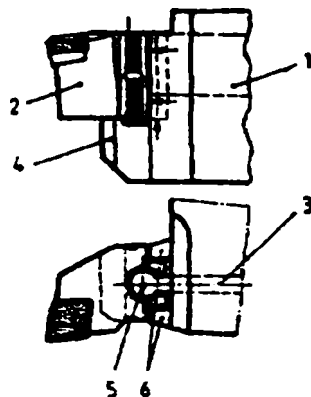
- neuniformitatea durtății semifabricatului;
- variația turăției și avansului datorită erorilor cinematice etc.

Legat de acestea, una din problemele care trebuie rezolvate la conceperea (proiectarea) unui SFF este determinarea automată a stării sculelor și, funcție de aceasta, apare necesitatea corectării poziției sau schimbării integrale.

Analiza sistemelor de scule utilizate la MUCN a arătat că în urma uzurii sculei sau ruperii ei se poate schimba întreaga sculă sau numai plăcuța așchietoare cu unele din elementele ei de fixare.

Cerintele speciale în construcția sculelor în vederea facilitării schimbării plăcutelor așchietoare sunt îndeplinite, în general, de sisteme consacrate de scule de tipul "BTS" (Block Tool System-Sandwick, Suedia), "Multiflex și Widaflex UTS" (Krupp-Widia, Germania).

Spre exemplu, în figura 2.30 se poate vedea principiul constructiv al sistemului "BTS". Blocul se compune din corpul (1), suportul (2) schimbabil cu plăcuța din carburi metalice și sistemul de rigidizare (3) al suportului. Suportul schimbabil se introduce pe sus, rezemându-se pe pragul (4) al corpului, el fiind ghidat pe suprafața sferică a "nucii" (articulație sferică) (5) și pe ghidajele plane (6). Prin tragerea tijei (3) spre dreapta jocul dintre suportul (2) și corpul (1) este eliminat, realizându-se strângerea suportului.



**Figura 2.30**  
Principiul constructiv al sistemului "BTS"

Sistemul "BTS" prezintă marele avantaj că necesită utilizarea unui singur tip de corp pentru prinderea suporturilor schimbabile și a celorlalte portscule intermediare. Comparativ cu o sculă clasică de strunjit, o sculă din sistemul BTS este de cca. 3 ori mai ușoară și mai mică în ceea ce privește lungimea.

În cazul sistemelor "Multiflex", suportul port plăcuță schimbabil (1) și corpul cuțitului (3) se îmbină prin intermediul unor ajustaje cilindrice, ca în figura 2.31.

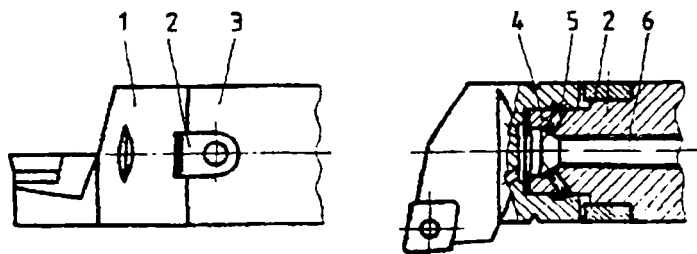


Figura 2.31 Soluție constructivă adoptată de sistemul "Multiflex"

Pe corpul cuțitului (3) este realizat un cep cilindric (4) pe care se centrează suportul (1). În corpul cuțitului este executat un orificiu în care este montată tija (6) prevăzută cu un capăt tronconic. La deplasarea spre dreapta a tijei (6), capul tronconic va împinge știfturile (5) (4 bucăți) până la blocarea suportului (1). Penele (2) au rolul de a poziționa univoc piesele (1) și (3). Preciziile de fixare ale suportului portplăcuță în sistemul "Multiflex" sunt:  $\pm 3 \mu\text{m}$  (axială) și  $\pm 6 \mu\text{m}$  (radială).

Sistemul "Widaflex" din figura 2.32, realizează centrarea suportului portcuțit (1) printr-un ajustaj conic (2) pe corpul portsculei (4). Transferarea (manipularea) sculei se face de către un robot prevăzut cu un dispozitiv de prehensiune care apucă scula prin intermediul degajării inelare (3). Blocul de fixare (5) conține 4 bile a căror poziție radială depinde de poziția tijei de strângere (6). Aceasta poate fi translatată prin intermediul mecanismului șurub-piuliță, odată cu rotirea piuliței (7). Acționarea în sens orar produce blocarea portcuțitului iar în sens invers, deblocarea.

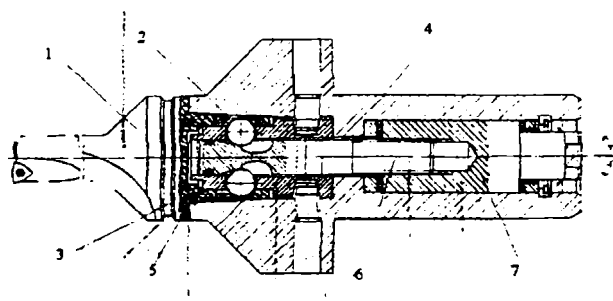


Figura 2.32 Soluție constructivă adoptată de sistemul "Widaflex"

Legat de mărirea numărului de scule utilizat în SFF și, în același timp, de micșorarea gabaritelor magaziiilor de scule, a apărut ca o soluție acceptabilă utilizarea de magazii *intermediare de scule*. De aici, sculele sunt transferate în mod

automat. de către roboți sau manipuloare programabile, în magazia proprie de scule a MUCN în timp ce aceasta stătează sau chiar lucrează.

Magaziile intermediare pot fi de tip disc, tambur, plane sau lanț. În figura 2.33 este prezentată o soluție având la bază sistemul de scule Widax-multiflex (Krupp). Soluția se compune din capul revolver (3), magazia suplimentară (5) în care sunt depozitate suporturile portplăcută amovibile (schimbabile) (4). Cu ajutorul manipulatorului (1) suporturile schimbabile sunt extrase din magazia (5) conform programului (sau funcție de starea de uzură sesizată) și sunt montate în corpul portsculei (2) din capul revolver (3). În acest scop, capul revolver (3) este retras (față de semifabricatul (6)) în poziția specifică de schimbare a sculei.

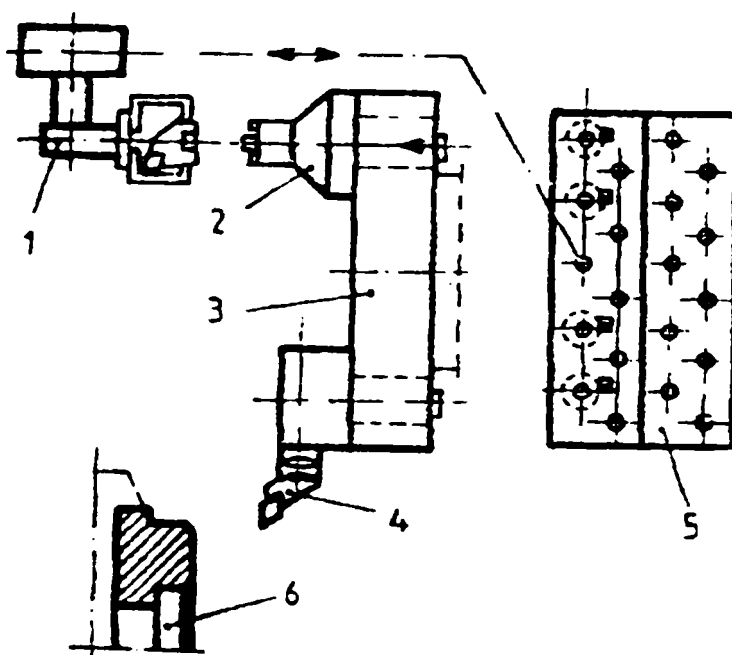


Figura 2.33

Magazie intermediară pentru stocarea sculelor  
așchietoare având la bază sistemul Widax-multiflex

## 2.5. Exemple de sisteme flexibile de fabricație automate pentru prelucrări prin așchiere

În vederea exemplificării structurii și modului de funcționare a unui SFF de prelucrare prin așchiere [B7], se prezintă în cele ce urmează, în mod sintetic, sistemul FANUC (Japonia). Acest sistem flexibil realizează prelucrarea prin așchiere a pieselor de revoluție din componența motoarelor electrice pas cu pas.

Elementele componente ale SFF de prelucrare FANUC sunt prezentate schematizat în figura 2.34, în care diversele notații reprezintă: *a* – sistemul de comandă DNC FANUC; *b*<sub>1</sub>...*b*<sub>11</sub> – strunguri; *c*<sub>1</sub>...*c*<sub>15</sub> – mașini de frezat; *d* – mașină de rectificat; *e* – centru de prelucrare; *L*<sub>1</sub>...*L*<sub>18</sub> – comenzile mașinilor-unelte (de tip CNC); *g* – robot; *h* – sistemul de comandă al robotului (de tip NC-FANUC-R).

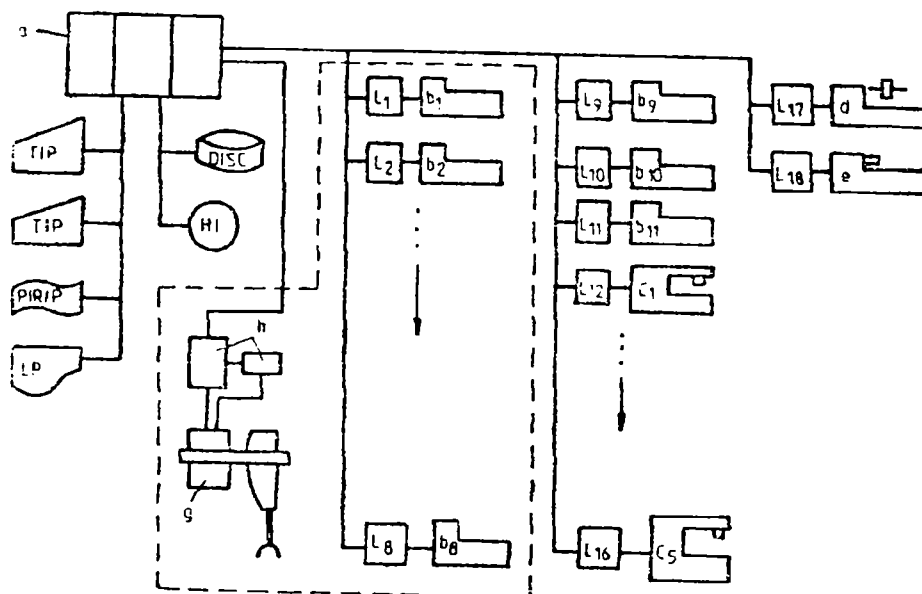


Figura 2.34 [B7]

Structura SFF de prelucrare prin așchiere FANUC (Japonia)

Pentru 8 strunguri (amplasate liniar) din cele 11 în total ale sistemului, manipularea pieselor (alimentare și evacuare) se realizează cu ajutorul unui robot tip UNIMATE, care se deplasează fiind montat pe un modul de translație lungă. Schema părții din sistem în care sunt integrate cele 8 strunguri deservite de robot, se prezintă în figura 2.35, în care: *a* – sistemul de comandă DNC a SFF și legăturile la comenzile mașinilor-unelte; *b*<sub>1</sub>...*b*<sub>8</sub> – strunguri; *c-d* – comanda fiecărei mașini-unelte; *e* – pupitru



de comandă a robotului: *f* – barieră de protecție; *g* – dispozitiv de transport pentru piese; *h* – robot; *i* – depozit accesorii; *k* – sistemul de comandă al robotului (FANUC-R)

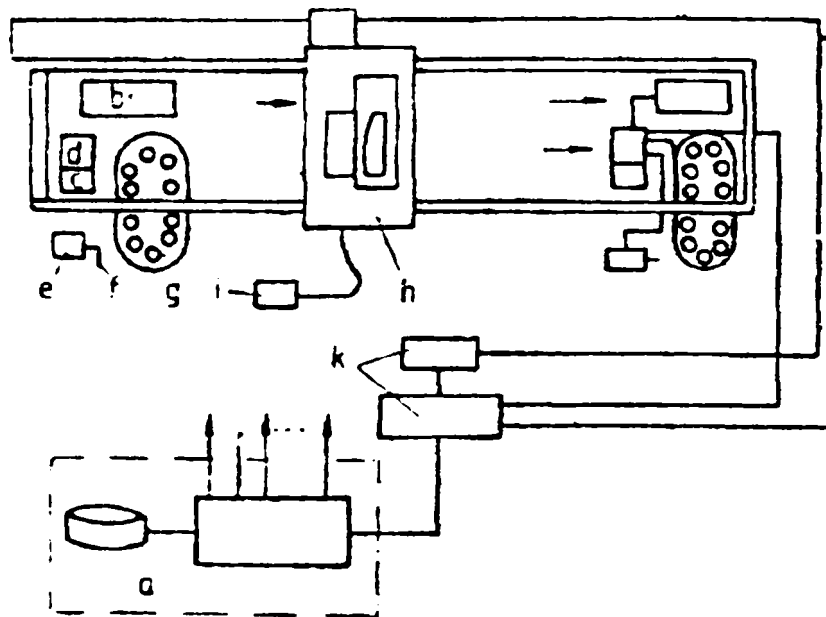


Figura 2.35 [B7]

Schema subsistemului de prelucrare pe strunguri cu conducere numerică, deservit de robot

Robotul poate manipula piese de revoluție, cu forme variate și dimensiuni diverse (cuprinse într-o anumită gamă). Alimentarea cu semifabricate a robotului și preluarea pieselor de la robot se realizează prin intermediul unui dispozitiv de transport propriu fiecărui strung. Întregul ciclu de funcționare a sistemului dispozitiv de transport – robot – mașină - unealtă se comandă separat de la un pupitru notat cu *e* prin intermediul căruia operatorul poate realiza scoaterea robotului din ciclu sau reglarea anumitor erori în funcționarea sistemului.

În [D7] este prezentat SFF de prelucrare prin așchiere realizat de firma Burkhardt & Weber din Germania, figura 2.36.

Sistemul are în componență 4 centre de prelucrare identice de tip MC100, care se pot înlocui complet unul pe altul. Centrele de prelucrare sunt adecvate pentru prelucrarea unor repere de tip carcasă. Mașinile au axa orizontală, iar din necesitatea de a mări viteza de execuție a reperelor cu multe găuri, la primul centru de prelucrare s-a prevăzut un sistem de găurire cu capete multiax, care se pot

încărca după nevoi dintr-o magazie specială, atașată acestei mașini. Sistemul este servit din punctul de vedere al transferului de un conveyor pe șine care aduce semifabricate așezate pe palete. *Încărcarea paletelor* cu repere se face manual la stațiile de încărcare.

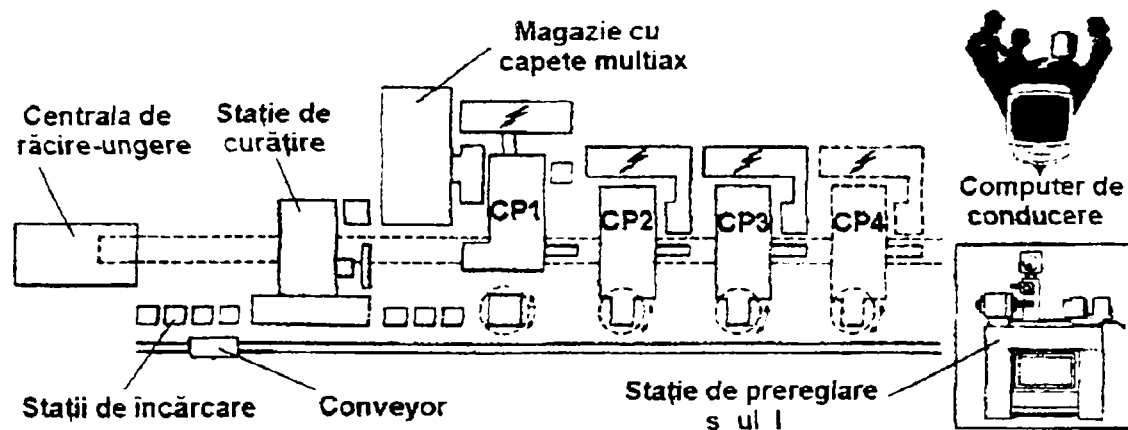


Figura 2.36.[D7]

#### SFF de prelucrare prin așchiere realizat de firma Burkhardt & Weber

Fiecare stație din sistem este obiectul unei *activități de control organizată ierarhic*, figura. 2.37. Creierul întregii activități este un calculator de comandă, integrat prin intermediul unei rețele locale cu celelalte echipamente sau stații de lucru. Sarcinile pe care le îndeplinește fiecare nivel al ierarhiei sistemului de comandă pot fi identificate în figură. Este de remarcat faptul că instalația aducătoare este comandată de un controller separat, lucru care demonstrează importanța acestui echipament pentru funcționarea în siguranță și cu mare eficiență a întregii instalații.

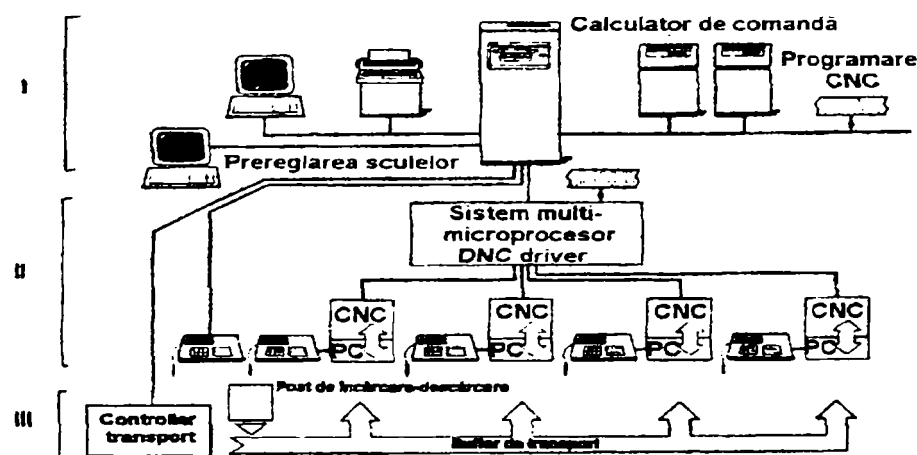


Figura 2.37 [D7]

#### Activități de control organizate ierarhic

Pe primul nivel de control sunt rezolvate următoarele sarcini:

- gestiunea generală a fișierelor;
- încărcarea mașinilor;
- gestiunea sculelor;
- lansarea loturilor de producție.

Pe nivelul doi sunt grupate următoarele obiective:

- controlul fluxurilor de date;
- distribuția programelor NC;
- efectuarea de calcule concrete;
- rularea programelor NC;
- monitorizarea uzurii sculelor;
- manipularea materialelor.

Pe ultimul nivel se comandă doar transferul pieselor, ca o componentă esențială a sistemului de comandă. La acest nivel este instalat un calculator de tipul Simatic S5 cu toată periferia necesară.

*Calculatorul principal* de comandă este de tipul Siemens 300 și el are sub control toate echipamentele de conducere instalate în sistemul flexibil. *Programarea producției* se face manual, pe baza comenzilor și a strategiei generale a întreprinderii, computerul principal de comandă având doar misiunea de a urmări și de a asigura îndeplinirea în bune condiții a planului astfel elaborat.

Una din dimensiunile principale a implementării unui SFF este *dimensiunea socio-umană*. În cazul exemplului prezentat, componenta umană a nevoilor de operare din sistem este destul de importantă, ținând cont că însăși programarea fabricației se face manual, ca să nu mai vorbim de instalarea semifabricatelor pe palete, reglarea mașinilor, prereglarea sculelor, descărcarea pieselor și multe altele. Ca urmare operatorul uman este nevoit să coabiteze cu sistemul și să se adapteze la un nou stil de muncă, în care elementul inedit este prezența mașinilor în ciclu automat, care impun un ritm obiectiv și uneori stresant. Pornind de la această observație, conducerea companiei a elaborat un studiu de integrare a forței de muncă în sistem, începând cu dotarea cu personal uman și ajungând la distribuirea de sarcini pe principalele stații de lucru.

*Obiectul principal* al strategiei de utilizare a operatorilor în sistem este de a-i instrui în așa fel, încât ei să devină familiari cu sistemul și să știe să-l stăpânească. Acest obiectiv presupune și faptul ca ei să înțeleagă legăturile interne reciproce dintre diversele componente ale sistemului. Pentru a menține o rată ridicată de disponibilitate a sistemului, personalul uman trebuie să știe să elimine orice sursă de risc și să rezolve toate perturbațiile care pot apare accidental. Pentru a elimina caracterul monoton al unor sarcini limitate și cu caracter repetitiv, strategia de personal impune calificarea largă a angajaților implicați în exploatarea sistemului flexibil, astfel încât ei să poată oricând să se substituie unul altuia. Costurile ridicate presupuse de acest mod de calificare pot fi recuperate printr-o eficiență sporită a utilizării sistemului flexibil.

După părerea autorilor lucrării [B7] sunt de reținut trei caracteristici importante ale SFF de prelucrare prin așchiere, de natură să faciliteze introducerea acestora în practica industrială curentă:

a. Sistemele flexibile se realizează într-o structură modulară, principalele module constitutive permițând creșterea gradului de flexibilitate.

Cea mai dificilă problemă a automatizării proceselor discontinue (în serie mică și mijlocie), și anume realizarea precisă a mișcărilor de lucru, a fost rezolvată prin conducerea numerică a mașinilor-unelte și prin dezvoltarea și implementarea roboților industriali. În rest, elementele de noutate constau în rezolvarea completă a automatizării operațiilor de manipulare și în concepția sistemică generală.

b. În cadrul unui SFF, cuplarea între elementele acestuia se realizează în mod asincron, legătura între locurile de muncă prin intermediul sistemelor de manipulare automate permițând "așteptarea" și durata variabilă a timpului de efectuare a unei operații. Acest asincronism între elemente este o condiție de bază a flexibilității, care permite totodată coexistența în cadrul sistemului a unor posturi de lucru automate și manuale. În acest mod se permite realizarea unei automatizări evolutive (prin înlocuirea posturilor manuale cu posturi automate) și, de asemenea, a unei automatizări în timp limitat (de exemplu, pregătirea manuală în schimbul 1 și funcționarea automată a sistemului tehnologic în schimburile 2 și 3).

c. Conceptul de sistem flexibil cu automatizare evolutivă reprezintă, în cele mai multe cazuri, soluția optimă pentru creșterea productivității muncii și a eficienței

economice. Sistemele de automatizare înlocuiesc la început operațiile ce necesită eforturi fizice mari, activitățile repetitive monotone, murdare, urmând ca oamenii să fie utilizați pentru operații complexe de supraveghere, montaj, diagnoză etc.

În general însă, introducerea pe scară largă a SFF de prelucrare prin așchiere este deocamdată încetinită de o serie de motive, dintre care se amintesc:

- lipsa unei unificări și a unei legături mai flexibile între sistemele de comandă a MUCN și a roboților, precum și a interfețelor intermediare (diferențe de limbaje, deosebiri în băncile de date proprii și în pachetele de programe aplicative): această deficiență se depășește prin utilizarea structurilor MAP (**M**anufacturing **A**utomation **P**rotocol);
- o fiabilitate scăzută în timp și posibilități de livrare incomplete a utilajelor necesare, lipsa unor mașini-unelte alcătuite din subansamble tipizate și unificate de largă utilizare practică;
- organizarea deficitară a serviciilor de reglare a utilajelor tehnologice și a ciclurilor roboților;
- lipsa unui număr mai mare de cadre de specialitate bine pregătite pentru proiectarea și exploatarea sistemelor flexibile de prelucrare.

Cu toate acestea, pe plan mondial există o preocupare constantă pentru dezvoltarea și implementarea sistemelor tehnologice flexibile.

În acest sens, pe baza unor programe naționale de dezvoltare a acestor sisteme, s-au realizat atât celule și linii de fabricației flexibile, dar și o serie de module componente ale acestora (mașini-unelte, sisteme de comandă, programe, port-scule, palete, roboți etc.).

Deși în prezent SFF utilizează aproximativ 10-15% din structura parcului mondial de mașini-unelte, se preconizează o dezvoltare ascendentă puternică în următorii ani.

În cadrul structurii acestora vor fi aplicate în mai mare măsură dispozitive de lucru automate, sisteme de conducere adaptivă a procesului de prelucrare pentru minimizarea rugozității suprafețelor, senzori de diagnoză a stării de funcționare a sistemului tehnologic, împreună cu software-ul corespunzător pentru eliminarea activității de supraveghere și intervenție a operatorului uman.

Din punctul de vedere al mașinilor-unelte componente, se menționează că centrele de prelucrare, ca elementul cel mai reprezentativ din structura sistemelor flexibile de prelucrare, vor fi dezvoltate, în principal, în sensul realizării sistemului de construcție modular. Aceste mașini-unelte se vor dezvolta mai ales în direcția asigurării capacității de integrare, pe cât posibil, a tuturor operațiilor necesare executării unei piese, prin mărirea numărului de arbori principali, prin posibilitatea schimbării rapide a unor module de scule etc.

În legătură cu configurația mașinilor-unelte, acestea vor avea un număr din ce în ce mai ridicat de tipizate, standardizate și modularizate a cât mai multor subansamble și componente, în condițiile asigurării unei precizii de prelucrare ridicate și a unei bune fiabilități.

În domeniul sculelor așchietoare utilizate în SFF de prelucrare prin așchiere, accentul se pune pe perfecționarea, automatizarea transferului și depozitării obiectelor de lucru în sistem, dezvoltarea unor sisteme mult mai eficiente pentru controlul integrității și uzurii sculelor așchietoare (în scopul prevenirii ruperii). Folosirea roboților industriali în SFF va cunoaște în continuare o dezvoltare puternică. Aceștia vor fi utilizați, de asemenea, și în cadrul operațiilor de control dimensional și de identificare a pieselor și sculelor fiind dotați în acest scop cu senzori performanți și inclusiv sisteme de vedere artificială.

Se vor dezvolta sistemele de conducere numerică în conformitate cu principiile de modularizare a sistemelor componente, a creșterii vitezei de prelucrare automată a informațiilor primite din sistemul real de lucru, a realizării posibilității de dialog activ, în regim conversațional, "on-line" cu operatorul de proces.

Se apreciază ca la nivelul anilor 1994-1995, 18-25% din numărul total al mașinilor-unelte vor fi cuprinse în sistemele tehnologice flexibile de prelucrare.

În țara noastră se acordă o importanță mare dezvoltării cercetării științifice din domeniul SFF. Pe baza studierii experienței țărilor dezvoltate și pe baza realizărilor proprii sunt în curs de realizare celule și linii flexibile automatizate pentru necesitățile proprii sau pentru export. De asemenea, au fost realizate sau sunt în curs de realizare mașini-unelte cu conducere numerică și sisteme de comandă integrabile în celule și linii flexibile. Dintre realizările mai importante amintim familia de echipamente NUMEROM, pentru conducerea numerică a mașinilor-unelte,

calculatorul de proces ECAROM-800, dotat cu circuite integrate (microprocesoare, memorii semiconductoare) prezentând fiabilitate sporită, consum redus de energie și posibilitate de funcționare în mediu industrial neclimatizat.

O realizare importantă este și automatul programabil AP-101, utilizat în sistemele de comandă secvențială pentru mașini-unelte simple, linii automate de prelucrare de asamblare automată, etc.

Se prognozează următoarele tendințe principale pe plan mondial privind dezvoltarea cererii de SFF de prelucrare:

- în viitorii 10 ani, cea mai bună perspectivă de dezvoltare o au SFF de prelucrare prin așchiere mici, supravegheate de câțiva operatori și care apoi să poată fi transformate în sisteme funcționând fără operatori;
- va crește cererea de SFF de prelucrare prin așchiere cu grad ridicat de integrare în hipersisteme CIM și post CIM, mai ales cu automatizarea proiectării și cea a pregătirii tehnologice.

### 3. STADIUL ACTUAL AL CERCECTĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA SCULELOR AȘCHIETOARE COMBIMATE

#### 3.1. Considerații generale

Sculele așchietoare reprezintă în esență corpuri solide compuse din reuniuni de corpuri geometrice simple cum ar fi: prisme, piramide, cilindri, conuri, sfere, etc. Cu cât

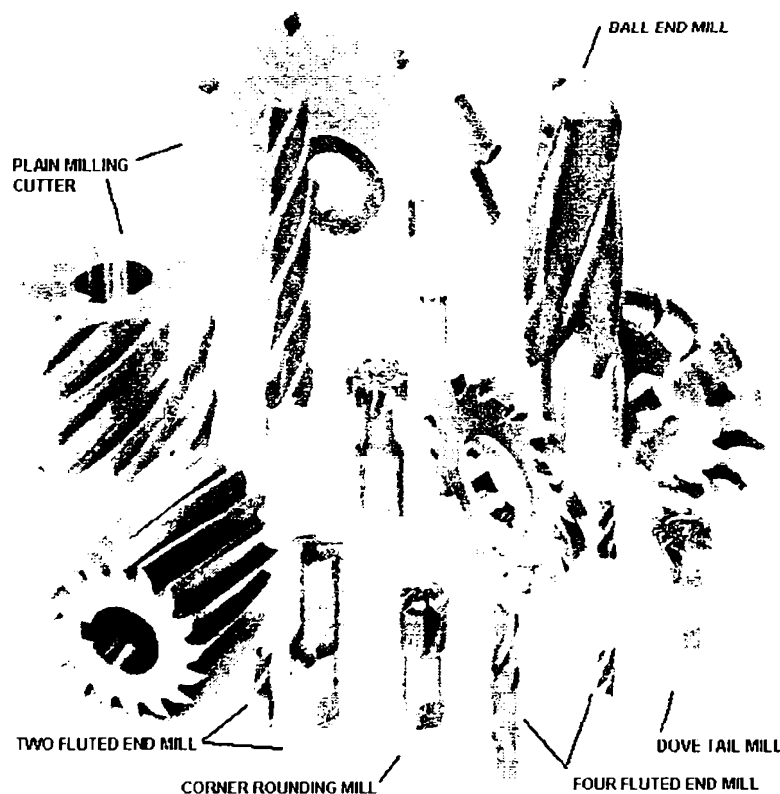


Figura 3.1 Tipuri de scule așchietoare

forma geometrică este mai simplă cu atât execuția lor este mai simplă. În figura 3.1 sunt prezentate câteva tipuri a căror analiză din punct de vedere geometric susține afirmația de mai sus. În lucrarea [Ș1] se propune o sculă generalizată, abstractă prin particularizarea căreia pot fi obținute majoritatea sculelor existente sau chiar altele noi, figura 3.2.



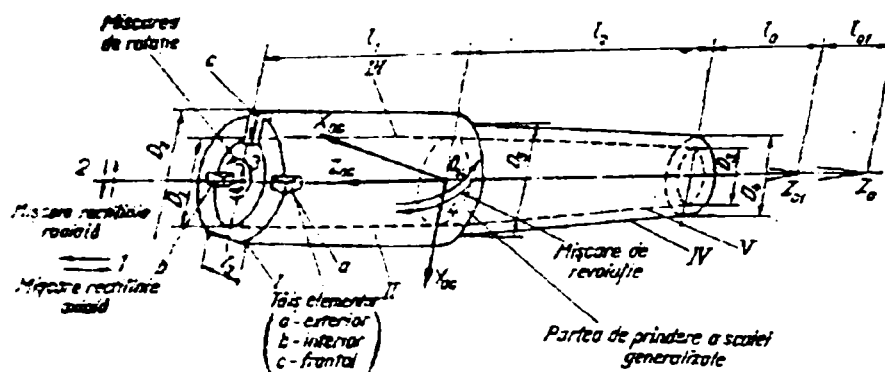


Figura 3.2 Modelul general al sculei așchietoare

În domeniul proiectării și fabricării sculelor așchietoare cele mai importante tendințe manifestate sunt:

a) *Creșterea capacității de așchiere a sculelor*, prin utilizarea unor materiale cu caracteristici fizico-mecanice superioare, proiectarea unor forme constructive superioare și raționalizarea condițiilor în care se face exploatarea acestora.

b) *Tendința de utilizare pe scară largă a plăcuțelor din carburi metalice și materiale mineralo-ceramice* prin înlocuirea construcțiilor monobloc cu cele compuse, ceea ce duce și la o importantă economie de oțeluri de scule.

c) *Proiectarea și realizarea de noi tipuri de scule* cu mai mult de un tăiș și respectiv a **sculelor combinate** care asigură o creștere semnificativă a productivității prin concentrarea mai multor faze sau operații într-una singură.

d) *Limitarea varietăților constructive și a sortimentelor dimensionale* prin standardizarea și normalizarea celor mai multe dintre sculele așchietoare, cum ar fi: cuțite de strung, burghie, tarozi, filiere, ș.a. O importantă preocupare în acest sens o constituie alcătuirea unui sistem de scule cuprinzător, care are la bază o unitate standard ca element principal al acestuia.

e) Obținerea semifabricatelor la forme și dimensiuni cât mai apropiate de cele ale sculelor finite, prin utilizarea unor procedee de prelucrare mecanică cum ar fi laminarea, rularea și turnarea de precizie.

f) Lipirea plăcuțelor mineralo-ceramice și din carburi metalice prin contact electric sau cu ajutorul curenților de înaltă frecvență.

g) Tendințe de a înlocui ascuțirea și netezirea abrazivă cu procedee chimico-mecanice și electrice, care permit obținerea unor rezultate mai bune din punct de vedere a calităților suprafețelor părții așchietoare și a preciziei dimensionale, ceea ce duce la o durabilitate superioară în exploatare.

h) Aplicarea unor tratamente termice moderne, dintre care se impun călirea izotermă și tratamentele termochimice cum ar fi: cianurarea, fosfatarea, sulfizarea, cromarea, acoperirea tăișului sculei cu carburi de titan sau fonte albe, ș. a.

Perspectivile de dezvoltare a sculelor așchietoare sunt condiționate de obținerea unor rezultate mai bune în ceea ce privește **productivitatea prelucrărilor prin așchiere**, respectiv o calitate a suprafețelor și o precizie dimensională superioară pentru suprafețele prelucrate.

Relația 3.1 prezintă modul de determinare a productivității  $P$ , iar 3.2 structura normei de timp  $T_n$ .

$$P = \frac{n_p}{T_n} \text{ [buc./min]} \quad (3.1)$$

$$T_n = T_b + T_a + T_{on} + T_d + \frac{T_{pi}}{n_p} \text{ [min]} \quad (3.2),$$

unde:

$T_b$  - timpul de bază, [min];

$T_a$  - timpul auxiliar, [min];

$T_{on}$  - timpul de odihnă și necesități firești, [min];

$T_d$  - timpul de deservire tehnico-organizatorică, [min];

$T_{pi}$  - timpul de pregătire-încheiere, [min];

$n_p$  - lotul de piese care se prelucreează la aceeași mașină, [buc];

$P$  - productivitatea, [buc/min].

Timpul de bază poate fi determinat cu relația:

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n s} \quad \text{[min]} \quad (3.3),$$

unde:

$l_i$  - lungimile suprafețelor prelucrate, [mm];

$n$  - numărul de rotații pe minut, [rot/min];

$s$  - avansul, [mm/rot];

$l$  - numărul de treceri.

Turația în funcție de viteza de așchiere se exprimă:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} \quad \text{[rot/min]} \quad (3.4),$$

unde:

$v$  - viteza de așchiere, [m/min];

$D$  - diametrul suprafeței prelucrate, [mm].

Înlocuind relația turației 3.4 în expresia timpului de bază 3.3 și relațiile 3.3 și 3.1 în 3.2, se obține pentru productivitatea  $P$ , următoarea formă:

$$P = \frac{n_p 1000 v s}{\sum l_i \pi D + T_a + k} \quad \text{[buc/min]} \quad (3.5),$$

unde:

$$k = T_{un} + T_d + \frac{T_{pi}}{n_p} \quad \text{[min]} \quad (3.6).$$

Expresia 3.5, arată o dependență a productivității  $P$  în raport cu timpul de bază  $T_b$  (dacă ținem cont de relațiile 3.3 și 3.4 cu viteza de așchiere  $v$  și avansul  $s$ ) și timpul auxiliar  $T_a$ .

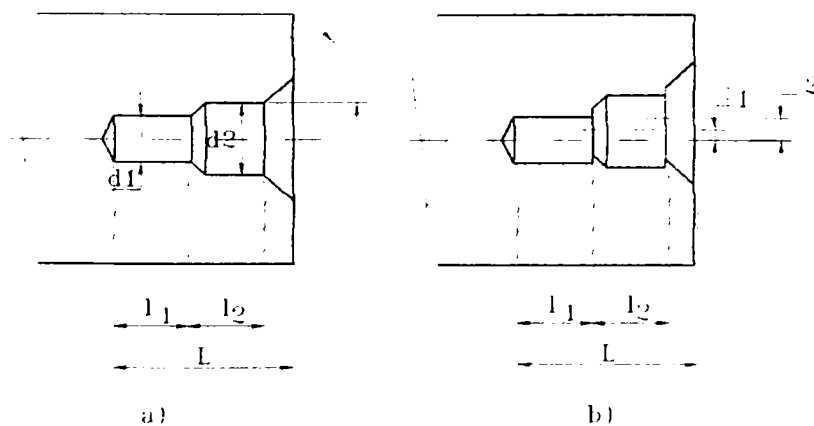
**Creșterea productivității** se poate obține pe seama reducerii timpului de bază și a celui auxiliar prin creșterea vitezei de așchiere  $v$  și a avansului  $s$ , cum și prin micșorarea adaosurilor de prelucrare, respectiv a adâncimii de așchiere  $t$ .

În acest sens stadiul actual este avansat, astfel încât rezultate spectaculoase nu se întrevăd într-un viitor apropiat, în special și pentru faptul că o creștere a vitezelor de așchiere și a avansurilor peste anumite limite s-a constatat că produce o uzură prematură a sculelor, ceea ce implică creșterea timpilor auxiliari, deci și a costurilor.

Dezideratul **creșterii productivității** mai poate fi atins pe baza dezvoltării **sculelor combinate, sculelor cu reglare automată, precum și a celor inteligente**, care prin concentrarea unor faze sau operații duc la o scădere semnificativă a timpului de bază și auxiliar.

**Sculele combinate** reprezintă reuniuni de scule așchietoare elementare cu ajutorul cărora se pot realiza prelucrări de același tip sau de tipuri diferite, în cadrul aceleiași operații, prin concentrarea a două sau mai multe faze. Sculele așchietoare care stau la baza obținerii sculelor combinate pot fi: cuțite, freze, burghie, alezoare, adâncitoare, ș. a.

Construcția sculelor combinate pune aceleași probleme caracteristice oricărei scule așchietoare, însă apar și probleme specifice care trebuie rezolvate pentru a asigura obținerea rezultate scontate.



**Figura 3.3** Prelucrarea unor suprafețe interioare concetrice cu o sculă combinată a) și cu scule elementare b)

Problema fundamentală care se pune este de a asigura diferitelor scule ce compun combinația respectivă condițiile unei funcționări astfel încât să se obțină o durabilitate uniformă a tuturor tăișurilor sculei, chiar dacă acestea lucrează (de cele mai multe ori) în condiții de

solicitare diferită. Rezolvarea acesteia presupune adoptarea unor soluții adecvate la proiectarea sculei din punct de vedere al geometriei părții așchietoare, alegerea corespunzătoare a materialelor și tratamentelor termice în funcție de condițiile de solicitare în timpul procesului de așchiere, precum și stabilirea condițiilor de lucru în exploatare prin utilizarea lichidelor de răcire-ungere. Pentru a pune în evidență

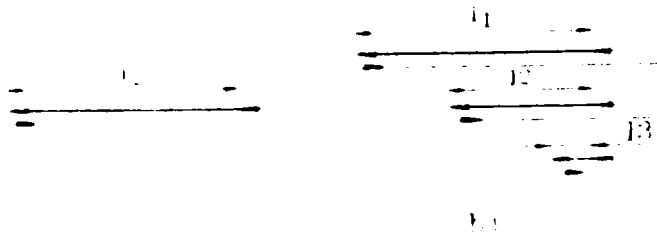


Figura 3.4

particularitățile prelucrării utilizând scule combinate, vom considera prelucrarea alezajului din figura 3.3, efectuată în două variante tehnologice:

- prin utilizarea unei scule combinate, figura 3.3 a).
- în trei faze diferite ale prelucrării, figura 3.3 b), utilizând două burghie  $\phi d_1$ , respectiv  $\phi d_2$  și un adâncitor conic.

Ciclul prelucrărilor în cele două variante sunt prezentate în figura 3.4 a), respectiv b)

Utilizarea sculelor combinate în procesul de producție, este echivalentă sub aspectul scopului și al rezultatelor cu agregarea la mașinile unelte, conduce la obținerea următoarelor **avantaje**:

- **Reducerea normei de timp**, prin posibilitatea concentrării unor faze sau operații în tehnologia de fabricație a reperului, oferită prin posibilitatea de a suprapune total sau parțial timpii de bază și reducerea timpilor auxiliari, asigurând importante creșteri ale productivității, relația 3.5. Pentru exemplul considerat anterior, din figura 3.4 se poate constata că lungimea cursei executate cu avans de lucru va fi:

$$l_{1sc} < l_{1b1} + l_{2b2} + l_{3ac} \quad (3.7).$$

ceea ce va conduce, conform relației 3.3 la obținerea unui timp de bază:

$$T_{b1} < T_{b2} \quad (3.8),$$

unde:

$T_{b1}$  - timpul de bază pentru varianta 1 de prelucrare,  
(utilizând scula combinată), [min];

$T_{b2}$  - timpul de bază pentru varianta 2 de prelucrare, [min].

De asemenea are loc o importantă reducere a timpilor necesari retragerii rapide și a celor de schimbare de sculă, ceea ce conduce la relația:

unde: 
$$T_{a1} < T_{a2} \quad (3.9),$$

$T_{a1}$  - timpul auxiliar pentru varianta 1 de prelucrare,  
(utilizând scula combinată), [min];

$T_{a2}$  - timpul auxiliar pentru varianta 2 de prelucrare, [min].

- **Se elimină o serie de dispozitive speciale și reduce numărul necesar de mașini unelte.**

- **Crește precizia prelucrării** prin eliminarea erorilor de orientare, în special la prelucrarea alezajelor concentrice, figura 3.3. În figura 3.3 a, alezajul se obține cu ajutorul unei scule combinate care permite obținerea simultană a orificiilor  $\phi d1 \times l_1$ ,  $\phi d2 \times l_2$  și a adâncirii conice  $\alpha$ , pe  $L-(l_1 + l_2)$  iar în figura 3.3 b, prelucrarea are loc în trei faze diferite ale aceleași operații sau în trei operații distincte, utilizând trei scule diferite. Se poate constata din figura 3.3 datorită unor factori legați de:

- schimbarea sculei așchietoare;
- imprecizia dată de erorile la repetarea deplasărilor sculei fixate în arborele principal al mașinii unelte pe aceeași traiectorie;
- abaterile dimensionale ale părților de orientare ale sculelor în arborele principal,

apariția în varianta 2-a de prelucrare a unor erori de coaxialitate  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  ale alezajului  $\phi d2$  și conicității  $\alpha$  în raport cu axa alezajului  $\phi d1$  prelucrat inițial. Situația cea mai

**Teză de doctorat**

dezavantajoasă apare atunci când valorile acestor erori de la coaxialitate nu se compensează reciproc. și deci:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \text{ } [\mu\text{m}] \text{ (3.10)}$$

Un alt aspect legat de același exemplu îl constituie faptul că la prelucrarea cu o sculă așchietoare combinată valorile obținute pentru lungimile  $l_{1b1}$  și  $l_{2b2}$  vor fi dependente numai de precizia de execuție a sculei așchietoare și doar lungimea  $L$  va depinde de precizia cu care se efectuează cursa de lucru, spre deosebire de celelalte situații luate în considerare când toate cotele de lungime vor fi dependente de precizia cu care se execută cursa de lucru.

**- Precizia prelucrării depinde într-o măsură mai mică de calificarea personului care o deservește;**

**- utilizarea sculelor combinate permite în anumite situații efectuarea prelucrărilor pe mașini unelte universale, fără a fi necesar să dispunem de mașini unelte specializate.**

Pe lângă avantajele menționate, sculele combinate prezintă și următoarele dezavantaje:

- **conceperea lor pune uneori probleme dificile proiectanților;**
- **au construcție mai complicată și sunt mai greu de executat;**
- **ascuțirea lor este dificilă** în special în cazul construcțiilor monobloc și a dimensiuni reduse ale gabariturii;
- **datorită costului ridicat**, al sculelor combinate, **nu se pretează la fabricația în serie mică, mijlocie**, decât dacă prezintă un anumit grad de universalitate (posibilitatea de reglaj pentru un anumit domeniu de dimensiuni);
- **există restricții legate de combinarea tipului de operații** care se pot adopta, sub aspectul durabilității părților așchietoare, precum și condiționări în ceea ce privește mașinile unelte pe care lucrează.

Pentru exemplificarea restricțiilor amintite, în figura 3.5, se prezintă prelucrarea unui alezaj filetat cu ajutorul unei scule combinate monobloc (sculă combinată de găurit + filetat interior). Semnificațiile notațiilor din figură sunt:

- 1, partea sculei combinate care realizează alezajul, burghiu;
- 2, partea sculei combinate care realizează prelucrarea filetului, tarod.

Restricțiile din punct de vedere al utilizării în acest caz constau în necesitatea ca partea așchietoare care realizează prelucrarea filetului 2, să intre în așchiere după străpungerea alezajului de către partea 1 a sculei combinate, întrucât tarodul suportă un regim de așchiere mai puțin intens decât burghiul; de asemenea, este necesară

ca la o rotație completă a piesei, scula să se deplaseze cu o valoare egală cu pasul. Din punct de vedere al mașinii unelte pe care se face prelucrarea, aceasta va trebui să permită

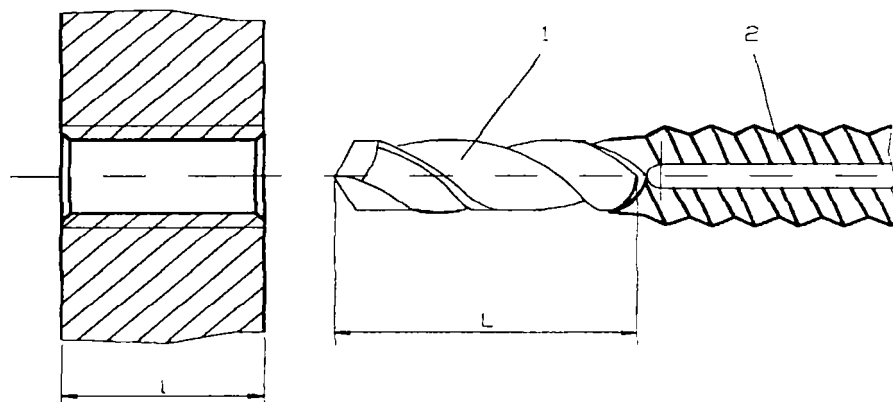


Figura 3.5

Sculă combinată, burghiu cu tarod

schimbarea regimului de așchiere în timpul prelucrării, iar din punct de vedere tehnologic cu o astfel de sculă nu se pot prelucra decât alezaje străpunse.

### ***Criteriile de clasificare a sculelor combinate***

Există un număr mare de criterii de clasificare a sculelor așchietoare. Două dintre acestea permit o clasificare corectă și suficient de strictă [Ș1]:

- procedeul tehnologic de prelucrare căruia îi este destinată scula așchietoare;
- tehnologia de execuție.



După primul criteriu împărțirea sculelor așchietoare poate fi făcută în nouă **clase sau genuri**. În cadrul cărora se pot defini **tipuri de scule**:

Clasa I-a **Cuțite** (Tipuri: *simple, profilate*).

Clasa II-a **Broșe** (Tipuri: *prelucrări la interior, prelucrări la exterior, circulare, ș. a.*).

Clasa III-a **Pile** (Tipuri: *manuale, mecanice*).

Clasa IV-a **Scule abrazive** (Tipuri: *discuri abrazive, bare abrazive, segmenti abrazivi, ș. a.*).

Clasa V-a **Scule pentru prelucrarea găurilor** (Tipuri: *burghie, adâncitoare și lărgitoare, alezoare, scule pentru lamat, ș. a.*).

Clasa VI-a **Freze** (Tipuri: *cilindrice, frontale, cu coadă, unghiulare, profilate, ș. a.*).

Clasa VII-a **Scule pentru filetare** (Tipuri: *tarozi, filiere, ș. a.*);

Clasa VIII-a **Scule pentru danturare** (Tipuri: *roți dințate cilindrice, roți dințate conice, roți melcate și melci, ș. a.*).

Clasa IX-a **Scule pentru retezare** (Tipuri: *freze ferăstrău, cuțite de retezat, ș. a.*).

După tehnologia de execuție, sculele se împart în trei clase:

Clasa I-a **Scule plate**.

Clasa II-a **Scule cu coadă**.

Clasa III-a **Scule cu alezaj**.

Având în vedere complexitatea construcției sculelor combinate, mai pot fi luate în considerare și alte criterii suplimentare. Cele mai importante sunt:

**După tipul sculelor elementare** care compun scula combinată:

- scule combinate monotip, obținute prin combinarea a mai multor scule de același tip dintr-o anumită clasă;

- scule combinate pluri tip, obținute prin combinarea a mai multor scule de tipuri diferite, din clase diferite sau tipuri diferite ale aceleași clase.

**După construcție:**

- scule combinate monobloc ;
- scule combinate cu elemente demontabile.

**După natura suprafeței prelucrate:**

- pentru prelucrarea suprafețelor exterioare;
- pentru prelucrarea suprafețelor interioare;
- pentru prelucrarea suprafețelor plane;
- pentru prelucrarea suprafețelor de revoluție.

**După principiul de lucru:**

- cu operații suprapuse;
- cu operații parțial suprapuse;
- cu operații secvențiale.

**După numărul de trepte (la cele pentru alezaje):**

- cu două trepte;
- cu mai mult de două trepte.

**3.2. Particularitățile concepției sculelor combinate**

**Concepția sculei combinate** trebuie să se realizeze astfel încât aceasta să suporte un număr **cât mai mare de ascuțiri**. Problema se pune în special la sculele monobloc, unde ieșirea discului de rectificat este îngreunată de treptele sculei. Pentru a evita acest inconvenient, este recomandabil să se adopte soluții constructive de scule combinate asamblate.

### **Dimensionarea canalelor care trebuie să asigure evacuarea aşchiilor**

trebuie astfel efectuată încât să se evite eventualele frânări care pot duce la ruperea sculei. Problema se pune în special la sculele combinate pluritip, care realizează prelucrări ce degajă o cantitate diferită de aşchii în timpul procesului, cum ar fi burghierea şi alezarea. Se va urmări dacă este posibil conducerea aşchiilor rezultate să fie făcută pe canale diferite. La formarea aşchiilor late, tăişurile sculei vor fi prevăzute cu sfărâmătoare de aşchii.

Pentru a obține o **stabilitate dinamică** cât mai bună, se recomandă profilarea spatelui dinților după o curbă apropiată de parabolă, sau parabolă și eventual dacă este posibil lustruirea canalelor.

**La construcțiile asamblate** de scule aşchietoare se va evita folosirea îmbinărilor filetate, preferând asamblările cu pană, con, antrenor, zăvor.

**Materializarea tăişurilor sculei** va fi făcută utilizând materiale cu proprietăți fizico-mecanice ridicate, carburi metalice sau metaloceramice.

**La sculele combinate în trepte**, cu diferențe mari între dimensiunile nominale ale acestora, partea aşchietoare a treptei mici se va materializa din oțeluri rapide, iar pentru treptele de dimensiuni mari se vor utiliza , carburi metalice sau metaloceramice pentru a obține o durabilitate apropiată a acestora.

**La dimensionarea sculelor combinate** se vor lua în considerare momentele de torsiune și forțele care pot provoca ruperea sculei.

### **Metode utilizate la proiectarea sculelor combinate**

În principiu, proiectarea se poate desfășura prin parcurgerea unor etape specifice proiectării sculelor aşchietoare în două moduri:

- clasic;

- asistat de calculator.

**Metoda clasică** presupune elaborarea proiectului cu respectarea aceluiași etape însă fără a utiliza în parcurgerea lor prelucrarea automată a datelor.

**Proiectarea asistată de calculator** care constă în elaborarea părții concepției de rutină cât și a celei grafice sau părți din acestea prin intermediul unui program specializat rulat pe un sistem de prelucrare automată a datelor.

Avantajul principal al proiectării asistate de calculator este posibilitatea elaborării proiectului în mai multe variante, dintre care se alege una pentru execuție pe baza unor cicluri de aplicare. Aplicarea metodei este condiționată de răspândirea echipamentelor și a programelor necesare utilizării și a fost facilitată de o puternică dezvoltare a electronicii, microelectronicii precum și a industriei programelor pentru calculator.

În principiu există două căi de asistență a calculatorului în configurația sau structura proiectelor:

**a) Calea proiectării analogice,**

este bazată în principal pe o bancă de date (colecție sistematizată de informații cu privire la elementele constructive tipizate și modulate), figura 3.6. Datele caracteristice (principalele dimensiuni și forma care descriu piesa) sunt transmise unității centrale de prelucrare a sistemului de calcul care execută

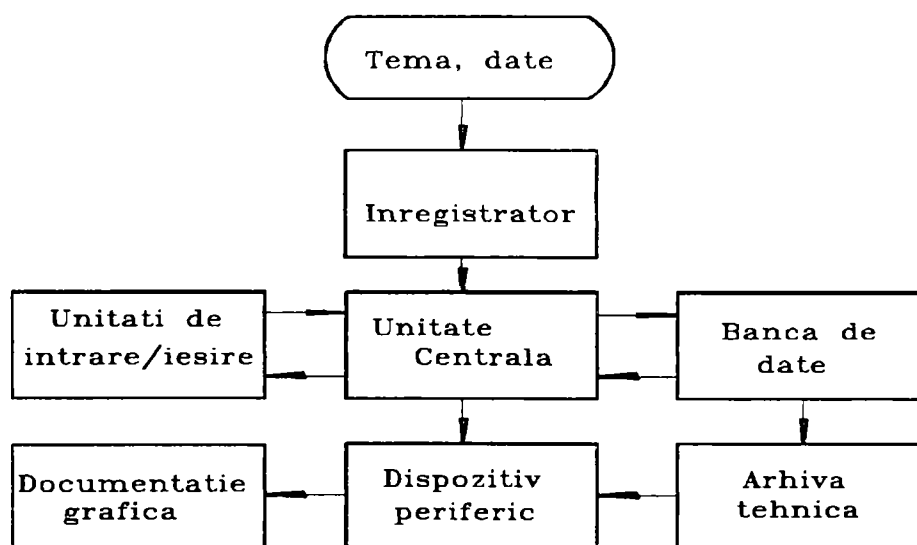


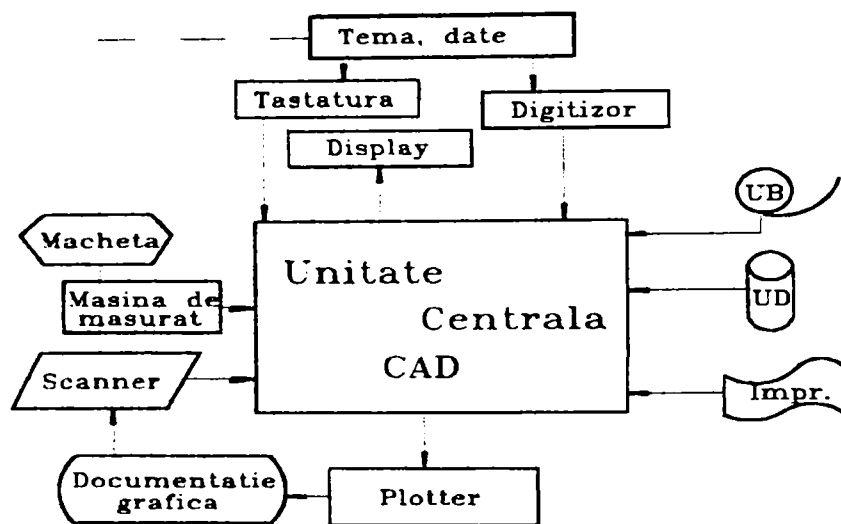
Figura 3.6 Schema bloc a metodei proiectării analogice

**Teză de doctorat**

operațiuni de căutare în banca de date, selecționând soluțiile constructive cele mai apropiate de teme dată. Acestea sunt afișate la o unitate de ieșire (monitor) și sunt transmise comenzile necesare dispozitivelor periferice și arhivei tehnice pentru reproducere, rezultând în final o documentație grafică care poate fi una existentă sau una apropiată de ceva existent în arhivă și care satisface cel mai bine în condițiile date tema de proiect.

b) Metoda proiectării numerice

Sistemul cuprinde în acest caz unități de intrare, unități de memorie externă, unități de memorie internă, unități de ieșire cum ar fi: imprimantă, plotter, figura 3.7. Datele pot fi introduse în sistem și pe baza unei machete, realizate la o anumită scară 1:10, 1:50... măsurată cu o mașină de măsurat în coordonate, transmise unității centrale, prelucrate interactiv de către proiectanți, existând posibilitatea de a se obține atât documentația grafică necesară (desene de ansamblu, desene de



**Figura 3.7. Schema bloc a metodei proiectării numerice**

executie) cât și programele necesare pentru echipamentul de C.N. ale M.U., care realizează prelucrarea reperelor sau ale sculelor aferente prelucrării. Notațiile corespunzătoare din figura 3.7 sunt:

UB = unități funcționale de bandă magnetică;

UD = unități funcționale de hard disk;

Impr. = Imprimantă.

### 3.3. Problematika utilizării sculelor combinate în S.F.F.

Aceasta cuprinde două aspecte importante, în două faze distincte ale procesului de producție și anume:

- pregătirea fabricației. În această fază se folosesc sisteme avansate de proiectare și verificare a sculelor așchietoare, scopul acestora fiind de a reduce durată pregătirii fabricației;
- fabricația flexibilă automată, în decursul căreia funcțiunile de monitorizare a uzurii respectiv integrității tăişurilor sculei îndeplinite de către operatorul uman în cazul fabricației clasice, sunt preluate de către diverse elemente automate ale sistemului flexibil.

Este necesară o analiză specifică a problemelor legate de proiectarea sculelor combinate destinate sistemelor flexibile de fabricație.

Sunt cunoscute la ora actuală sisteme de proiectare asistată de calculator care pot fi utilizate și în proiectarea sculelor combinate ( AutoCAD, ProEngineering, Catia, etc.) cât și pentru verificarea constructivă (Ansys, Nastram, ProEngineering, Catia, etc.).

Există de asemenea, deși într-un număr mai redus, sisteme care oferă posibilitatea simulării procesului de așchiere (AdvanEdge).

Pe baza studiului bibliografic efectuat se poate constata că nu există sau nu sunt date publicității sisteme CAD sau pachete software destinate proiectării și verificării sculelor combinate utilizate în SFF. Din acest motiv se consideră important realizarea unor modele numerice care să faciliteze optimizarea constructivă și tehnologică a sculelor combinate prin simularea procesului de așchiere la care acestea vor fi utilizate.

Criteriul determinant pentru optimizare se consideră durabilitatea sculei așchietoare în condițiile obținerii unei capacități de așchiere cât mai mari. Durabilitatea sculei așchietoare este o noțiune teoretică care este legată direct de conceptul practic de măsură a uzurii. Uzura la rândul ei este strâns legată de fenomenele fizice (forță, tensiuni interne ale materialului sculei, adeziunea particulelor materialului sculei în timpul procesului de așchiere, abraziune) care pot fi modelate cu ajutorul unor metode numerice cum ar fi metoda elementului finit. În literatura de specialitate studiată, nu se întâlnesc referiri la aplicații în acest domeniu,

dar studiul bazelor teoretice ale metodei elementului finit a scos în evidență posibilitatea utilizării acestei metode la studiul uzurii sculelor așchietoare.

Ideea acestui mod de abordare este sprijinită și de unele abordări din literatura de specialitate [B1] care se bazează tot pe conceptul discretizării continuității, prezentând unele similarități cu metoda elementului finit, dar aceste abordări rămân doar la stadiul incipient nefiind utilizabile în mod concret. Analiza uzurii sculelor cu mai multe tăișuri prezintă importanță mai ales din punct de vedere al egalizării ei pe tăișurile sculei. Conceptul de a obține o uzură uniformă are la baza necesitatea de a minimiza numărul de cicluri de schimbare a sculei așa cum se poate constata din figura 3.8 a și b. Simularea procesului de așchiere pentru mai multe tăișuri permite ajustarea parametrilor constructivi ai sculei combinate cât și a parametrilor tehnologici ai procesului de așchiere astfel încât să se ajungă la durabilități sensibil egale pe toate tăișurile sculei.

### 3.4. Solicitățile și factorii regimului de așchiere la sculele combinate

#### 3.4.1. Solicitățile tăișurilor

Treptele sculei combinate sunt supuse la solicitări diferite în funcție de secțiunile de așchiere de detașat de fiecare. În cazul în care toate treptele se află simultan în atac, secțiunea de așchiere totală  $A$  rezultă din suma secțiunilor de așchiere  $A_1, A_2, \dots, A_n$  desprinse de dinții  $z_i$ , ai fiecărei trepte:

$$A = A_1 z_1 + A_2 z_2 + \dots + A_n z_n \quad (3.11)$$

În cazul sculelor cu atacul succesiv al treptelor, fiecare treaptă lucrând separat, procesul de așchiere decurge, în principiu, ca la sculele elementare. Există însă scule combinate cu atacuri simultane parțiale ale treptelor de tăișuri. În aceste cazuri apar oscilații sensibile ale secțiunilor de așchiere, care duc la variații corespunzătoare ale forțelor de așchiere. De cele mai multe ori secțiunea de așchiere maximă poate fi constatată la terminarea procesului de așchiere. Determinante pentru procesul de așchiere sunt momentul de torsiune  $M_T$  și forța de avans  $F_v$  (forța axială). Acestea depind de o serie de factori cum sunt: calitatea materialului de prelucrat și a materialului sculei, adaosurile de prelucrare, numărul

treptelor de tăişuri, geometria tăişurilor, condițiile de aşchiere precum și starea de uzură a tăişurilor. Acești factori invariabili la sculele elementare variază la sculele combinate în funcție de oscilațiile momentane ale secțiunilor de aşchiere, solicitările fiind sensibil mai mari decât la sculele elementare. Atât calculele de rezistență cât și determinarea puterii mașinii unelte trebuie axate pe seama acestor mărimi. Din acest motiv determinarea momentelor de torsiune a forțelor axiale se face cu ajutorul unor date stabilite. În cazul atacului simultan al tăişurilor treptelor, momentul de torsiune și forța axială rezultă din suma momentelor  $M_0$  și a forțelor de avans  $F_{v0}$ , care apar separat pe fiecare din treptele sculei:

$$M_T = \sum_1^n M_0 \quad (3.12)$$

$$F_V = \sum_1^n F_{v0} \quad (3.13)$$

Momentele de torsiune  $M_0$  și forțele de avans  $F_{v0}$  ale fiecărei componente a sculei rezultă din relațiile:

$$M_0 = C_M D^{x_M} a^{y_M} s^{z_M} \quad (3.14)$$

$$F_{v0} = C_F D^{x_F} s^{y_F} a^{z_F} \quad (3.15)$$

Cu acestea se pot scrie:

$$M_T = C_M s^{z_M} (D_1^{x_M} a_1^{y_M} + D_2^{x_M} a_2^{y_M} + \dots + D_n^{x_M} a_n^{y_M}) \quad (3.16)$$

$$F_V = C_F s^{y_F} (D_1^{z_F} a_1^{x_F} + D_2^{z_F} a_2^{x_F} + \dots + D_n^{z_F} a_n^{x_F}) \quad (3.17)$$

în care s-au făcut notațiile:

$C_M, C_F$ , sunt coeficienți constanți, depinzând de materialul de prelucrat;

$D_1, D_2, \dots, D_n$  - diametrele treptelor de tăişuri, în mm;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - adâncimile de aşchiere ale tăişurilor treptelor, în mm;

$s$  este avansul, în mm/rot;

$n$  este numărul treptelor;

$x_M, x_F, y_M, y_F, z_M, z_F$  sunt exponenții treptelor.

Constantele și exponenții din relațiile indicate depind de felul prelucrării precum și de cuplul dintre materialul sculei și al piesei.

### 3.4.2. Adoptarea factorilor regimului de aşchiere

Comportarea la uzură depinde de condițiile de aşchiere și de principiul de



lucru al sculelor combinate (simultan sau succesiv).

Fiecare dintre trepte sau dintre componentele sculei este supusă în timpul procesului de aşchiere la solicitări diferite. Intensitatea solicitării tăişurilor diferite este determinată în primul rând de mărimile de aşchiere raportate la tăişurile respective precum şi de durata în aşchiere a tăişurilor. Întrucât nu toate componentele de tăişuri ale sculei combinate sunt supuse la aceleaşi viteze de aşchiere şi la aceleaşi condiţii de lucru, tăişurile nu ating în acelaşi timp limita de uzură admisă. Pentru determinarea durabilităţii rezultate din minimizarea costurilor trecerilor de lucru concentrate, trebuie stabilită viteza de aşchiere a celui tăiş care este determinant pentru prelucrare.

Condiţiile de aşchiere pentru scula combinată trebuie adaptate tăişurilor cu solicitare maximă. În general aceste tăişuri, "cheie" se găsesc pe diametrul cel mai mare al sculei, deoarece acestea lucrează cu vitezele de aşchiere ceva mai mari. Însă şi tăişurile care detaşează secţiunea de aşchiere cea mai mare pot fi determinante pentru adoptarea condiţiilor de aşchiere. Prin această soluţie, componentele necritice ale sculei sunt insuficient exploatate, ele lucrând în condiţii mai uşoare de obicei, cu viteze de aşchiere mai mici şi cu durabilităţi mai mari. Din acest motiv, în cazul diferenţelor de diametre mai mari se urmăreşte o compensare a durabilităţilor, ceea ce poate fi realizat prin mărirea vitezei de aşchiere a tăişurilor "cheie", recurgându-se la tăşuri din carburi metalice. În acest mod, tăişurile din oţel rapid, aflate pe diametre mai mici, vor putea aşchia în condiţii de aşchiere mai favorabile.

O uzură mai uniformă se mai poate realiza şi printr-o antrenare variabilă a axului de

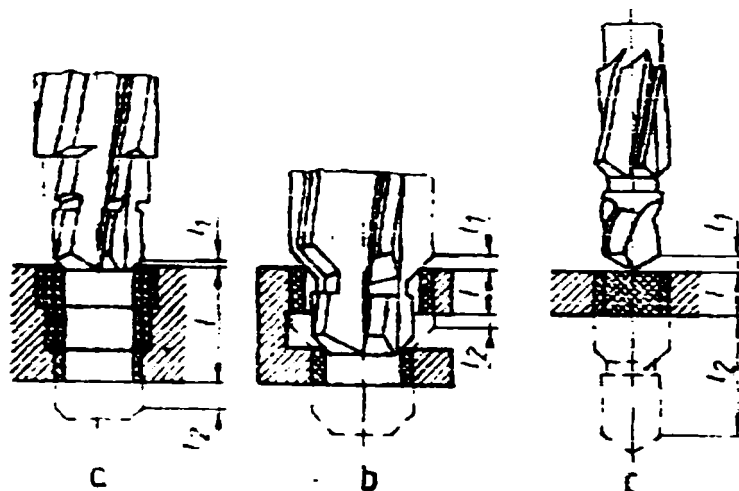


Figura 3.9.

lucru care poate varia automat, după necesitate: turația și avansul. Adâncimile de așchiere raportate pe fiecare din componentele sculei rezultă din diferențele de diametre ale treptelor învecinate, din starea suprafețelor de prelucrat (prelucrarea prealabilă) și din construcția sculei.

Avansul se stabilește în funcție de calitatea impusă a suprafețelor, de stabilitatea piesei și de rezistența treptei celei mai mici sau a treptei căreia îi revine adâncimea de așchiere cea mai mare. Valorile de orientare cunoscute, valabile pentru sculele elementare, pot fi aplicate și pentru treptele "cheie". Conform celor indicate, viteza de așchiere se adaptează treptei cu diametrul cel mai mare, iar avansul treptei se alege în funcție de diametrul cel mai mic. Nu trebuie neglijat nici faptul că mărimile de așchiere astfel stabilite trebuie să corespundă forței admise de mecanismul de avans, puterii instalate a mașinii cât și momentului de torsiune admisibil. Modul de lucru al sculei combinate determină timpul de mașină (timpul de bază) necesar. La suprapunerea parțială a treptelor de lucru (figura 3.9, a), la care treapta mică parcurge toate lungimile treptelor, timpul de lucru este dat de treapta mică, deoarece aceasta acoperă timpii de lucru pentru celelalte trepte:

$$t_m = \frac{l_1 + l_2 + l}{ns} \quad [\text{mm}] \quad (3.17)$$

La atacul simultan al treptelor (figura 3.9, b), aceeași relație își păstrează valabilitatea cu observația că ea trebuie raportată la treapta care parcurge lungimea cea mai mare. La atacul succesiv al treptelor (figura 3.9, c) timpul de mașină rezultă din suma timpilor parțiali.

### **3.4.3. Vibrațiile în procesul de așchiere**

Se înțelege prin oscilații o variație (în funcție de timp) a unei mărimi, în raport cu o mărime de referință, între valori superioare și inferioare celei de referință (de exemplu, în cazul așchierii metalelor, apar oscilații a situației relative a sculei așchietoare în raport cu semifabricatul). Vibrațiile sunt oscilații de frecvență înaltă. Vibrația provocată de o excitație periodică externă, având frecvența acesteia, se numește vibrație forțată (de exemplu, vibrațiile provocate de mase neechilibrate în rotație, a angrenării dinților roților dințate, de imprecizia dimensională a lagărelor de

alunecare, de rulmenți sau de acțiuni periodice ce se transmit prin fundația mașinii unelte provenind de la surse de vibrații exterioare etc.).

Vibrațiile provocate de o excitație exterioară de foarte scurtă durată (impuls), sistemul oscilând la frecvența sa proprie, se numesc vibrații libere (de exemplu, vibrațiile datorită inversării sensurilor de mișcare ale subansamblelor, sau datorită prelucrării arborilor cu canale de pană sau intrarea și ieșirea sculei așchietoare din așchie etc.).

Vibrațiile care apar temporar într-un sistem mecanic și care pot consta din vibrații forțate sau libere sau din amândouă, se numesc vibrații tranzitorii. Deplasarea oscilatorului, la un moment dat, față de poziția de repaus, se numește elongație (notată de exemplu cu  $x$ ). Valoarea maximă a elongației (respectiv diferența între valoarea maximă și valoarea de echilibru, uneori cea minimă) constituie amplitudinea (notată cu  $A$ ). Intervalul de timp minim după care se reproduc, în aceeași ordine, aceleași valori ale unei mărimi periodice (respectiv timpul necesar efectuării unei oscilații complete) se numește perioadă (notată  $T$ ). Numărul de perioade pe secundă ale unei mișcări oscilatorii se numește frecvență (notată  $f$  sau  $\nu$ ). Produsul dintre  $2\nu$  și frecvența unei mișcări oscilatorii (adică  $2\Pi\nu$ ) se numește pulsație (și se notează  $\omega$ ). Oscilația la care amplitudinea descrește cu timpul este o oscilație amortizată; atunci când amplitudinea rămâne constantă în timp, de la o oscilație la alta, este vorba de o oscilație neamortizată. În cazul în care un sistem oscilant este supus unei solicitări exterioare periodice a cărei frecvență este egală sau aproximativ egală cu frecvența cu care poate oscila liber sistemul oscilant (respectiv frecvența proprie a acestuia), are loc fenomenul de rezonanță - datorită căruia sistemul oscilant va oscila cu amplitudini foarte mari.

Datorită vibrațiilor care se produc în procesul de așchiere, se produce o uzură prematură a sculei așchietoare, precum și o uzură a mașinii-unelte. De asemenea, are loc o îhrăutățire a rugozității suprafeței așchiate (ceea ce este defavorabil la operațiile de finisare). În același timp, datorită apariției vibrațiilor, care consumă energie mecanică, se micșorează exploatarea integrală a puterii instalate pe mașina-uneltă. În plus, vibrațiile produc și o poluare fonică a mediului ambiant.

S-au făcut studii în legătură cu influența vibrațiilor asupra uzurii sculei așchietoare. S-a ajuns la concluzia că, în anumite situații, durabilitatea sculei (durata de așchiere continuă între două reascuțiri) scade de patru ori și chiar mai mult. În

literatura de specialitate se arată că, prin eliminarea vibrațiilor, durabilitatea sculei crește de la 80 la 200 de ori.

Producerea de vibrații în procesul de așchiere se datorează mai multor cauze, figura 3.10.

Cauze exterioare sistemului tehnologic elastic MDSP (mașină - dispozitiv – sculă – piesă), sunt vibrațiile transmise prin fundația mașinii unelte, provenite de la alte mașini-unelte, și aparate (de exemplu ciocane, prese, compresoare, ventilatoare

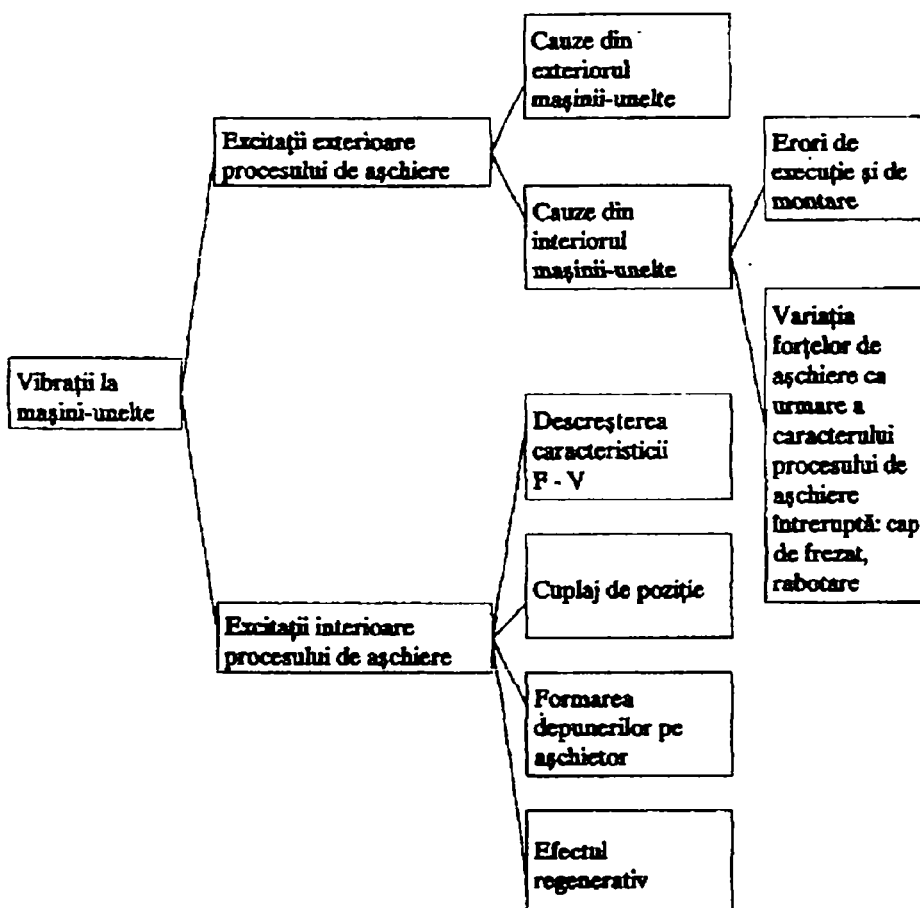


Figura 3.10. Cauzele apariției vibrațiilor în procesul de așchiere

neechilibrate etc.). Ca urmare a vibrațiilor transmise prin sol, de la alte mașini, vibrațiile planșeului unui atelier cuprind un spectru larg de frecvențe, datorită cărui fapt mai întotdeauna frecvența uneia din aceste vibrații se va găsi în apropierea frecvenței proprii a mașinii-unelte care așchiază, astfel că vor apărea vibrații și la aceasta din urmă; aceste vibrații au în general amplitudine mică, astfel încât sunt supărătoare mai ales în cazul prelucrării de finisare (alezare de precizie, rectificare).

Cauze interioare sistemului MDSP, se datorează discontinuităților (neuniformităților) forțelor de așchiere ele datorându-se:

- neuniformității materialului prelucrat:  
așchierii intermitente;

### 3.5. Considerații asupra uzurii pe tășurile sculelor combinate

Comportarea la uzură depinde de:

- condițiile de așchiere;
- principiul de lucru al sculelor combinate (simultan sau succesiv al treptelor).

Fiecare dintre trepte sau dintre componentele sculei este supusă în timpul procesului de așchiere la solicitări diferite. Intensitatea solicitării tășurilor diferite este determinată de:

- mărimile de așchiere raportate la tășurile respective;
- durata în așchiere a tășurilor.

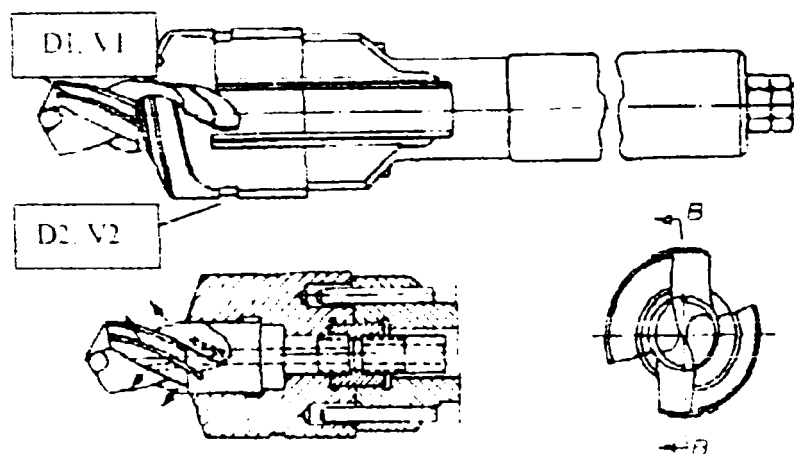


Figura 3.11

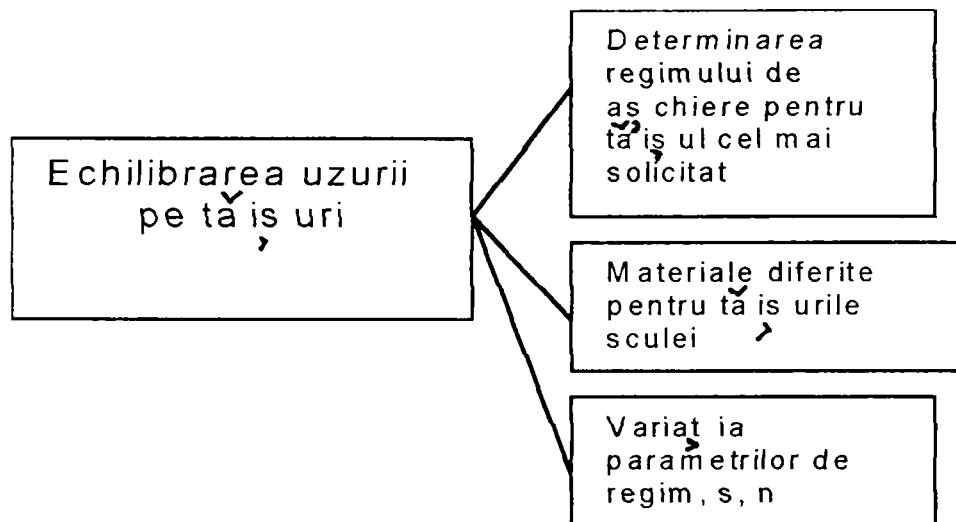
**Sculă combinată cu diferență mare de diametre, ceea ce determină condiții diferite de lucru**

Întrucât nu toate componentele tășurilor sculei combinate așchiază cu aceleași viteze de așchiere și în aceleași condiții de lucru, figura 3.11 ele nu ating în același timp limita de uzură admisă. Pentru determinarea durabilității rezultate din minimizarea costurilor trecerilor de lucru

concentrate, trebuie stabilită viteza de așchiere a aceluși tăș care este determinant pentru prelucrare. Condițiile de așchiere pentru scula combinată trebuie adaptate tășurilor cu solicitare maximă. În general aceste tășuri determinante se găsesc pe diametrul cel mai mare al sculei, deoarece acestea lucrează cu vitezele de așchiere cele mai mari. Dar și tășurile care detașează secțiunea de așchiere cea mai mare pot fi determinante pentru adoptarea condițiilor de așchiere.

Prin această metodă însă componentele necritice ale sculei sunt insuficient

exploatate, ele lucrând în condiții mai ușoare, de obicei, cu viteze de aşchiere mai mici și deci cu durabilități mai mari. Din acest motiv, în cazul diferențelor de diametre mai mari se urmărește o compensare a durabilităților, ceea ce poate fi realizată prin mărirea vitezei de aşchiere a tășurilor determinante, recurgându-se la construirea acestora din carburi metalice. În acest mod, tășurile din oțel rapid, aflate pe diametre



mai mici, vor putea aşchia în condiții de aşchiere mai favorabile.

O uzură mai uniformă se mai poate realiza și printr-o antrenare cu viteză unghiulară variabilă a axului.

**Figura 3.12**

**Echilibrarea uzurii pe tășurile sculelor combinate**

principal al mașinii unelte, care poate varia automat după necesitate turația și avansul. În concluzie sinteza posibilităților pentru egalizarea uzurii tășurilor la sculele combinate se prezintă în figura 3.12

### 3.6. Construcții reprezentative de scule combinate utilizate în SFF

#### 3.6.1. Scule combinate monotip

În această categorie pot fi încadrate sculele așchietoare combinate care sunt obținute din scule elementare ce aparțin de aceeași clasă și același tip din cadrul clasei respective. Pot fi amintite cuțitele combinate, blocurile de cuțite pentru alezat sau pentru strungurile revolver, burghie combinate, adâncitoarele combinate, blocurile de freze, blocurile de broșe, frezele melc combinate, cuțitele roată combinate, ș.a.

##### 3.6.1.1. Cuțite combinate

Cuțitele combinate pot fi executate în construcții monobloc sau cu plăcuțe din carburi metalice sau mineralo-ceramice, pe același corp fiind prezente mai multe tășuri cu destinații diferite. În figura 3.13 sunt prezentate patru soluții de combinare a unor cuțite pentru lucrarea suprafețelor filetate interioare, cu operații secvențiale. În figura 3.13 a), cuțitul pentru filetare interioară 1, este combinat cu un cuțit pentru strunjire interioară 2. În cazul sculei din

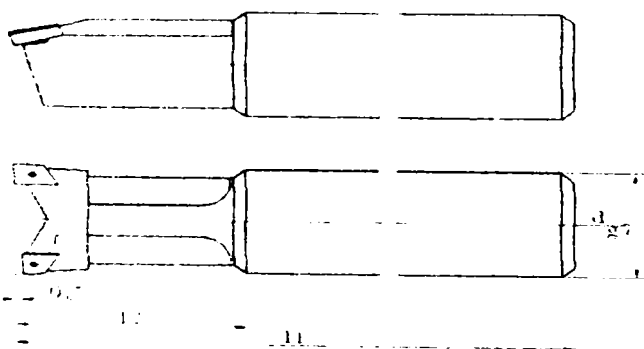


Figura 3.14  
Cuțit combinat

cu cea din figura 3.13 b), deosebirea fiind că scula este armată cu plăcuțe mineralo-ceramice lipite și este prezent un al treilea cuțit 3, destinat prelucrării prin strunjire a suprafețelor frontale, respectiv teșirilor.

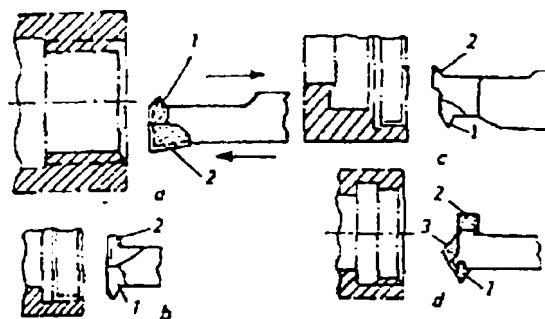
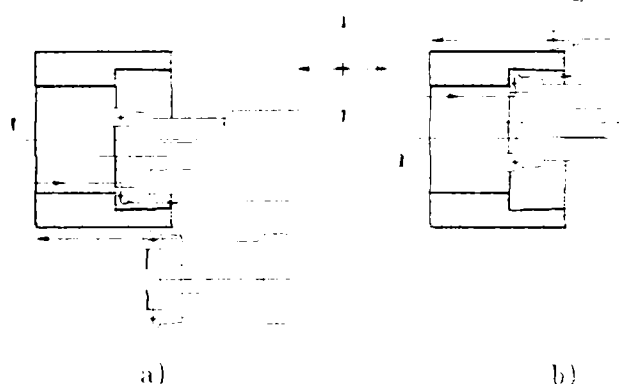


Figura 3.13  
Construcții de cuțite combinate

fig. 3.13 a), tășul pentru filetare interioară 1 este combinat cu un cuțit pe suprafața interioară 2. În figura 3.13 c), cuțitul pentru filetare interioară 1 este combinat cu un cuțit complex 2 pentru canelare interioară, strunjire interioară, exterioară și frontală. Soluția din figura 3.13 d), este asemănătoare

O altă soluție de cuțit combinat este prezentată în figura 3.14. Aceste tipuri de scule sunt destinate prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare, interioare și frontale prin strunjire pe mașini unelte cu comandă numerică. Schemele tehnologice de lucru pentru această sculă sunt prezentate în figura 3.15 a), respectiv 3.15 b).

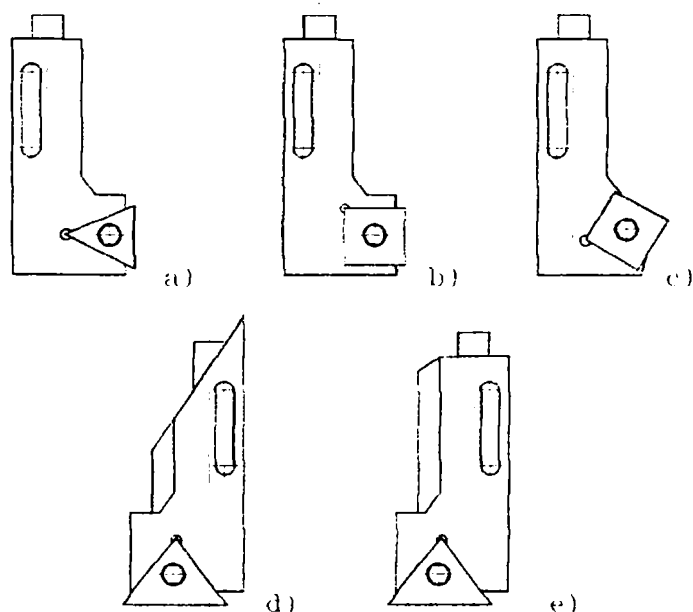


**Figura 3.15**  
Schemele de lucru a cuțitului combinat

Tăișurile sculei sunt astfel dispuse încât aceasta poate așchia la sensuri diferite de rotație a arborelui principal al mașinii unelte.

Sculele din figurile 3.13 – 3.15 sunt destinate acțiunii succesive a tăișurilor.

### 3.6.1.2. Blocuri de cuțite



**Figura 3.16**  
Suporturi port plăcuțe

Sculele combinate presupun montarea pe un corp de bază a unor suporturi port plăcuțe reglabile, atât în direcție axială cât și/sau radială. Ele sunt specifice strungurilor revolver, strungurilor cu mai multe cuțite și mașinilor de alezat. Câteva soluții constructive de suporturi portplăcuțe sunt redată în figura 3.16. Soluții de reglare sunt prezentate în figura 3.17 a), ce permite reglarea axială (cota  $L$ ) în cazul montării suportului paralel cu axa sculei,



Teză de doctorat

sau numai reglarea radială (cota C), în cazul montării suportului perpendicular pe axa sculei. Dacă montarea suportului se face înclinat la un unghi  $\phi$  față de axa sculei, se asigură posibilitatea de reglaj după ambele direcții. Soluția constructivă prezentată în figura 3.18 permite reglaje independente după direcție axială și respectiv radială.

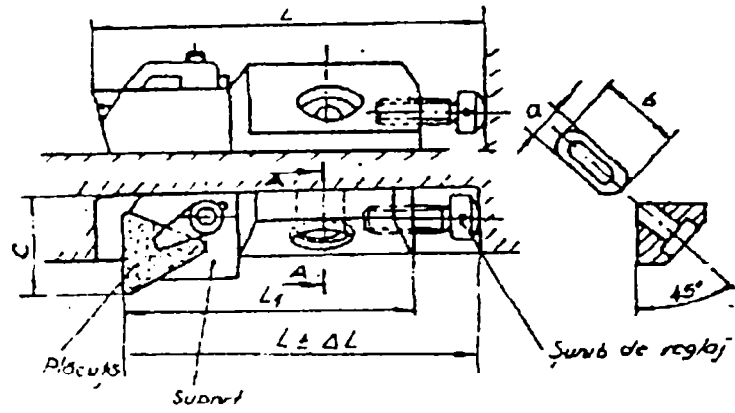


Figura 3.17  
Port plăcuță cu reglaj axial

Reglajul axial se face cu ajutorul șurubului de reglaj situat în capătul portplăcuței, iar reglajul radial (cota C), prin intermediul penei care poate fi deplasată axial cu un bolt excentric.

În cazul unor spații mai restrânse care nu permit montajul portplăcuțelor a căror soluție constructivă a fost prezentată, se pot utiliza suporturi portplăcuțe de gabarit mai mic, reprezentate în figura 3.19 a) sau 3.19 b).

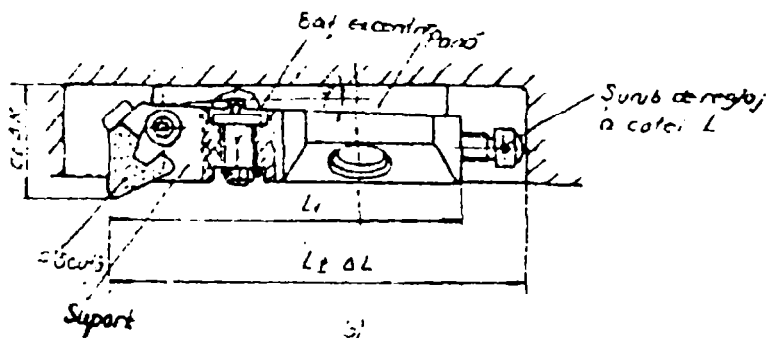


Figura 3.18  
Suport portplăcuță cu reglaj după două direcții

Pentru operațiile de finisare a alezajelor cu ajutorul barelor de alezat sunt utilizate dispozitive formate din cuțite (monobloc, armate demontabil sau armate nedemontabil) și un mecanism de reglare cu performanțe ridicate (0,001...0,03 mm), care este

în exclusivitate conștientizată cu șurub-piuliță micrometric în diferite variante. Acestea poartă numele de cuțite de reglare micrometrică, și au o apariție relativ recentă. Sunt utilizate pe scară largă la mașinile unelte cu comandă

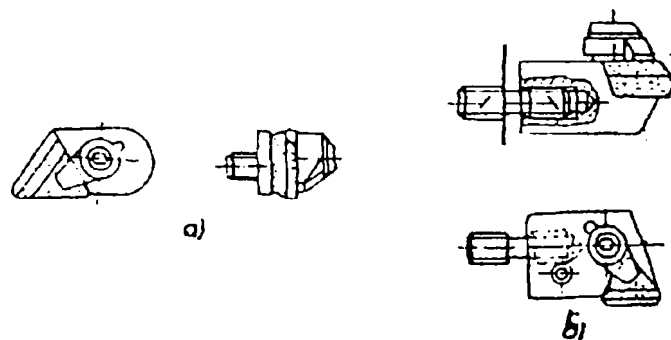
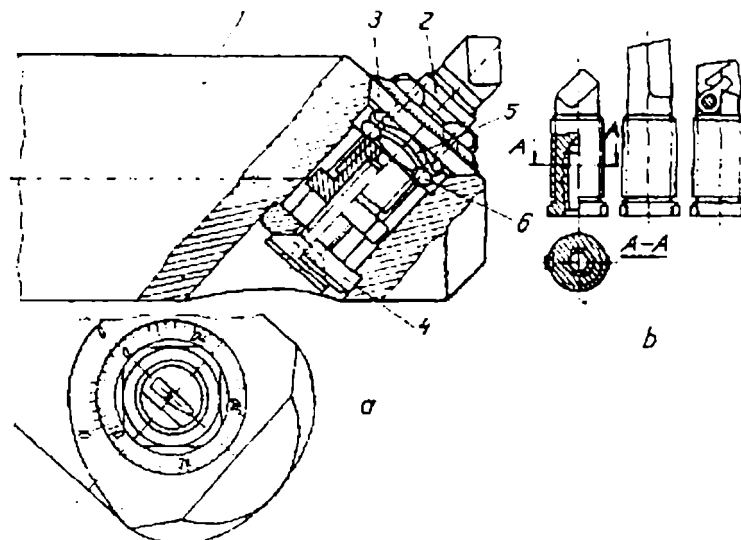


Figura 3.19  
Soluții de portplăcuțe pentru spații reduse

numerică, care de altfel au și determinat extinderea folosirii lor. Există soluții consacrate de cuțite cu reglaj micrometric, câteva dintre acestea fiind prezentate în cele ce urmează.

### Varianta MICROBORE (firma De Vlieg S.U.A.)

Soluția este prezentată în figura 3.20. În suportul portcuțit 1, într-un alezaj prevăzut cu două canale de pană se introduce cuțitul 2 fixat cu ajutorul șurubului 4 și



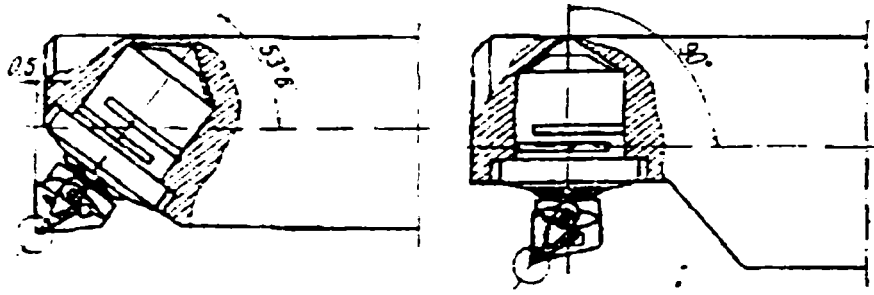
**Figura 3.20**  
Cuțit cu reglaj micrometric, MICROBORE

a șabei 5. Corpul cuțitului, care mai poartă denumirea și de cartuș sau patron, este prevăzut cu un filet micrometric și are posibilitatea de a fi reglat cu ajutorul piuliței de reglare dublu conică 3. Pentru facilitarea operației de reglare, suprafața frontală a piuliței 3 este prevăzută cu un locaș de secțiune pătrată pentru cheie, iar controlul deplasării se face cu ajutorul scării gradate de pe piuliță și a vernierului aflat pe suportul portcuțit. Scara gradată este prevăzută cu un număr de 50 sau 100 de diviziuni. Preluarea rotirii șurubului micrometric în timpul operației de reglare este făcută prin intermediul a două aripioare care sunt solidare cu corpul cuțitului (intră în cele două canale de pană din alezajul portcuțitului).

Preluarea jocurilor șurubului micrometric se face cu ajutorul șabei elastice 5 care se sprijină pe piulița de reglare 3 și o piuliță îngustă 6. Această variantă constructivă permite o deplasare de 0,001 mm. În general orientarea dispozitivului cuțit cu reglaj micrometric în suportul portcuțit se face în două moduri:

- cu axa înclinată față de de axa barei, cu un unghi de  $53^{\circ}8'$ , figura 3.21 a);
- cu axa perpendiculară pe axa barei portcuțit, figura 3.21 b).

Din combinarea acestor două poziționări și a unghiurilor de orientare constructivă a cuțitelor propriu-zise rezultă orientările necesare ale sculei



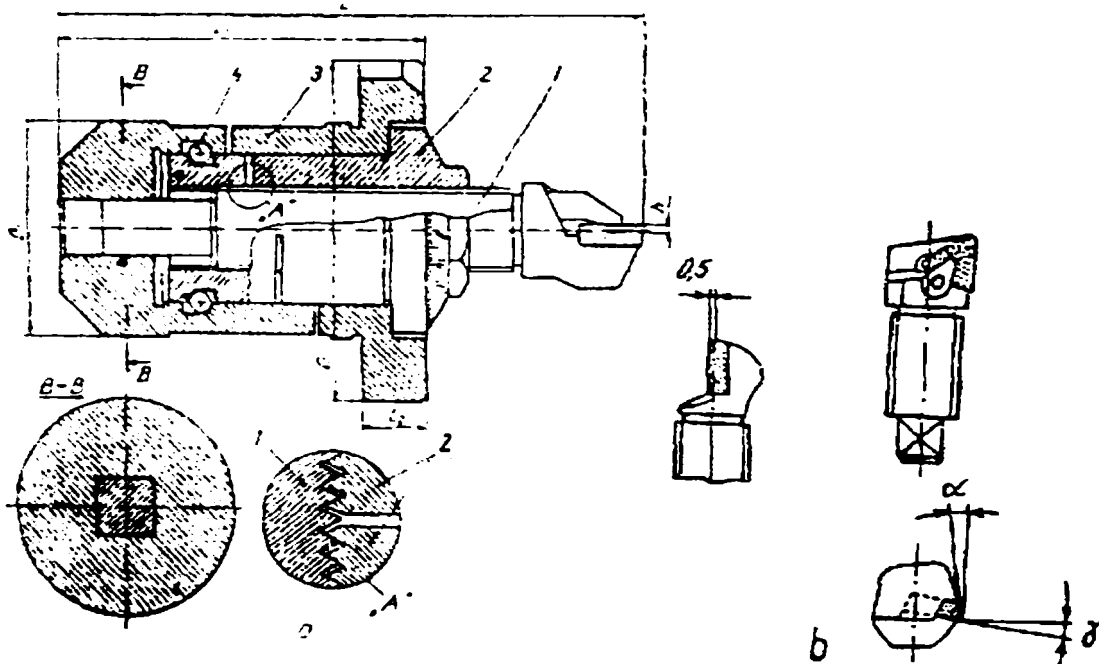
**Figura 3.21**  
Orientarea dispozitivului portcutit în suport

asamblate.

Dezavantajul principal al acestei construcții îl constituie necesitatea ca alezajul din bara portcutit să fie străpunsă, ceea ce determină rigiditatea construcției.

#### Varianta COROMANT (firma Coromant Sandvick Suedia)

Soluția este prezentată în figura 3.22. Cuțitul 1 care are corpul cilindric prevăzut cu un filet micrometric este solidarizat de corpul 3 prin intermediul cozii

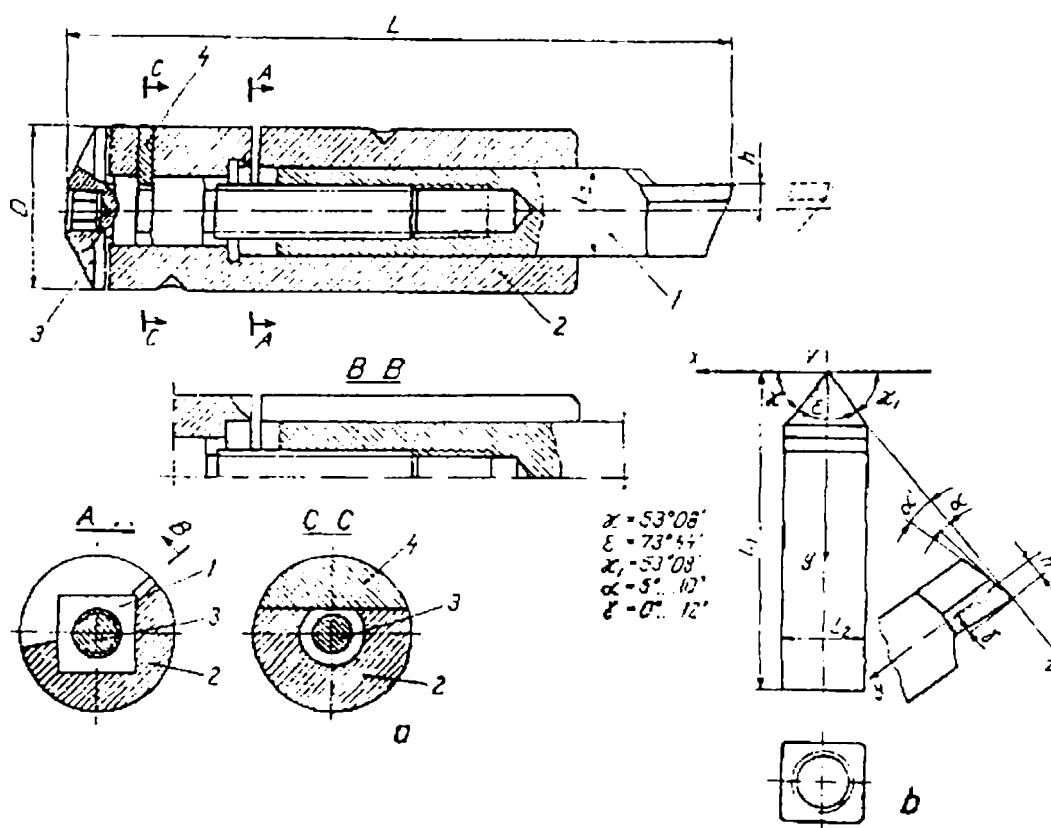


**Figura 3.22**  
Cuțit cu reglaj micrometric. COROMANT

care la capăt are o secțiune transversală pătrată. Reglajul micrometric se efectuează cu ajutorul piuliței 2 a cărei deplasare axială față de corpul 3 este preluată de bilele 4 care au rolul unui rulment axial și de pretensionare în vederea preluării jocului. Construcția elastică a corpului 3 și a piuliței 2, realizată prin existența a două canale în ambele piese, are rolul de a prelua jocul din îmbinarea șurub- piuliță. Citirea

deplasării cuțitului se face pe scala gradată de pe piulița 2 și cu ajutorul vernierului de pe corpul 3, mărimea diviziunii minime de reglaj fiind 0,001 mm. Variantele de orientare a cartușelor în bara portcuțit sunt identice ca și în cazul soluției MICROBORE, înclinate cu unghiul de  $53^{\circ}8'$ , respectiv cu axa perpendiculară pe axa barei. Spre deosebire de varianta MICROBORE în bara portcuțit alezajul nu mai trebuie să fie străpuns ceea ce conferă o rigiditate mult sporită subansamblului.

### Varianta TRIABORE (firma Audemars Elveția)



**Figura 3.23**  
Cuțit cu reglaj micrometric, TRIABORE

Soluția este prezentată în figura 3.23. Din punct de vedere constructiv soluția este o variantă simplă. Cuțitul 1 care are corpul prismatic este introdus în corpul 2 într-un alezaj ce are în secțiune transversală secțiune pătrată. Șurubul micrometric 3 are drept piuliță chiar corpul cuțitului care este prevăzut cu un orificiu filetat. Preluarea deplasării axiale a acestuia este făcută de șaiba semicirculară 4 introdusă în canalul corespondent din corpul 2.

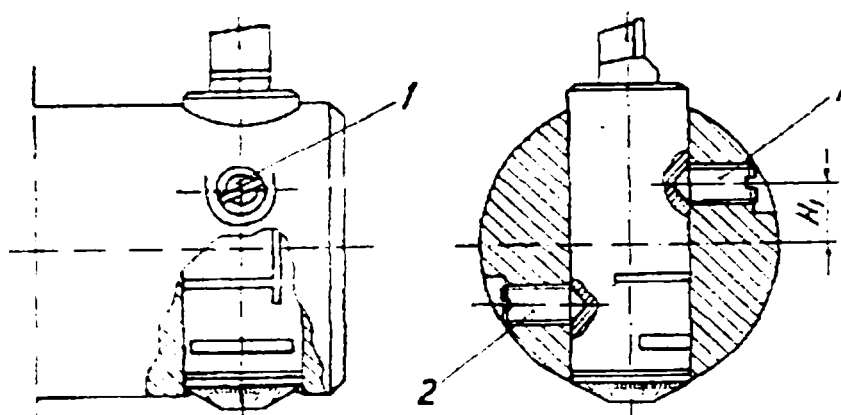


Figura 3.24

Soluția de blocare a cuțitului TRIABORE în corp

Pentru blocarea cuțitului în corp, acesta este prevăzut cu două canale perpendiculare care îi conferă elasticitate, strângerea fiind făcută prin intermediul șurubului 1 ce străpunge bara portcuțit (figura 3.24). În funcție de pasul filetului șurubului micrometric, construcția are posibilitatea de realiza reglări în limitele 0.005.. 0.02 mm. Și la această soluție cuțitul micrometric poate fi montat în bara portcuțit înclinat la  $53^{\circ}8'$  sau perpendicular față de axa acesteia.

#### Varianta VALENITE (firma Valenite Franța)

Soluția este prezentată în figura 3.25. Corpul cuțitului constituie șurubul

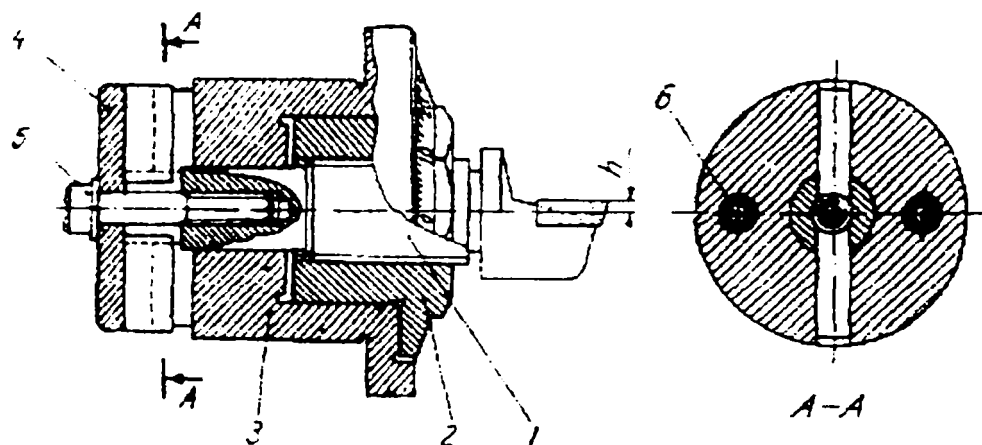


Figura 3.25

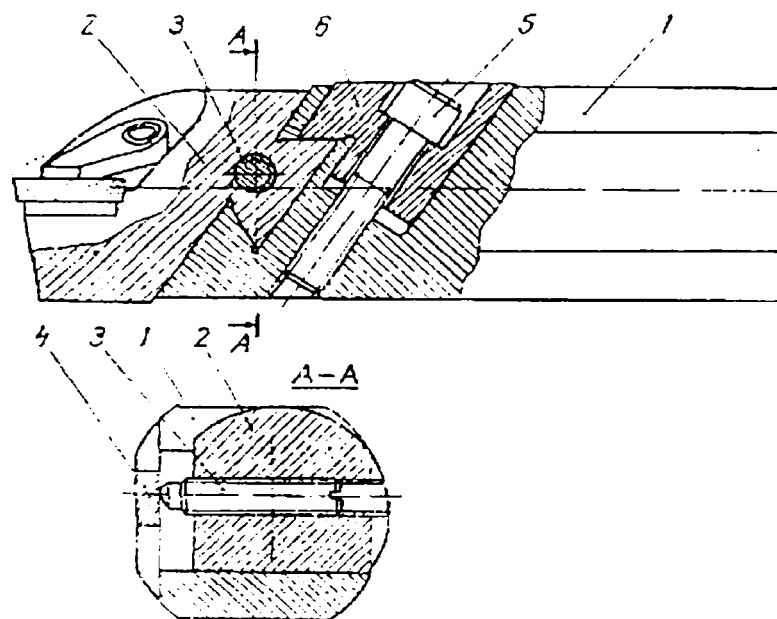
Cuțit cu reglaj micrometric. VALENITE

micrometric al dispozitivului de reglare, care împreună cu piulița 2 intră în corpul-3 și este blocat împotriva rotirii față de propria-i axă cu ajutorul unei pene frontale solidară cu flanșa 4. Deplasarea axială a șurubului 1 este preluată elastic cu ajutorul a două arcuri elicoidale 6 introduse în două orificii din corpul 3 și care se sprijină pe flanșa 4, pretensionarea acestora fiind făcută cu ajutorul șurubului 5. Șurubul micrometric are pasul de 0,5 mm, discul gradat al piuliței fiind prevăzut cu 50 de diviziuni. Reglajul asigurat de această soluție constructivă are o valoare a diviziunii

de 0,003 mm. Și la această soluție cuțitul micrometric poate fi montat în bara portcuțit înclinat la  $53^{\circ}8'$  sau perpendicular față de axa acesteia. Domeniul de reglare este cuprins între 10 și 40 mm. O problemă deosebită o constituie realizarea îmbinării cu pană frontală, jocul acesteia se transformă într-o rotație în jurul axei de simetrie a cartușului micrometric.

### Varianta IMPERO (firma Impero Italia)

Soluția este prezentată în figura 3.26. Construcția este relativ simplă, cu



**Figura 3.26**  
Cuțit cu reglaj micrometric, IMPERO

posibilități largi de variație a geometriei și formei părții active a sculei. În bara portcuțit 1, care are o formă prismatică cu colțuri rotunjite, se introduce cuțitul 2.

Reglarea micrometrică este asigurată de șurubul 3 sprijinit pe placa 4 solidară cu corpul 1. Fixarea cuțitului în dispozitiv se face cu brida 6 strânsă de șurubul 5. Dezavantajul major al acestei soluții îl constituie lipsa scalei proprii, astfel că reglarea se poate face numai utilizând dispozitive auxiliare de reglare.

### Varianta PEGARD

Soluția este prezentată în figura 3.27. Ea folosește șurubul micrometric 2

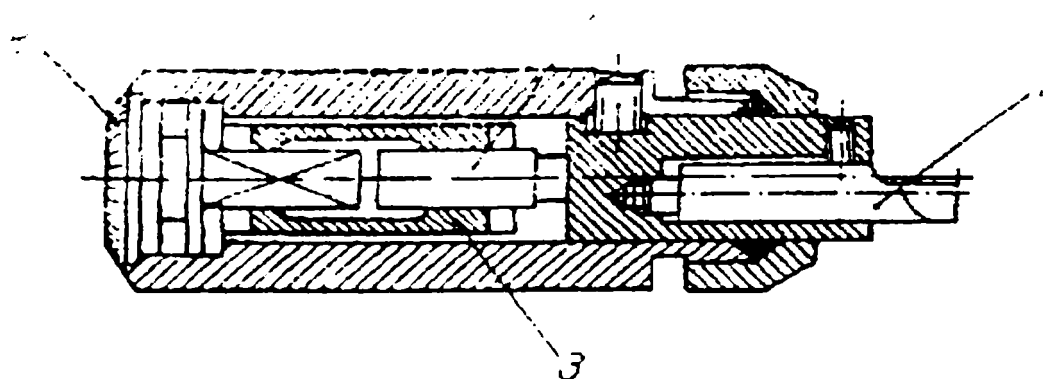


Figura 3.27  
Cuțit cu reglaj micrometric, PEGARD

(piulita 3), antrenat de rozeta gradată 4 prin intermediul unui cep prismatic.

Șurubul micrometric 2 este solidar cu corpul cuțitului 1, precizia de poziționare fiind de 0.01 mm

### Varianta WERKO

Soluția este prezentată în figura 3.29. Cuțitul 1 este poziționat cu ajutorul

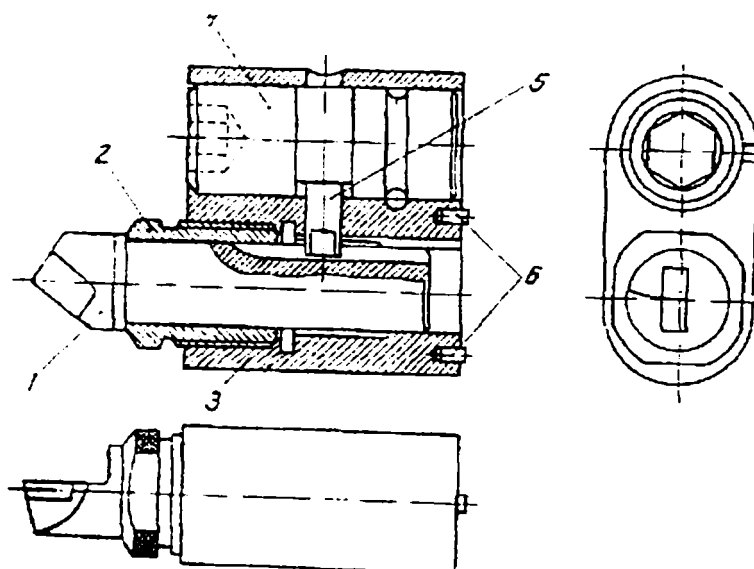


Figura 3.29  
Cuțit cu reglaj micrometric, WERKO

șurubului 2 și a piuliței din corpul 3. Excentricul 4 are rolul de a fixa cuțitul 1 prin intermediul piesei 5. Știfturile 6 au rol de limitatori.

Câteva soluții mai reprezentative de scule combinate de tipul blocurilor de

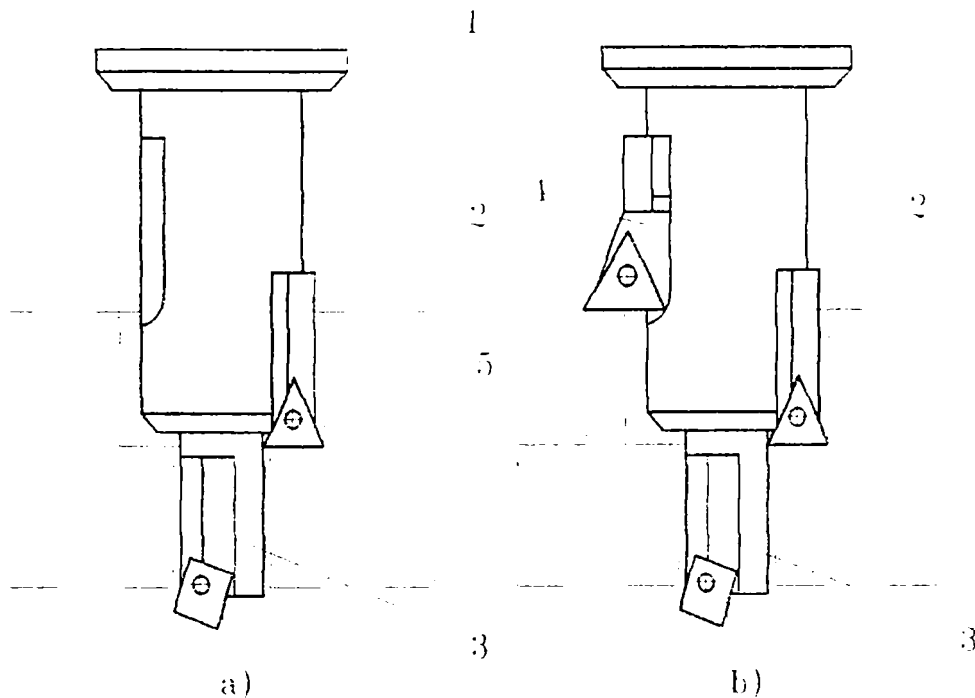


Figura 3.30

Bloc de cuțite cu două, respectiv trei suporturi portcuțit

cuțite sunt prezentate în ceea ce urmează. Construcția acestora presupune existența unui corp, în care sunt prevăzute locașuri pentru amplasarea suporturilor de plăcuțe, sau a cuțitelor cu reglaj micrometric. În figura 3.30, este prezentat un bloc de cuțite destinat prelucrării a două alezaje interioare concentrice, care poate fi

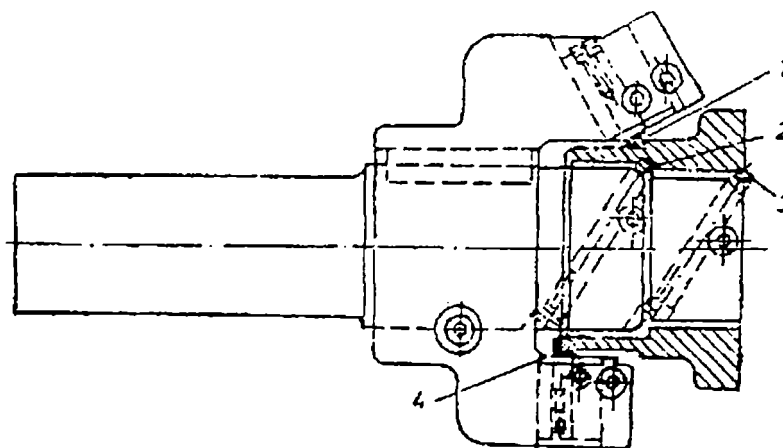


Figura 3.31

Bloc de cuțite cu patru portcuțite

prevăzut și cu posibilitatea prelucrării frontale a suprafeței piesei, ceea ce permite obținerea unei perpendicularități a alezajelor pe aceasta, figura 3.30 b).





Din punct de vedere constructiv acestea sunt prevăzute cu fațete multiple.

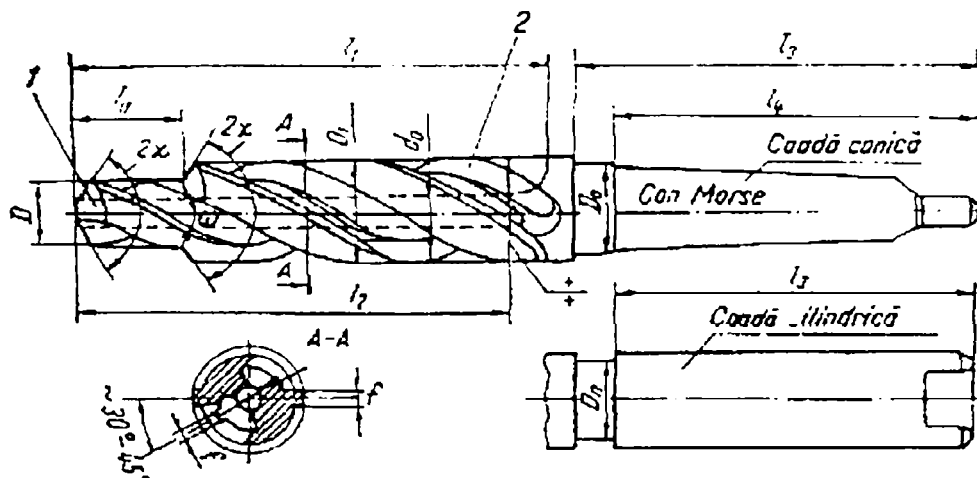


Figura 3.34

Burghiu în trepte cu canale separate de evacuare a așchiilor

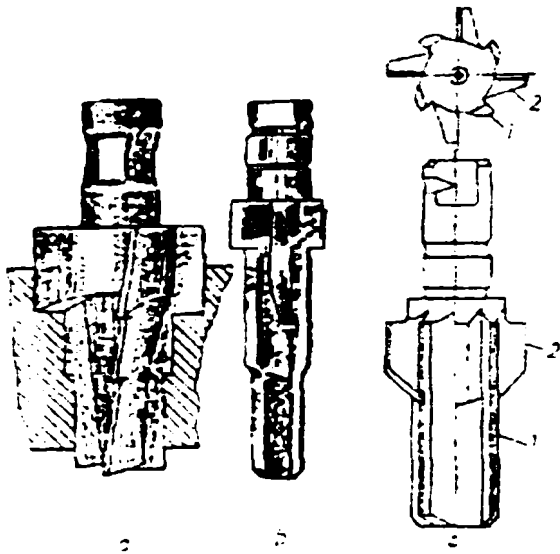
fiecare treaptă are câte două, care parcurg partea activă a sculei până la terminarea canalelor de evacuare a așchiilor. Burghiile etajate se construiesc în două variante:

- cu canale de evacuare a așchiilor comune pentru ambele trepte, figura 3.33, când raportul între diametrele treptelor este mare, respectiv  $D/D_1 \geq 0,7$ ;
- cu canale de evacuare a așchiilor separate pentru ambele trepte, figura 3.34, când raportul între diametrele treptelor este mai mic, respectiv  $D/D_1 = 0,5 \dots 0,9$ .

#### 3.6.1.4. Adâncitoare combinate

Adâncitoarele combinate se execută în construcție monobloc, în general din oțel rapid și sunt utilizate la prelucrarea alezajelor în trepte sau profilate, cu variații relativ mici între diametre, pentru a nu crea condiții net diferențiate de așchiere, fapt ce ar conduce la uzuri diferite ca mărime între treptele sculei.

În cazurile în care apare necesitatea de a proiecta și realiza un adâncitor cu variații mari între diametrele treptelor, entru a se realiza o oarecare egalizare a rezistenței la uzură, tășurile pentru suprafețe cu diametre mici se vor executa din oțel rapid, iar cele pentru suprafețe de diametre mai mari vor fi armate cu plăcuțe din carburi metalice. În figura 3.35 sunt prezentate trei construcții de

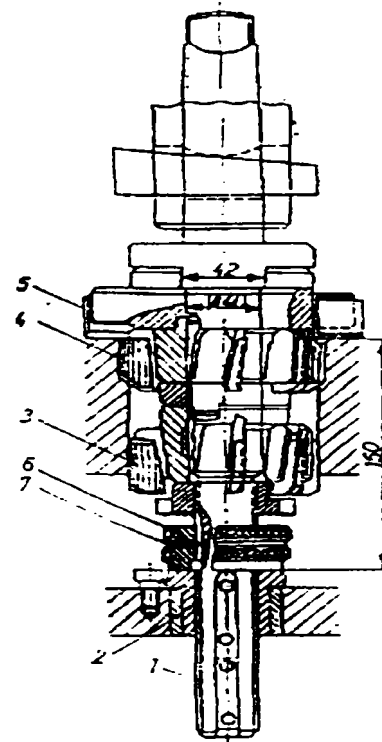


**Figura 3.35**

Adâncitoare combinate monobloc

adâncitoare combinate monobloc, variantele a și b fiind combinate prin profilarea corespunzătoare a unor dinți unici, iar cea din figura 3.35 c), prin alternarea dinților 1 ai treptei de diametru mic cu dinții 2 ai treptei de diametru mare, obținându-se astfel o separare a așchiilor degajate.

Adâncitorul combinat cu elemente combinate din figura 3.36, este compus din treapta 3 care finisează alezajul executat anterior prin burghiere, treapta 4 care execută o trecere conică între diametrele celor două trepte și și lamatorul 5 care finisează suprafața frontală. Adâncitoarele de acest tip sunt prevăzute și cu limitatoare reglabile, formate din piulița 6 și contrapiulița 7.



**Figura 3.36**

Adâncitor combinat cu cuțite demontabile

## 3.6.1.5. Freze melc combinate

Frezele melc combinate au construcția prezentată în figura 3.37 și reunesc într-o singură sculă o freză melc de degroșare 1 cu o freză melc de finisare (șever melc). Canalul pentru evacuarea așchiilor pentru partea de degroșare 3 se vor executa până la ultimele două spire care sunt pentru finisare. Tăișurile 4 de pe acestea se execută mai dese și prezintă o formă asemănătoare cu cele de la șever.

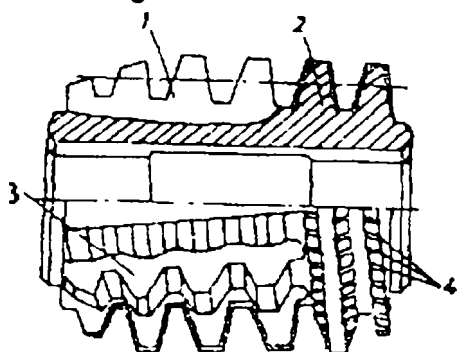


Figura 3.37  
Freză melc combinată

Frezele combinate reprezintă una dintre cele mai eficiente soluții de creștere a productivității la prelucrarea suprafețelor plane și profilate prin frezare. În cazul prelucrării suprafețelor plane, acestea pot fi clasificate în patru categorii, figura 3.38:

- pentru suprafețe plan orizontale;
- pentru suprafețe plan verticale;
- pentru suprafețe plan înclinate;
- pentru suprafețe combinate.

## 3.6.2. Scule combinate pluritip

În această categorie pot fi încadrate sculele așchietoare combinate care sunt obținute din scule elementare ce aparțin de aceeași clasă (de exemplu: clasa sculelor pentru prelucrarea alezajelor) sau clase diferite (de exemplu: clasa cuțitelor și clasa sculelor pentru prelucrarea alezajelor), respectiv tipuri diferite în clasa respectivă (de exemplu din clasa sculelor pentru prelucrarea alezajelor: tip burghiu și tip adâcitor) conform [Ș3]. Din această categorie de scule combinate fac parte o mare varietate de soluții, derivate din necesitățile apărute ca urmare a prelucrărilor care se impun în cadrul proceselor tehnologice de fabricare a produselor. Dintre posibilitățile de combinare cele mai frecvent întâlnite, se amintesc:

## 3.6.1.6. Freze combinate

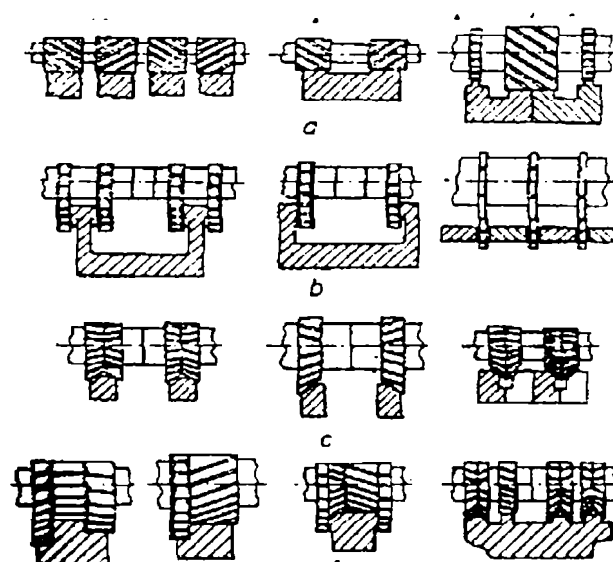


Figura 3.38  
Freze combinate

- Burghie combinate cu adâncitoare. un astfel de exemplu fiind prezentat în figura 3.39. Această sculă este realizată în construcție asamblată. fixarea și antrenarea burghiului fiind realizată cu ajutorul unui știft filetat și a unui canal de antrenare practicat pe coada burghiului.

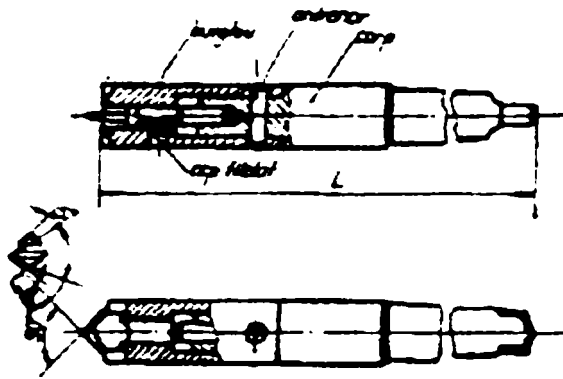


Figura 3.39  
Burghiu lat combinat cu adâncitor

Pentru obținerea unor alezaje cu diametru mare dintr-o singură trecere, se utilizează o sculă combinată formată dintr-un burghiu elicoidal și un adâncitor cu doi

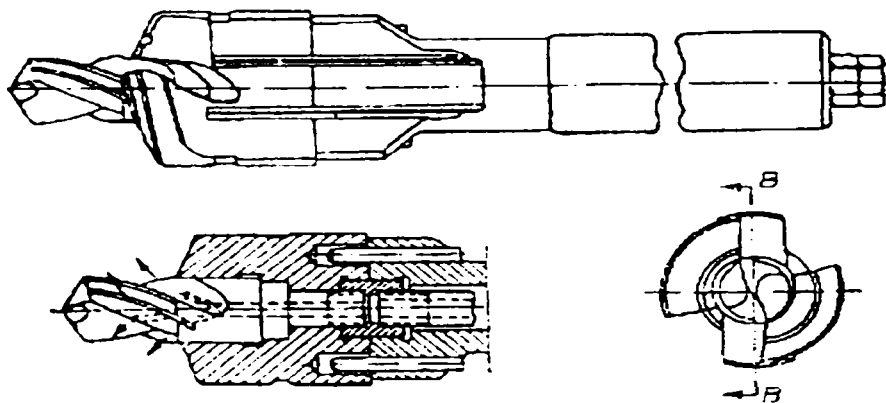


Figura 3.40  
Burghiu combinat cu adâncitor, pentru alezaje de diametre mari

dinti, figura 3.40. Soluția presupune o construcție asamblată a celor două părți ale sculei combinate, antrenarea în mișcare de rotație fiind făcută prin intermediul unor știfturi. Pentru a asigura evacuarea așchiilor, tășurile adâncitorului sunt prevăzute cu canale pentru fragmentarea acestora. Corpul burghiului este prevăzut cu orificii pentru a permite circulația și aducerea lichidului de răcire ungeră în zona de lucru.

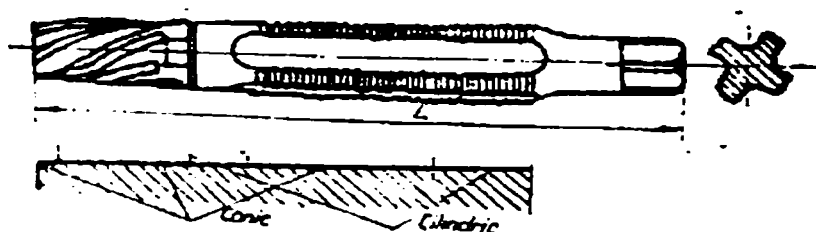
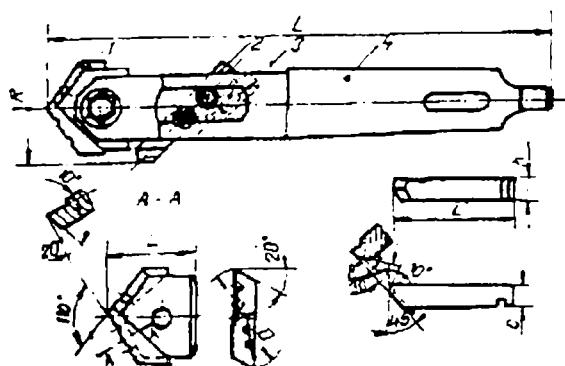


Figura 3.41  
Adâncitor combinat cu tarod în construcție asamblată

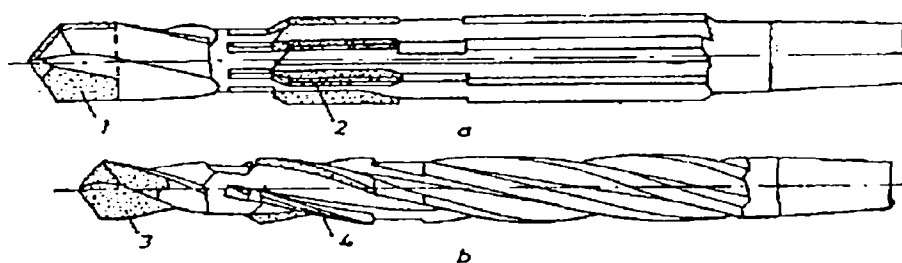
- **Adâncitoare combinate cu tarozi** (figura 3.41), sunt utilizate pentru obținerea unor alezaje filetate străpunse. Adâcitorul poate fi cu dinți drepi sau înclinați, construcția sculei monobloc sau asamblată.

- **Burghie combinate cu alezoare** (figura 3.42), sunt utilizate pentru prelucrarea alezajelor din carcase, corpuri ale M.U. Scula este realizată în construcție asamblată formată dintr-un burghiu lat 1 și un cuțit reglabil 2, ambele montate în corpul 3. Reglarea cuțitului de alezat la dimensiune se face cu ajutorul șurubului 4. Condiția utilizării



**Figura 3.42**  
Sculă combinată pentru găurit și alezat

acestei scule, datorită regimurilor de așchiere diferite suportate, este ca



**Figura 3.43**  
Burghie combinate cu alezoare

elementele componente ale acestuia să așchieze succesiv, ceea ce limitează domeniul de utilizare numai pentru alezaje străpunse. O altă variantă de obținere a unei astfel de combinații este prezentată în figura 3.43 a) și b), unde burghiul este armat cu o plăcuță 1, lipită într-un canal transversal, iar alezorul este armat cu plăcuțe drepte (figura 3.43 a) și burghiul este executat în întregime din material metaloceramic, alezorul fiind armat cu plăcuțe de formă elicoidală (figura 3.43 b).

## 4. SCULE COMBIMATE IDEALE PENTRU PROCESE TEHNOLOGICE DE FABRICAȚIE DE GRUP PRIN AȘCHIERE, EFECTUATE ÎN CADRUL SFF

### 4.1. Definirea noțiunii de sculă combinată ideală. Moduri de lucru

În subcapitolul 2.2 s-a arătat că procesele tehnologice de fabricație flexibilă trebuie să fie prin excelență procese tehnologice de fabricație de grup, elaborate pentru un anumit obiect de lucru ideal al grupului de obiecte de lucru care urmează să se fabrice în sistem. Particularizarea procesului tehnologic de grup pentru fabricarea unui anumit obiect de lucru concret, din grupul tehnologic, se realizează prin eliminarea unor module din programul de comandă al procesului de prelucrare, respectiv unei părți aferente obiectului de lucru ideal, precizarea regiunilor de așchiere pentru obiectul de lucru particular, eliminarea unor elemente componente (adaosuri, elemente de strângere, etc.) ale dispozitivului de lucru ideal și ale dispozitivului de prelucrare (bacuri, degete, etc.), respectiv reglarea pentru modificarea situații relative a acestor elemente, în conformitate cu particularitățile dimensionale ale obiectului de lucru în cauză. Pornind de la principiul enunțat mai sus, autorul consideră că utilizarea rațională a sculelor combinate pentru prelucrări prin așchiere în SFF automate presupune conceperea lor ca și "scule ideale".

Se definește ca și sculă ideală combinată, o sculă destinată prelucrării prin așchiere a tuturor /mai multor suprafețe delimitând obiectul de lucru ideal corespunzător grupului de obiecte de lucru pentru prelucrarea cărora s-a conceput SFF automat.

La nevoie, prelucrarea unui obiect de lucru ideal poate necesita două sau mai multe scule ideale (spre exemplu în cazul obiectelor cu suprafețe coaxiale cilindrice, se necesită cel puțin o sculă ideală pentru prelucrarea suprafețelor exterioare și una pentru prelucrarea suprafețelor interioare).

Adaptarea combinate sculei ideale pentru prelucrarea prin așchiere a unui obiect de lucru particular din grup se realizează prin renunțarea la acele tăișuri cărora nu le corespund suprafețe de prelucrat pe obiectul de lucru particular și prin

reglarea situației relative a tășurilor, deci a suprafețelor port plăcuțe față de corpul de bază și între ele, în conformitate cu geometria suprafețelor care urmează să fie prelucrate prin așchiere de aceste tășuri. Cele de mai sus dispun faptul că ca sculele combinate ideale să fie realizate ca blocuri de cuțițe sau plăci rabatabile (rendeplatten).

Din cele de mai sus rezultă faptul că sculele combinate ideale sunt de fapt scule combinate cu plăcuțe reglabile / schimbabile care pot prelucra prin așchiere mai multe suprafețe care delimitează mai multe obiecte de lucru aparținând aceleași grupe. Tășurile sculelor combinate ideale pot să lucreze în mai multe moduri:

- a) simultan, așchiind aceleași suprafețe ale obiectului de lucru;
- b) simultan, așchiind suprafețe diferite ale obiectului de lucru;
- c) succesiv, așchiind aceleași suprafețe ale obiectului de lucru;
- d) succesiv, așchiind suprafețe diferite ale obiectului de lucru;
- e) mixt: unele suprafețe ale obiectului de lucru sunt așchiate simultan de un număr de tășuri, alte suprafețe ale aceluiași obiect de lucru sunt așchiate succesiv de un alt număr de tășuri;
- f) combinat: unele suprafețe ale obiectului de lucru sunt așchiate simultan sau succesiv de către mai multe tășuri ale sculei combinate ideale, alte suprafețe sunt așchiate în mod separat și succesiv, față de modul de lucru cu mai multe tășuri, dar de un singur tăș.

Modurile de lucru ale aceleiași scule combinate ideale pot diferi de la prelucrarea unui obiect de lucru din grupă la altul.

În figura 4.1 se prezintă pentru exemplificare scheme pentru ilustrarea a diferite moduri de lucru ale unei scule combinate ideale cu două tășuri pentru prelucrarea unor suprafețe exterioare cilindrice coaxiale ale unor obiecte de lucru aparținând unui grup.

În schema din figura 4.1.a, tășurile  $S_1$  și  $S_2$  ale aceleiași scule combinate ideale așchiază simultan aceeași suprafață cilindrică exterioară 1 a unui obiect de lucru, tășurile fiind decalate unul față de altul în direcția avansului longitudinal.

În schema din figura 4.1.b simultan, tășul  $S_1$  așchiază suprafața 1, tășul  $S_2$ , suprafața 2, ambele suprafețe fiind cilindrice exterioare, dar de diametre diferite. Scula combinată ideală se adoptă la prelucrarea obiectului de lucru prin reglarea situațiilor relative ale tășurilor în direcția avansului radial.



În schema din figura 4.1.c. tășurile  $S_1$  și  $S_2$  prelucrează suprafața cilindrică

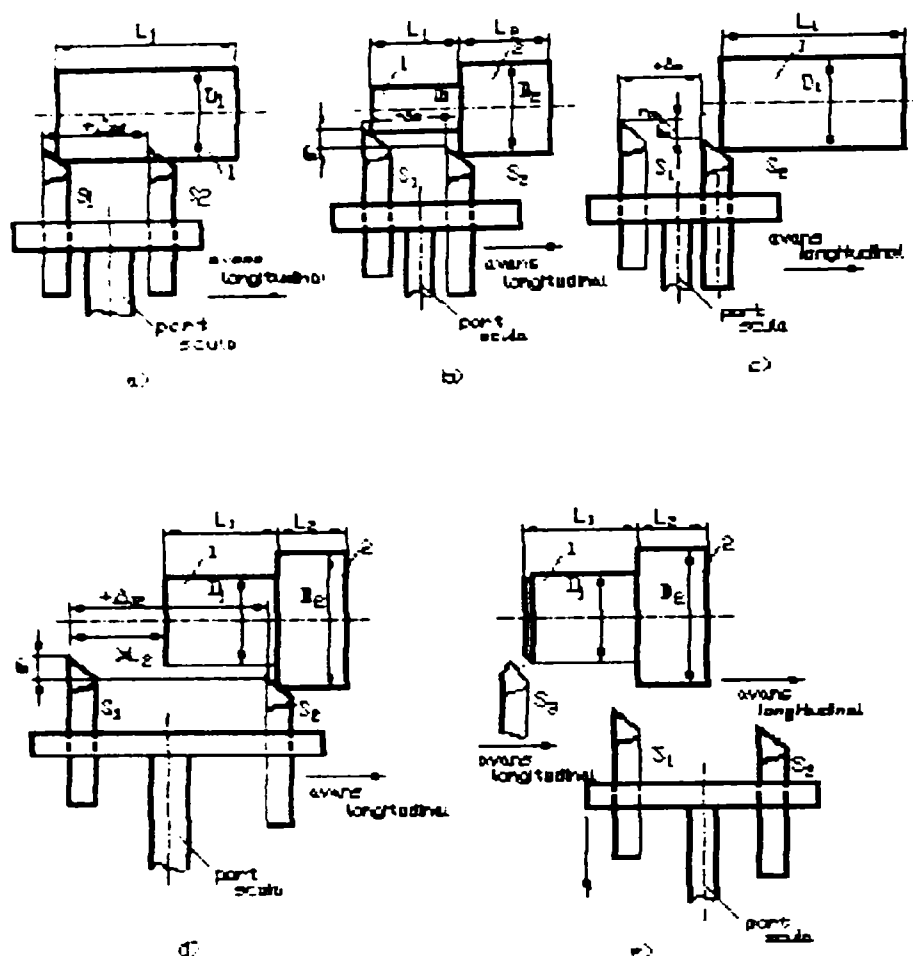


Figura 4.1. Scheme pentru ilustrarea diferitelor moduri de lucru al unei scule combinate ideale cu două tășuri  $S_1$  și  $S_2$

exterioară 1 a obiectului de lucru. în două treceri succesive.

În schema din figura 4.1.d tășurile  $S_1$  și  $S_2$  ale aceleiași scule combinate ideale prelucrează succesiv suprafețele cilindrice exterioare 1 și 2 coaxiale de diametre diferite ale unui alt obiect de lucru. În sfârșit, în schema din figura 4.1.f tășurile  $S_1$  și  $S_2$  ale sculei combinate ideale prelucrează, ca și în schemele din figura 4.1.d. succesiv suprafețele cilindrice exterioare 1 și 2 coaxiale, după care scula combinată este retrasă și o sculă simplă  $S_3$  realizează filetarea suprafeței cilindrice coaxiale 3.

Utilizarea sculelor combinate ideale prezintă următoarele avantaje:

- conduce la creșterea productivității procesului de așchiere, prin suprapunerea executării în timp a mai multor faze, treceri etc. ale unor operații de prelucrare;

- conduce la creșterea productivității muncii prin eliminarea sau reducerea timpilor auxiliari la schimbare/reglare/instalare a sculelor, atât pentru prelucrarea unui lot de anumite obiecte de lucru, cât și în cazul prelucrării mai multor loturi de obiecte de lucru, aparținând aceluiași grup;
- are ca rezultat creșterea preciziei de prelucrare a obiectelor de lucru, eliminându-se efectul defavorabil, din acest punct de vedere, a erorii de instalare a sculei la începutul fiecărei faze, respectiv treceri a operației de așchiere, respectiv la trecerea de la prelucrarea unui anumit obiect de lucru din grup la prelucrarea altui obiect de lucru din același grup;
- facilitează reducerea numărului de scule individuale din stocul sistemului de fabricație, permite organizarea rațională a operațiilor de reascuțire a sculelor.

Dezavantajele utilizării sculelor combinate ideale sunt următoarele:

- există restricția în utilizarea sculelor combinate ideale, datorată uzurii și vecinătății suprafețelor care ar trebui să fie prelucrate simultan sau succesiv;
- s-a arătat în capitolul 3 (Regimurile proceselor de așchiere realizate de tăișurile sculelor combinate) faptul, că în cazul prelucrării unor suprafețe cilindrice coaxiale ale aceluiași obiect de lucru, având diferite diametre, s-au prelucrat realizându-se pe diferite adâncimi de așchiere (atât în cazul prelucrării simultane cât și în cel al prelucrării succesive), doar un singur tăiș ( cel “conducător”) lucrează în condiții optime din punctul de vedere al uzurii; În cazul în care scula combinată este ideală, variabilitatea factorilor care influențează uzura este și mai mare, ca urmare a faptului că aceeași sculă prelucrează mai multe obiecte din grup;
- necesitatea reglării situației relative a tăișurilor unul față de celălalt și față de portsculă, pune în unele cazuri probleme dificile pentru concepția sculelor combinate ideale, unele soluții constructive pot fi deficitare din punct de vedere al rigidității, putând contribui, prin deformații variabile în diferite faze ale operațiilor și diferite moduri de vibrație la înrăutățirea preciziei obiectelor de lucru prelucrate.

## 4.2. Sinteza structurală a sculelor combinate ideale

Sinteza structurală a sculelor combinate ideale urmărește stabilirea naturii și numărului tășurilor componente și a corelațiilor calitative dintre acestea.

Natura tășurilor componente ale sculei combinate ideale se stabilește în funcție de natura suprafețelor obiectului de lucru care urmează a fi așchiate de acestea (degroșare/finisare, exterioare/interioare, materialul obiectului de lucru, etc.).

Numărul tășurilor componente ale sculei combinate ideale se stabilește în funcție de numărul suprafețelor obiectului de lucru care vor fi așchiate de acestea.

Corelările cantitative dintre natura și numărul tășurilor componente ale sculei combinate țin seama de intercondiționările între funcționarea tășurilor aparținând aceleiași scule ideale combinate ideale.

Pentru a se stabili natura și numărul tășurilor componente ale sculei combinate ideale, se asociază câte un tăș pentru fiecare suprafață de prelucrat prin așchiere a obiectului de lucru ideal, ținând seama de natura prelucrării. În această fază se proiectează fiecare tăș în conformitate cu regimurile de așchiere preconizate în cadrul procesului tehnologic de așchiere ideal proiectat anterior.

După necesitate, tășurile necesare se vor repartiza pe unul sau mai multe portcutite. Din totalul tășurilor stabilite în conformitate cu cele de mai sus, se elimină acele tășuri care nu pot conlucra fizic cu majoritatea celorlalte. Luând în considerare grupe de obiecte de lucru delimitate în majoritatea lor de suprafețe cilindrice coaxiale, sculele combinate ideale nu pot conține tășuri pentru prelucrarea unor suprafețe conice exterioare/interioare, suprafețe sferice exterioare/interioare, degajări exterioare/interioare racordate la suprafețe frontale, canale interioare, suprafețe filetate exterioare/interioare, suprafețe frontale, căci nici prelucrarea simultană nici succesivă a acestor suprafețe cu suprafețele cilindrice coaxiale predominante nu se poate realiza din punct de vedere fizic.

La sinteza structurii sculei combinate ideale se va ține seama de necesitatea asigurării "ieșirii din așchiere" a tuturor tășurilor. Astfel, spre exemplu, nu se pot prelucra cu asemenea scule decât suprafețele cilindrice interioare ale unor alezaje străpunse.

Sinteza structurală a unei scule combinate ideale) se poate exemplifica pentru obiectul de lucru ideal A, prezentat în figura 2.12, prelucrarea prin aşchiere a suprafeţelor lui fiind una de finisare.

Ținând seama de faptul că obiectul de lucru ideal conține atât suprafețe interioare cât și exterioare, tăişurile sculei combinate ideale se vor dispune pe două port scule, câte una pentru fiecare categorie de suprafețe.

Conform celor prezentate mai sus, suprafața exterioară (2 trunchi de con exterior) nu poate fi executată cu scula combinată ideală. Suprafața filetată exterioară (4) de asemenea nu se va putea executa cu scula combinată amintită; în schimb, un tăiș al acestei scule va executa aşchierea suprafeței cilindrice exterioare, pe care, ulterior, un cuțit singular va executa filetarea.

Ca urmare a celor de mai sus, scula combinată ideală va conține trei tăişuri pentru aşchierea suprafețelor cilindrice exterioare coaxiale (1, 3 și 4<sub>0</sub>).

Dintre suprafețele interioare ale obiectului de lucru ideal, nu pot fi executate de către tăişurile unei scule combinate ideale canalul interior (7) și suprafața filetată interioară (8). Scula va putea însă executa aşchierea suprafeței cilindrice interioare (8<sub>0</sub>), care va fi filetată ulterior de un cuțit singular pe porțiunea (8) și în care, un alt cuțit singular, va prelucra prin aşchiere canalul interior (7). Ca urmare, scula combinată ideală va conține trei tăişuri pentru prelucrarea prin aşchiere a suprafețelor cilindrice interioare (5) și (8<sub>0</sub>) și a găurii cilindrice (6).

Tăişurile sculei combinate ideale pentru prelucrarea obiectului de lucru ideal A se vor monta pe două portcuțite, unul conținând tăişurile pentru prelucrarea prin aşchiere a suprafețelor exterioare și cel conținând tăişurile care prelucrează prin aşchiere suprafețele interioare. Cele două grupe de tăişuri vor lucra succesiv.

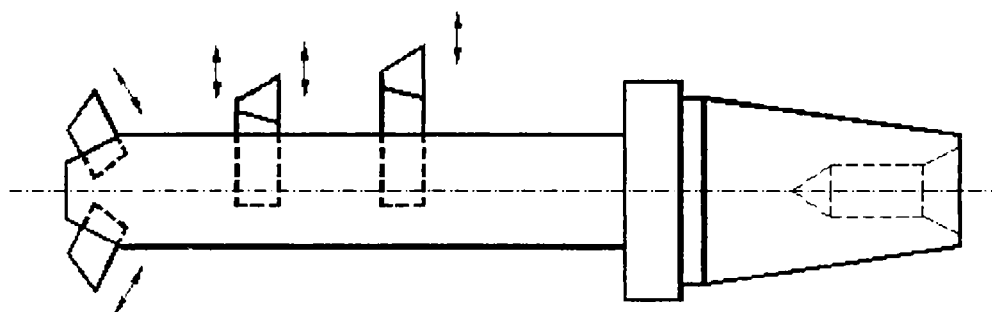
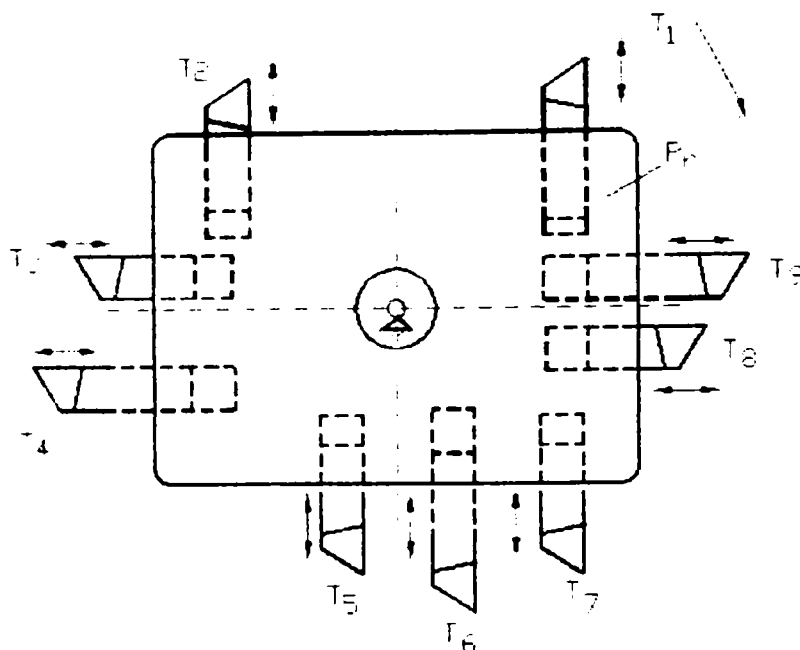


Figura 4.2 Portsculă cu tăişuri pentru sculă combinată ideală prelucrând prin aşchiere suprafețe interioare

**Teză de doctorat**

Tăișurile pentru prelucrarea prin așchiere a suprafețelor interioare se vor amplasa pe o portsculă de construcție asemănătoare cu cele prezentate în figura 4.1

4.1 Tăișurile pentru prelucrarea prin așchiere a suprafețelor interioare se vor amplasa pe o portsculă de construcție asemănătoare cu cea prezentată în figura 4.2.



**Figura 4.3** Portsculă tip placă rabatabilă

Tăișurile aceleași scule combinate ideale se pot dispune și pe portscule de construcție placă rabatabilă (Wendeplatte), figura 4.3. Placa rabatabilă de secțiune dreptunghiulară are montate pe fiecare dintre cele patru fețe laterale un număr de tăișuri ( $T_1, T_2 - T_3, T_4 - T_5, T_6, T_7 - T_8, T_9$ ); tăișurile unei fețe laterale

ale plăcii se aduc în poziție de așchiere în mod succesiv, prin rabatarea plăcii.

### 4.3. Sinteza dimensională a sculelor combinate ideale

Sinteza dimensională a unei scule combinate ideale urmărește stabilirea situații relative a tăișurilor aparținând sculei, precizate prin intermediul sintezei structurale și determinarea dimensiunilor de reglaj necesare pentru adaptarea sculei la prelucrarea prin așchiere a fiecărui obiect de lucru particular aparținând grupei tehnologice.

Se propune pentru efectuarea sintezei dimensionale a sculelor combinate ideale o metodă bazată pe ciclogramele de așchiere ale tăișurilor componente.

La elaborarea metodei, s-a pornit de la ideea că din punct de vedere cinematic, procesul de așchiere a unei suprafețe are la bază mișcarea relativă a sculei în raport cu obiectul de lucru. Ca urmare unele particularități ale procesului se pot analiza cercetând timpii de funcționare ai tăișurilor, considerate ca subsisteme ale sistemului care este scula combinată ideală cu ajutorul ciclogramelor.

Particularitățile aplicării acestei metode constau în faptul, că avansurile sculei fiind constante ele având caracter de viteze de deplasare relativă pe o anumită direcție a sculei în raport cu obiectul de lucru (pentru prelucrarea prin așchiere a suprafețelor cilindrice coaxiale, contează doar avansul longitudinal) intervalele de timp aferente ciclogramelor sunt proporționale cu dimensiunile suprafeței în cauză pe direcția avansului. Această particularitate permite utilizarea ciclogramelor amintite pentru sinteza dimensională a sculelor combinate ideale. Ciclogramele elaborate pot conține ca informație suplimentară adâncimea de așchiere realizată – reprezentată proporțional cu înălțimea dreptunghiului care simbolizează funcționarea tăișului în cauză. Pentru exemplificarea metodei se prezintă în figura 4.4. ciclogramele de funcționare ale sculelor combinate ideale din figura 4.1.

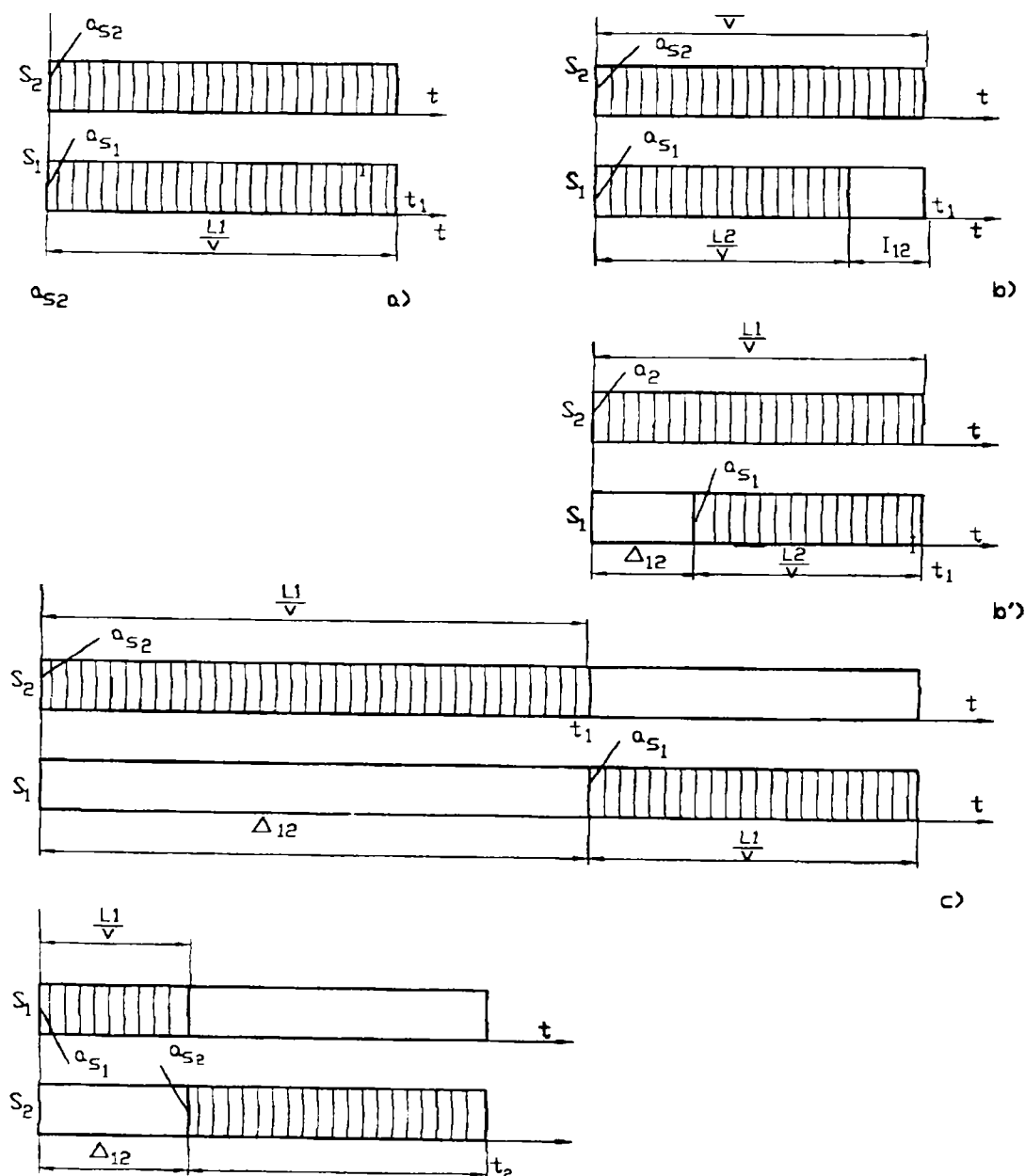


Figura 4.4 Ciclogramele de funcționare ale tăișurilor  $S_1$  și  $S_2$  ale sculelor combinate ideale din figura 4.1

**Teză de doctorat**

Semnificația notațiilor din figura 4.4. este:

- $L_1$  și  $L_2$  reprezintă lungimile suprafețelor cilindrice așchiate;
- $v$  reprezintă avansul longitudinal (viteza după direcția dimensiunii  $L_1$ );
- $a_{s1}$ ,  $a_{s2}$  adâncimea de așchiere;
- $\Delta_{12}$  distanța dintre tășurile  $S_1$  și  $S_2$ , măsurată după direcția  $L$ .

Pentru cazul din figura 4.1.a, tășurile  $S_1$  și  $S_2$  așchiază simultan, în decursul

timpului  $t_1 = \frac{L_1}{v}$  (pentru semnificația notațiilor a se vedea legenda din figura 4.4.).

Pentru cazul din figura 4.1.b în varianta dată de ciclogramă figura 4.4.b, ambele

tășuri încep să așchieze simultan. Cum  $L_2 < L_1$ , la timpul  $t_2 = \frac{L_2}{v}$ , tășul  $S_1$  vine în

contact cu partea cilindrică a obiectului de lucru cu diametrul  $D_2 > D_1$ , producându-se interferența dintre tășul  $S_1$  și obiectul de lucru. Acest accident se poate evita dacă se alege distanța  $D_{12}$  dintre tășurile  $S_1$  și  $S_2$ :

$$+ \Delta_{12} \geq L_1 - L_2 \quad (4.1)$$

Semnul +cu care este afectată distanța  $\Delta_{12}$  indică sensul de măsurare orientat în sensul avansului longitudinal.

Timpul total de așchiere pentru ambele suprafețe este:

$$t_1 = \frac{L_1}{v} \quad (4.2)$$

Conform ciclogramelor din figura 4.4.c, tășurile  $S_1$  și  $S_2$  așchiază succesiv aceeași suprafață cilindrică de lungime  $L_1$ , realizând două treceri. Timpul de așchiere este:

$$2t_1 = 2 \frac{L_1}{v} \quad (4.3)$$

Tășurile se vor amplasa la distanța:

$$\Delta_{12} \geq L_1 \quad (4.4)$$

Pentru cazul sculei combinate ideale din figura 4.1.d, ciclogramele sunt reprezentate în figura 4.4.d. Cum cele două suprafețe cilindrice se așchiază în mod succesiv timpul de așchiere pentru ambele cu scula combinată este:

$$t_1 = \frac{L_1}{v} \quad (\text{daca } L_1 \geq L_2) \quad (4.5)$$

iar distanța de situare relativă a tășurilor  $S_1$  și  $S_2$  este:

$$+ \Delta_{12} \geq L_2 \quad (4.6)$$

Se consideră obiectul de lucru ideal din figura 4.5. În figura 4.6 se prezintă ciclogramele de funcționare ale tășurilor S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> și S<sub>3</sub>.

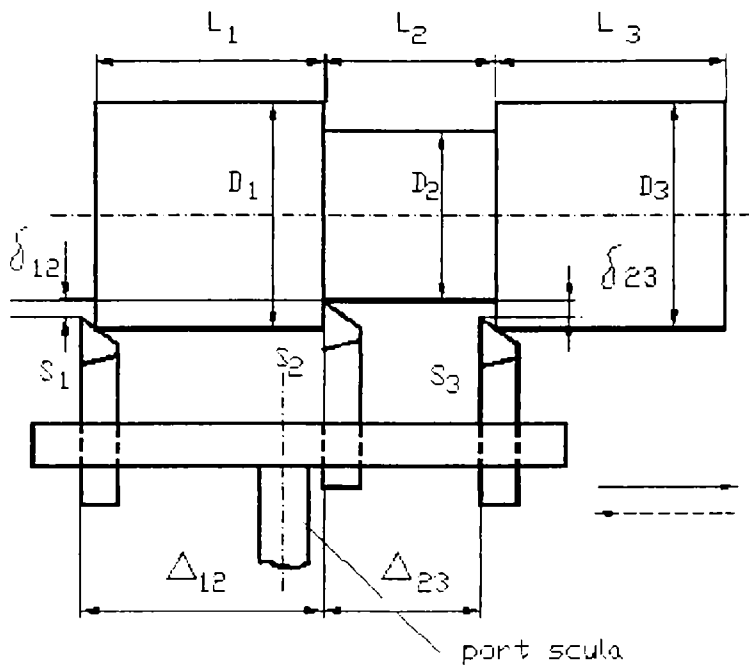


Figura 4.5 Obiect de lucru ideal cu trei suprafețe cilindrice coaxiale și scula combinată ideală concepută pentru prelucrarea lui

În cazul în care  $L_2 < L_3$ , înainte de încheierea așchierii suprafeței cilindrice de lungime  $L_3$ , tășul  $S_3$  se ciocnește de porțiunea din obiectul de lucru de diametru  $D_3$ , producându-se interferența de durată  $l_{21}$ . În cazul în care  $L_2 > L_1$  obiectul de lucru va putea fi așchiat cu ajutorul unei scule combinate de aceeași structură, avansul longitudinal al acesteia fiind de sens contrar ( $\leftarrow$ ). În cazul

în care  $L_2 > L_3$  și  $L_2 > L_1$ , scula combinată nu poate conține tășul  $S_2$  și suprafața cilindrică exterioară de diametru  $D_2$  se va prelucra prin așchiere folosindu-se în acest scop o sculă singulară.

Stabilirea situației relative a tășurilor sculei combinate după direcția perpendiculară pe axa obiectului de lucru se face în funcție de diametrele suprafeței cilindrice așchiate.

Pentru sculele combinate din figura 4.6.b, c, d și 4.5:

$$\begin{cases} +\delta_{12} = \frac{1}{2}(D_1 - D_2) \\ +\delta_{23} = \frac{1}{2}(D_3 - D_2) \end{cases} \quad (4.7)$$

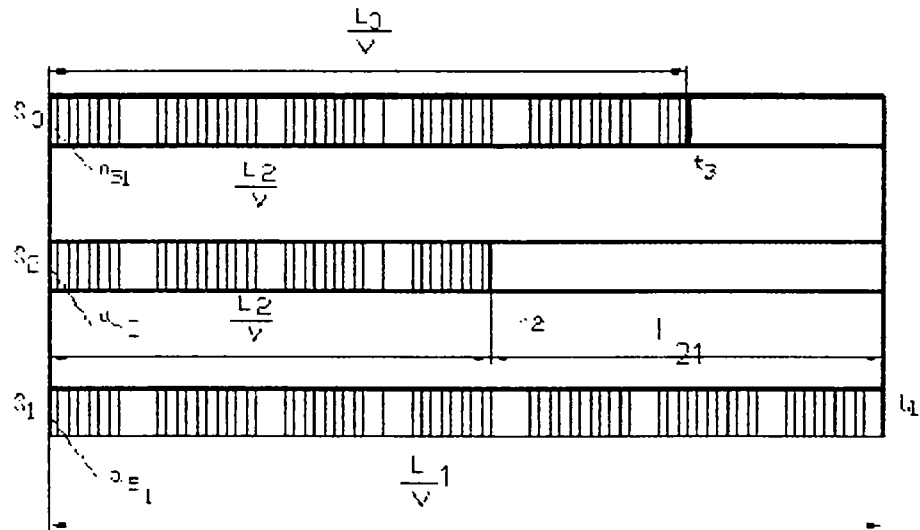


Figura 4.6 Ciclograma de funcționare a tășurilor S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> și S<sub>3</sub> ale sculei combinate ideale din figura 4.5





deziderat, se impune optimizarea regimurilor operațiilor /fazelor /trecherilor de aşchiere realizate de fiecare tăiş component al sculei combinate ideale. Dificultatea problemei constă în faptul că regimurile alese (viteza unghiulară de rotație a obiectului de lucru ale cărei suprafețe se prelucrează prin aşchiere, adâncimea de aşchiere și avansul longitudinal) vor fi aceleași pentru toate tășurile sculei combinate ideale.

#### 4.4.1. Metodă de evaluare prin calcul a evoluției în timp a uzurii unui tăiş

Se consideră că uzura la un moment dat a unui tăiş de sculă aşchietoare este proporțională cu lucrul mecanic de aşchiere executat de tășul respectiv, de la momentul ascuțirii/ reascuțirii până la timpul (momentul) luat în considerare. Se propune o modalitate de calcul a lucrului mecanic de aşchiere pentru un anumit adaos de prelucrare a unei suprafețe cilindrice, reprezentat în figura 4.8.

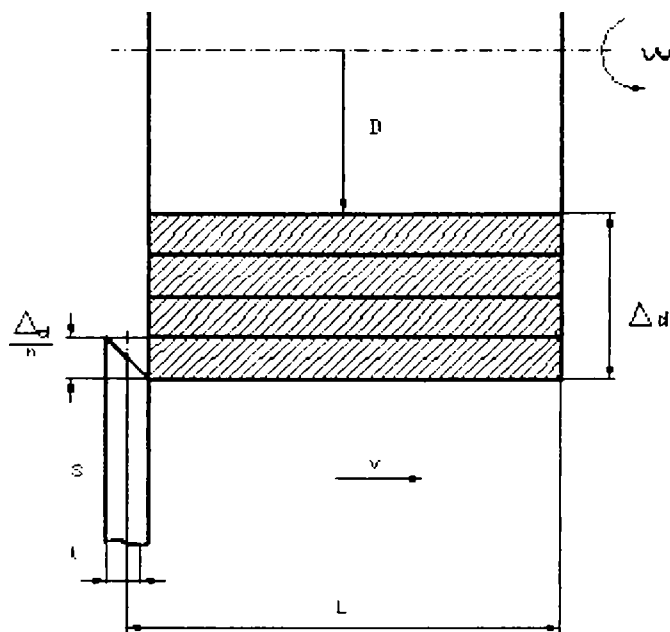


Figura 4.8 Schemă pentru calculul lucrului mecanic de aşchiere

Legendă:  $D_1$ , diametrul suprafeței cilindrice;  
 $\omega$ , viteza unghiulară a obiectului de lucru;  
 $v$ , viteza avansului longitudinal;  
 $A_d$ , grosimea adaosului de prelucrare;  
 $m$ , numărul de treceri;  
 $S$ , tășul;  
 $l$ , lățimea tășului.

Se consideră că forța de aşchiere este proporțională cu secțiunea aşchii:

$$F = k \frac{A_d}{m} l \quad (4.9),$$

unde  $k$  este un coeficient de proporționalitate, depinzând de materialul obiectului de lucru, forma geometrică și materialul tășului.

Viteza de aşchiere la trecerea  $i$  ( $i = 0 \dots m-1$ ), este:

$$v = \left[ \frac{1}{2} D + \frac{A_d}{m} (m - i + 1) \right] \omega \quad (4.10)$$

Cu acestea, puterea de aşchiere este pentru trecerea  $i$ :

$$P_i = F v = k \frac{A_d}{m} l \left[ \frac{1}{2} D + \frac{A_d}{m} (m - i + 1) \right] \omega \quad (4.11)$$

Viteza avansului longitudinal este pentru toate trecerile:

$$v = \frac{30}{\pi} l\omega \quad (4.12)$$

Cu aceasta, timpul unei treceri este:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{\pi}{30} \frac{L}{l\omega} \quad (4.13)$$

Timpul total de îndepărtare prin aşchiere a adaosului de prelucrare este:

$$T = mt = \frac{\pi}{30} \frac{mL}{l\omega} \quad (4.14)$$

Creşterea gradului de uzură  $\Delta U_z$  în decursul îndepărtării prin aşchiere a adaosului de prelucrare este proporţional cu lucrul mecanic consumat pentru procesul de aşchiere:

$$\begin{aligned} \Delta u_z &= k_1 \int_0^T P dt = \sum P_i t_k = k_1 k \frac{A_d}{m} l \frac{\pi}{60} \frac{L}{l\omega} \sum_{i=0}^{m-1} \left[ D + \frac{2A_d}{m} (m-1) \right] \omega = \\ &= k_1 k \frac{\pi}{60} \frac{A_d}{m} L \sum_{i=0}^{m-1} \left[ D + \frac{2A_d}{m} (m-1) \right] \end{aligned} \quad (4.15)$$

unde  $k_1$  este un coeficient de proporţionalitate dependent la rândul lui de aceeaşi factori ca şi coeficientul  $k$ .

#### 4.4.2. Consideraţii privind uzura tăişurilor sculelor combinate ideale

Toate tăişurile sculei combinate ideale care participă la prelucrarea prin aşchiere a unui obiect de lucru particular din grupul tehnologic aşchiază la aceeaşi adâncime de aşchiere şi au acelaşi avans longitudinal. Ca urmare, va progresa cel mai rapid uzura tăişului care aşchiază suprafaţa cilindrică cu diametrul cel mai mare (tăiş conducător).

Paşametrii regimului de aşchiere pentru tăişul supus uzurii celei mai intense, se vor alege astfel încât ei să fie identici sau apropiaţi de cei recomandaţi pentru prelucrarea obiectelor de lucru din materialul respectiv, natura prelucrării, construcţia tăişului (dimensiuni, material, formă).

Pentru apropierea valorilor uzurii tăişurilor sculelor combinate ideale, se poate alege ca şi "tăiş conducător" şi unul care aşchiază suprafaţa cilindrică de diametru

mai mic decât cel maxim. În acest caz se verifică dacă parametrii regimului de aşchiere a suprafeţei cilindrice de diametru maxim nu depăşesc limitele admisibile.

O altă modalitate de apropiere a valorilor uzurii diferitelor tăişuri ale sculei combinate ideale este aceea de a determina în mod adecvat loturile de obiecte de lucru din grupul tehnologic şi de a programa astfel succesiunea prelucrării prin aşchiere a acestor obiecte, încât diferenţele de uzură ale tăişurilor să fie cât mai mici.

#### **4.5. Cu privire la vibraţiile sculelor combinate ideale**

S-a arătat mai sus (capitolul 3) că în decursul procesului de aşchiere sculele vibrează, forţa excitantă fiind forţa de aşchiere de intensitate şi direcţie variabilă.

Sculele combinate vor vibra sub acţiunea atâtor forţe de aşchiere excitante, câte tăişuri aparţinând lor aşchiază. Sculele combinate ideale au în plus o geometrie variabilă cu ocazia trecerii de la prelucrarea prin aşchiere a unui obiect de lucru din grupul tehnologic la altul, datorită schimbării numărului de tăişuri care aşchiază şi a situaţiei relative a acestora.

Sculele combinate ideale se modelează prin intermediul a câte unui corp cu atâtea mase concentrate câte tăişuri conţin, plus unul (portscula).

## 5. MODELAREA UZURII SCULELOR COMBinate LA PRELUCRAREA PRIN AȘCHIERE ȘI SIMULAREA DESFĂȘURĂRII EI

### 5.1. Principii

Modelarea este o strategie cognitivă complexă folosită pentru cunoașterea realității. Ea constă în construirea unui model care să prezinte un anumit grad de similitudine cu procesul studiat. Deoarece în cele mai multe cazuri sistemele reale posedă un număr deosebit de mare de parametrii, îngreunând astfel posibilitatea de a-l cunoaște, modelul sistemului real va avea doar un număr restrâns de parametrii esențiali. Simularea este, de fapt, imitarea proceselor care au loc în sistemul real, cu ajutorul modelului, în scopul de a putea prezice anumite stări ale sistemului real.

Estimarea durabilității sculelor așchietoare a devenit în ultimii ani cel mai important obiect de studiu în vederea optimizării proceselor de așchiere ce au loc în cadrul sistemelor flexibile de fabricație.

Estimarea durabilității sculelor este o sarcină dificilă, mai ales în cazul sculelor combinate, datorită complexității procesului și a multitudinii parametrilor implicați.

Metodele clasice de estimare folosesc baze de date voluminoase cuprinse în tabele, eventual nomograme, utilizarea lor necesitând experimentări îndelungate și nu întotdeauna sunt acoperite cerințele utilizatorilor. Un alt neajuns al metodelor clasice, pe bază tabele, derivă din schimbarea permanentă și într-un ritm din ce în ce mai mare a condițiilor de lucru.

Integrarea în sistemele de fabricație a unor dispozitive de monitorizare a proceselor de prelucrare prin așchiere face posibilă actualizarea permanentă a datelor ce pot fi folosite pentru estimarea durabilității. Aceste sisteme folosesc de obicei măsurarea forței de așchiere, a puterii absorbite de procesul de așchiere sau a accelerațiilor unor puncte materiale, bazându-se pe faptul bine cunoscut că aceste mărimi sunt, într-o măsură acceptabilă, proporționale cu gradul de uzură al sculelor așchietoare.

Un mare număr de lucrări de specialitate [M4], [C9], ș.a. se ocupă de probleme de monitorizare legate de comanda adaptivă. În cadrul sistemelor adaptive mărimile urmărite prin monitorizare se compară cu niște valori "corecte" învățate, ca urmare a efectuării unui număr de cicluri de prelucrare sau fixate în prealabil ca și praguri.

Dezavantajele acestei metode sunt [K11] :

- la sistemele adaptive cu învățare, trebuie uzinate multe piese pentru ca sistemul să învețe "semnătura" semnalului de forță, putere sau accelerație folosită pentru identificarea gradului de uzură al sculei;
- metodele bazate pe învățare și cele cu valoare de prag fixată sunt ineficiente la monitorizarea prelucrărilor de lungă durată (piese mari de forme complexe) deoarece în acest caz parametrii regimului de așchiere variază de la o piesă la alta.

Există de asemenea situații în care nu se pot decela cauzele unor efecte suprapuse. Pentru exemplificare se presupune cazul monitorizării uzurii prin măsurarea forței de așchiere. În această situație odată cu creșterea uzurii crește intensitatea semnalului emis de către traductorul de forță, dar o asemenea creștere a semnalului este înregistrată și în cazul creșterii avansului comandat de către sistemul de comandă adaptivă.

O creștere a avansului cu un anumit increment, va avea două efecte semnificative :

- cauzează creșterea forței de așchiere, acesta fiind considerat efectul direct;
- cauzează creșterea uzurii care la rândul ei cauzează creșterea forței de așchiere, acesta fiind considerat efectul indirect.

Comanda adaptivă ar trebui să sesizeze doar efectul indirect, dar în lipsa altor informații și ținând seama de faptul că raportul "semnal util/zgomot" este destul de scăzut la măsurarea forțelor, separarea celor două efecte este deosebit de dificilă în practică.

Așa cum se arată și în [K11], [C10], [P20], o soluție viabilă la aceste probleme o poate constitui folosirea unor modele matematice (analitice sau numerice) ale așchierii ale căror parametrii să poată fi reevaluați în permanență cu date culese din procesul real și care să ofere o estimare cu o acuratețe rezonabilă a durabilității sculelor așchietoare.

## **5.2. Considerații cu privire la uzura sculelor**

### **5.2.1. Principii**

Uzura este un proces fizic care apare la interfața a două corpuri care sunt în

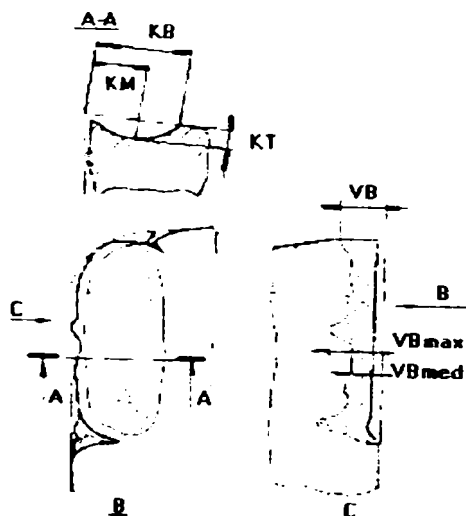
contact și au o mișcare relativă unul față de celălalt. Ea constă în îndepărtarea unor particule de material de pe suprafața corpurilor menționate și produce o modificare a geometriei suprafețelor, reducând astfel capacitatea de funcționare a ansamblului.

În procesul de așchiere, efecte negative are în deosebi uzura sculei așchietoare care își pierde prin uzură capacitatea de a așchia metalul piesei.

### 5.2.2. Noțiuni generale

Interacțiunea reciprocă dintre elementele care participă în procesul de așchiere sculă și semifabricat, duce după un anumit timp la uzura primului. Uzura sculei influențează negativ desfășurarea procesului de așchiere cu influențe negative asupra calității dimensionale, a suprafeței și a consumului de material. Pentru a diminua urmările uzurii este necesar ca periodic să se recurgă la procesul de reascuțire a sculei, ceea ce implică întreruperi ale procesului de așchiere, consum suplimentar de manoperă și energie. Este necesară o optimizare a diferiților parametri ai procesului de așchiere, astfel încât să se obțină o durabilitate cât mai mare a tăișului.

Cea mai mare influență asupra durabilității sculelor așchietoare o are viteza de așchiere și grosimea așchiei. Mai au influență și proprietățile materialului așchiat, proprietățile materialului din care este confecționată scula așchietoare, mediul de așchiere, geometria sculei așchietoare. Uzura se produce pe fața de așezare principală și cea secundară a sculei așchietoare ca rezultat al contactului între acestea și suprafața prelucrată a piesei, pe fața de degajare, ca rezultat al contactului între aceasta și așchie sau concomitent pe toate fețele.



**Figura 5.1.** Uzura sculei așchietoare

KB – lățimea uzurii de tip crater pe fața de degajare ; KM – distanța dintre centrul uzurii de tip crater și muchia principală de așchiere; KT – adâncimea uzurii de tip crater; VB – înălțimea uzurii pe fața de așezare;  $V_{bmax}$  – înălțimea maximă a uzurii pe fața de așezare;  $V_{bmed}$  - înălțimea maximă a uzurii pe fața de așezare.

O dată cu uzura pe fețe apare și uzura muchiilor care poate duce la distrugerea lor. Evoluția uzurii nu se desfășoară continuu, ci discret. În figura 5.1 se prezintă zonele de uzură pentru cuțite, (după STAS 12046/1-81, elaborat după ISO 3685-1977).

### 5.2.3. Cauzele apariției uzurii sculelor așchietoare

Uzura sculelor așchietoare are cauze multiple dintre care cele mai semnificative sunt :

**Solicitările mecanice** (a). Uzura mecanică prezintă mai multe componente :

- deteriorări accidentale, legat de loviri ale muchiilor așchietoare, în special la sculele care au partea activă din carburi metalice; vibrațiile care apar în timpul desfășurării procesului de așchiere pot genera și ele deteriorări ale părții așchietoare, deci se recomandă luarea unor măsuri de prevedere din acest punct de vedere, care implică utilizarea corectă a mașinilor unelte, fixarea rigidă a semifabricatului, fixarea rigidă a sculelor, alegerea unei lungimii de scoatere în consolă a cuțitului mai mică decât înălțimea corpului acestuia;
- solicitarea alternativă la îndoire a vârfului sculei; aceasta este realizată de către forța principală de așchiere, care se descompune în două componente, una care solicită vârful sculei la compresiune și alta care îl solicită la îndoire variabilă; rezistența la aceste solicitări, de compresiune și îndoire variabilă, va fi determinată de unghiul de ascuțire " $\delta$ " și raza la vârf " $r$ ";
- uzura abrazivă a sculei; în timpul procesului duritatea materialului prelucrat din zona de contact cu scula așchietoare crește de 2...3 ori, în timp ce duritatea straturilor superficiale ale materialului sculei scade, ca urmare a creșterii temperaturii, astfel încât particule de material sunt îndepărtate sub influența forțelor exterioare;
- uzura datorată deformărilor plastice; dacă materialul sculei are o rezistență mică la deformare, dar o tenacitate suficientă și dacă temperatura în zona de așchiere este ridicată, în urma solicitărilor mecanice exercitate pot



apare deformări plastice care să determine refularea materialului pe fața de degajare respectiv așezare.

**Adeziunea particulelor din materialul sculei la așchie (b).** Datorită interacțiunii dintre materialul sculei și cel al semifabricatului, în zona de contact, particule mici din materialul așchii se sudează pe fața de degajare a sculei. În momentele următoare formării acestora, aceste punțițe sunt rupte de către așchie, datorită frecării așchii pe suprafețele de degajare. Este posibil ca forțele de coeziune dintre cele două materiale să fie mai mari decât forțele proprii de coeziune ale materialelor în parte, ceea ce determină ca distrugerea punțiilor să se facă pe o altă suprafață decât pe cea inițială, materialul astfel degajat fiind antrenat de către așchie.

**Difuziunea (c).** Aceasta are locuitori datorită difuziunii unor elemente din materialul sculei în materialul semifabricatului și invers.

**Oxidarea (d).** La o folosire inadecvată a lichidelor de răcire pot apare oxidări ale materialului sculei datorate temperaturii ridicate din zona de așchiere.

**Curenții electrici (e).** Materialul sculei așchietoare și cel al semifabricatului formează un termocuplu natural la care scula constituie în general polul pozitiv, iar semifabricatul cel negativ. Polaritatea poate fi și inversă în funcție de cele două materiale. În termocuplu apare un curent electric care are două componente care se însumează, una fără transport de masă și una ionică cu transport de atomi dinspre polul pozitiv spre cel negativ.

**Depuneri pe tăiș (f)** Depunerile pe tăiș se formează datorită sudării materialului piesei pe suprafața de degajare a sculei, în condițiile în care forțele de adeziune a materialului de prelucrat la materialul sculei sunt semnificativ mai mari decât cele de coeziune a materialului de prelucrat. În primă fază depunerile pe tăiș formează un adaos de material pe suprafața sculei. Pe măsură ce acest adaos crește rezistența lui mecanică scade ajungând în cele din urmă la rupere, fiind de așchie. În timpul ruperii adaosului se rup și particule din materialul sculei, provocând în timp uzura acesteia.

**Uzura totală (g).** Uzura totală se compune din însumarea efectelor amintite până acum. Diferitele cazuri de prelucrare sunt caracterizate de tipuri diferite de uzură, care rareori apar separat. În funcție de condițiile concrete de așchiere (perechea de materiale sculă-piesă, viteza și temperatura de așchiere) ele vor avea o

pondere diferită în uzura totală a sculei. Durabilitatea acesteia va fi determinată, de acel tip de uzură, care va cauza atingerea, în timpul cel mai scurt, a uzurii limită. Astfel, de exemplu, la viteze mici de aşchiere predomină uzura abrazivă, în timp ce la viteze mari cea datorită oxidării şi difuziunii.

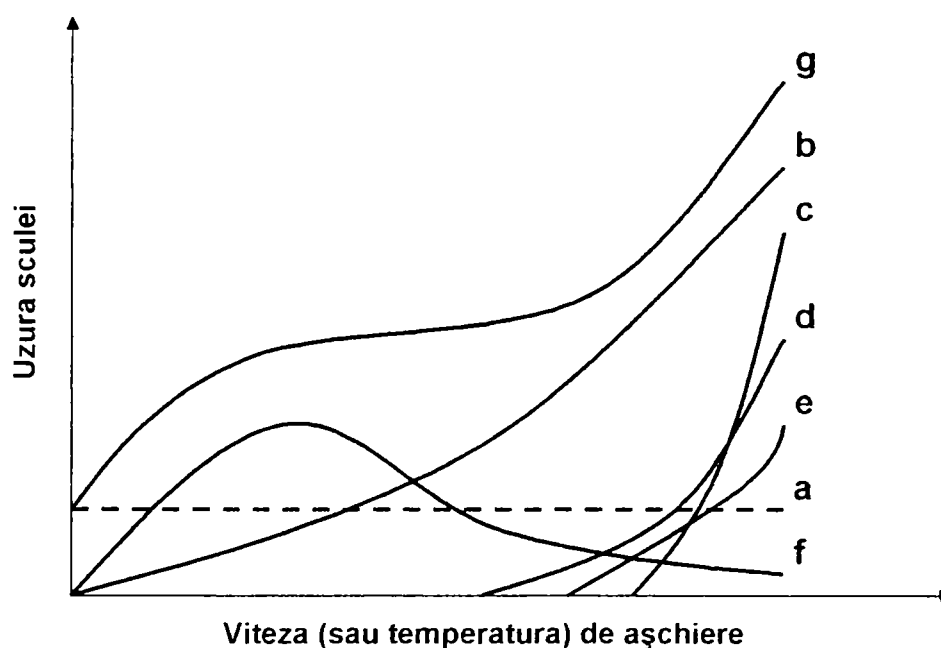


Figura 5.2. Componentele uzurii și uzura totală în funcție de viteza de aşchiere, respectiv temperatura (diagramă de apreciere calitativă).

Proiectarea unui model complet al evoluției uzurii în procesul de aşchiere necesită luarea în considerare a tuturor factorilor menționați. Pentru cele mai multe cazuri practice este suficient să se considere doar unii factori care sunt considerați ca având o pondere mai mare. Astfel, factorii mecanici hotărâtori sunt cei abrazivi și adezivi [B1]. Depunerile pe tăiș reprezintă un factor mecanic, dar se întâlnesc numai în anumite cazuri de aşchiere. În ceea ce privește uzura prin difuzie și oxidare, acestea presupun cercetări în domeniul chimiei.

Într-o serie întreagă de lucrări (ca de exemplu în [P20]), specialiștii în domeniu consideră parametrii cei mai relevanți privind deteriorarea tăișului sculei aşchietoare, tensiunile ce apar în materialul sculei, datorită solicitărilor mecanice ale acesteia.

Având în vedere complexitatea condițiilor aşchierii și mai ales a aşchierii cu scule combinate se consideră că cea mai potrivită metodă pentru calculul tensiunilor în vederea elaborării unui model al uzurii sculelor aşchietoare îl constituie metoda elementului finit.

**Teză de doctorat**

Dezavantajul major al acestei metode a fost până nu demult timpul de calcul lung și necesitatea utilizării unui volum de memorare considerabil. Însă de la mijlocul anilor '90 când viteza de calcul a mijloacelor informatice moderne s-a dublat în fiecare an și volumul de memorare disponibil crește continuu, nu mai există argumente reale împotriva folosirii acestei metode pe scară largă cu anumite limite chiar și în sisteme de estimare on-line.

Se consideră acceptabilă folosirea unui sistem de estimare a gradului de uzură a sculelor așchietoare ce implică module de calcul cu elemente finite, în condițiile în care:

- forța nu este măsurată în mod continuu ci la intervale regulate de așchiere de 25"-30";
- durata de reîmprospătare a parametrilor împreună cu durata de rulare a programului este mai mică decât timpul dintre două măsurări ale forței de așchiere.

Un argument în plus îl constituie faptul că potrivit [P20], modelul sculei așchietoare poate fi considerat în plan (bidimensional), acest lucru neafectând în mod sensibil rezultatele simulării uzurii. Prin această simplificare se reduce considerabil numărul de noduri al modelului, reducându-se implicit atât timpul de calcul cât și volumul de memorie necesară. Tot în acest sens se poate aminti faptul că forma geometrică a secțiunii utilizate a sculei așchietoare este simplă, dreptunghiulară sau romboidală, ceea ce de asemenea duce la micșorarea duratei de calcul. Trebuie totuși subliniat că în cazul simulării uzurii sculelor multitaș, programul trebuie rulat pentru fiecare tăiș în parte, durata de calcul totală pentru scula combinată fiind dată de produsul dintre numărul de tășuri ale sculei combinate și durata rulării pentru o singură sculă.

Dață posibilitatea utilizării on-line a unui astfel de sistem de estimare este limitată, utilizarea off-line este lipsită de dezavantajele menționate.

Un astfel de model este deosebit de util în alegerea parametrilor ai sculelor combinate unde este necesară corelarea în vederea obținerii unor durabilități foarte apropiate dacă nu chiar egale, pentru toate tășurile sculei. Egalizarea durabilităților tășurilor sculei combinate este necesară (după cum s-a arătat în capitolele precedente) atât pentru optimizarea duratelor de schimbare a sculelor ,cât și a duratei încărcării magazinului de scule.

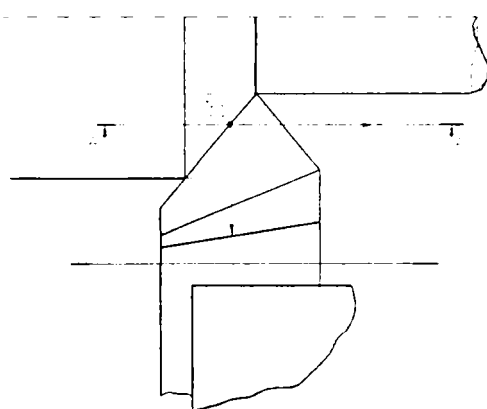
Pentru a satisface scopurile propuse atât pentru utilizarea on-line cât și off-line modelul trebuie să îndeplinească următoarele cerințe :

- să poată fi materializat sub formă de program de calculator;
- să descrie procesul de uzură abrazivă a sculelor așchietoare;
- să descrie procesul de uzură adezivă a sculelor așchietoare;
- să calculeze cu o precizie și rapiditate satisfăcătoare tensiunile mecanice care iau naștere în materialul sculei în timpul prelucrării;
- să posede posibilitatea de aplicare atât a unor forțe calculate pentru anumite condiții de așchiere cât și a forțelor achiziționate în procese reale;
- să poată afișa diagramele de eforturi și deplasări ale sculelor studiate;
- să poată afișa diagramele de uzură comparative pentru scule combinate cu două sau trei tăișuri
- să poată afișa curbele de dependență a forțelor de așchiere în funcție de parametrii procesului, măsurate experimental, prin prelucrarea semnalelor achiziționate de la traductoare de forțe.
- să poată trasa și memora curbele de etalonare a traductoarelor de forță.

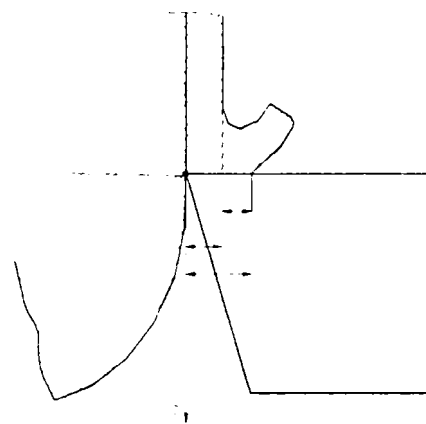
### 5.3. Stabilirea condițiilor modelării

#### 5.3.1. Definirea geometrică a locului modelării

Modelarea procesului uzurii sculei se realizează într-o secțiune prin corpul cuțitului după un plan format de direcția de avans și direcția mișcării principale de așchiere. Notăția convențională a axelor după care sunt definite componentele forței de așchiere, precum și planul secțiunii A-A, sunt prezentate în figurile 5.3 și 5.4



**Figura 5.3.** Definirea secțiunii adoptate ca domeniu de modelare



**Figura 5.4.** Definirea distanțelor pe care acționează încărcările

Modelul procesului de uzare este definit pe o suprafață plană arătată în secțiunea A-A din figura 5.3 respectiv 5.4. Este acceptabil să se considere că în suprafețele paralele cu aceasta procesul de uzură se desfășoară similar [P20], intrucât diferențele dintre condițiile de așchiere în lungul tăișului sunt ne semnificative, mai ales în așchiera de degroșare unde, adâncimea de așchiere este mult mai mare decât grosimea așchiei.

### 5.3.2. Stabilirea domeniului de analiză

Se consideră că forțele normale pe fața de degajare,  $F_z$ , (în figura 5.5. -  $N_a$ ), acționează pe lungimea "2a" egală cu de două ori mărimea avansului, notată în figura 5.5 cu "a"

Lungimea zonei de contact a așchiei cu fața de degajare are mărimea 3a. Pe aceasta lungime acționează forțele tangențiale la suprafața de degajare, adică forțele de frecare ( $T_a$ ). Forțele de frecare dintre sculă și piesă ( $T_b$ ), acționează pe fața de așezare pe o lungime "b", egală cu mărimea uzurii pe fața de așezare (notată VB conform standardelor). Această lungime crește pe măsura creșterii uzurii.

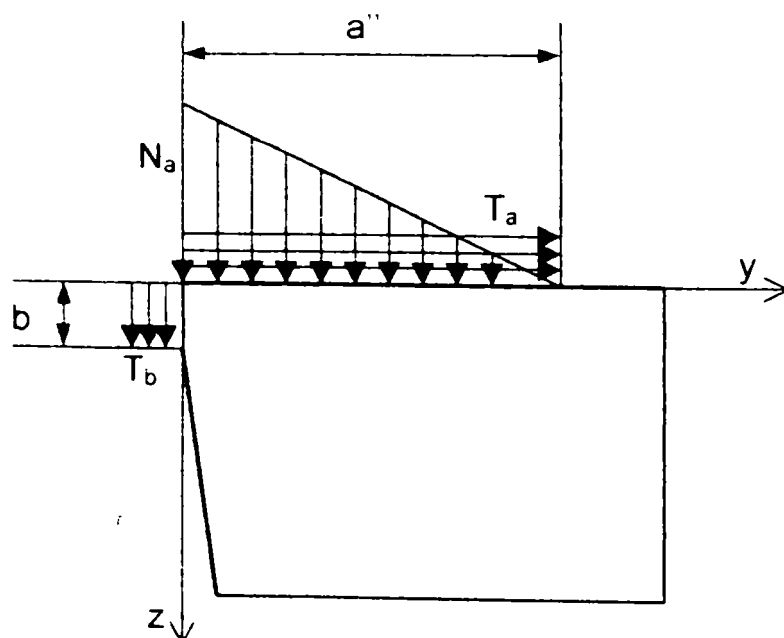


Figura 5.5. Distribuția încărcărilor pe modelul sculei

### 5.3.3. Alegerea tipului de element finit

Pentru simularea uzurii s-a ales un tip de element finit triunghiular, recomandat pentru rezolvarea problemelor plane, cu laturi drepte și noduri în colțuri.

Funcția de interpolare folosită permite determinarea câmpului de deplasări din interiorul fiecărui element. Ținând cont de faptul că deplasările variază liniar în interiorul lui, în orice direcție, rezultă că laturile rămân drepte și după deformare.

O altă particularitate a tipului de element finit ales este că matricea rigidităților are aceleași componente, ceea ce determină ca deformațiile și tensiunile să rămână constante în interiorul elementului considerat. Acesta poartă numele de CST ("Constant Stress Triangle" = triunghi cu tensiune constantă). Tipul de element finit ales conferă metodei o precizie satisfăcătoare în condițiile în care discretizarea este suficient de fină.

Descrierea metodologiei de calcul, este prezentată în paragraful 5.3.

### 5.3.4. Condiții de frontieră.

Ținând cont de faptul că fenomenul studiat (uzura), este localizat la vârful sculei pe o distanță relativ mică față de dimensiunile secțiunii corpului cuțitului, se consideră că nodurile aflate pe suprafețele opuse suprafețelor de degajare, respectiv de așezare, sunt fixate după ambele direcții de deplasare, figura 5.6.

Această tratare corespunde modului de fixare al sculelor în port cuțit.

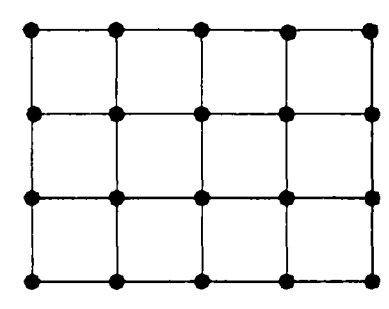


Figura 5.6. Reprezentarea condițiilor de rezemare

## 5.4. Calculul tensiunilor și deformațiilor

### 5.4.1. Introducere

Metoda elementelor finite este un procedeu relativ modern de calcul variațional. Conceptul său de bază, discretizarea mediului analizat, folosește avantajele utilizării calculatoarelor, pentru rezolvarea sistemelor de ecuații algebrice, la care conduce, în final, exprimarea matriceală a ecuațiilor fundamentale ale teoriei elasticității, elasto- plasticității sau plasticității.

Prin discretizare se realizează substituirea solidului, compus dintr-o infinitate de puncte, printr-o structură formată dintr-un anumit număr de "elemente finite" interconectate într-un număr finit de noduri. Datorită acestei înlocuiri, în studiul stării de efort și deformație a corpului considerat, vor trebui definite și analizate numai un număr finit de mărimi caracteristice și ca atare nu mai este necesară folosirea funcțiilor pe care le utilizează mecanica mediilor continue pentru a putea reprezenta aceste mărimi în toate punctele solidului.

Determinarea deplasărilor, eforturilor sau deformațiilor în nodurile "structurii" create de rețeaua fictivă de discretizare se poate face cu ajutorul metodelor matriceale de calcul a structurilor, care față de cele clasice, prezintă avantajul unei exprimări simple și a unui mod de organizare al calculului deosebit de eficace cu ajutorul calculatoarelor electronice.

Admitând o comportare liniară a corpului, ecuația fundamentală a metodei elementelor finite dată de relația :

$$\underline{K} \cdot \underline{q} = \underline{R} \quad (5.1)$$

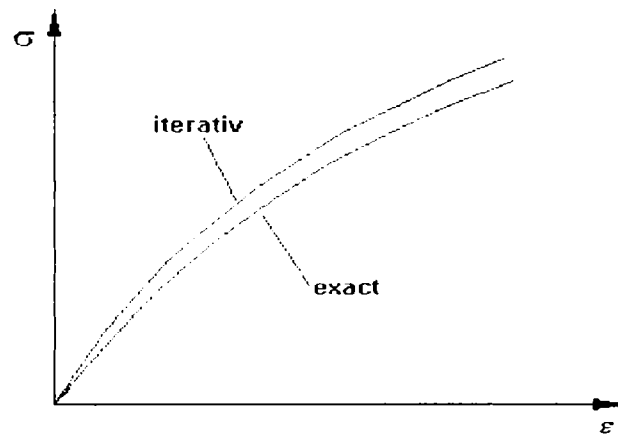
în care  $\underline{K}$  este matricea rigidităților,  $\underline{q}$  este vectorul deplasărilor iar  $\underline{R}$  este vectorul încărcărilor, ceea ce a condus la acceptarea drept ecuație constitutivă a legii generalizate a lui Hooke:

$$\underline{\sigma} = \underline{D}(\underline{\varepsilon} - \underline{\varepsilon}_0) + \underline{\varepsilon}_0 \quad (5.2)$$

unde  $\underline{\sigma}$  este vectorul tensiunilor,  $\underline{\varepsilon}$  este vectorul deformațiilor  $\underline{D}$  este matricea de elasticitate iar  $\underline{\varepsilon}_0$  este vectorul deplasărilor inițiale. În cazul problemelor neliniare (de exemplu comportarea elasto- plastică) nu poate fi încadrată într-o lege liniară, ci una de forma:

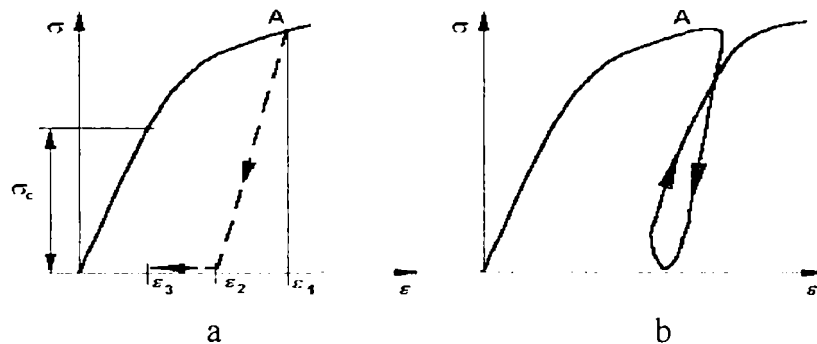
$$F(\underline{\sigma} \cdot \underline{\varepsilon}) = 0 \quad (5.3)$$

Pentru a se obține valori cât mai apropiate de cele reale obținute din relația (5.2) parametrii relației (5.1) se modifică în diversele etape de calcul. Dacă se corectează matricea de rigiditate, metoda se numește a rigidității variabile; dacă se operează asupra lui  $\underline{\varepsilon}_0$  sau  $\underline{\sigma}_0$  avem de-a face cu metoda deformațiilor sau eforturilor unitare inițiale.



**Figura 5.7** Graficul funcției  $\sigma(\varepsilon)$  pentru o comportare neliniară

Un interes deosebit în teoria plasticității îl prezintă curba caracteristică reprezentată în coordonate tensiune reală  $\sigma_{\text{real}}$  - deformație reală  $\varepsilon_r$ . O curbă caracteristică tensiune reală - deformație specifică reală pentru un metal tipic tenace este reprezentată în figura 5.7. Legea lui Hooke este reprezentată până la limita de curgere  $\sigma_c$ .



**Figura 5.8** Graficul real al funcției tensiune- deformație

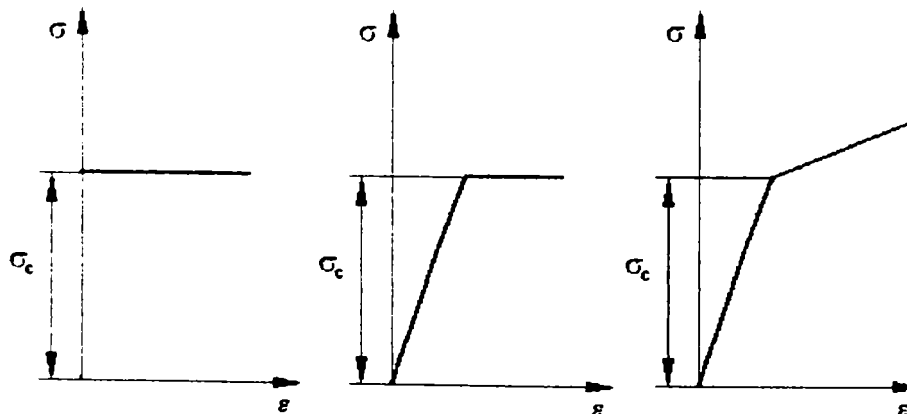
Dacă se depășește  $\sigma_c$ , metalul va căpăta deformații plastice mari. În această zonă majoritatea metalelor se ecrusează, astfel că pentru a crește deformația specifică este necesară aplicarea unei tensiuni care să depășească pe  $\sigma_c$ . Spre deosebire de comportarea din zona de deformare elastică, tensiunea și deformația specifică nu sunt legate printr-o constantă simplă de proporționalitate. Dacă metalul este solicitat până în punctul A al curbei caracteristice, atunci când acțiunea sarcinii



încetează deformarea specifică totală va scădea imediat de la  $\varepsilon_1$  la  $\varepsilon_2$ . Variația de deformare  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$  este deformația elastică de restaurare.

Deformația specifică care rămâne, nu este în întregime deformația plastică. În funcție de natura materialului și temperatură, o mică parte din deformația plastică  $\varepsilon_2 - \varepsilon_3$  va dispărea cu timpul, fenomen cunoscut sub denumirea de comportare ne elastică. În mod obișnuit, deformația ne elastică este neglijată în teoria matematică a plasticității.

Forma graficului funcției tensiune – deformație specifică, corespunzând descărcării unei epruvete solicitate în domeniul de deformare plastică, nu va fi exact liniară și paralelă cu porțiunea elastică a curbei (figura 5.8,b). În teoria plasticității se neglijează, în general, fenomenul de histerezis ce rezultă atunci când un metal este descărcat, după ce a fost deformat plastic și apoi încărcat din nou. Curba caracteristică trasată în coordonate tensiune reală – deformație specifică reală este adeseori numită curbă de curgere, deoarece ea dă tensiunile necesare pentru a face ca un metal să prezinte fenomenul de curgere plastică până la o deformație specifică dată reprezintă grafic relația (5.1). Ea poate duce la apariția unor calcule complicate, atunci când ea este utilizată împreună cu ecuațiile teoriei plasticității. De aceea se obișnuiește să se înlocuiască graficul de curgere real cu graficul de curgere schematizat (figura 5.9), care conduc la o simplificare a expresiilor matematice, fără însă a se îndepărta prea mult de fenomenul fizic.



**Figura 5.9** - Graficele schematizate de curgere: a) material perfect plastic ;  
 b) material perfect plastic cu o deformare elastică ;  
 c) material cu comportări elastice și plastice liniare.

Etapele de bază care conduc la rezolvarea unor probleme din teoria plasticității folosind metoda elementului finit sunt:

1. Discretizarea ansamblului, adoptându-se pentru fiecare porțiune a sa elementele finite cu formele și proprietățile cele mai adecvate.
2. Alegerea funcției de interpolare, care să asigure convergența și compatibilitatea soluției.
3. Determinarea matricelor de rigiditate elementelor și a vectorului încărcării.
4. Asamblarea matricelor de rigiditate ale elementelor structurii și a vectorului coloană a tuturor încărcărilor acesteia.
5. Dezvoltarea sistemului de ecuații pentru obținerea vectorului deplasărilor nodale  $q$  ale structurii.
6. Determinarea deplasărilor nodale elementare.
7. Determinarea deformațiilor specifice " $\varepsilon$ ".
8. Determinarea vectorului eforturilor elementare  $\sigma$ .
9. Recalcularea matricilor de rigiditate
10. Reluarea ciclului de la punctul 4.

În această succesiune vor fi abordate etapele de calcul ale tensiunilor ce apar la prelucrarea prin așchiere a suprafețelor exterioare, în sculele așchietoare.

#### **5.4.2. Definirea parametrilor metodei**

##### *5.4.2.1. Discretizarea în elemente finite*

Metoda elementului finit este un procedeu de discretizare prin care sistemul de ecuații al teoriei elasto-plasticității, având un număr infinit de grade de libertate, poate fi transformat într-un sistem finit de ecuații aproximative. Această transformare se realizează prin discretizarea, cu ajutorul unei rețele fictive, a corpului deformabil analizat. Elementele finite care rezultă, se consideră legate între ele numai în nodurile rețelei, iar deplasările generalizate ce se produc în aceste puncte ale corpului constituie gradele de libertate ale problemei și ca atare necunoscutele sistemului finit.

Prin această aproximare de natură fizică se realizează o schimbare cantitativă a problemei, analiza corpului complex reducându-se la studiul elementelor componente ale structurii rezultate prin discretizarea sa. Elementele sunt tot corpuri

continue, dar având o formă simplă pot fi mai ușor modelate pe baza unor legi convenționale privitoare la distribuția deplasărilor.

Există posibilitatea de a varia gradul de exactitate al rezultatelor alegând în mod corespunzător mărimea elementelor. Cu cât acestea sunt mai mici și deci desimea nodurilor mai mare, cu atât se obține o modelare mai apropiată de realitate a stării de eforturi.

O discretizare mai fină are însă dezavantajul sporirii importante a volumului de date ce trebuie înmagazinate de calculator și deci a timpului de prelucrare al lor. În consecință este indicat să se gradeze mărimea elementelor îndesându-le în zonele de concentrare a eforturilor și prevăzându-le mai mari acolo unde distribuția acestora variază mai lent.

Tehnicile de discretizare în probleme elasto-plastice urmăresc aceleași procedee ca și în cazul elasticității. În cazul unei structuri plane (figura 5.10), divizată în triunghiuri fiecare nod are două grade de libertate (deplasări nodale) astfel încât fiecare element finit triunghiular are șase grade de libertate.

Legat de operația de discretizare, o problemă deosebit de importantă este numerotarea nodurilor rețelei. Dimensiunile sistemului de ecuații algebrice la care conduce operația de asamblare a elementelor finite depinde nu numai de dimensiunile matricelor de rigiditate a elementelor finite componente ci și de numărul și modul de numerotare a nodurilor rețelei. Se va urmări realizarea unei diferențe minime între numerele de ordin a două noduri vecine.

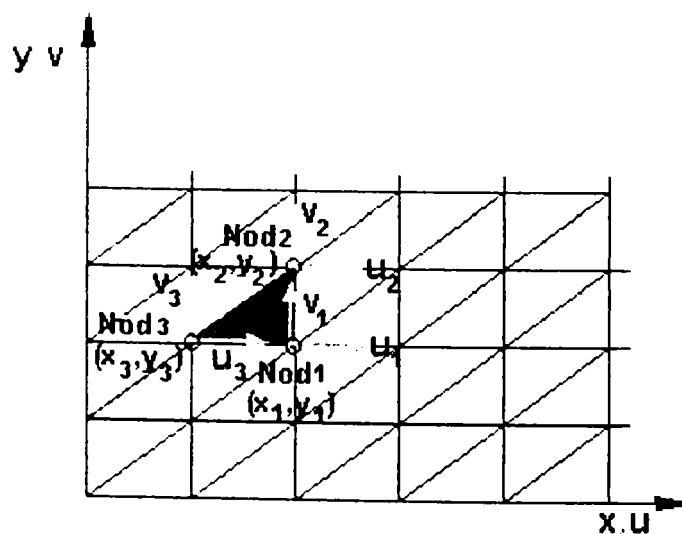


Figura 5.10. Discretizarea în elemente triunghiulare

În cazul unei numerotări corecte se constată că sistemul de ecuații de forma (5.1) are o structură în bandă. Aceasta este una din particularitățile metodei

elementului finit și ea stă la baza procedeeleor de rezolvare a sistemului de ecuații și la cea a algoritmului de condensare a sa. Ea conduce la obținerea dintr-o matrice pătrată a unei dreptunghiulare, în care coeficienții principali ocupă prima coloană, iar celelalte coloane conțin coeficienți secundari diferiți de zero. Rezultă, prin urmare, că pentru o anumită structură lățimea de bandă poate diferi în limite foarte largi în funcție de ordinea aleasă, pentru numerotarea în ordine. Există astfel interesul de a alege o ordine de numerotare care să conducă la o grupare cât mai condensată a coeficienților secundari diferiți de zero în jurul diagonalei, obținându-se o lățime minimă de bandă și deci un spațiu minim necesar memorizării sale de către calculator. Plecând de la aceste considerente, în figura 5.11 este reprezentată discretizarea unei porțiuni din scula așchiitoare în apropierea suprafeței acesteia.

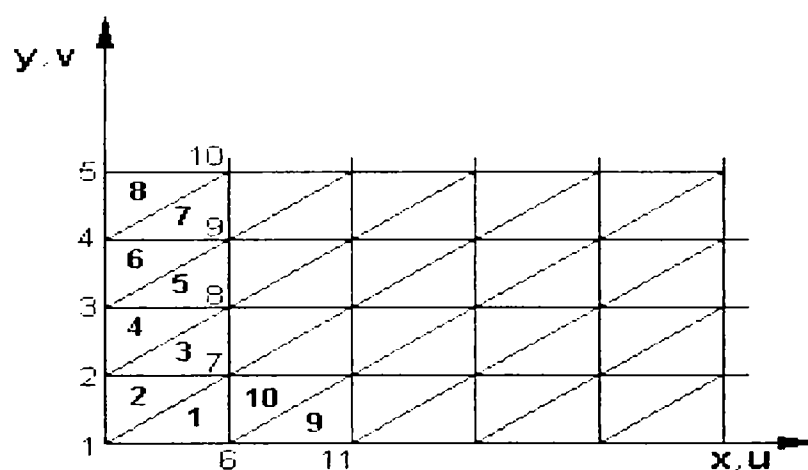


Figura 5. 11 Discretizarea unei porțiuni din scula așchiitoare aflată în apropierea suprafeței acesteia.

#### 5.4.2.2. Funcția de interpolare

Pentru ca metoda elementului finit să conducă la o soluție cât mai apropiată de cea exactă, este necesar ca șirul rezultatelor, obținute prin aplicarea acestui procedeu unor elemente invariante ca formă dar tot mai mici ca dimensiuni, să fie convergent. Aceasta înseamnă că legea adoptată pentru câmpul deplasărilor și care reprezintă singurul element convențional al problemei, trebuie să fie capabilă să asigure această convergență. Condiția, necesară și suficientă, de asigurare a continuității atât în element, cât și pe conturul acestuia, a tuturor componentelor sale (adică a deplasărilor propriu-zise, precum și a primelor lor derivate), pe care trebuie să o îndeplinească legea de variație admisă pentru câmpul deplasărilor în interiorul elementului este satisfăcută dacă dezvoltarea polinomială considerată pentru a

exprima acest câmp cuprinde un set complet de funcții. Pentru a fi complet polinomul trebuie să aibă un număr de coeficienți arbitrari egal cu numărul parametrilor caracteristici ai elementelor. Pentru elementele cu noduri în colțuri, așa numitele elemente liniare, sunt suficienți termenii liniari ai polinomului.

Pentru exprimarea câmpului deplasărilor se folosesc dezvoltări polinomiale. Elementele triunghiulare pot aproxima cel mai bine zonele unui corp în preajma unui contur variabil. Triunghiul, cu trei noduri în colțuri (figura 5.12), corespunde din punct de vedere al aproximării câmpului deplasărilor  $u^s$  dintr-un punct P interior elementului s, unei dezvoltări polinomiale liniare (ordinul I) care sub formă explicită este:

$$\begin{cases} u_s(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x_p + \alpha_3 y_p \\ v_s(x, y) = \beta_1 + \beta_2 x_p + \beta_3 y_p \end{cases} \quad (5.4)$$

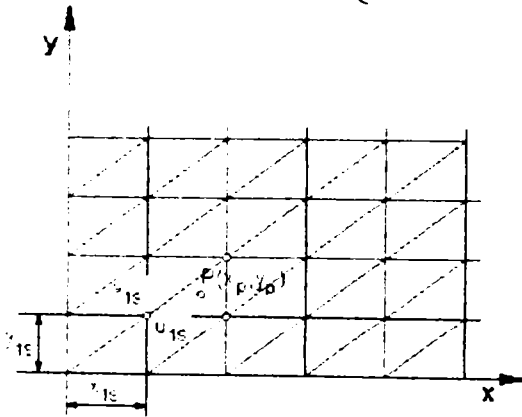


Figura 5.12 Deplasările nodurilor

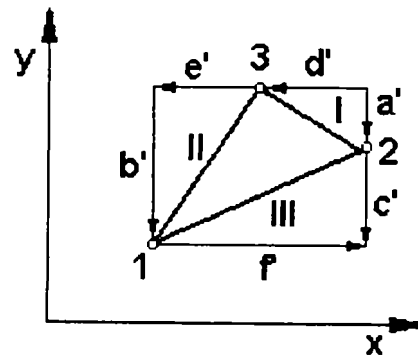


Figura 5.13 Proiecțiile laturilor triunghiului pe axe de coordonate

Utilizând condițiile de margine oferite de cele trei noduri, avem:

$$\begin{cases} u_{is} = \alpha_1 + \alpha_2 x_{is} + \alpha_3 y_{is} \\ v_{is} = \beta_1 + \beta_2 x_{is} + \beta_3 y_{is} \end{cases} \quad (5.5)$$

unde  $i=1,2,3$  iar  $s=1-NR$ ; NR reprezentând numărul de elemente ale structurii. Se obține astfel sistemul de ecuații necesar determinării necunoscutelor.

Notând proiecțiile laturilor triunghiulare pe axe de coordonate (figura 5.13)

cu:

$$\begin{cases} y_{2s} - y_{3s} = a'_s, & y_{3s} - y_{1s} = b'_s, & y_{1s} - y_{2s} = c'_s \\ x_{3s} - x_{2s} = d'_s, & x_{1s} - x_{3s} = e'_s, & x_{2s} - x_{1s} = f'_s \end{cases} \quad (5.6.a)$$

iar cu:

$$g'_s = x_{2s}y'_{3s} - x_{3s}y'_{2s}, \quad h'_s = x_{3s}y'_{1s} - x_{1s}y'_{3s}, \quad k'_s = x_{1s}y'_{2s} - x_{2s}y'_{1s}$$

și de asemenea aria triunghiului cu:

$$\Delta s = \frac{1}{2} \cdot \begin{vmatrix} 1 & x_{1s} & y_{1s} \\ 1 & x_{2s} & y_{2s} \\ 1 & x_{3s} & y_{3s} \end{vmatrix} \quad (5.6.b)$$

se obține:

$$\underline{q}(x, y)^s = \begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix}^s = [N]^s \underline{\delta}^s = [N_1 \ N_2 \ N_3]^s \cdot \underline{\delta}^s \quad (5.7)$$

în care [I] este matricea unitate  $\equiv \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ , iar funcțiile de interpolare au

expresiile:

$$\begin{cases} N_1 = \frac{1}{2\Delta s} (g + a'x + d'y) \\ N_2 = \frac{1}{2\Delta s} (h + b'x + e'y) \\ N_3 = \frac{1}{2\Delta s} (k + c'x + f'y) \end{cases} \quad (5.8)$$

Pentru simplificarea relațiilor de calcul se alege un sistem local de coordonate, în așa fel încât să se anuleze cât mai multe dintre coordonatele nodurilor elementului, urmând ca înaintea asamblării tuturor elementelor să se facă automat, de către calculator, transformarea prin rotire a acestor sisteme de axe în sistemul global.

#### 5.4.2.3. Determinarea matricei de rigiditate elementare

Matricea de rigiditate reprezintă caracteristica globală a unui element finit, folosit în studiul stării de eforturi și deformații a corpului analizat. Numărul deplasărilor nodale ale structurii în vectorul  $\underline{q}$  corespunde cu numărul gradelor de libertate al întregului sistem structural, la rândul său, acest număr este egal cu suma gradelor de libertate ale tuturor punctelor nodale ale sistemului. Metoda utilizată este cea a deplasărilor, în care deplasările nodale sunt necunoscutele problemei. Deplasările nodale  $\underline{\delta}^s$  elementare sunt necunoscutele problemei:

$$\underline{\delta}^s = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

în care cu litera  $u$  sunt notate deplasările în direcția  $x$ , iar cu  $v$  sunt exprimate deplasările în direcția  $y$ . În funcție de aceste deplasări nodale se exprimă câmpul  $\underline{q}^s$  al deplasărilor. Se utilizează următoarea exprimare:

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha \\ \alpha \\ \beta \\ \beta \\ \beta \end{bmatrix} = [N] \cdot \underline{\delta}^s \quad (5.10)$$

în care  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  sunt valori constante, iar  $\underline{N}$  reprezintă o matrice ce definește natura câmpului deplasărilor. Valorile constantelor  $\alpha_i, \beta_i$  sunt calculate folosind coordonatele și deplasările nodale, respectiv prin rezolvarea următorului sistem de ecuații cu șase necunoscute:

$$\begin{cases} u_{1s} = \alpha_1 + \alpha_2 x_{1s} + \alpha_3 y_{1s} \\ u_{2s} = \alpha_1 + \alpha_2 x_{2s} + \alpha_3 y_{2s} \\ u_{3s} = \alpha_1 + \alpha_2 x_{3s} + \alpha_3 y_{3s} \\ v_{1s} = \beta_1 + \beta_2 x_{1s} + \beta_3 y_{1s} \\ v_{2s} = \beta_1 + \beta_2 x_{2s} + \beta_3 y_{2s} \\ v_{3s} = \beta_1 + \beta_2 x_{3s} + \beta_3 y_{3s} \end{cases} \quad (5.11)$$

Sub formă matriceală expresiile deplasărilor nodale devin:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}^s = \begin{bmatrix} 1 & x_{1s} & y_{1s} \\ 1 & x_{2s} & y_{2s} \\ 1 & x_{3s} & y_{3s} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} \quad \text{și} \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}^s = \begin{bmatrix} 1 & x_{1s} & y_{1s} \\ 1 & x_{2s} & y_{2s} \\ 1 & x_{3s} & y_{3s} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}$$

încât notând cu  $\underline{A}$  matricea:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & x_{1s} & y_{1s} \\ 1 & x_{2s} & y_{2s} \\ 1 & x_{3s} & y_{3s} \end{bmatrix}$$

expresiile deplasărilor nodale sunt:

$$\underline{u}_i^s = \underline{A} \cdot \underline{\alpha}_i,$$

$$\underline{v}_i^s = \underline{A} \cdot \underline{\beta}_i.$$

Prin inversare se obține:

$$\begin{aligned} \underline{\alpha}_i &= \underline{A}^{-1} \cdot \underline{u}_i^s \\ \underline{\beta}_i &= \underline{A}^{-1} \cdot \underline{v}_i^s \end{aligned} \quad (5.12)$$

în care:

$$\underline{A}^{-1} = \frac{\underline{A}^*}{\underline{A}} = \frac{1}{2\Delta s} \begin{bmatrix} x_2 y_3 - x_3 y_2 & x_3 y_1 - x_1 y_3 & x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ y_2 - y_3 & y_3 - y_1 & y_1 - y_2 \\ x_3 - x_2 & x_1 - x_3 & x_2 - x_1 \end{bmatrix}$$

Introducerea expresiilor (5.12) în (5.10) și re aranjarea termenilor produce fie  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ , fie matricea  $\underline{N}$  după cum urmează:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\Delta s} \cdot \underline{M}, \quad (5.13)$$

respectiv:

$$\underline{N} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} = \frac{1}{2\Delta s} \cdot \underline{M}, \quad (5.14)$$

în care:

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} x_{2s} y_{3s} - x_{3s} y_{2s} & 0 & x_{3s} y_{1s} - x_{1s} y_{3s} & 0 & x_{1s} y_{2s} - x_{2s} y_{1s} & 0 \\ y_{2s} - y_{3s} & 0 & y_{3s} - y_{1s} & 0 & y_{1s} - y_{2s} & 0 \\ x_{3s} - x_{2s} & 0 & x_{1s} - x_{3s} & 0 & x_{2s} - x_{1s} & 0 \\ 0 & x_{2s} y_{3s} - x_{3s} y_{2s} & 0 & x_{1s} - x_{3s} & 0 & x_{2s} - x_{1s} \\ 0 & y_{2s} - y_{3s} & 0 & y_{3s} - y_{1s} & 0 & y_{1s} - y_{2s} \\ 0 & x_{3s} - x_{2s} & 0 & x_{3s} y_{1s} - x_{1s} y_{3s} & 0 & x_{1s} y_{2s} - x_{2s} y_{1s} \end{bmatrix}$$

În cazul problemei plane (tensiuni plane), vectorul deformațiilor specifice notat prin  $\underline{\varepsilon}(x, y)$  are forma:

$$\underline{\varepsilon}(x, y) = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$



unde  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  sunt deformațiile după direcția  $O_x$  respectiv  $O_y$ , iar  $\gamma_{xy}$  sunt deformațiile de forfecare și se definesc prin:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\hat{u}}{\hat{c}x} \\ \varepsilon_y = \frac{\hat{v}}{\hat{c}y} \\ \gamma_{xy} = \frac{\hat{u}}{\hat{c}y} + \frac{\hat{v}}{\hat{c}x} \end{cases} \quad (5.16)$$

care ținând seama de relațiile (5.10) pot fi scrise astfel:

$$\varepsilon_x = \alpha_1 \quad \varepsilon_y = \beta_1 \quad \gamma_{xy} = \alpha_2 + \beta_2 \quad (5.17)$$

Deformațiile specifice pentru elementul  $s$  astfel obținut au expresiile:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{2\Delta_s} \cdot [u_{1s}(y_{2s} - y_{3s}) + u_{2s}(y_{3s} - y_{1s}) + u_{3s}(y_{1s} - y_{2s})] \\ \varepsilon_y = \frac{1}{2\Delta_s} \cdot [v_{1s}(x_{3s} - x_{2s}) + v_{2s}(x_{1s} - x_{3s}) + v_{3s}(x_{2s} - x_{1s})] \\ \gamma_{xy} = \frac{1}{2\Delta_s} [u_{1s}(y_{2s} - y_{3s}) + u_{2s}(y_{3s} - y_{1s}) + u_{3s}(y_{1s} - y_{2s}) + v_{1s}(x_{3s} - x_{2s}) + v_{2s}(x_{1s} - x_{3s}) + v_{3s}(x_{2s} - x_{1s})] \end{cases} \quad (5.18)$$

unde s-a notat prin  $\Delta_s$  aria triunghiului  $s$  dată de relația (5.6,b). Având în vedere notațiile (5.6,a), relațiile (5.18) devin:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{2\Delta_s} (u_{1s}a' + u_{2s}b' + u_{3s}c') \\ \varepsilon_y = \frac{1}{2\Delta_s} (v_{1s}d' + v_{2s}e' + v_{3s}f') \\ \gamma_{xy} = \frac{1}{2\Delta_s} (u_{1s}d' + u_{2s}e' + u_{3s}f' + v_{1s}a' + v_{2s}b' + v_{3s}c') \end{cases} \quad (5.19)$$

Notând cu  $\underline{B}$  matricea:

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} y_{2s} - y_{3s} & 0 & y_{3s} - y_{1s} & 0 & y_{1s} - y_{2s} & 0 \\ 0 & x_{3s} - x_{2s} & 0 & x_{1s} - x_{3s} & 0 & x_{2s} - x_{1s} \\ x_{3s} - x_{2s} & x_{1s} - x_{3s} & x_{2s} - x_{1s} & y_{2s} - y_{3s} & y_{3s} - y_{1s} & y_{1s} - y_{2s} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{2\Delta_s} \quad (5.20)$$

se poate scrie:

$$\underline{\varepsilon}(x, y)^s = \underline{B} \cdot \underline{\delta}^s \quad (5.21)$$

Relația (5.21) exprimă deformațiile specifice funcție de deplasările nodale elementare.

Diferența principală față de problemele din elasticitate unde procedeul urmează metodele clasice constă în faptul că o relație explicită de forma  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  nu mai este valabilă. De asemenea tensiunile pentru orice nivel al deformației trebuie să fie situate pe suprafața de curgere.

Ecuția generală a suprafeței de curgere în funcție de tensiunile  $\underline{\sigma}$ , deformațiile plastice  $\underline{\varepsilon}_p$  și parametrul de consolidare  $k$  este:

$$F(\underline{\sigma}, \underline{\varepsilon}_p, k) = 0 \quad (5.22)$$

Această ecuație poate fi privită ca o suprafață în spațiul  $n$  dimensional al eforturilor cu poziția suprafeței dependentă de valoarea instantanee a parametrului  $k$  (figura 5.14).

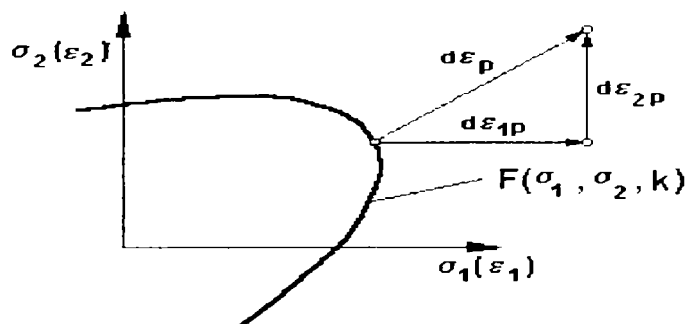


Figura 5.14 Suprafața de curgere și criteriul normalității în spațiul bidimensional al eforturilor

**Von Mises [D4], [H3]** a sugerat primul relația structurală de bază ce definește creșterile deformațiilor plastice în raport cu suprafața de curgere. Dacă  $d\underline{\varepsilon}_p$  indică creșterea deformației plastice, atunci:

$$d\underline{\varepsilon}_p = \lambda \frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} \quad (5.23)$$

sau pentru orice componentă  $n$ :

$$d\varepsilon_{np} = \lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_n} \quad (5.24)$$

unde  $\lambda$  reprezintă o constantă de proporționalitate. Relația (5.23) este cunoscută sub numele de principiul normalității.

O reducere a restricției legii de mai sus poate fi obținută prin specificarea unui potențial plastic:

$$Q = Q(\underline{\sigma}, \underline{\varepsilon}_p, K) \quad (5.25)$$

care definește creșterile deformațiilor plastice, și anume:

$$d\underline{\varepsilon}_p = \lambda \frac{\partial Q}{\partial \underline{\sigma}} \quad (5.26)$$

Cazul particular când  $Q \equiv F$  este cunoscut ca "plasticitate asociată".

La creșterea eforturilor deformația totală se împarte în elastică și plastică:

$$d\underline{\varepsilon} = d\underline{\varepsilon}_e + d\underline{\varepsilon}_p \quad (5.27)$$

unde:

$$d\underline{\varepsilon}_e = \underline{D}^{-1} \cdot d\underline{\sigma} \quad (5.28)$$

iar  $\underline{D}$  este matricea de elasticitate.

Pentru creșteri ale deformației plastice  $d\underline{\varepsilon}_p$  se consideră potențialul plastic unde este aplicabil principiul normalității:

$$Q(\underline{\sigma}, \underline{\varepsilon}_p, k) = 0 \quad (5.29)$$

considerând:

$$F \equiv Q \quad (5.30)$$

În timpul deformării plastice este valabilă legea normalității:

$$d\underline{\varepsilon}_p = d\lambda \cdot \underline{a}^* \quad (5.31,a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \underline{\sigma}} = \underline{a}^* = \frac{\partial Q}{\partial \sigma_x}, \frac{\partial Q}{\partial \sigma_y}, \dots \quad (5.31,b)$$

Vectorul  $\underline{a}^*$  definește direcția curgerii la orice stare de tensiuni și  $d\lambda$  este un multiplicator plastic nedeterminat.

Diferențiind relația (5.22) se obține:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} d\underline{\sigma} + \frac{\partial F}{\partial k} dk + \frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p} d\underline{\varepsilon}_p = 0 \quad (5.32)$$

Introducând:

$$\frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} = \underline{a}^T = \frac{\partial F}{\partial \sigma_x}, \dots \quad (5.33,a)$$

și:

$$A = -\frac{1}{d\lambda} \left( \frac{\partial F}{\partial k} dk + \frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p} d\underline{\varepsilon}_p \right) \quad (5.33,b)$$

și relația (5.32) devine:

$$\underline{a}^T d\underline{\sigma} - Ad\underline{\lambda} = 0 \quad (5.34)$$

Substituind (5.28) și (5.33,b) în (5.29) se obține:

$$d\underline{\varepsilon} = \underline{D}^{-1} d\underline{\sigma} + d\underline{\lambda} \cdot \underline{a}^* \quad (5.35)$$

Înmulțind relația (5.35) prin  $\underline{d}^T = \underline{a}^T$  și eliminând  $\underline{a}^T d\underline{\sigma}$  prin ecuația (5.34) se obține:

$$\underline{d}^T \cdot d\underline{\varepsilon} = Ad\underline{\lambda} + d\underline{\lambda} \cdot \underline{\beta}^* \quad (5.36)$$

unde:  $\underline{\beta}^* = \underline{a}^T \cdot \underline{d}^*$  și  $\underline{d}^* = \underline{D} \cdot \underline{a}^*$ .

Ecuația (5.36) dă multiplicatorul plastic:

$$d\underline{\lambda} = (A + \underline{\beta}^*)^{-1} \cdot \underline{d}^T \cdot d\underline{\varepsilon} \quad (5.37)$$

și substituind (5.37) în (5.35) se obține:

$$d\underline{\sigma} = (\underline{D} - \underline{D}_p) d\underline{\varepsilon} = \underline{D}_{ep} \cdot d\underline{\varepsilon} \quad (5.38)$$

unde:  $\underline{D}_p = (A + \underline{\beta}^*)^{-1} \underline{d}^* \cdot \underline{d}^T$

Rezultă deci:

$$\underline{D}_p \cdot d\underline{\varepsilon} = d\underline{\lambda} \cdot \underline{d}^* = d\underline{\sigma}_p \quad (5.39,a)$$

$$\underline{D} d\underline{\varepsilon} = d\underline{\sigma}_e \quad (5.39,b)$$

$$d\underline{\sigma} = d\underline{\sigma}_e - d\underline{\sigma}_p \quad (5.39,c)$$

Ecuația (5.39,c) are importanță fundamentală privind plasticitatea asociată.

Pentru plasticitatea asociată:

$$\underline{a}^* = \underline{a}, \quad \underline{d}^* = \underline{d}, \quad \underline{\beta}^* = \underline{\beta} = \underline{a}^T \cdot \underline{D} \cdot \underline{a}$$

În acest caz  $\underline{D}_{ep}$  este pozitiv definită când A este pozitiv și semidefinită când A=0. Matricea elasto- plasticității  $\underline{D}_{ep}$  ia locul matricii elasticității  $\underline{D}$  din domeniul elasticității.

Se poate astfel scrie:

$$\underline{\sigma} = \underline{D}_{ep} \cdot \underline{\varepsilon} \quad (5.40)$$

Având în vedere relația (5.15), relația (5.40) devine:

$$\underline{\sigma} = \underline{D}_{ep} \cdot \underline{B} \cdot \underline{\delta} \quad (5.41)$$

Legătura între tensiunile interioare și încărcările exterioare se realizează utilizând principiul lucrului mecanic virtual. Presupunând un corp elastic în stare de echilibru acționat de forța masică  $\gamma$  (definită pe unitatea de volum) și de forța distribuită p (definită pe unitatea de suprafață), principiul lucrului mecanic virtual enunță egalitatea lucrului mecanic virtual al acestor acțiuni cu energia de deformație virtuală în condițiile compatibilității deplasărilor virtuale cu legăturile corpului elastic.

Pentru un element finit triunghiular plan, această relație dintre tensiuni și forțele de încărcare este dată de expresia:

$$\left[ \iint_{\Omega} \underline{B}^T \cdot \underline{D} \cdot \underline{B} \cdot h \cdot dx \cdot dy \right] \cdot \underline{\delta}^s = \underline{R}^s \quad (5.42)$$

unde:

$$\underline{R}^s = \begin{bmatrix} R_{s1} \\ R_{s1} \\ R_{s2} \\ R_{s2} \\ R_{s3} \\ R_{s3} \end{bmatrix}$$

iar  $h$  este grosimea elementului și indică că integrala dublă se calculează pe triunghiul  $s$ . Având în vedere că matricile  $\underline{B}$  și  $\underline{D}$  nu depind de  $x$  și  $y$  integrala dublă din (5.42) se calculează direct prin:

$$h \iint_{\Omega} \underline{B}^T \underline{D} \cdot \underline{B} \cdot dx \cdot dy = h \Delta s \underline{B}^T \cdot \underline{D} \cdot \underline{B} = \underline{K}^s \quad (5.43)$$

Matricea  $\underline{K}^s$  reprezintă matricea de rigiditate a elementului  $s$  și în această notatie ecuația (5.42) devine:

$$\underline{K}^s \cdot \underline{\delta}^s = \underline{R}^s \quad (5.44)$$

Dacă pentru fiecare element se scrie o ecuație de tipul (5.44), atunci utilizând procesul de asamblare din metoda elementului finit se obține sistemul global pentru întreaga structură notat prin:

$$\underline{K} \cdot \underline{q} = \underline{R} \quad (5.45)$$

Dacă în sistemul (5.45), în care necunoscuta  $\underline{q}$ , care reprezintă deplasările nodale ale întregii structuri obținută prin triunghiulație, se impun condițiile la limită adecvate, se obține un sistem algebric prin a cărui rezolvare se obțin deplasările nodale interioare ale triunghiulației.

Calculul matricei elasto - plastice  $\underline{D}_{ep}$ , se face plecând de la relația (5.38):

$$\underline{D}_{ep} = \underline{D} - \underline{D}_p \quad (5.46)$$

unde:

$$\underline{D}_p = (A + \beta)^{-1} \underline{d} \cdot \underline{d}^T \quad (5.47)$$

respectiv:

$$\beta = \underline{a}^T \cdot \underline{D} \cdot \underline{a} \quad (5.48)$$

Pentru materiale izotropice este convenabil a se exprima suprafața de curgere și cea de potențial în funcție de invarianții tensiunii. În teoria plasticității vectorul tensiunii  $\underline{\sigma}$  se descompune în deviatorul tensiunii și componenta hidrostatică  $\sigma_m$  dată de relația:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (5.49)$$

Al doilea și al treilea invariant,  $J_2$ ,  $J_3$  ai deviatorului tensiunii (adică valorile lor sunt independente de sistemul de coordonate în raport cu care sunt date componentele deviatorului) sunt dați mai jos:

$$J_2 = \sigma^2 = \frac{1}{2}(S_x^2 + S_y^2 + S_z^2) + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{xy}^2 \quad (5.50)$$

și:

$$J_3 = S_x S_y S_z + 2\tau_{xy}^2 \tau_{yz}^2 \tau_{zx}^2 - S_x \tau_{yz}^2 - S_y \tau_{zx}^2 - S_z \tau_{xy}^2 \quad (5.51)$$

unde:

$$S_x = \sigma_x - \sigma_m; \quad S_y = \sigma_y - \sigma_m; \quad S_z = \sigma_z - \sigma_m.$$

Componentele principale ale deviatorului tensiunii sunt rădăcinile ecuației de gradul trei:

$$S^3 - J_2 S - J_3 = 0 \quad (5.52)$$

Această ecuație este similară cu identitatea trigonometrică:

$$\sin^3 \theta - \frac{3}{4} \sin \theta + \frac{1}{4} \sin 3\theta = 0 \quad (5.53)$$

Făcând substituția  $S = r \sin \theta$  în ecuația (5.52) se obține:

$$\sin^3 \theta - \frac{J_2}{r^2} \sin \theta - \frac{J_3}{r^3} = 0 \quad (5.54)$$

și identificând termenii rezultă:

$$r = \frac{2}{\sqrt{3}} J_2^{1/2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} \quad (5.55, a)$$

și:

$$\sin 3\theta = -\frac{4J_3}{r^3} = -\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{J_3}{\bar{\sigma}^3} \quad (5.56, b)$$

Prima rădăcină a ecuației (5.56.b) cu  $\theta_0$  determinat pentru  $3\theta$  în limitele  $\pm \frac{\pi}{2}$

este o alternativă convenabilă pentru invariantul al treilea  $J_3$ . Astfel:

$$\sigma_m \cdot \bar{\sigma} - \frac{\pi}{6} \leq \theta_0 \leq \frac{\pi}{6} \quad (5.57)$$

sunt alese să reprezinte invariantii tensiunilor.

Imediat apar trei valori posibile ale lui  $\sin \theta$  care dau trei tensiuni principale, notând ciclul natural al lui  $\sin(3\theta_0 + 2n\pi)$ . Cu limitarea impusă asupra lui  $\theta_0$ , se găsesc cele trei tensiuni principale:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{bmatrix} = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} \begin{bmatrix} \sin\left(\theta_0 + \frac{2}{3}\pi\right) \\ \sin \theta_0 \\ \sin\left(\theta_0 + \frac{4}{3}\pi\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_m \\ \sigma_m \\ \sigma_m \end{bmatrix} \quad (5.58)$$

cu  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .

Cu cei trei invarianti ai tensiunii  $\sigma_m, \bar{\sigma}, \theta_0$  se definește variația criteriului de curgere sub forma:

$$F(\sigma_m, \bar{\sigma}, \theta_0) = 0 \quad (5.59)$$

În continuare se admite ecuația suprafeței de curgere dată de **Von Mises** sub forma:

$$F = 3\bar{\sigma} - \gamma(k) = 0 \quad (5.60)$$

Plecând de la această expresie și având în vedere relația (5.41, a) se obține:

$$\frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} = \underline{a}^T = \frac{\partial F}{\partial \sigma_m} \cdot \frac{\partial \sigma_m}{\partial \underline{\sigma}} + \frac{\partial F}{\partial \bar{\sigma}} \cdot \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \underline{\sigma}} + \frac{\partial F}{\partial \theta_0} \cdot \frac{\partial \theta_0}{\partial \underline{\sigma}} \quad (5.61)$$

unde:

$$\underline{\sigma}^T = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}]$$

Diferențiind (5.56.b) se va obține:

$$\frac{\partial \theta_0}{\partial \underline{\sigma}} = -\frac{\sqrt{3}}{2 \cos 3\theta_0} - \frac{1}{\bar{\sigma}^3} \frac{\partial J_3}{\partial \underline{\sigma}} - \frac{3J_3}{\bar{\sigma}^4} \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \underline{\sigma}} \quad (5.62)$$

vectorul gradient  $\underline{a}$ , dat de relația (5.61) se scrie:

$$\underline{a} = \beta_1 \cdot \underline{a}_1 + \beta_2 \cdot \underline{a}_2 + \beta_3 \cdot \underline{a}_3 \quad (5.63)$$

unde vectorii  $\underline{a}_1$ ,  $\underline{a}_2$  și  $\underline{a}_3$  sunt derivatele funcțiilor  $\sigma_m, \bar{\sigma}, J_3$  în raport cu  $\underline{\sigma}$ :

$$\frac{\hat{\sigma}_m}{\hat{\sigma}} = \frac{1}{3}(1,1,1,0,0,0) \quad (5.64,a)$$

$$\frac{\hat{\sigma}^-}{\hat{\sigma}} = \frac{1}{2\sigma} [s_x, s_y, s_z, 2\tau_{yz}, 2\tau_{zx}, 2\tau_{xy}] \quad (5.64,b)$$

$$\begin{aligned} \frac{\hat{J}_3}{\hat{\sigma}} = & \left[ (s_y s_x - \tau_{yz})^2 (s_x s_z - \tau_{xz})^2 (s_x s_y - \tau_{xy})^2 (s_y s_x - \tau_{yz})^2, \right. \\ & \left. 2(\tau_{xz} \tau_{xy} - s_x \tau_{yz}) 2(\tau_{xy} \tau_{yz} - s_y \tau_{xz}) 2(\tau_{yz} \tau_{xz} - s_z \tau_{xy}) \right]^{1/2} \quad (5.64,c) \end{aligned}$$

Constantele  $\beta$  sunt funcții de suprafața de curgere adoptată. Pe baza relației (4.61) se va obține pentru problema plană:

$$\frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} = \underline{a}^T = \sqrt{3} \frac{J^{1/2}}{\hat{\sigma}} \cdot \frac{\hat{\sigma}^-}{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2\sigma} [s_x, s_y, 2\tau_{xy}] \quad (5.65)$$

sau:

$$\underline{a}^T = \frac{\sqrt{3}}{4\sigma} [\sigma_x - \sigma_y, \sigma_y - \sigma_x, 4\tau_{xy}] \quad (5.66)$$

Vectorul  $\underline{a}$  are deci expresia:

$$\underline{a} = \frac{\sqrt{3}}{4\sigma} \begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_y \\ \sigma_y - \sigma_x \\ 4\tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (5.67)$$

iar matricea de elasticitate  $\underline{D}$  este:

$$\underline{D} = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix} \quad (5.68)$$

Plecând de la relațiile (5.48) și având în vedere relațiile (5.66), (5.67) și (5.68) se obține:

$$\underline{a}^T \cdot \underline{D} = \frac{E\sqrt{3}}{4\sigma(1+\mu)} [\sigma_x - \sigma_y, \sigma_y - \sigma_x, 2\tau_{xy}]$$

și:

$$\beta = \frac{\sqrt{3}E}{8\sigma^2(1+\mu)} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2] \quad (5.69)$$



Vectorul  $\underline{d}$  se determină cu relația:

$$\underline{d} = \underline{D} \cdot \underline{a} \quad (5.70)$$

rezultând:

$$\underline{d} = \frac{\sqrt{3}E}{4\sigma(1-\mu)} \begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_y \\ \sigma_y - \sigma_x \\ 2\tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (5.71)$$

$$\underline{d}^T = \frac{\sqrt{3}E}{4\sigma(1+\mu)} \{ \sigma_x - \sigma_y, \sigma_y - \sigma_x, 2\tau_{xy} \} \quad (5.72)$$

iar produsul  $\underline{d} \cdot \underline{d}^T$  va fi:

$$\underline{d} \cdot \underline{d}^T = \frac{3E^2}{16\sigma^2(1-\mu)^2} \begin{bmatrix} (\sigma_x - \sigma_y)^2 & -(\sigma_x - \sigma_y)^2 & 2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) \\ -(\sigma_x - \sigma_y)^2 & (\sigma_y - \sigma_x)^2 & -2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) \\ 2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) & -2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) & 4\tau_{xy}^2 \end{bmatrix} \quad (5.73)$$

Parametrul "A" a cărei expresie este dată de relația (5.33.b) are valoarea zero pentru plasticitatea ideală fără duritate. Dacă se consideră duritatea, trebuie acordată atenție parametrului, sau parametrilor k de care depinde rigiditatea suprafeței de curgere. În cazul unui material "dur" k este considerat a fi reprezentat de lucrul mecanic plastic depus în timpul deformării plastice. Astfel:

$$dk = \sigma_1 d\varepsilon_1^p - C_2 d\varepsilon_2^p + \dots = \underline{\sigma}^T \cdot d\underline{\varepsilon}_p \quad (5.74)$$

și

$$F = f(\underline{\sigma}) - y(k) = 0 \quad (5.75)$$

unde k depinde de deformația plastică și y este efortul uniaxial de curgere.

Presupunând  $\frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p} \equiv 0$  (F nu depinde de  $\underline{\varepsilon}_p$ ), rezultă:

$$dk_1 = \underline{\sigma}^T \cdot d\underline{\varepsilon}_p \quad \text{și} \quad dk_2 = d\underline{\varepsilon}_p \quad (5.76)$$

unde:

$$d\underline{\varepsilon}_p = \frac{1}{3} \left[ (2d\varepsilon_x^p + 2d\varepsilon_y^p + 2d\varepsilon_z^p) + dy_{yz}^p + dy_{zx}^p + dy_{xy}^p \right] \quad (5.77)$$

Având în vedere relațiile (5.33) și (5.75) precum și condiția impusă, rezultă:

$$A = \frac{1}{d\lambda} \cdot \frac{\partial F}{\partial k} = \frac{1}{d\lambda} \cdot \frac{dy}{dk} dk \quad (5.78)$$

Scriind:

$$dk = y d\varepsilon_u^p = \underline{\sigma}^T \cdot d\underline{\varepsilon}_p = d\lambda \cdot \underline{a}^T \cdot \underline{\sigma} \quad (5.79)$$

și având în vedere că:

$$H' = \frac{dy}{d\varepsilon_u^p} \quad (5.80)$$

iar potrivit teoremei lui Euler aplicabilă la funcții omogene  $f(\underline{\sigma})$  de ordinul unu:

$$\frac{\partial f}{\partial \underline{\sigma}} \underline{\sigma} = \underline{a}^T \cdot \underline{\sigma} = y \quad (5.81)$$

rezultă:

$$d\lambda = d\varepsilon_u^p \quad \text{și} \quad A = H'$$

(5.82)

Pentru un model izotrop elastoplastic ecruisabil (figura 5.14),  $H'=0,1 E$ .

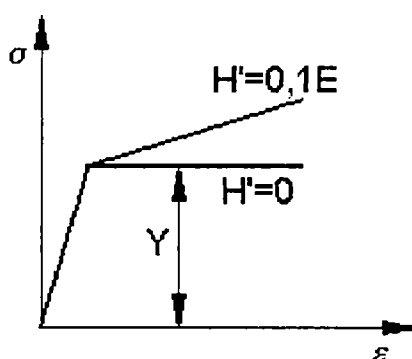


Figura 5.15 Model elastoplastic ecruisabil

Potrivit relației (5.47) și având în vedere expresiile (5.82), (5.73) și (5.69) matricea plastică  $\underline{D}_p$  va fi:

$$\underline{D}_p = \frac{\frac{3E^2}{16\sigma^2(1+\mu)^2} \underline{C}}{0,1E + \frac{3E}{8\sigma^2(1+\mu)} (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (5.83)$$

unde s-a notat prin  $\underline{C}$  matricea:

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} (\sigma_x - \sigma_y)^2 & -(\sigma_x - \sigma_y)^2 & 2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) \\ -(\sigma_x - \sigma_y)^2 & (\sigma_x - \sigma_y)^2 & -2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) \\ 2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) & -2\tau_{xy}(\sigma_x - \sigma_y) & 4\tau_{xy}^2 \end{bmatrix} \quad (5.84)$$

Relația (5.83) mai poate fi scrisă și sub forma:

$$\underline{D}_p = \frac{E}{1 + \mu} \cdot \frac{3}{(6.4 + 0.4\mu)(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \cdot \underline{C} \quad (5.85)$$

Matricea elasto-plastică  $\underline{D}_{ep}$  a cărei expresie este dată de relația (5.47) și având în vedere relația (5.85) are următoarea expresie:

$$\underline{D}_{ep} = \underline{D} - \frac{E}{1 + \mu} \cdot \frac{3}{(6.4 + 0.4\mu)(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \cdot \underline{C} \quad (5.86)$$

Cu ajutorul relației (5.86) se va efectua recalcularea matricei de rigiditate în programul prezentat în anexa 5.1.

#### 5.4.2.4 Asamblarea matricelor de rigiditate elementare

Matricea totală de rigiditate are dimensiunile  $mn \times mn$ ,  $m$  reprezentând numărul gradelor de libertate ale unui nod, iar  $n$  numărul nodurilor structurii, în timp ce matricele elementelor au dimensiunile  $mr \times mr$ ,  $r$  fiind numărul nodurilor unui element. Pentru asamblare, trebuie ca matricea fiecărui element să fie mai întâi extinsă la dimensiunea  $mn \times mn$  și totodată rearanjată pentru a corespunde matricei deplasărilor din ecuația matriceală generală.

De fapt, extinderea matricelor elementare și rearanjarea acestora sunt operații virtuale. Propriu-zis aceste operații nu se efectuează, elementele matricei fiind plasate la "locurile" lor în matricea globală.

Asamblarea elementelor finite în structura discretizată comportă din punct de vedere mecanic satisfacerea a două categorii de condiții:

- a. de echilibru, între forțele nodale generalizate independente și cele exterioare direct aplicate;
- b. de continuitate, între deformațiile nodale generalizate independente și deplasările structurii care provin din acțiunea forțelor exterioare.

Toate relațiile obținute pentru element, inclusiv matricea de rigiditate, au fost determinate în sistemul local de coordonate, iar relația care reprezintă forma

condensată a sistemului de ecuații pe care urmărim a-l determina este în sistemul global de axe. Apare necesitatea de a renumera nodurile elementelor și implicit deplasările necunoscute ( $\delta_i$ ) în contextul întregii structuri, adică necesitatea de a confrunța deplasările nodale ale elementelor cu cele generalizate ale structurii. În acest fel, deplasările unui nod intervin în relațiile ce determină deplasările în interiorul tuturor elementelor ce converg în nodul considerat, sau se poate spune că toate elementele își aduc aportul, prin rigiditatea lor, la definirea deplasărilor nodurilor comune. Matricea de rigiditate globală a structurii este dată de relația:

$$\underline{K}_T = \underline{I}^T \cdot \underline{R}^T \cdot \underline{K} \cdot \underline{R} \cdot \underline{I} \quad (5.87)$$

unde  $\underline{R}$  și  $\underline{I}$  sunt matricele de rotație și localizare ale întregii structuri, iar  $\underline{K}$  matricea cvasidiagonală a matricelor elementare  $\underline{k}^s$  exprimate în sistemul de coordonate ale acestora:

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} k^1 & 0 & 0 \\ 0 & k^2 & 0 \\ 0 & 0 & k^s \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

s fiind numărul de elemente finite ale structurii.

Operația reprezentată de produsul matriceal  $\underline{I}^T \cdot \underline{K}^s \cdot \underline{I}$  este echivalentă cu amplasarea în cadrul matricii  $\underline{K}$  a elementelor  $k_{ij}$  ale matricelor elementare  $\underline{k}^s$  în poziția ce rezultă prin stabilirea echivalenței între deplasările elementare  $ij$  și cele globale  $l, n$ . În acest fel elementele  $K_{T,l,n}$  ale matricii structurale fiind formate din suma tuturor elementelor corespunzătoare din matricele de rigiditate a elementelor finite ce converg în nodul respectiv al structurii, reprezintă aportul tuturor acestor elemente la rigiditatea de ansamblu.

#### 5.4.2.5 Rezolvarea sistemului de ecuații

Având în vedere că matricea elasto- plastică este funcție de nivelul deformațiilor:

$$\underline{D}_{ep} = \underline{D}(\underline{\varepsilon}) = \underline{D}(\underline{\delta}) \quad (5.89)$$

rezolvarea sistemului de ecuații neliniar se va face prin: metoda eforturilor inițiale, metoda deformării inițiale, metoda rigidității variabile etc.

În cazul metodei rigidității variabile, matricea rigidității se reformulează la fiecare pas obținându-se o nouă soluție.

Cum matricea elasticității influențează matricea rigidității finale se poate scrie:

$$\underline{\psi} = \underline{K}(\underline{\delta}) \cdot \underline{q} - \underline{R} = 0 \quad (5.90)$$

Rezolvarea acestor relații se face iterativ în diferite moduri.

Un proces iterativ simplu se obține luând  $\underline{\delta}_0 = 0$  pentru a evalua:

$$\underline{K}(\underline{\delta}_0)_T = \underline{K}_{T..} \quad (5.91)$$

și rezolvând:

$$\underline{q} = \underline{K}_{T..}^{-1} \underline{R} \quad (5.92)$$

Se repetă procesul cu:

$$\underline{q}_n = \underline{K}_{T..}^{-1} \underline{R} \quad (5.93)$$

până când nu mai apare schimbarea deplasării. La fiecare pas matricea rigidității trebuie să fie reformulată și se obține o nouă soluție a ecuațiilor.

Întrucât programul de modelare prin elemente finite a fost realizat în limbajul Matlab, pentru rezolvarea sistemului de ecuații se va folosi o funcție a acestui limbaj, și anume diviziunea (împărțirea matriceală) la stânga „\”. Astfel expresia (5.93.), în cadrul programului va figura sub forma :

$$a = \underline{K} \setminus \underline{F}$$

Funcția “\” folosește pentru rezolvarea sistemului de ecuații prin metoda eliminării lui Gauss.

#### 5.4.2.6. Calculul deformațiilor specifice și al tensiunilor

Dacă deplasările nodale  $\underline{q}$  ale structurii sunt determinate, prin rezolvarea sistemului (5.93.), se trece la determinarea deplasărilor nodale elementare  $\underline{\delta}$  și anume.

$$\begin{array}{ccc} \underline{\delta} & = & \underline{T} \quad \underline{q} \\ m \ r \ s \times 1 & \quad & m \ n \times m \ r \ s \quad m \ n \times 1 \end{array} \quad (5.94)$$

unde  $m$  reprezintă gradele de libertate ale unui element ( $m$  fiind numărul gradelor de libertate ale unui nod, iar  $r$  numărul nodurilor elementului),  $s$  numărul de elemente, iar  $n$  numărul de noduri ale structurii.

Dacă deplasările nodale elementare  $\underline{\delta}$  sunt cunoscute, atunci pe baza celor prezentate se determină deformațiile  $\underline{\varepsilon}$  și tensiunile  $\underline{\sigma}$ .

### 5.4.3. Programul de analiză cu elemente finite

Pe baza elementelor de teorie prezentate în paragrafele anterioare s-a elaborat un program de analiză prezentat în cele ce urmează. Programul are ca date de intrare dimensiunile eșantionului de material studiat (variabilele `domeniu_x`, `domeniu_y`), pașii de iterație (`pas_x`, `pas_y`), și mărimea forțelor orizontale și verticale ce acționează în nodurile de pe suprafața piesei (matricea "forte"). În continuare programul rulează în mai multe cicluri, la fiecare ciclu recalculându-se valoarea matricei de rigiditate elasto-plastică.

După fiecare ciclu se afișează grafic rețeaua deformată, dând astfel o imagine asupra evoluției deformațiilor. Este posibilă și afișarea valorilor concrete ale deformațiilor și tensiunilor, dar aceasta necesită un spațiu considerabil. Rezultatele obținute sunt comparabile cu cele obținute prin modele similare (COSMOS, ANSYS), dar acest program are avantajul că se poate configura ulterior, pentru a fi corelat cu rezultatele obținute în urma experimentărilor.

Un alt scop al acestui program este acela de a fi integrat într-un model mai amplu de simulare realizat cu ajutorul modulului SIMULINK, ca o funcție sistem (S-Function), rezultând un model complex al procesului de uzură al sculelor așchietoare.

Se dă în anexa 5.1 codul sursă în limbajul MATLAB, al programului de modelare prin elemente finite.

## 5.5. Mecanismul de simulare al uzurii

### 5.5.1. Principii

Sculele combinate posedă mai multe tășuri ce aşchiază simultan. În cazul obținerii suprafețelor cilindrice prin strunjire, vitezele de aşchiere, adâncimile de aşchiere cât și parametrii geometrici pot fi diferiți pentru fiecare tăș al sculei combinate. Din această cauză și forțele ce acționează pe tășuri diferă atât ca modul cât și direcție. Simularea procesului de uzare se realizează introducând în relațiile modelului matematic al fenomenului, parametrii elasticității materialului și cei variabili în timp care caracterizează forțele ce acționează asupra sculei și calculând cu ajutorul lor variația în timp a parametrilor care caracterizează uzura.

Rulând programul de simulare al uzurii pentru fiecare tăș în parte se obțin la un moment dat al procesului diferite mărimi ale uzurii specifice fiecărui tăș în parte, putând astfel analiza care dintre tășuri atinge un prag critic al uzurii. Astfel se vor putea redefini parametrii inițiali (adâncimea de aşchiere și parametrii geometrici ai tășului, în așa fel încât să se obțină o uzură uniformă a tășurilor sculei combinate.

Din analiza procesului de uzură a sculelor aşchietoare reiese că acesta cuprinde efectele cumulate a mai mulți factori dintre care, pentru modelarea uzurii s-au luat în considerare: uzura prin abraziune și uzura prin adeziune.

Modelul elaborat tratează în mod diferit tipurile de uzură luate în considerare.

### 5.5.2. Derularea în timp a simulării uzurii.

Derularea în timp a simulării se realizează conform schemei logice prezentate în figura 5.15, iar codul sursă în anexa 5.1. Corespondența timpului real a desfășurării procesului de uzură cu numărul de cicluri parcurse de programul de simulare, se poate face în două moduri:

- considerând o durabilitate de referință;
- considerând că o rotație a arborelui principal corespunde unui ciclu de calcul a programului.

Dacă se admite o durabilitate de referință pentru una din sculele implicate în proces, denumită sculă de referință, durabilitatea celorlalte se studiază în raport cu aceasta. Incrementele de timp real se stabilesc cu relația:

$$\Delta t = \frac{\tau}{n} \quad [\text{min}] \quad (5.95)$$

în care:  $\Delta t$  - incrementul de timp real corespunzător unui ciclu de rulare a programului de simulare;  $\tau$  - durabilitatea sculei de referință;  $n$  - numărul de cicluri executate de programul de simulare până când se atinge valoarea uzurii corespunzătoare durabilității de referință.

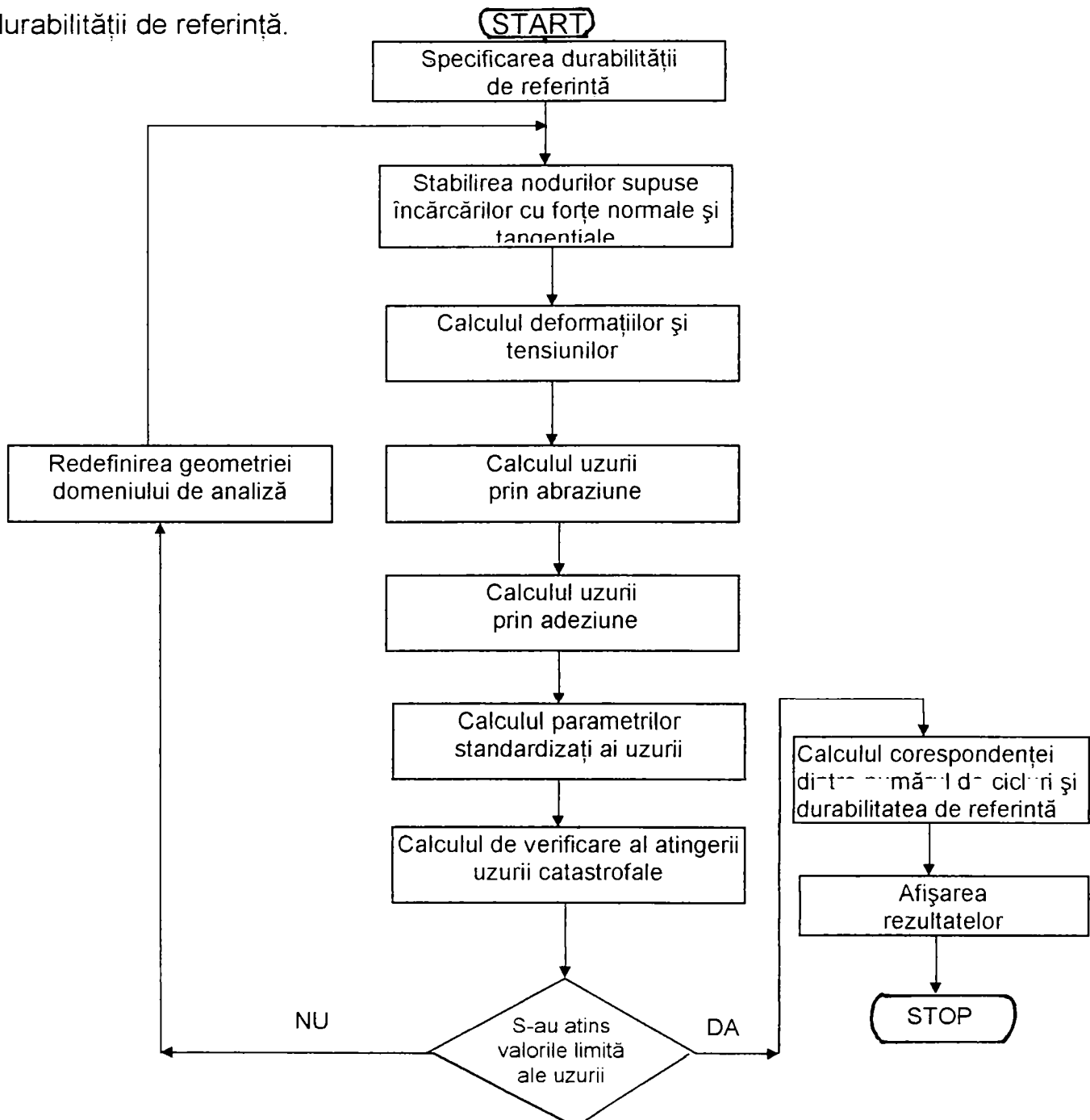


Figura 5.16

Schema logică a programului de simulare a procesului de uzură



Scheme logică prezentată în figura 5.16. conține totodată și etapele de realizare ale simulării uzurii. Algoritmii numerici de realizare ai acestor etape sunt prezentați în paragrafele următoare.

### 5.5.3. Modelarea uzurii prin abraziune și simularea desfășurării acesteia

Uzura prin abraziune este provocată de prezența particulelor dure între suprafețele de contact, sau de asperitățile mai dure ale uneia dintre ele.

Acest tip de uzură, contrar cu studiile efectuate de diferiți specialiști, are un caracter liniar și se produce cu o intensitate constantă în timp.

Din punct de vedere al modelării este important de definit parametrul  $h$  - adâncimea uzurii prin abraziune, care poate fi calculat cu ajutorul relației:

$$h = k \frac{P_m}{HB} L_r \quad (5.96)$$

unde:

$h$  = adâncimea de uzură prin abraziune;

$k$  = coeficientul de uzură prin abraziune ce ține seama de cuplul de materiale în contact, care are pentru metale valoarea cuprinsă în intervalul  $2,8 \dots 4 \cdot 10^{-2}$ ;

$P_m$  = presiunea medie pe suprafața de contact;

$L_r$  = drumul parcurs.

Presiunea medie se poate calcula dacă se ține seama de forța distribuită pe elemente și de dimensiunea fiecărui element:

$$P_m = \frac{F_i}{W_i} \quad (5.97)$$

în care:

-  $F_i$  – forța distribuită normală pe suprafața considerată, a elementul  $i$ ;

-  $w_i$  – dimensiunea elementului  $i$  după direcția  $w$ ;

Pe baza formulelor amintite se obține astfel valoarea adâncimii de uzură prin abraziune.

Adâncimea de uzură pentru un ciclu de rulare al programului de simulare se alege adoptând convenția ca acesta să corespundă unei rotații a arborelui principal.

Pentru a determina drumul parcurs de așchie pe fața de degajare se pornește de la relația vitezelor în procesul de așchiere. Pentru algoritmul numeric realizat s-a ales modelul "zonei subțiri de așchiere".

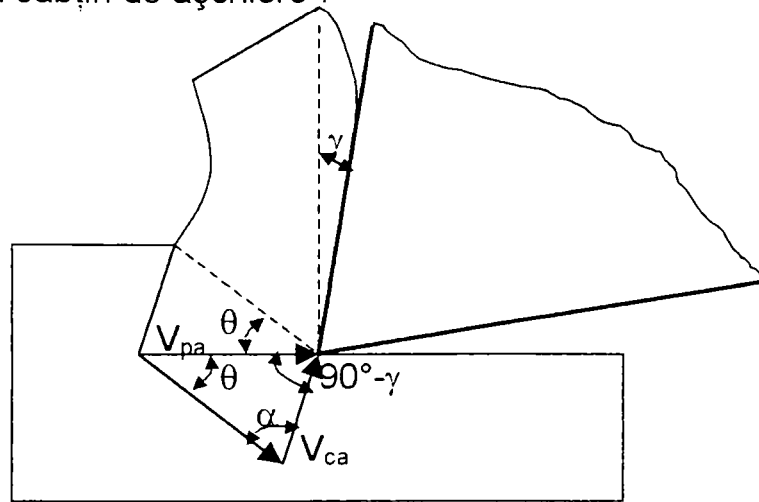


Figura 5.17. Corelația vitezei de așchiere cu viteza de degajare a așchiilor

În figura 5.17 s-au notat:

- $V_{pa}$  – viteza principală de așchiere;
- $V_{\theta}$  – viteza de alunecare a straturilor;
- $V_{ca}$  – viteza de curgere a așchiilor pe fața de degajare;
- $\gamma$  - unghiul de degajare;
- $\theta$  - unghiul planului de forfecare;
- $\delta = 180 - (\theta + 90 - \gamma)$

Folosind teorema sinusurilor se scrie:

$$\frac{V_{\theta}}{\sin(90 - \gamma)} = \frac{V_{ca}}{\sin\theta} = \frac{V_{pa}}{\sin\delta} \quad (5.98)$$

Deoarece mișcarea principală de așchiere și mișcarea de curgere a așchiei se desfășoară simultan, termenii doi și trei ai relației 4.97 se pot amplifica cu timpul rezultând relația:

$$\frac{L_{fg}}{\sin\theta} = \frac{L_{fpa}}{\sin\delta} \quad (5.99)$$

În relația (4.98)

- $L_{fg}$  – drumul parcurs pe fața de degajare;
- $L_{fpa}$  – drumul parcurs de-a lungul direcției principale de așchiere.

Unghiul  $\theta$  este determinat experimental fiind dat în literatura de specialitate în funcție de parametrii procesului de așchiere. Unghiul  $\delta$  se calculează în funcție de  $\theta$  și  $\gamma$  ambele cunoscute.

Mărimea  $L_{rpa}$  se determină cu relația:

$$L_{rpa} = \pi \cdot D \quad [\text{mm/ ciclu de simulare}];$$

iar  $L_{ig}$

$$L_{ig} = L_{rpa} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \theta} \quad [\text{mm/ ciclu de simulare}].$$

Astfel mărimea  $h_g$  a uzurii prin abraziune pe fața de degajare, se determină cu ajutorul relației:

$$h_g = k \cdot p_{mi} \cdot L_{ig} \quad (5.100)$$

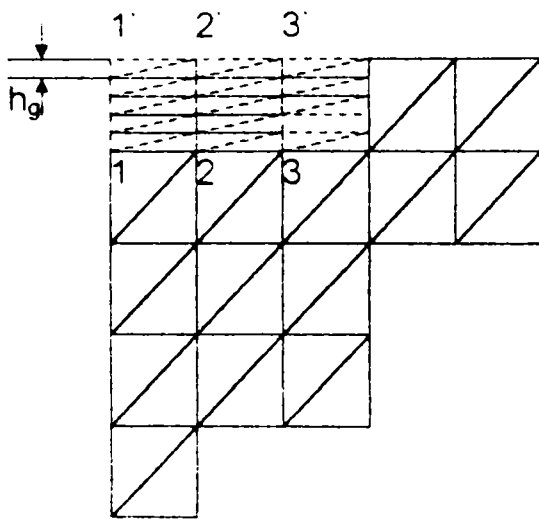


Figura 5.18. Reprezentarea pașilor de evoluție a uzurii abrazive

În derularea algoritmului numeric uzura prin abraziune este simulată prin modificarea poziției nodurilor de suprafață cu mărimea  $h_g$  pentru fiecare ciclu de rulare al programului de simulare, după cum se poate observă din figura (5.18).

#### 5.5.4 Modelarea uzurii prin adeziune și simularea desfășurării ei

În cazul uzurii prin adeziune se utilizează o determinare statistică a valorilor ce caracterizează mărimea ei.

În procesul de simulare s-a considerat că în timpul desfășurării procesului vor fi eliminate în mod virtual elemente de suprafață în condițiile în care acestea prezintă un număr minim de legături cu elementele învecinate. Programul generează un tabel al legăturilor, fiind codificat numeric fiecare element în raport cu legăturile pe care le are. După parcurgerea unui ciclu tabelul este reactualizat în funcție de elementele

care au fost îndepărtate. Codul este format dintr-un singur caracter, care poate lua valorile:

- 0 – element de frontieră cu poziție fixă; se alocă din matricea condițiilor de rezervare;
- 1 – element de interior; se alocă elementelor care au suma numărului de legături egală cu 18;
- 2 – elemente de frontieră; se alocă celor care au un număr de legături mai mic decât 18 și nu sunt elemente fixate;
- 3 – element de frontieră virtual detașat.

Un exemplu de tabel generat pentru situația din figura 5.19 se prezintă în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Nr. Element	Primul nod	Al 2-lea nod	Al 3-lea nod	Nr. de legături al primului nod	Nr. de legături al celui de-al 2-lea nod	Nr. de legături al celui de-al 3-lea nod	Cod numeric
1	1	2	6	2	3	6	0
2	1	5	6	2	3	6	0
3	2	6	7	3	6	6	2
4	2	3	7	3	3	6	2
5	3	7	8	3	6	3	2
6	3	4	8	3	1	3	2
7	5	6	10	3	6	6	0
8	5	9	10	3	3	6	0
9	6	10	11	6	6	6	1
10	6	7	11	6	6	6	1
11	7	11	12	6	6	3	2
12	7	8	12	6	3	3	2
13	9	10	14	3	6	3	0
14	9	13	14	3	1	3	0
15	10	14	15	6	3	3	0
16	10	11	15	6	6	3	0
17	11	15	16	6	3	2	0
18	11	12	16	6	3	2	0

În figura 5.20 se prezintă starea suprafeței după un anumit număr de cicluri, iar tabelul 5.2 prezintă modificarea numărului de legături al elementelor din figură.

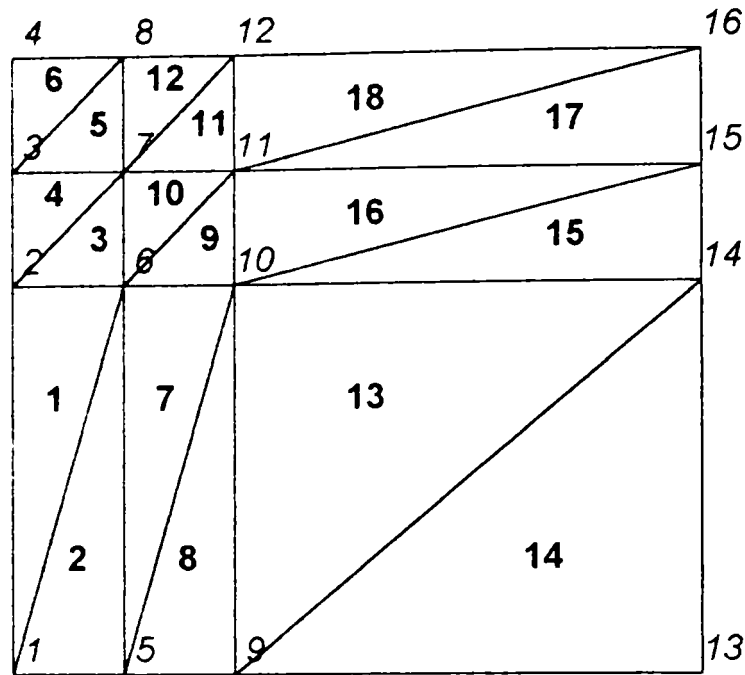


Figura 5.19 Numerotarea elementelor și nodurilor pentru generarea numărului de legături din tabelul 5.1

Tabelul 5.2

Nr. Element	Nr. Legături
1	15
2	12
3	12
4	7
5	14
6	17
7	17
8	9
9	14
10	12
11	15

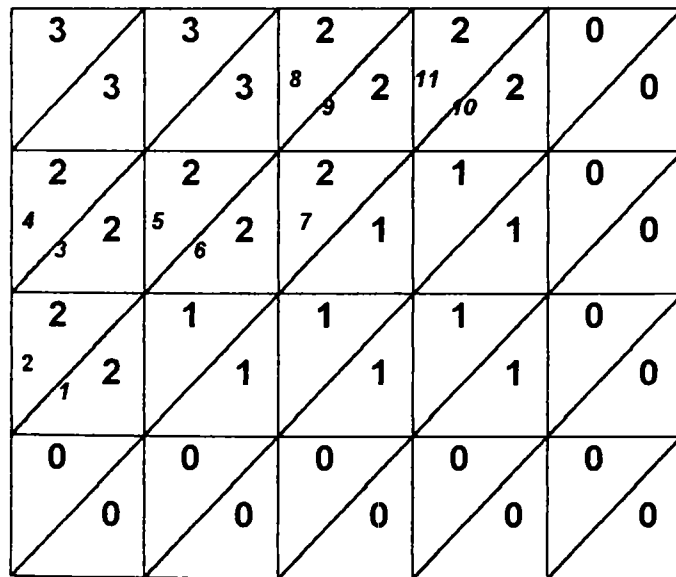


Figura 5.20 Reprezentarea codificării elementelor pentru algoritmul de eliminare

Figura 5.20 ilustrează și discretizarea domeniului de studiu cu un pas variabil, mai fin în zona vârfului sculei care reprezintă un interes sporit și mai puțin fin în zona de rezemare.

### 5.5.5. Prezentarea programului

Schema logică a programului a fost prezentată în paragraful anterior iar codul sursă este listat în (Anexa 5.2 ) În continuare sunt prezentate interfețele grafice ale programului.



Figura 5.21 Meniul principal

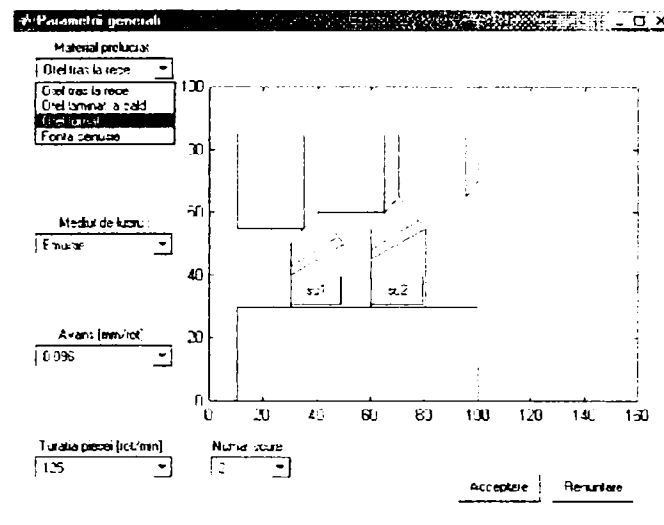


Figura 5.22 Stabilirea parametrilor generali

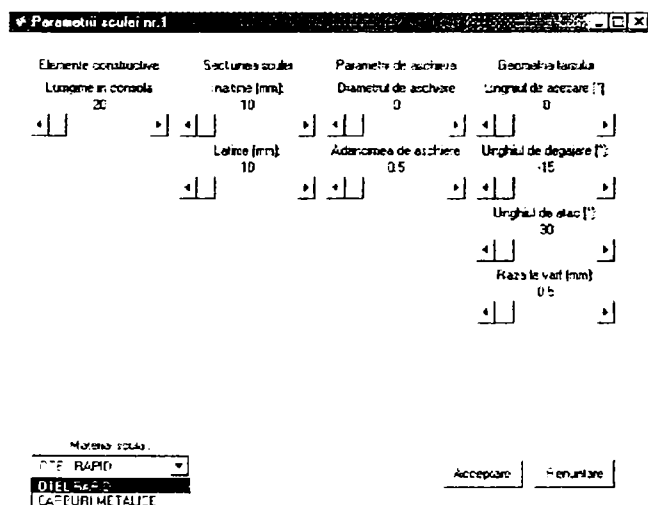


Figura 5.23 Stabilirea parametrilor unei scule

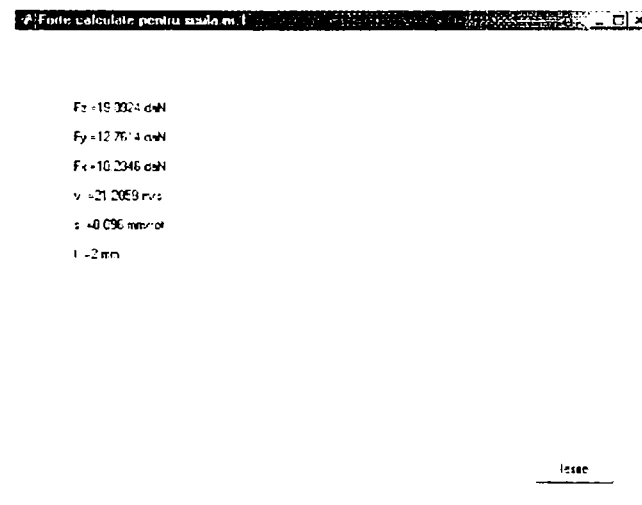


Figura 5.24 Rezultatele calculului forțelor de aşchiere

Prezentarea celorlalte module ale programului este arătată în capitolul 7 respectiv Anexele 7.1., 7.2., 7.3., 7.4. și 7.5.

**5.5.6. Prezentarea rezultatelor**

Programul generează curbele de uzură în funcție de timp,  $VB(t)$ , unde  $VB$  este uzura pe fața așezare și se măsoară în mm iar timpul în minute (figura 5.27). În figura 5.28 se dau curbele măsurate experimental. Notația "o" reprezintă tăișul primului cuțit ce intră în așchiere iar notația "\*" tăișul celui de-al doilea cuțit al sculei combinate.

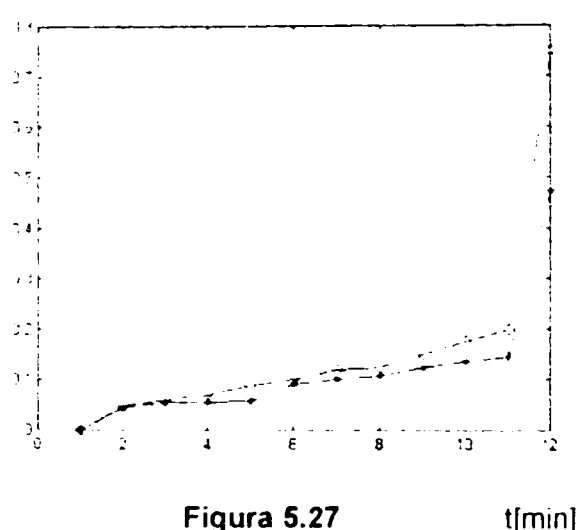


Figura 5.27

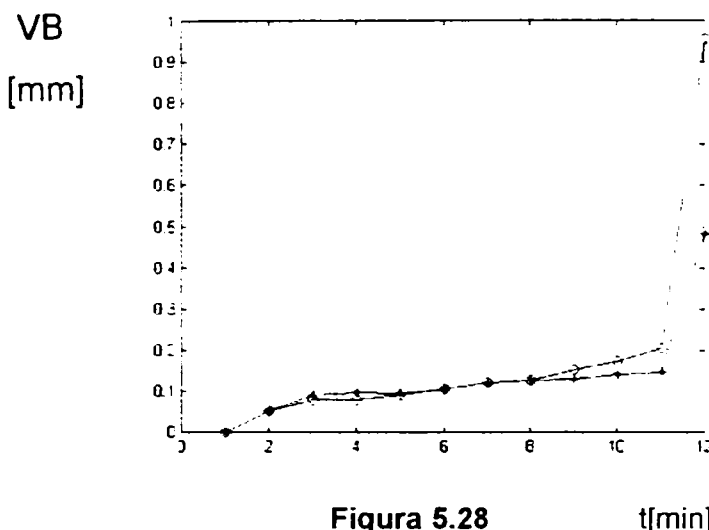


Figura 5.28

În figura 5.29 a,b,c,d,e sunt prezentate fazele consecutive ale simulării pentru primul cuțit.

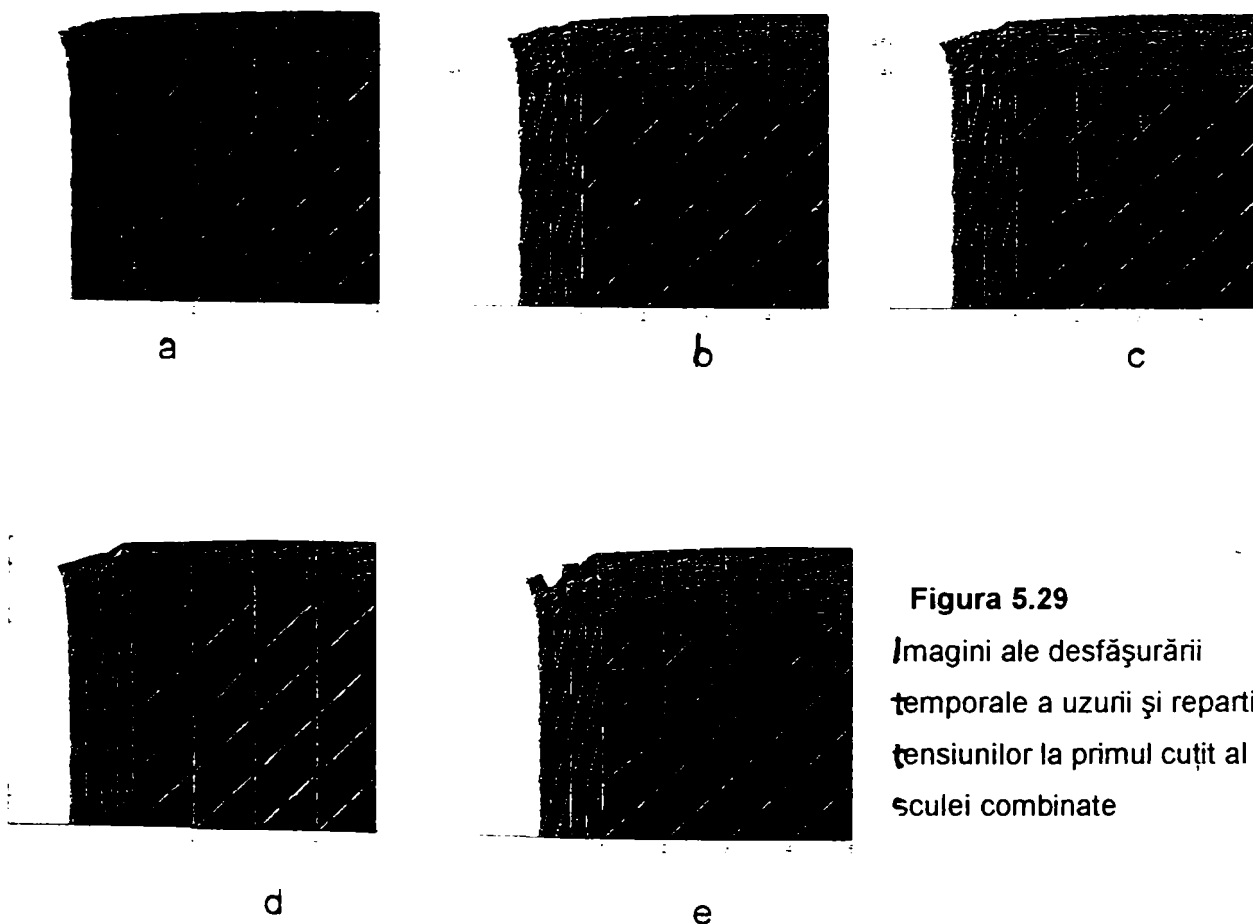


Figura 5.29  
Imagini ale desfășurării  
temporale a uzurii și repartiția  
tensiunilor la primul cuțit al  
sculei combinate

Tensiunile sunt reprezentate într-un spectru Roșu - Albastru , culoare roșu pur reprezentând tensiunile maxime, iar albastru pur reprezentând tensiunile minime.

În figura 5.29 a, se observă deformația mecanică a vârfului sculei așchietoare, deformație reprezentată la scara 1:500.

În figurile 5.29 b, c și d se constată apariția uzurii prin abraziune și progresul ei. Pe măsura evoluției acesteia tensiunile de întindere cresc, în zona stratului de contact cu așchia, pe fața de degajare (culoare roșie).

În figura 5.29 e, se observă apariția uzurii prin adeziune, ce are loc cu desprinderi de material , rezultând craterul de uzură.

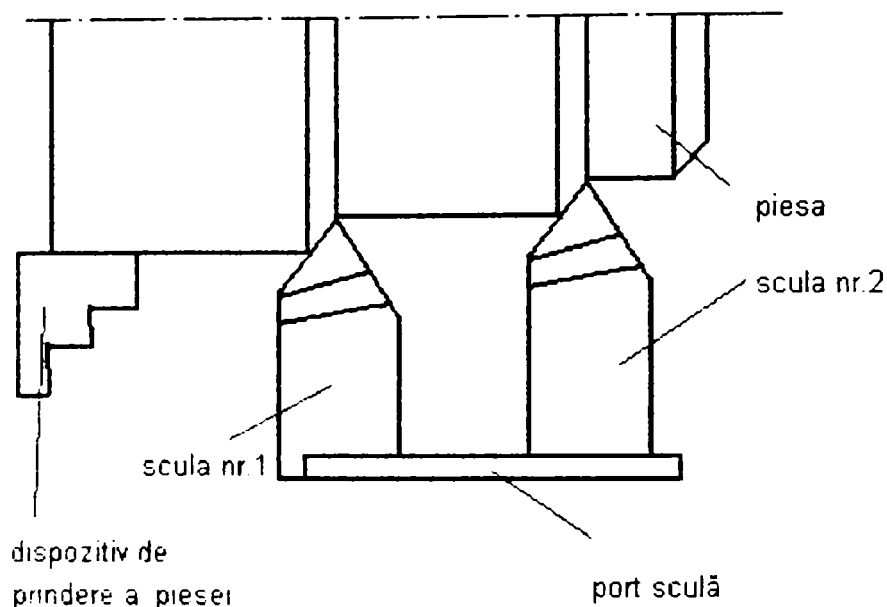
Parametrii modelării/simulării procesului sunt corelați cu parametrii obținuți într-un caz real, la trasarea curbelor de uzură, pentru o sculă combinată cu două cuțite (capitolul 7).



## 6. ANALIZA DINAMICII PROCESULUI DE AȘCHIERE CU SCULE COMBinate

### 6.1. Introducere

Sistemul concret care urmează a fi modelat din punct de vedere dinamic este prezentat în figura 6.1



Figură 6.1. Sistemul real ce urmează a fi modelat

El constă din: dispozitiv de prindere a piesei; scula nr.1 și 2; piesă și port sculă.

Pentru studiul procesului de așchiere se dispune de o serie de metode practice și teoretice de urmărire a procesului și de măsurare a parametrilor acestuia.

Metodele experimentale urmăresc fie măsurarea parametrilor procesului în timpul desfășurării acestuia (on-line), fie determinarea rezultatelor procesului, după terminarea acestuia (off-line).

Deși sistemele moderne (sisteme echipate cu traductoare, convertoare analog-digitale, și calculator) au posibilități largi de măsurare, ele nu pot acoperi întreaga plajă de parametri necesari evaluării procesului. Ca exemplu se poate aminti măsurarea vibrațiilor la așchierăa pieselor cilindrice în mișcare de rotație, unde se pot plasa traductoare pe corpul sculei dar este foarte dificilă plasarea traductoarelor pe piesă, din cauza rotației acesteia. În astfel de cazuri construirea

unui model al procesului și simularea realizată cu acest model poate furniza datele care nu s-au obținut pe cale experimentală.

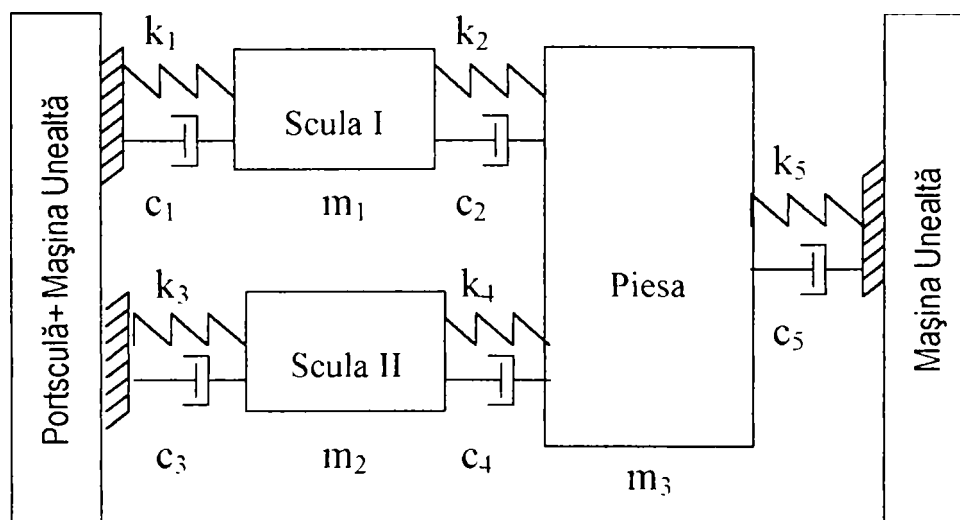
## 6.2. Identificarea elementelor componente ale sistemului fizic

Elementele de bază care fac parte dintr-un sistem de prelucrare prin așchiere cu scule combinate sunt:

- sculele,
- portscula,
- piesa.

Pentru a putea construi un model al procesului, este important să fie stabilite elementele componente ale sistemului și legăturile dintre ele.

Un model dinamic discret este prezentat în figura 6.2. Acesta ține cont de toate elementele importante ale sistemului studiat. O deficiență ar putea-o constitui faptul că atât masele, elementele elastice cât și cele de amortizare se consideră discrete, ceea ce nu corespunde în totalitate realității. Un model mai evoluat s-ar putea obține doar prin analiză cu elemente finite dar, a analiza un sistem atât de complex cu această metodă este deosebit de dificil și necesită resurse fizice și de programare considerabile.



**Figura 6.2.** Schema elementelor procesului de așchiere cu scule combinate în care s-au luat în considerare trei mase concentrate.

Notățiile din figura 6.2. au următoarea semnificație :

- $k_1, c_1$  – elasticitatea și amortizarea aferente sculei I;
- $m_1$  – masa sculei I;
- $k_2, c_2$  – elasticitatea și amortizarea legăturii dintre scula I și piesă;
- $m_2$  – masa sculei II;
- $k_3, c_3$  – elasticitatea și amortizarea aferente sculei II;
- $m_3$  – masa piesei;
- $k_4, c_4$  – elasticitatea și amortizarea legăturii dintre scula II și piesă ;
- $k_5, c_5$  – elasticitatea și amortizarea aferente piesei.

### 6.3. Modelarea sistemului cu ajutorul ecuațiilor diferențiale

Studiile experimentale de vibrații, efectuate pe sisteme reale conduc la punerea în evidență a unui spectru de frecvențe de rezonanță. Pentru a analiza teoretic vibrațiile acestor sisteme este necesar ca ele să fie modelate prin sisteme elastice cu mai multe grade de libertate.

Numărul gradelor de libertate este dat de numărul de coordonate independente necesare pentru determinarea poziției sistemului în timpul mișcării. În general, sistemele elastice reale au un număr infinit de grade de libertate, dar în anumite condiții, ele pot fi approximate prin sisteme cu un număr finit de grade de libertate. Din acest punct de vedere se analizează elementele sistemului dinamic, considerându-se masele concentrate pe elemente care sunt legate între ele prin elemente elastice și amortizoare.

Modelul sistemului reprezentat în acest fel este arătat în figura 6.3.a.

Pierderile de energie care conduc la micșorarea continuă a amplitudinilor vibrațiilor libere sau la limitarea acestora în cazul rezonanței pot proveni din frecările interne ale materialelor, din frecările între masele în vibrație și mediul în care acestea se deplasează.

În cele ce urmează se va considera că forțele de frecare  $F_c$  sunt proporționale cu viteza  $\dot{x}$  și se opun mișcării :

$$F_c = -c\dot{x} \quad (6.1)$$

În sistemele cu număr finit de grade de libertate, obținute din sisteme reale prin concentrarea maselor în puncte și a proprietăților elastice în elemente elastice fără masă, pierderile prin frecare se concentrează în amortizori care lucrează în paralel cu elementele elastice.

Având modelul astfel constituit se utilizează principiul lui d'Alembert pentru studiul sistemului. Conform acestui principiu, pentru a obține ecuațiile mișcării,

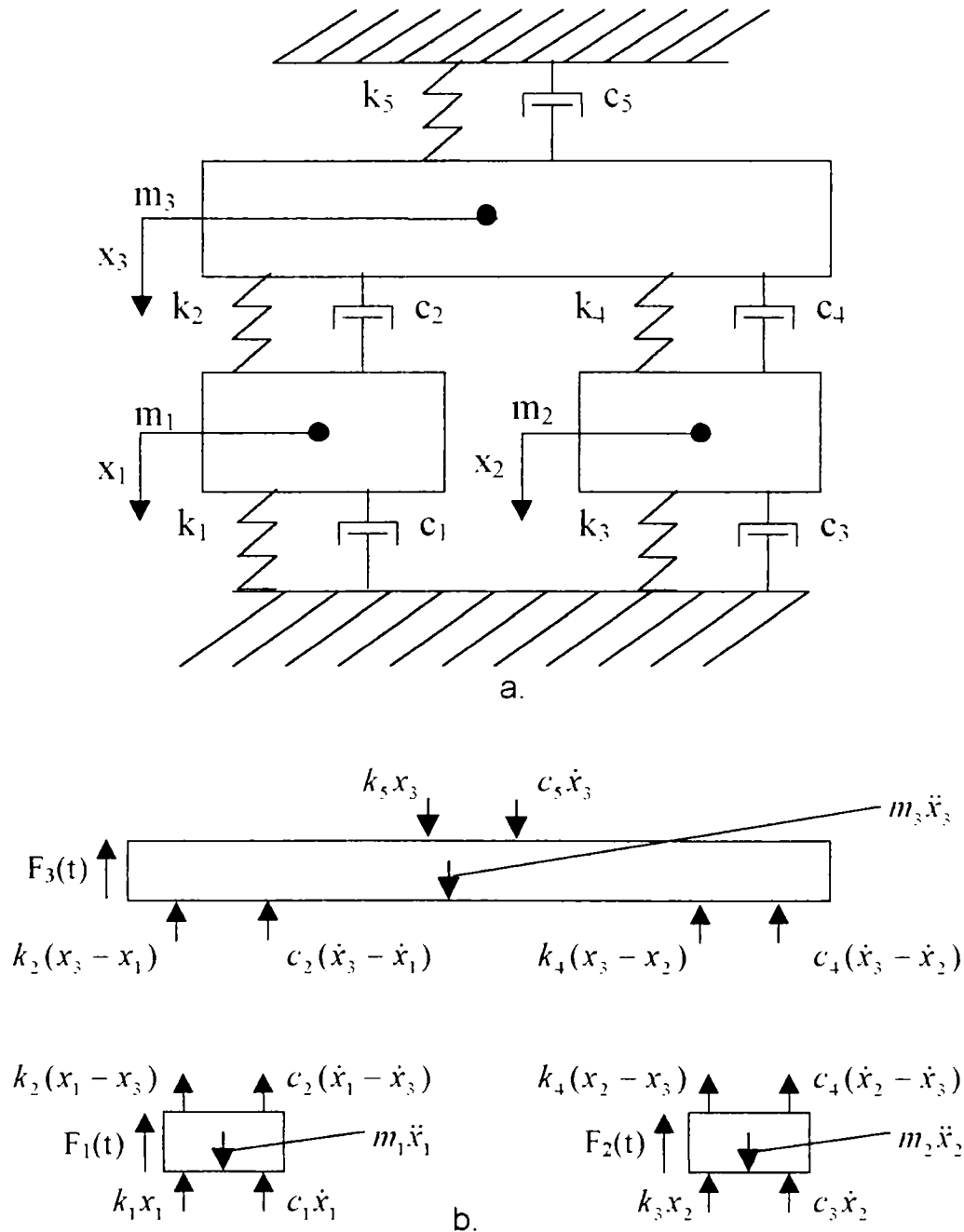


Figura 6.3. Schema de principiu a sistemului de așchiere cu două scule, din punct de vedere al analizei dinamice

se izolează fiecare masă, aplicându-i forțele de legătură și forțele de inerție. Aceste forțe sunt prezentate schematic în figura 6.3.b.

Impunând condiția ca fiecare masă să fie în echilibru dinamic, aplicând principiului lui d'Alembert, se scriu ecuațiile conform schemelor rezultate și se obține sistemul de ecuații diferențiale :

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 - (c_1 - c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 - (k_1 - k_2)x_1 - k_2 x_2 &= F_1(t) \\ m_2 \ddot{x}_2 + (c_3 - c_4) \dot{x}_2 - c_4 \dot{x}_3 + (k_3 + k_4)x_2 - k_4 x_3 &= F_2(t) \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_2 \dot{x}_1 - c_4 \dot{x}_2 + (c_2 - c_4 - c_5) \dot{x}_3 - k_2 x_1 - k_4 x_2 - (k_2 - k_4 + k_5)x_3 &= F_3(t) \end{aligned} \quad (6.2)$$

sau sub formă matriceală :

$$\underline{M}\ddot{\underline{x}} - \underline{C}\dot{\underline{x}} - \underline{K}\underline{x} = \underline{F} \quad (6.3)$$

în care:

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; \quad \underline{C} = \begin{bmatrix} c_1 - c_2 & 0 & -c_2 \\ 0 & c_3 + c_4 & -c_4 \\ -c_2 & -c_4 & c_2 + c_4 + c_5 \end{bmatrix}$$

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} k_1 - k_2 & 0 & -k_2 \\ 0 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ -k_2 & -k_4 & k_2 - k_4 + k_5 \end{bmatrix}$$

$$\underline{F} = \begin{bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{bmatrix}; \quad \underline{\ddot{x}} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix}; \quad \underline{\dot{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix}; \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

S-au stabilit astfel ecuațiile diferențiale care descriu procesul de așchiere definit prin schema din figura 6.3. Pornind de la aceste ecuații constitutive se construiește modelul procesului.

## 6.4. Modelarea sistemului în spațiul stărilor

### 6.4.1. Scopul modelării

În cazul concret al sistemului de prelucrare prin aşchiere scopul modelării este multiplu :

- studiul vibrațiilor sistemului în scopul evitării fenomenelor nedorite care pot deteriora piesa, mașina – unealtă sau dispozitivul;
- realizarea unei reglări a procesului care să asigure o funcționare optimă a sistemului, prin proiectarea sau reglarea parametrilor geometrici ai sculelor.

Pentru atingerea acestor deziderate se realizează modelarea sistemului reprezentat în spațiul stărilor, și se simulează funcționare sistemului.

### 6.4.2. Reprezentarea în spațiul stărilor

#### 6.4.2.1. Principii

Pentru modelarea sistemelor în vederea simulării se pot adopta două metode :

- reprezentarea cu ajutorul funcțiilor de transfer;
- reprezentarea în spațiul stărilor.

Elaborarea ambelor tipuri de modele pornește de la ecuațiile diferențiale ale sistemului.

Se va aborda o reprezentare în spațiul stărilor, deoarece tratarea sistemelor monovariabile (SISO) și multivariabile (cu mai multe intrări și mai multe ieșiri, MIMO), în această reprezentare, este în principiu aceeași, trecerea de la un tip de reprezentare la altul fiind astfel mai simplă.

#### 6.4.2.2. Reprezentarea în spațiul stărilor pentru sisteme multivariabile

Pentru sistemele multivariabile (MIMO), cu  $r$  mărimi de intrare și  $m$  mărimi de ieșire, ecuațiile sistemului în spațiul stărilor vor avea următoarea formă generală :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu & x(t_0) = x_0 \\ y = C^T x + Du \end{cases} \quad (6.4)$$

**Teză de doctorat**

unde sunt valabile următoarele relații :

$$\text{- vectorul mărimilor de stare : } \underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix};$$

$$\text{- vectorul mărimilor de intrare : } \underline{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix};$$

$$\text{- vectorul mărimilor de ieșire : } \underline{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}.$$

Vectorul mărimilor de intrare se mai numește și vector de comandă.

- matricea sistemului A cu dimensiunea (n x n);
- matricea de comandă B cu dimensiunea (n x r);
- matricea de ieșire (controlabilitate) C cu dimensiunea (m x n);
- matricea de tranziție D cu dimensiunea (m x r).

Expresia generală (6.4 ) este valabilă și pentru sisteme monovariabile.

Utilizarea reprezentării în spațiul stărilor prezintă o serie de avantaje, dintre care se menționează câteva:

- sistemele mono și multivariabile pot fi tratate formal în același mod;
- această reprezentare este potrivită atât pentru o tratare teoretică (rezolvare analitică, optimizare) cât și pentru calculul numeric;
- calculul comportării sistemului omogen, cu utilizarea condiției inițiale  $x(t_0)$ , este foarte simplă;
- această reprezentare dă cea mai bună imagine a comportării interne a sistemului din punctul de vedere al controlabilității și observabilității.

Prin relațiile (6.4) sunt descrise sistemele liniare cu parametri concentrați :

$$\begin{cases} \dot{x} = f_1(x, u, t) \\ y = f_2(x, u, t) \end{cases} \quad (6.5)$$

Se prezintă și acest model în scopul de a crea o privire de ansamblu asupra metodei.

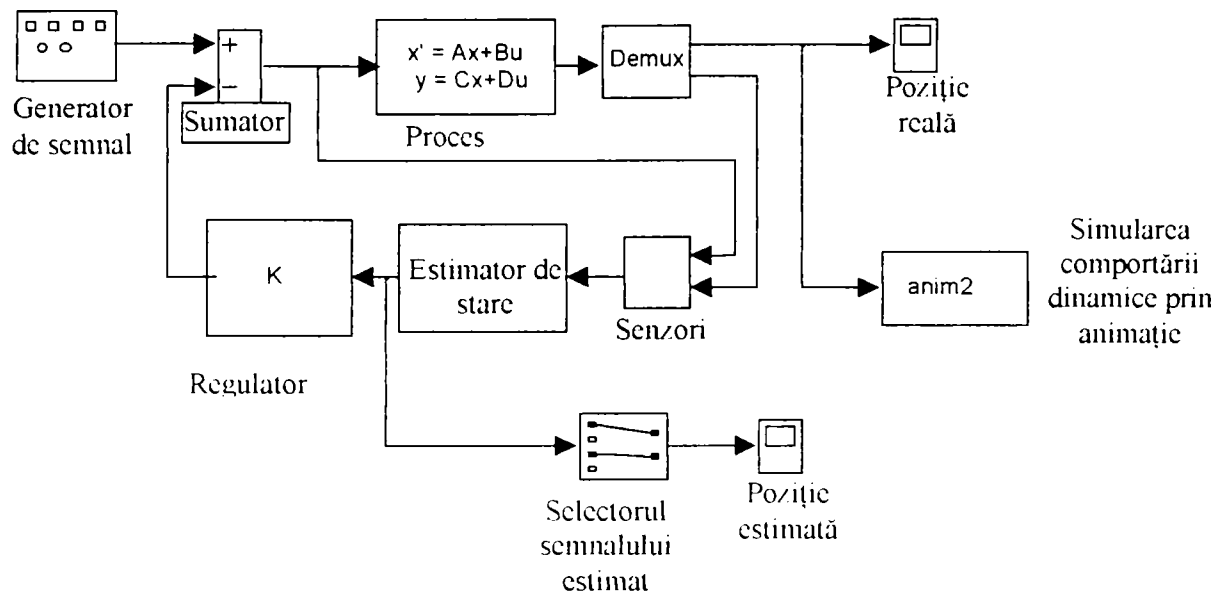


Figura 6.4. Modelul sistemului

Codul sursă a programului de simulare este prezentat în Anexa 6.1.

#### Generatorul de semnal.

Este o funcție soft capabilă să simuleze tipuri de semnale corespunzătoare forțelor de excitație ce apar în timpul așchierii.

#### Procesul.

Modelul procesului este reprezentat în spațiul stărilor prin relațiile date în continuare

#### Sumatorul.

Blocul de însumare realizează compararea semnalului de comandă cu mărimile estimate realizând astfel închiderea buclei de reacție.

#### Estimatorul.

Folosirea estimatorului procesului este utilă din următoarele puncte de vedere asigură observarea stărilor (estimator de stare) sau a ieșirilor ( estimator de ieșiri) în cazul în care aceste mărimi nu sunt direct măsurabile. În acest caz estimatorul se mai numește și "observer". El asigură obținerea mărimilor estimate ale procesului care se pot folosi într-un algoritm de reglare împreună cu regulatorul K, parametrii



regulatorului putând fi mărimi fizice de care se ține cont la proiectarea sculei ( ex. lungimea în consolă a sculei, distanța dintre scule).

Estimatorul are în principiu aceeași structură cu cea a procesului, în care se introduc termeni ce au rolul de a minimiza eroarea dintre ieșirile procesului și cele ale estimatorului folosind diferite criterii de optimizare.

### **Matricea de reglare ( amplificarea reacției sau control ) K.**

Matricea de reglare este plasată pe bucla de reacție a sistemului având ca scop reglarea funcționării acestuia prin modificarea vectorului de comandă în funcție de ieșirea sistemului. În cazul sistemului așchietor matricea de reglare ne furnizează informații utile asupra mărimilor sau parametrilor dinamici ai sistemului, ce trebuiesc modificate pentru a reduce vibrațiile apărute în cadrul procesului. Această matrice este dată în acest caz de :

#### **Senzorul.**

Realizează formarea vectorului de intrare al estimatorului din vectorul mărimii de comandă ( $u_p$ ) și din ieșirile observabile ale procesului ( $x_{p2}$ )

#### **Selectorul semnalului estimat.**

Selectează pozițiile estimate  $x_{e1}$ ,  $x_{e2}$  în scopul reprezentării grafice a acestora. Reprezentarea grafică se face cu ajutorul blocului 'Poziție reală'.

#### **Demultiplicatorul (Demux)**

Descompune vectorul mărimilor de ieșire din proces, dat de matricea C, și direcționează pozițiile  $x_{p1}$ ,  $x_{p2}$  în scopul afișării și respectiv una din pozițiile reale  $x_{p2}$  în scopul folosirii ei ca mărime de intrare a estimatorului.

## **6.5. Elaborarea modelului dinamic în cazul a trei mase concentrate**

### **6.5.1. Principii**

În figura 6.2 este prezentat schematic acest caz, iar ecuațiile diferențiale au fost definite în cadrul paragrafului 6.3. Schema SIMULINK este prezentată în figura 6.4. Acest model este cel mai apropiat de realitate și va fi acceptat ca variantă finală de modelare a procesului de așchiere cu două scule.

## 6.5.2. Ecuțiile constitutive ale sistemului în spațiul stărilor.

Ecuțiile diferențiale prezentate în relațiile 6.2, sau matriceal în relațiile 6.3, vor trebui transformate în forma dată de relațiile 6.4. în vederea descrierii sistemului în spațiul stărilor. Pentru aceasta ecuațiile 6.3 se vor transcrie mai întâi sub forma:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = -\frac{(c_1+c_2)}{m_1}\dot{x}_1 + \frac{c_2}{m_1}\dot{x}_3 - \frac{(k_1+k_2)}{m_1}x_1 + \frac{k_2}{m_1}x_3 + \frac{F_1(t)}{m_1} \\ \ddot{x}_2 = -\frac{(c_3+c_4)}{m_2}\dot{x}_2 + \frac{c_4}{m_2}\dot{x}_3 - \frac{(k_3+k_4)}{m_2}x_2 + \frac{k_4}{m_2}x_3 + \frac{F_2(t)}{m_2} \\ \ddot{x}_3 = +\frac{c_2}{m_3}\dot{x}_1 + \frac{c_4}{m_3}\dot{x}_2 - \frac{(c_2+c_4+c_5)}{m_3}\dot{x}_3 + \frac{k_2}{m_3}x_1 + \frac{k_4}{m_3}x_2 - \frac{(k_2+k_4+k_5)}{m_3}x_3 + \frac{F_3(t)}{m_3} \end{cases} \quad (6.6)$$

după care, adoptându-se notațiile:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_{1d} \\ x_{1v} &= \dot{x}_{1d} & y_2 &= x_{2d} \\ x_{2v} &= \dot{x}_{2d} & y_3 &= x_{3d} \\ x_{3v} &= \dot{x}_{3d} & y_4 &= x_{2d} \\ & & y_5 &= x_{3d} \end{aligned} \quad (6.7)$$

se vor scrie sub forma echivalentă cu 6.4 :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1d} \\ \dot{x}_{1v} \\ \dot{x}_{2d} \\ \dot{x}_{2v} \\ \dot{x}_{3d} \\ \dot{x}_{3v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(k_1+k_2)}{m_1} & \frac{(c_1+c_2)}{m_1} & 0 & 0 & \frac{k_2}{m_1} & \frac{c_2}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(k_3+k_4)}{m_2} & \frac{(c_3+c_4)}{m_2} & \frac{k_4}{m_2} & \frac{c_4}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{m_3} & \frac{c_2}{m_3} & \frac{k_4}{m_3} & \frac{c_4}{m_3} & \frac{(k_2+k_4+k_5)}{m_3} & \frac{(c_2+c_4+c_5)}{m_3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1d} \\ x_{1v} \\ x_{2d} \\ x_{2v} \\ x_{3d} \\ x_{3v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot u$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1d} \\ x_{1v} \\ x_{2d} \\ x_{2v} \\ x_{3d} \\ x_{3v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u \quad (6.8)$$

Relațiile matriceale (6.8) definesc în totalitate procesul studiat, ținând cont bineînțeles de simplificările amintite.

## 6.5.3. Construcția estimatorului și a buclei de reglare.

După cum s-a arătat în paragraful precedent, estimatorul sistemului are un dublu rol.

- să completeze cunoașterea mărimilor de stare, în cazul în care aceste mărimi nu sunt direct măsurabile;
- să asigure informații pentru reglarea sistemului, în cazul în care se dorește acest lucru.

## a) Estimatorul folosit ca "observer".

În cadrul procesului studiat, doar o parte din mărimile de stare sunt observabile (măsurabile direct cu aparate de măsură cum ar fi accelerometre piezoelectrice). Totuși, folosind faptul că există cunoștințe despre evoluția intrărilor sistemului și a ieșirilor acestuia, cu ajutorul "observer-ului" se poate genera o estimare a stărilor sistemului, pentru acele mărimi care nu se pot măsura în mod direct

Schema unui sistem cu "observer" este indicată în figura 6.5.

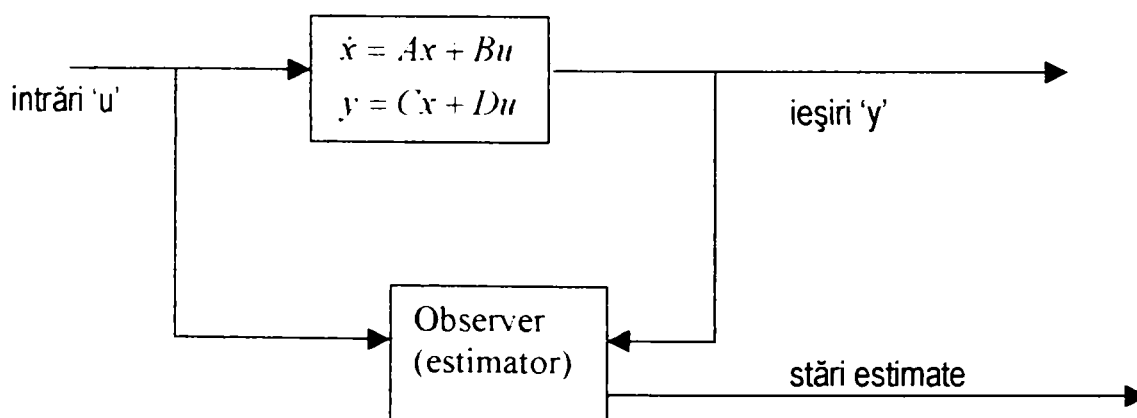


Figura 6.5. Schema sistemului cu "observer".

Fiind cunoscută structura sistemului dinamic :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (6.9)$$

se consideră cunoscute :  $\underline{u}, \underline{y}, \underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ .

Folosind aceste informații, "observerul" construiește estimări ale stărilor  $\hat{x}$ , ale sistemului astfel încât eroarea dintre valoarea reală și valoarea estimată a stărilor:

$\underline{e} = x - \hat{x}$ , să fie menținută aproape de zero.

“Observerul” este o reproducere a sistemului dinamic :

$$\begin{cases} \dot{\underline{\hat{x}}} = \underline{A}\underline{\hat{x}} + \underline{B}u \\ \underline{\hat{y}} = \underline{C}\underline{\hat{x}} + \underline{D}u \end{cases} \quad (6.10)$$

Între ieșirile sistemului real și cele ale “observer”- ului există diferențe deoarece, pe de o parte condițiile stării inițiale nu sunt cunoscute iar pe de altă parte dinamica sistemului studiat nu este exact definită. Cu ajutorul “observer”- ului se tinde să se aducă erorile stărilor la zero introducând o reacție inversă, proporțională cu diferența între ieșirea efectivă a sistemului și ieșirea “observer”- ului :

$$\begin{cases} \dot{\underline{\hat{x}}} = \underline{A}\underline{\hat{x}} + \underline{B}u + \underline{L}(y - \underline{\hat{y}}) \\ \underline{\hat{y}} = \underline{C}\underline{\hat{x}} + \underline{D}u \end{cases} \quad (6.11)$$

unde  $\underline{L}$  este amplificarea “observer”- ului.

Substituind pe  $\underline{\hat{y}}$  rezultă :

$$\dot{\underline{\hat{x}}} = \underline{A}\underline{\hat{x}} + (\underline{B} - \underline{L}\underline{D})u + \underline{L}(y - \underline{C}\underline{\hat{x}}) \quad (6.12)$$

Astfel structura “observer”- ului este dată de relația:

$$\dot{\underline{\hat{x}}} = (\underline{A} - \underline{L}\underline{C})\underline{\hat{x}} + (\underline{B} - \underline{L}\underline{D})u + \underline{L}y \quad (6.13)$$

în care:  $\underline{\hat{x}}$  este mărimea de stare estimată,  $u$  este mărimea de intrare iar  $y$  este mărimea de ieșire.

### **b) Estimatorul folosit pentru reglarea sistemului.**

Dacă pe lângă “observer” în bucla de reacție se introduce și o amplificare separată din schema din figura 6.5. obținem structura completă a modelului prezentată în figura 6.4. Fiind cunoscut faptul că estimatorul (sau “observer”-ul) are aceeași structură ca și a sistemului real, construirea unui estimator se rezumă de fapt la aflarea matricei estimatorului,  $\underline{L}$ . Pentru construirea întregului model, pe lângă matricea estimatorului mai trebuie definită și matricea  $\underline{K}$ , a regulatorului sistemului. Dacă se reușește definirea celor două matrice  $\underline{L}$  și  $\underline{K}$ , în așa fel încât eroarea dintre starea reală și cea estimată să rămână în limite rezonabile ( în sensul de a nu influența semnificativ rezultatele modelării ), atunci se poate afirma faptul că s-a construit un sistem de control cu estimator.

Cele mai multe metode de proiectare sunt metode iterative, combinând folosirea parametrilor selectați prin analiză, simulare și studiul fizicii sistemului real.

În principiu proiectarea se efectuează în trei etape:

- definirea modelului în buclă deschisă;
- proiectarea amplificării sistemului folosind tehnici de alocare al polilor;
- închiderea buclei de control și simularea funcționării sistemului în scopul validării acestuia.

Alocarea pentru polii buclei închise are un impact direct asupra caracteristicilor de răspuns: durata de răspuns, durata de stabilizare și oscilațiile tranzitorii.

Luarea în considerare a acestui fapt sugerează următoarea metodă a ajustării comportamentului buclei închise :

- selectarea plasării dorite pentru polii buclei închise pe baza specificațiilor;
- calculul răspunsului în timp;
- calculul amplificării reacției pentru a atinge amplasările.

Tehnica descrisă este cunoscută sub denumirea de metoda amplasării polilor.

Proiectarea unui compensator dinamic (controller), pentru un sistem definit în spațiul stărilor implică două etape, care sunt prezentate în continuare:

- selectarea amplificării reacției de stare;
- calculul matricei de amplificare  $\underline{k}$ .

Reacția de stare :

$$\underline{\dot{u}} = -\underline{K}\underline{x} \quad (6.14)$$

este cea care definește dinamica buclei închise :

$$\underline{\dot{x}} = (\underline{A} - \underline{BK})\underline{x} \quad (6.15)$$

iar polii buclei închise sunt valorile proprii ale expresiei  $\underline{A} - \underline{BK}$ .

Folosind algoritmi de amplasarea polilor putem calcula matricea de amplificare  $\underline{K}$  cu ajutorul căreia se amplasează polii în orice loc dorit în planul complex.

#### 6.5.4. Proiectarea estimatorului

După cum s-a mai precizat, nu se poate implementa o lege de reacție  $\underline{\dot{u}} = -\underline{K}\underline{x}$ , decât dacă toate stările  $\underline{x}$  sunt cunoscute. Cum în practică în cele mai

multe cazuri nu se pot măsura toate stările necesare, va trebui să se construiască o estimată  $\hat{x}$  a stărilor procesului, în așa fel încât legea de reglare 6.14, să păstreze aceleași amplasări ale polilor. Acest deziderat este atins prin proiectarea unui estimator de stare (sau "observer") de forma (6.13). Polii estimatorului sunt valorile proprii ale expresiei  $\underline{A}-\underline{L}\underline{C}$ , care poate fi atribuită arbitrar prin alegerea potrivită a matricei de amplificare a estimatorului  $\underline{L}$ .

Pentru amplasarea polilor este de dorit să se evite amplasarea unor poli multipli în același loc. De asemenea se poate aminti ca regulă faptul că dinamica estimatorului va trebui să fie mai rapidă decât cea a reacției, cu alte cuvinte polii estimatorului vor trebui plasați mai în stânga în planul complex decât cei ai reacției.

Pentru proiectarea estimatorului și a amplificării reacției se vor folosi o serie de funcții ale mediului Matlab – Simulink. Funcțiile specifice proiectării sistemelor de control se găsesc într-o bibliotecă specială a mediului de programare, denumită "Control system toolbox".

Pentru cazul concret de proiectare se definesc caracteristicile sistemului real:

$$k_1=1, k_2=1, k_3=1, k_4=1, k_5=1, m_1=1, m_2=1, m_3=1, c_1=1, c_2=1, c_3=1, c_4=1, c_5=1$$

deci :

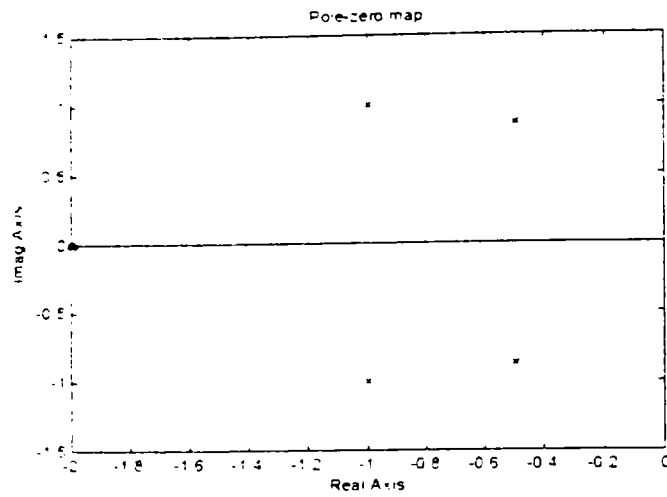
$$k_1+k_2=2, k_3+k_4=2, k_2+k_4+k_5=3, c_1+c_2=2, c_3+c_4=2, c_2+c_4+c_5=3$$

Pentru valorile arătate, structura sistemului deschis se generează cu ajutorul funcției MATLAB "ss(A, B, C, D)", în care matricile sistemului au următoarele valori :

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -2 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & -2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -3 & -3 \end{bmatrix}; \underline{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \underline{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \underline{D} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6.16)$$

Polii sistemului deschis se calculează cu ajutorul funcției MATLAB "pole(A,B,C,D)" și au valorile:

$$\begin{aligned} & -2.0000 + 0.0000i \\ & -2.0000 - 0.0000i \\ & -1.0000 + 1.0000i \\ & -1.0000 - 1.0000i \\ & -0.5000 + 0.8660i \\ & -0.5000 - 0.8660i \end{aligned}$$



**Figura 6.6** Reprezentarea grafică în planul complex a polilor sistemului deschis

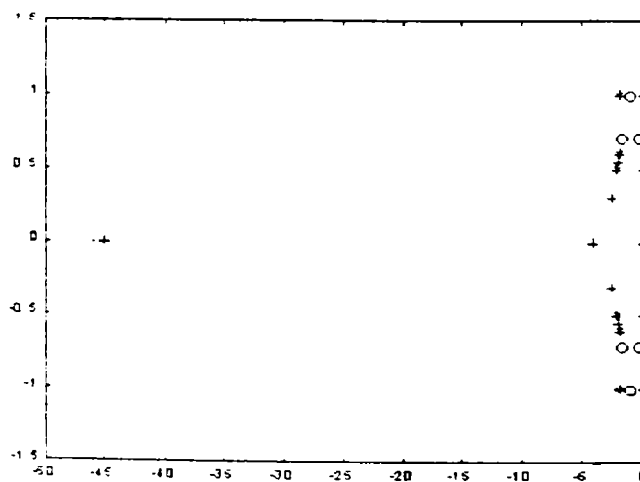
Aceste valori pot fi afișate grafic cu ajutorul funcției MATLAB "pzmap" rezultatul fiind prezentat în figura 6.6.

Pentru construirea polilor estimatorului se adoptă principiul de a amplasa polii acestuia la stânga polilor sistemului, evitând totodată formarea polilor multipli. Adoptând astfel vectorii polilor estimatorului și ai reacției :

polii estimator =  $P_{estimator}$     polii reacției =  $P_{reactie}$

se obține o amplasare a polilor ca cea din figura 6.7.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| -2.0000 + 0.5500i | -1.8000 + 1.0000i |
| -2.0000 - 0.5500i | -1.8000 - 1.0000i |
| -2.5000 + 0.3000i | -1.8500 + 0.6000i |
| -2.5000 - 0.3000i | -1.8500 - 0.6000i |
| -4.0000           | -2.1000 + 0.5000i |
| -45.0000          | -2.1000 - 0.5000i |



**Figura 6.7** Reprezentarea în planul complex a polilor :  
(o) procesului, (+) estimatorului și ai (\*) reacției.

Folosind această amplasare a polilor se calculează matricea  $\underline{L}$  a estimatorului respectiv matricea  $\underline{K}$  a reacției folosind funcția MATLAB numita "place".

Forma normală a funcției place este dată de expresia :

$$\underline{H} = \text{place}(\underline{A}, \underline{B}, \underline{P}) \quad (6.17)$$

în care :  $\underline{A}$  – matricea procesului;

$\underline{B}$  – matricea comenzii;

$\underline{P}$  – vectorul polilor;

$\underline{H}$  – matricea de amplificare căutată.

Funcția amintită calculează matricea  $\underline{H}$ , în așa fel încât  $\underline{P}$  să fie vectorul valorilor proprii ai expresiei  $(\underline{A} - \underline{B}^* \underline{H})$ , folosind funcția MATLAB "eig" :

$$\underline{P} = \text{eig}(\underline{A} - \underline{B}^* \underline{H}) \quad (6.18)$$

Sub această formă funcția nu este direct aplicabilă pentru calculul matricii  $\underline{L}$ , deoarece în acest caz :

$$\underline{P}_{\text{estimator}} = \text{eig}(\underline{A} - \underline{L}^* \underline{C}) \quad (6.19)$$

Relație ce se poate transcrie :

$$\underline{P}_{\text{estimator}} = \text{eig}(\underline{A}' - \underline{C}'^* \underline{L}') \quad (6.20)$$

în care apostroful indică operația de transpunere a matricilor.

Astfel funcția (6.17) se va modifica :

$$\underline{L} = \text{place}(\underline{A}', \underline{C}', \underline{P}_{\text{estimator}}) \quad (6.21)$$

Valoarea calculată a matricii  $\underline{L}$  este :

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} 42.7962 & -4.2331 \\ 316.7068 & -51.5230 \\ 48.6312 & -5.9703 \\ 184.9079 & -26.7722 \\ -2.8109 & 3.3688 \\ 51.6954 & -8.3128 \end{bmatrix}$$



O dată cunoscută valoarea lui  $\underline{L}$ , se formează estimatorul cu ajutorul funcției

MATLAB "estim"

$$\text{Est} = \text{estim}(\text{sproces}, \underline{L}, \text{senzori}, \text{comenzi}) \quad (6.22)$$

în care Est - structura estimatorului ;

sproces - structura procesului;

$\underline{L}$  - matricea de amplificare a estimatorului;

senzori - vectorul mărimilor de ieșire măsurate;

comenzi - vectorul comenzilor cunoscute;

Astfel structura estimatorului va fi :

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -42.79 & 0 & 4.23 & 0 \\ -2 & -2 & -315.71 & 1 & 51.52 & 0 \\ 0 & 0 & -48.63 & 1 & 5.97 & 1 \\ 1 & 1 & -186.91 & -2 & 27.77 & 1 \\ 0 & 0 & 2.81 & 0 & -3.36 & 1 \\ 0 & 0 & -50.69 & 1 & 6.31 & -2 \end{bmatrix}; \underline{B} = \begin{bmatrix} 0 & 42.79 & -4.23 \\ -1 & 316.71 & -51.52 \\ 0 & 48.63 & -5.97 \\ 1 & 184.91 & -26.77 \\ 0 & -2.81 & 3.36 \\ 0 & 51.69 & -8.31 \end{bmatrix};$$

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \underline{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.23)$$

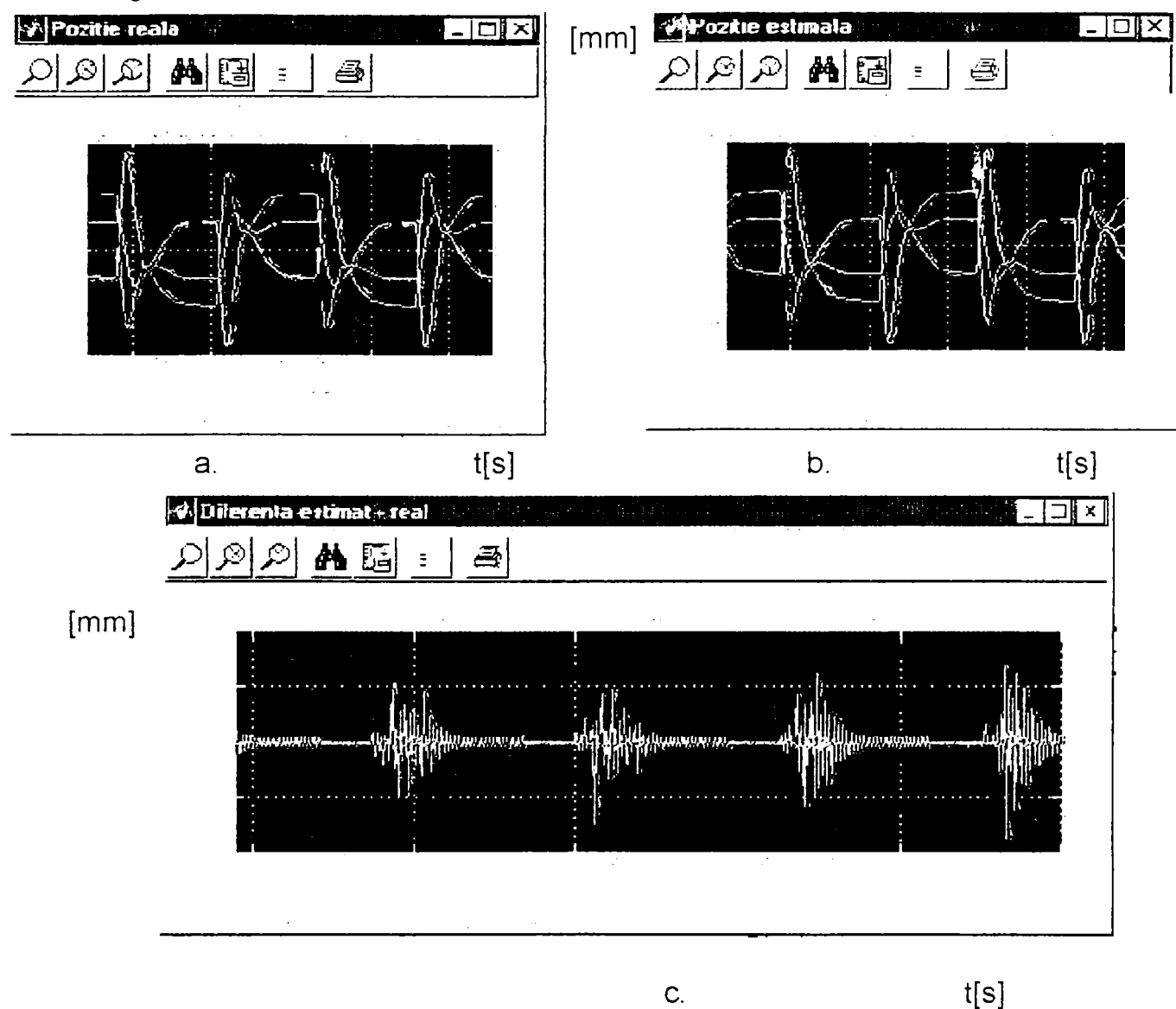
Calculul matricii de amplificare a reacției se execută cu funcția "place" dată de relația aplicată după cum urmează:

$$\underline{K} = \text{place}(\underline{A}, \underline{B}, \underline{P}_{\text{reacție}}) \quad (6.24)$$

din care se obține matricea :reglării :

$$\underline{K} = [ 32.8849 \quad 22.3772 \quad 39.9769 \quad 27.8772 \quad 23.6674 \quad 17.0706 ]^T \quad (6.25)$$

Efectuând simularea pe modelul prezentat în figura 6.4. se obțin rezultatele date în figura 6.8



**Figura 6.8.** Rezultatele simulării : a. – poziție reală a centrului de masă,  
b. – poziție estimată a centrului de masă,  
c. – diferența dintre poziția reală și cea estimată a centrului de masă.

În fiecare din graficele din figura reprezentate în figurile 6.8. a și b sunt reprezentate curbele de variație a amplitudinii în raport cu timpul pentru centrul de masă al sculei 1 (curbele de culoare galbenă), al sculei 2 (curbele de culoare mov) și piesei de prelucrat (curbele de culoare albastră).

În figura 6.8. c, sunt prezentate diferențele dintre cele două poziții, estimată și reală.

## 6.6. Concluzii

Din analiza rezultatelor simulării reiese că pentru estimatorul proiectat și reglarea calculată eroarea de estimare este de circa  $\pm 10^{-6}$  [mm], ceea ce corespunde la  $2 \times 10^{-3}$  %, fiind mult sub valoarea permisă a erorii, care este de 10% din semnalul util și ca atare modelul construit are o precizie foarte bună.

Metoda de construire a modelului, descrisă în acest capitol, face posibilă studierea caracteristicilor cinematice și dinamice ale procesului de așchiere, proiectarea de dispozitive tehnologice astfel încât caracteristica oscilațiilor la nivelul contactului dintre piesă și sculă să fie optimă.

De asemenea prin folosirea modelului cu estimator se pot obține informații asupra unor stări ale procesului de așchiere, care nu pot fi măsurate direct, aceste informații fiind utile, atât în proiectarea sculelor combinate, cât și în alegerea parametrilor tehnologici ai procesului de așchiere.

Utilizarea modelului permite evaluarea stabilității dinamice a procesului de așchiere cu scule combinate având două tăișuri, în următoarea succesiune de etape:

- se proiectează scula combinată;
- se deduc parametrii  $k$ ,  $c$  și  $m$  în funcție de caracteristicile constructive ale sculei proiectate;
- se proiectează estimatorul;
- se rulează programul de simulare;
- se verifică eroarea rezultată la estimarea procesului și se reia proiectarea estimatorului dacă este cazul;
- se rulează modelul pentru diferite valori ale perturbațiilor sistemului, studiind caracteristicile mișcării maselor concentrate în raport cu timpul, figura 6.8;
- se pot deduce, în acest mod, domeniile în care caracteristicile dinamice ale sculei combinate sunt stabile.

## 7.CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE ȘI PRACTICE PRIVIND UTILIZAREA SCULELOR COMBINATE ÎN SISTEMELE DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ

### 7.1. Contribuții privind realizarea unui sistem experimental pentru monitorizarea procesului de aşchiere multităiş.

#### 7.1.1. Schema instalației experimentale

S-a arătat în capitolul 2 faptul, că monitorizarea procesului tehnologic de aşchiere este una din condițiile funcționării automate a sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin aşchiere. În cadrul tezei de doctorat autorul propune, realizarea și experimentarea unui asemenea sistem de monitorizare.

Structura generală a instalației experimentale proiectată și realizată pentru a asigura monitorizarea uzurii la sculele aşchietoare combinate folosite pentru strungul cu comandă numerică NCL 2000 (inclus în sistemul CIM 2000, prezentat în figura 7.1., existent la Universitatea din Oradea), este prezentată în figura 7.2.

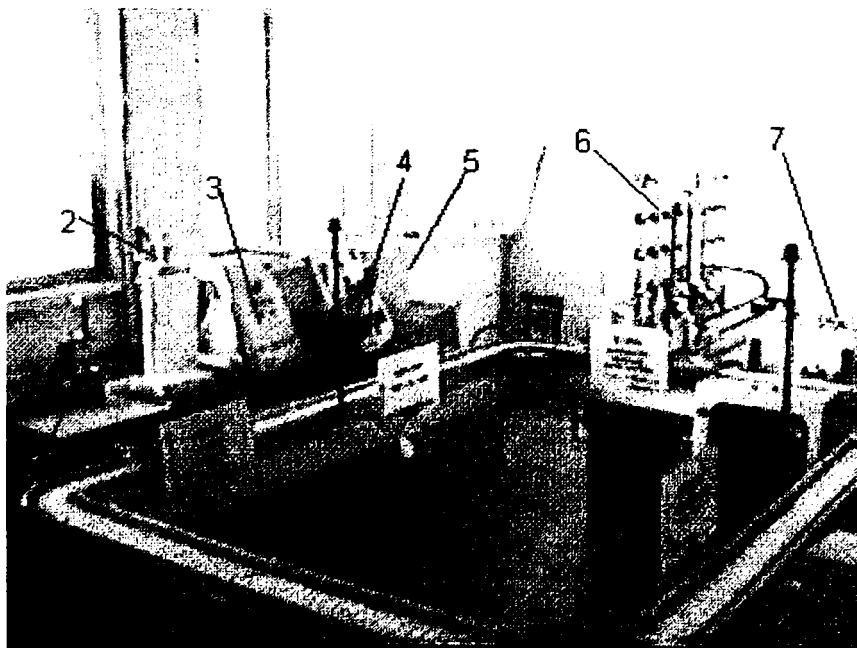
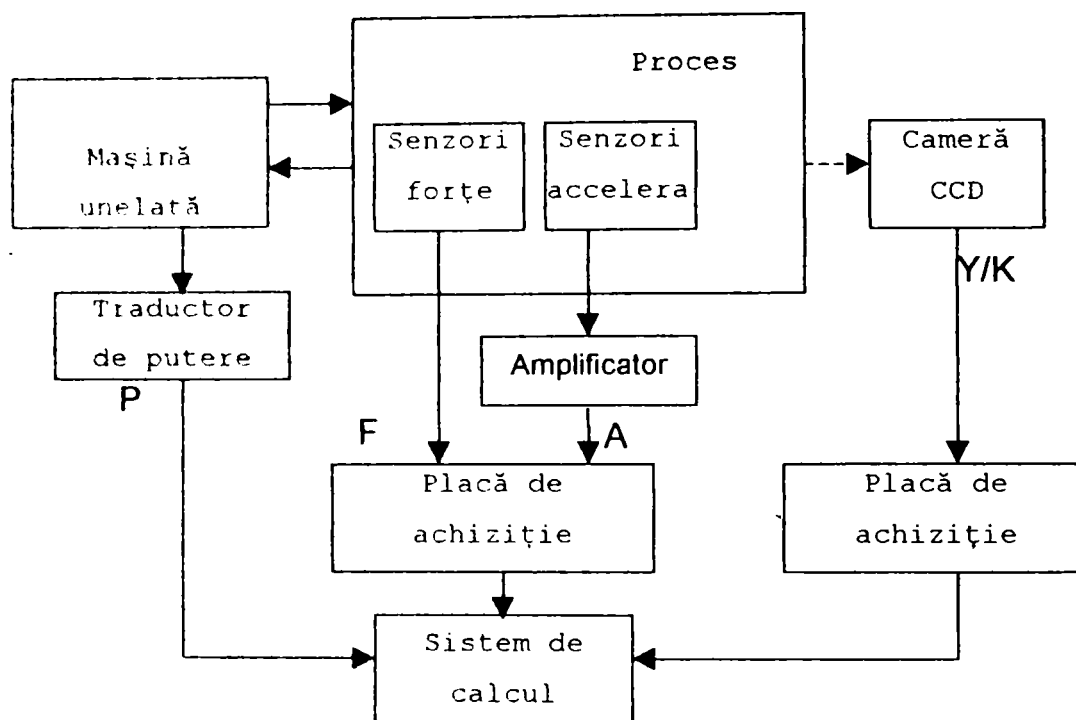


Figura 7.1. Sistemul CIM 2000 existent la Universitatea din Oradea

În componența sistemului CIM 2000, de la Universitatea din Oradea, în conformitate cu figura 7.1 intră:

- 1- presă pneumatică de asamblare;
- 2- stație de control dotată cu cameră CCD;

- 3- strung cu comandă numerică, NCL 2000;
- 4- robot industrial;
- 5- stație CAD;
- 6- calculator central de conducere a procesului.

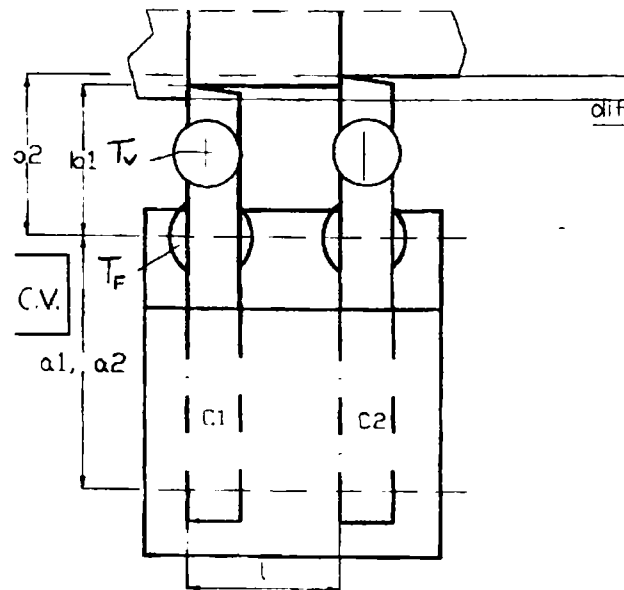


**Figura 7.2. Structura generală a instalației experimentale**

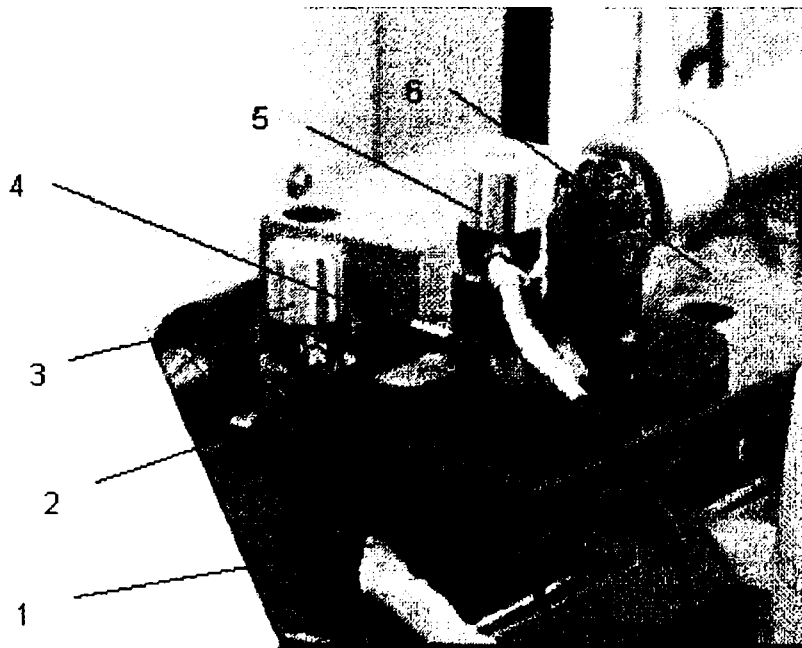
Semnificația notațiilor din figura 7.2, este:

- **P** - semnal în tensiune, proporțional cu puterea consumată la motorul acționării principale, c.c. 0-10 V, rata de achiziție 20KHz;
- **F** - semnal în tensiune, obținut de la traductorul magnetostrictiv, proporțional cu forța principală de așchiere, c.a. 0-10V, rata de achiziție 20KHz;
- **A** - semnal în tensiune, obținut de la traductorul piezoelectric (accelerometru), c.c. 0-10V, rata de achiziție 20KHz;
- **Y/K** - semnal video, obținut de la camera CCD, rata de achiziție 14 cadre/secundă.

Dispozitivul adaptabil pe strungul cu comandă numerică NCL 2000, este prezentat în figura 7.3, iar realizarea lui practică montată pe strungul cu comandă numerică NCL 2000 prezentată în figura 7.4.



**Figura 7.3. Schema dispozitivului experimental și a amplasării traductoarelor:**  
**C.V.- camera video;  $T_v$  – traductor vibrații (acelerații);  $T_F$ - traductor forță; c1, c2 – cuțitele așchietoare ale sculei combinate; dif – diferența dintre reglajele radiale ale cuțitelor; a1,a2 – distanțele de rezemare a cuțitelor în dispozitive (cote fixe); b1,b2 – distanțele în consolă a cuțitelor ( cote reglabile); l – distanța axială între cuțite ( cotă reglabilă)**



**Figura 7.4. Fotografia părții mecanice a dispozitivului experimental montată pe strungul cu comandă numerică NCL 2000**

Semnificația notațiilor din figura 7.4., este:

- 1- traductor pentru măsurarea forței principale de așchiere;
- 2- cuțitul 1;

- 3- accelerometru, montat pentru cuțitul 1;
- 4- cuțitul numărul 2;
- 5- accelerometru, montat pentru cuțitul 2;
- 6- port sculă.

Dispozitivul este conceput pentru a funcționa după o metodă de control combinată, conform capitolului 2, figura 2.16, al tezei. Acesta se compune din două cuțite fixate într-un portcuțit special care oferă posibilitatea reglării radiale (respectiv a dimensiunilor  $a_1, a_2$  și  $b_1, b_2$ ) și axiale (respectiv a dimensiunii  $l$ ) și are posibilitatea monitorizării în timpul procesului de așchiere a forțelor principale și vibrațiilor care apar pe cele două scule, fiind dotat cu traductoare de forță și traductoare de accelerație. Pentru monitorizarea puterii se aplică metoda de măsură indirectă prin conectarea la motorul acționării principale a unui traductor de putere, descris în paragraful 7.1.3.

### 7.1.2. Subsistem de monitorizare a forțelor principale de așchiere

În procesul de așchiere ca urmare a mișcării relative între piesă și sculă, scula exercită o forță asupra materialului de prelucrat producând îndepărtarea stratului de material sub formă de așchii după o anumită direcție. Îndepărtarea stratului de material sub formă de așchii se face în același timp cu învingerea tuturor forțelor de frecare, interne și externe (figura 7.5.).

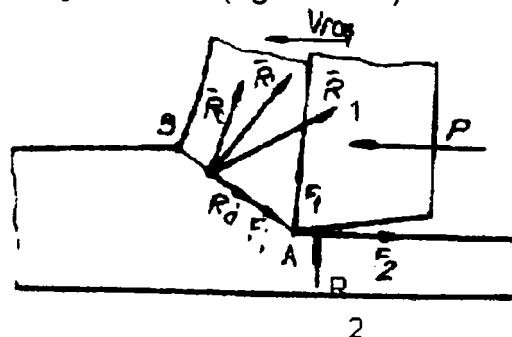


Figura 7.5. Forțele de așchiere

Pe un element al suprafeței de forfecare A-B apar următoarele reacțiuni:

$\bar{R}_c$  - forța de compresie datorată tensiunilor normale,

$\bar{R}_d$  - forța de alunecare datorată tensiunilor tangențiale,

$\bar{F}_i$  - forța de frecare interioară.

Suma celor trei forțe este numită forță interioară datorată lucrului mecanic de deformație elastică și plastică, notată cu  $\bar{R}_1$ :

$$\bar{R}_1 = \bar{R}_c + \bar{R}_d + \bar{F}_i \quad (7.1)$$

-  $\bar{F}_2$  - forța de frecare dintre suprafața prelucrată a piesei și fața de așezare a sculei:

$$\bar{F}_2 = \mu_2 \bar{R}_2 \quad (7.2)$$

-  $\mu_2$  – vectorul având modulul egal cu coeficientul de frecare;

-  $\bar{R}_2$  - Forța de frecare dintre așchie și forța de degajare a sculei.

Rezultă că în procesul de așchiere în orice moment, asupra sculei acționează o rezistență totală  $\bar{R}$  (figura 7.5.)

$$\bar{R} = \bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{F}_1 + \bar{F}_2 \quad (7.3)$$

Forța de rezistență totală  $\bar{R}$  are o direcție oarecare în spațiu. Pentru calculele de dimensionare a sculei a organelor lanțurilor cinematice, cât și pentru monitorizarea forțelor de așchiere, este necesară cunoașterea componentelor rezistenței totale  $\bar{R}$  după direcțiile sistemului cinematic Oxyz (sistemul de referință al mașinii unelte).

Forța rezultantă  $\bar{R}$ , reprezentând rezistența totală pe care o opune stratul de material așchiat acțiunii sculei o considerăm aplicată într-un singur punct al muchiei așchietoare.



În figura 7.6. sunt reprezentate componentele pentru cazul strunjirii:

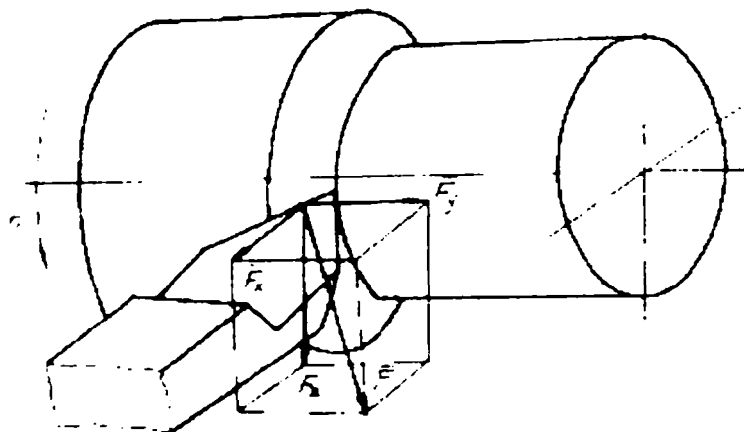


Figura 7.6. Componentele rezultantei forțelor de așchiere la prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare

Componenta cea mai importantă, numită și componenta principală notată cu  $\bar{F}_z$  este orientată după direcția vitezei principale de așchiere și este necesară calculului puterii de așchiere, cât și pentru monitorizarea uzurii sculelor așchietoare. Puterea consumată de acționarea principală, în cazul unei singure muchii așchietoare, este dată de relația :

$$P_m = F_z * v / 6000 * \eta_g \quad (7.4)$$

în care:

- $F_z$  - este componenta principală a forței în daN;
- $P_m$  - puterea absorbită de motorul de acționare, în kW;
- $V$  - viteza principală de așchiere, în m/s;
- $\eta_g$  - randamentul global al mașinii-unelte.

În cazul folosirii sculelor combinate, se presupune că relația puterii de așchiere, se poate scrie :

$$P_m = \sum_{i=1}^n F_{z_i} * v_i / 6000 * \eta_s$$

unde :  $i = 1..n$  reprezintă numărul de scule așchietoare, al sculei combinate.

Componenta  $\bar{F}_x$  este necesară dimensionării lanțului cinematic de avans, iar componentul  $\bar{F}_y$ , numită componenta pasivă (de respingere), este necesară dimensionării din punct de vedere al rigidității cadrului mașinii-unelte.

Determinarea componentei principale se poate face fie analitic, stabilind o relație de calcul a mărimii componentei ținând cont de parametrii tehnologici ai procesului de așchiere, fie experimental.

Pornind de la ecuația politropică a compresiunii plastice s-a ajuns la o relație pentru calculul componentei principale:

$$F_z = C_{fz} * t^{Y_{fz}} * s^{X_{fz}} \quad (7.5)$$

Ținând cont de influența diferiților factori asupra forței de așchiere, materialul prelucrat, regimul de așchiere, geometria sculei, lichidul de răcire-ungere, relația completă pentru calculul componentei principale este:

$$F_z = C_{fz} * t^{Y_{fz}} * s^{X_{fz}} * K_{fz} \quad (7.6)$$

Relațiile de calcul pentru celelalte componente sunt

$$F_x = C_{fx} * t^{Y_{fx}} * s^{X_{fx}} * K_{fx} \quad (7.7)$$

$$F_y = C_{fy} * t^{Y_{fy}} * s^{X_{fy}} * K_{fy} \quad (7.8)$$

$K_{F_{x,z,y}}, C_{F_{x,y,z}}$ , sunt coeficienți ce țin seama de materialele prelucrate, respectiv coeficienți globali de corecție care țin seama de condițiile de lucru schimbate față. de cele experimentale.

Senzorii de forță folosiți la sistemul de achiziție realizat la Universitatea din Oradea, de către autor, sunt de tip magnetostrictiv.

Substanțele magnetice supuse acțiunii câmpului magnetic suferă o serie de modificări de natură geometrică (dimensiunile) și de natură mecanică (modulul de elasticitate). Fenomenul fiind reversibil, rezultă că sub acțiunea unor tensiuni mecanice se produce modificarea curbei de magnetizare și implicit a permeabilității magnetice sau a inducției remanente. Aceste fenomene reprezintă proprietatea de *magnetostricțiune*, ce caracterizează interacțiunea dintre momentele magnetice elementare și rețeaua cristalină.

Pe baza fenomenului de magnetostricțiune pot fi realizate traductoare de forță, fie bazate pe variația permeabilității magnetice, fie bazate pe variația inducției

remanente. Astfel, în figura 7.7 se prezintă un tip de traductor magnetostrictiv bazat pe modificarea permeabilității de inductivitate proprie. Traductorul este realizat sub forma unei inductivități cu circuit magnetic închis; trebuie remarcat faptul că întrefierul reduce sensibilitatea traductorului. Pentru acest traductor apare o variație relativă a permeabilității magnetice proporțională cu tensiunea mecanică ( efortul unitar  $\sigma$ ), care se transformă în variația relativă a reluctanței magnetice și în final, într-o variație relativă a inductivității:

$$\Delta L / L = k \cdot \sigma \quad (7.9)$$

Trebuie menționat că permeabilitatea magnetică scade o dată cu creșterea frecvenței și depinde de amplitudinea curentului de excitație; de aceea, pentru fiecare traductor trebuie stabilit regimul optim de funcționare.

Caracteristica de transfer este sensibilă la variațiile de temperatură (sensibilitatea scade cu circa 0,1% / °C) și prezintă histerizis. Erorile tolerate ale acestor traductoare sunt reduse, de ordinul 2-5%, ele permițând preluarea unor sarcini mari. Traductoarele folosite pentru măsurarea forțelor în timpul procesului de prelucrare prin așchiere, au un domeniu de măsurare de până la 500 daN . Conform datelor etalonării preliminare se constată că acestea au o caracteristică cvasistaționară în domeniul de 0 –300daN.

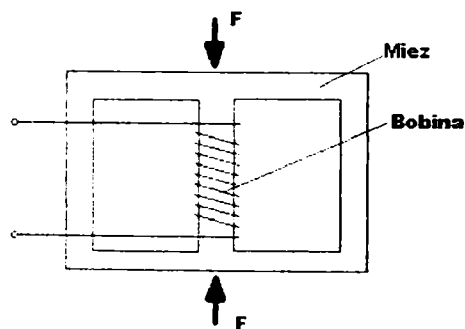


Figura 7.7. Schema de funcționare a unui senzor magnetostrictiv. F – forța măsurată.

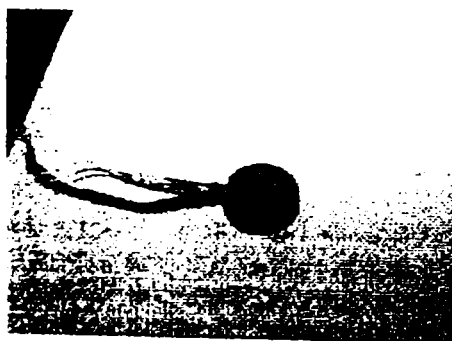
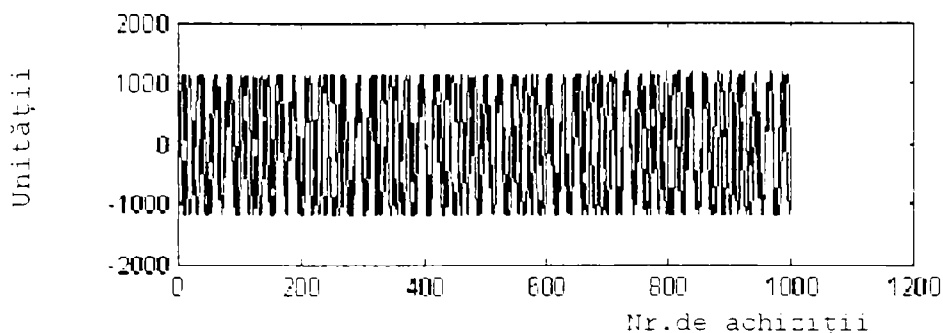


Figura 7.8. Fotografia traductorului de forță magnetostrictiv folosit pentru experimentări



**Figura 7.9. Reprezentarea grafică a variației, în funcție de timp, a intensității semnalului dat de către traductorul magnetostrictiv și citit cu ajutorul plăcii de achiziție**

În figura 7.8. se prezintă fotografia unui traductor magnetostrictiv folosit în cadrul sistemului dezvoltat de către autor la Universitatea din Oradea, iar în figura 7.9. se prezintă diagrama de variație a semnalului dat de către traductor în funcție de timp.

Tensiunea de alimentare a traductorului este alternativă la o valoare de 3 V și frecvență de 20KHz, obținută de la un generator de semnal cu frecvență variabilă, model 202, fabricat OK Electronics Division. Supus acțiunii unei forțe de compresiune traductorul își modifică proprietățile magnetice și electrice în același timp fiind modificată și amplitudinea tensiunii de ieșire.

Conversiile A/D (analog/digital) respectiv D/A (digital/analog) sunt realizate de către o placă de achiziție PCI 1200, de fabricație National Instruments, cuplată la magistrala calculatorului PC. Placa de achiziție este dotată cu un set de biblioteci de funcții dezvoltate pentru programare în limbajul Visual C++.

Datele achiziționate sunt salvate în fișiere sub formă binară, reprezentând rezultatele conversiei analog – digitale. O unitate digitală reprezintă echivalentul în volți a domeniului de măsurare (10 V) împărțit la  $2^{12} = 4096$  (reprezentând lățimea canalului de conversie digitală = 12 biți).

Astfel :

$$1 \text{ unitate digitală} = 10 / 4096 = 0,002241 \text{ V}$$

Pentru a calcula valoare amplitudinii semnalului în tensiune :

$$\text{amplitudine semnal} = N. \text{ unități digitale} \times 0,002241 \text{ [volți]}$$

În figura 7.9. pe abscisă s-a reprezentat numărul de achiziții a cărei conversie în unități de timp este dată de relația :

$Timp = \text{Numărul de achiziții} \times \text{Rata de achiziție [secunde]} \quad (7.10),$

unde Rata de achiziție reprezintă numărul de achiziții / secundă, și este un parametru reglabil al conversiei analog – digitale.

Programul de achiziție este scris în limbajul Visual C++, folosind funcții din biblioteca de funcții a plăcii de achiziție. Codul sursă al programului de achiziție este prezentat în anexa 7 1

Pentru a obține o acuratețe cât mai mare a măsurărilor traductoarele au fost etalonate fiind supuse unor încărcări cu forțe cunoscute. Prelucrarea semnalelor achiziționate, în forma prezentată în figura 7.9., se realizează cu programe scrise în limbajul de programare al mediului MATLAB, ce sunt integrate în "Programul de analiză și monitorizarea a uzurii sculelor multitaș". Etalonarea traductoarelor se realizează prin achiziția datelor cu ajutorul sistemului descris anterior în fișiere corespunzând unor încărcări ale traductoarelor cu forțe de respectiv 0.5.10.15.20.25.30 daN.

În tabele 7.1. și 7.2. sunt prezentate rezultatele etalonării traductoarelor folosite. În tabele s-au făcut următoarele notații:

- G respectiv F – încărcarea ;
- Vmin\_m – valoarea minimă a semnalului în unități digitale;
- Vmax\_m – valoarea maximă a semnalului în unități digitale;
- Amplitudinea semnalului în unități digitale.

Se observă că există o corelație aproape liniară între încărcare și semnalul achiziționat, deci traductorul are o comportare satisfăcătoare în domeniul de interes.

**Tabelul 7.1. Rezultatele obținute la etalonarea traductorului pentru măsurarea forței, 1**

Nr.crt.	G[kg]	F[daN]	Vmin_m	Vmax_m	Vmax_m-Vmin_m
1	0	0	-1267.5	1282.4	2549.9
2	5	50	-1233.3	1246.2	2479.5
3	10	100	-1206.2	1218.6	2424.8
4	15	150	-1181.7	1193.5	2375.2
5	20	200	-1161.9	1173.1	2335.0
6	25	250	-1151.3	1162.8	2314.1
7	30	300	-1135.8	1147.2	2283.0

Tabelul 7.2. Rezultatele obținute la etalonarea traductorului pentru măsurarea forței, 2

Nr.crt.	G[kg]	F[daN]	Vmin_m	Vmax_m	Vmax_m-Vmin_m
1	0	0	-1197.4	1210.4	2407.8
2	5	50	-1175.3	1187.6	2362.9
3	10	100	-1155.1	1167.5	2322.6
4	15	150	-1131.4	1143.7	2275.1
5	20	200	-1108.7	1120.3	2229.0
6	25	250	-1090.9	1102.5	2193.4
7	30	300	-1072.4	1083.3	2155.7

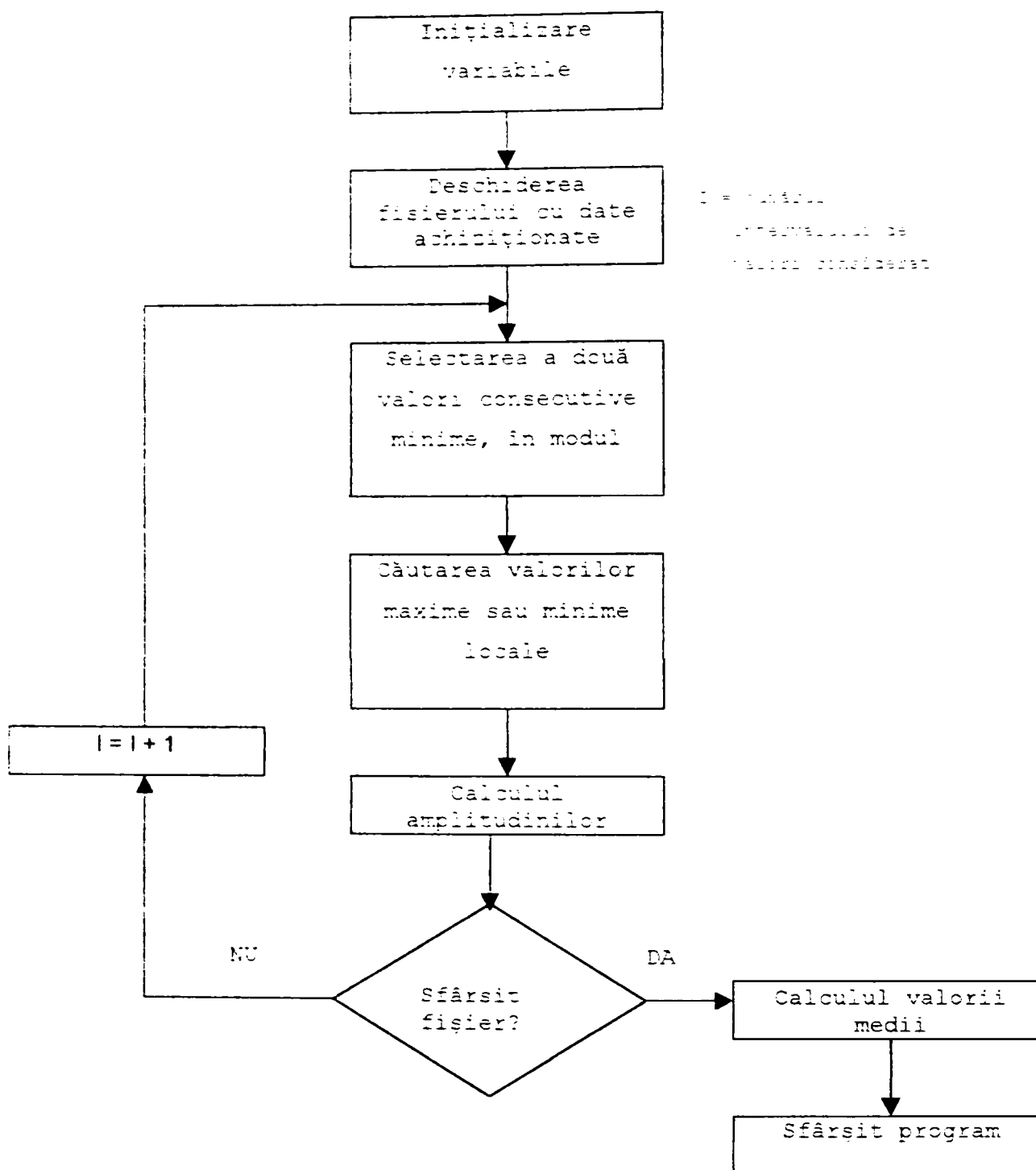
Schema logică a programului de prelucrare a datelor achiziționate, atât pentru etalonare cât și pentru măsurările curente, este prezentată în figura 7.10.

Interfața grafică a programului este arătată în figura 7.11.

Trasarea graficului de etalonare și calculul parametrilor dreptei de etalonare, pentru un traductor, decurge în următorul mod :

- se alege încărcarea la un anumit moment din meniul pop-up (fig.7.12.) ;
- se deschide fișierul achiziționat corespunzător încărcării alese (fig.7.13.);
- se acționează butonul "Calcul", ca rezultat al acesteia programul va afișa semnalul achiziționat (de formă sinusoidală, fig.7.14.), și punctele de maxim și minim ale semnalului (fig.7.15.);
- se calculează media maximelor și minimelor semnalului achiziționat, și se reprezintă într-un punct ( simbolizat prin cerc în fig. 7.16.);
- repetându-se algoritmul prezentat pentru toate încărcările efectuate, se obțin punctele experimentale; aceste puncte se vor aproxima prin metoda celor mai mici pătrate cu o dreaptă a căror parametrii vor fi afișați pe interfața grafică (figura 7.17).

Codul sursă al programului prezentat este descris în anexa 7.2.



**Figura 7.10. Schema logică a programului de prelucrare a datelor achiziționate de la traductorul de forță**

Calculând succesiv valorile medii ale amplitudinilor intensităților semnalelor achiziționate pentru diferite încărcări cunoscute (la etalonare), se obțin pentru cele două traductoare valorile prezentate în tabelele 7.1 și 7.2. Prelucrarea acestora se face cu metoda celor mai mici pătrate, funcțiile rezultate fiind date în paragrafele următoare.

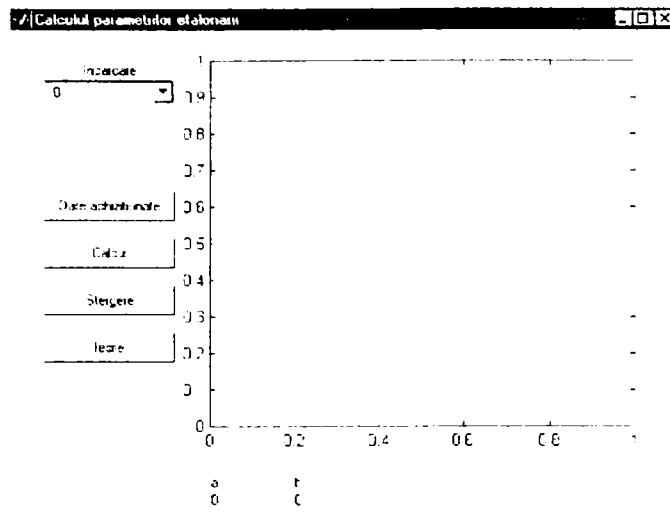


Figura 7.11.

Interfața grafică a programului de prelucrare a datelor achiziționate de traductorii de forță

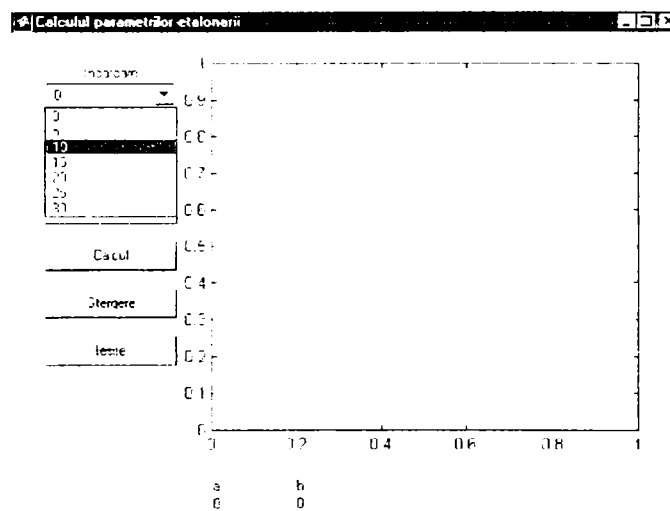


Figura 7.12. Alegerea încărcării din meniul pop-up

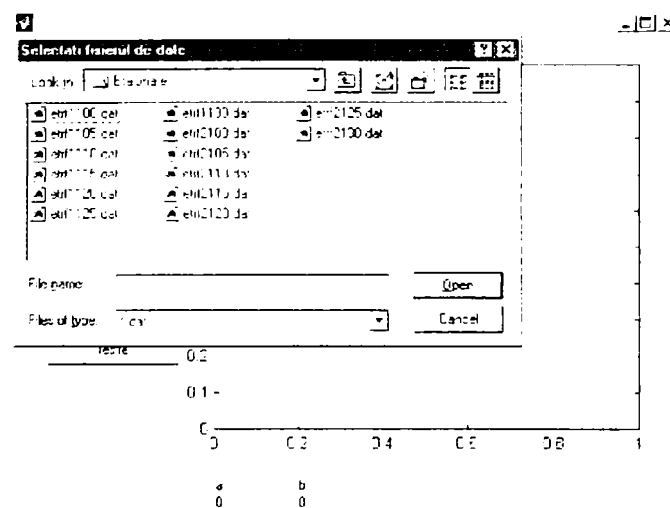


Figura 7.13. Deschiderea fișierului de date achiziționat



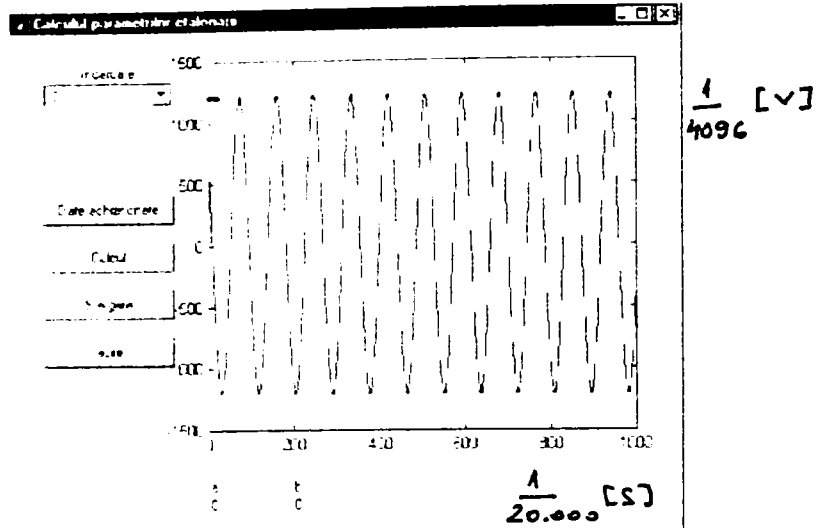


Figura 7.14.

Afișarea semnalului ca urmare a acționării butonului “calcul”

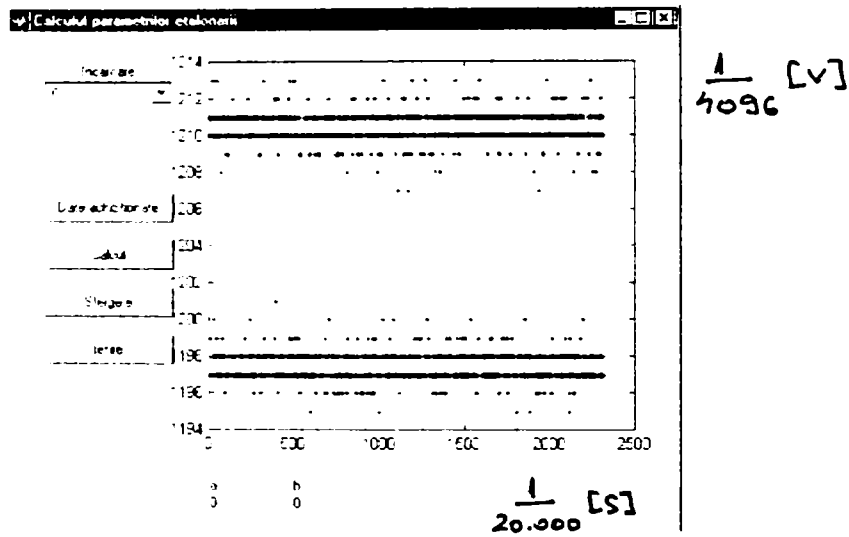


Figura 7.15.

Afișarea semnalului achiziționat și a punctelor de maxim și minim

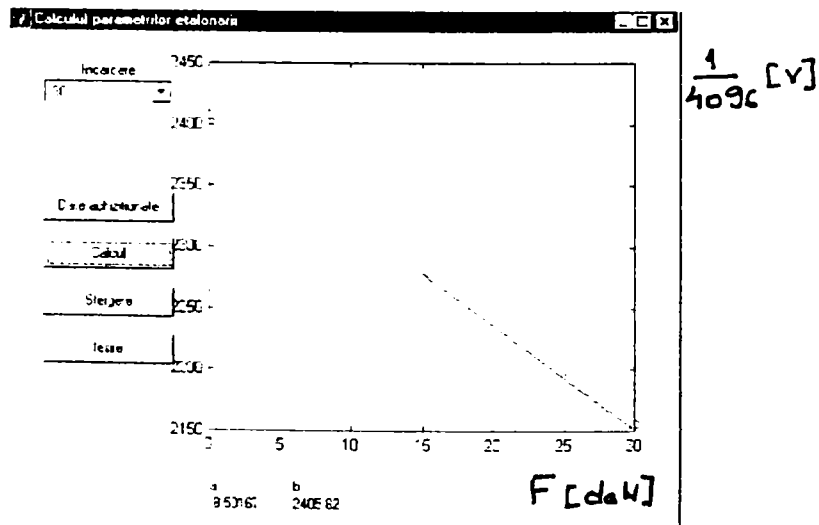


Figura 7.16.

Calculul și afișarea mediei maximelor și minimelor

În cadrul experiențelor realizate de autor s-au măsurat forțele de așchiere pentru o serie de seturi de valori ai parametrilor regimului de așchiere împreună cu combinații de reglaje pentru cele două cuțite ale sculei combinate. Rezultatele obținute, folosite pentru validarea modelelor prezentate în capitolele anterioare (modelarea uzurii cu ajutorul metodei elementelor finite – capitolul 5, respectiv modelarea comportamentului dinamic – capitolul 6), sunt prezentate în paragrafele următoare.

Ca urmare a experimentărilor s-au realizat fișiere achiziționate pentru diferite combinații ale parametrilor regimului de așchiere avans, turație, adâncime de așchiere. Programul de prelucrare a datelor conține trei opțiuni pentru a trasa curbele de corelație a forței de așchiere cu cei trei parametri ai regimului de așchiere. Programul este realizat pentru trasarea curbelor de corelație și calculul parametrilor prelucrând date de la doi traductori corespunzători celor două tăișuri ale sculei combinate folosite în cadrul experimentărilor.

Programul începe cu selectarea parametrului de așchiere cu care se dorește realizarea corelării forței măsurate (fig.7.17.,fig.7.18.). După aceasta se alege valoarea parametrului (de exemplu avansul fig.7.19.). Se alege fișierul corespunzător valorii parametrului selectat (fig.7.20.), după care programul calculează valoarea medie a forței achiziționate. Se repetă procedeul pentru un set de parametri, obținându-se un set de puncte (fig. 7.21.) se acționează butonul "Grafic Tr" pentru traductorul în cauză trasându-se curba de corelație pentru punctele obținute (fig.7.22.).Curba este o aproximare a punctelor experimentale printr-o funcție de gradul doi. Codul sursă al programului este prezentat în anexa 7.3.

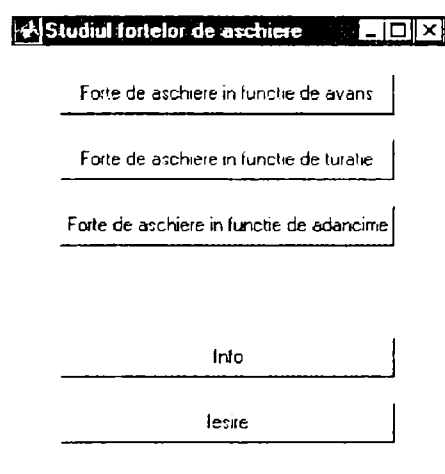


Figura 7.17. Interfața grafică a programului de prelucrare a valorilor achiziționate de către traductorii de forță

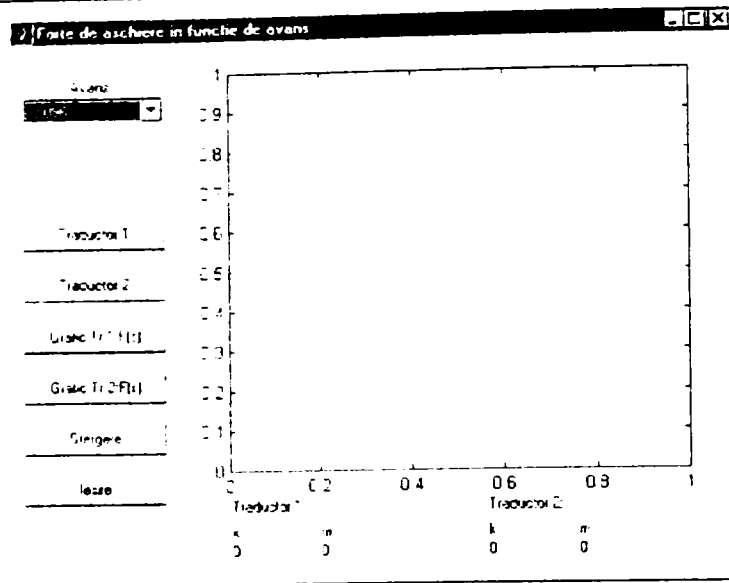


Figura 7.18. Ecranul de alegere a parametrilor regimului de aşchiere

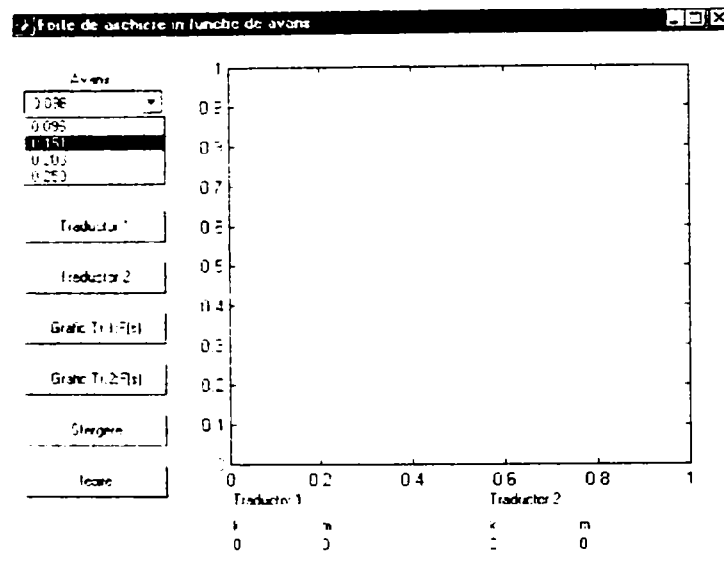


Figura 7.19. Alegerea valorii pentru avans

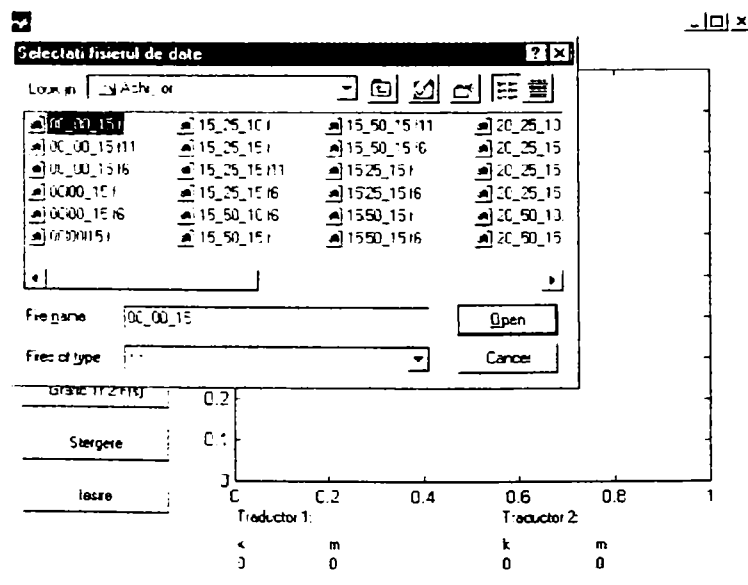


Figura 7.20. Alegerea fişierului corespunzător valorii selectate pentru avans

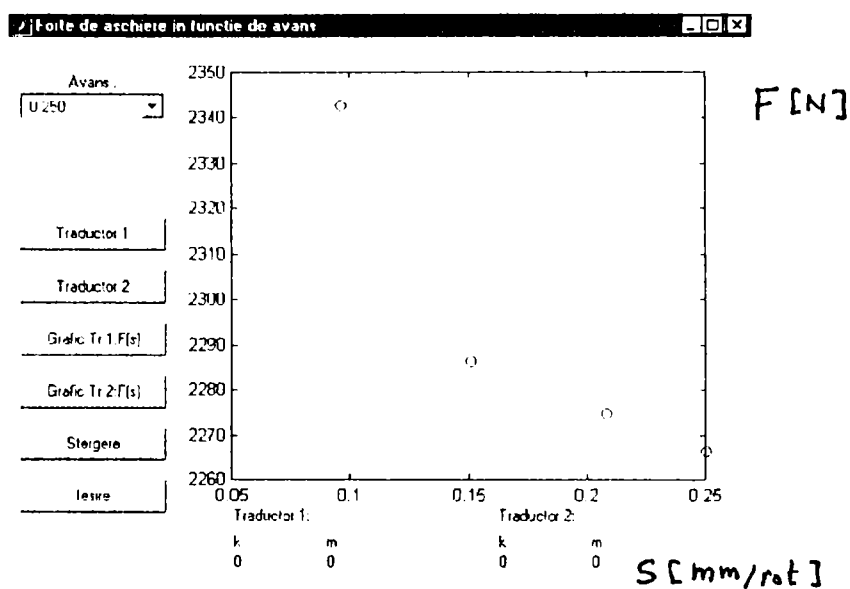


Figura 7.21.

Reprezentarea grafică a valorilor medii calculate pentru forțe

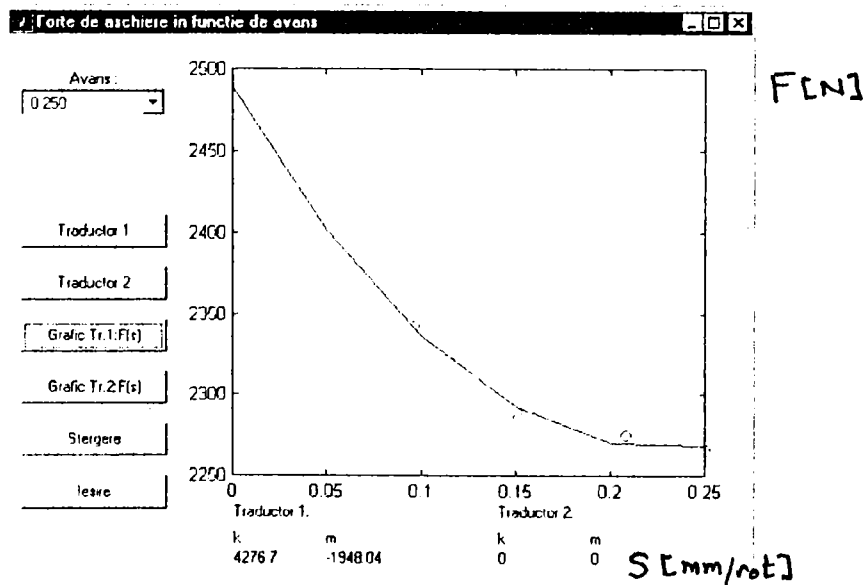


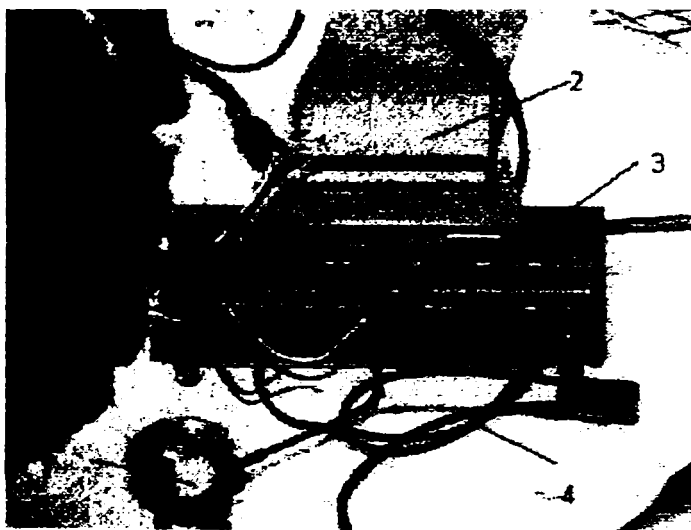
Figura 7.22.

Reprezentarea grafică a curbei de variație a forțelor de așchiere

### 7.1.3. Subsistem de monitorizare a vibrațiilor

În principiu determinarea vibrațiilor presupune măsurarea unuia dintre cei trei parametri caracteristici: amplitudinea, viteza sau accelerația mișcării corpului care vibrează. Cunoscând unul dintre acești parametri se pot deduce ceilalți doi prin operații de derivare sau integrare.

Deoarece, din punct de vedere al procesării semnalului, integrarea este mai avantajoasă decât derivarea, în tehnică se preferă măsurarea accelerației. Un alt avantaj îl constituie faptul că traductoarele de accelerație sau accelerometrele nu necesită un sistem de referință.



**Figura 7.23. Fotografia traductorului piezoelectric și a blocului de conectare la plăcii de achiziție. 1- accelerometru; 2-cablu pentru cuplarea la placa de achiziție; 3- conector pentru cuplarea la canalele de achiziție; 4- cablu pentru transmiterea semnalului achiziționat de accelerometru**

Una dintre cele mai răspândite soluții constructive pentru accelerometre are la bază fenomenul piezoelectric, care constă în proprietatea unor cristale fără centru de simetrie de a genera sarcini electrice pe fețele acestora, când sunt supuse la solicitări de întindere sau compresiune. Cantitatea de sarcină electrică  $Q$  este proporțională cu mărimea forței  $F$  ce produce deformația.

În cadrul experimentărilor se folosesc traductoare piezoelectrice de compresie. Un astfel de traductor este arătat în figura 7.24. Aceste traductoare sunt compuse dintr-o placă de bază prevăzută cu o mufă, care se plasează direct pe piesa a cărei vibrație se măsoară; pe placa de bază sunt plasate două pastile

piezoelectrice asupra cărora acționează masa seismică  $m_s$ . Arcul elicoidal are rolul de a pretensiona întregul sistem mecanic al traductorului. Aceste traductoare, care răspund la undele longitudinale, au o frecvență de rezonanță ridicată și o mare robustețe; ele prezintă însă și o *sensibilitate transversală* de ordinul procentelor din sensibilitatea longitudinală, sensibilitatea totală variind între o valoare minimă și maximă.

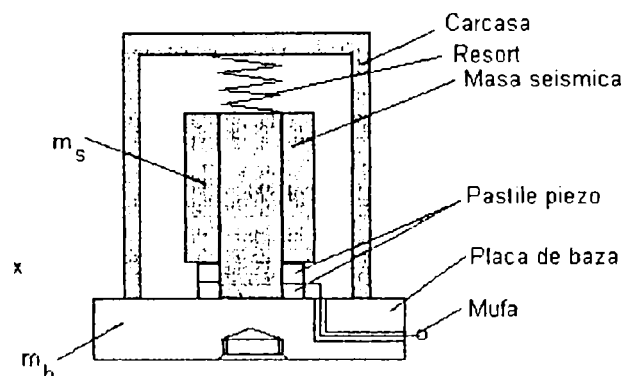


Figura 7.24. Schema constructivă a unui traductor piezoelectric de compresie

În cadrul experimentelor de măsurare a accelerației unor puncte caracteristice de pe scula așchietoare s-au utilizat două accelerometre de tip KD42, produse de firma Metra Mess und Frequenztechnik, Germania.

Traductorul KD42 are un sistem piezoelectric care generează sarcina electrică la solicitarea de compresiune. El este însoțit de un set de accesorii care îi asigură integrarea în lanțul de măsurare, (figura 7.23). Sensibilitatea acestuia este  $B_{qa} = 140$  [pC/g] și exprimă legătura dintre accelerația măsurată și semnalul electric generat.

O altă caracteristică importantă a traductorului este răspunsul în amplitudine, prezentat în figura 7.25. Se observă domeniul de linearitate cuprins între 1 Hz și 10 KHz, interval în care trebuie să se găsească frecvențele vibrațiilor mecanice măsurate.

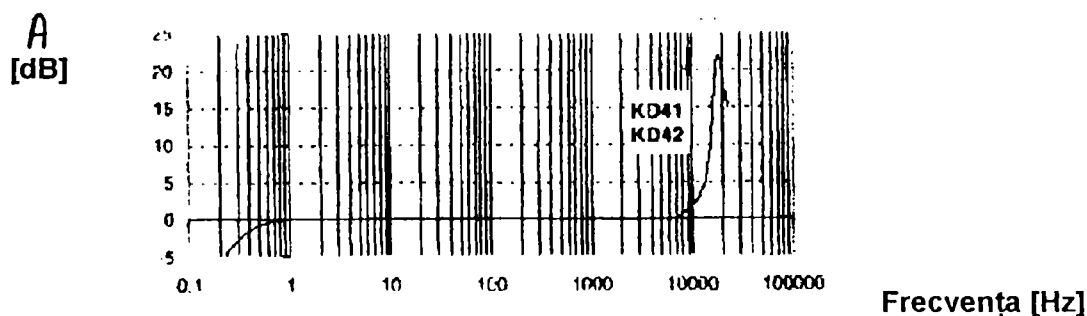


Figura 7.25. Diagrama reprezentând domeniul de liniaritate a traductorului KD42, folosit pentru măsurarea accelerațiilor

Circuitele de măsurare pentru traductoarele piezoelectrice ridică o serie de probleme începând cu cablul de conectare, care introduce o rezistență de izolație și o capacitate parazită. Un alt factor perturbator este fenomenul triboelectric, prin care se produc sarcini electrice ca urmare a frecărilor dintre izolator și metal, din cauza îndoirilor, șocurilor și vibrațiilor. Filtrarea acestor zgomote printr-un amplificator de tensiune este o soluție rigidă deoarece etalonarea schemei se face numai pentru un cablu dat, iar modificarea unor parametri externi pot introduce erori importante.

Eliminarea acestor neajunsuri se face cu ajutorul unor amplificatoare de sarcină, mai exact convertoare de sarcină - tensiune, cu schema prezentată în figura 7.27. Cele două amplificatoare operaționale au fost ecranate pentru a reduce nivelul tensiunilor perturbatoare. Tensiunea măsurată utilizând acest circuit va fi proporțională cu accelerația. La realizarea practică a circuitului de condiționare a semnalului, figura 7.26, trebuie avut în vedere că acesta se comportă ca și un filtru de semnal.

Componentele electronice trebuie alese în așa fel încât să nu se elimine frecvențele utile, în special cele joase, corespunzătoare modurilor proprii de vibrație.

Pentru circuitul din figura 7.26 s-au utilizat următoarele componente :

- AO circuitul operațional de amplificare OPA27GP;
- rezistențele  $R_1 = 40 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$ ,  $R_3 = 39 \text{ K}\Omega$ ,  $R_4 = R_5 = 1,8 \text{ K}\Omega$
- condensatorul  $C = 0,47 \text{ }\mu\text{F}$ .

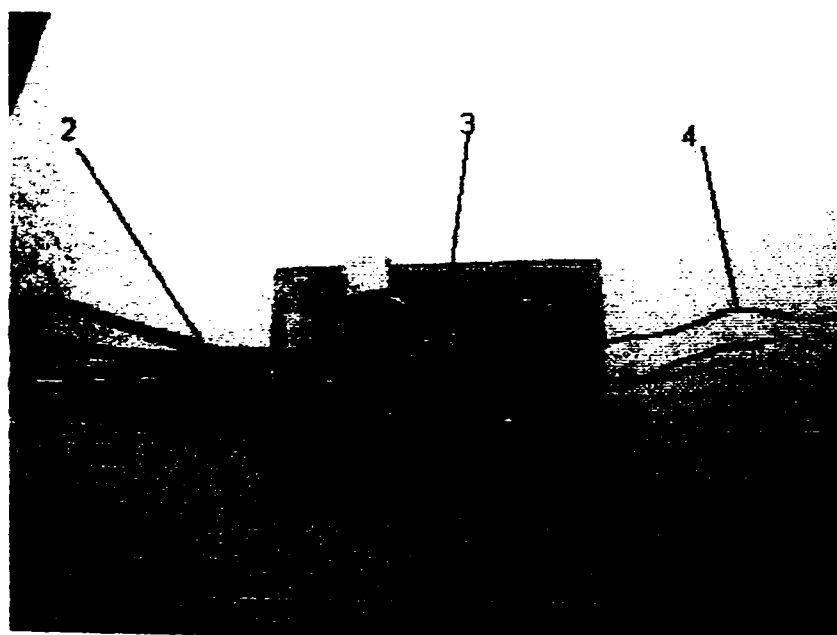


Figura 7.25. Circuitul de interfață al traductorului (amplificare)

1- cabluri de alimentare; 2- cuplă; 3- circuit; 4- cabluri de ieșire.

Relația de legătură între accelerație și tensiunea măsurată la ieșirea din circuitul de condiționare se deduce pornind de la formula schemei scrise în domeniul operațional

$$U(s) = \mathcal{L}\{U(t)\} = \frac{Q}{C} \frac{sR_1 C}{1+sR_1 C} \frac{R_3}{R_2},$$

unde  $U(s)$  este tensiunea în domeniul operațional,  $U(t)$  tensiunea în domeniul de timp, iar  $\mathcal{L}$  este operatorul de transformare Laplace. Trecând în domeniul frecvență se obține:

$$U(j\omega) = \frac{Q}{C} \frac{j\omega R_1 C}{1+j\omega R_1 C} \frac{R_3}{R_2},$$

formulă în care se impune  $|j\omega R_1 C| = \omega R_1 C > 2,3$  pentru a satisface condiția de liniaritate a răspunsului în amplitudine al amplificării. Rezultă în final:

$$U = \frac{Q}{C} \frac{R_3}{R_2} = \frac{B_{f0} \alpha}{C} \frac{R_3}{R_2}$$

Înlocuind valorile numerice în relația de mai sus se obține formula de legătură dintre amplitudinea tensiunii măsurate și amplitudinea accelerației care o determină :

$$a = 256 U.$$

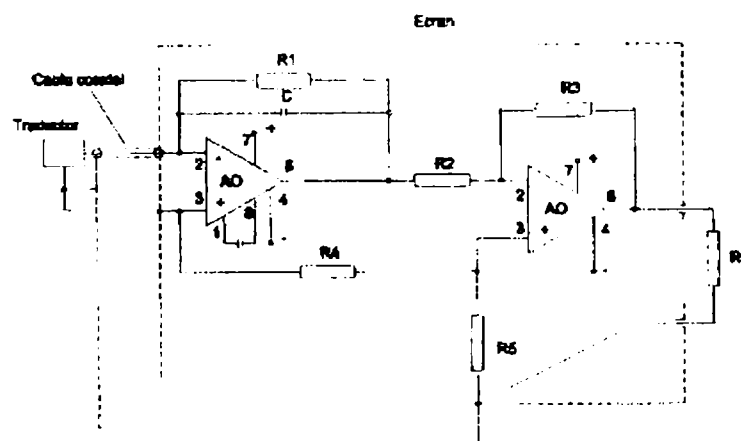


Figura 7.27. Schema circuitului de interfață al traductorului (amplificare)

Scopul măsurării accelerațiilor este acela de a compara semnalele achiziționate în vederea stabilirii gradului de uzură al sculelor așchietoare. Din această cauză nu este necesară etalonarea traductoarelor fiind suficient să cunoaștem că semnalele achiziționate sunt dependente liniar de amplitudinea și



frecvența oscilațiilor mecanice. Graficele de variație în timp a intensității semnalelor achiziționate de la traductoarele de accelerații au forma prezentată în figura 7.28. și 7.29. Prin analiza amplitudinii și a frecvenței semnalului achiziționat la un anumit moment în timpul procesului de așchiere și compararea acestuia cu un semnal generat la începutul procesului, când sculele așchietoare nu prezintă uzură, se pot trage concluzii cu privire la starea acestora în momentul achiziționării semnalului. Astfel în figura 7.29. se arată semnalul achiziționat pentru o sculă neuzată, iar în figura 7.28. pentru scula cu un grad de uzură mai avansat.

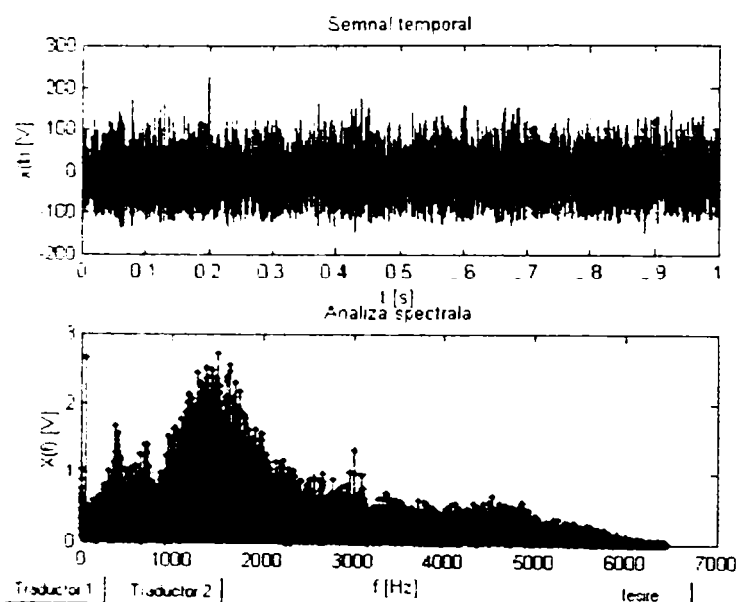


Figura 7.28. Diagramele variației intensităților semnalelor în funcție de timp (sus) respectiv frecvență (jos), în cazul sculei cu un anumit grad de uzură

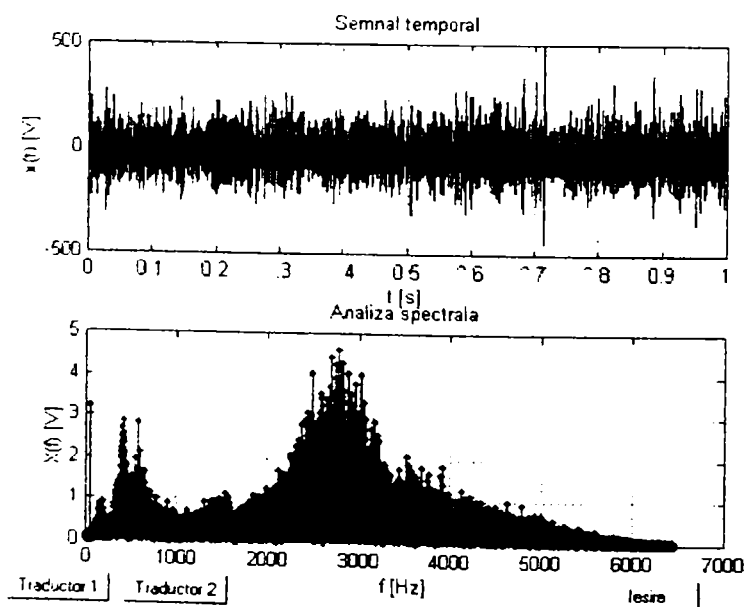
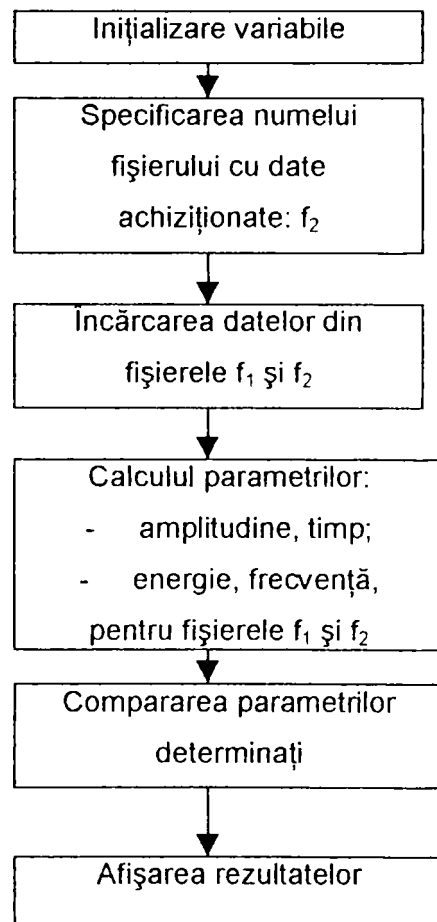


Figura 7.29. Diagramele variației intensităților semnalelor în funcție de timp (sus) respectiv frecvență (jos), în cazul sculei neuzate

În aceste figuri sunt reprezentate diagramele semnalelor proporționale cu accelerațiile în funcție de timp (diagrama din partea superioară a figurii), respectiv spectrul de frecvență al accelerațiilor (diagrama din partea inferioară a figurii). Butoanele "Traductor1" și "Traductor2" dau posibilitatea de a analiza semnalele provenite de la două scule în cazul prelucrării cu scule combinate.

Programul pentru prelucrarea datelor și analiza vibrațiilor în domeniul frecvențial a fost elaborat în limbajul mediului MATLAB și este integrat în "Programul pentru analiza și monitorizarea uzurii sculelor multităiș", Schemă logică a acestui program este prezentată în figura 7.30, iar codul sursă în anexa 7.4. În figura 7.30. s-au folosit notațiile :



**Figura 7.30. Schema logică a programului de prelucrare a datelor, furnizate de către accelerometru**

- $f_1$  - fișierul de date achiziționat pentru scula neuzată;
- $f_2$  - fișierul de date achiziționat la un anumit moment din timpul desfășurării procesului.

Calculul parametrilor energie, frecvență permite stabilirea frecvențelor cu pondere hotărâtoare din timpul desfășurării procesului, fiind făcut prin transformarea Fourier rapidă (FFT).

### 7.1.4. Subsistem de monitorizare a puterii consumate

Măsurarea puterii consumate de către motorul de acționare principală al mașinii-unelte constituie o metodă indirectă de măsurare a forțelor de așchiere, între putere și forță existând relațiile specificate în paragraful 7.1.1. Măsurarea puterii se realizează cu ajutorul unui traductor de putere, figura 7.31., a cărei legare în circuit este prezentată în figura 7.33.

Etalonarea traductorului de putere a fost făcută cu ajutorul unui Watt-metru cu spot luminos prezentat în figura 7.32.

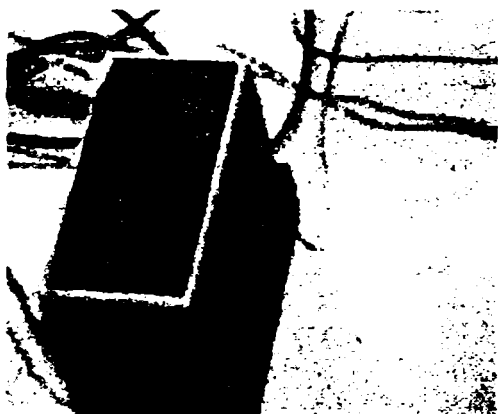


Figura 7.31. Traductor de putere

Figura 7.32. Watt-metru cu spot luminos.

- 1- traductor, 2- watt-metru,
- 2- conver or, 4- alimentator,
- 5- calculator

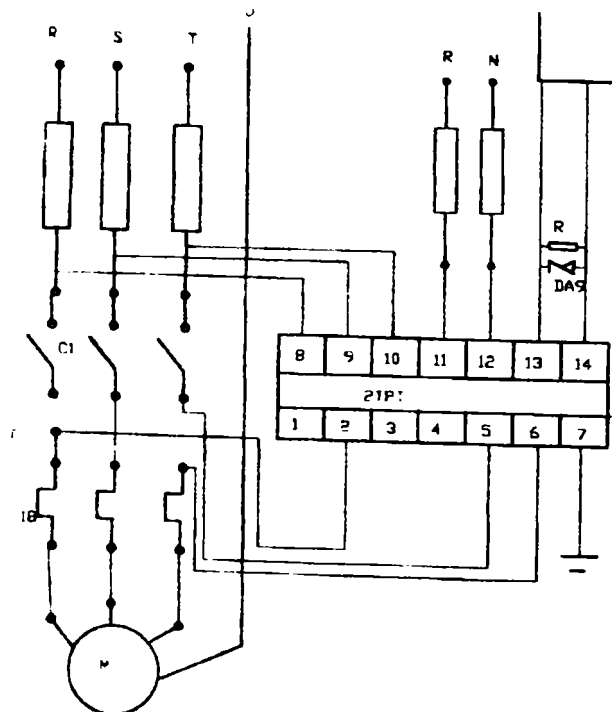


Figura 7.33. Schema electrică de legare a traductorului de putere

### 7.1.5. Subsistem de achiziție și prelucrare a imaginilor

**Camera CCD** este utilizată pentru achiziționarea imaginilor video, având o rezoluție de 480 x 640, la ieșire fiind obținut un semnal Y/K (luminanță, crominanță). Camera CCD este cuplată la sistemul de calcul prin intermediul unei plăci de achiziție de imagini. Această placă este de tip **MATROX METEOR** (produs la firmei Matrox –Canada).

Ea este o placă pentru achiziția de imagini monocrome sau color (după opțiune) care asigură transferul în timp real a imaginii achiziționate către un senzor vizual matriceal, în vederea stocării sau prelucrării sale de către un calculator și este în același timp și suportul pentru software-ul interactiv de imagine oferit de către firma furnizoare (fie pachetul de programe MIL – Matrox Imaging Library, fie pachetul de programe MI – Matrox Inspector).

MATROX METEOR CLASIC realizează achiziții de imagini monocrome sau color standard de tipul:

- Luminanță/Crominanță Y/C (S-video; S-VHS, HI8);
- RS – 170 (640x480)/CCIR (768x576);
- NTSC (640x480) / PAL (768x576) / SECAM (768x576).

În cazul acestei variante a plăcii de achiziție sunt disponibile până la patru canale de intrare video selectabile din soft.

Placa de achiziție transferă informațiile de tip imagine în timp real fie în memoria RAM a CPU în vederea procesării, fie către bufferul display-ului în vederea afișării lor.

Semnalul video de intrare poate fi reglat prin soft, putându-se ajusta luminozitatea, contrastul, nuanțele, saturația și detaliile.

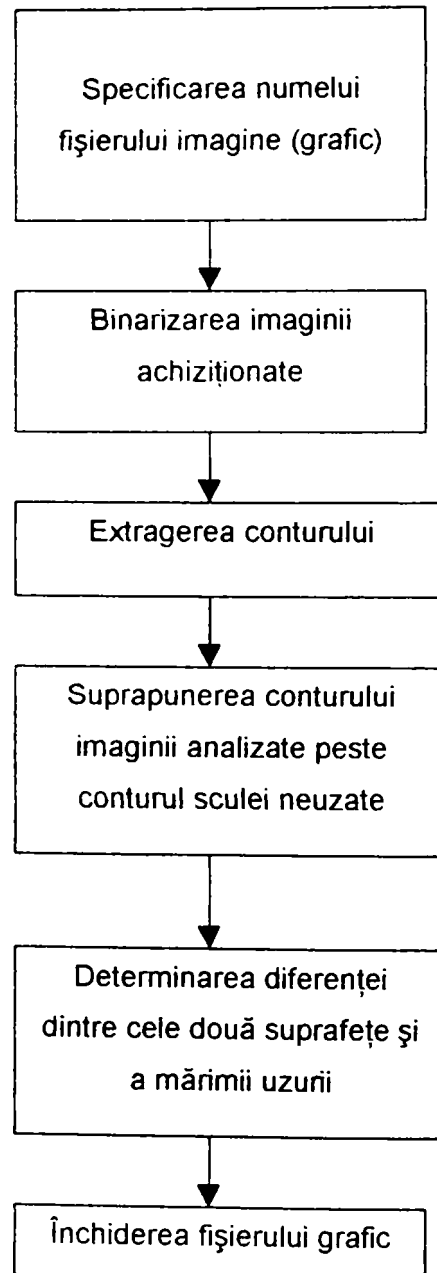
MATROX METEOR asigură sincronizări foarte bune chiar dacă achiziția de la camerele video sau videorecordere se face în mod playback sau în mod pauză.

În cazul în care placa trimite informația către bufferul display -ului în vederea afișării imaginii într-o fereastră, fereastra poate fi scalată la orice dimensiune și poziționată oriunde pe ecran.

Imaginea digitală spre unitatea de interfață PCI suportă multiple formate de transfer de date (8 biți mono, 15 biți și 24 biți RGB).

Într-un calculator pot fi instalate mai multe plăci, dar numărul lor maxim depinde de specificul sistemului și respectiv de specificul aplicației.

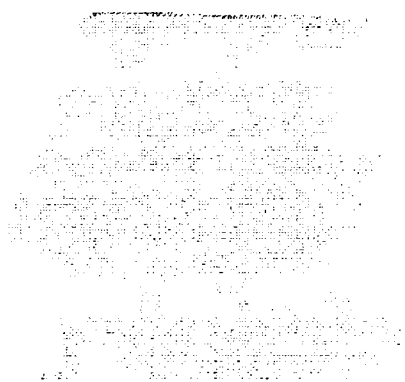
Scopul prelucrării imaginilor achiziționate cu camera video CCD este acela de a determina pe cale optoelectronică uzura sculelor pe fața de așezare. Pentru referință se folosește imaginea sculei achiziționate la începutul procesului, neuzată. Etapele prelucrării imaginilor sunt prezentate ca schemă logică în figura 7.31, programul de prelucrare fiind scris în limbajul mediului de programare MATLAB, având denumirea "prelimag". Codul sursă al acestuia este prezentat în anexa 7.5.



**Figura 7.31. Schema logică a programului de prelucrare imagini**

Etapele prelucrării imaginilor sunt prezentate în figurile 7.35, 7.36, 7.37, și 7.38.

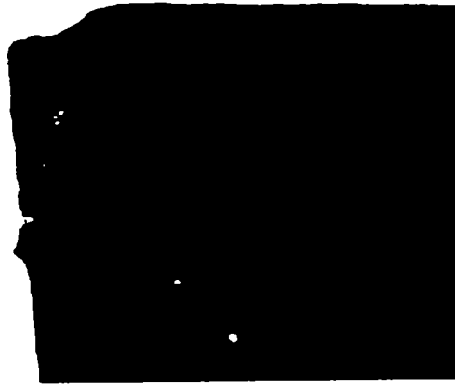
Imaginea achiziționată este salvată într-un fișier grafic de tip bitmap, folosind funcțiile existente în biblioteca de funcții a plăcii grafice. Programul de achiziție de imagini este scris în limbajul C++, codul sursă al programului fiind dat în anexa 7.6. Odată achiziționată imaginea, urmează prelucrarea acesteia cu ajutorul programului "prellmag", a cărui schemă logică este arătată în figura 7.34. În figura 7.35. este arătată imaginea achiziționată a unei scule cu un anumit grad de uzură. Camera este poziționată în așa fel încât axa ei optică să fie perpendiculara pe fața de așezare a sculei a cărei uzură se studiază.



**Figura 7.35. Imaginea unei scule cu un anumit grad de uzură.**

Pentru a realiza extragerea conturului imaginea este binarizată, binarizarea constând în înlocuirea valorilor nivelelor de gri din matricea de pixeli ce formează imaginea cu valoare 0 sau 256, în funcție de un prag dinainte stabilit. Valoarea pragului depinde în mare măsură de contrastul dintre imaginea sculei și fundal și de condițiile de iluminare. În cazul acestei aplicații, fiind vorba de un post de lucru fix, condițiile de iluminare și nivelul de gri al fundalului se pot considera invariabile, ușurând astfel stabilirea pragului de binarizare (threshold). Astfel dacă de exemplu se stabilește că pragul de iluminare are valoarea 134, valorile din domeniul 0-134 sunt înlocuite cu 0, iar cele din domeniul 135-256 cu 256. Obținem astfel imaginea binarizată a feței de așezare a sculei arătată în figura 7.36. La această imagine se observă că pot să apară în interiorul domeniului negru, ce reprezintă imaginea sculei, mici domenii albe. Aceste domenii se pot elimina cunoscând că aria lor nu

decăşeşte de regulă o anumită valoare, deci orice domeniu închis de nivel alb care este mai mic decât această valoare va fi înlocuit cu negru.



**Figura 7.36. Imaginea binarizată a feței de așezare a sculei.  
Se observă mici domenii albe parazite ce trebuie eliminate.**

După efectuarea binarizării și a corecției amintite, se realizează extragere conturului folosind o matrice de convoluție (pentru extragerea muchiilor, edge detection) de tip Laplacian sau Sobel.

Rezultatul operației de extragere a conturului este prezentat în figura 7.37.

**Figura 7.37. Extragerea conturului imaginii sculei așchietoare.  
Conturul extras al imaginii este reprezentat cu culoare roșie.**

După obținerea conturului imaginii sculei cu un anumit grad de uzură, acesta se suprapune peste conturul sculei neuzate existent în memoria calculatorului. În figura 7.38 este arătată suprapunerea conturului imaginii sculei (roșu) peste conturul sculei neuzate (gri). Din această suprapunere rezultă o arie corespunzătoare

volumului de material uzat de pe tăișul sculei, reprezentată în figura 7.38 cu nuanță de gri. Mărimea ariei obținute în acest fel se compară cu o valoare limită,

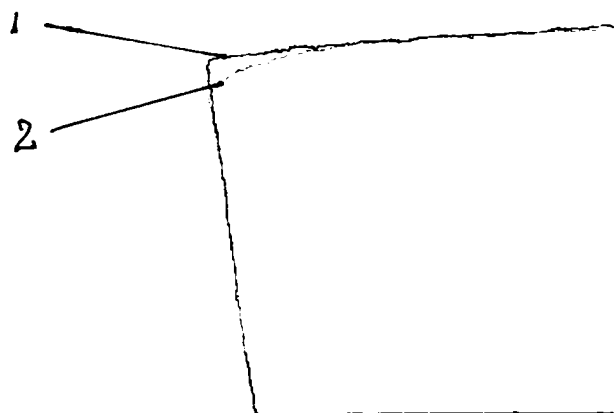


Figura 7.38. Suprapunerea conturului imaginii sculei neuzate

peste conturul sculei cu un anumit grad de uzură.

1 - contur al sculei neuzate, 2 - conturul sculei cu un anumit grad de uzură

### 7.1.6. Achiziția datelor

#### 7.1.6.1. Placa de achiziție

Memorarea semnalelor continue provenite de la traductoare se poate realiza numai în mod discret, la anumiți pași de timp într-un interval de observație, numit eșantionare. Valorile discrete obținute aproximează semnalul continuu, cu o acuratețe care se exprimă prin precizia de conversie analog/digitală. Transformarea semnalului continuu într-o serie de valori discrete se realizează cu ajutorul unor circuite electronice specializate numite și plăci de achiziție, care sunt de fapt convertoare analog digitale ce se interpun între traductor și calculator.

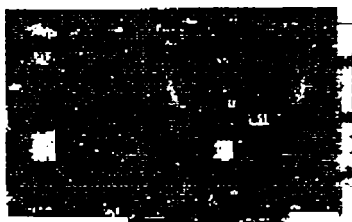


Figura 7.39  
Placa de achiziție

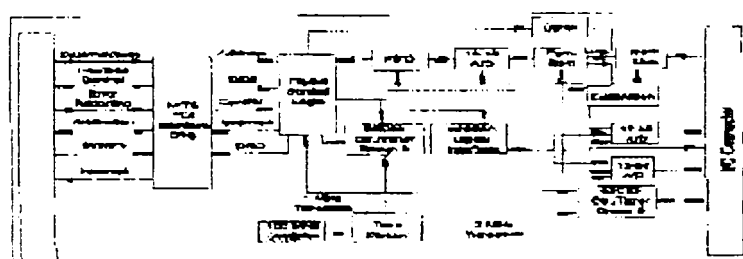


Figura 7.40  
Schema bloc de funcționare a plăcii de achiziție



Sistemul de achiziție al datelor realizat se bazează pe placa de achiziție PCI-1200 (Figura 7.39), produsă de firma National Instruments. Schema bloc de funcționare a acesteia este prezentată în figura 7.40. Principalele caracteristici ale acestei plăcii sunt:

- 8 canale analoge de intrare;
- 24 de canale de intrare digitale;
- convertire analog-digitală și digital-analogă cu o precizie de 12 biți,
- rata de eșantionare maximă 100 kS/s;
- domeniul semnalelor de intrare 0-10 V unipolar sau -5..+5V bipolar.

Precizia de digitizare a semnalelor exprimă legătura dintre valoarea numerică naturală înregistrată de sistem și valoarea reală corespunzătoare semnalului analog.

În cazul plăcii PCI-1200, precizia de aproximare este de 12 biți, ceea ce înseamnă că domeniul semnalelor -5V..+5V este divizat în  $2^{12} = 4096$  intervale cărora li se asociază o unitate digitală întreagă, cu alte cuvinte o unitate digitală înregistrată corespunde unei tensiuni de  $10/4096 = 0,00241$  [V].

#### 7.1.6.2. Programul de achiziție

Pentru achiziția semnalelor din proces la măsurarea forțelor, accelerațiilor și puterilor a fost conceput un program de achiziție, care reprezintă suportul soft, pentru citirea valorilor de tensiune generate de traductoare. Schema logică a acestuia este prezentată în figura 7.41.

#### 7.1.6.3. Subsistemul de calcul

Întregul sistem de achiziție a datelor are la bază un calculator personal cu microprocesor Pentium la o frecvență de 133 MHz, având o memorie internă de 32 MB și slot de extensie pentru placa de achiziție de tip PCI, rulând sub sistemul de operare Windows '95. Programele pentru citirea și memorarea valorilor măsurate au fost concepute în limbajul mediului de programare MATLAB și sunt prezentate ca schemă logică în subcapitolele anterioare, iar ca și cod sursă în anexele tezei. Acest limbaj are o serie de funcții necesare prelucrării și analizei semnalului cum ar fi:

- filtre numerice;
- procedura de transformare Fourier rapidă FFT;
- proceduri de integrare numerică.

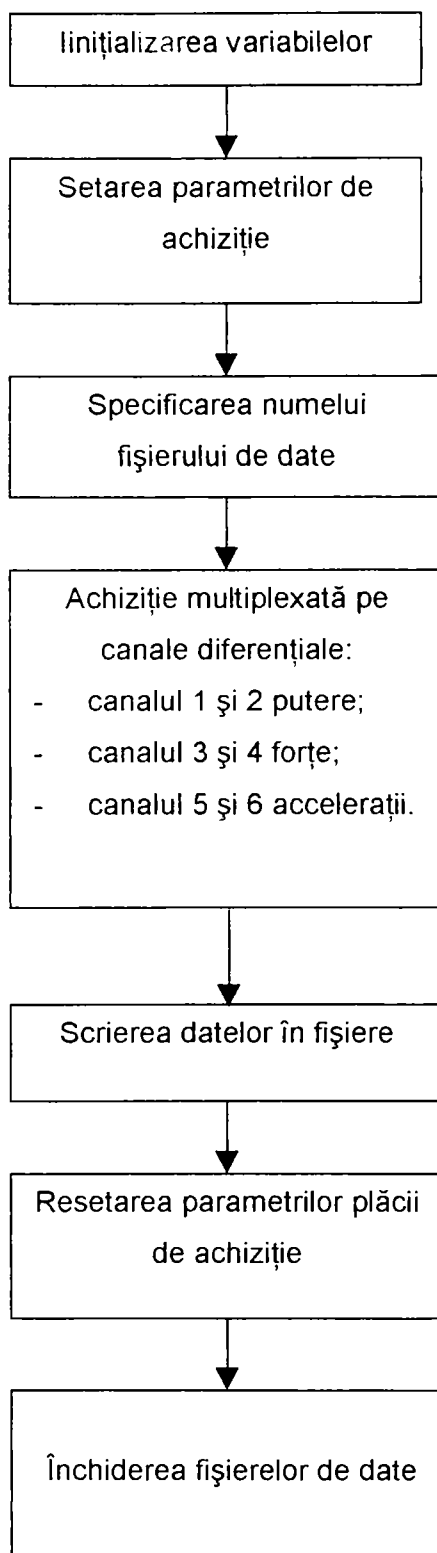


Figura 7.38. Schema logică a programului de achiziție

## 7.2. Integrarea sistemului de monitorizare a procesului de aşchiere cu scule combinate în sistemul CIM 2000

### 7.2.1. Principii

În paragraful anterior s-a definit sistemul de monitorizare al procesului de aşchiere cu scule combinate proiectat și realizat de către autor. Acest sistem îndeplinește următoarele funcțiuni :

- stabilirea relațiilor de interdependență a valorilor măsurate experimental pe diferite tășuri pentru diferite valori ale parametrilor regimului de aşchiere;
- stabilirea relațiilor de interdependență a valorilor măsurate experimental cu valorile uzurii pe diferite tășuri;
- validarea modelelor proiectate în capitolele 5 și 6.

În acest paragraf se definesc specificațiile privind integrarea sistemului de monitorizare a procesului de aşchiere cu scule combinate în sistemul CIM 2000. Scopul este extinderea CIM prin automatizarea operațiilor de urmărire a procesului de aşchiere și a schimbării automate a sculelor în cazul folosirii sculelor combinate.

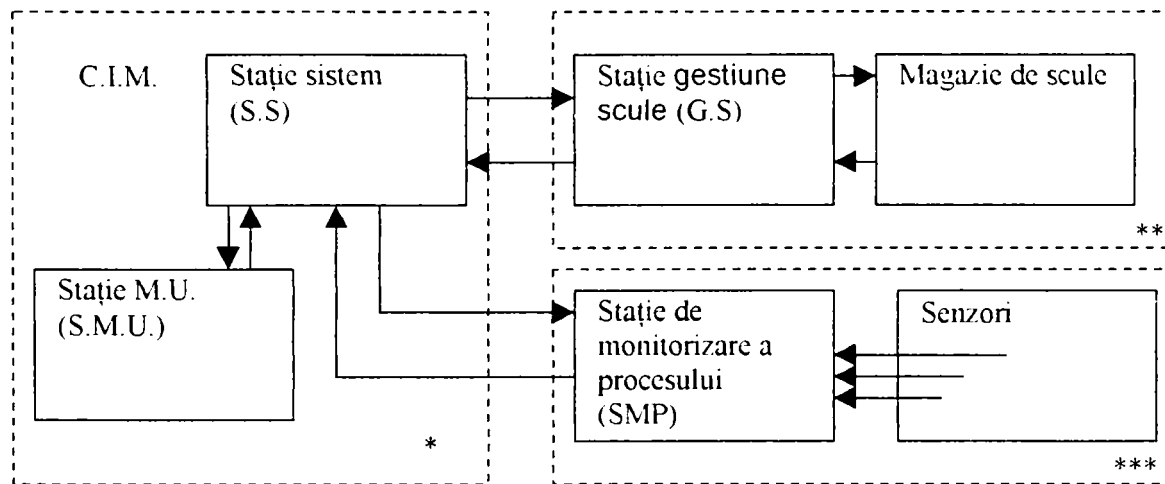
Pentru realizarea scopului propus, în acest capitol, se definesc :

- specificațiile privind conectarea stației de monitorizare la modulele sistemului CIM;
- specificațiile privind comunicarea dintre stația de monitorizare și sistemul de comandă al CIM (specificațiile softului de comunicare);
- structura sistemului de monitorizare a procesului de aşchiere cu scule combinate;
- programul de monitorizare al procesului de aşchiere cu scule combinate.

### **7.2.1. Specificații privind conectarea stației de monitorizare la sistemul CIM 2000,**

Sistemul CIM 2000 este echipat cu calculatoare tip PC ce asigură comanda întregului sistem. Calculatoarele sistemului sunt interconectate într-o rețea LAN 802\_3 [B8], cu ajutorul unor interfețe de rețea 10Base2 (Thin Ethernet). Astfel

extinderea rețelei cu încă un calculator ce rulează programele de monitorizare a procesului de aşchiere este ușor de realizat. Deoarece funcționarea monitorizării procesului este legată în primul rând de mașina unealtă (în cazul de față strungul), s-a considerat oportună conectarea stației de monitorizare (a calculatorului stației) la calculatorul ce comandă a sistemului CIM. Schema de principiu a conectării este arătată în figura 7.42.



**Figura 7.42. Schema de principiu a conectării stației de monitorizare la sistemul CIM :**  
**G.S. gestiune scule; M.U. mașină unealtă; M.P. monitorizare proces**  
**(\* existent; \*\* propus pentru realizare; \*\*\* realizat de către autor).**

Pentru o prezentare mai clară, în figură se reprezintă și un sistem de gestiune a sculelor care nu face obiectul acestei lucrări, dar este necesar pentru schimbarea automată a sculelor.

Modulele sistemului extins cuprind programele necesare funcționării în regim automat, ce sunt prezentate în continuare :

1. Stație sistem (S.S.) :

- Programul de gestionarea fabricației (PGF);
- Programul de comunicare (PCSS);
- Baza de date a programului de fabricație (BDPF);

2. Sistem de gestiune a sculelor (G.S.) :

- Programul de gestiune al sculelor (PGS);
- Programul de comunicare (PCGS);
- Baza de date a sculelor (BDS);

3. Stație mașină unealtă (S.M.U.) :

- Programul de comunicare (PCSMU);
  - Program piesă (PP);
  - Programul de comandă al MU (PCMU);
  - Baza de date a informațiilor tehnologice (BDIT)
- 4 Stație de monitorizare a procesului (S.M.P.) :
- Program de comunicare (PCSMP);
  - Program de monitorizare a procesului (PMP).

*Programele de comunicare necesare (PCSS,PCGS,PCSMU,PCSMP) se realizează pe baza standardului internațional destinat sistemelor automate (ISO9506), numit Specificația mesajelor de fabricație (MMS) [B8]. În acest context atât SMP cât și SGS vor avea rolul de client iar SS va avea rolul de server.*

*Programul de monitorizare a procesului (PMP) de aşchiere este integrat în sistemul de monitorizare și este compus dintr-o serie de module ce sunt descrise în paragrafele următoare.*

*Programul de gestiune a fabricației (PGF) este programul principal ce controlează toate funcțiunile sistemului CIM.*

*Programul de gestiune a sculelor (PGS) ține evidența sculelor aşchietoare, astării sculelor (nivel de uzură), respectiv a parametrilor de reglare a acestora (dimensiuni geometrice)*

*Programul de comandă al mașinii-unelte (PCMU) controlează funcționarea mașinii unelte, respectiv lansează în execuție programele piesă (PP).*

*Baza de date a programului de fabricație (BDPF) stochează informațiile privitoare la toate procesele ce se realizează pe sistemul CIM transmitând, la cererea stațiilor de lucru date cu privire la scule (BDS) sau la parametrii tehnologici (BDIT).*

### **7.2.2.Structura sistemului de monitorizare a procesului de aşchiere a sculelor combinate**

#### **7.2.2.1. Sistemul de monitorizare**

În figura 7.43.se prezintă schema de principiu sistemului de monitorizare a procesului de aşchiere cu scule combinate.

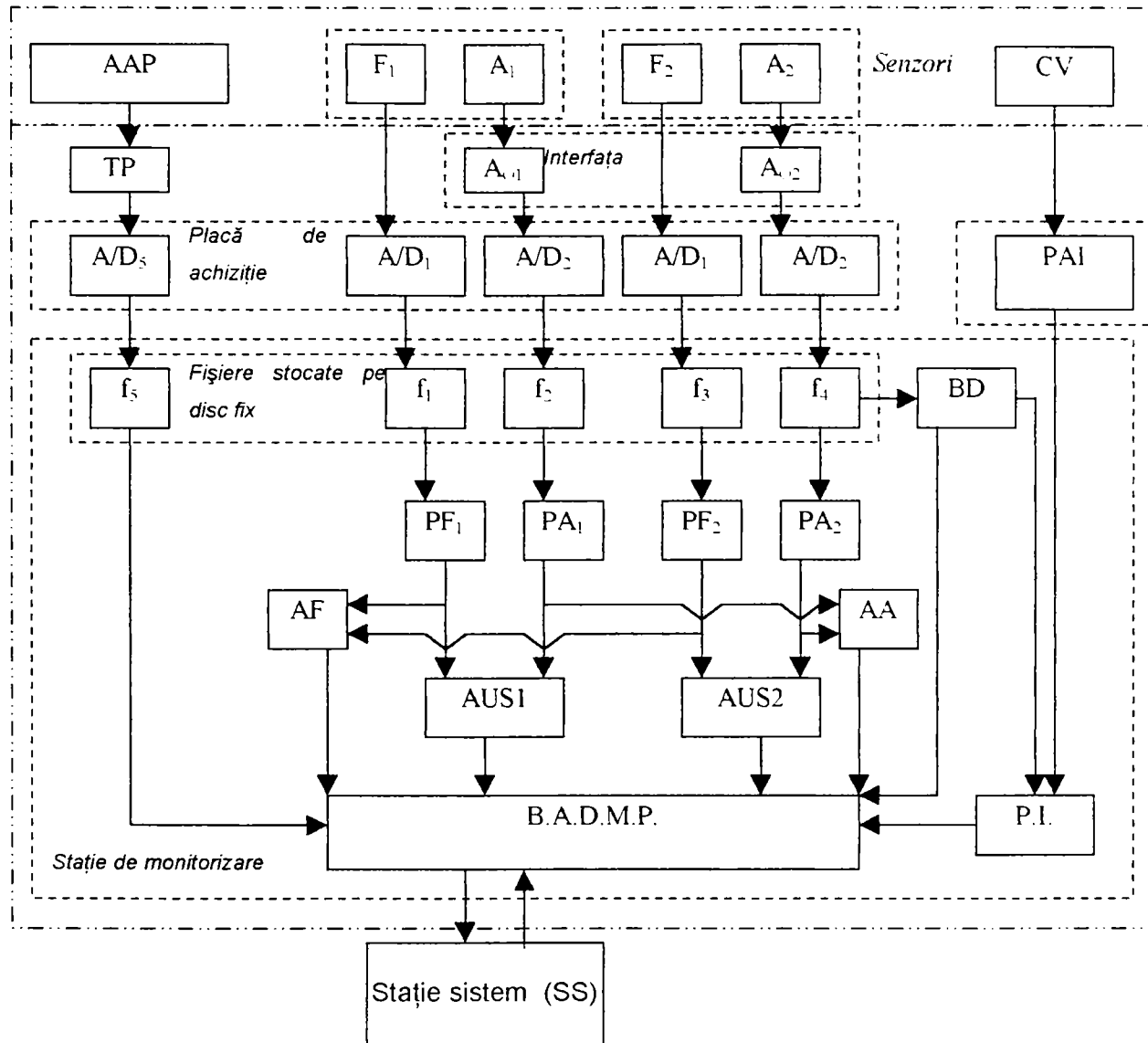


Figura 7.43. Schema sistemului de monitorizare a procesului

Componentele sistemului sunt

- AAP - alimentarea acțiunii principale;
- $F_1$  - traductor magnetostrictiv al sculei 1;
- $F_2$  - traductor magnetostrictiv al sculei 2;
- $A_1$  - traductor piezoelectric al sculei 1;
- $A_2$  - traductor piezoelectric al sculei 2;
- $A_{O1}$  - amplificator operațional pentru condiționarea semnalului accelerometrului la scula 1;
- $A_{O2}$  - amplificator operațional pentru condiționarea semnalului

accelerometrului la scula 2;

$f_{1.5}$  – fișiere cu date achiziționate;

B.D. – baza de date a sistemului;

$PF_1$  – prelucrarea semnalelor de la traductorul  $F_1$ ;

$PA_1$  - prelucrarea semnalelor de la traductorul  $A_1$ ;

$PF_2$  – prelucrarea semnalelor de la traductorul  $F_2$ ;

$PA_2$  - prelucrarea semnalelor de la traductorul  $A_2$ ;

AF – analiza forțelor;

AA – analiza accelerațiilor;

AUS1 – analiza uzurii sculei 1;

AUS2 – analiza uzurii sculei 2;

B.A.D.M.P. – bloc de analiză și decizie a monitorizării procesului;

C.V. – cameră video digitală;

P.I. – prelucrarea imaginilor achiziționate.

Modulele de achiziție și prelucrare a semnalelor au fost descrise în paragraful 7.1.

Modulul de analiză a forțelor (AF), este utilizat pentru testarea funcționării traductorilor de forță, prin compararea semnalului dat de către acești traductori cu semnalul dat de către traductorul de putere, conform relației :

$$P = f(F_1 + F_2). \quad (7.11)$$

În care : P - este puterea consumată de acționarea principală, măsurată de către traductorul de forțe;

$F_1$ ,  $F_2$  – sunt forțele de așchiere măsurate pe cele două cuțite ale sculei combinate, de către traductoarele de forță.

Dacă această condiție nu este îndeplinită se presupune că măsurarea forțelor nu este corectă, în consecință vor trebui verificate traductoarele de forță (reetalonare, depanare).

Modulul de analiză a vibrațiilor (AA), are rolul filtrării frecvențelor comune care sunt generate de către surse de vibrații din componența sistemului, altele decât

procesul de aşchiere în sine. Aceste vibrații sunt considerate fără importanță pentru analiza procesului de uzură.

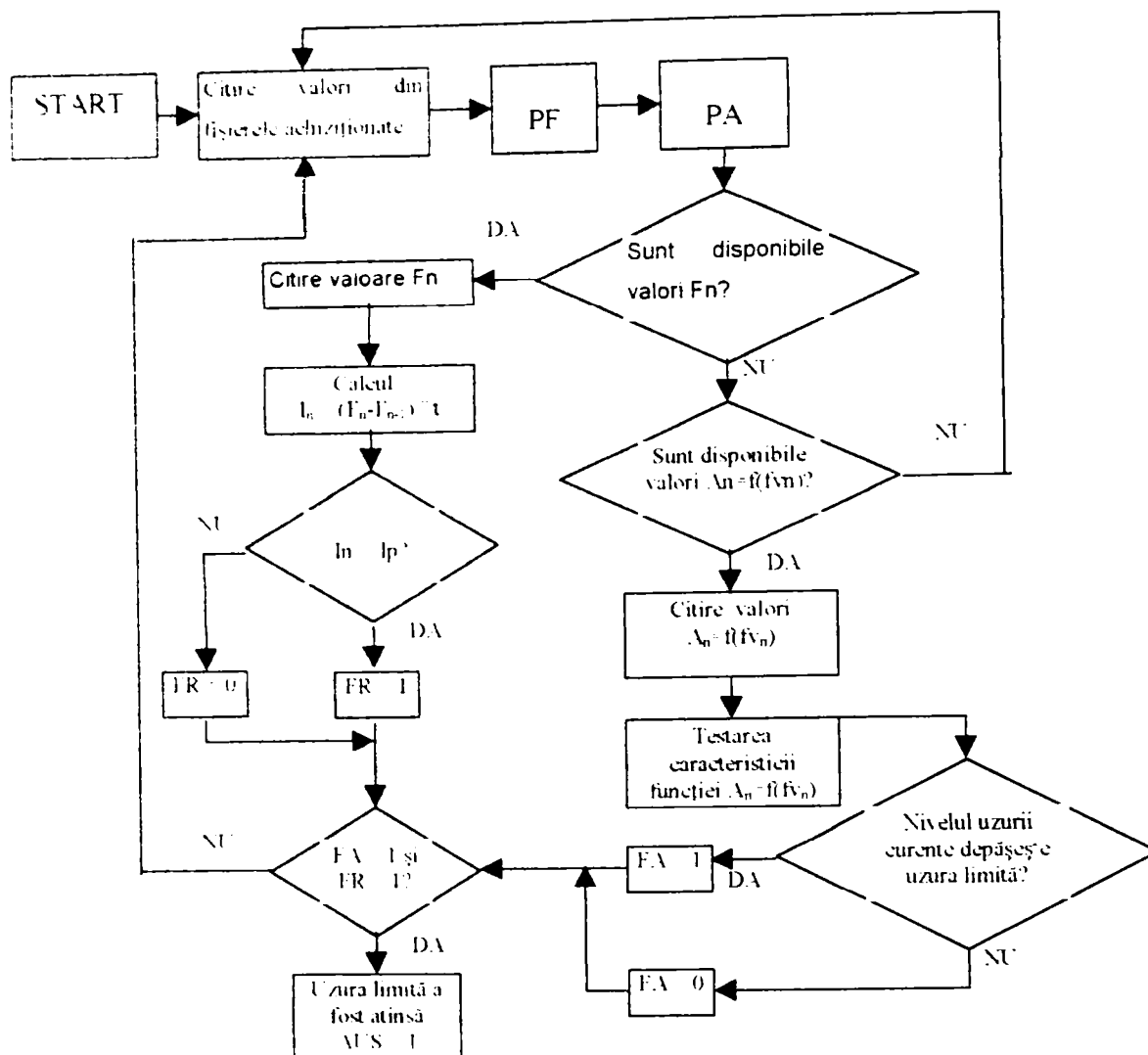
#### 7.2.2.2. Modulele de analiză a uzurii (AUS1,AUS2).

Modulele de analiză a uzurii sunt realizate pe fiecare sculă a sculei combinate. Fiecare dintre aceste module conține un bloc de analiză al forței și un bloc de analiză al vibrațiilor. În figura 7.44. este prezentată schema logică a unui astfel de modul. În această schemă s-au folosit următoarele notații :

- $F_n$  - valoarea momentană a forței;
- $F_{n+1}$  - valoarea anterioară a forței;
- $A_n=f(fv_n)$  - setul valorilor amplitudinilor în funcție de frecvență;
- $I_p$  - valoarea limită a variației forței în raport cu timpul, mărime care este proporțională cu intensitatea uzurii;
- $\Delta t$  - durata dintre două achiziții consecutive.
- PF,PA – module de preprocesare a semnalelor de la traductoarele de forță și de la traductoarele de accelerații, prezentate în paragraful 7.1.
- FR – variabilă logică ce poate lua două valori : 1 în cazul în care după analiza semnalelor de forță se consideră că s-a atins uzura limită, respectiv 0 în caz contrar;
- FA - variabilă logică ce poate lua două valori : 1 în cazul în care după analiza semnalelor de vibrații se consideră că s-a atins uzura limită, respectiv 0 în caz contrar;

Testarea disponibilității valorile este utilă pentru a mări viteza de execuție a programului. Dacă o mărime nu este disponibilă (de exemplu forță) din cauză că nu s-a terminat preprocesarea valorilor, se trece la prelucrarea celeilalte (de exemplu accelerația), eliminându-se astfel anumiți timpi de așteptare.





7.44. Schema logică a programului de analiză a uzurii pentru un tăiș al sculei combinate

### 7.2.2.3. Blocul de analiză și decizie al monitorizării procesului (B.A.D.M.P.)

Blocul de analiză și decizie are rolul de a genera, în ultimă instanță, cereri către serverul CIM (SS), pe baza informațiilor primite, respectiv de a interpreta răspunsurile date de către serverul CIM (SS) și de a comanda rularea în continuare a programului pe baza acestor răspunsuri. Variabilele logice care constituie ieșirile (variabile a căror denumire începe cu litera E), respectiv intrările (variabile a căror denumire începe cu litera I), pot lua valoarea 1 (adevărat) sau 0 (fals) în funcție

realizarea sau nerealizarea condițiilor aferente Cererile generate (ieșirile) sunt următoarele:

1. cerere de oprire a procesului și de retragere a sculelor într-o poziție prestabilită, aferentă achiziției de imagini (variabila logică EC1).
2. cerere de oprire a procesului și schimbare a sculei, (variabila logică EC2);
3. cerere de readucere a sculei combinate în poziție de lucru după terminarea achiziției de imagini (variabila logică EC3);
3. avertizarea serverului CIM (SS) asupra funcționării incorecte a traductoarelor de forță (variabila logică EA1),
5. avertizarea serverului CIM (SS) asupra funcționării incorecte a traductoarelor (variabila logică EA2)

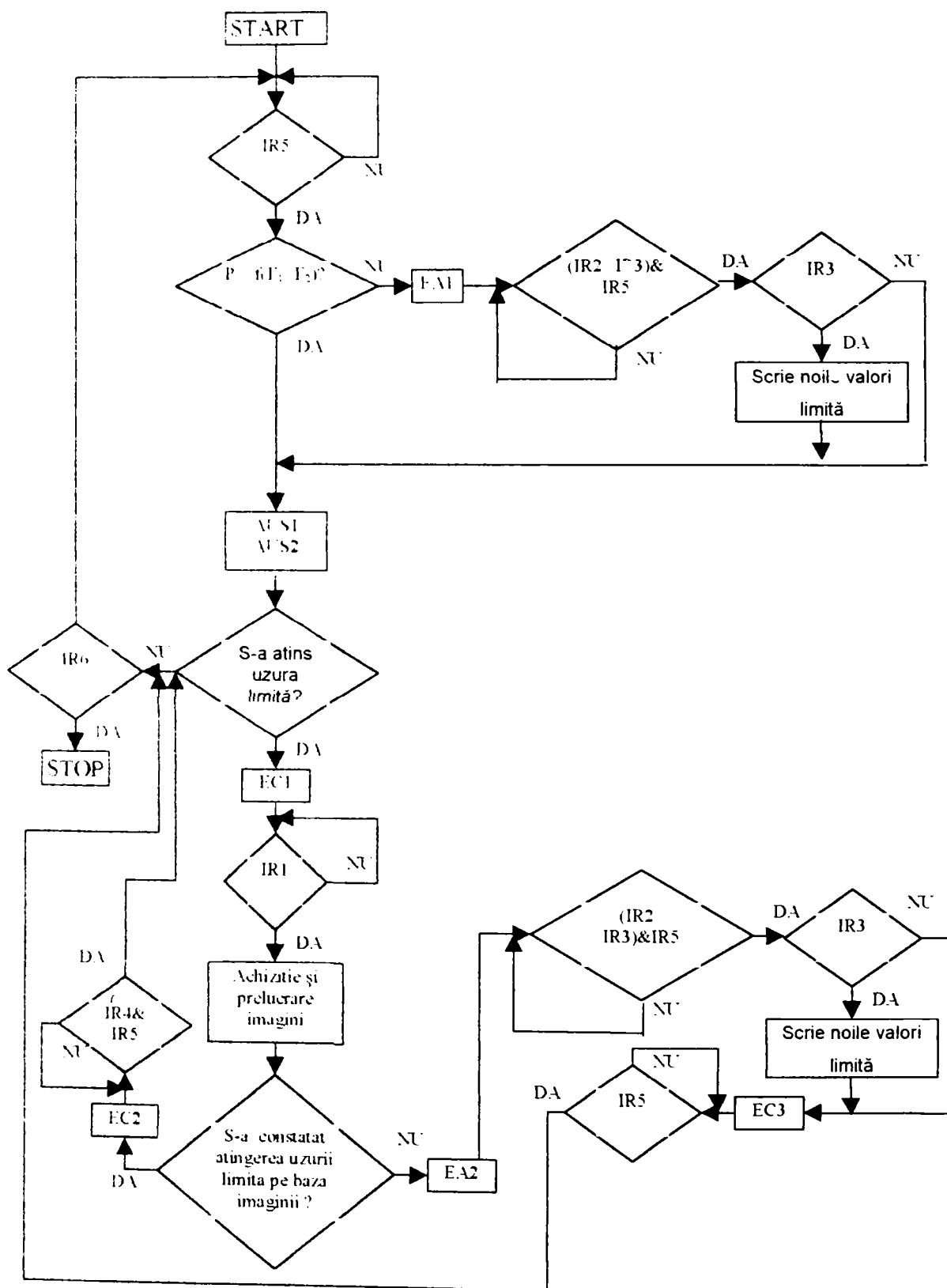
Răspunsurile serverului CIM (SS) sunt de asemenea variabile logice ( notate IR) și sunt următoarele:

1. sculele sunt în poziția aferentă achiziției de imagini (IR1);
2. s-a efectuat depanarea și/sau etalonarea traductoarelor, procesul poate continua (IR2);
3. s-a constatat că traductoarele funcționează corect (IR3), se solicită noile valori limită, după care procesul poate continua ;
4. s-a efectuat schimbarea sculei, procesul de monitorizare poate continua (IR4);
5. start proces monitorizare, sculei sunt în poziție de lucru (IR5);
6. stop proces monitorizare (IR6).

În figura 7.43. este prezentată schema logică de funcționare a blocului, în care pe lângă variabilele amintite, s-au folosit următoarele notații ::

- AUS1, AUS2 – sunt modulele de analiză descrise în paragraful anterior;
- $P = f(F1+F2)$  – descrie relația dintre o funcție de suma forțelor și puterea consumată de către acționarea principală, care este folosită pentru a stabili dacă traductoarele de forță funcționează în mod corespunzător;
- | - funcția logică “ sau”, & - funcția logică “și”.

Blocul "Scrie noile valori limită" este utilizat în cazul în care deși traductoarele indică o uzură avansată a sculelor, aceasta este infirmată de către imaginile achiziționate. În acest caz concluzia este că sculele nu sunt uzate, dar



7.45. Schema logică a blocului de analiză și monitorizare a procesului.

valorile limită cu care sunt comparate valorile curente ale forțelor respectiv vibrațiilor, nu sunt corespunzătoare tipului de prelucrare sau materialului prelucrat și acestea vor trebui schimbate în baza de date a sistemului (BDPF), din care cauză ele sunt transmise serverului CIM de către sistemul de monitorizare.

În schemă s-a prevăzut și posibilitatea opririi în orice moment a programului prin intermediul variabilei IR6, de către serverul CIM.

Experimentele concepute au urmărit determinarea valorilor limită pentru subsistemele de măsurare a forțelor, puterii și parametrilor mișcării vibratorii la sculele combinate cu două tăișuri din oțel rapid (Rp3) la prelucrarea semifabricatelor confecționate din oțel carbon de calitate (OLC45), acestea fiind utilizate la programarea modulelor de monitorizare a forțelor, puterii și vibrațiilor.

Din analiza rezultatelor obținute în cadrul experimentelor se constată, în ceea ce privește parametrii mișcării de vibrație (amplitudine, frecvență), apariția la un anumit grad de uzură a unuia dintre tăișurile sculei combinate, a unei deplasări a frecvențelor de vibrație, de la valori aproximativ constante (3000 Hz) obținute pentru o gamă largă de parametri ai regimului de așchiere ( $n=125-500$  rot/min,  $s=0,096-0,25$  mm/rot,  $t=0,5-2$  mm) și diferite reglaje ale parametrilor  $R_{ij}$ ,  $L_{ij}$  (capitolul 4) spre valori cuprinse în intervalul 1000-1500 Hz (figurile 7.29, 7.28).

În vederea proiectării subsistemului de achiziție și prelucrare de imagini, în sistemul CIM, au fost realizate experimente de prelucrare cu scula combinată pentru obținerea de uzuri cu valori diferite. Au fost achiziționate seturi de imagini, pentru cele două tăișuri, cu camera CCD la intervale de timp constante, corespunzătoare prelucrării cu parametri de regim diferiți și reglaje diferite ale sculei combinate. Imaginile au fost utilizate pentru calibrarea programului (având interfața grafică prezentată în Anexa 7.7) care realizează prelucrarea lor și pentru trasarea curbelor de uzură. Cu datele astfel obținute a fost calibrat și modelul de simulare al uzurii sculelor așchietoare combinate destinate prelucrării suprafețelor cilindrice concentrice exterioare, proiectat și realizat (capitolul 5).

## 8. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE.

### 8.1. Concluzii

Sistemele de fabricație flexibilă robotizate constituie componente esențiale ale sistemelor moderne de producție, care realizează integrarea informațională și prin flux de materiale a mijloacelor de fabricație și a proceselor tehnologice care se desfășoară cu ajutorul acestora. Trecerea de la fabricația unui produs la cea a altuia trebuie să se facă cu cheltuieli materiale minime și fără participarea continuă sau la intervale de timp regulate, dinainte impuse, a unor operatori umani.

Utilizarea sculelor combinate, în cadrul sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrări prin așchieră, conduce la creșterea productivității muncii, ceea ce justifică necesitatea cercetării sistemice a cerințelor formulate de fabricația flexibilă automată și găsirea de soluții în acest sens.

Au fost elaborate în scopul proiectării tehnologice a proceselor de prelucrare a suprafețelor coaxiale cilindrice cu scule combinate în SFF, programe pentru studiul și simularea procesului de uzare a tășurilor, calibrate prin încercări experimentale, precum și de studiu a stabilității dinamice a procesului de așchiere cu două tășuri. S-a proiectat, experimentat și realizat un sistem de monitorizare a procesului de așchiere cu scule combinate cu două tășuri, cu achiziție de informații pe patru canale, indispensabil integrării sculelor combinate în SFF.

### 8.2. Contribuții în domeniul teoretic

- sinteza unui vast volum de cunoștințe în domeniul sistemelor flexibile de fabricație și a sculelor combinate;

- prezentarea în concepție sistemică a clasificării, componenței și structurii SFF, criteriile de evaluare a flexibilității lor și modalitățile de realizare a acestora și se prezintă integrarea SFF în hipersisteme CIM, aferente automatizării flexibile ale proceselor de producție.

- argumentarea ideii că, un proces tehnologic de aşchiere flexibil, nu se poate concepe decât ca un proces tehnologic de grup:

- trecerea în revistă a problematicii "grupului tehnologic pentru piese având suprafeţele cilindrice coaxiale privind modul de definire a obiectului de lucru" (piesei) ideal(e).

- trecerea în revistă a funcţiilor şi componentelor SFF automate pentru prelucrări prin aşchiere, problemele funcţionării, monitorizării, diagnozei funcţionalităţilor SFF, sinteza ciclogramelor funcţionării SFF şi a planului de amplasament a acestor componente;

- elaborarea unor specificaţii cu privire la utilizarea sculelor în SFF pentru prelucrări prin aşchiere; prereglarea, depozitarea / transferul sculelor, controlul automat, compensarea uzurii, schimbarea automată a sculelor;

- prezentarea unor studii de caz semnificative de SFF pentru prelucrări prin aşchiere, realizate şi în funcţiune în ţări avansate din punct de vedere tehnologic:

- definirea noţiunilor de sculă combinată, sculă cu reglaj automat şi sculă inteligentă;

- studiul problemelor proiectării şi execuţiei sculelor combinate, influenţa lor asupra productivităţii muncii şi a preciziei de prelucrare

- prezentarea în sinteză a avantajelor şi dezavantajelor utilizării sculelor combinate;

- elaborarea unei clasificări a sculelor combinate;

- elaborarea stadiului actual al construcţiei şi utilizării sculelor combinate în procesul de producţie;

- prezentarea de construcţii reprezentative de scule combinate utilizate în SFF.

- introducerea noţiunii de sculă combinată ideală, definită ca şi scula combinată destinată prelucrării prin aşchiere a unui obiect de lucru ideal, aferent unui grup tehnologic format dintr-o mulţime de obiecte de lucru care urmează să fie prelucrată în cadrul SFF;

- analiza modurilor de lucru posibile ale sculelor de lucru ideale şi argumentarea avantajelor şi dezavantajelor utilizării sculelor combinate ideale;

- propunerea unei metodologii de stabilire a naturii și numărului tășurilor corespondente și a corelațiilor calitative dintre acestea;
- propunerea unei funcții scop, progresul uzurii tășurilor, care permite optimizarea regimurilor operațiilor / fazelor / trecerilor de așchiere efectuate de tășurile sculei combinate ideale, astfel încât, reascuțirea tuturor tășurilor să aibă loc simultan;

### 8.3. În domeniul experimental

- realizarea modelului matematic de simulare, utilizând metoda elementului finit, a uzurii tășurilor pentru scule combinate destinate prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare concentrice;
- realizarea programului de analiză cu elemente finit a uzurii tășurilor pentru scule combinate destinate prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare concentrice, cu unul până la trei tășuri;
- modelarea comportamentului dinamic, al unui sistem cu trei mase concentrate, scula 1, scula 2 și piesa prelucrată;
- realizarea programului pentru studiul comportamentului dinamic al sculelor combinate cu două tășuri destinate prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare concentrice, în MATHLAB – SIMULINK;
- proiectarea și scrierea unui program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea forței principale de așchiere dintr-un proces de prelucrarea prin așchiere(strunjire) a suprafețelor cilindrice exterioare;
- proiectarea și scrierea unui program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarelor folosite la măsurarea forței principale de așchiere într-un proces de prelucrarea prin așchiere (strunjire) a suprafețelor cilindrice exterioare;
- proiectarea și scrierea unui program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație a sculei așchietoare dintr-un proces de prelucrarea prin așchiere(strunjire) a suprafețelor cilindrice exterioare;

- proiectarea și scrierea unui program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarele folosite la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație a sculei așchietoare într-un proces de prelucrarea prin așchiere (strunjire) a suprafețelor cilindrice exterioare;

- proiectarea și scrierea unui program pentru achiziția datelor experimentale măsurate în procesul de așchiere cu scule combinate și achiziționate cu placa de achiziție PCI 1200;

- proiectarea și scrierea unui program pentru achiziția imaginilor achiziționate cu camera CCD și prelucrarea acestora în sensul extragerii conturului sculei așchietoare;

- proiectarea și scrierea unui program care să realizeze suprapunerea conturilor corespunzătoare sculei neuzate, respectiv celei cu un anumit grad de uzură corespondent momentului când se face achiziția de imagine și determinarea prin calcul a suprafeței craterului de uzură într-o secțiune longitudinală prin corpul sculei așchietoare;

- proiectarea sistemului de monitorizare a procesului de așchiere cu scule combinate, destinate prelucrării suprafețelor concentrice cilindrice exterioare integrabil în sistemul de fabricație CIM 2000, al Universității din Oradea.

- proiectarea programului de analiză a nivelului uzurii pentru un tăiș al sculei combinate;

- proiectarea programului pentru analiza și monitorizarea procesului de așchiere cu scule combinate destinate așchierii prin strunjire a suprafețelor cilindrice coaxiale exterioare;

#### **8.4. În domeniul practic**

- proiectarea și realizarea unei scule combinate cu două tăișuri destinată prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare concentrice;

- proiectarea și realizarea circuitelor de măsură pentru forțe, parametrii ai mișcărilor de vibrație, puterii și achiziție de imagini video, destinate monitorizării



procesului de aşchiere cu scule combinate pentru prelucrarea suprafeţelor cilindrice concentrice exterioare în SFF:

- proiectarea şi realizarea amplificatoarelor de sarcină destinate interfaţării accelerometrului KD42 în procesul măsurării parametrilor mişcării vibratorii la prelucrarea prin aşchiere;

- realizarea subsistemului de monitorizare a procesului de aşchiere cu scule combinate, cu patru canale de achiziţie a informaţiilor;

- efectuarea unor experimente de aşchiere cu scule combinate pentru prelucrarea suprafeţelor concentrice cilindrice exterioare în cadrul hipersistemului CIM:

- efectuarea de experimente pentru verificarea funcţionării subsistemului de monitorizare.

## BIBLIOGRAFIE

- [A1] Abrudan, I., Sisteme flexibile de fabricație. Concepte de proiectare și management. Editura Dacia, Cluj- Napoca 1996.
- [A2] Acu, D., Brîndașu, D., Bologa, O., Aplicarea metodei elementului finit la studiul proiectării unor scule. În: Lucrările sesiunii "A V-a conferință Națională de mașini unelte", București, 1984.
- [A3] Anderl, R., Von Systeminseln zur CIM Konzept. Schweizer Maschinenmarkt, 13 Goldach, 1991.
- [A4] Armarego, E., J., A., Whitfield, R., C., Computer Based Modelling of Popular Machining Operations for Force and Power Prediction. Anals of the CIRP, Vol.34/1/1993, Pergamon Press.
- [B1] Bekes, I., A Fémforgácsolás tervezése Müszak. Könyv kiadó, Budapest, 1964.
- [B2] Blebea, I., Ispas, V., Calculul și construcția roboților industriali. Editura Dacia, Cluj Napoca, 1995.
- [B3] Boothroyd, G., Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools. International Studenten Edition, McGraw- Hill, Kogakusha, Publ. Tokyo s.a., 1975.
- [B4] Branesch, C., Haurat, A., La modélisation sistemique en entreprise. Editura Hermes, Publ.Paris, 1995.
- [B5] Bruins, D., H., Dräger, H., Werkzeuge und Werkzeugmaschinen für die spanende Metallbearbeitung, vol.1, München – Wien, Carl Hanser Verlag, 1980.
- [B6] Burdea, G., Coiffet, PH., Virtual Reality Technology. Willey and Sons Publ., New Zork, 1994.
- [B7] Buzatu, C-tin., Popa, I.E., Novac, Gh., Sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere. Editura Tehnică, București, 1993.
- [B8] Barabas, T., Programe și interfețe specifice pentru structuri MAP (protocol de automatizare a fabricației) incluse în hipersisteme robotizare CIM. Referat 2, Teză de doctorat, Timișoara, 1999

- [C1] Călin, S., Popescu, T., ș.a., Conducerea adaptivă și flexibilă a proceselor industriale. Editura Tehnică, București, 1988.
- [C2] Chiorea, I., Calculul paralel- fundamente. Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1999.
- [C3] Chiriacescu, S., T., Stabilitatea în dinamica aşchierii metalelor. Editura Academiei Române, București, 1984.
- [C4] Coiffet, PH., Les robots. Hermes Publ., Paris, 1991.
- [C5] Coiffet, PH., What Was Today to Make Possible Workautomation Using Robots? Proceedings International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Automation, Athens, 1995.
- [C6] Cojocaru, G., Kovács, F., Roboții în acțiune. Sisteme flexibile și fabricația în serie. Editura Facla, Timișoara, 1985.
- [C7] Cojocaru, G., Kovács, F., Roboții în acțiune. Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă. Editura Facla, Timișoara, 1986.
- [C8] Cook, N., H., Tool Wear and Tool Life. În: Transactions of the ASME, B, Journal of Engineering for Industry, vol.95, nr.4, p.931-938, 1973.
- [C9] Cook, N., H., Tool Wear Sensors, Anals of the CIRP, Vol.62/1/1997, Pergamon Press.
- [C10] Carlsson, T., E., Strand, F., A Statistical Modell for Prediction of Tool Life as a Basis for Economical Optimisation of the Cutting Process. Anals of the CIRP, Vol.41/1/1992, Pergamon Press.
- [D1] Dalotă, M.,D., Întreprinderea viitorului- strategii de implementare. Editura Sedona, București, 1998.
- [D2] Deacu, L., Pavel, Gh., Vibrații la mașini-unelte. Editura Dacia, Cluj- Napoca, 1977
- [D3] Der FFS- Report der INGERSOLL ENGINEERS, Flexible Fertigungssysteme. Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1982.
- [D4] Dieter, G.E., Metalurgie mecanică- Traducere din limba engleză. Editura Tehnică, București, 1970.
- [D5] Drăghici, G., Tehnologia construcțiilor de mașini. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.

- [D6] Drăgulescu, D., Dinamica roboților. Editura Didactică și Pedagogică, București. 1997.
- [D7] Dreuceanu, M., Ioanovici, Fr. jr., Mașini de lucru în procese robotizate. Lito Universitatea Politehnica, Timișoara. 1996.
- [D8] Drucker, P., F., Functioning of the Factory of Tomorrow. Harward Manager. 1991.
- [D9] Dumitrescu, D., Costin, H., Inteligența artificială. Rețele neuronale- teorie și aplicații. Editura Teora, București, 1996.
- [D10] Dieter, E., G., Metalurgie mecanică. Editura Tehnică, București, 1970.
- [E1] Eliasberg, M., E., Bazele teoriei autooscilațiilor la așchiera metalelor, partea I și II-a. În: Mașini unelte și scule (traducere din limba rusă), nr.1 și 2, 1963.
- [E2] Engel, A., Beyond CIM. Bionic Manufacturing Systems in Japan. IEE Expert, 1990.
- [E3] Epureanu, Al., Pruteanu, O., Gavrițaș, I., Tehnologia construcției de mașini. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [E4] Essel, K., Entwicklung einer Optimierregelung für das Drehen. În: Industrie Anzeiger, vol.94, nr.108, p.2613 – 2614, 1972.
- [E5] Enache, S., Străjescu, E., Tănase, I., Opran, C., Determination of Tool Cutting Capacity. Anals of the CIRP, Vol.41/1/1992, Pergamon Press.
- [F1] Fischler, M., A., Wolf, H., C., Locating Perceptually Salient Points on planar Curves. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.16, No.2, p.113- 129, 1994.
- [G1] Ghinea, M., Finețeanu, V., MATLAB-Calculul numeric- grafică- aplicații. Editura Teora, București, 1997.
- [G2] Grosky, W., I., Mehrotra, R., Index Based Object Recognition in Pictorial Data Management. Computer Vision, Graphics and Image processing, 52, p.416- 436, 1990.

- [G3] Grozav. I. Pământaş, E.. Teoria și proiectarea asistată a sculelor aşchietoare. Universitatea Tehnică, Timișoara. 1994.
- [G4] Grigorescu. S.. Optimizarea sistemelor de fabricație flexibilă pentru prelucrarea prin aşchiere/eroziune. Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 2000.
- [H1] Haywood. W., CIM: Revolution în progress, WP – 90 – 32, 1990
- [H2] Hebb. D., U.. The Organization of Behavior, John Wiley Publ., New York, 1999.
- [H3] Hoffman. D., Sachs, G., Intoduction to the Theorie of Plasticity for Engineers. New York, McGraw Hill Books Company Inc, 1953.
- [I1] Iorga. V., Boriş, I., Programare numerică. Editura Teora, Bucureşti, 1996.
- [I2] Ispas. C., Simion, F.P., Vibrațiile mașinilor unelte- Teorie și aplicații. Editura Academiei România, Bucureşti. 1986.
- [K1] Kalendjeridze, V., G., Influența proprietăților mecanice ale metalelor asupra aparitiei vibrațiilor la strunjire. În: Stanki I instrument, nr.7, 1954.
- [K2] Kerekes. L., Gyenge, Cs., Dezső, G., Optimizarea proceselor de aşchiere. Casa cărții de știință, Cluj Napoca, 1995.
- [K3] Koenig. D., T., Computer Integrated Manufacturing. Theory and Practice. Hemisphere Publ., 1990.
- [K4] Kovács, F., Cojocaru, G., Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale. Editura Facla. Timișoara, 1982.
- [K5] Kovács, F., Rădulescu, C., Roboți industriali (volumul I – II). Lito Universitatea Tehnică. Timișoara, 1992.
- [K6] Kovács, F., Grigorescu, S., Rădulescu, C., Sisteme de fabricație flexibilă robotizate. Partea I-a și a II-a. Lito Universitatea Tehnică, Timișoara, 1994.
- [K7] Kovács, F., Țarcă, R., ș.a. , Sisteme de fabricație flexibilă. Editura Universității din Oradea. 1999.
- [K8] Kovács. F., Tusz, F., Varga, Ș., Fabrica Viitorului. Editura Multimedia Internațional, Arad, 1999.
- [K9] Kronenberg, M., Replacing the Taylor Formula by a New Tool Life Equation. În: International Journal of Mechanical Tool Design Research, vol.10, p.193 – 202, 1970.

- [K10] Kudinov, V., A., Dinamica mașinilor unelte (traducere din limba rusă). Editura Tehnică, București, 1970.
- [K11] Koren, Y., Ulsoy, A., G., Danai, K., Tool Wear and Breakage Detection Using a Process Model. Anals of the CIRP, Vol.35/1/1986, Pergamon Press.
- [L1] Lăzărescu, I., Teoria așchierii metalelor și proiectarea sculelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976.
- [L2] Lăzărescu, I., Ștețiu, G., Oprean, C-tin., Ștețiu, M., Teoria și practica sculelor așchietoare, Vol. I, II, III. Editura Universității din Sibiu, 1994.
- [L3] Leopold, S., Scule cu tăișuri multiple. Editura Tehnică, București, 1986.
- [L4] Lie, H., C., Fu, K., S., Generating Object Descriptions for Model Retrival, IEEE Translations on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.5, No.5, p.462-471, 1983.
- [M1] Miska, F.M., CIM- Computer- integrate Fertigung. Konzepte, Planung, Realizirung, Verlag Moderne Industrie, Mainz, 1998.
- [M2] Munteanu, Gh., Metode numerice în dinamica structurilor mecanice. Suport de curs și laborator. Universitatea "Transilvania" Brașov, 1998.
- [M3] Munteanu, M., Gh., Aldica, Călin, Gh., Radu, Gh., N., Metoda elementelor finite. Suport de curs și laborator, Universitatea Transilvania, Brașov, 1997.
- [M4] Micheletti, G., F., Konig, W., Victor, H., R., In Process Tool Wear Sensors for Cutting Operations, Anals of the CIRP, Vol.25/2/1976, Pergamon Press.
- [M5] Mitrofanov, S., P., Tehnologia de grup în construcția de mașini. Editura Tehnică, București, 1962.
- [N1] Nedevschi, S., Prelucrarea imaginilor și recunoașterea formelor. Grupul Informatica, Cluj Napoca, 1998.
- [N2] Nof, S., Handbook of Industrial Robotics. Krieger Publ., Malabar, Florida, 1992.
- [P1] Pavelescu, D., Mușat, M., Tudor, A., Tribologie. EDP, București, 1977.
- [P2] Petriceanu, Gh., ș. a., Proiectarea proceselor tehnologice și reglarea strungurilor automate revolver. Editura Tehnică, București 1979.

- [P3] Picoș C. ș.a., Calculul adaosurilor de prelucrare și al regimurilor de așchiere. Editura Tehnică, București, 1974.
- [P4] Picoș C. ș.a., Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere. Volumul I și II. Editura Universitas, Chișinău 1992.
- [P5] Picoș C., Coman, Gh., Prelucrabilitatea prin așchiere a aliajelor feroase. Editura Tehnică, București, 1981.
- [P6] Platon, V., Sisteme avansate de producție. Editura Tehnică, București 1990.
- [P7] Pop, I., Grozav, I., Proiectarea sculelor așchietoare. Îndrumător de proiectare, Ediția III-a. Lito Universitatea Tehnică Timișoara, 1987.
- [P8] Pop, I., Proiectarea sculelor așchietoare, Lito Universitatea Tehnică Timișoara, 1991.
- [P9] Pop, M., Mihai, B., Aupra conceptului CAD-CAM. Al XI-lea Simpozion de R.I. Timișoara 1992.
- [P10] Pop, M., Mihai, B., Fabricația integrată cu calculatorul. Conceptul CIM. Principiile integrării structurale. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea 1992.
- [P11] Pop, M., Mihai, B., Bungău C., Integrarea procesului de inspecție măsurare în componența celulelor și SFP. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea, 1992.
- [P12] Pop, M., Mihai, B., Bungău, C., Integrarea procesului de inspecție măsurare în cadrul ciclului de lucru al unităților de prelucrare componente ale SFP. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea, 1992.
- [P13] Pop, M., Considerații asupra proiectării sculelor combinate. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea, 1997.
- [P14] Pop, M., Avantaje și dezavantaje ale utilizării sculelor combinate. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea, 1997.
- [P15] Pop, M., Considerații cu privire la automatizarea proiectării sculelor combinate. Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică Oradea, 1998.
- [P16] Pop, M., Construcții de scule combinate și domeniul de utilizare. Referat doctorat 1. Universitatea Tehnică Timișoara, 1992.
- [P17] Pop, M., Bazele teoretice ale proiectării și construcției sculelor combinate. Referat doctorat 2, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1994.

- [P18] Pop, M., Utilizarea sculelor combinate în sistemele flexibile de producție. Referat 3, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1994.
- [P19] Preitl, Ș., Precup, E., R., Introducere în conducerea Fuzzy a proceselor. Editura Tehnică, București, 1997.
- [P20] Purushothaman, S., Srinivasa. Y., G., A Back-Propagation Algorithm Applied to Tool Wear Monitoring. Anals of the CIRP, Vol.34/1/1993, Pergamon Press.
- [R1] Ramalingam, S., Watson, J., D., Tool life distributions, part. 1: Single injury tool life model. Part.2: Multiple injury tool life model. În: Transactions of the ASME, B, American Society of Mechanical Engineers, vol.99, nr.3, p.519 – 531, 1977.
- [R2] Rembold, V., Nuaji, B., O., Stair, A., Computer Integrated Manufacturing Engineering. Addison- Vesley Publ., Reading, Mass., 1993.
- [R3] Rogos, J., Intelligente Sensorsysteme in der Fertigungstechnik, Springer-Verlag, Berlin, 1989.
- [R4] Rophol, Flexible Fertigungssystemen. Krauskopf Verlag, Stuttgart. 1971.
- [S1] Savii, Gh., Cojocaru, G., Flexibilitatea în fabricația de mașini. Editura Facla, 1977.
- [S2] Surith, W.S., Digital Signal Processing. California Technical, Publishing, San Diego, California, 1997.
- [Ș1] Ștefănuță, E., Constantin M., Proiectarea asistată a sculelor așchietoare. Editura Tehnică, București 1983.
- [Ș2] Ștefănuță, E., Vitalie, B., Proiectarea sculelor așchietoare, EDP, București 1983.
- [Ș3] Ștefănuță, E., ș.a., Tehnologia sculelor așchietoare. Editura Tehnică, București 1987.
- [T1] Toderea, Gh., Costeiu, M., Giugiu, M., Rețele newonale și artificiale. Cluj-Napoca, 1995
- [T2] Tusz, F., Contribuții la automatizarea flexibilă a fabricației subansamblelor sudate. Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1999.



- [V1] Vitalie. B., Creația tehnică în construcția de mașini, Inventica. Ed. Junimea, Iași 1986.
- [V2] Verein Deutscher Ingenieure, Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion 1986. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1986.
- [W1] Wager, J., G., A Repetitive Test for Assessing Tool Life Distribution. În: Annals of CIRP, vol.24, nr.1, p.17-19, 1975.
- [W2] Warnecke, H., J., Steinhilper, R., Flexible Manufacturing Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1985.
- [\*1] \*\*\*, Scule aşchietoare (standarde și comentarii), Editura Tehnică, București 1973.
- [\*2] \*\*\*, Catalogul BOHLER SERT MADEN.
- [\*3] \*\*\*, Prospecte SANDVIK Coromant.
- [\*4] \*\*\*, Prospecte ARTIS.
- [\*5] \*\*\*, Prospecte CERASIV.
- [\*6] \*\*\*, Prospecte TIZIT Maxiflex UTS.
- [\*7] \*\*\*, Catalog HEULE.

**ANEXE**

<b>Anexa 5.1.</b>	Programul de calcul a încărcării utilizând metoda elementului finit	<b>240</b>
<b>Anexa 5.2.</b>	Programul de modelare și simulare a uzurii sculelor așchietoare combinate	<b>252</b>
<b>Anexa 6.1.</b>	Programul de simulare a stabilității comportamentului dinamic, al unui sistem cu trei mase concentrate	<b>294</b>
<b>Anexa 7.1.</b>	Codul sursă al programului de achiziție	<b>303</b>
<b>Anexa 7.2.</b>	Program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea forței principale de așchiere	<b>305</b>
<b>Anexa 7.3.</b>	Program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarele folosite la măsurarea forței principale de așchiere	<b>309</b>
<b>Anexa 7.4.</b>	Program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație	<b>320</b>
<b>Anexa 7.5.</b>	Program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarele folosite la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație	<b>322</b>
<b>Anexa 7.6.</b>	Program pentru achiziția imaginilor video cu camera CCD	<b>334</b>
<b>Anexa 7.7.</b>	Interfața grafică a programului de prelucrare a imaginilor achiziționate de camera CCD	<b>335</b>

## ANEXA 5.1

## Programul de calcul a încărcării utilizând metoda elementului finit

```
FUNCTION UZ_CAL
```

```
% Conditii initiale
```

```
uz_ini2:
```

```
% Generare coordonate noduri si numerotare noduri
```

```
uz_nod:
```

```
%Generare elemente
```

```
uz_gen.
```

```
% Conditii de frontiera, Rezemari :
```

```
uz_con:
```

```
%Forte .
```

```
uz_for:
```

```
% ***Calcul deplasari ***
```

```
% Initializare variabile
```

```
xx = x(:,1);
```

```
yy = x(:,2);
```

```
ngn = 2;
```

```
% nr. grade de libertate / nod
```

```
ngel = 6;
```

```
% dimensiunea matricei de rigiditate
```

```
nec = nnd*ngn;
```

```
% numarul de necunoscute
```

```
K = zeros(nec);
```

```
% matricea de rigiditate
```

```
F = zeros(nec,1);
```

```
% matricea incarcarii
```

```
sigma = zeros(nel,3);
```

```
median = zeros(nel,2);
```

```
rasp=0;
```

```
Dp = zeros(3,3);
```

```
%Inceput bucla
```

```
while rasp == 0
```

```
  for i = 1:nel;
```

```
    % Setarea barei de "calcul in derulare"
```

```
    set(f90_1_3,'Value',i);
```

```
    nod1 = elem(i,1);
```

```
    nod2 = elem(i,2);
```

```
    nod3 = elem(i,3);
```

```
    E = cm(1,1);
```

```
    nu = cm(1,2);
```

```

if 1==2
if i == 7
    E = 1;
end
if i == 8
    E = 1;
end
if i == 15
    E = 1;
end
if i == 16
    E = 1;
end
if i == 24
    E = 1;
end
if i == 23
    E = 1;
end
end
end

```

```

impoz(1) = ngn*nod1-1;           % pozitia termenilor matricei de
    impoz(2) = ngn*nod1;         % rigiditate a elementului triunghiular
    impoz(3) = ngn*nod2-1;      % in matricea de rigiditate a intregii
    impoz(4) = ngn*nod2;        % structuri
    impoz(5) = ngn*nod3-1;
    impoz(6) = ngn*nod3;

E1 = E / (1-nu*nu);
G = E / 2 / (1 + nu);
De = [ E1 nu*E1 0           %Matricea de rigiditate in domeniul elastic
       nu*E1 E1 0
       0 0 G ];

```

```

sigmax = sigma(i,1);
sigmay = sigma(i,2);
tauxy = sigma(i,3);

```

```

    if (sigmax-sigmay)^2+4*tauxy ~= 0
        paramdep=(E/(1+nu))^3/(0.1*(64+4*nu)*((sigmax-sigmay)^2+4*tauxy^2));
    else
        paramdep = 0;
    end

```

```

C = [ (sigmax-sigmay)^2      -(sigmax-sigmay)^2      2*(sigmax-sigmay)*tauxy

```

$$\begin{matrix} -(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})^2 & (\sigma_{\max}-\sigma_{\min})^2 & -2*(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})*\tau_{xy} \\ 2*(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})*\tau_{xy} & -2*(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})*\tau_{xy} & 4*\tau_{xy}^2 \end{matrix};$$

```

Dp=paramdep*C:           %Matricea de rigiditate in domeniul plastic
Dep=De-Dp:              %Matricea de rigiditate in domeniul elasto-plastic
Cdep = [ 1   xx(nod1) yy(nod1) 0 0 0
         0   0   0   1 xx(nod1) yy(nod1)
         1 xx(nod2) yy(nod2) 0 0 0
         0   0   0   1 xx(nod2) yy(nod2)
         1 xx(nod3) yy(nod3) 0 0 0
         0   0   0   1 xx(nod3) yy(nod3) ];

Cm1 = inv(Cdep);

B1 = [ 0 1 0 0 0 0
       0 0 0 0 0 1
       0 0 1 0 1 0 ];

B = B1*Cm1;              % matricea care leaga deformatiile
                          % de depararile nodale ale elementului

AA = abs(det([1 xx(nod1) yy(nod1)
              1 xx(nod2) yy(nod2)
              1 xx(nod3) yy(nod3)])) / 2; % suprafata elementului

kel = AA*B'*Dep*B;      % matricea de rigiditate a elementului

for i1 = 1:ngel;
    j1 = impoz(i1);
    for i2 = 1:ngel
        j2 = impoz(i2);
        K(j1,j2) = K(j1,j2) + kel(i1,i2);
    end
end
end

n1 = length(forte(:,1)); % adaugarea fortelor concentrate la vectorul incarcarii -
for i = 1:n1;
    nn = forte(i,1);
    direc = forte(i,2);
    f = forte(i,3);
    loc = ngn*(nn-1) + direc;
    F(loc,1) = F(loc,1) + f;
end

ncnd = length(cond(:,1)); % punerea conditiilor in legaturi

```

```

for i = 1:ncnd;
    nn = cond(i,1);
    direc = cond(i,2);
    loc = ngn*(nn-1) + direc;
    K(loc,:) = zeros(1,nec);
    K(:,loc) = zeros(nec,1);
    K(loc,loc) = 1;
    F(loc,:) = zeros(1,1);
end

a = K \ F;           % rezolvarea sistemului de ecuatii

%***Trasare grafic***

for i=1:nnd;
    u(i)=a(ngn*(i-1)+1,1);
    v(i)=a(ngn*(i-1)+2,1);
    if ngn==1
        fi(i) = a(ngn*(i-1)+3,1);
    end
end
nnn = [1:nnd];
format short
dep = [nnn',u',v'];
if ngn==3
    dep = [dep,fi'];
end

nc = length(elem(1,:));
nc = nc-2;
if nc==2
    nmax = 1;
else
    nmax = nc;
end

xx1 = xx+scale*u';
yy1 = yy+scale*v';
afisare =1;
if afisare == 1
hold on
for i=1:nel;
    xxx = [xx(abs(elem(i,nc)))];
    yyy = [yy(abs(elem(i,nc)))];
    for i1=1:nmax;
        xxx = [xxx,xx(abs(elem(i,i1)))];
        yyy = [yyy,yy(abs(elem(i,i1)))];
    end
    %plot(xxx,yyy,'k');

```

```

end
for i=1:nel
xxx = [xx1(abs(elem(i.nc)))];
yyy = [yy1(abs(elem(i.nc)))];
for i1=1:nmax
xxx = [xxx,xx1(abs(elem(i.i1)))];
yyy = [yyy,yy1(abs(elem(i.i1)))];
end
%plot(xxx,yyy,'k');
end
end

% *** Calcul tensiuni***

for i = 1:nel:
nod1 = elem(i,1);
nod2 = elem(i,2);
nod3 = elem(i,3);

E = cm(1,1);
nu = cm(1,2);

if i==2
if i == 7
E = 1;
end
if i == 8
E = 1;
end
if i == 15
E = 1;
end
if i == 16
E = 1;
end
if i == 24
E = 1;
end
if i == 23
E = 1;
end
end
end

E1 = E / (1-nu*nu);
G = E / 2 / (1 + nu);
De = [ E1 nu*E1 0 %Matricea de rigiditate in domeniul elastic
nu*E1 E1 0
0 0 G];

```

```

sigma_x = sigma(i,1);
sigma_y = sigma(i,2);
tau_xy = sigma(i,3);

```

```

if (sigma_x-sigma_y)^2+4*tau_xy^2 >= 0
    paramdep=(E/(1+nu))^3/(0.1*(64+4*nu)*((sigma_x-sigma_y)^2+4*tau_xy^2));
else
    paramdep = 0;
end

```

```

C = [ (sigma_x-sigma_y)^2      -(sigma_x-sigma_y)^2      2*(sigma_x-sigma_y)*tau_xy
      -(sigma_x-sigma_y)^2      (sigma_x-sigma_y)^2      -2*(sigma_x-sigma_y)*tau_xy
      2*(sigma_x-sigma_y)*tau_xy  -2*(sigma_x-sigma_y)*tau_xy      4*tau_xy^2];

```

```

Dp=paramdep*C;      %Matricea de rigiditate in domeniul plastic

```

```

Dep = De-Dp;      %Matricea de rigiditate in domeniul elasto-plastic

```

```

Cdep = [ 1      xx(nod1) yy(nod1)  0  0  0
          0      0      0      1  xx(nod1)yy(nod1)
          1      xx(nod2) yy(nod2)  0  0  0
          0      0      0      1  xx(nod2)yy(nod2)
          1      xx(nod3) yy(nod3)  0  0  0
          0      0      0      1  xx(nod3)yy(nod3) ];

```

```

Cm1 = inv(Cdep);

```

```

B1 = [ 0  1  0  0  0  0
        0  0  0  0  0  1
        0  0  1  0  1  0 ];

```

```

B = B1*Cm1;

```

```

BD = Dep*B;      %matricea tensiuni-deplasari nodale
                %deplasari nodale ale elementului

```

```

uel = [u(nod1) v(nod1) u(nod2) v(nod2) u(nod3) v(nod3)] / 3;

```

```

sigma1 = BD*uel';      %calculul tensiunilor

```

```

sigma(i,1) = sigma1(1);

```

```

sigma(i,2) = sigma1(2);

```

```

sigma(i,3) = sigma1(3);

```

```

median(i,1) = (xx1(nod1)+xx1(nod2)+xx1(nod3))/3;

```

```

median(i,2) = (yy1(nod1)+yy1(nod2)+yy1(nod3))/3;

```

```

end

```

```

uz_col;

```

```

cont_ciclu=cont_ciclu+1;

```



```

cont_ciclu1 = cont_ciclu1+1;
if cont_ciclu>=2;
    break;
end
end:

```

### FUNCTION UZ\_COL

```

for i = 1:nel;
    nod1 = elem(i,1);
    nod2 = elem(i,2);
    nod3 = elem(i,3);
    sig0 = sigma(:,1);
    sig = max(sig0)-min(sig0);
    sig1 = sig0-min(sig0);
    sig2=sig1/sig;
    fill([xx1(nod1) xx1(nod2) xx1(nod3)],...
        [yy1(nod1) yy1(nod2) yy1(nod3)], [sig2(i),0,(1-sig2(i))],...
        'EdgeColor', [sig2(i),0,(1-sig2(i))], 'LineWidth', [0.01]);
    %fill(xx1(nod1),yy1(nod1),sig2(i),xx1(nod2),yy1(nod2),sig2(i),...
    %    xx1(nod3),yy1(nod3),sig2(i),...
    %    'EdgeColor', [sig2(i),(1-sig2(i)),0], 'LineWidth', [0.01]);
end

```

### FUNCTION UZ\_CON

```
%Conditii initiale
```

```
%Rezemari :
```

```

cond = zeros(numar_lin+numar_col-1,2);
contor = 0;
for i =1:numar_lin:numar_lin*numar_col;
    contor = contor + 1;
    cond(contor,1) = i;
    cond(contor,2) = 1;
    contor = contor + 1;
    cond(contor,1) = i;
    cond(contor,2) = 2;
end

```

```

for i = numar_lin*(numar_col-1)+2:numar_lin*numar_col;
    contor = contor + 1;
    cond(contor,1) = i;
    cond(contor,2) = 1;
    contor = contor + 1;
    cond(contor,1) = i;
    cond(contor,2) = 2;

```

```
end
```

## FUNCTION UZ\_FOR

```
%Forte :
```

```
forte = zeros(numar_col-1,3);
```

```
contor = 0;
```

```
for i = numar_lin:numar_lin:numar_lin*(numar_col-1);
```

```
    contor = contor + 1;
```

```
    forte(contor,1) = i;
```

```
    forte(contor,2) = 1;
```

```
    forte(contor,3) = 0;
```

```
    contor = contor + 1;
```

```
    forte(contor,1) = i;
```

```
    forte(contor,2) = 2;
```

```
    forte(contor,3) = 0;
```

```
end
```

```
forte(2,1) = 12;
```

```
forte(2,2) = 1;
```

```
forte(2,3) = 10000;
```

```
forte(2,1) = 12;
```

```
forte(2,2) = 2;
```

```
forte(2,3) = -10000;
```

## FUNCTION UZ\_GEN

```
%Generare elemente
```

```
lin_elem = numar_lin-1;
```

```
col_elem = numar_col-1;
```

```
numar_elem = 2*lin_elem*col_elem;
```

```
nel = numar_elem;
```

```
elem = zeros(numar_elem,5);
```

```
for i = 1:nel;
```

```
    elem(i,4) = 1;
```

```
    elem(i,5) = 1;
```

```
end
```

```
nrcrt_elem = 0;
```

```
for j = 1:col_elem;
```

```
    for i = lin_elem+1:-1:2;
```

```
        if i == lin_elem+1
```

```
            nrcrt_elem = nrcrt_elem+1;
```

```
            elem(nrcrt_elem,1) = numar_nod(i,j);
```

```
            elem(nrcrt_elem,2) = numar_nod(i-1,j);
```

```
            elem(nrcrt_elem,3) = numar_nod(i-1,j+1);
```

```
            nrcrt_elem = nrcrt_elem+1;
```

```
            elem(nrcrt_elem,1) = numar_nod(i,j);
```

```

    elem(nr crt_elem,2) = numar_nod(i,j+1);
    elem(nr crt_elem,3) = numar_nod(i-1,j+1);
else
    nr crt_elem = nr crt_elem+1;
    elem(nr crt_elem,1) = numar_nod(i,j);
    elem(nr crt_elem,2) = numar_nod(i,j+1);
    elem(nr crt_elem,3) = numar_nod(i-1,j+1);
    nr crt_elem = nr crt_elem+1;
    elem(nr crt_elem,1) = numar_nod(i,j);
    elem(nr crt_elem,2) = numar_nod(i-1,j);
    elem(nr crt_elem,3) = numar_nod(i-1,j+1);
end
end
end
end

```

## FUNCTION UZ\_INI

```

% Initializare parametrii pentru simulare
f90_1_1 = figure('Name','Simularea uzurii cu elemente finite',...
    'NumberTitle','off');

prop = [1e-3];
cm = [2e11 3e-1];
scale = 1000000;

domeniu_x = 10;
pas_x = 1;
domeniu_x1 = 1;
pas_x1 = 0.1;
domeniu_y = 10;
pas_y = 1;
domeniu_y1 = 1;
pas_y1 = 0.1;
n_col_0 = domeniu_x1/pas_x1;
n_lin_0 = domeniu_y1/pas_y1;
numar_col = domeniu_x/pas_x;
numar_lin = domeniu_y/pas_y;
nnd = (numar_lin+n_col_0)*(numar_col+n_col_0);
cont_ciclu = 1;
cont_ciclu1 = 1;

% Cursor calcul

f90_1_2 = uicontrol('Style','text','String','Calcul in derulare :',...
    'Position',[30 100 110 25]);
f90_1_3 = uicontrol('Style','slider','Min',0,'Max',2000,...
    'Position',[30 75 110 25],...
    'SliderStep',[0.01 0.1],...
    'BackgroundColor','r',...

```

```
'ForegroundColor','b');
```

### FUNCTION UZ\_INI1

```
% Initalizare parametrii pentru simulare
```

```
prop = [1e-3];  
cm = [2e11 3e-1];  
scale = 1000000;  
  
domeniu_x = 10;  
pas_x = 1;  
domeniu_x1 = 1;  
pas_x1 = 0.1;  
domeniu_y = 10;  
pas_y = 1;  
domeniu_y1 = 1;  
pas_y1 = 0.1;  
n_col_0 = domeniu_x1/pas_x1;  
n_lin_0 = domeniu_y1/pas_y1;  
numar_col = domeniu_x/pas_x;  
numar_lin = domeniu_y/pas_y;  
nnd = (numar_lin+n_col_0)*(numar_col+n_col_0);  
cont_ciclu = 1;  
cont_ciclu1 = 1;
```

### FUNCTION UZ\_INI2

```
% Initalizare parametrii pentru simulare
```

```
f90_1_1 = figure('Name','Simularea uzurii cu elemente finite',...  
'NumberTitle','off');
```

```
prop = [1e-3];  
cm = [2e11 3e-1];  
scale = 1000000;
```

```
domeniu_x = 10;  
pas_x = 1;  
domeniu_x1 = 1;  
pas_x1 = 0.1;  
domeniu_y = 10;  
pas_y = 1;  
domeniu_y1 = 1;  
pas_y1 = 0.1;  
n_col_0 = domeniu_x1/pas_x1;  
n_lin_0 = domeniu_y1/pas_y1;  
numar_col = domeniu_x/pas_x;  
numar_lin = domeniu_y/pas_y;
```

```
nnd = (numar_lin+n_col_0)*(numar_col+n_col_0);
cont_ciclu = 1;
cont_ciclu1 = 1;
```

```
% Cursor calcul
```

```
f90_1_2 = uicontrol('Style','text','String','Calcul in derulare :',...
    'Position',[30 100 110 25]);
f90_1_3 = uicontrol('Style','slider','Min',0,'Max',2000,...
    'Position',[30 75 110 25],...
    'SliderStep',[0.01 0.1],...
    'BackgroundColor','r',...
    'ForegroundColor','b');
```

### FUNCTION UZ\_LEG

```
nd1_col = [elem(:,1);elem(:,2);elem(:,3)];
nnd1_col = 3*nel;
nr_leg = zeros(nel,4);
for i = 1:nel
    for j = 1:3
        nd_crt = elem(i,j);
        n = 0;
        for h = 1:nnd1_col
            if nd_crt == nd1_col(h)
                n = n+1;
            end
        end
        nr_leg(i,j) = n;
    end
    if (nr_leg(i,1)+nr_leg(i,2)+nr_leg(i,3)) == 18
        nr_leg(i,4) = 1;
    end
    if (nr_leg(i,1)+nr_leg(i,2)+nr_leg(i,3)) < 18
        nr_leg(i,4) = 2;
    end
end
z = size(cond);
for i = 1:nel
    for j = 1:3
        nd_crt = elem(i,j);
        for h = 1:z(1)
            if nd_crt == cond(h,1)
                nr_leg(i,4) = 0;
            end
        end
    end
end
end
```

## FUNCTION UZ\_NOD

%Generare coordonate noduri

```
xx = zeros(nnd,1);
yy = xx;
xx_spatiu = 0;
yy_spatiu = 0;
for i=1:nnd;
    xx(i,1) = xx_spatiu;
    yy(i,1) = yy_spatiu;
    if mod(i,(numar_lin+n_lin_0))>=numar_lin
        pas_yy = pas_y1;
    else
        pas_yy = pas_y;
    end
    if i<((numar_lin+n_lin_0)*(n_col_0+1))
        pas_xx = pas_x1;
    else
        pas_xx = pas_x;
    end
    yy_spatiu = yy_spatiu+pas_yy;
    if mod(i,(numar_lin+n_lin_0)) == 0
        xx_spatiu = xx_spatiu+pas_xx;
        yy_spatiu = 0;
    end
end
x=[xx yy];
```

%Numerotare noduri

% Atentie se redefinesc variabilele numar\_col si numar\_lin

```
numar_lin = numar_lin+n_lin_0;
numar_col = numar_col+n_col_0;
numar_nod = zeros(numar_lin,numar_col);
for j = 1:numar_col;
    for i = 1:numar_lin;
        numar_nod(i,j) = j*numar_lin-i+1;
    end
end
```

## ANEXA 5.2

## Programul de modelare și simulare a uzurii sculelor așchietoare combinate

FUNCTION IGU

```
% ***INTERFATA GRAFICA UTILIZATOR PENTRU PROGRAMUL DE SIMULARE  
AL UZURII***
```

```
format short
```

```
clear;
```

```
echo off;
```

```
% Meniu principal
```

```
H1 = figure('MenuBar','none','Name','Simularea uzurii sculelor aschietoare',...  
    'NumberTitle','off');
```

```
% Valori initiale
```

```
cale_dir;
```

```
k_coef: % Coeficienti pentru calculul fortelor
```

```
% Initializarea valorilor parametrilor
```

```
f_tot_dist = 1;
```

```
nsc = 1;
```

```
vinih1_1;
```

```
vinih1_3;
```

```
vinih1_5;
```

```
vinif1_5;
```

```
for_cal1;
```

```
dis_cal1;
```

```
% Desen coperta
```

```
desen1 = imread('coperta1.bmp');
```

```
image(desen1);
```

```
% Definiere meniu
```

```
H1_m_1 = uimenu('Label','Date initiale');
```

```
H1_m_2 = uimenu('Label','Forte de aschiere');
```

```
H1_m_3 = uimenu('Label','Vibratii');
```

```
H1_m_4 = uimenu('Label','Prelucrare imagini');
```

```
H1_m_5 = uimenu('Label','Simulare uzura');
```

```
H1_m_6 = uimenu('Label','Optimizare');
```

```
H1_m_7 = uimenu('Label','Achizitie date');
```

```
%uimenu(H1_m_1,'Label','Parametrii Retea','Callback','par_ret');
```

```

uimenu(H1_m_1,'Label','Parametrii Proces','Callback','par_sc');
%uimenu(H1_m_2,'Label','Distributie forte','Callback','for_dist');
uimenu(H1_m_2,'Label','Forte calculate','Callback','for_calc');
uimenu(H1_m_2,'Label','Forte achizitionate','Callback','men_for');
uimenu(H1_m_3,'Label','Analiza vibratii','Callback','an_spec1');
uimenu(H1_m_3,'Label','Diagrama Bode','Callback','estim1');
uimenu(H1_m_5,'Label','Parametrii uzura','Callback','par_uz');
uimenu(H1_m_5,'Label','Simulare','Callback','elfi');
uimenu(H1_m_6,'Label','Optimizare constructiva','Callback','Opt_con');
uimenu(H1_m_6,'Label','Optimizare tehnologica','Callback','Opt_teh');

```

```
% Definire butoane
```

```

H1_b_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Info...',...
    'Position',[380 20 70 25],'Callback','info_h1');
H1_b_2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
    'Position',[460 20 70 25],'Callback','delete(H1)');

```

### FUNCTION CALE\_DIR

```

addpath d:\simdef2
addpath d:\simdef2\an_for
addpath d:\simdef2\an_for\l_s
addpath d:\simdef2\an_for\l_n
addpath d:\simdef2\an_for\l_t
addpath d:\simdef2\an_spec
addpath d:\simdef2\coperta
addpath d:\simdef2\desen_scale
addpath d:\simdef2\etal_for
addpath d:\simdef2\for_calc
addpath d:\simdef2\for_calc\distrib_for
addpath d:\simdef2\par_gen
addpath d:\simdef2\par_gen\par_spec
addpath d:\simdef2\par_gen\par_spec\val crt_spec
addpath d:\simdef2\par_gen\val crt_gen
addpath d:\simdef2\luz_elfi
addpath d:\simdef2\estim

```

### FUNCTION INFO\_H1

```

format short
% Initializare variabile

% Definire suprafata grafica utilizator : "Par_ret"

I1_1 = figure('MenuBar','none','Name','Informatii privind datele initiale',...
    'NumberTitle','off');

% Iesire

```



```

inf1_1 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Iesire',...
    'Position', [460 20 70 25], 'Callback', 'delete(I1_1)');

% Introducere dimensiunii domeniului si pasi
text = [
    ' Valorile initiale au fost alese pentru urmatoarele date de intrare :
    '
    ' Material scula : Rp ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Material piesa : Otel laminat la cald ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Sigma_r      : 35 daN/mm^2 ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Unghi de atac : 90° ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Uzura initiala pe fata de degajare : 0,5 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Raza la varf a cutitului : 0,5 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Avans : 0.096 mm/rot ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Turatie : 125 rot/min ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Inaltime sectiune corp scula : 12 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Latime sectiune corp scula : 12 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Lungimea in consola : sc1 : 30 mm, sc2 : 32 mm, sc3 : 34 mm
    ' Distanta consecutiva intre scule : sc1 : 0 mm, sc2 : 50 mm, sc3 : 50 mm
    ' Adancimea de aschiere : sc1 : 2 mm, sc2 : 2 mm, sc3 : 2 mm
    ' Unghi de degajare : 10° ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Mediu de lucru : uscat ( aceeasi pentru toate sculele )
    ' Diametrul de lucru : sc1 : 54 mm, sc2 : 52 mm, 50 mm.
    '];

inf1_2 = uicontrol('Style', 'text', 'String', text,...
    'Position', [50 60 400 300], 'BackgroundColor', 'w', 'HorizontalAlignment', 'left');

```

### FUNCTION REN\_H1\_1

% Renuntare : revenire la valorile initiale si stergere obiect curent

```

vinih1_1;
delete(H1_1);

```

### FUNCTION VAL\_H1\_1

```

vinih1_1;
set(f1_6,'String', domeniu_x,'Value',domeniu_x);
set(f1_8,'String', pas_x);
set(f1_10,'String', domeniu_y);
set(f1_12,'String', pas_y);
Gen_elem;

```



```

elseif nsc == 2
    col_sc = 'w';
    nsc3;
    set(for4_3.'Visible','off','Enable','off');
    col_sc = 'b';
    nsc2;
    set(for4_2.'Visible','on','Enable','on');
elseif nsc == 3
    col_sc = 'b';
    nsc2;
    set(for4_2.'Visible','on','Enable','on');
    nsc3;
    set(for4_3.'Visible','on','Enable','on');
end

```

## FUNCTION NSC1

% Prima scula

```

h1_3p_ini = [10 85
             10 55
             35 55
             35 85
             40 85
             40 60
             65 60
             70 65
             70 85
             65 85
             30 30
             50 30
             50 50
             47.6 52.4
             30 50
             30 43
             30 40];

```

```

h1_3sp_ini = [10 0
              10 30
              70 30
              70 0];

```

hold on;

```

plot([h1_3p_ini(1,1),h1_3p_ini(2,1),h1_3p_ini(3,1),h1_3p_ini(6,1),h1_3p_ini(7,1)...
      ,h1_3p_ini(8,1),h1_3p_ini(9,1)],...
      [h1_3p_ini(1,2),h1_3p_ini(2,2),h1_3p_ini(3,2),h1_3p_ini(6,2),h1_3p_ini(7,2)...
      ,h1_3p_ini(8,2),h1_3p_ini(9,2)]);

```

```

plot([h1_3p_ini(11,1),h1_3p_ini(15,1),h1_3p_ini(6,1),h1_3p_ini(14,1),h1_3p_ini(16,1)

```

```
,h1_3p_ini(17,1),h1_3p_ini(13,1),h1_3p_ini(14,1),h1_3p_ini(13,1),h1_3p_ini(12,1)],...
[h1_3p_ini(11,2),h1_3p_ini(15,2),h1_3p_ini(6,2),h1_3p_ini(14,2),h1_3p_ini(16,2)...
,h1_3p_ini(17,2),h1_3p_ini(13,2),h1_3p_ini(14,2),h1_3p_ini(13,2),h1_3p_ini(12,2)]];
plot([h1_3p_ini(7,1),h1_3p_ini(10,1)],[h1_3p_ini(7,2),h1_3p_ini(10,2)]);
plot([h1_3p_ini(5,1),h1_3p_ini(6,1),h1_3p_ini(3,1),h1_3p_ini(4,1)],...
[h1_3p_ini(5,2),h1_3p_ini(6,2),h1_3p_ini(3,2),h1_3p_ini(4,2)]);

plot([h1_3sp_ini(1,1),h1_3sp_ini(2,1),h1_3sp_ini(3,1),h1_3sp_ini(4,1)],...
[h1_3sp_ini(1,2),h1_3sp_ini(2,2),h1_3sp_ini(3,2),h1_3sp_ini(4,2)]);
```

## FUNCTION NSC2

```
% Scula nr. 2
```

```
offset_p_x(1:17,1) = 30;
```

```
offset_p_y = [0
              5
              5
              0
              0
              5
              5
              5
              0
              0
              0
              5
              5
              5
              5];
```

```
offset_sp_x = [ 0
               0
               30
               30];
```

```
offset_sp_y(1:4,1) = zeros(4,1);
```

```
plot([h1_3sp_ini(3,1),h1_3sp_ini(4,1)],[h1_3sp_ini(3,2),h1_3sp_ini(4,2)],'w');
```

```
h1_3p = h1_3p_ini+[offset_p_x offset_p_y];
```

```
h1_3sp = h1_3sp_ini+[offset_sp_x offset_sp_y];
```

```
plot([h1_3p(1,1),h1_3p(2,1),h1_3p(3,1),h1_3p(6,1),h1_3p(7,1)...
,h1_3p(8,1),h1_3p(9,1)],...
[h1_3p(1,2),h1_3p(2,2),h1_3p(3,2),h1_3p(6,2),h1_3p(7,2)]...
```

```

    .h1_3p(8.2).h1_3p(9.2)],col_sc);
plot([h1_3p(11.1).h1_3p(15.1),h1_3p(6.1),h1_3p(14.1),h1_3p(16.1)...
    .h1_3p(17.1).h1_3p(13.1),h1_3p(14.1),h1_3p(13.1),h1_3p(12.1)],...
    [h1_3p(11.2).h1_3p(15.2).h1_3p(6.2),h1_3p(14.2),h1_3p(16.2)...
    .h1_3p(17.2).h1_3p(13.2),h1_3p(14.2).h1_3p(13.2),h1_3p(12.2)]...
    .col_sc);
plot([h1_3p(7.1).h1_3p(10.1)].[h1_3p(7.2).h1_3p(10.2)],col_sc);
plot([h1_3p(5.1).h1_3p(6.1),h1_3p(3.1),h1_3p(4.1)],...
    [h1_3p(5.2).h1_3p(6.2),h1_3p(3.2),h1_3p(4.2)],col_sc);

plot([h1_3sp(1.1).h1_3sp(2.1),h1_3sp(3.1),h1_3sp(4.1)],...
    [h1_3sp(1.2).h1_3sp(2.2),h1_3sp(3.2),h1_3sp(4.2)],col_sc);

```

### FUNCTION NSC3

```
% Scula nr. 2
```

```
offset_p_x(1:17,1) = 60;
```

```
offset_p_y = [ 0
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    0
```

```
    0
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    0
```

```
    0
```

```
    0
```

```
    0
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    10
```

```
    10];
```

```
offset_sp_x = [ 0
```

```
    0
```

```
    30
```

```
    30];
```

```
offset_sp_y(1:4,1) = zeros(4,1);
```

```
h1_3p = h1_3p_ini+[offset_p_x offset_p_y];
```

```
h1_3sp = h1_3sp_ini+[offset_sp_x offset_sp_y];
```

```
plot([h1_3sp(3.1).h1_3sp(4.1)].[h1_3sp(3.2).h1_3sp(4.2)],'w');
```

```

offset_sp_x = [ 0
               0
               60
               60];
offset_sp_y(1:4,1) = zeros(4,1);

h1_3p = h1_3p_ini+[offset_p_x offset_p_y];
h1_3sp = h1_3sp_ini+[offset_sp_x offset_sp_y];

plot([h1_3p(1,1),h1_3p(2,1),h1_3p(3,1),h1_3p(6,1),h1_3p(7,1)...
      ,h1_3p(8,1),h1_3p(9,1)],...
     [h1_3p(1,2),h1_3p(2,2),h1_3p(3,2),h1_3p(6,2),h1_3p(7,2)...
     ,h1_3p(8,2),h1_3p(9,2)],col_sc);
plot([h1_3p(11,1),h1_3p(15,1),h1_3p(6,1),h1_3p(14,1),h1_3p(16,1)...
     ,h1_3p(17,1),h1_3p(13,1),h1_3p(14,1),h1_3p(13,1),h1_3p(12,1)],...
     [h1_3p(11,2),h1_3p(15,2),h1_3p(6,2),h1_3p(14,2),h1_3p(16,2)...
     ,h1_3p(17,2),h1_3p(13,2),h1_3p(14,2),h1_3p(13,2),h1_3p(12,2)]...
     ,col_sc);
plot([h1_3p(7,1),h1_3p(10,1)], [h1_3p(7,2),h1_3p(10,2)],col_sc);
plot([h1_3p(5,1),h1_3p(6,1),h1_3p(3,1),h1_3p(4,1)],...
     [h1_3p(5,2),h1_3p(6,2),h1_3p(3,2),h1_3p(4,2)],col_sc);

plot([h1_3sp(1,1),h1_3sp(2,1),h1_3sp(3,1),h1_3sp(4,1)],...
     [h1_3sp(1,2),h1_3sp(2,2),h1_3sp(3,2),h1_3sp(4,2)],col_sc);

```

## FUNCTION ESTIM1

```

% Initializare variabile
% Definire suprafata grafica utilizator : "an_sp"

f140_1_1 = figure('Name','Analiza spectrala a semnalelor achizitionate',...
  'NumberTitle','off');
%'MenuBar','none',

% Grafic
f140_1_4 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 1',...
  'Position',[20 5 70 20],'Callback','estim3');
% Grafic
f140_1_5 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 2',...
  'Position',[100 5 70 20],'Callback','estim4');

% Iesire

f140_1_6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...

```

```
'Position'. [420 5 70 20], 'Callback', 'delete(f140_1_1)');
```

### FUNCTION ESTIM3

```
% analiza spectrala a unui semnal  
% Traductor 2  
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);  
if filename ~=0  
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');  
    [x1,count1] = fread(fid,inf,'int16',4);  
    fclose('all');  
    estim6;  
elseif filename == 0  
    disp('Nu s-a selectat nici un fisier');  
end
```

### FUNCTION ESTIM4

```
% analiza spectrala a unui semnal  
% Traductor 2  
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);  
if filename ~=0  
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');  
    [xdummy,countdummy] = fread(fid,2,'int16');  
    [x1,count1] = fread(fid,inf,'int16',4);  
    fclose('all');  
    estim6;  
elseif filename == 0  
    disp('Nu s-a selectat nici un fisier');  
end
```

### FUNCTION ESTIM6

```
g = etfe(x1);  
bodeplot(etfe(x1));  
%nyqplot(g);
```

### FUNCTION DAT\_ETAL

```
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte  
extrem = 0;  
extrem1 = 0;  
clear extrem,extrem1;  
[filename,pathname] = uigetfile('*.dat','Selectati fisierul de date',300,100);  
if filename ~=0  
    fid = fopen(filename,'r');
```

```

[f,count] = fread(fid,inf,'int16');
fclose('all');
hold on;
lung1 = size(f);
lung1 = lung1(1,1);
lung0 = 1;
lung1 = count;
%plot(f(lung0:lung1),'k');
j = 0;
for i = lung0+1:lung1-1
    if (f(i)-f(i-1))*(f(i+1)-f(i))<=0
        if f(i)*f(i+1)>0
            j = j+1;
            extrem(j) = f(i);
            %plot(i-lung0,extrem(j),'r.');
```

## FUNCTION ETAL

```

% Initializare variabile
a = 0;
b = 0;
par_etal;
```



```
% Definire suprafata grafica utilizator : "etal"
```

```
f30_1_1 = figure('MenuBar','none','Name','Calculul parametrilor etalonarii',...  
    'NumberTitle','off');  
f30_1_2 = axes('position',[0.3 0.2 0.64 0.74],'Box','on');
```

```
% Introducere date initiale
```

```
f30_1_4 = uicontrol('Style','text','String','Incarcare',...  
    'Position',[30 380 110 15]);  
f30_1_5 = uicontrol('Style','popup','String',It1,...  
    'Position',[30 360 110 20],'BackgroundColor','w','Callback','sel_etal');
```

```
% Date achizitionate
```

```
f30_1_6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Date achizitionate',...  
    'Position',[30 260 110 25],'Callback','dat_etal');
```

```
% Grafic
```

```
f30_1_7 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Calcul',...  
    'Position',[30 220 110 25],'Callback','gra_etal');
```

```
% Stergere
```

```
f30_1_8 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Stergere',...  
    'Position',[30 180 110 25],'Callback','cla');
```

```
% Iesire
```

```
f30_1_9 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...  
    'Position',[30 140 110 25],'Callback','delete(f30_1_1)');
```

```
% Afisare parametrii
```

```
f30_1_10 = uicontrol('Style','text','String','a',...  
    'Position',[170 25 60 20],'HorizontalAlignment','left');  
f30_1_11 = uicontrol('Style','text','String','a',...  
    'Position',[170 10 40 20],'HorizontalAlignment','left');  
f30_1_12 = uicontrol('Style','text','String','b',...  
    'Position',[240 25 60 20],'HorizontalAlignment','left');  
f30_1_13 = uicontrol('Style','text','String','b',...  
    'Position',[240 10 40 20],'HorizontalAlignment','left');
```

```
FUNCTION GRA_ETAL
```

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii
```

```
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de incarcare
load m_e_f_20;
xxx = 0:0.1:30;
abc_etal = polyfit(d_e_f_20(1:7,1),d_e_f_20(1:7,2),1);
poli2 = polyval(abc_etal,xxx);
plot(xxx,poli2,d_e_f_20(1:7,1),d_e_f_20(1:7,2),'o');
set(f30_1_11,'String',abc_etal(1));
set(f30_1_13,'String',abc_etal(2));
```

## FUNCTION INFO

format short

% Initializare variabile

% Definire suprafata grafica utilizator : "Informatii"

```
I1 = figure('MenuBar','none','Name','Informatii',...
    'NumberTitle','off');
```

% Iesire

```
inf1_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
    'Position',[460 20 70 25],'Callback','delete(I1)');
```

% Introducere dimensiuni domeniului si pasi

```
text = [' ', ' '];
```

```
inf1_2 = uicontrol('Style','text','String',text,...
    'Position',[50 60 400 300],'BackgroundColor','w','HorizontalAlignment','left');
```

## FUNCTION PAR\_ETAL

% Incarcari prestabilite ale traductorului e forta in vederea etalonarii

```
It1 = ' 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30';
```

```
inc_etal = 0;
```

## FUNCTION SEL\_ETAL

% Optiuni

format long

```
inc_etal = 0;
```

```
opt = get(f30_1_5,'Value');
```

```
if opt == 1
```

```
    inc_etal = 0;
```

```
elseif opt == 2
```

```
    inc_etal = 5;
```

```

elseif opt == 3
    inc_etal = 10;
elseif opt == 4
    inc_etal = 15;
elseif opt == 5
    inc_etal = 20;
elseif opt == 6
    inc_etal = 25;
elseif opt == 7
    inc_etal = 30;
end

```

```

FUNCTION FOR_CAL1

```

```

% Matricea coeficientilor

```

```

k_for = zeros(9,19);

```

```

% Alegerea coeficientilo pentru calculul fortelor

```

```

% matrici indiciale : vcrth1_5(i,), vcrth1_3()

```

```

% mat_sc1, mat_pies, sig_pies/hb_pies, cfy, cfz, cfx, xfy, xfz, xfx, yfy, yfz, yfx

```

```

% linii : k_a1 i = 1:32

```

```

% indici selectati = vcrth1_5(1,1), vcrth1_3(1,1), vcrth1_3(1,2)

```

```

% indici parametrii = k_a1(1,1), k_a1(1,2), k_a1(1,3)

```

```

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:32
            if vcrth1_5(j,1)==k_a1(i,1) & vcrth1_3(1,1)==k_a1(i,2) &
vcrth1_3(1,2)==k_a1(i,3)
                k_for(n,1) = k_a1(i,3+dir);
                k_for(n,2) = k_a1(i,6+dir);
                k_for(n,3) = k_a1(i,9+dir);
            end
        end
    end
end

```

```

% mat_pies1, kcfy, kcfz, kcfx

```

```

% linii : k_a3 i = 1:2

```

```

% indici selectati = vcrth1_3(1,3)

```

```

% indici parametrii = k_a3(1,1)

```

```

for j = 1:3

```

```

for dir = 1:3
    n = 3*(j-1)+dir;
    for i = 1:2
        if vcrth1_3(1,3) == k_a3(i,1)
            k_for(n,4) = k_a3(i,1+dir); %
        end
    end
end
end

% mat_pies, sig_pies/hb_pies, kmfy, kmfz, kmfx
% linii : k_a2 i = 1:16
% indici selectati = vcrth1_3(1,1), vcrth1_3(1,2)
% indici parametrii = k_a2(1,1), k_a2(1,2)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:16
            if vcrth1_3(1,1) == k_a2(i,1) & vcrth1_3(1,2) == k_a2(i,2)
                k_for(n,5) = k_a2(i,2+dir); %
            end
        end
    end
end

% mat_pies, kapa_sc, kkrfy, kkrfz, kkrfx
% linii : k_a4 i = 1:14
% indici selectati = vcrth1_3(1,1), vcrth1_5(j,4)
% indici parametrii = k_a4(i,1), k_a4(i,2)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:14
            if vcrth1_3(1,1) == k_a4(i,1) & vcrth1_5(j,4) == k_a4(i,2)
                k_for(n,6) = k_a4(i,2+dir); %
            end
        end
    end
end

% gama_sc, kgamafy, kgamafz, kgzmfz
% linii : k_b1 i = 1:10
% indici selectati = vcrth1_5(j,3)
% indici parametrii = k_b1(1,1)

for j = 1:3
    for dir = 1:3

```

```

n = 3*(j-1)+dir;
for i = 1:10
    if vcrth1_5(j,3) == k_b1(i,1)
        k_for(n,7) = k_b1(i,1+dir);
    end
end
end
end

% med_pre, kwfy, kwfz, kwfx
% linii : k_c1 i = 1:4
% indici selectati = vcrth1_3(1,3)
% indici parametrii = k_c1(i,1)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:4
            if vcrth1_3(1,4) == k_c1(i,1)
                k_for(n,8) = k_c1(i,1+dir);
            end
        end
    end
end
end

% mat_pies, r_varf_sc, krfy, krfz, krfx
% linii : k_a6 i = 1:10
% indici selectati = vcrth1_3(1,1), vcrth1_5(j,5)
% indici parametrii = k_a6(i,1), k_a6(i,2)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:10
            if vcrth1_3(1,1) == k_a6(i,1) & vcrth1_5(j,5) == k_a6(i,2)
                k_for(n,9) = k_a6(i,2+dir);
            end
        end
    end
end
end

% Calculul vitezei de aschiere

% tura_pre n_pies
% linii : n_pies i = 1:3
% indici selectati = vcrth1_3(1,6)
% indici parametrii = n_pies(i,1)
vit_pies = zeros(9,1);
for j = 1:3

```

```

for dir = 1:3
    n = 3*(j-1)+dir;
    for i = 1:3
        if vcrth1_3(1,6) == n_pies(i,1);
            k_for(n,10) = pi*vcrth1_5(j,6)*n_pies(i,2)/1000;
            if k_for(n,10)<=75
                vit_pies(n,1) = 1;
            elseif k_for(n,10)>=75 & k_for(n,10)<125
                vit_pies(n,1) = 2;
            elseif k_for(n,10)>=125 & k_for(n,10)<175
                vit_pies(n,1) = 3;
            elseif k_for(n,10)>=175 & k_for(n,10)<225
                vit_pies(n,1) = 4;
            elseif k_for(n,10)>=225 & k_for(n,10)<275
                vit_pies(n,1) = 5;
            elseif k_for(n,10)>=275 & k_for(n,10)<350
                vit_pies(n,1) = 6;
            elseif k_for(n,10)>=350 & k_for(n,10)<500
                vit_pies(n,1) = 7;
            elseif k_for(n,10)>=500
                vit_pies(n,1) = 8;
            end
        end
    end
end
end
end

% mat_pies, vit, kvfy, kvfz, kvfx
% linii : k_a7 i = 1:16
% indici selectati = vcrth1_3(1,1), vit_pies(n,1)
% indici parametrii = k_a7(i,1), k_a7(i,2)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:16
            if vcrth1_3(1,1) == k_a7(i,1) & vit_pies(n,1) == k_a7(i,2)
                k_for(n,11) = k_a7(i,2+dir);
            end
        end
    end
end
end

% avan_pre s_pies
% linii : s_pies i = 1:4
% indici selectati = vcrth1_3(1,5)
% indici parametrii = s_pies(i,1)

```

```

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:4
            if vcrth1_3(1,5) == s_pies(i,1)
                k_for(n,12) = s_pies(i,2);
            end
        end
    end
end

% mat_sc1, mat_pies, halfa, khfy
% linii : k_a5 i = 1:12
% indici selectati = vcrth1_5(j,1), vcrth1_3(1,1), vcrth1_5(j,12)
% indici parametrii = k_a5(i,1), k_a5(i,2), k_a5(i,3)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        for i = 1:12
            if vcrth1_5(j,1)==k_a5(i,1) & vcrth1_3(1,1)==k_a5(i,2) &
vcrth1_5(j,12)==k_a5(i,3)
                k_for(n,13) = k_a5(i,3+dir);
            end
        end
    end
end

% adan_sc, t_sc
% valori selectate = vcrth1_5(j,7)

for j = 1:3
    for dir = 1:3
        n = 3*(j-1)+dir;
        k_for(n,14) = vcrth1_5(j,7);
    end
end

% Calculul efectiv al fortelor :
%
% formula de calcul :
% k = kcf*kmf*kkrf*kgamaf*kwf*krf*kvf;
% for_asc(i) = cf*t^xf*s^yf*k

k_for(1:9,15) = k_for(1:9,4).*k_for(1:9,5).*k_for(1:9,6).*k_for(1:9,7)...
                .*k_for(1:9,8).*k_for(1:9,9).*k_for(1:9,11);
k_for(1:9,16) = k_for(1:9,1).*k_for(1:9,14).^k_for(1:9,2).*k_for(1:9,12).^k_for(1:9,3)...
                .*k_for(1:9,15);

```

```

% temperatura pe fata de degajare se calculeaza cu formula :
% temper = C*v^xtemp*t^ytemp*s^ztemp
% coeficientul si exponentii se aleg in functie de materialul de prelucrat :
% mat_pies ctemp, xtemp, ytemp, ztemp
% linii : k_temp i = 1:2
% indici selectati = vcrth1_3(1,1)
% indici parametrii = k_temp(i,1)
temper = zeros(3,1);
for j=1:3
    for i = 1:2
        if vcrth1_3(1,1) == k_temp(i,1)
            temper(j,1) = k_temp(i,2)*k_for(j,10)^k_temp(i,3)...
                *vcrth1_5(j,7)^k_temp(i,4)*k_for(j,12)^k_temp(i,5);
        end
    end
end
end

```

## FUNCTION FOR\_CALC

format short

% Initializare variabile

% Definire suprafata grafica utilizator : "for\_calc"

```

F1_3 = figure('MenuBar','none','Name','Calculul fortelor de aschiere',...
    'NumberTitle','off');
F1_13 = axes('position',[0.30 0.25 0.65 0.64]);
set(F1_13,'Box','on');
hold on;

```

for\_cal1;

% Desen

```

% Limitele desenului
plot([0 160],[0 100],'w');
nsc1;
for4_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','sc1',...
    'Position',[238 188 43 25],'Visible','on','Enable','on',...
    'BackgroundColor',[0 0 1],'Callback','for_scn1');
for4_2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','sc2',...
    'Position',[306 188 44 25],'Visible','off','Enable','off',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],'Callback','for_scn2');
for4_3 = uicontrol('Style','pushbutton','String','sc3',...
    'Position',[374 188 44 25],'Visible','off','Enable','off',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],'Callback','for_scn3');

```



```
nr_scul1;
```

```
% Butoane
```

```
F1_b_1 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Info...',...
    'Position', [380 20 70 25], 'Callback', 'info_f1');
```

```
F1_b_2 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Iesire',...
    'Position', [460 20 70 25], 'Callback', 'delete(F1_3)');
```

```
F1_b_3 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Distributie forte',...
    'Position', [30 90 110 25], 'Callback', 'for_dist');
```

```
FUNCTION FOR_SCN
```

```
sir1 = strcat('Forte calculate pentru scula nr. ', num2str(nsc_crt));
F1_3rez = figure('MenuBar', 'none', 'Name', sir1, ...
    'NumberTitle', 'off');
```

```
% Iesire
```

```
F1_3rez1 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Iesire',...
    'Position', [460 20 70 25], 'Callback', 'delete(F1_3rez)');
```

```
% Introducere dimensiuni domeniului si pasi
```

```
text = {strcat(' Fz = ', num2str(k_for(j+1, 16)), ' daN'); ...
```

```
    '...', ...
    strcat(' Fy = ', num2str(k_for(j+2, 16)), ' daN'); ...
```

```
    '...', ...
    strcat(' Fx = ', num2str(k_for(j+3, 16)), ' daN');
```

```
    '...', ...
    strcat(' v = ', num2str(k_for(j+1, 10)), ' m/s'); ...
```

```
    '...', ...
    strcat(' s = ', num2str(k_for(j+1, 12)), ' mm/rot'); ...
```

```
    '...', ...
    strcat(' t = ', num2str(k_for(j+1, 14)), ' mm')};
```

```
%text = text';
```

```
%text = {text1;text2;text3;text4;text5;text6;text7;text8;text9;text10;...
%text11;text12;text13;text14;text15;text16};
```

```
F1_3rez2 = uicontrol('Style', 'text', 'String', text, ...
    'Position', [50 60 400 300], 'BackgroundColor', 'w', 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
FUNCTION FOR_SCN1
```

```
nsc_crt = 1;
```

```
l = (nsc_crt-1)*3;
```

```
for_scn;
```

### FUNCTION FOR\_SCN2

```
nsc_crt = 2;
j = (nsc_crt-1)*3;
for_scn;
```

### FUNCTION FOR\_SCN3

```
nsc_crt = 3;
j = (nsc_crt-1)*3;
for_scn;
```

### FUNCTION INFO\_F1

```
format short
```

```
% Initializare variabile
```

```
% Definire suprafata grafica utilizator : "Par_ret"
```

```
I2_1 = figure('MenuBar','none','Name','Relatiile calculului fortelor de aschiere',...
    'NumberTitle','off');
```

```
% Iesire
```

```
inf2_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
    'Position',[460 20 70 25],'Callback','delete(I2_1)');
```

```
% Introducere diemnsiuni domenii si pasi
```

```
text = [
    ' Relatii de calcul folosite :
    '
    '           $F = C_f \cdot t^{x_f} \cdot s^{y_f} \cdot k$ 
    '
    '           $k = k_{mf} \cdot k_{krf} \cdot k_{gamaf} \cdot k_{wvf} \cdot k_{rf} \cdot k_{vfv}$ 
    ' Cf = coeficient forta
    ' kmf = coeficient proprietati mecanice material
    ' xf = exponent adancime de aschiere
    ' yf = exponent avans
    ' kkrf = coeficient unghi de atac principal
    ' kcf = coeficient starea si grupa materialului prelucrat
    ' khf = coeficient uzura initiala a sculei
    ' krf = coeficient raza la varf a sculei
    ' kvf = coeficient viteza de aschiere
    ' s = avans
```

' t = adancime de aschiere  
 ' kgamaf = coeficient unghi de degajare  
 ' kwf = coeficient mediu de lucru

'];

```
inf2_2 = uicontrol('Style', 'text', 'String', text,...
  'Position', [50 60 400 300], 'BackgroundColor', 'w', 'HorizontalAlignment', 'left');
```

## FUNCTION K\_COEF

% Definirea matricilor coeficientilor

% Coeficienti pentru calculul fortelor

% mat\_sc1, mat\_pies, sig\_pies/hb\_pies, cfy, cfz, cfx, xfy, xfz, xfx, yfy, yfz, yfx

```
k_a1 = [1 1 1 140 19 27 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 2 165 42 67 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 3 165 42 67 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 4 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 5 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 6 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 7 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 8 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 1 9 200 67 125 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 1 80 28 59 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 2 80 28 59 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 3 100 40 88 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 4 100 40 88 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 5 115 52 120 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 6 115 52 120 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  1 2 7 115 52 120 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 1 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 2 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 3 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 4 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 5 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 6 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 7 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 8 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 1 9 300 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 1 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 2 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 3 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 4 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 5 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 6 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75 %
  2 2 7 90 1 1 1.00 1.20 0.90 0.75 0.55 0.75]; %
```

% mat\_pies, sig\_pies/hb\_pies, kmfy, kmfz, kmfx

```
k_a2 = [1 1 0.69 0.22 0.28
        1 2 0.76 0.36 0.47
        1 3 0.82 0.54 0.63
        1 4 0.89 0.76 0.81
        1 5 1.00 1.00 1.00
        1 6 1.10 1.29 1.22
        1 7 1.18 1.57 1.40
        1 8 1.28 1.89 1.61
        1 9 1.36 2.24 1.84
        2 1 0.88 0.74 0.77
        2 2 0.94 0.86 0.89
        2 3 1.00 1.00 1.00
        2 4 1.06 1.13 1.12
        2 5 1.12 1.28 1.24
        2 6 1.17 1.40 1.36
        2 7 1.22 2.58 1.48];
```

% mat\_pies1, kcfy, kcfz, kcfx

```
k_a3 = [1 0.80 1.00 1.00
        2 1.00 1.00 1.00];
```

% mat\_pies, kapa\_sc, kkrfy, kkrfz, kkrfx

```
k_a4 = [1 1 1.32 0.70 1.63
        1 2 1.16 0.70 1.63
        1 3 1.08 0.70 1.63
        1 4 1.00 1.00 1.00
        1 5 0.98 1.27 0.71
        1 6 1.03 1.51 0.54
        1 7 1.07 1.82 0.44
        2 1 1.05 0.63 1.23
        2 2 1.05 0.63 1.23
        2 3 1.05 0.63 1.23
        2 4 1.00 1.00 1.00
        2 5 0.96 1.11 0.87
        2 6 0.94 1.20 0.77
        2 7 0.96 1.28 0.70];
```

% mat\_sc1, mat\_pies, halfa, khfy, khfz, khfx

```
k_a5 = [1 1 1 1.00 1.00 1.00
        1 1 2 1.00 1.00 1.00
        1 1 3 0.95 0.95 0.95
        1 1 4 0.93 0.93 0.93
        1 2 1 1.00 1.00 1.00
        1 2 2 0.83 0.83 0.83
        1 2 3 0.82 0.82 0.82
        1 2 4 0.82 0.82 0.82
```

```
2 1 5 1.00 1.00 1.00
2 1 6 1.05 1.05 1.05
2 2 5 1.00 1.00 1.00
2 2 6 1.05 1.05 1.05];
```

%mat\_pies. r\_varf\_sc. krfy. krfz. krfx

```
k_a6 = [1 1 0.87 0.65 1.00
1 2 0.93 0.81 1.00
1 3 1.00 1.00 1.00
1 4 1.04 1.13 1.00
1 5 1.10 1.32 1.00
2 1 0.91 0.76 1.00
2 2 0.94 0.87 1.00
2 3 1.00 1.00 1.00
2 4 1.03 1.08 1.00
2 5 1.07 1.20 1.00];
```

%mat\_pies. vit. kvfy. kvfz. kvfx

```
k_a7 = [1 1 1.00 1.00 1.00
1 2 0.89 1.00 1.00
1 3 0.83 1.00 1.00
1 4 0.79 1.00 1.00
1 5 0.76 1.00 1.00
1 6 0.73 1.00 1.00
1 7 0.70 1.00 1.00
1 8 0.67 1.00 1.00
2 1 1.00 1.00 1.00
2 2 0.98 1.00 1.00
2 3 0.90 1.00 1.00
2 4 0.86 1.00 1.00
2 5 0.83 1.00 1.00
2 6 0.80 1.00 1.00
2 7 0.80 1.00 1.00
2 8 0.80 1.00 1.00];
```

%gama\_sc. kgamafy. kgamafz. kgamafx

```
k_b1 = [1 1.40 1.00 1.00
2 1.30 1.00 1.00
3 1.23 1.00 1.00
4 1.13 1.00 1.00
5 1.06 1.00 1.00
6 1.00 1.00 1.00
7 0.94 1.00 1.00
8 0.89 1.00 1.00
9 0.83 1.00 1.00
10 0.77 1.00 1.00];
```

```
%med_pre, kwfy, kvfz, kvfx
```

```
k_c1 = [1 1.00 1.00 1.00  
        2 0.90 1.00 1.00  
        3 0.90 1.00 1.00  
        4 0.80 1.00 1.00];
```

```
% avan_pre s
```

```
s_pies = [1 0.096  
          2 0.151  
          3 0.208  
          4 0.250];
```

```
% tura_pre n
```

```
n_pies = [1 125  
          2 250  
          3 500];
```

```
% Coeficienti pentru calculul temperaturii pe fata de degajare
```

```
k_temp = [1 166.500 0.400 0.105 0.200  
          2 138.000 0.360 0.090 0.133];
```

```
% Coeficienti pentru calculul fortei de frecare pe fata de degajare
```

```
%
```

```
k_ff1 = [];
```

```
FUNCTION K_INI
```

```
% Matricea valorilor curente ale parametrilor
```

```
% Valorile initiale au fost alese pentru urmatoarele date de intrare :
```

```
%
```

```
% Material scula : Rp ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Material piesa : Otel laminat la cald ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Sigma_r : 35 daN/mm^2 ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Unghi de atac : 90° ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Uzura initiala pe fata de degajare : 0,5 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Raza la varf a cutitului : 0,5 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Avans : 0,096 mm/rot ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Turatie : 125 rot/min ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```
% Inaltime sectiune corp scula : 12 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
```

```

% Latime sectiune corp scula : 12 mm ( aceeasi pentru toate sculele )
% Lungimea in consola : sc1 : 30 mm, sc2 : 32 mm, sc3 : 34 mm
% Distanta consecutiva intre scule : sc1 : 0 mm, sc2 : 50 mm, sc3 : 50 mm
% Adancimea de aschiere : sc1 : 2 mm, sc2 : 2 mm, sc3 : 2 mm
% Unghi de degajare : 10° ( aceeasi pentru toate sculele )
% Mediu de lucru : uscat ( aceeasi pentru toate sculele )
% Diametrul de lucru : sc1 : 54 mm, sc2 : 52 mm, 50 mm.
%
% Semnificatia valorilor matricii k_i_val :
%
%|-----|
%|Nr.sc.|Comp. forta|cf|kmf|xf|yf|kkrf|kcf|khf|krf|kvf|s|n|t|kgamaf|kwf|h|b|lc|di|d|
%|-----|
%|      | y      |                                     |
%|-----|
%| 1    | z      |                                     |
%|-----|
%|      | x      |                                     |
%|-----|
%|      | y      |                                     |
%|-----|
%| 2    | z      |                                     |
%|-----|
%|      | x      |                                     |
%|-----|
%|      | y      |                                     |
%|-----|
%| 3    | z      |                                     |
%|-----|
%|      | x      |                                     |
%|-----|
%
% cf   = coeficient forta
% kmf  = coeficient proprietati mecanice material
% xf   = exponent adancime de aschiere
% yf   = exponent avans
% kkrf = coeficient unghi de atac principal
% kcf  = coeficient starea si grupa materialului prelucrat
% khf  = coeficient uzura initiala a sculei
% krf  = coeficient raza la varf a sculei
% kvf  = coeficient viteza de aschiere
% s    = avans
% n    = turatie
% t    = adancime de aschiere
% kgamaf = coeficient unghi de degajare
% kwf  = coeficient mediu de lucru
% h    = inaltime sectiune corp scula
% b    = latime sectiune corp scula
% lc   = lungime in consola

```

% di = distanta la scula anterioara

% d = diametrul

```
k_i_val=[140 0.69 1.00 0.75 1.08 0.80 0.97 0.87 1.00 0.096 125 2 1.00 1.00 12 12 30
50 54
19 0.22 1.20 0.55 1.82 0.80 0.97 0.65 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0
27 0.28 0.90 0.75 1.44 0.80 0.97 1.00 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0
140 0.69 1.00 0.75 1.08 0.80 0.97 0.87 1.00 0.000 125 2 1.00 1.00 12 12 32
50 52
19 0.22 1.20 0.55 1.82 0.80 0.97 0.65 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0
27 0.28 0.90 0.75 1.44 0.80 0.97 1.00 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0
140 0.69 1.00 0.75 1.08 0.80 0.97 0.87 1.00 0.000 125 2 1.00 1.00 12 12 34
50 50
19 0.22 1.20 0.55 1.82 0.80 0.97 0.65 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0
27 0.28 0.90 0.75 1.44 0.80 0.97 1.00 1.00 0.000 0 0 1.00 1.00 0 0 0 0
0];
```

#### FUNCTION DIS\_CAL1

%Calcul distributie forte

f\_tot\_dist = 1;

fd\_a = [fd\_a0,fd\_a1,fd\_a2,fd\_a3];

% Se considera ca fortele de apasare actioneaza pe o lungime din fata de degajare,  
 % egala cu grosimea aschiei pe directia avansului, iar fortele de frecare actioneaza  
 % pe o lungime egala cu l\_uzura = n\_frecare x grosimea aschiei (marimea n\_frecare  
 % este dependenta de curbarea aschiei). Marimile amintite vor fi exprimate discretizat  
 in

% numar de noduri.

x = 1;

dis\_gros = k\_for(1,12);% avansul

n\_frecare = 4; % parametru intreg!!!

dis\_gros\_nd = floor(dis\_gros\*100);

l\_uzura = n\_frecare\*dis\_gros\_nd;

fd\_a\_real = zeros(3,4);

uz\_ini1;

% x = domeniu\_x;

% Se calculeaza radacinile polinomului

radacini = roots(fd\_a);

c\_dis\_for = size(radacini);

c\_dis\_for1 = c\_dis\_for(1,1);



```

errstring = [' Distributia fortei de aschiere '
            ' inregistreaza valori negative. '
            ' Specificati alte valori ale '
            ' coeficientilor de distributie. '];

% Daca in intervalul dat exista valori negative :

verif1 = 0;
for i = 1:c_dis_for1
    if isreal(radacini(i)) == 1
        if radacini(i) >= 0 & radacini(i) <= domeniu_x/2
            error(dlg(errstring,'Eroare in specificarea coeficientilor'));
            verific1 = 1;
            val_f1_5:
        elseif polyval(fd_a,domeniu_x/4) <= 0
            error(dlg(errstring,'Eroare in specificarea coeficientilor'));
            verific1 = 1;
            val_f1_5:
        end
    end
end
end
% Daca toate valorile sunt pozitive se continua distributia

if verific1 == 0
    f_tot_dist = 1/4*fd_a0*x^4+1/3*fd_a1*x^3+1/2*fd_a2*x^2+1/1*fd_a3*x;
    for i = 1:3
        j = 1+3*(i-1);
        fd_a_real(i,1:4) = fd_a.*k_for(j,16)/f_tot_dist;
    end
end

FUNCTION DIS_CAL2

%Calcul distributie forte

fd_a = [fd_a0,fd_a1,fd_a2,fd_a3];

radacini = roots(fd_a);

contor = size(radacini);
contor1 = contor(1,1);
errstring = [' Distributia fortei de aschiere '
            ' inregistreaza valori negative. '
            ' Specificati alte valori ale '
            ' coeficientilor '];
verif1 = 0;
for i = 1:contor1
    if isreal(radacini(i)) == 1
        if radacini(i) >= 0 & radacini(i) <= domeniu_x/2

```

```

        errordlg(errstring,'Eroare in specificarea coeficientilor');
        verif1 = 1;
        val_f1_5;
    elseif polyval(fd_a,domeniu_x/4) <= 0
        errordlg(errstring,'Eroare in specificarea coeficientilor');
        verif1 = 1;
        val_f1_5;
    end
end
end
fd_a_real = zeros(3,4);
x = domeniu_x;
if verif1 == 0
    f_tot_dist = 1/4*fd_a0*x^4+1/3*fd_a1*x^3+1/2*fd_a2*x^2+1/1*fd_a3*x;
    for i = 1:3
        j = 1+3*(i-1);
        fd_a_real(i,1:4) = fd_a.*k_for(j,16)/f_tot_dist;
    end;
end

% Forte :
forte = zeros(numar_lin+(numar_col-1),3);
contor = 0;

% Fortele pe fata de degajare

for i = numar_lin:numar_lin:numar_lin*(numar_col-1);
    contor = contor + 1;
    forte(contor,1) = i;
    forte(contor,2) = 1;
    % disp(strcat('Nod : ',int2str(i),'directie Y: '))
    % forte(contor,3) = input('Marimea fortei : ');
    contor = contor + 1;
    forte(contor,1) = i;
    forte(contor,2) = 2;
    % disp(strcat('Nod : ',int2str(i),'directie Z: '))
    % forte(contor,3) = input('Marimea fortei : ');
end

end

FUNCTION DIST_A0

fd_a0 = str2num(get(fd5_6,'String'));

FUNCTION DIST_A1

fd_a1 = str2num(get(fd5_8,'String'));

```

```
FUNCTION DIST_A2
```

```
fd_a2 = str2num(get(fd5_10.'String'));
```

```
FUNCTION DIST_A3
```

```
fd_a3 = str2num(get(fd5_12.'String'));
```

```
FUNCTION FOR_DIST
```

```
format short
```

```
% Initializare variabile
```

```
% Definire suprafata grafica utilizator : "for_calc"
```

```
F1_5 = figure('MenuBar','none','Name','Distributia fortelor de aschiere',...  
             'NumberTitle','off');
```

```
F1_15 = axes('position',[0.30 0.25 0.65 0.64]);
```

```
set(F1_15.'Box','on');
```

```
hold on;
```

```
% Desen
```

```
% Limitele desenului
```

```
plot([0 160].[0 100]. 'w');
```

```
% Acceptare / Renuntare
```

```
f1_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Acceptare',...  
                'Position',[380 20 70 25],'Callback','delete(F1_5)');
```

```
f1_2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Renuntare',...  
                'Position',[460 20 70 25],'Callback','ren_f1_5');
```

```
% Revenire la valorile initiale
```

```
%f1_3 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Valoti initiale',...  
% 'Position',[300 20 70 25],'Callback','val_f1_5');
```

```
% Introducere
```

```
fd5_5 = uicontrol('Style','text','String','a0:',...  
                'Position',[30 370 110 15],'HorizontalAlignment','left');
```

```
fd5_6 = uicontrol('Style','Edit','String',fd_a0,...  
                'Position',[30 350 110 20],'BackgroundColor','w','Callback','dist_a0');
```

```
fd5_7 = uicontrol('Style','text','String','a1:',...  
                'Position',[30 370 110 15],'HorizontalAlignment','left');
```

```
'Position', [30 320 110 15], 'HorizontalAlignment', 'left');
fd5_8 = uicontrol('Style', 'Edit', 'String', fd_a1,...
'Position', [30 300 110 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'dist_a1');
fd5_9 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'a2: ',...
'Position', [30 245 110 15], 'HorizontalAlignment', 'left');
fd5_10 = uicontrol('Style', 'Edit', 'String', fd_a2,...
'Position', [30 225 110 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'dist_a2');
fd5_11 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'a3: ',...
'Position', [30 195 110 15], 'HorizontalAlignment', 'left');
fd5_12 = uicontrol('Style', 'Edit', 'String', fd_a3,...
'Position', [30 175 110 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'dist_a3');
```

%distributie forte

```
fd5_13 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Aplicare forte',...
'Position', [30 85 110 25], 'Callback', 'dis_cal1');
```

FUNCTION REN\_F1\_5

% Renuntare : revenire la valorile initiale si stergere obiect curent

```
vinif1_5;
delete(F1_5);
```

FUNCTION VAL\_F1\_5

```
vinif1_5;
set(fd5_6, 'String', fd_a0);
set(fd5_8, 'String', fd_a1);
set(fd5_10, 'String', fd_a2);
set(fd5_12, 'String', fd_a3);
```

FUNCTION VINIF1\_5

%Valori initiale pentru distributia fortelor pe fata de degajare

```
fd_a0 = 0;
fd_a1 = 0;
fd_a2 = 0;
fd_a3 = 1;
```

FUNCTION ACC\_H1\_3

% Acceptare valori par\_sc

```
delete(H1_3);
```

FUNCTION NR\_SCALE

```
%Numar scule
```

```
nsc = get(f3_5.'Value');
if nsc == 1
    col_sc = 'w';
    nsc2:
    set(f4_2.'Visible','off','Enable','off');
    nsc3:
    set(f4_3.'Visible','off','Enable','off');
    col_sc = 'b';
    nsc1:
    set(f4_1.'Visible','on','Enable','on');
elseif nsc == 2
    col_sc = 'w';
    nsc3:
    set(f4_3.'Visible','off','Enable','off');
    col_sc = 'b';
    nsc2:
    set(f4_2.'Visible','on','Enable','on');
elseif nsc == 3
    col_sc = 'b';
    nsc2:
    set(f4_2.'Visible','on','Enable','on');
    nsc3:
    set(f4_3.'Visible','on','Enable','on');
end
```

```
FUNCTION PAR_SC
```

```
format short
```

```
% Initializare variabile
```

```
% Definire suprafata grafica utilizator : "par_sc"
```

```
H1_3 = figure('MenuBar','none','Name','Parametrii generali',...
    'NumberTitle','off');
H1_13 = axes('position',[0.30 0.25 0.65 0.64]);
set(H1_13,'Box','on');
hold on;
```

```
% Desen
```

```
% Limitele desenului
plot([0 160],[0 100],'w');
nsc = 1;
nsc1:
f4_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','sc1',...
```

```
'Position', [238 188 43 25], 'Visible', 'on', 'Enable', 'on', ...
'BackgroundColor', [0 0 1], 'Callback', 'par_scn1');
f4_2 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'sc2', ...
'Position', [306 188 44 25], 'Visible', 'off', 'Enable', 'off', ...
'BackgroundColor', [0 0 0], 'Callback', 'par_scn2');
f4_3 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'sc3', ...
'Position', [374 188 44 25], 'Visible', 'off', 'Enable', 'off', ...
'BackgroundColor', [0 0 0], 'Callback', 'par_scn3');
```

% Acceptare / Renuntare

```
f3_1 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Acceptare', ...
'Position', [380 20 70 25], 'Callback', 'acc_h1_3');
f3_2 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Renuntare', ...
'Position', [460 20 70 25], 'Callback', 'ren_h1_3');
```

% Revenire la valorile initiale

```
%f3_3 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Valori initiale', ...
% 'Position', [300 20 70 25], 'Callback', 'val_h1_3');
```

% Parametrii generali

% Numar de scule aschietoare folosite

```
f3_4 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Numar scule :', ...
'Position', [170 60 70 15]);
f3_5 = uicontrol('Style', 'popup', 'String', ' 1 | 2 | 3 ', ...
'Position', [170 40 70 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'nr_scale');
```

% Material prelucrat

```
f3_6 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Material prelucrat :', ...
'Position', [20 400 120 15]);
f3_7 = uicontrol('Style', 'popup', 'String', ...
' Otel tras la rece | Otel laminat la cald | Otel turnat | Fonta cenusie ', ...
'Position', [20 380 120 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'mat_crt');
```

% Mediul de lucru

```
f3_8 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Mediul de lucru :', ...
'Position', [20 250 120 15]);
f3_9 = uicontrol('Style', 'popup', 'String', ...
' Prelucrare uscata | Emulsie | Ulei mineral | Ulei sulfonat (mineral) ', ...
'Position', [20 230 120 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'med_crt');
```

% Valoare avans

```
f3_10 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Avans [mm/rot] :',...,  
    'Position', [20 155 120 15]);  
f3_11 = uicontrol('Style', 'popup', 'String',...,  
    '0.096 | 0.151 | 0.208 | 0.250',...,  
    'Position', [20 135 120 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'avan_crt');  
  
% Turatie piesa  
  
f3_14 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Turatia piesei [rot/min] :',...,  
    'Position', [20 60 120 15]);  
f3_15 = uicontrol('Style', 'popup', 'String',...,  
    '125 | 250 | 500',...,  
    'Position', [20 40 120 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'tura_crt');  
  
% Proprietati mecanice ale materialului  
  
f3_12 = uicontrol('Style', 'text', 'String', "",...,  
    'Position', [20 305 120 15], 'Enable', 'off', 'Visible', 'off');  
f3_13 = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 0, 'Max', 300, ...,  
    'Position', [20 270 120 20], 'Enable', 'off', 'Visible', 'off', ...,  
    'SliderStep', [0.1 0.2]);  
f3_1_13 = uicontrol('Style', 'text', 'String', "",...,  
    'Position', [20 290 120 15], 'Enable', 'off', 'Visible', 'off');
```

#### FUNCTION PAR\_SCN1

```
nsc_crt = 1;  
par_sc1;
```

#### FUNCTION PAR\_SCN2

```
nsc_crt = 2;  
par_sc1;
```

#### FUNCTION PAR\_SCN3

```
nsc_crt = 3;  
par_sc1;
```

#### FUNCTION REN\_H1\_3

```
% Renuntare H1_3
```

```
vinih1_3;  
delete(H1_3);
```

## FUNCTION VAL\_H1\_3

```
vinih1_3;  
set(f3_5,'Value','1');  
set(f3_7,'Value',' Otel tras la rece ');  
set(f3_9,'Value',' Prelucrare uscata ');  
set(f3_11,'Value',' 0.096 ');  
set(f3_15,'Value',' 125 ');  
  
set(f3_13,'Value',0);  
set(f3_1_13,'String',' 0 ');
```

## FUNCTION VINI\_H1\_3

```
% Valori initiale H1_3
```

```
vcrth1_3 = [1 1 1 1 1 1 1];
```

```
% set(f3_12,'Visible','on','Enable','on','String','Rezistenta [daN/mm^2]');  
% set(f3_13,'Visible','on','Enable','on','Min',30,'Max',120,'Value',30,...  
% 'SliderStep',[1/90 1/9],'Callback','rez_crt');  
% set(f3_1_13,'Visible','on','Enable','on','String','30');
```

```
mat_pies = vcrth1_3(1,1);  
sig_pies = vcrth1_3(1,2);  
mat_pies1 = vcrth1_3(1,3);  
med_pre = vcrth1_3(1,4);  
avan_pre = vcrth1_3(1,5);  
tura_pre = vcrth1_3(1,6);  
nsc = vcrth1_3(1,7);
```

## FUNCTION ACC\_H1\_5

```
% Acceptare H1_5
```

```
delete(H1_5);
```

## FUNCTION MAT\_SC

```
% Selectare material scula
```

```
mat_sc1 = get(f5_5,'Value');  
vcrth1_5(nsc_crt,1) = mat_sc1;
```

## FUNCTION PAR\_SC1



% Stabilirea parametrilor sculelor

format short

% Initializare variabile

```
% Definire suprafata grafica utilizator : "par_sc1"
pa_sc = strcat('Parametrii sculei nr.',num2str(nsc_crt));
H1_5 = figure('MenuBar','none','Name',pa_sc,...
    'NumberTitle','off');
```

% Acceptare / Renuntare

```
f5_1 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Acceptare',...
    'Position',[380 20 70 25],'Callback','acc_h1_5');
f5_2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Renuntare',...
    'Position',[460 20 70 25],'Callback','ren_h1_5');
```

% Revenire la valorile initiale

```
%f5_3 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Valori initiale',...
% 'Position',[300 20 70 25],'Callback','vinih1_5');
```

% Material scula

```
f5_4 = uicontrol('Style','text','String','Material scula :',...
    'Position',[20 50 140 15]);
f5_5 = uicontrol('Style','popup','String',' OTEL RAPID | CARBURI METALICE ',...
    'Position',[20 30 140 20],'BackgroundColor','w','Callback','mat_sc');
```

% Unghiurile constructive ale sculei aschiatoare si raza la varf

```
x_slider = 410;
y_slider = 330;
la_slider = 20;
lu_slider = 120;
off_slider = 55;
off_text = 35;
off_val = 20;
off_titl = 55;
```

```
f5_19 = uicontrol('Style','text','String','Geometria taisului',...
    'Position',[x_slider y_slider+off_titl lu_slider la_slider-5]);
```

% Unghiul de asezare

```
f5_6 = uicontrol('Style','text','String','Unghiul de asezare [°]:',...


---


```

```

'Position', [x_slider y_slider+off_text lu_slider la_slider-5]);
f5_7 = uicontrol('Style','slider','Min',0,'Max',10,...
'Position',[x_slider y_slider lu_slider la_slider],...
'SliderStep',[0.01 0.1],'Callback','alfa_crt');
f5_2_7 = uicontrol('Style','text','String','0',...
'Position',[x_slider y_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);

% Unghiul de degajare

f5_8 = uicontrol('Style','text','String','Unghiul de degajare [°]:',...
'Position',[x_slider y_slider-off_slider+off_text lu_slider la_slider-5]);
f5_9 = uicontrol('Style','slider','Min',-15,'Max',30,...
'Position',[x_slider y_slider-off_slider lu_slider la_slider],'Value',-15,...
'SliderStep',[1/450 1/45],'Callback','gama_crt');
f5_2_9 = uicontrol('Style','text','String','-15',...
'Position',[x_slider y_slider-off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);

% Unghiul de atac principal

f5_10 = uicontrol('Style','text','String','Unghiul de atac [°]:',...
'Position',[x_slider y_slider-2*off_slider+off_text lu_slider la_slider-5]);
f5_11 = uicontrol('Style','slider','Min',30,'Max',90,...
'Position',[x_slider y_slider-2*off_slider lu_slider la_slider],'Value',30,...
'SliderStep',[1/600 1/60],'Callback','kapa_crt');
f5_2_11 = uicontrol('Style','text','String','30',...
'Position',[x_slider y_slider-2*off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);

% Raza la varf

f5_12 = uicontrol('Style','text','String','Raza la varf [mm]:',...
'Position',[x_slider y_slider-3*off_slider+off_text lu_slider la_slider-5]);
f5_13 = uicontrol('Style','slider','Min',0.5,'Max',5,...
'Position',[x_slider y_slider-3*off_slider lu_slider la_slider],'Value',0.5,...
'SliderStep',[1/450 1/45],'Callback','r_varf_crt');
f5_2_13 = uicontrol('Style','text','String','0.5',...
'Position',[x_slider y_slider-3*off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);

% Parametrii de aschiere ai sculei aschietoare

x_slider_1 = 280;
y_slider_1 = 330;
la_slider_1 = 20;
lu_slider_1 = 120;
off_slider_1 = 55;
off_text_1 = 35;
off_val_1 = 20;

```

```
off_titl_1 = 55;
```

```
f5_20 = uicontrol('Style','text','String','Parametrii de aschiere',...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1+off_titl_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
% Diametrul de lucru
```

```
f5_14 = uicontrol('Style','text','String','Diametrul de aschiere [mm]:',...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1+off_text_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
f5_15 = uicontrol('Style','slider','Min',0,'Max',200,...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1 lu_slider_1 la_slider_1],'Value',0,...  
    'SliderStep',[1/2000 1/200],'Callback','diam_crt');
```

```
f5_2_15 = uicontrol('Style','text','String','0',...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1+off_val_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
% Adancime de aschiere
```

```
f5_16 = uicontrol('Style','text','String','Adancimea de aschiere [mm]:',...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1-off_slider_1+off_text_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
f5_17 = uicontrol('Style','slider','Min',0.1,'Max',4,...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1-off_slider_1 lu_slider_1 la_slider_1],'Value',0.1,...  
    'SliderStep',[1/39 1/3.9],'Callback','adan_crt');
```

```
f5_2_16 = uicontrol('Style','text','String','0.5',...  
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1-off_slider_1+off_val_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
% Elemente constructive ale sculei
```

```
x_slider_2 = 20;  
y_slider_2 = 330;  
la_slider_2 = 20;  
lu_slider_2 = 120;  
off_slider_2 = 55;  
off_text_2 = 35;  
off_val_2 = 20;  
off_titl_2 = 55;
```

```
f5_21 = uicontrol('Style','text','String','Elemente constructive',...  
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2+off_titl_2 lu_slider_2 la_slider_2-5]);
```

```
% Lungime in consola
```

```
f5_22 = uicontrol('Style','text','String','Lungime in consola [mm]:',...  
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2+off_text_2 lu_slider_2 la_slider_2-5]);
```

```
f5_23 = uicontrol('Style','slider','Min',20,'Max',70,'Value',20,...  
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2 lu_slider_2 la_slider_2],...  
    'SliderStep',[1/50 1/5],'Callback','lcon_crt');
```

```
f5_2_23 = uicontrol('Style','text','String','20',...  
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2+off_val_2 lu_slider_2 la_slider_2-5]);
```

% Distanța de la scula anterioară

```
nsc_ant = nsc_crt-1;
str_dist = strcat('Distanța la scula ', num2str(nsc_ant), ' [mm]');
f5_24 = uicontrol('Style', 'text', 'String', str_dist, ...
    'Position', [x_slider_2 y_slider_2-off_slider_2+off_text_2 lu_slider_2 la_slider_2-5], ...
    'Enable', 'off', 'Visible', 'off');
f5_25 = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 30, 'Max', 130, 'Value', 30, ...
    'Position', [x_slider_2 y_slider_2-off_slider_2 lu_slider_2 la_slider_2], ...
    'SliderStep', [1/100 1/10], 'Callback', 'dist_crt', ...
    'Enable', 'off', 'Visible', 'off');
f5_2_25 = uicontrol('Style', 'text', 'String', '30', ...
    'Position', [x_slider_2 y_slider_2-off_slider_2+off_val_2 lu_slider_2 la_slider_2-5], ...
    'Enable', 'off', 'Visible', 'off');
if nsc_crt ~= 1
    set(f5_24, 'Enable', 'on', 'Visible', 'on');
    set(f5_25, 'Enable', 'on', 'Visible', 'on');
    set(f5_2_25, 'Enable', 'on', 'Visible', 'on');
end
```

% Secțiunea corpului sculei

```
x_slider_3 = 150;
y_slider_3 = 330;
la_slider_3 = 20;
lu_slider_3 = 120;
off_slider_3 = 55;
off_text_3 = 35;
off_val_3 = 20;
off_titl_3 = 55;
```

```
f5_21 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Secțiunea sculei', ...
    'Position', [x_slider_3 y_slider_3+off_titl_3 lu_slider_3 la_slider_3-5]);
```

% Înălțime

```
f5_26 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Înălțime [mm]:', ...
    'Position', [x_slider_3 y_slider_3+off_text_3 lu_slider_3 la_slider_3-5]);
f5_27 = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 10, 'Max', 25, 'Value', 10, ...
    'Position', [x_slider_3 y_slider_3 lu_slider_3 la_slider_3], ...
    'SliderStep', [1/15 1/5], 'Callback', 'inal_crt');
f5_2_27 = uicontrol('Style', 'text', 'String', '10', ...
    'Position', [x_slider_3 y_slider_3+off_val_3 lu_slider_3 la_slider_3-5]);
```

% Latime

```
f5_28 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Latime [mm]:', ...
    'Position', [x_slider_3 y_slider_3-off_slider_3+off_text_3 lu_slider_3 la_slider_3-5]);
f5_29 = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 10, 'Max', 25, 'Value', 10, ...
```

```
'Position',[x_slider_3 y_slider_3-off_slider_3 lu_slider_3 la_slider_3],...
'SliderStep',[1/15 1/5],'Callback':'lati_crt');
f5_2_29 = uicontrol('Style','text','String','10',...
'Position',[x_slider_3 y_slider_3-off_slider_3+off_val_3 lu_slider_3 la_slider_2-5]);
```

### FUNCTION REN\_H1\_5

```
% Renuntare H1_5
```

```
vinih1_5;
delete(H1_5);
```

### FUNCTION VINI\_H1\_5

```
% Valori initiale H1_5
```

```
vcrth1_5 = [1 1 6 7 1 54.00 2.00 30.00 0.00 12.00 12.00 1
            1 1 6 7 1 52.00 2.00 32.00 50.00 12.00 12.00 1
            1 1 6 7 1 50.00 2.00 34.00 50.00 12.00 12.00 1];
```

```
mat_sc1 = vcrth1_5(1,1);
alfa_sc = vcrth1_5(1,2);
gama_sc = vcrth1_5(1,3);
kapa_sc = vcrth1_5(1,4);
r_varf_sc = vcrth1_5(1,5);
diam_sc = vcrth1_5(1,6);
adan_sc = vcrth1_5(1,7);
lcon_sc = vcrth1_5(1,8);
dist_sc = vcrth1_5(1,9);
inal_sc = vcrth1_5(1,10);
lati_sc = vcrth1_5(1,11);
halfa_sc = vcrth1_5(1,12);
```

### FUNCTION ADAN\_CRT

```
% Slider f5_7 - asignarea valorii adancimii de aschiere
```

```
adan_sc = get(f5_17,'Value');
strf5_17 = num2str(adan_sc);
f5_1_17 = uicontrol('Style','text','String',strf5_17,...
'Position',[x_slider_1 y_slider_1-off_slider_1+off_val_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
```

```
vcrth1_5(nsc_crt,7) = adan_sc;
```

### FUNCTION ALFA\_CRT

% Slider f5\_7 - asignarea valorii unghiului de asezare

```

alfa_sc = get(f5_7,'Value');
strf5_7 = num2str(alfa_sc);
f5_1_7 = uicontrol('Style','text','String',strf5_7,...
    'Position',[x_slider y_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);
vcrth1_5(nsc_crt,2) = alfa_sc;

```

FUNCTION DIAM\_CRT

% Slider f5\_7 - asignarea valorii diametrului de aschiere

```

diam_sc = get(f5_15,'Value');
strf5_15 = num2str(diam_sc);
f5_1_15 = uicontrol('Style','text','String',strf5_15,...
    'Position',[x_slider_1 y_slider_1+off_val_1 lu_slider_1 la_slider_1-5]);
vcrth1_5(nsc_crt,6) = diam_sc;

```

FUNCTION DIST\_CRT

% Slider f5\_25 - asignarea valorii distantei dintre scule

```

dist_sc = get(f5_25,'Value');
strf5_25 = num2str(dist_sc);
f5_1_25 = uicontrol('Style','text','String',strf5_25,...
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2-off_slider_2+off_val_2 lu_slider_2 la_slider_2-5]);

vcrth1_5(nsc_crt,9) = dist_sc;

```

FUNCTION GAMA\_CRT

% Slider f5\_9 - asignarea valorii unghiului de degajare

```

gama_sc = get(f5_9,'Value');
strf5_9 = num2str(gama_sc);
f5_1_9 = uicontrol('Style','text','String',strf5_9,...
    'Position',[x_slider y_slider-off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);
if gama_sc <= -15
    vcrth1_5(nsc_crt,3) = 1;
elseif gama_sc > -15 & gama_sc <= -10
    vcrth1_5(nsc_crt,3) = 2;
elseif gama_sc > -10 & gama_sc <= -5
    vcrth1_5(nsc_crt,3) = 3;
elseif gama_sc > -5 & gama_sc <= 0
    vcrth1_5(nsc_crt,3) = 4;
elseif gama_sc > 0 & gama_sc <= 5

```

```

vcrth1_5(nsc crt,3) = 5;
elseif gama_sc > 5 & gama_sc <= 10
    vcrth1_5(nsc crt,3) = 6;
elseif gama_sc > 10 & gama_sc <= 15
    vcrth1_5(nsc crt,3) = 7;
elseif gama_sc > 15 & gama_sc <= 20
    vcrth1_5(nsc crt,3) = 8;
elseif gama_sc > 20 & gama_sc <= 25
    vcrth1_5(nsc crt,3) = 9;
elseif gama_sc > 25 & gama_sc <= 30
    vcrth1_5(nsc crt,3) = 10;
end

```

#### FUNCTION INAL\_CRT

% Slider f5\_27 - asignarea valorii inaltimei corpului sculei

```

inal_sc = get(f5_27,'Value');
strf5_27 = num2str(inal_sc);
f5_1_27 = uicontrol('Style','text','String',strf5_27,...
    'Position',[x_slider_3 y_slider_3+off_val_3 lu_slider_3 la_slider_3-5]);

vcrth1_5(nsc crt,10) = inal_sc;

```

#### FUNCTION KAPA\_CRT

% Slider f5\_11 - asignarea valorii unghiului de atac

```

kapa_sc = get(f5_11,'Value');
strf5_11 = num2str(kapa_sc);
f5_1_11 = uicontrol('Style','text','String',strf5_11,...
    'Position',[x_slider y_slider-2*off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);

```

```

if kapa_sc <= 10
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 1;
elseif kapa_sc > 10 & kapa_sc <= 20
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 2;
elseif kapa_sc > 20 & kapa_sc <= 30
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 3;
elseif kapa_sc > 30 & kapa_sc <= 45
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 4;
elseif kapa_sc > 45 & kapa_sc <= 60
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 5;
elseif kapa_sc > 60 & kapa_sc <= 75
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 6;
elseif kapa_sc > 75 & kapa_sc <= 90
    vcrth1_5(nsc crt,4) = 7;
end

```

## FUNCTION LATI\_CRT

% Slider f5\_29 - asignarea valorii latimii corpului sculei

```
lati_sc = get(f5_29,'Value');
strf5_29 = num2str(lati_sc);
f5_1_29 = uicontrol('Style','text','String',strf5_29,...
    'Position',[x_slider_3 y_slider_3-off_slider_3+off_val_3 lu_slider_3 la_slider_2-5]);
```

```
vcrth1_5(nsc_crt,11) = lati_sc;
```

## FUNCTION LCON\_CRT

% Slider f5\_7 - asignarea valorii lungimii in consola

```
lcon_sc = get(f5_23,'Value');
strf5_23 = num2str(lcon_sc);
f5_1_23 = uicontrol('Style','text','String',strf5_23,...
    'Position',[x_slider_2 y_slider_2+off_val_2 lu_slider_2 la_slider_2-5]);
```

```
vcrth1_5(nsc_crt,8) = lcon_sc;
```

## FUNCTION R\_VARF\_CRT

% Slider f5\_13 - asignarea valorii razei la varf

```
r_varf_sc = get(f5_13,'Value');
strf5_13 = num2str(r_varf_sc);
f5_1_13 = uicontrol('Style','text','String',strf5_13,...
    'Position',[x_slider y_slider-3*off_slider+off_val lu_slider la_slider-5]);
```

```
if r_varf_sc <= 0.5
    vcrth1_5(nsc_crt,5) = 1;
elseif r_varf_sc > 0.5 & r_varf_sc <= 1
    vcrth1_5(nsc_crt,5) = 2;
elseif r_varf_sc > 1 & r_varf_sc <= 2
    vcrth1_5(nsc_crt,5) = 3;
elseif r_varf_sc > 2 & r_varf_sc <= 3
    vcrth1_5(nsc_crt,5) = 4;
elseif r_varf_sc > 3 & r_varf_sc <= 5
    vcrth1_5(nsc_crt,5) = 5;
end
```



## ANEXA 6.1

## Programul de simulare a stabilității comportamentului dinamic, al unui sistem cu trei mase concentrate

```

Model {
  Name          "sim3gdl1"
  Version       2.20
  SimParamPage Solver
  SampleTimeColors off
  InvariantConstants off
  WideVectorLines off
  ShowLineWidths off
  StartTime     "0.0"
  StopTime      "1000"
  Solver         ode23
  RelTol         "1e-3"
  AbsTol         "1e-6"
  Refine         "1"
  MaxStep        "auto"
  InitialStep    "auto"
  FixedStep      "auto"
  MaxOrder       5
  OutputOption   RefineOutputTimes
  OutputTimes    "[]"
  LoadExternalInput off
  ExternalInput  "[t, u]"
  SaveTime       on
  TimeSaveName   "tout"
  SaveState      off
  StateSaveName  "xout"
  SaveOutput     on
  OutputSaveName "yout"
  LoadInitialState off
  InitialState   "xInitial"
  SaveFinalState off
  FinalStateName "xFinal"
  LimitMaxRows  off
  MaxRows       "1000"
  Decimation    "1"
  AlgebraicLoopMsg warning
  MinStepSizeMsg warning
  UnconnectedInputMsg warning
  UnconnectedOutputMsg warning
  UnconnectedLineMsg warning
  ConsistencyChecking off
  ZeroCross     on
  SimulationMode normal
  RTWSystemTargetFile "grt.tlc"

```

```
RTWInlineParameters off
RTWPlaceOutputsASAP off
RTWRetainRTWFile off
RTWTemplateMakefile "grt_default_tmf"
RTWMakeCommand "make_rtw"
RTWGenerateCodeOnly off
ExtModeMexFile "ext_comm"
ExtModeBatchMode off
BlockDefaults {
    Orientation right
    ForegroundColor black
    BackgroundColor white
    DropShadow off
    NamePlacement normal
    FontName "Helvetica"
    FontSize 10
    FontWeight normal
    FontAngle normal
    ShowName on
}
AnnotationDefaults {
    HorizontalAlignment center
    VerticalAlignment middle
    ForegroundColor black
    BackgroundColor white
    DropShadow off
    FontName "Helvetica"
    FontSize 10
    FontWeight normal
    FontAngle normal
}
LineDefaults {
    FontName "Helvetica"
    FontSize 9
    FontWeight normal
    FontAngle normal
}
System {
    Name "sim3gdl1"
    Location [0, 74, 800, 558]
    Open on
    ToolBar on
    StatusBar on
    ScreenColor white
    PaperOrientation landscape
    PaperPositionMode auto
    PaperType usletter
    PaperUnits inches
    Block {
```

```

BlockType      StateSpace
Name           "Amplificarea\nreactiei"
Position       [145. 125, 215, 185]
Orientation    left
A              ""
B              ""
C              ""
D              "k"
X0             "0"
MaskType       "Regulator"
MaskDescription "Matrix Gain"
MaskHelp       "Matrix Gain block"
MaskPromptString "K"
MaskStyleString "edit"
MaskTunableValueString "on"
MaskInitialization "k=@1;"
MaskDisplay    "disp('K')"
MaskIconFrame  on
MaskIconOpaque on
MaskIconRotate none
MaskIconUnits  autoscale
MaskValueString "k32"
}
Block {
BlockType      Demux
Name           "Demux"
Ports          [1, 2, 0, 0, 0]
Position       [335, 22, 375, 58]
ShowName       off
Outputs        "[3,2]"
}
Block {
BlockType      Scope
Name           "Diferenta estimat - real"
Ports          [1, 0, 0, 0, 0]
Position       [630, 117, 650, 143]
DeleteFcn      "simscope BlockIsBeingDestroyed"
PostSaveFcn    "simscope Save"
Floating       off
Location       [89, 133, 377, 365]
Open           off
Grid           on
TickLabels     on
ZoomMode       xonly
TimeRange      "40"
YMin           "-1.5"
YMax           "1.5"
SaveToWorkspace off
SaveName       "ScopeData"

```

```

LimitMaxRows    on
MaxRows         "5000"
Decimation      "1"
SampleInput     off
SampleTime      "0"
}
Block {
BlockType       StateSpace
Name            "Estimator"
Position        [255, 130, 335, 180]
Orientation     left
NamePlacement   alternate
A               "a32"
B               "b32"
C               "c32"
D               "d32"
X0              "0"
}
Block {
BlockType       SignalGenerator
Name            "Generator\nde\nsemnale"
Position        [15, 15, 45, 45]
WaveForm        square
Amplitude       "1"
Frequency       "0.5"
Units           "rad/sec"
}
Block {
BlockType       Scope
Name            "Pozitie estimata"
Ports           [1, 0, 0, 0, 0]
Position        [430, 282, 450, 308]
DeleteFcn       "simscope BlockIsBeingDestroyed"
PostSaveFcn     "simscope Save"
Floating        off
Location        [229, 163, 517, 395]
Open            off
Grid            on
TickLabels      on
ZoomMode        xonly
TimeRange       "40"
YMin            "0.316227"
YMax            "0.316228"
SaveToWorkspace off
SaveName        "ScopeData"
LimitMaxRows    on
MaxRows         "5000"
Decimation      "1"
SampleInput     off

```

```

    SampleTime    "0"
  }
  Block {
    BlockType      Scope
    Name           "Pozitie reala"
    Ports          [1, 0, 0, 0, 0]
    Position       [605, 32, 625, 58]
    DeleteFcn      "simscope BlockIsBeingDestroyed"
    PostSaveFcn    "simscope Save"
    Floating       off
    Location       [154, 118, 442, 350]
    Open           off
    Grid           on
    TickLabels     on
    ZoomMode       xonly
    TimeRange      "40"
    YMin           "0.316227"
    YMax           "0.316228"
    SaveToWorkspace off
    SaveName       "ScopeData"
    LimitMaxRows  on
    MaxRows        "5000"
    Decimation     "1"
    SampleInput    off
    SampleTime     "0"
  }
  Block {
    BlockType      StateSpace
    Name           "Proces\n(sistem real)"
    Position       [235, 17, 315, 63]
    A              "[0 1 0 0 0 0; -(k1+k2)/m1 -(c1+c2)/m1 0 0 k2/m1"
    " c2/m1; 0 0 0 1 0 0; 0 0 -(k3+k4)/m2 -(c3+c4)/m2 k4/m2 c4/m2; 0 0 0 0 0 1; k2/m3"
    " c2/m3 k4/m3 c4/m3 -(k2+k4+k5)/m3 -(c2+c4+c5)/m3 ]"
    B              "[0; 1; 0; 1; 0; 1]"
    C              "[1 0 0 0 0 0; 0 1 0 0 0 0; 0 0 1 0 0 0; 0 0 0 1 0 0"
    "0; 0 0 1 0 0 0]"
    D              "zeros(5,1)"
    X0             "0"
  }
  Block {
    BlockType      Selector
    Name           "Selector"
    Position       [260, 236, 305, 264]
    Elements       "[1 3 5]"
    InputPortWidth "6"
  }
  Block {
    BlockType      Scope
    Name           "Semnal comanda "

```

```

Ports      [1, 0, 0, 0, 0]
Position   [75, 182, 95, 208]
DeleteFcn  "simscope BlockIsBeingDestroyed"
PostSaveFcn "simscope Save"
Floating   off
Location   [233, 134, 521, 366]
Open       off
Grid       on
TickLabels on
ZoomMode   xonly
TimeRange  "40"
YMin       "0.316227"
YMax       "0.316228"
SaveToWorkspace off
SaveName   "ScopeData"
LimitMaxRows on
MaxRows    "5000"
Decimation "1"
SampleInput off
SampleTime "0"
}
Block {
  BlockType Mux
  Name      "Senzori"
  Ports     [2, 1, 0, 0, 0]
  Position  [375, 135, 410, 170]
  Orientation left
  Inputs    "2"
  MaskIconFrame on
  MaskIconOpaque on
  MaskIconRotate none
  MaskIconUnits autoscale
}
Block {
  BlockType Sum
  Name      "Sum3"
  Ports     [2, 1, 0, 0, 0]
  Position  [85, 22, 105, 58]
  ShowName  off
  Inputs    "+-"
}
Block {
  BlockType Sum
  Name      "Sum4"
  Ports     [2, 1, 0, 0, 0]
  Position  [555, 112, 575, 148]
  ShowName  off
  Inputs    "+-"
}
}

```

```

Line {
  SrcBlock      "Proces\n(sistem real)"
  SrcPort       1
  DstBlock      "Demux"
  DstPort       1
}
Line {
  SrcBlock      "Sum3"
  SrcPort       1
  Points        [45, 0]
  Branch {
  DstBlock      "Proces\n(sistem real)"
  DstPort       1
  }
  Branch {
  Points        [0, 50; 300, 0; 0, 55]
  DstBlock      "Senzori"
  DstPort       1
  }
}
Line {
  SrcBlock      "Senzori"
  SrcPort       1
  DstBlock      "Estimator"
  DstPort       1
}
Line {
  SrcBlock      "Estimator"
  SrcPort       1
  Points        [-15, 0; 0, 0]
  Branch {
  DstBlock      "Amplficarea\nreactiei"
  DstPort       1
  }
  Branch {
  Points        [0, 95]
  DstBlock      "Selector"
  DstPort       1
  }
}
Line {
  SrcBlock      "Amplficarea\nreactiei"
  SrcPort       1
  Points        [-70, 0]
  DstBlock      "Sum3"
  DstPort       2
}
Line {
  SrcBlock      "Demux"

```

```
SrcPort      2
Points       [105, 0; 0, 110]
DstBlock     "Senzori"
DstPort      2
}
Line {
SrcBlock     "Sum4"
SrcPort      1
DstBlock     "Diferenta estimat - real"
DstPort      1
}
Line {
SrcBlock     "Selector"
SrcPort      1
Points       [55, 0]
Branch {
Points       [175, 0]
DstBlock     "Sum4"
DstPort      2
}
Branch {
Points       [0, 45]
DstBlock     "Pozitie estimata"
DstPort      1
}
}
Line {
SrcBlock     "Generator\nde\insemnale"
SrcPort      1
Points       [5, 0]
Branch {
DstBlock     "Sum3"
DstPort      1
}
Branch {
Points       [0, 165]
DstBlock     "Semnal comanda "
DstPort      1
}
}
Line {
SrcBlock     "Demux"
SrcPort      1
Points       [160, 0; 0, 15]
Branch {
DstBlock     "Sum4"
DstPort      1
}
Branch {
```



```
DstBlock    "Pozitie reala"  
DstPort     1  
}  
}  
}  
}
```

## ANEXA 7.1

### Codul sursă al programului de achiziție

```
#include "nidaqex.h"
#include <fcntl.h>
#include <io.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <ctype.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <string.h>

void main(void)
{
    /*
     * Variabile locale:
     */

    i16 iStatus = 0;
    i16 iRetVal = 0;
    i16 iDevice = 1;
    i32 ITimeout = 300;
    i16 inumChans = 3;
    i16 iGain = 1;
    f64 dSampRate = 62000.0;
        f64 dScanRate = 20000.0;
    u32 ulCount = 186000;
    char* strFilename = "a";
    i16 ignoreWarning = 0;

    /* Setarea limitei de timp :nr. secunde * 18tacturi/sec.)
     */

    iStatus = Timeout_Config(iDevice, ITimeout);

    iRetVal = NIDAQErrorHandler(iStatus, "Timeout_Config",
        ignoreWarning);

    /* Achizitioneaza date pe trei canale analogice, diferential si
     * scrie pe disc. Datele sunt stocate pe 16 biti.
     * Numele fisierului este dat de 'strFilename', si se compune din :
     * "xxxxxx.f" pentru vibratii ;
     * primele doua cifre reprezinta avnsul in mm/rot x 100 ;
     * urmatoarele doua cifre reprezinta turatia in rot/min / 10 ;
     */
```

- \* ultimele doua cifre reprezinta adancimea in mm.
- \* Traductorul se alimenteaza cu tensiune alternativa la 3V
- \* frecventa 20 kHz. Traductorul 1 pin4,5, traductorul 2 pin 1,2.
- \* Achizitia se face pe canalul 1,2,3 diferntial.

\*/

```
printf("\n Numele fisierului : ");
scanf("%s",strFilename);
printf("\n");
printf("\n Pentru pornirea achizitiei apasati orice tasta.... ");
```

```
while(!kbhit());
```

```
printf("Start achzitie!\n");
```

```
/* Start achizitie pe disc.*/
```

```
iStatus = Lab_ISCAN_to_Disk (iDevice, inumChans, iGain, strFilename, ulCount,
dSampRate, dScanRate, 0);
```

```
iRetVal = NIDAQErrorHandler(iStatus, "Lab_ISCAN_to_Disk", ignoreWarning);
```

```
if (iStatus == 0) printf(" O.K.!");
```

```
/* Reseteaza limita de timp. */
```

```
iStatus = Timeout_Config(iDevice, -1);
```

```
printf("Terminat achizitie!\n");
```

}

```
/* Sfarsit program */
```

## ANEXA 7.2

## Program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea forței principale de așchiere

```
FUNCTION DAT_FN1
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
extrem1 = 0;
clear extrem,extrem1;
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);
if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [f,count] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    dat_fnc;
    for i = 1:3
        if def_tn1(i,1) == tur_for
            def_tn1(i,2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
end
```

```
FUNCTION DAT_FN2
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
extrem1 = 0;
clear extrem,extrem1;
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);
if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [fdummy,count] = fread(fid,2,'int16');
    [f,count] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    dat_fnc;
    for i = 1:3
        if def_tn2(i,1) == tur_for
            def_tn2(i,2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
end
```

```
FUNCTION DAT_FN3
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
```

---

**Teză de doctorat**

```

extrem1 = 0;
clear extrem.extrem1;
[filename,pathname] = uigetfile('*.*','Selectati fisierul de date',300,100);
if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [fdummy,count] = fread(fid,2,'int16');
    [f.count] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    dat_fnc:
    for i = 1:3
        if def_tn2(i,1) == tur_for
            def_tn2(i,2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
end

```

**FUNCTION DAT\_FNC**

% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte

```

hold on;
lung1 = size(f);
lung1 = lung1(1,1);
lung0 = 1;
%lung1 = 20000;
j = 0;
for i = lung0+1:lung1-1
    if (f(i)-f(i-1))*(f(i+1)-f(i))<=0
        if f(i)*f(i+1)>0
            j = j+1;
            extrem(j) = f(i);
        end
    end
end
lung2 = size(extrem);
lung2 = lung2(1,2);
j = 0;
for i = lung0+1:lung2-1
    if (extrem(i) ~= extrem(i-1))
        j = j+1;
        extrem1(j) = extrem(i);
    end
end
lung3 = size(extrem1);
lung3 = lung3(1,2);
nr_ampl_extr = floor(lung3/2);
for_ach_crt = sum(abs(extrem1))/nr_ampl_extr;
plot(tur_for,for_ach_crt,'ro');

```

**FUNCTION GRA\_FN1**

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii  
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
```

```
% Traductor 1.
```

```
xxx = 0:1:500;  
abc_tn1 = polyfit(def_tn1(1:3,1),def_tn1(1:3,2),1);  
poli2 = polyval(abc_tn1,xxx);  
plot(xxx,poli2,def_tn1(1:3,1),def_tn1(1:3,2),'o');  
set(f60_1_11,'String',abc_tn1(1));  
set(f60_1_13,'String',abc_tn1(2));
```

## FUNCTION GRA\_FN2

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii  
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
```

```
% Traductor 2.
```

```
xxx = 0:1:500;  
abc_tn2 = polyfit(def_tn2(1:3,1),def_tn2(1:3,2),1);  
poli2 = polyval(abc_tn2,xxx);  
plot(xxx,poli2,def_tn2(1:3,1),def_tn2(1:3,2),'ok');  
set(f60_1_11,'String',abc_tn2(1));  
set(f60_1_13,'String',abc_tn2(2));
```

## FUNCTION PAR\_FN

```
% Incarcari prestabilite ale traductorului de forta
```

```
lt1 = ' 125 | 250 | 500';
```

```
tur_for = 125;
```

```
def_tn1 = [125 0  
          250 0  
          500 0];
```

```
def_tn2 = [125 0  
          250 0  
          500 0];
```

## FUNCTION SEL\_FN

```
% Optiuni
```

```
format long
```

```
tur_for = 125;
```

```
opt = get(f60_1_4,'Value');
```

```
if opt == 1
    tur_for = 125;
elseif opt == 2
    tur_for = 250;
elseif opt == 3
    tur_for = 500;
end
```

## ANEXA 7.3

**Program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarele folosite  
la măsurarea forței principale de așchiere**

## FUNCTION MEN\_FOR

```

format long
% Initializare variabile

% Definire suprafata grafica utilizator : "men_for"
f60_1 = figure('MenuBar','none','Name','Studiul fortelor de aschiere',...
    'NumberTitle','off','position',[280 200 260 260]);
axis off;

% Optiuni
f60_2 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Forte de aschiere in functie de
avans',...
    'Position',[30 220 200 25],'Callback','for_fs');
%
f60_3 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Forte de aschiere in functie de
turatie',...
    'Position',[30 180 200 25],'Callback','for_fn');
%
f60_4 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Forte de aschiere in functie de
adancime',...
    'Position',[30 140 200 25],'Callback','for_ft');
%
f60_5 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Info',...
    'Position',[30 60 200 25],'Callback','inf_fsnt');
% Iesire
f60_6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
    'Position',[30 20 200 25],'Callback','delete(f60_1)');

```

## FUNCTION FOR\_FS

```

% Initializare variabile
m = 0;
k = 0;
par_fs;
% Definire suprafata grafica utilizator : "for_fs"

f60_1_1 = figure('MenuBar','none','Name','Forte de aschiere in functie de avans ',...
    'NumberTitle','off');
f60_1_2 = axes('position',[0.3 0.2 0.64 0.74],'Box','on');

% Avans

f60_1_3 = uicontrol('Style','text','String','Avans :',...

```



```
'Position', [10 380 110 15]);
f60_1_4 = uicontrol('Style', 'popup', 'String', It1,...
    'Position', [10 360 110 20], 'BackgroundColor', 'w', 'Callback', 'sel_fs');

% Date achizitionate

f60_1_5 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Traductor 1',...
    'Position', [10 260 110 25], 'Callback', 'dat_fs1');

f60_1_6 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Traductor 2',...
    'Position', [10 220 110 25], 'Callback', 'dat_fs2');

% Grafic
f60_1_7 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Grafic Tr.1:F(s)',...
    'Position', [10 180 110 25], 'Callback', 'gra_fs1');

% Grafic
f60_1_7 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Grafic Tr.2:F(s)',...
    'Position', [10 140 110 25], 'Callback', 'gra_fs2');

% Stergere

f60_1_8 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Stergere',...
    'Position', [10 100 110 25], 'Callback', 'cla');

% Iesire

f60_1_9 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Iesire',...
    'Position', [10 60 110 25], 'Callback', 'delete(f60_1_1)');

% Afisare parametrii

f60_1_10t = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Traductor 1:',...
    'Position', [170 45 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');

f60_1_10 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k',...
    'Position', [170 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
f60_1_11 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k',...
    'Position', [170 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');

f60_1_12 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm',...
    'Position', [240 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
f60_1_13 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm',...
    'Position', [240 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');

f60_1_15t = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Traductor 2:',...
```

```
'Position', [370 45 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_15 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k', ...
    'Position', [370 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_16 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k', ...
    'Position', [370 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_17 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm', ...
    'Position', [440 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_18 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm', ...
    'Position', [440 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

## FUNCTION DAT\_FS1

```
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
extrem1 = 0;
clear extrem, extrem1;
[filename, pathname] = uigetfile('*. *', 'Selectati fisierul de date', 300, 100);
if filename ~= 0
    fid = fopen(strcat(pathname, filename), 'r');
    [f, count] = fread(fid, inf, 'int16', 4);
    fclose('all');
    dat_fsc;
    for i = 1:4
        if def_t1(i, 1) == ava_for
            def_t1(i, 2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
end
```

## FUNCTION DAT\_FS2

```
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
extrem1 = 0;
clear extrem, extrem1;
[filename, pathname] = uigetfile('*. *', 'Selectati fisierul de date', 300, 100);
if filename ~= 0
    fid = fopen(strcat(pathname, filename), 'r');
    [fdummy, count] = fread(fid, 2, 'int16');
    [f, count] = fread(fid, inf, 'int16', 4);
    fclose('all');
    dat_fsc;
    for i = 1:4
        if def_t2(i, 1) == ava_for
            def_t2(i, 2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
```

```

    end
  end
end

```

### FUNCTION DAT\_FSC

```

% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
hold on;
lung1 = size(f);
lung1 = lung1(1,1);
lung0 = 1;
%lung1 = 20000;
j = 0;
for i = lung0+1:lung1-1
    if (f(i)-f(i-1))*(f(i+1)-f(i))<=0
        if f(i)*f(i+1)>0
            j = j+1;
            extrem(j) = f(i);
        end
    end
end
lung2 = size(extrem);
lung2 = lung2(1,2);
j = 0;
for i = lung0+1:lung2-1
    if (extrem(i) ~= extrem(i-1))
        j = j+1;
        extrem1(j) = extrem(i);
    end
end
lung3 = size(extrem1);
lung3 = lung3(1,2);
nr_ampl_extr = floor(lung3/2);
for_ach_crt = sum(abs(extrem1))/nr_ampl_extr;
plot(ava_for,for_ach_crt,'ro');

```

### FUNCTION GRA\_FS1

```

% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
% Traductor 1.

```

```
xxx = 0:0.05:0.250;
abc_t1 = polyfit(def_t1(1:4,1),def_t1(1:4,2),1);
poli2 = polyval(abc_t1,xxx);
plot(xxx,poli2,def_t1(1:4,1),def_t1(1:4,2),'o');
set(f60_1_11,'String',abc_t1(1));
set(f60_1_13,'String',abc_t1(2));
```

### FUNCTION GRA\_FS2

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
```

```
% Traductor 2.
```

```
xxx = 0:0.05:0.250;
abc_t2 = polyfit(def_t2(1:4,1),def_t2(1:4,2),1);
poli2 = polyval(abc_t2,xxx);
plot(xxx,poli2,def_t2(1:4,1),def_t2(1:4,2),'b');
set(f60_1_11,'String',abc_t2(1));
set(f60_1_13,'String',abc_t2(2));
```

### FUNCTION GRAPRG1

```
% Calculul marimilor caracteristice m si k unice
```

```
eps_pct = param_1(1:lin_param_1,1);
sigma = param_1(1:lin_param_1,3);
m_exp = param_1(1:lin_param_1,2);
k_exp = param_1(1:lin_param_1,4);
m = 0;
val_ecu = 1;
eroare = 0.00001;
pas_m = 1/10000;
rez = zeros(10001,2);
i = 0;
```

```
while val_ecu >= 0
```

```
    % Calcul valoare dE/dm
```

```
    termen_1 = sum(eps_pct.^(2*m));
```

```
    termen_2 = sum(eps_pct.^m.*sigma.*log10(eps_pct));
```

```
    termen_3 = sum(eps_pct.^m.*sigma);
```

```
    termen_4 = sum(eps_pct.^(2*m).*log10(eps_pct));
```

```
    val_ecu = termen_1*termen_2-termen_3*termen_4;
```

```
    k = termen_3/termen_1;
```

```
    % Afisare
```

```
    set(f1_1_10,'String',num2str(m));
```

```
    set(f1_1_12,'String',num2str(k));
```

```
% Memorare valori
```

```
i = i+1;
rez(i,1) = val_ecu;
rez(i,2) = m;

% Iterare valoare m
m = m+pas_m;
% Setarea barei de "calcul in derulare"
set(f1_1_14,'Value',m*200);
end
% Trasare grafic
plot(eps_pct,sigma,'ko');
hold on;
x_m = 0:pas_m:eps_pct(lin_param_1);
plot(x_m,k*x_m.^m);
% Resetarea barei de "calcul in derulare" la 0
set(f1_1_14,'Value',0);
```

### FUNCTION PAR\_FS

```
% Incarcari prestabilite ale traductorului de forta
lt1 = ' 0.096 | 0.151 | 0.208 | 0.250';
ava_for = 0.096;
def_t1 = [0.096 0
          0.151 0
          0.208 0
          0.250 0];
def_t2 = [0.096 0
          0.151 0
          0.208 0
          0.250 0];
```

### FUNCTION SEL\_FS

```
% Optiuni
format long
ava_for = 0.096;
opt = get(f60_1_4,'Value');
if opt == 1
    ava_for = 0.096;
elseif opt == 2
    ava_for = 0.151;
elseif opt == 3
    ava_for = 0.208;
elseif opt == 4
    ava_for = 0.250;
end
```

## FUNCTION FOR\_FT

```
% Initializare variabile
```

```
m = 0;
```

```
k = 0;
```

```
par_ft;
```

```
% Definire suprafata grafica utilizator : "for_fs"
```

```
f60_1_1 = figure('MenuBar','none','Name','Forte de aschiere in functie de adancime
```

```
',...
```

```
  'NumberTitle','off');
```

```
f60_1_2 = axes('position',[0.3 0.2 0.64 0.74],'Box','on');
```

```
% Avans
```

```
f60_1_3 = uicontrol('Style','text','String','Adancime :',...
```

```
  'Position',[10 380 110 15]);
```

```
f60_1_4 = uicontrol('Style','popup','String',It1,...
```

```
  'Position',[10 360 110 20],'BackgroundColor','w','Callback','sel_ft');
```

```
% Date achizitionate
```

```
f60_1_5 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 1',...
```

```
  'Position',[10 260 110 25],'Callback','dat_ft1');
```

```
f60_1_6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 2',...
```

```
  'Position',[10 220 110 25],'Callback','dat_ft2');
```

```
% Grafic
```

```
f60_1_7 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Grafic Tr.1:F(t)',...
```

```
  'Position',[10 180 110 25],'Callback','gra_ft1');
```

```
% Grafic
```

```
f60_1_7 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Grafic Tr.2:F(t)',...
```

```
  'Position',[10 140 110 25],'Callback','gra_ft2');
```

```
% Stergere
```

```
f60_1_8 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Stergere',...
```

```
  'Position',[10 100 110 25],'Callback','cla');
```

```
% Iesire
```

```
f60_1_9 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
```

```
  'Position',[10 60 110 25],'Callback','delete(f60_1_1)');
```

```
% Afisare parametrii
```

```
f60_1_10t = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Traductor 1:',...
    'Position', [170 45 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_10 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k',...
    'Position', [170 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_11 = uicontrol('Style', 'text', 'String', k,...
    'Position', [170 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_12 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm',...
    'Position', [240 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_13 = uicontrol('Style', 'text', 'String', m,...
    'Position', [240 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_15t = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'Traductor 2:',...
    'Position', [370 45 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_15 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'k',...
    'Position', [370 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_16 = uicontrol('Style', 'text', 'String', k,...
    'Position', [370 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_17 = uicontrol('Style', 'text', 'String', 'm',...
    'Position', [440 25 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
f60_1_18 = uicontrol('Style', 'text', 'String', m,...
    'Position', [440 10 60 20], 'HorizontalAlignment', 'left');
```

## FUNCTION DAT\_FT1

```
% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
```

```
extrem = 0;
```

```
extrem1 = 0;
```

```
clear extrem,extrem1;
```

```
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);
```

```
if filename ~= 0
```

```
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
```

```
    [f,count] = fread(fid,inf,'int16',4);
```

```
    fclose('all');
```

```
    dat_ftc;
```

```
    for i = 1:4
```

```
        if def_tt1(i,1) == ada_for
```

```
            def_tt1(i,2) = for_ach_crt;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

## FUNCTION DAT\_FT2

```

% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
extrem = 0;
extrem1 = 0;
clear extrem,extrem1;
[filename,pathname] = uigetfile('*. *','Selectati fisierul de date',300,100);
if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [fdummy,count] = fread(fid,2,'int16');
    [f.count] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    dat_ftc;
    for i = 1:4
        if def_tt2(i,1) == ada_for
            def_tt2(i,2) = for_ach_crt;
        end
    end
end
end

```

## FUNCTION DAT\_FTC

```

% calculul mediei valorilor digitale achizitionate de traductorul de forte
hold on;
lung1 = size(f);
lung1 = lung1(1,1);
lung0 = 1;
%lung1 = 20000;
j = 0;
for i = lung0+1:lung1-1
    if (f(i)-f(i-1))*(f(i+1)-f(i))<=0
        if f(i)*f(i+1)>0
            j = j+1;
            extrem(j) = f(i);
        end
    end
end
end
lung2 = size(extrem);
lung2 = lung2(1,2);
j = 0;
for i = lung0+1:lung2-1
    if (extrem(i) ~= extrem(i-1))
        j = j+1;
        extrem1(j) = extrem(i);
    end
end
end
lung3 = size(extrem1);
lung3 = lung3(1,2);
nr_ampl_extr = floor(lung3/2);

```



```
for_ach_crt = sum(abs(extrem1))/nr_ampl_extr;  
plot(ada_for.for_ach_crt,'ro');
```

### FUNCTION GRA\_FT1

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii  
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
```

```
% Traductor 1.
```

```
xxx = 0.5:0.1:2;  
abc_tt1 = polyfit(def_tt1(1:4,1),def_tt1(1:4,2),1);  
poli2 = polyval(abc_tt1,xxx);  
plot(xxx,poli2,def_tt1(1:4,1),def_tt1(1:4,2),'o');  
set(f60_1_11,'String',abc_tt1(1));  
set(f60_1_13,'String',abc_tt1(2));
```

### FUNCTION GRA\_FT2

```
% Calculul marimilor caracteristice a , b, c coeficientii  
% functiei de interpolare a valorilor lui masurate functie de avans
```

```
% Traductor 2.
```

```
xxx = 0.5:0.1:2;  
abc_tt2 = polyfit(def_tt2(1:4,1),def_tt2(1:4,2),1);  
poli2 = polyval(abc_tt2,xxx);  
plot(xxx,poli2,def_tt2(1:4,1),def_tt2(1:4,2),'b');  
set(f60_1_11,'String',abc_tt2(1));  
set(f60_1_13,'String',abc_tt2(2));
```

### FUNCTION PAR\_FT

```
% Incarcari prestabilite ale traductorului de forta
```

```
lt1 = ' 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0';
```

```
ada_for = 0.5;
```

```
def_tt1 = [0.5 0  
          1.0 0  
          1.5 0  
          2.0 0];
```

```
def_tt2 = [0.5 0  
          1.0 0  
          1.5 0  
          2.0 0];
```

### FUNCTION SEL\_FT

```
% Optiuni  
format long  
ada_for = 0.5;  
opt = get(f60_1_4,'Value');  
if opt == 1  
    ada_for = 0.5;  
elseif opt == 2  
    ada_for = 1.0;  
elseif opt == 3  
    ada_for = 1.5;  
elseif opt == 4  
    ada_for = 2.0;  
end
```

## ANEXA 7.4

## Program pentru etalonarea traductoarelor folosite la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație

## FUNCTION ANA\_SPEC1

```

% Initializare variabile
% Definire suprafata grafica utilizator : "an_sp"

f40_1_1 = figure('Name','Analiza spectrala a semnalelor achizitionate',...
    'NumberTitle','off');
%'MenuBar','none'.

% Grafic
f40_1_4 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 1',...
    'Position',[20 5 70 20], 'Callback','an_spec3');
% Grafic
f40_1_5 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Traductor 2',...
    'Position',[100 5 70 20], 'Callback','an_spec4');

% Iesire

f40_1_6 = uicontrol('Style','pushbutton','String','Iesire',...
    'Position',[420 5 70 20], 'Callback','delete(f40_1_1)');

```

## FUNCTION ANA\_SPEC3

```

% analiza spectrala a unui semnal
% Traductor 2
[filename,pathname] = uigetfile('*.','Selectati fisierul de date',300,100);
if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [x1,count1] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    an_spec5;
elseif filename == 0
    disp('Nu s-a selectat nici un fisier');
end

```

## FUNCTION ANA\_SPEC4

```

% analiza spectrala a unui semnal
% Traductor 2
[filename,pathname] = uigetfile('*.','Selectati fisierul de date',300,100);

```

```

if filename ~=0
    fid = fopen(strcat(pathname,filename),'r');
    [xdummy,countdummy] = fread(fid,2,'int16');
    [x1,count1] = fread(fid,inf,'int16',4);
    fclose('all');
    an_spec5;
elseif filename == 0
    disp('Nu s-a selectat nici un fisier');
end

```

### FUNCTION ANA\_SPEC5

```

ratach = 20000;
limmin = 1;
limmax = count1;
limfmin = 10;
limfmax = 20000;
x1 = x1';
x2 = x1(limmin:limmax);
lim_filt = 10000;
[B,A] = butter(5,lim_filt/20000);
x = filter(B,A,x2);
%x = x2; % Aceasta instructiune anuleaza filtrarea - daca dorim filtrare o anulam
count = count1;
fe = ratach; %frecventa de esantionare
t = 0:1/fe:1/fe*count; %momentele de esantionare
Xt = fft(x); % transformata Fourier
N = length(x); % lungimea secventei
Xm = abs(Xt); % modulul semnalului
X = Xm(1,1:N/2+1)/(N/2);
f = (0:N/2)*fe/N; %frecventele pozitive
f_rep = f(limfmin:limfmax);
X_rep = X(limfmin:limfmax);
t_rep = t(50:20000);
x_rep = x(50:20000);
subplot(211);
plot(t_rep,x_rep,'k')
grid
xlabel('t [s]');
ylabel('x(t) [V]');
title('Semnal temporal');
subplot(212);
stem(f_rep,X_rep,'k'); %reprezentare valori discrete
xlabel('f [Hz]');
ylabel('X(f) [V]');
grid
title('Analiza spectrala');

```

## ANEXA 7.5

**Program pentru prelucrarea valorilor achiziționate de la traductoarele folosite  
la măsurarea parametrilor care caracterizează mișcările de vibrație**

```
function prelim_4(action, varargin)
global v_a_m v_r_a v_r_m sc_noua name:
v_a_m = 0;
v_r_a = 0;
v_r_m = 0;
sc_noua = zeros(330,300);
if nargin<1.
    action='Initializare';
end;
```

```
feval(action,varargin{:});
return;
```

```
function Initializare()
```

```
h = findobj(allchild(0), 'tag', 'Detectie contur');
if ~isempty(h)
    figure(h(1))
    return
end
```

```
screenD = get(0, 'ScreenDepth');
if screenD>8
    grayres=256;
else
    grayres=128;
end
```

```
ContFig = figure( ...
    'Name','Detectie contur', ...
    'NumberTitle','off', 'HandleVisibility', 'on', ...
    'tag', 'Detectie contur', ...
    'Visible','off', 'Resize', 'off',...
    'BusyAction','Queue','Interruptible','off', ...
    'Color', [.8 .8 .8], ...
    'IntegerHandle', 'off', ...
    'Colormap', gray(grayres));
```

```
figpos = get(ContFig, 'position');
```

```
figpos(3:4) = [560 420];
horizDecorations = 10;
```

```

vertDecorations = 45;
screenSize = get(0,'ScreenSize');
if (screenSize(3) <= 1)
    screenSize(3:4) = [100000 100000];
end
if (((figpos(3) + horizDecorations) > screenSize(3)) | ...
    ((figpos(4) + vertDecorations) > screenSize(4)))

    delete(ContFig);
    error(['Rezolutie ecran scazuta ', ...
        '(sau fonturile sunt prea mari)']);
end
dx = screenSize(3) - figpos(1) - figpos(3) - horizDecorations;
dy = screenSize(4) - figpos(2) - figpos(4) - vertDecorations;
if (dx < 0)
    figpos(1) = max(5,figpos(1) + dx);
end
if (dy < 0)
    figpos(2) = max(5,figpos(2) + dy);
end
set(ContFig, 'position', figpos);

rows = figpos(4); cols = figpos(3);
hs = (cols-512) / 3;
bot = rows-2*hs-256;

%=====
ifs = hs/2;

Std.Interruptible = 'off';
Std.BusyAction = 'queue';

%=====

hdl.Axe_imag = axes(Std, ...
    'Units', 'Pixels', ...
    'Parent', ContFig, ...
    'ydir', 'reverse', ...
    'XLim', [.5 256.5], ...
    'YLim', [.5 256.5], ...
    'CLim', [0 255], ...
    'Position', [hs bot 256 256], ...
    'XTick', [], 'YTick', []);
set(get(hdl.Axe_imag, 'title'), 'string', 'Imagine achizitionata');

%=====

hdl.Axe_cont = axes(Std, ...
    'Units', 'Pixels', ...

```

```
'Parent', ContFig, ...
'ydir' 'reverse', ...
'XLim', [.5 256.5], ...
'YLim', [.5 256.5], ...
'CLim', [0 1], ...
'Position', [cols-hs-256 bot 256 256], ...
'XTick', [], 'YTick', []);
set(get(hdl.Axe_cont, 'title'), 'string', 'Contur detectat');
```

```
%=====
```

```
hdl.Image = image(Std, ...
'CDATA', [], ...
'CDATAMapping', 'scaled', ...
'Parent', hdl.Axe_imag, ...
'Xdata', [1 256], ...
'Ydata', [1 256], ...
'EraseMode', 'none');
```

```
%=====
```

```
hdl.Cont = image(Std, ...
'CDATA', [], ...
'CDATAMapping', 'scaled', ...
'Parent', hdl.Axe_cont, ...
'Xdata', [1 256], ...
'Ydata', [1 256], ...
'EraseMode', 'none');
```

```
bgcolor = [0.8 0.8 0.8];
fgcolor = [0 0 0];
```

```
%=====
```

```
%mleft=hs;
%mfbot=hs;
%mfwid=(3*cols/8)-1.5*hs;
%mfht=bot-2*hs;
```

```
%=====
```

```
ipwid = (3*cols/8)-1.5*hs-2*ifs;
ipht = 21;
ipleft = hs+ifs;
ipbot = hs+1.7*ifs + 2*ipht;
hdl.ImgPop=icontrol(Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style', 'popupmenu', ...
```

```
'Units','pixels', ...
'Position',[ipleft ipbot ipwid ipht], ...
'Enable','on', ...
'String','im1|im2|im3|im4|im5|im6|im7|im8|im9|im10', ...
'Tag','ImagesPop',...
'Callback','prelim_4("Incarcare")');
```

```
uicontrol( Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','text', ...
'Units','pixels', ...
'Position',[ipleft ipbot+ipht ipwid 18], ...
'Horiz','left', ...
'Background',bgcolor, ...
'Foreground',fgcolor, ...
'String','Selectare imagine:');
```

```
%=====
```

```
hdl.Method = 'Sobel';
mpwid = ipwid;
mpht = ipht;
mpleft = ipleft;
mpbot = hs+1.2*ifs;
hdl.MethodPop=uicontrol(Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','popupmenu', ...
'Units','pixels', ...
'Position',[mpleft mpbot mpwid mpht], ...
'Enable','on', ...
'String','Sobel|Prewitt|Roberts|Laplacian of Gaussian|Canny', ...
'Tag','MethodPop',...
'Callback','prelim_4("Sele_met")');
```

```
uicontrol( Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','text', ...
'Units','pixels', ...
'Position',[mpleft mpbot+mpht mpwid 18], ...
'Horiz','left', ...
'Background',bgcolor, ...
'Foreground',fgcolor, ...
'String','Metoda de detectare a conturului:');
```

```
%=====
```



```

pflleft =(3*cols/8)+0.5*hs;
pflbot = 1.5*hs;
pflwid =(3*cols/8)-hs;
pflhht = bot-2.5*hs;

%=====

labelleft = pflleft+ifs;
labelwid = pflwid/2-hs;
labelbot = pflbot+2*pflhht/3;
hdl.sprThLbl = uicontrol(Std....
    'Parent', ContFig, ...
    'Style','text', ...
    'Units','pixels', ...
    'Position',[labelleft ipbot+ipht labelwid 18], ...
    'Horiz','left', ...
    'String','Threshold:', ...
    'BackgroundColor',bgcolor, ...
    'ForegroundColor',fgcolor);
hdl.Threshold = 0;

%*****

rleft = pflleft + pflwid/2 - hs/2;
rbot = pflbot+2*pflhht/3+hs/6;
rawid = pflwid/2;
raht = ipht;
v_r_a = 0;
v_r_m = 1;

rmleft = pflleft + pflwid/2 - hs/2;
rmbot = pflbot+pflhht/3+hs/3;
rmwid = hs*1.5;
rmht = ipht;

thleft = rmleft+rmwid;
thwid = rawid-rmwid;
thbot = rmbot;
thht = rmht;
hdl.ThreshCtrl = uicontrol(Std, ...
    'Parent', ContFig, ...
    'Enable', 'on', ...
    'Style','edit', ...
    'Units','pixels', ...
    'Position',[labelleft ipbot thwid thht], ...
    'Horiz','right', ...
    'Background','white', ...
    'Foreground','black', ...

```

```
'String','0',...
'callback','prelim_4("Re_thresh")');
```

```
dpwid = pfwid/2;
dpht = ipht;
dpleft = pleft + pfwid/2 - hs/2;
dpbot = pbot+.4*hs;
```

```
labelwid = pfwid/2-hs;
labelbot = dpbot;
```

```
hdl.logSigmaCtrl=icontrol(Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','edit', ...
'Units','pixels', ...
'Position',[labelleft mpbot dpwid dpht], ...
'Horiz','right', ...
'Background','white', ...
'Foreground','black', ...
'String','2', ...
'Tag','DirectionPop',...
'Visible', 'off', ...
'Callback','prelim_4("Re_sigma")');
```

```
hdl.logSigmaLbl = uicontrol( Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','text', ...
'Units','pixels', ...
'Position',[labelleft mpbot+mpht labelwid 18], ...
'Horiz','left', ...
'Background',bgcolor, ...
'Foreground',fgcolor, ...
'Visible', 'off', ...
'String','Sigma:');
```

```
hdl.LogSigma = 2;
```

```
%=====
```

```
colr = get(ContFig,'Color');
hdl.Status = uicontrol( Std, ...
'Parent', ContFig, ...
'Style','text', ...
'Units','pixels', ...
'Background', colr, ...
'Foreground', [0 0 0], ...
'Position',[pleft 2 pfwid 18], ...
```

```
'Horiz','center', ...
'Tag','Status', ...
'String','Initializare detectie contur ...');
```

```
%=====
```

```
bflleft = (3*cols/4)+.5*hs;
bfbot = hs;
bfwid = (cols/4)-1.5*hs;
bfht = bot-2*hs;
```

```
%=====
```

```
btnwid = bfwid - 2*ifs;
btnht = (bfht-4*ifs)/3;
btnleft = bflleft + ifs;
btnbot = bfbot + bfht - ifs - btnht;
hdl.detectie=icontrol(Std, ...
    'Parent', ContFig, ...
    'Style','pushbutton', ...
    'Units','pixels', ...
    'Position',[btnleft btnbot btnwid btnht], ...
    'Enable','off', ...
    'String','Detectie', ...
    'Callback','prelim_4("Calc_cont")');
```

```
%=====
```

```
btnbot = bfbot + ifs;
hdl.iesire=icontrol(Std, ...
    'Parent', ContFig, ...
    'Style','pushbutton', ...
    'Units','pixels', ...
    'Position',[btnleft btnbot btnwid btnht], ...
    'Enable','off', ...
    'String','Iesire', ...
    'Callback','close(gcbf)');
```

```
set(ContFig, 'Userdata', hdl, 'Visible', 'on');
drawnow
Incarcare(ContFig);
drawnow
set(ContFig, 'HandleVisibility', 'Callback');
set([hdl.detectie hdl.iesire], 'Enable', 'on');
```

```
return
```

```

function Calc_cont(Fig)
global v_a_m v_r_a v_r_m sc_noua name;

if nargin<1
    callb = 1;
    Fig = gcbf;
else
    callb = 0;
end

set(Fig,'Pointer','watch');
setstatus(Fig, 'Detectie contur...');
hdl=get(Fig,'Userdata');
img = getimage(hdl.Image);

switch hdl.Method
case {'Sobel','Roberts','Prewitt'}
    img = im2bw(img);
    edgemap = edge(img, ...
        hdl.Method, hdl.Threshold, 'Both');
    setstatus(Fig, "");
case 'Laplacian of Gaussian'
    img = im2bw(img);
    edgemap = edge(img, 'log', hdl.Threshold, hdl.LogSigma);
    setstatus(Fig, "");
case 'Canny'
    [edgemap,thresh] = edge(img, 'canny', hdl.Threshold, hdl.LogSigma);
    setstatus(Fig, "");
otherwise
    error('Metoda de detectie nepermisa');
end

edgemap = bwmorph(edgemap,'dilate',1);

set(hdl.Cont, 'CData', edgemap);
set(hdl.detectie, 'Enable', 'off');
set(Fig,'Pointer','arrow');
%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
switch name
case 'im1'
    sc_noua = edgemap;
    disp(size(sc_noua));
otherwise
    calcul_1 = 1;
end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
drawnow
```

```
function compar
```

```
function Sele_met
```

```
Fig = gcbf;
```

```
hdl = get(Fig, 'userdata');  
v = get(hdl.MethodPop, {'value', 'String'});  
hdl.Method = deblank(v{2}(v{1},:));  
switch hdl.Method  
case {'Sobel', 'Prewitt'}  
    ActivateSPRControls(Fig);  
case 'Laplacian of Gaussian'  
    ActivateLOGControls(Fig);  
    set(hdl.logSigmaCtrl, 'String', '2');  
    hdl.LogSigma = 2;  
case 'Canny'  
    ActivateLOGControls(Fig);  
    set(hdl.logSigmaCtrl, 'String', '1');  
    hdl.LogSigma = 1;  
case 'Roberts'  
    ActivateSPRControls(Fig);  
otherwise  
    error('Specificator inexistent');  
end  
  
set(hdl.detectie, 'Enable', 'on');  
set(Fig, 'userdata', hdl);  
setstatus(Fig, ['Apasati "Detectie".']);
```

```
function Incarcare(Fig)  
global v_a_m v_r_a v_r_m sc_noua name;
```

```

if nargin<1
    callb = 1;
    Fig = gcbf;
else
    callb = 0;
end

set(Fig,'Pointer','watch');
hdl=get(Fig,'Userdata');
v = get(hdl.ImgPop,{'value','String'});
name = deblank(v{2}(v{1},:));
setstatus(Fig, ['Se incarca imaginea ' name ' ']);
drawnow;

switch name
case 'im1',
    load imsc im1
    img = im1;
case 'im2',
    load imsc im2
    img = im2;
case 'im3',
    load imsc im3
    img = im3;
case 'im4',
    load imsc im4
    img = im4;
case 'im5',
    load imsc im5
    img = im5;
case 'im6',
    load imsc im6
    img = im6;
case 'im7',
    load imsc im7
    img = im7;
case 'im8',
    load imsc im8
    img = im8;
case 'im9',
    load imsc im9
    img = im9;
case 'im10',
    load imsc im10
    img = im10;
otherwise
    error('Imagine inexistentă!');
end

```

```

set(hdl.Image, 'Cdata', img);
set(get(hdl.Axe_imag, 'title'), 'string', ['Imagine achzitionata ' name ""]);
set(Fig, 'Pointer', 'arrow');
if callb
    set(hdl.detectie, 'Enable', 'on');
end
drawnow
if ~strcmp(hdl.Method, 'Laplacian of Gaussian')
    if v_r_a == 0
        v_a_m = 1;
    end
end
Calc_cont(Fig);
return;

```

```

function Re_thresh()
Fig = gcbf;
hdl = get(Fig, 'UserData');
v = hdl.Threshold;
s = get(hdl.ThreshCtrl, 'String');
vv = real(evalin('base', [' s ']), num2str(v));
if isempty(vv) | ~isreal(vv) | vv(1) < 0
    vv = v;
    set(gcbo, 'String', num2str(vv));
    return
end
vv = round(vv(1)*1000000)/1000000;
set(gcbo, 'String', num2str(vv));
hdl.Threshold = vv;
set(hdl.detectie, 'Enable', 'on');
setstatus(Fig, 'Apasati "Detectie".');
set(Fig, 'UserData', hdl);
return

```

```

function Re_sigma()
Fig = gcbf;
hdl = get(Fig, 'UserData');
v = hdl.LogSigma;
s = get(hdl.logSigmaCtrl, 'String');
vv = real(evalin('base', s, num2str(v)));
if isempty(vv) | ~isreal(vv) | vv(1) < 0
    vv = v;
    set(hdl.logSigmaCtrl, 'String', num2str(vv));
    return
end
vv = round(vv(1)*100)/100;
set(hdl.logSigmaCtrl, 'String', num2str(vv));
hdl.LogSigma = vv;

```

```
set(hdl.detectie, 'Enable', 'on');  
setstatus(Fig, 'Apasati "Detectie". ');  
set(Fig, 'UserData', hdl);  
return
```

```
function ActivateSPRControls(Fig)
```

```
hdl = get(Fig, 'UserData');
```

```
set([hdl.logSigmaCtrl hdl.logSigmaLbl], 'Visible', 'off');
```

```
function ActivateLOGControls(Fig)
```

```
hdl = get(Fig, 'UserData');
```

```
set([hdl.logSigmaCtrl hdl.logSigmaLbl], 'Visible', 'on');
```



## ANEXA 7.6

## Program pentru achiziția imaginilor video cu camera CCD

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <ccnio.h>
#include <time.h>

int err_code;
char ch;

void main void:
{
    err_code=VG_InitLib();
    init(&err_code);
    VG_Reset(YES);
    defaultsettings();
    VG_SetKeyComp(MEMCRY);
    VG_SetKeyOut(LIVE);
    VG_SetKeyType(SPECIAL);
    VG_SetPenWidth(0);

    VG_SingleGrab();
    while (VG_GetGrabSt());
    VG_ReadBlock(0,240,512,50,im);
    pixell.gray=BLACK;
    VG_ClearScreen(&pixell);
    VG_WriteBlock(0,240,512,50,im);
    binarizare(arg_prag,im,512*50);
    VG_WriteBlock(0,290,512,50,im);

    VG_SetContGrabSt(ON);
    VG_SetContGrabSt(OFF);
    while (VG_GetGrabSt());

    VG_QuitLib();
}
```

## ANEXA 7.7

## Interfața grafică a programului de prelucrare a imaginilor achiziționate de camera CCD

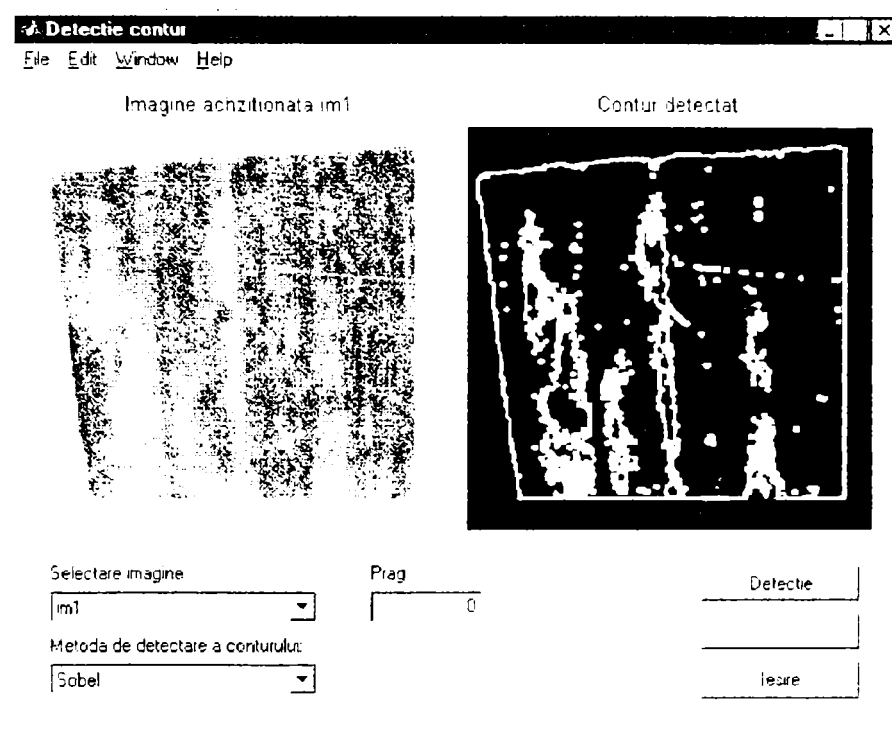


Figura A 7.7.1. Interfața utilizator a programului de prelucrare a imaginilor sculelor: imaginea sculei neuzate (*stânga* – imaginea achiziționată, *dreapta* – imaginea prelucrată)

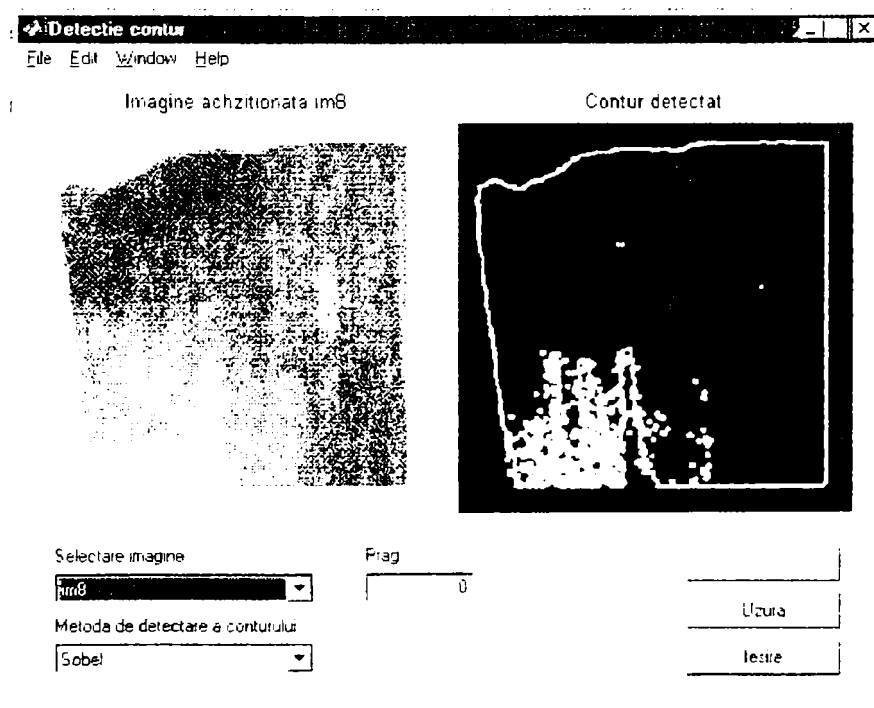
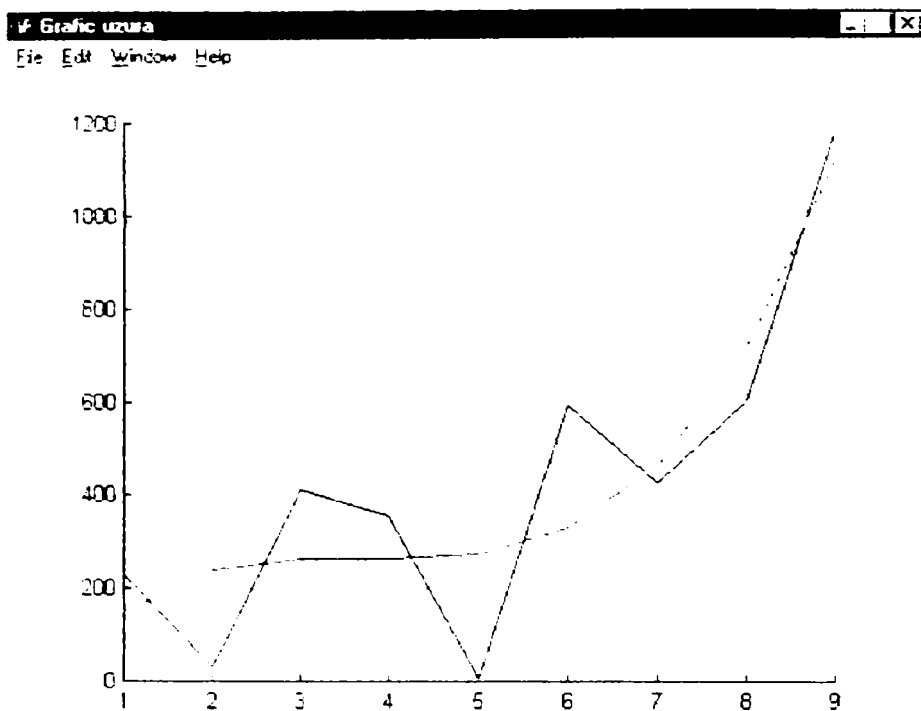


Figura A 7.7.2. Interfața utilizator a programului de prelucrare a imaginilor sculelor: imaginea sculei cu un anumit grad de uzură (*stânga* – imaginea achiziționată, *dreapta* – imaginea prelucrată)



**Figura A 7.7.3.** Graficul suprafeței uzate a sculei pe suprafața de așezare, calculate folosind imaginile achiziționate pentru avans: 0,25 mm/rot, turație : 500 rot/min, material sculă Rp3, material piesă : OLC45, interval de achiziționare 1 min. Pe abscisă este reprezentat timpul în minute, iar pe ordonată valoarea uzurii în pixeli x pixeli.