

PROGRAM CEEEX Nr. 22-103/10.10.2005 –INFOSOC

Metode de simulare, modelare si productie virtuala sau digitala bazata pe tehnologia informatiei si comunicarii (ICT) si dedicate noii generatii de sisteme de prelucrare reconfigurabile

RAPORT DE CERCETARE

pentru perioada de desfasurare a programului
ianuarie-decembrie 2006

ETAPA II

- 1. Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe noi metode de modelare*
- 2. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto*

Institutie finantatoare

MINISTERUL EDUCATIEI SI CERCETARII
CENTRUL PENTRU MANAGEMENT PROGRAME

Consortiul programului

UNIVERSITATEA “DUNAREA DE JOS” DIN GALATI–UGAL–ITCM - coordonator
UNIVERSITATEA TEHNICA “GH. ASACHI” DIN IASI – UTI
UNIVERSITATEA “LUCIAN BLAGA” DIN SIBIU –ULBSibiu
UNIVERSITATEA DIN BACAU – UBC – CCIMT
ICPE BUCURESTI – ICPE Bucuresti

Decembrie 2006

I. OBIECTIVELE GENERALE ALE PROGRAMULUI

1. Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru producerea adaptiv/inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

- 1.1.-Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile
- 1.2.-Modelarea si simularea procesului de prelucrare
- 1.3.-Algoritm pentru conducerea dimenisonala adaptiv inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile
- 1.4.-Verificarea experimentală a tehnicilor bazate pe ICT dezvoltate in cadrul proiectului

2.Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe noi metoda de modelare

- 2.1. Dezvoltarea unei metodologii de proiectare a modelelor de conducere a sistemelor tehnologice up-down si down-up.
- 2.2. Extinderea noilor metode de modelare la programarea controlerelor logice cu GRAFCET
- 2.3. Optimizarea ordonantarii activitatilor unui sistem tehnologic reconfigurabil folosind SINCONPETRI
- 2.4. Folosirea serverelor de aplicatii OLE (Object Linked Enable) Microsoft si a OPC (Object Factory Server) Schneider pentru implementarea interfetelor Human-Machine si a legaturii cu PLC.

3. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto

- 3.1. Dezvoltarea unei tehnici predictive bazata pe element finit pentru controlul formei matritelor cu pini reconfigurabili
- 3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazata pe cunostinte
- 3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilitatii
- 3.4. Simularea numerica a deformarii unor caroserii cu pini reconfigurabili

4. Sinteza unor noi tehnici de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare

- 4.1. Sinteza unei noi metode pentru modelarea infasurarii suprafetelor, aplicabile pe masini care genereaza vartejuri ordonate de suprafete
- 4.2. Modelari ale unor suorafete cu evolutie continua in scopul reconfigurarii unor masini de rectificat
- 4.3. Modelarea suprafetelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile
- 4.4. Metode de modelare reconfigurarii colective aplicabile pe masini de danturat

5. Realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

- 5.1. Algoritm de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil pentru caroserii auto
- 5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru functionarea virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

PLANIFICAREA SI REALIZAREA OBIECTIVELOR

<p>Etape / Activități realizate ETAPA II</p>	<p>Obiective realizate / Obiective planificate</p>
<p>ETAPA II.1. Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe noi metode de modelare</p> <p>Activitățile II.1, II.2, II.3 și II.4 din planul de realizare al etapei II.1 2006</p>	<p>1.1. Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricație reconfigurabile (continuare)</p> <p>1.2. Modelarea și simularea proceselor de prelucrare (cont)</p> <p>1.3. Algoritm pentru conducerea dimensiunilor adaptiv inteligentă a sistemelor de fabricație reconfigurabile Planificate și realizate 100%</p> <p>2.1. Dezvoltarea unei metodologii de proiectare a modelelor de conducere a sistemelor tehnologice top down și bottom top Planificată pentru 2006 și realizată 100% în anul 2005</p> <p>2.4. Folosirea serverelor de aplicații OLE (Object Linked Enable) Microsoft și a OPC (Object Factory Server) Schneider pentru implementarea interfeței or –Human-Machine și a legăturii cu FLC.</p> <p>Planificată pentru 2007 și realizată 50% în anul 2006</p> <p>3.1. Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității și stemelor flexibile de fabricație a caroseriilor auto Planificate și realizate 100%</p> <p>4.1. Sinteza unei noi metode pentru modelarea înfășurării suprafețelor; aplicabile de mașini care generează vațejuri ordonate de suprafețe</p> <p>4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurable (continuare)</p> <p>4.4. Metoda de modelarea reconfigurării colective aplicabile pe mașini de danturat Planificate și realizate 100%</p>
<p>ETAPA II.2. Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității sistemelor flexibile de fabricație a caroseriilor auto</p> <p>Activitățile III.1, III.2, III.3 și III.4 din planul de realizare al etapei II.2 2006</p>	<p>3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazată pe cunoștințe Planificate și realizate 100%</p> <p>3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilității Planificată pentru 2007 și realizată 80% în 2006</p> <p>4.2. Modele ale unor suprafețe cu evoluție continuă în scopul reconfigurării unor mașini ce rectifică</p> <p>4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurable (continuare) Planificate și realizate 100%</p> <p>5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru funcționarea virtuală a unui sistem de fabricație reconfigurabil Planificată pentru 2007 și realizată 50% în 2006</p>

II. OBIECTIVELE ETAPEI II CONFORM PLANULUI DE REALIZARE

1.1. Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

1.2. Modelarea si simularea procesului de prelucrare

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

1.3. Algoritm pentru conducerea dimenisonala adaptiv inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

2.1. Dezvoltarea unei metodologii de proiectare a modelelor de conducere a sistemelor tehnologice up-down si down-up.

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

3.1 Dezvoltarea unei tehnici predictive bazata pe element finit pentru controlul formei matritii cu pini reconfigurabili.

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazata pe cunostinte

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilitatii

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

4.1 Sinteza unei noi metode pentru studiul infasurarii suprafetelor, aplicabila pe masini cu cinematica reconfigurabila – software pentru masina de danturat.

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

4.2. Modelari ale unor suorafete cu evolutie continua in scopul reconfigurarii unor masini de rectificat

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

4.3 Modelarea suprafetelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

4.4 Modelari ale formei constructive a sculelor de injectie in vederea reconfigurabilitatii functionale ale acesteia

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru functionarea virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

Participanti – UGAL, UTI, ULBSibiu, UBC-CCIMT, ICPE Bucuresti

II. REZUMATUL ETAPEI

In aceasta etapa s-au continuat cercetarile efectuate in etapa anterioara prin realizarea unor activitati de dezvoltare conceptuala, a unor algoritmi si produse soft pentru conducerea sistemelor reconfigurabile si pentru modelarea suprafetelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile, proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto. Tinta acestor cercetari este **dezvoltarea unor sisteme de fabricatie care sa aiba capacitatea de a-si modifica sub-sistemul de conducere**, in acord cu modificarile ce apar in ceea ce privesc proprietatile tehnologice ale materialului prelucrat, proprietatile mecanice ale materialelor sculelor/elementelor active folosite, precum si succesul pe piata al produsului obtinut in urma prelucrarii. In cadrul acestei etape s-au realizat urmatoarele:

- Algoritm si produs soft pentru **conducerea optimal-adaptiv/inteligenta** a proceselor de prelucrare prin aschiere.
- Plan de experimente fizice si numerice pentru **testarea si validarea** functiei de conducere optimala, respectiv adaptiv/inteligenta a **produsului sot realizat**.
- **Modelarea sistemelor de fabricatie** si realizarea unei aplicatii SF.exe pentru crearea, modificarea, verificarea si gestionarea programelor-piesa pentru comanda masinilor-unelte.
- **Algoritm de predictie**, bazat pe analiza cu elemente finite, pentru controlul formei matritelor reconfigurabile cu pini.
- **Soft pentru proiectarea suprafetei matritei reconfigurabile cu pini**, folosind metoda generarii suprafetelor.
- Studiul metodelor de dezvoltare a unei **scheme de reconfigurabilitate bazate pe cunostinte** in vederea aplicarii acesteia la sisteme flexibile de fabricatie a caroseriilor auto.
- Simulari numerice cu programe de element finit pentru **identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilitatii**.
- **Metoda de reprezentare, in forma discreta, a suprafetelor**, in baza careia s-au elaborat algoritmi pentru profilarea sculelor care genereaza virtejuri ordonate de suprafete. Noul algoritm a fost verificat, prin comparare, pentru profiluri elementare, cu metodele fundamentale ale infasurarii suprafetelor si, de asemenea, cu metodele teoremelor complementare. S-a elaborat un produs soft dedicat, in limbajul de programare *java* cu applet-uri interactive.
- **Schemele cinematice de reconfigurare a unei masini de rectificat rotund**, in scopul modelarii unor noi tipuri de suprafete - surafete cu evolutie continua (suprafete poliforme conice). Pentru modelara numerica s-au elaborat modelele matematice ale acestor tipuri de suprafete si produsele soft dedicate.
- In scopul reconfigurarii sculei-cremaliera, pentru modelarea generarii virtejurilor ordonate de suprafete, se sintetizeaza, in mediul AUTOCAD, algoritmi specifici in baza carora se propune **o noua forma constructiva a**

- sculei–cremaliera cu structura reconfigurabila* in functie de numarul de dinti ai rotii generate, in scopul reducerii marimii fortei principale de aschiere.
- Conceperea si experimentarea unui **program pentru functionarea virtuala a unui sistem reconfigurabil de fabricatie**. Programul este alcatuit din doua module:
 - **modulul 1** „erori-sectiune” folosit pentru autodiagnoza masinii-unelte;
 - **modulul 2** „secvential-sectiune” folosit pentru comanda propriu-zisa a masinilor-unelte; acest modul, la randul lui, are structura: **pre-procesor** (pentru gestionarea regimurilor de lucru a masinilor-unelte), **procesor**, **post-procesor** (pentru asigurarea depasirii interblocajelor specifice aplicatiei si gestionarea modului de lucru automat.

 - Cercetarile efectuate in cadrul consorziului s-au materializat printr-un numar mare de brevete si publicatii, dupa cum urmeaza:
 - **4 brevete de inventie**;
 - **43 lucrari** publicate in reviste de specialitate recunoscute international si CNCSIS, din care : * **10 articole publicate in reviste cotate ISI** si
* **33 articole publicate in reviste indexate in baze de date internationale** si reviste din tara **recunoscute CNCSIS**;
 - **2 carti** publicate in edituri recunoscute.

De asemenea au fost dezvoltate resursele de cercetare (resurse informationale, resurse de calcul si resurse de experimentare in laborator) necesare pentru efectuarea cercetarilor in cadrul etapei curente si pentru continuare investigatiei stiintifice legata de obiectivele fazei urmatoare.

II. PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE

IV.1. Premisele stiintifice generale ale proiectului

Sistemele de manufacturare reconfigurabile – RMS – ca abordare prioritara pentru platforma tehnologica Europeana, se definesc ca fiind sisteme adaptabile, cu echipamente si procese integrate care pot fi rapid reconfigurate pentru o gama larga de produse si servicii cu scopul de a eficientiza costurile de fabricatie (“new cost effective”) si de a diminua timpul de lansare a unui nou produs (“time-saving”).

In cadrul unui RMS, componentele hardware si software, subprocesoarele si subsistemele acestuia sunt conectate si programate prin intermediul unor interfete astfel incat sa asigure realizarea ciclurilor de fabricatie complete pentru un produs, dar ideea novativa este adaptabilitatea acestora la orice tip de produs dintr-o familie de produse.

Instrumentele de realizare a unui RMS sunt: (1) matrite/masini flexibile de fabricatie, (2) metode teoretice noi, (3) sisteme de fabricare noi, (4) simulare si modelare si (5) concepte de comunicare si control.

Etapele de realizare a proiectului cuprind: (1) proiectarea matritelor de deformare a caroseriilor auto folosind pini reconfigurabili, (2) elaborarea unor noi metode teoretice de generare a cinematicii masinilor reconfigurabile, (3) optimizarea sistemelor flexibile de fabricatie cu aplicatie la caroserii auto si linii de gaurire a profilelor, (4) deformarea plastica virtuala a unor repere de caroserii auto cu matrite reconfigurabile si stabilirea fluxurilor tehnologice pentru schema de reconfigurabilitate a sistemului, (5) crearea interfetelor cu servere OLE Schneider Electric pentru comunicarea om-masina.

Fundamentele teoretice pentru sistemele reconfigurabile includ bazele stiintifice care stau la baza modelarii proceselor de prelucrare. Simularea sistemelor de prelucrare ar trebui sa se bazeze pe o clasificare unificata privind caracteristicile proceselor ce include caracteristici umane in modelele proceselor. Alte arii de cercetare include teoria adaptabilitatii ce poate fi transpusa la nivelul proceselor de prelucrare, a sistemelor si intreprinderilor productive; instrumente pentru optimizarea proiectarii care sa incorporeze metode inteligente de predictie si modelare, dezvoltarea unui control adaptiv in care sa se tina seama de interactiunea dintre om si masina.

Sistemele de prelucrare noi sunt necesare pentru procese si sisteme de productie reconfigurabile care se pot schimba in acord cu modificarile legate de: (1) materialul de prelucrat, (2) materialul si geometria sculei/elementului activ, (3) cerintele pietii si (4) succesul de piata al produsului rezultat in urma prelucrarii.

IV.2. Premisele stiintifice si tehnice ale etapei

Premisele stiintifice si tehnice ale etapei II sunt prezentate la nivelul fiecarui obiectiv in parte pentru o mai mare claritate a acestora.

In continuare sunt descrise obiectivele etapei curente, fiecare avand structura de baza a raportului de cercetare (rezumat, cuprins, premise, metode, rezultate, concluzii, bibliografie, anexe).

OBIECTIVUL 1

DEZVOLTAREA UNEI TEHNICI BAZATE PE ICT PENTRU PRELUCRAREA ADAPTIV/INTELIGENTA A SISTEMELOR DE FABRICATIE RECONFIGURABILE

REZUMAT

Ideea principala este aceea ca, dupa reconfigurare, un sistem de fabricatie reconfigurabil este practic un sistem nou, foarte putin cunoscut care trebuie condus pentru fabricarea unui obiect care este, de asemenea, foarte putin cunoscut. Ca urmare, este necesara dezvoltarea unor tehnici de identificare on-line a sistemului si procesului de prelucrare (indiferent de natura fizica a procesului: aschiere, deformare plastica, injectia maselor plastice, electroeroziune, presarea pulberilor etc.), care sa conduca la obtinerea unui model capabil a fi folosit pentru simularea functionarii ansamblului, realizarea virtuala a produsului si elaborarea setului de comenzi necesare

Folosind tehnici din domeniul inteligentei artificiale se dezvolta algoritmi de identificare a comportarii sistemului de fabricatie reconfigurabil. Modelele astfel obtinute sunt folosite pentru simularea functionarii sistemului in cursul prelucrarii unui nou exemplar din lotul de piese. Scopul urmarit este minimizarea efectelor campurilor mecanice, termice si electrice asupra constructiei sistemului de fabricatie reconfigurabil. In principal, procedura de minimizare va consta in modificarea adecvata a comenzii astfel incat productivitatea sistemului sa se mentina la un nivel cat mai inalt.

PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE

Procesele de maine se vor desfasura din ce in ce mai mult in retele complexe, care adesea opereaza peste granitele companiilor si in spatiu international. Fabricarea bazata pe cunoastere implica nu numai utilizarea cunoasterii pentru optimizarea proceselor si a resurselor de productie specifice, ci si integrarea acestei cunoasteri si a transferului ei prin intermediul platformelor de cunoastere si a retelelor competente spre alte domenii unde poate constitui un avantaj.

Tinta cercetarilor actuale este dezvoltarea unor sisteme de fabricatie care sa aiba capacitatea de a-si modifica sub-sistemul de conducere, in acord cu modificarile ce apar in ceea ce privesc proprietatile tehnologice ale materialului prelucrat, proprietatile mecanice ale materialelor scule-lor/elementelor active folosite, precum si succesul pe piata al produsului obtinut in urma prelucrarii.

METODE SI REZULTATE

1.1 Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

1.1.1. Introducere

Industria manufacturieră utilizează pentru fabricația în serie a produselor sale un portofoliu de sisteme de fabricație dedicate și flexibile.

Liniile de fabricație dedicate (DML) sunt bazate pe automatizarea fixă necostisitoare. Fiecare linie dedicată este proiectată să producă o singură componenta cu o productivitate ridicată și cost relativ scăzut. Dar, în condițiile introducerii cu frecvență ridicată a produselor noi și a marii fluctuații a cererii de produse, pot apare situații în care liniile de fabricație nu operează la întreaga lor capacitate. În aceste cazuri capitalul existent în atelier și o mare parte a investițiilor de capital sunt irosite.

Sistemele de fabricație flexibile (FMS) constau în mașini de uz general scumpe, cu comandă numerică (CNC) și pot realiza o mare varietate de produse, variabile ca volum de fabricație. De vreme ce aplicațiile specifice nu sunt cunoscute producătorilor de mașini, FMS sunt realizate cu toate posibilitățile funcționale. Acest lucru creează o irosire a capitalului.

Pentru a diminua risipirea de capital s-a dezvoltat o nouă categorie de sisteme de manufacturare numite „reconfigurable manufacturing systems” (RMS) la care, atât mașinile unelte cât și sistemul de manufacturare în ansamblu au următorul set de caracteristici de bază: modularitate, convertibilitate, integrabilitate, scalabilitate, diagnozabilitate și personalizare.

Ideile pe care se bazează această nouă paradigmă sunt următoarele:

- mai întâi (RMT)-urile ce intră în componența RMS-ului trebuie să aibă o structură modulară, iar modulele să aibă un nivel înalt de integrabilitate, astfel încât, folosind o bibliotecă cu un număr mic de module, să se poată obține rapid oricare dintre RMT-urile componente (convertibilitate). Altfel spus, cu aceleași module disponibile să se poată obține o gamă largă de RMT-uri, iar la fiecare RMT să se poată asigura productivitatea necesară (scalabilitate). În acest fel se reduce capitalul irosit.
- în al doilea rând, sistemul de programare, monitorizare și control al RMT-ului trebuie să fie modular și să aibe arhitectură deschisă, astfel încât să se poată reconfigura ușor structura, adăugând sau scoțând module după necesități (modularitate).
- în cel de al treilea rând, pentru ca RMS-ul să poată oferi capabilitățile de mai sus, este necesar ca domeniul de utilizare al acestuia să fie restrâns la o anumită familie de piese (customization).

- în cele din urmă sistemul de control trebuie să aibe capacitatea de a detecta sursele de abateri care afecteaza calitatea produsului si de a reduce efectul acestora (diagnozabilitate).

Prezenta lucrare se referă la o metodă de identificare dimensională a RMT-ului în scopul de a asigura diagnozabilitatea acestuia. Astfel, mai întâi, din module diferite a fost obținută o mașină unealtă care asigură funcționabilitatea necesară într-o anumită stație de lucru a RMS-ului. Apoi, pentru a obține diagnozabilitate, se montează senzorii cu care se va monitoriza funcționarea masinii-unelte, precum și echipamentele cu care vor fi evaluate abaterile dimensionale ale produsului. Semnalele senzorilor și abaterile dimensionale ale produsului vor fi înregistrate, iar prin procesarea acestor date RMT-ul va fi identificat.

Relația dintre componentele erorii și cauzele care determină apariția acestora a fost modelată de mulți cercetători.

Astfel X.Li (20), modelează deformarea elastica a ansamblului masina-uneltea – piesa datorata fortei de aschiere la strunjire folosind o retea neuronală pentru determinarea relatiei dintre componentele fortei de aschiere si abaterile dimensionale rezultate la piesa finita.

Hong Yang și Jun Ni (6), propun o metodologie de modelare a erorii termice, denumită „Modelarea dinamică a erorii termice”, care îmbunătățește acuratețea mașinii-unelte. Teoria de identificare a sistemului este aplicată pentru realizarea modelului erorii termice dinamice pentru predicția on-line a acesteia.

Choudhury S. K., V. K. Jain și S. Rama Krishna (1), au dezvoltat un senzor pentru monitorizarea on-line și controlul abaterilor dimensionale ale piesei, datorate uzurii sculei în timpul strunjirii. Senzorul cu fibră optică a fost utilizat pentru sesizarea modificărilor dimensionale ale piesei în diferite condiții ale procesului de așchiere. S-a presupus că aceste schimbări dimensionale se datorează uzurii flancului sculei. A fost dezvoltat un soft de tip rețea neuronală pentru predicția on-line a uzurii sculei, și a fost dezvoltat sistemul de compensare a uzurii sculei în direcție radială.

Se constată că în modelele prezentate în literatură, cauzele considerate au fost abaterile geometrice ale ghidajelor, lagărelor și ale altor elemente ale masinii (3, 13, 2), uzura sculei (16), deformația termică a mașinii (19) și deformația elastică provocată de acțiunea forței de așchiere (4, 7, 15, 9,14). Celelalte cauze, cum ar fi de exemplu revenirea elastica a semifabricatului după îndepărtarea unui strat de material, deformația provocată de fixarea semifabricatului în cursul prelucrării, variația în timp a comportării sistemului masina-uneltea - piesa, nu au fost considerate.

Pentru descrierea relației dintre eroare și cauzele care o produc, s-au folosit în principal modele analitice (6, 17, 19, 3, 13, 7, 15), rețele neuronale (20, 2, 16, 4, 13), modele ARMA (3) și modele „grey” (9, 10). Pe de altă parte modelele prezentate, deși sunt complicate, au domeniul de valabilitate restrâns, astfel încât nu pot fi utilizate atunci când forma piesei prelucrate se schimbă, sau când comportarea dimensională a RMT-ului se modifică în timp și spațiu. În fine,

constructia acestor modele presupune derularea unor programe experimentale speciale, mari consumatoare de timp.

Metoda de identificare a comportării dimensionale a RMT-ului prezentată în această lucrare, încearcă să elimine aceste neajunsuri prin aceea că:

- datele pe baza cărora se identifică comportarea dimensională a RMT-ului sunt obținute din monitorizarea RMT-ului în cursul funcționării lui curente;
- descrierea comportării RMT-ului se realizează, nu printr-un model general, ci printr-un algoritm nou de supervizare și extragere a cunostintelor, aplicat local și anume aplicat unui set recent de date rezultate din funcționarea curentă a RMT-ului;
- descrierea RMT-ului prin metoda propusă urmărește îndeaproape evoluția în timp a comportării acesteia;
- se modelează abaterea în întregime, nu doar a anumite componente ale acesteia.

Metoda de identificare propusă, conduce la obținerea unei bune corespondențe între valorile precise și cele măsurate, astfel că în cazul compensării erorii, acuratetea (precizia) dimensională a piesei poate fi majorată de peste 10 ori.

1.1.2. Principiul metodei

1.1.2.1 Aspecte generale

Identificarea înseamnă construcția modelului unui sistem pe baza datelor obținute prin măsurarea variabilelor de intrare și de ieșire din sistem, în cursul funcționării experimentale a acestuia. Modelul obținut este apoi folosit pentru ca, știind valorile variabilelor de intrare într-un moment al funcționării sistemului, să se determine valorile variabilelor de ieșire.

În general variabilele de intrare caracterizează procesul (de exemplu parametrii procesului de așchiere) iar variabilele de ieșire sunt indicatori de performanță ai produsului. În cazul identificării dimensionale a RMT-urilor, indicatorul de performanță considerat este deviația suprafeței reale a piesei prelucrate, în raport cu suprafața programată, scopul urmărit fiind determinarea valorii deviației în vederea diminuirii sau compensării acesteia.

Să considerăm că un RMT a fost reconfigurat și i s-a schimbat scula, pentru a fi capabil să prelucereze o altă piesă din familia de piese a RMS-ului. Ca urmare a acestor schimbări comportarea RMT-ului s-a schimbat și modelul care descria până în acel moment comportarea lui nu mai este valabil. Se impune reidentificarea RMT-ului, ceea ce reprezintă o componentă importantă a lui ramp-up-time.

Să considerăm, de asemenea, că acest RMT prelucerează un lot de piese și s-a ajuns în momentul prelucrării exemplarului n din lot. Ne propunem să

identificam relatia dintre abaterea dimensionala aparuta in cursul prelucrarii acestui exemplar si datele rezultate din monitorizarea RMT-ului pe parcursul prelucrarii celorlalte $n-1$ exemplare.

1.1.2.2 Analiza fenomenelor si stabilirea variabilelor

Daca procesul de prelucrare este unul de aschiere, atunci deviatia are drept cauze principale urmatoarele fenomene:

- deformatia elastica a RMT-ului sub actiunea campului mecanic creat de fortele din proces (forte de aschiere, de inertie, de fixare sau de gravitatie);
- deformatia termo-elastica a RMT-ului sub actiunea campului termic ce apare in sistem in timpul functionarii, ca urmare a actiunii surselor termice;
- uzarea componentelor RMT-ului (mai cu seama uzarea sculei), care evolueaza monoton in timp;
- copierea erorilor de forma si pozitie a componentelor RMT-ului (cum ar fi nerectilinitatea ghidajelor, pozitionarea imperfecta a modulelor ce compun RMT-ul, erorile buclelor de control al traiectoriei diferitelor module, etc.) care este strans legata de pozitia sculei in lungul traiectoriei acesteia;
- revenirea elastica (springback) a piesei prelucrate, ca urmare a faptului ca a fost indepartat un strat de material prin aschiere (mai ales la piesele tip carcasa, bare, placi, discuri).

In plus, in problema identificarii RMT-urilor trebuie considerate urmatoarele observatii:

- comportarea RMT-ului se modifica mult, atat datorita reconfigurarii, cat si ca urmare a schimbarii formei si dimensiunilor piesei prelucrate, a sculei, a sistemului de fixare, etc;
- chiar comportarea RMT-ului (adica masura in care fenomenele de mai sus influenteaza aparitia deviatiei) evolueaza in timp si spatiu, din cauza numarului mare de elemente ce-l compun si a complexitatii acestora.

Aspectele relevate mai sus impun ca:

- datele pe baza carora se construiesc modelul sa fie obtinute din monitorizarea RMT-ului real, aflat intr-un anumit moment al evolutiei acestuia;
- modelul sa fie permanent reconstruit, pentru ca sa surprinda evolutia permanenta a RMT-ului;
- timpul necesar pentru reconstructia modelului si aplicarea acestuia in vederea detrerminarii valorii deviatiei sa fie cat mai scurt.

Pentru evaluarea campului mecanic al fortelor din proces se vor folosi variabilele $F(1)$, $F(2)$, $F(3)$, ... obtinute prin procesarea semnalelor transmise de senzorii montati in diferite puncte ale sistemului.

Pentru evaluarea campului termic se vor folosi variabilele $T^{(1)}$, $T^{(2)}$, $T^{(3)}$, ..., obtinute prin procesarea semnalelor transise de senzorii de temperatura plasati in diferite puncte ale sistemului.

Uzura componentelor RMT-ului are acelasi efect ca si erorile de forma si pozitie ale acestor componente. Erorile de forma si pozitie se modifica rapid in spatiu (adica in lungul lui tool path) si lent in timp. Uzura variaza lent si monoton in timp. De aceea pentru evaluarea uzurii si a erorilor de forma si pozitie se va folosi spatiul si timpul drept variabile ale modelului.

Rezulta ca modelul sistemului ar putea avea ca variabile de intrare: i) campul mecanic, ii) campul termic, iii) spatiul (pozitia sculei in lungul traiectoriei ei) si iv) timpul, iar ca variabile de iesire componentele deviatiei suprafetei reale in raport cu suprafata programata.

1.1.2.3 Segmentarea traiectoriei sculei

Practica industrială arată că în timpul funcționării RMT-ului viteza de variație a variabilelor de intrare este foarte diferită. Astfel, atât uzura, cât și erorile de formă și poziție ale componentelor, variaza lent, încât se poate considera că, pe parcursul prelucrării unui exemplar sau a mai multor exemplare, acestea rămân neschimbate. Deformația termo-elastică variaza ceva mai rapid iar deformația elastică, datorată campului de forțe, variaza și mai rapid, ca urmare a modificării atât a forței de așchiere cât și a rigidității sistemului în lungul traiectoriei sculei.

Pentru fiecare variabilă de intrare există o fereastră restrânsă în care variabilele de ieșire pot fi considerate constante, și o altă extinsă, în care se poate considera că variabilele de ieșire depind liniar de respectiva variabilă de intrare.

Privitor la variabilele de ieșire se constată că, pentru a măsura deviația, aparatul de măsură trebuie să exploreze o zonă a suprafeței, a cărei extindere este specifică respectivului aparat de măsură. De exemplu, pentru măsurarea diametrului unei suprafețe cilindrice cu ajutorul unui micrometru este necesară explorarea unei zone de cel puțin 10 mm lungime. Deviația astfel evaluată va caracteriza respectiva zonă a suprafeței. Pe de altă parte deviația depinde de valorile ce le-au avut variabilele de intrare în cursul (în timpul) prelucrării zonei care, de asemenea, vor caracteriza zona. Putem deci considera că în cursul prelucrării zonei, sistemul de manufacturare se află în *steady-state regime*, iar valorile variabilelor de stare sunt: valoarea măsurată a deviației și valorile medii ale variabilelor de intrare.

Pentru a prelucra suprafața piesei în zona pe care aparatul de măsură o explorează în cursul evaluării deviației, scula parcurge un segment din traiectoria (path) ei. Facând binning-ul traiectoriei sculei în p bin-uri, procesul de prelucrare se prezintă ca o succesiune de N steady states. În acest fel evoluția continuă a RMT-ului în cursul funcționării a fost înlocuită cu o evoluție având N trepte. Cumulând traiectoriile sculei corespunzătoare exemplarelor din lot se

obține *traiectoria cumulata (cumulated tool path)*, adică path-ul parcurs de scula la prelucrarea întregului lot de piese.

Ferestrele restranse și extinse ale fiecărei variabile de intrare, precum bin-ii traiectoriei sculei, pot fi corelate astfel încât să poată fi marcate pe traiectoria cumulată, printr-o structură de borne kilomerice (milestones) la care unitatea de măsură este bin-ul variabilei de ieșire, iar lățimea ferestrelor restranse sau extinse ale variabilelor de intrare vor avea un număr întreg de bin-i.

Domeniul de identificare a RMT-ului ar putea fi unitatea de măsură a structurii de borne kilometrice. Ca urmare identificarea RMT-ului se reduce în fapt la determinarea relației dintre variabilele de intrare și ieșire, corespunzătoare unei milestone, ceea ce reprezintă descrierea comportării locale a RMT-ului.

1.1.2.4 Starea sistemului. Tranzitiile sistemului

Pentru caracterizarea stării staționare a sistemului corespunzătoare unui anumit bin al traseului sculei se vor utiliza următoarele variabile:

- variabile care descriu câmpul mecanic; acestea pot fi componente ale forței de așchiere sau ale altor forțe din sistem; $F^{(1)}$, $F^{(2)}$, $F^{(3)}$ reprezintă valorile medii ale acestora pe lățimea unui bin;
- variabile care descriu câmpul termic, acestea pot fi valorile medii $T^{(1)}$, $T^{(2)}$, $T^{(3)}$ ale temperaturii din diverse puncte ale RMT-ului;
- variabila i reprezintă numărul de ordine al bin-ului traseului sculei;
- variabila k reprezintă numărul de ordine al grupului de piese prelucrate pentru care, atât uzura cât și erorile de formă și poziție pot fi considerate neschimbate.

Numerotarea grupului de piese prelucrate pentru care uzura este considerată neschimbată are ca origine piesa curentă, de exemplu dacă pe parcursul a două piese uzura poate fi considerată neschimbată, atunci piesele n și $n-1$ formează un asemenea grup care are numărul de ordine $k=1$, iar piesele $n-2$, $n-3$ un al doilea grup pentru care $k=2$ și așa mai departe. Această variabilă caracterizează uzura sculei și comportamentul sistemului MTW corespunzătoare perioadei în care se prelucurează piesa curentă;

- deviația δ corespunzătoare binului cu numărul de ordine i .

Valorile variabilelor F , T și δ vor fi apropiate, scalate pe domeniul lor de variație astfel încât toate variabilele să poată fi reprezentate prin numere întregi. De exemplu în fig. 1.1.1 aceste variabile au fost scalate pe șase nivele.

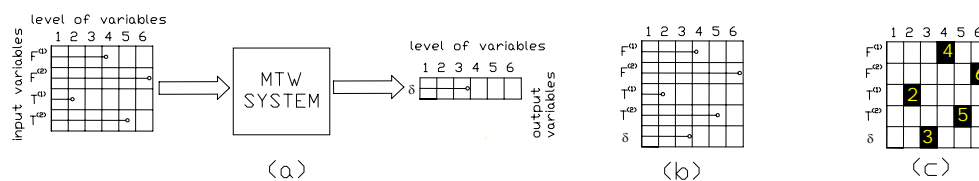
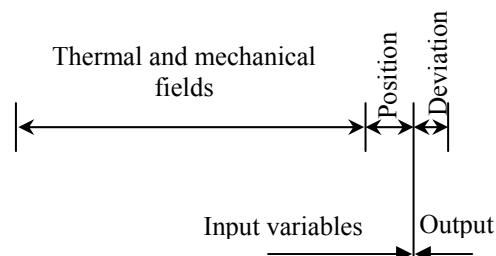


Fig. 1.1.1 Trei forme de reprezentare a stării sistemului corespunzătoare unui bin dintr-o binie a traiectoriei sculei

Vom defini starea RMT-ului printr-un set de numere intregi ce reprezinta campurile termic si mecanic, pozitia si deviatia. Starea RMT-ului la un moment dat se va simboliza astfel:



$$S = \{F^{(1)} F^{(2)} F^{(3)} \dots T^{(1)} T^{(2)} T^{(3)} \dots i k \delta\},$$

unde $F^{(1)}, F^{(2)}, F^{(3)}$ reprezinta valorile obtinute prin prelucrarea semnalelor transmise de senzorii de forta plasati in diferite puncte ale sistemului, $T^{(1)}, T^{(2)}, T^{(3)}$ reprezinta temperaturile masurate in diverse puncte ale sistemului, i reprezinta numarul zonei din traiectoria sculei corespunzatoare prelucrarii unui exemplar, iar k este numarul curent al grupului de piese prelucrate pentru care, atat uzura, cat si erorile de forma si pozitie pot fi considerate neschimbate.

Pentru simplificare, sa consideram campul mecanic evaluat intr-un singur punct al sistemului, si la fel, campul termic este dat de temperatura dintr-un singur punct al masinii. In acest caz patru stari ale masinii pot fi notate astfel $S_1 = \{F_1 T_1 i_1 k_1 \delta_1\}$, $S_2 = \{F_2 T_2 i_2 k_2 \delta_2\}$, $S_3 = \{F_3 T_3 i_3 k_3 \delta_3\}$, $S_4 = \{F_4 T_4 i_4 k_4 \delta_4\}$.

In spatiul starilor se defineste urmatoarea metrica. Diferenta dintre starile S_1 si S_2 este: $S_1 - S_2 = \{(F_1 - F_2)(T_1 - T_2)(i_1 - i_2)(k_1 - k_2)(\delta_1 - \delta_2)\}$. (1.1.1)

$$\text{Distanța dintre stari este } d(S_1, S_2) = |F_1 - F_2| + |T_1 - T_2| + |i_1 - i_2| + |k_1 - k_2|. \quad (1.1.2)$$

Mai multe stari se considera apartinand aceleiasi clase de echivalenta daca variabilele lor de intrare indeplinesc o conditie data. Pentru exemplificare sa consideram clasificarea starilor functie de distanta lor fata de o stare data. Starile care se afla la distanta a fata de starea data formeaza clasa de echivalenta de ordinul a . In particular, daca $a=0$, atunci starile sunt identice.

Tranzitia se defineste ca fiind o pereche de stari, din care una se considera stare initiala iar a doua stare finala, si se simbolizeaza astfel:

$$\tau_{(1,2)} = \left\{ \begin{array}{ccccc} F_1 & T_1 & i_1 & k_1 & \delta_1 \\ F_2 & T_2 & i_2 & k_2 & \delta_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \downarrow \text{Stare initiala} \\ \uparrow \text{Stare finala} \end{array} \quad (1.1.3)$$

$$\text{Fie tranzitia } \tau_{(3,4)} = \begin{Bmatrix} F_3 & T_3 & i_3 & k_3 & \delta_3 \\ F_4 & T_4 & i_4 & k_4 & \delta_4 \end{Bmatrix}.$$

Se definește diferența între cele două tranzitii astfel:

$$\tau_{(1,2)} - \tau_{(3,4)} = \begin{Bmatrix} F_1 - F_3 & T_1 - T_3 & i_1 - i_3 & k_1 - k_3 & \delta_1 - \delta_3 \\ F_2 - F_4 & T_2 - T_4 & i_2 - i_4 & k_2 - k_4 & \delta_2 - \delta_4 \end{Bmatrix}. \quad (1.1.4)$$

Vom considera că două tranzitii sunt echivalente dacă diferența lor are forma următoare:

$$\tau_{(p,q)} - \tau_{(r,s)} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & a & b & \delta_p - \delta_r \\ 0 & 0 & a & b & \delta_q - \delta_s \end{Bmatrix}, \quad (1.1.5)$$

$$\text{unde } \begin{aligned} a &= i_p - i_r = i_q - i_s \\ b &= k_p - k_r = k_q - k_s \end{aligned}$$

Două tranzitii echivalente au aceeași variație a marimilor de intrare (campul mecanic (F), campul termic (T) și poziția (i, k)), și de aceea vor avea aceeași variație a marimilor de ieșire, adică

$$(\delta_p - \delta_r) = (\delta_q - \delta_s) \quad (1.1.6)$$

1.1.2.5 Algoritm de identificare

Actualele metode de identificare constau în: *i)* derularea unui program experimental extins care să acopere întregul spațiu al stărilor sistemului, *ii)* construcția modelului prin procesarea setului de date obținut în urma experimentării și *iii)* aplicarea modelului pentru a realiza predicția valorilor variabilelor de ieșire (Fig.2,b). Spre deosebire de metodele actuale, prezenta metodă presupune parcurgerea următorilor pași (Fig.2,a):

- pasul 1 – stabilirea variabilelor care să descrie campul termic și campul mecanic al sistemului, precum și a variabilei care să descrie deviația;
- pasul 2 – binning-ul traiectoriei sculei și analiza variabilelor de stare;
- pasul 3 – monitorizarea stării sistemului în cursul prelucrării piesei curente și completarea bazei de date;

pasul 4 – predicția valorilor variabilelor de ieșire, prin procesarea celui mai recent set de date pe baza unui algoritm nou de monitorizare și extragere de cunoștințe, dezvoltat în cadrul acestei lucrări.

Pentru a prezenta acest algoritm nou de monitorizare și extragere de cunoștințe, să considerăm că RMT-ul se află în momentul în care scula prelucrează bin-ul i al piesei p . Starea curentă a RMT-ului este $S = \{F \ T \ i \ k \ \delta\}$, la care prin monitorizare s-au aflat doar valorile variabilelor de intrare F, T, i, k . Se cere ca, știind stările prin care RMT-ul a trecut în cursul

prelucrării celorlalte $p-1$ piese (în total $N(p-1)$ stări precedente), să se determine valoarea de ieșire δ corespunzătoare stării curente. Acest lucru se bazează pe: (a) echivalența stărilor, sau (b) echivalența tranzițiilor.

În cazul (a) cele $N(p-1)$ stări precedente sunt clasificate în clase de echivalență funcție de distanța lor față de starea curentă, calculată cu relația (2). Astfel, clasa de echivalență de ordinul 0 cuprinde stările pentru care distanța este nulă, clasa de echivalență de ordinul 1 cuprinde stările pentru care distanța este egală cu 1 și așa mai departe. Apoi se consideră clasa de echivalență de ordinul 0 și se echivalează starea curentă cu celelalte stări ale acestei clase. Valoarea variabilei de ieșire a stării curente se va determina ca medie a valorilor variabilelor de ieșire ale celorlalte stări. Procesarea datelor se poate relua considerând succesiv clasele de echivalență de ordinul 1, 2, 3,

În cazul (b) se definește grupul tranzițiilor curente de ordinul 1, la care starea finală este starea curentă iar starea inițială este una dintre stările din clasa de echivalență de ordinul 1. Apoi, pentru fiecare tranziție curentă se caută în baza de date tranzițiile echivalente cu aceasta. Prin compararea tranziției curente cu tranzițiile echivalente găsite, se determină un număr de valori ale variabilei de ieșire a stării curente. Media acestora se consideră valoarea căutată.

Pentru exemplificare (Fig.3,b) să considerăm stările $S_n = \{2\ 4\ 5\ 3\ 2\ 1\ \delta_n\}$, $S_{n-2} = \{4\ 6\ 2\ 5\ 5\ 1\ 3\}$, $S_{n-10} = \{2\ 4\ 5\ 3\ 2\ 2\ 5\}$, $S_{n-12} = \{4\ 6\ 2\ 5\ 5\ 2\ 4\}$.

Între stările S_n și S_{n-10} apare tranziția

$$\tau_{(n-10,n)} = \left\{ \begin{array}{cccccc} 2 & 4 & 5 & 3 & 2 & 2 & 5 \\ 2 & 4 & 5 & 3 & 2 & 1 & \delta_n \end{array} \right\}, \text{ starea } S_{n-10} \text{ este una din}$$

stările ce compun clasa de echivalență 1 întrucât distanța între S_{n-10} și S_n este egală cu 1. Cautând în baza de date o tranziție echivalentă cu $\tau_{(n-10,n)}$, se găsește tranziția dintre stările S_{n-12} și S_{n-2} , respectiv

$$\tau_{(n-12,n-2)} = \left\{ \begin{array}{cccccc} 4 & 6 & 2 & 5 & 5 & 2 & 4 \\ 4 & 6 & 2 & 5 & 5 & 1 & 3 \end{array} \right\}.$$

Din relația (1.1.6) rezultă $\delta_{n-10} - \delta_n = \delta_{n-12} - \delta_{n-2}$, unde δ_n , δ_{n-2} , δ_{n-10} , δ_{n-12} sunt deviațiile corespunzătoare celor 4 stări de mai sus. Înlocuind valorile lui δ_n , δ_{n-2} , δ_{n-10} se obține $\delta_{n-12} = 4$.

Procesarea datelor se poate relua folosind pentru definirea tranzițiilor curente una dintre clasele de echivalență de ordinul 2, 3, și așa mai departe.

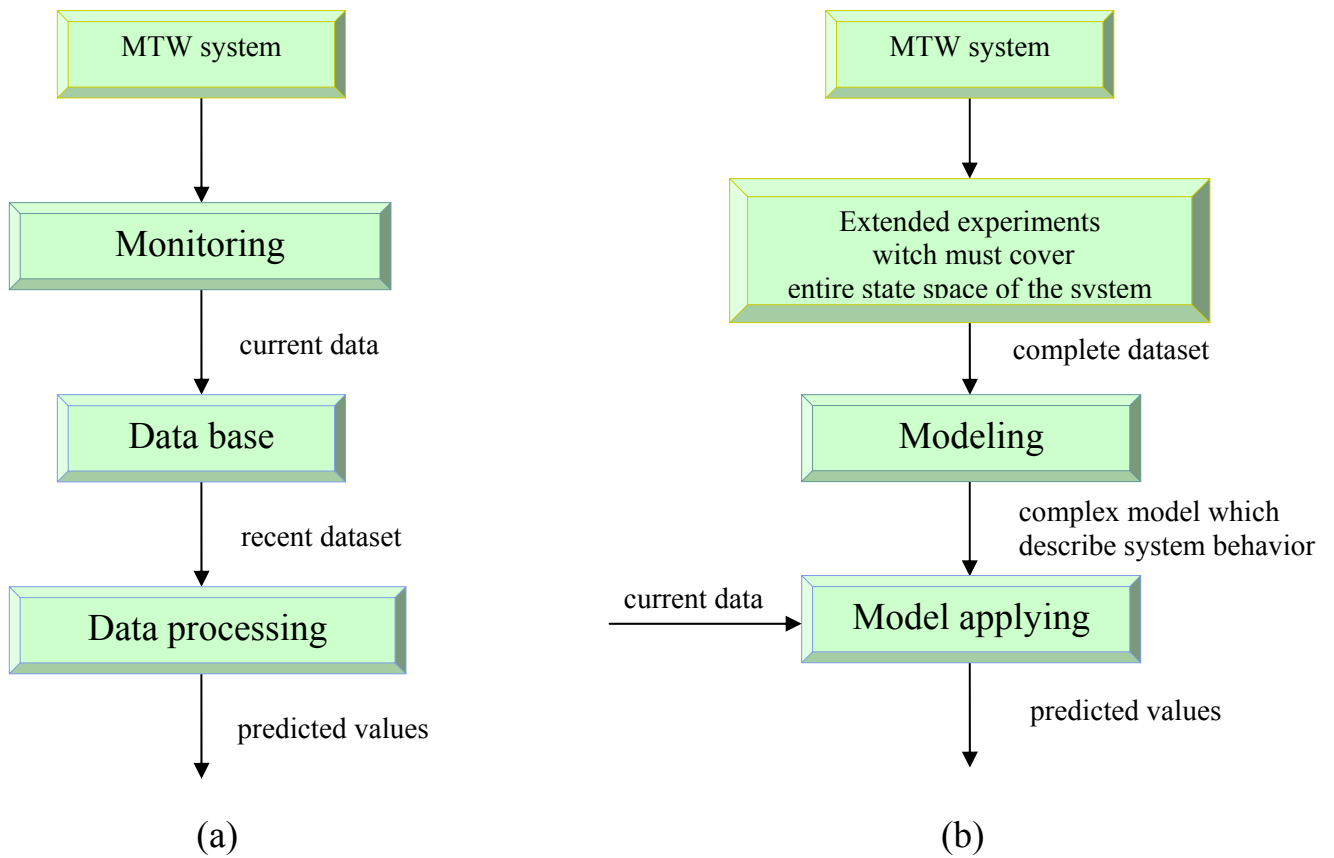


Fig. 1.1.2 Schema bloc a algoritmului de identificare : (a) propus, (b) actual

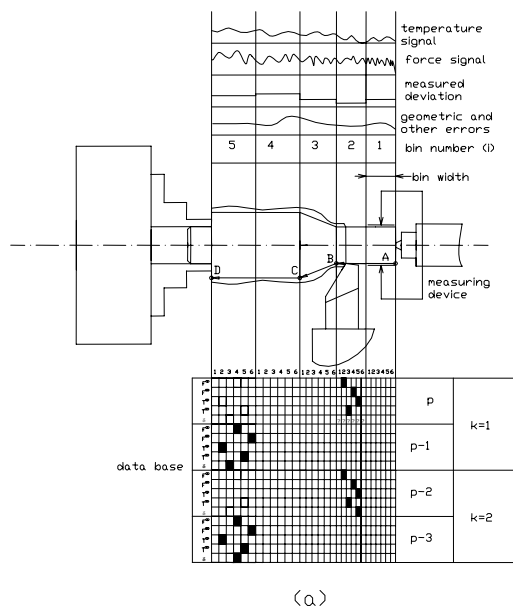


Fig.1.1.3 Completarea bazei de date in cazul strunjirii unui lot de piese

Tabel 1.1.1

State nr.	Part nr.	F ⁽¹⁾	F ⁽²⁾	T ⁽¹⁾	T ⁽²⁾	i	k	δ
n	p	2	4	5	3	2	1	δ_n
n-1	p	3	6	4	3	1	1	2
n-2	p-1	4	6	2	5	5	1	3
n-3	p-1	2	3	3	4	4	1	5
n-4	p-1	4	4	6	3	3	1	6
n-5	p-1	3	4	5	4	2	1	4
n-6	p-1	5	2	3	5	1	1	2
n-7	p-2	1	5	4	6	5	2	2
n-8	p-2	6	3	2	4	4	2	6
n-9	p-2	2	5	1	5	3	2	4
n-10	p-2	2	4	5	3	2	2	5
n-11	p-2	4	3	4	4	1	2	3
n-12	p-3	4	6	2	5	5	2	4
n-13	p-3	6	2	3	4	4	2	3
n-14	p-3	5	3	4	6	3	2	2
...
1	1	4	5	3	6	1	K	3

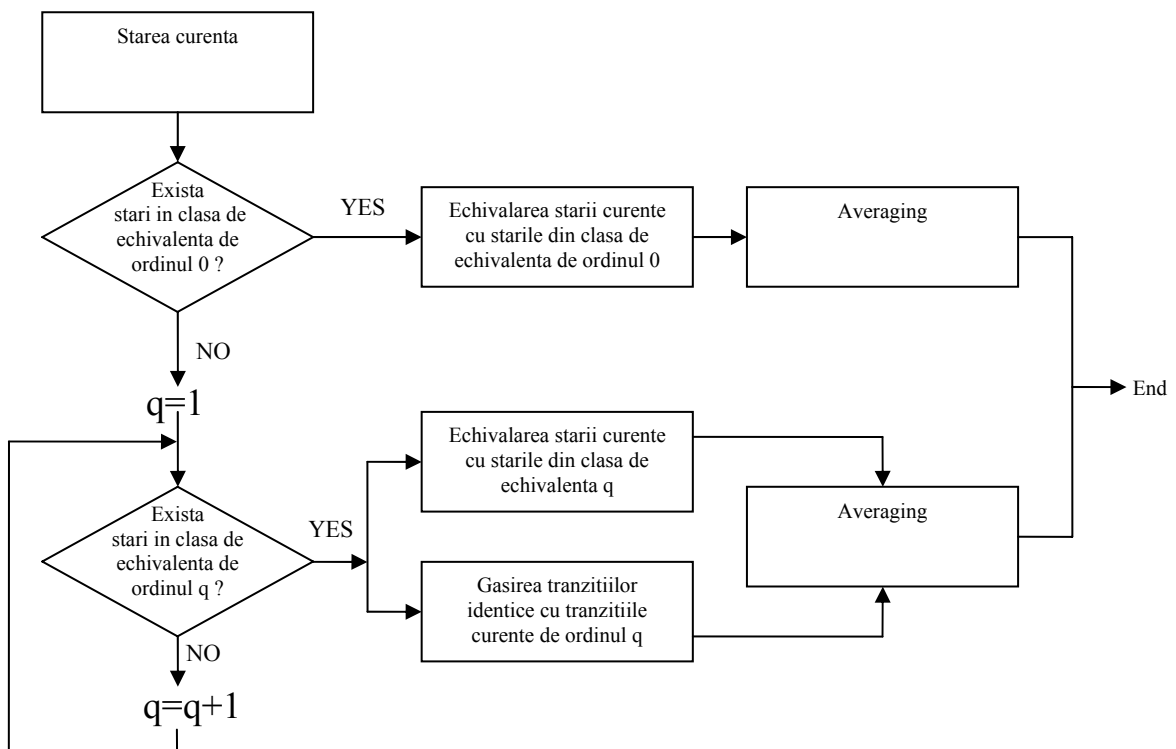
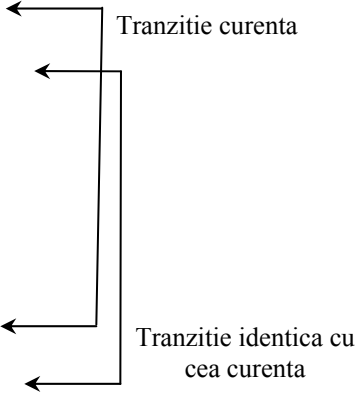


Fig.1.1.4 Schema procesarii datelor

Bibliografie

1. Choudhury S. K., V. K. Jain, S. Rama Krishna, On-Line Monitoring of Tool Wear and Control of Dimensional Inaccuracy in Turning, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* -- February 2001 -- Volume 123, Issue 1, pp. 10-12
2. Dong, C., Zhang, C., Wang, B., Zhang, G., Prediction and Compensation of Dynamic Errors for Coordinate Measuring Machines, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, August 2002, Volume 124, Issue 3, pp. 509-514.
3. Eric H. K. Fung and S. M. Yang, A New Method for Roundness Control in Taper Turning Using FCC Techniques, *J. Manuf. Sci. Eng.* 123, 567 (2001)
4. Fan, C., Collins, E.G., Liu, C., Wang, B., Radial Error Feedback Control for Bar Turning in CNC Turning Centers, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, February 2003, Volume 125, Issue 1, pp. 77-84.
5. Hanson, R., Tsao, T.C., Periodic Sampling Interval Repetitive Control and Its Application to Variable Spindle Speed Noncircular Turning Process, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, September 2000, Volume 122, Issue 3, pp. 560-566.
6. Hong Yang, Jun Ni, Dynamic Modeling for Machine Tool Thermal Error Compensation, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* -- May 2003 -- Volume 125, Issue 2, pp. 245-254
7. Kim, S., Landers, R.G., Ulsoy, A., Robust Machining Force Control With Process Compensation, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, August 2003, Volume 125, Issue 3, pp. 423-430.
8. Koren Y., U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G. Pritschow, G. Ulsoy, H. Van Brussel, Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, Vol 48/2/1999, p. 527-537
9. Lian, R.J., Lin, B.F., Huang, J.H., A grey prediction fuzzy controller for constant cutting force in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 45, Issue 9, July 2005, pp.1047-1056.
10. Li-Lin Ku, Tung-Chen Huang, Sequential monitoring of manufacturing processes: an application of grey forecasting models, *Int J Adv Manuf Technol* (2006) 27: 543–546
11. Mehrabi M.G., A.G. Ulsoy, Y. Koren, and P. Heytler, "Trends and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems," *J. of Intelligent Manufacturing* Vol. 13, No.2, April 2002, pp 135-146.
12. Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., and Koren Y., "Reconfigurable Manufacturing Systems and Their Enabling Technologies," *International J. of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 1, No, 1, 2000, pp113-130.

13. Pahk H. J., S. W. Lee, Thermal Error Measurement and Real Time Compensation System for the CNC Machine Tools Incorporating the Spindle Thermal Error and the Feed Axis Thermal Error, *Int J Adv Manuf Technol* (2002) 20:487–494
14. Park, S., Altintas, Y., Dynamic Compensation of Spindle Integrated Force Sensors With Kalman Filter, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, September 2004, Volume 126, Issue 3, pp. 443-452.
15. Robert G. Landers, A. Galip Ulsoy, Model-Based Machining Force Control, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* -- September 2000 -- Volume 122, Issue 3, pp. 521-527
16. Satish T. S. Bukkapatnam, Soundar R. T. Kumara, and Akhlesh Lakhtakia, Fractal Estimation of Flank Wear in Turning, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* -- March 2000 -- Volume 122, Issue 1, pp. 89-94
17. Shih-Ming Wang, Han-Jen Yu, Hung-Wei Liao, A new high-efficiency error compensation system for CNC multi-axis machine tools, *Int J Adv Manuf Technol* (2006) 28: 518–526.
18. Steven Y. Liang, Rogelio L. Hecker, Robert G. Landers, Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* -- May 2004 -- Volume 126, Issue 2, pp. 297-310
19. Tseng, P.C., Ho, J.L., A Study of High-Precision CNC Lathe Thermal Errors and Compensation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer London, June 2002, Volume 19, Number 11, pp. 850 – 858.
20. X. Li, Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 4. Cutting-Force-Induced Errors, *Int J Adv Manuf Technol* (2001) 17:665–669
21. Yigit A.S., A.G. Ulsoy, and A. Allahverdi, “Optimizing Modular Production in a Reconfigurable Manufacturing System,” *J. of Intelligent Manufacturing*, Vol. 13, No. 4, Aug. 2002, pp 309-316

1.2. Modelarea și simularea procesului de prelucrare

1.2.1. Simularea numerică a conducerii adaptiv-optimale a proceselor de aschiere

Pentru a depăși limitările de natură materială și financiară ale experimentelor efective s-a recurs la metoda simularilor numerice.

Pe baza simularilor numerice se pot trage concluzii referitoare la precizia cu care trebuie măsurată uzura astfel încât identificarea parametrilor ce definesc sistemul tehnologic să se realizeze cu o precizie acceptabilă.

Se poate studia măsura în care rezultatele experimentelor desfășurate în condiții tehnico-economice similare sunt convergente.

1.2.1.1 Planificarea experimentelor

Pentru simularea numerică a conducerii adaptiv-optimale a procesului de aschiere s-au utilizat elemente teoretice și soft prezentate în paragraful 1.3.

S-a considerat următorul plan de desfășurare a cercetărilor :

a) experimente care s-au realizat în condiții economice autohtone, fără simularea unor variații tip treaptă ale uzurii (tabelul 1.2.1);

Tabelul 1.2.1

Tip mașina unealtă	Tip operație	Denumire experiment	Tabele val. intr./rezult.	Figuri	Figura tendințe
M.U.avand cutia de avansuri și cutia de viteze în trepte	degrosare	DEG1	5.1/5.2	5.1	5.4
		DEG2	5.3/5.4	5.2	
		DEG3	5.5/5.6	5.3	
	semifinisare	SEM1	5.7/5.8	5.5	5.8
		SEM2	5.9/5.10	5.6	
		SEM3	5.11/5.12	5.7	
M.U.avand cutia de avansuri și cutia de viteze cu reglare continua	degrosare	DC1	5.13/5.14	5.9	5.12
		DC2	5.15/5.16	5.10	
		DC3	5.17/5.18	5.11	
	semifinisare	SC1	5.19/5.20	5.13	5.16
		SC2	5.21/5.22	5.14	
		SC3	5.23/5.24	5.15	

Tabelele cu valorile de intrare și tabelele cu rezultate pe fond gri se regăsesc în anexa.

b) experimente care s-au realizat cu simularea unor variatii tip impuls ale uzurii (tabelul 1.2.2);

Tabel 1.2.2

Tip masina unealta	Tip operatie	Denumire experiment	Tabele val. intr./rezult.	Figuri	Figuri tendinte
M.U.avand cutia de avansuri si cutia de viteze cu reglare continua	degrosare	IDC1	5.25/5.26	5.27	5.28
	semifinisare	ISC1	5.29/5.30	5.31	5.32

c) experimente la care s-a studiat influenta variatiei pretului de vanzare asupra parametrilor regimului optimizat (tabelul 1.2.3);

Tabel 1.2.3

Tip masina unealta	Tip operatie	Denumire experiment	Tabele val. intr./rezult.	Figuri	Figuri tendinte
M.U.avand cutia de avansuri si cutia de viteze cu reglare continua	degrosare	PDC1	5.33/5.34	5.35	5.36
	semifinisare	PSC1	5.37/5.38	5.39	5.40

d) experimente in care s-a studiat caracterul adaptiv al algoritmului propus (tabel 1.2.4).

Tabel 1.2.4

Tip masina unealta	Tip operatie	Denumire experiment	Tabele val. intr./rezult.	Diagrame
M.U.avand cutia de avansuri si cutia de viteze cu reglare continua	degrosare	ADC1	5.41/5.42	5.43
	semifinisare	ASC1	5.44/5.45	5.46

1.2.1.2. Desfasurarea experimentelor numerice.

In acest subcapitol sunt prezentate conditiile in care s-au realizat experimentele planificate cu redarea rezultatelor sub forma tabelara si sub forma grafica, cu ajutorul diagramelor.

a) Desfasurarea experimentelor numerice corespunzatoare tab.1.2.1

In grupul de experimente prezentate in tabelul 1.2.1 s-a urmarit determinarea modului de variatie a parametrilor ce definesc sistemul in cazul lucrului:

- avand cutie de viteza si de avansuri in trepte ;
- avand reglarea continua a vitezei si avansului .

Simularile au avut loc prin folosirea celui de al doilea program de calcul numeric pe post de generator de date pentru programul principal. Practic al doilea program a furnizat parametrii intr-un mod identic ca in cazul experimentelor fizice.

Drept constante ale sistemului simulat s-au luat valorile initiale:

$C = 294$; $m = 0,125$, $x = 0,35$, $y = 0.18$. S-a procedat la obtinerea rezultatelor sub forma numerica si sub forma grafica.

Tabel nr. 1.2.5

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	25
lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	6
Numar de reascutiri	-	nr	8
Cost scula	lei	Cs	98.000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	20%
Regie sectie	lei	Regie	304%
Salariu lucrator	lei	Sl	14.000.000
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	tscr	4
Profit	lei	P	20.000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	80.1

Denumire
experiment

DEGI

Tabel nr. 1.2.6

Tabela	avans p.c.p	avans res.	D mm	D mm	D mm	Ra μm	V _{max} m/min	V _{opt} m/min	turatic rot/min	C Taylor		Uzura μm	T _{opt} min	T _{sc} min	T _{sc} min		
										m	y						
287.02	0	0.302	92.6	80.2	80.2	5.7	158.73	0	630	4.341		12.1					
16.78	0	0.424	92.4	80.3	80.3	11.2	201.816	0	800	2.435		11.6					
515.94	0.469	0.47	92.8	80.4	80.4	13.8	126.292	0	500	3.515		5.45					
3.46	0.759	0.75	92.2	80	80	35.16	201.062	0	800	1.377	280.6051	0.12518	0.35088	0.15423	64.01	27.95	
30.362	0.617	0.66	92.5	80.5	80.5	27.2	159.732	148.283	630	1.966	282.0627	0.12516	0.35079	0.1571	55.2012	64.92	27.96
41.346	0.617	0.604	92.6	80.2	80.2	22.8	158.732	152.792	630	2.17	283.5448	0.12523	0.35167	0.16008	62.0	62.18	26.78
41.34693	0.632	0.604	92.4	80.3	80.3	22.8	158.93	153.292	630	2.17	274.9005	0.12463	0.34338	0.14206	57.5486	60.93	26.24

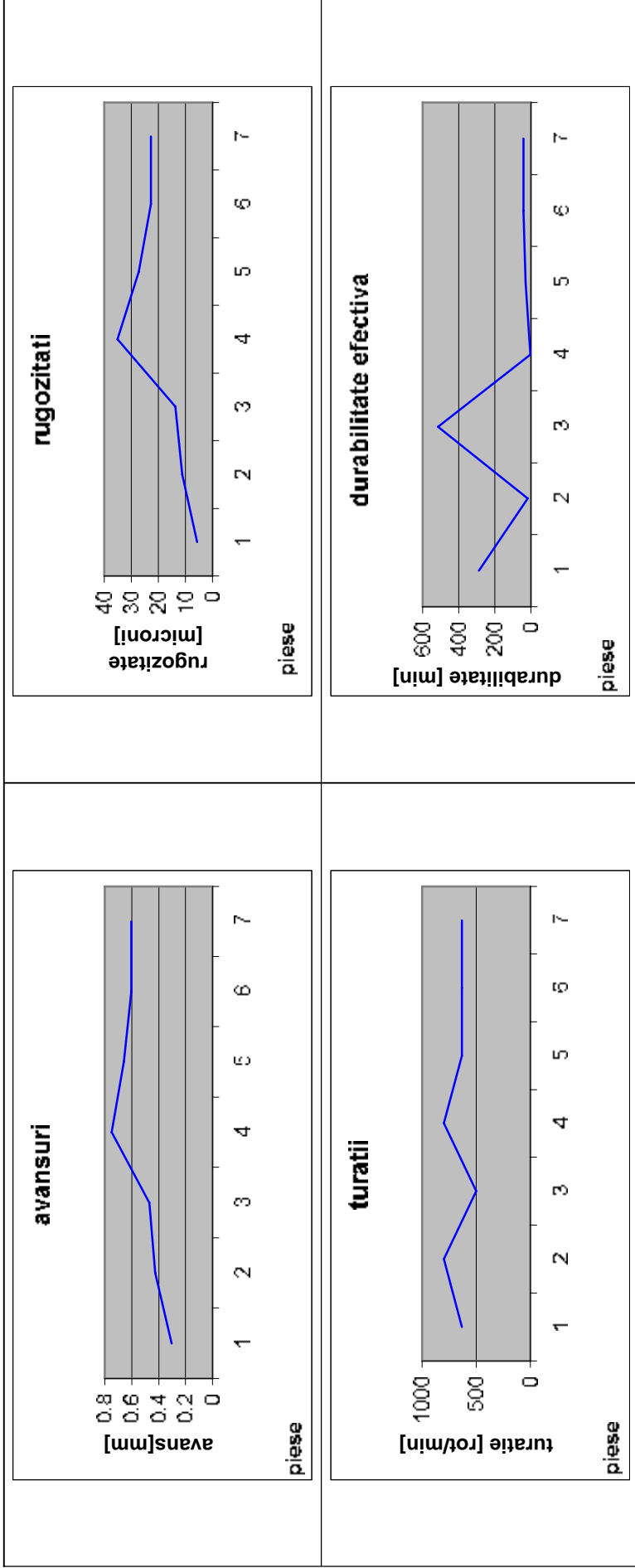


Fig.1.2.1

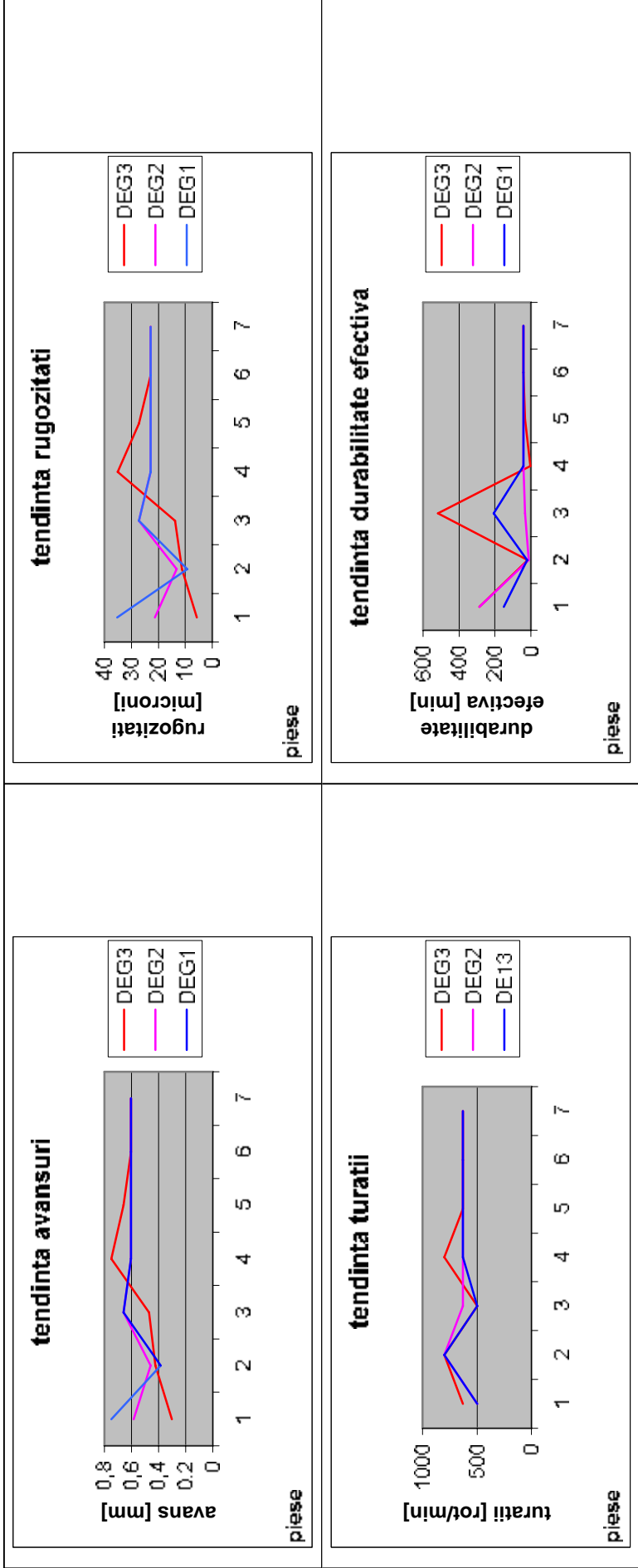


Fig. 1.2.2

Tabl nr.1.2.7

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	micromi	Ra	12.5
Langune presa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	10
Numar de reascutiri	-	nr	16
Cost scula	lei	Cs	98000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	30%
Regie sectie	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sl	1200000
			0
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	lst	8
Profit	lei	P	40000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	74.05

Denumire
experiment
SEM1

Tabl nr.1.2.8

T _{test} v	avans _{apoc.}		D _{serif.}	D _{res.izst.}	D	Ra	V _{ascut.}	V _{rot.}	t _{uratic}	C Taylor	m	x	y	Uzura		T _{epf}	T _{so}	T _{pr}
	mm.	mm												μm	min			
53.91645		0,5	80,2	74,1	26	186,2336		800	2,065					15,32				
18.74138		0,384	80,3	74,2	15,4	233,1082		1000	2,151					45,91				
2.368034	0,244	0,424	80,4	74,4	18,7	292,1881		1250	1,558					281,05				
154.3498	1,712	0,35	80	74,3	13	186,7363		800	2,92	294,38331	0,125	0,35007	0,18'24	7,58	68,33	71,04	56	
157.7203	0,345	0,334	80,5	74,2	11,6	186,4849	208,32	800	3,09	293,74457	0,12517	0,35373	0,18'99	7,84	67,99	70,93	55,91	
167,0882	0,346	0,334	80,2	74,1	11,6	186,2336	208,108	800	3,09	293,70126	0,1252	0,3544	0,18235	7,4	68,04	70,91	55,9	
169,8526	0,346	0,334	80,3	74,4	11,6	186,9878	207,487	800	3,09	293,87987	0,1254	0,35511	0,1827	7,28	67,98	70,78	55,8	
175,8929	0,345	0,334	80,1	74,3	11,6	186,7363	207,385	800	3,09	293,85479	0,1253	0,3554	0,1825	7,26	67,88	70,85	55,85	

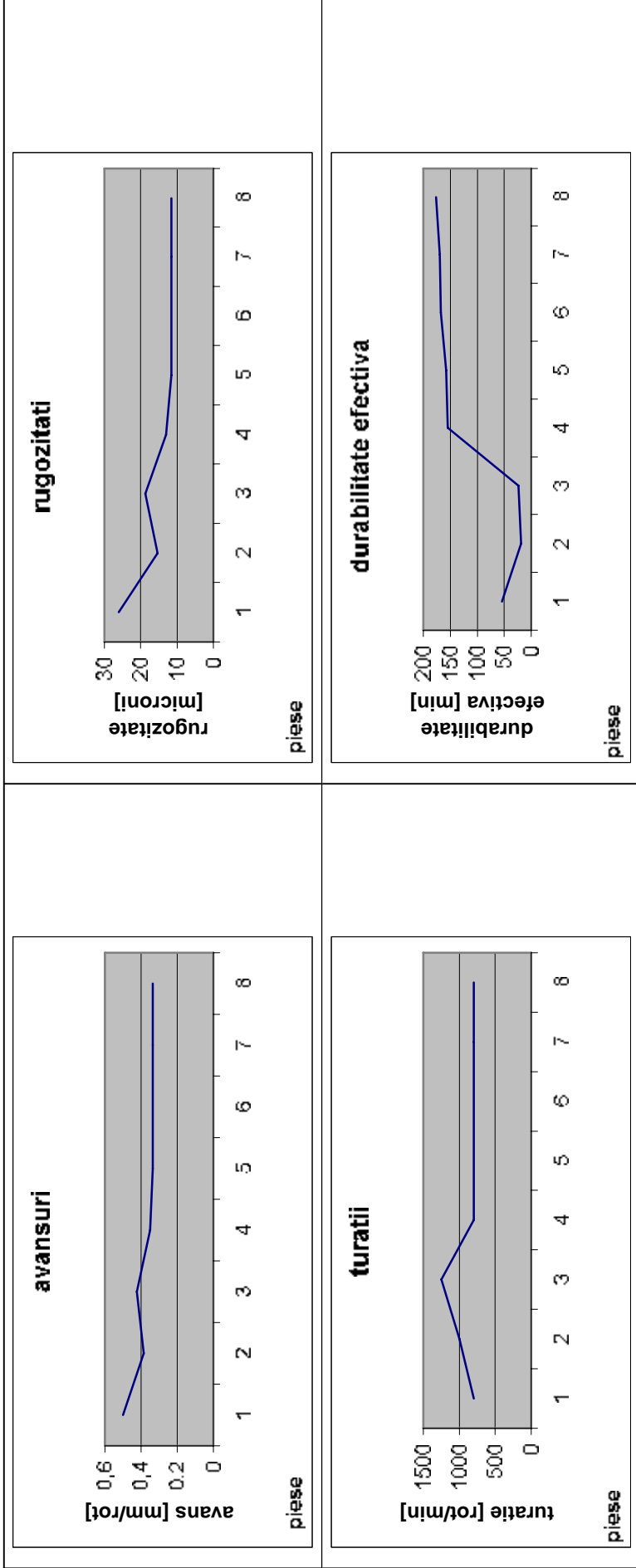
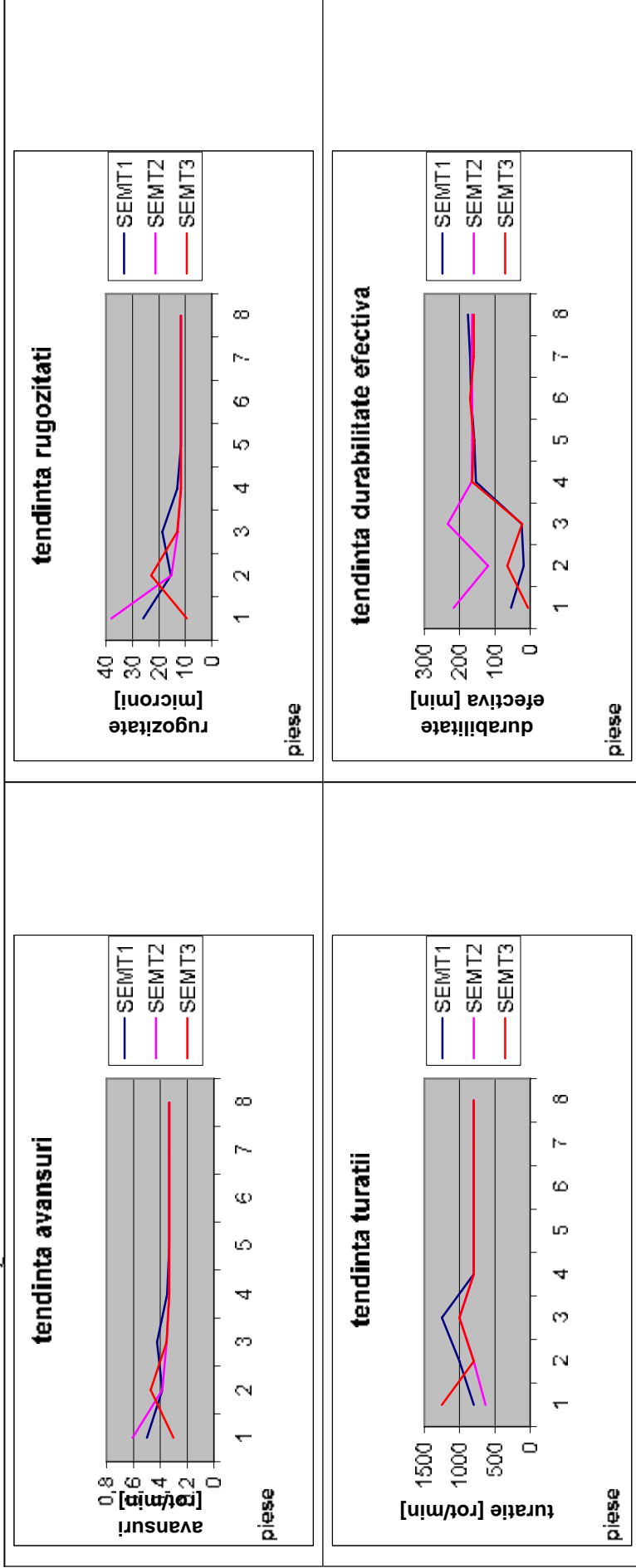


Fig.1.2.3

Fig. 1.2.4



Tabel nr.1.2.9

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	25
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	6
Numar de reascutiri	-	nr	8
Cost scula	lei	Cs	98000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	20%
Regie sectie	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sl	1400000
			0
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	Isr	4
Profit	lei	P	20000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	80.1

Denumire
experiment
DC1

Tabel nr.1.2.10

T _{testiv}	avans proc.	avans res.	D _{serv.} mm	D _{rest.} mm	D mm	Ra µm	V _{asc.} proc. m/min	V _{sc.} m/min	turatie rot/min	timp baza min	C Taylor	m	x	y	Uzura µm	T _{opt}	T _{sc}	T _{pr}
																min	min	min
121.65		0.8	92.4	80.22	40	126			500	2.06					13.58			
79.5716		0.7	92.7	80.17	30.625	136.52			550	2.14					21.57			
55.6036	C.632	C.632	92.3	80.41	24.964	151.56			600	2.17					31.34			
28.2304	C.632	C.632	92.6	80.32	24.964	164.01			650	2.01	293.49615	C.12499	0.3501	0.17911	56.98	43.927	50.48	28
43.8479	C.632	C.632	92.5	80.25	24.964	155.3	154.922		616	2.12	292.0174	0.12489	0.3516	C.1769	39.71	44.044	50.53	28.03
44.0216	C.632	C.632	92.3	80.41	24.964	155.3565	154.957		615	2.12	292.0418	0.12485	0.3548	C.1755	38.62	44.057	50.58	28.02

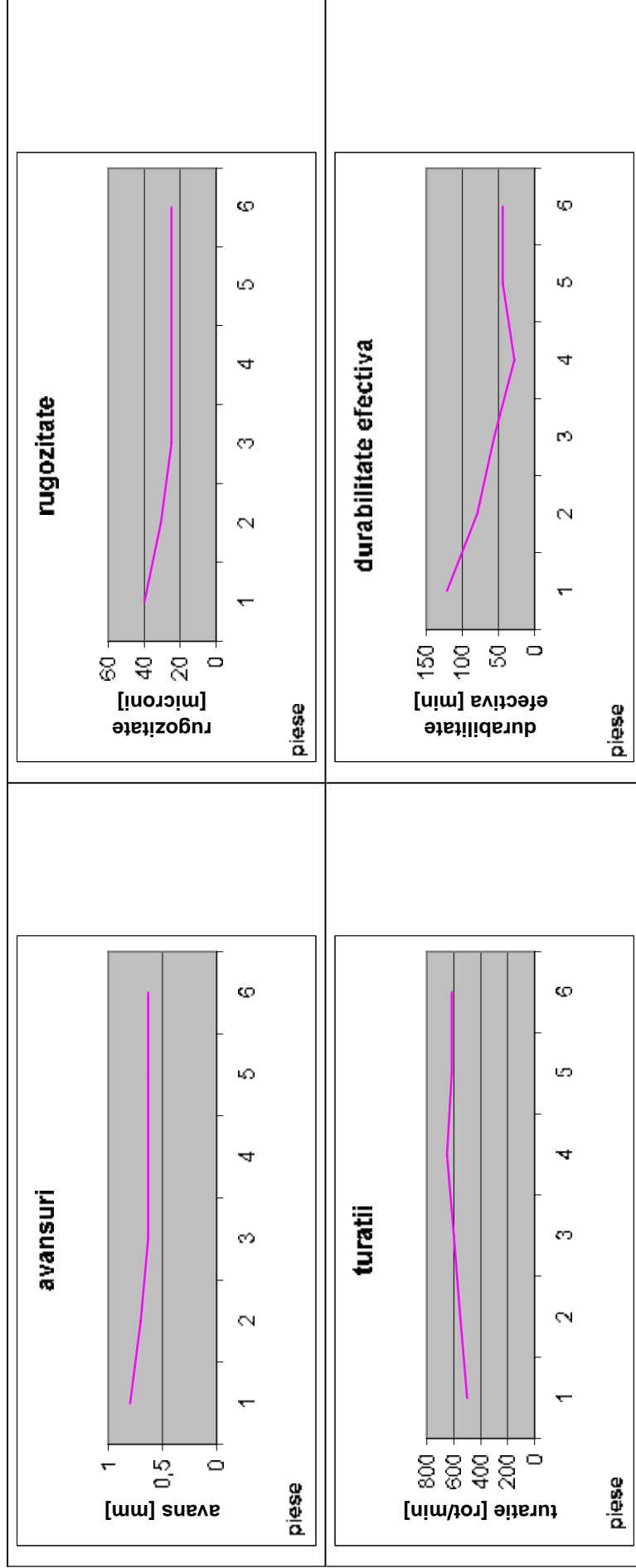


Fig.1.2.5

Tabel nr.1.2.11

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	12.5
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	10
Numar de reascutiri	-	nr	16
Cost scula	lei	Cs	98000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	30%
Regie sectie	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sl	1500000
			0
Fond de timp	orc	Ft	172
Timp de reglare scula	min	tsr	8
Profit	lei	P	40000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	74.05

Denumire
experiment
SCI

Tabel nr.1.2.12

T _{testiv} min	avans proc.		avans res.		D _{serv.} mm	D _{rest.} mm	D mm	Ra µm	V _{asc. proc.} m/min	V _{scr.} m/min	turatie rot/min	timp baza min	C Taylor	m	x	y	Uzura µm	T _{scr.}	T _{scr.}	T _{scr.}
	mm.	mm.	mm	mm														min	min	min
319.3605			0.6	80.26	80.26	74.12	37.5	139.7129		600	2.29						2.872			
154.75			0.5	80.32	80.32	74.21	26.04	163.1963		700	2.36						6.1			
148.8173	C,346	C,346	0.346	80.35	80.35	74.31	12.47	186.7814		800	2.984						7.982			
58.83414	C,346	C,346	0.346	80.25	80.25	74.18	12.47	209.739		900	2.853		288.202	C,12507	C,34956	0,19211	18.034	65.6074	67.99	55.97
67.72597	C,346	C,346	0.346	80.16	80.16	74.25	12.47	207.1378	206,252	888	2.688		298,2021	C,12507	C,34956	0,19211	15.878	65.66	67.99	55.97
68.52739	C,346	C,346	0.346	80.22	80.22	74.37	12.47	207.2369	206,296	887	2.691		298,1111	C,12507	C,34957	0,19185	15.71	65.67	67.99	55.97
68.72429	C,346	C,346	0.346	80.37	80.37	74.14	12.47	205.4334	206,175	882	2.706		298,1245	C,12857	C,36876	0,19245	15.58	65.89	67.99	55.97

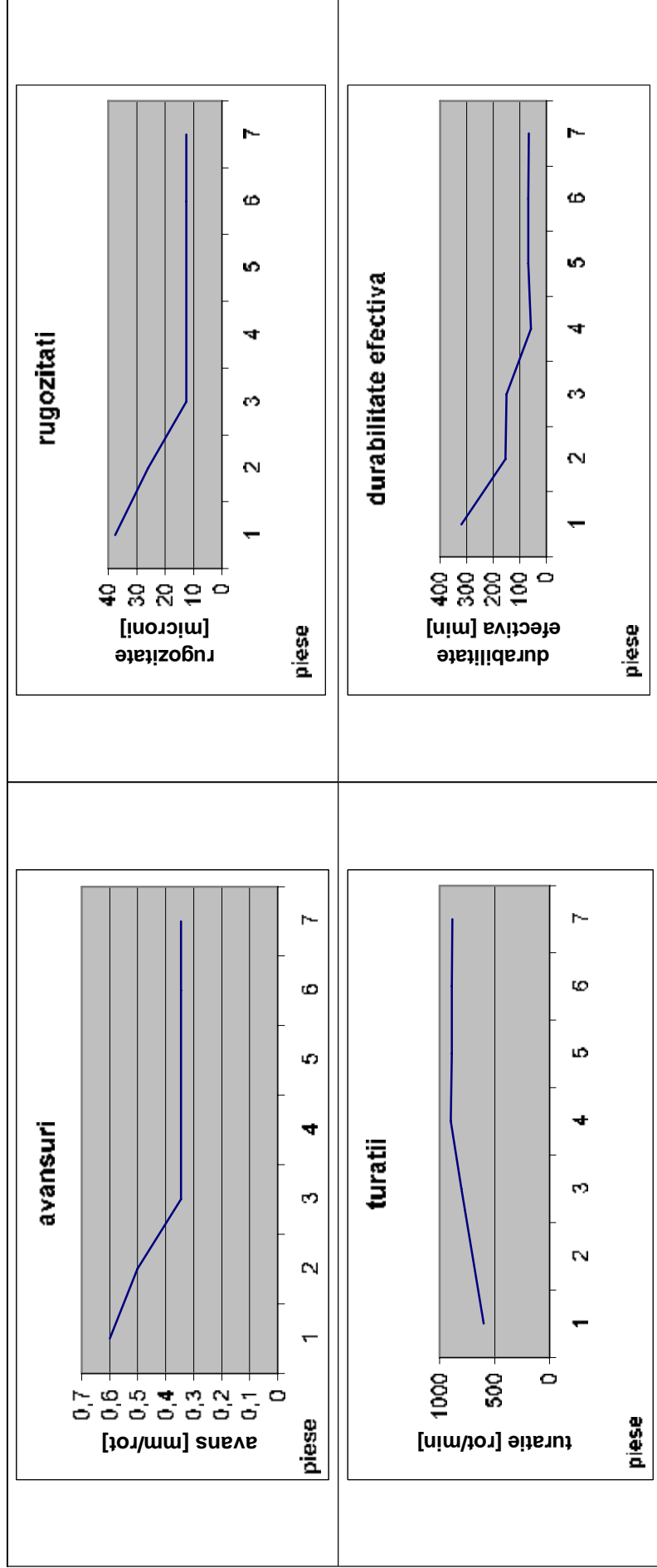


Fig.1.2.6

Pentru simulare s-au considerat conditiile tehnico-economice specifice unei societati economice autohtone.

Rugozitatile sunt cele corespunzatoare degrosarii si semifinisarii. Diametrele de plecare provin de la prelucrarile anterioare, pastrandu-se ordinea pieselor.

Dupa primele patru piese s-a obtinut un set complet de parametri care identifica sistemul.

Datele introduse in programul de generare a datelor au condus la calcularea unor uzuri reprezentate numeric cu o precizie ridicata. Pentru a simula o situatie mai apropiata de realitate s-a redus precizia de citire a uzurii, fapt ce a condus la modificarea durabilitatii calculate de programul auxiliar.

Pentru piesele incepand de la numarul cinci in continuare s-au introdus in programul de generare a datelor parametrii calculati de programul principal de la ultimele patru piese.

Din diagrame se observa ca, in aceste conditii si plecand de la parametrii initiali aleatorii parametrii determinati converg rapid catre valori care sunt:

- constante pentru cazul in care se lucreaza pe masini unelte avand cutie de viteza in trepte;
- cu foarte mici variatii in jurul unei valori medii in cazul lucrului cu masini unelte la care avansul si turatia se modifica continuu.

Costurile au fost exprimate in moneda nationala (RON).

S-au considerat salariile lunare diferite in functie de precizia de executie necesara pentru degrosare respectiv finisare.

S-a introdus parametrul "diametrul ideal" ca valoare de obtinut situata in campul de toleranta a piesei de realizat.

Rugozitatea maxima impusa a fost respectata in toate cazurile simulate.

b) Desfasurarea experimentelor numerice corespunzatoare tab.1.2.2.

Urmatoarele doua experimente urmaresc sa determine masura in care aparitia unei perturbatii de tip impuls care influenteaza unul din parametrii masurati afecteaza convergenta procesului de optimizare.

Se considera ca dupa un numar de cinci piese prelucrate , dintr-un motiv oarecare, la cea de a sasea, apare o modificare cu 10% a uzurii fata de uzura normala.

Din compararea tabelelor experimentelor (DC1 si IDC1) si diagramelor aferente care descriu modul de variatie a parametrilor urmariti se observa ca acestia converg catre aceleasi valori ca in cazul in care nu ar fi existat semnalul impuls.

c) Desfasurarea experimentelor numerice corespunzatoare tab.1.2.3.

Experimentele PDC1 si PSC1 urmaresc sa stabileasca in ce mod sunt afectati parametrii de lucru optimali in cazul in care se modifica cheltuielile de productie.

Pentru studiu s-au considerat salarii echivalent in RON corespunzatoare salariilor unor angajati de la o firma care isi desfasoara activitatea intr-un stat vestic.

Din tabelele corespunzatoare experimentelor si din graficele aferente se constata o usoara scadere a durabilitatii efective.

Diferenta mica intre cele doua valori ale lui T_{opt} se explica astfel: odata cu cresterea profitului, durabilitatea optima tinde catre durabilitatea productiva care este o functie numai de parametrii tehnici si deci constanta.

d) Desfasurarea experimentelor numerice corespunzatoare tab.1.2.4.

Pentru a demonstra caracterul adaptiv s-au imaginat experimentele ADC1 si ASC1.

Dupa un numar de patru piese s-a realizat identificarea sistemului, apoi s-au mai realizat piese pentru a se obtine parametrii catre care se converge.

S-a aplicat apoi un semnal treapta prin care s-a marit uzura sculei cu 25% la toate piesele care au urmat. Situatiile corespunde cazului in care dintr-un motiv oarecare duritatea materialului pieselor prelucrate s-a modificat.

Datele recomandate au fost respectate fara insa a evalua valorile rezultate intrucat acestea nu au semnificatie anume pentru ca provin practic de la doua sisteme diferite.

Cand toate piesele provin de la acelasi sistem (ultimul) se produce reidentificarea sistemului.

Se obtin valori optime pentru noua situatie creata.

Din diagrame se observa diferentele care apar la nivelul turatiilor si durabilitatilor.

Dupa noua identificare s-au mai efectuat un numar de piese pentru a se obtine parametrii stabilizati.

Se constata ca datorita cresterii duritatii materialului prelucrat viteza de aschiere optima scade. Durabilitatile efective, optime si economice nu sufera modificari sensibile.

Tabel nr.1.2.13

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	25
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	6
Numar de reascutiri	-	nr	8
Cost scula	lei	Cs	360.000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	20%
Regie sectie	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sj	79.200.000
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	tsr	4
Profit	lei	P	200000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	80.1

Denumire
experiment
PDC1

Tabel nr.1.2.14

T _{testiv}	avans mm.	avans real.	D sernt.	D rezist.	Ra	V _{max} mm/min	V _{opt.} m/min	turatic rot/min	timp baza min	C Taylor	m	x	y	Uzura	T _{50%}	T ₉₀	T _{pi}
														μm	min	min	min
121.85	0	0.8	92.4	80.22	40	126	0	500	2.06					13.58			
79.5719	0	0.7	92.7	80.17	30.62	138.62	0	550	2.14					21.57			
55.6036	0.632	0.632	92.3	80.41	24.96	151.56	0	600	2.17					31.34			
28.2304	0.632	0.632	92.6	80.32	24.96	164.01	0	650	2.31	203.4062	0.125	0.3501	0.1761	56.93	38.37	42.6	28
38.5403	0.632	0.632	92.5	80.25	24.96	157.823	156.893	662	2.088	202.5605	0.1249	0.35105	0.1777	43.337	38.43	42.62	28.02
38.6827	0.632	0.632	92.6	80.41	24.96	157.759	156.561	625	2.02	202.546	0.125	0.3510	0.1778	43.247	38.42	42.61	28.012

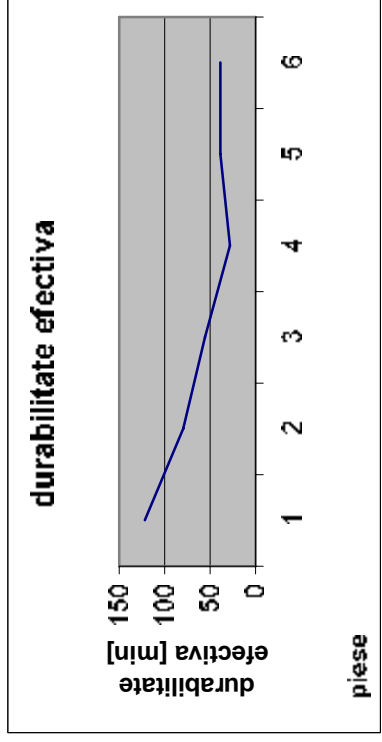
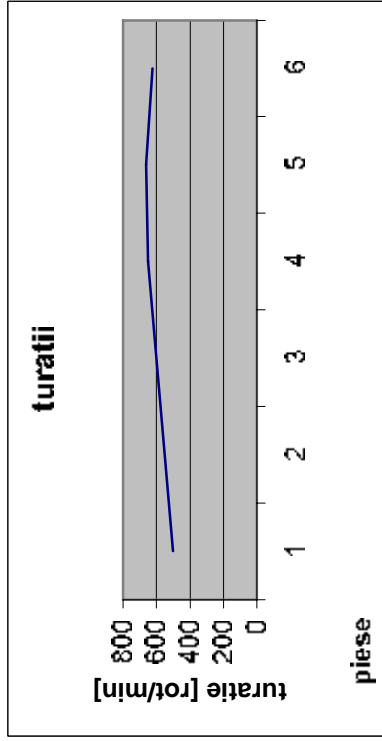
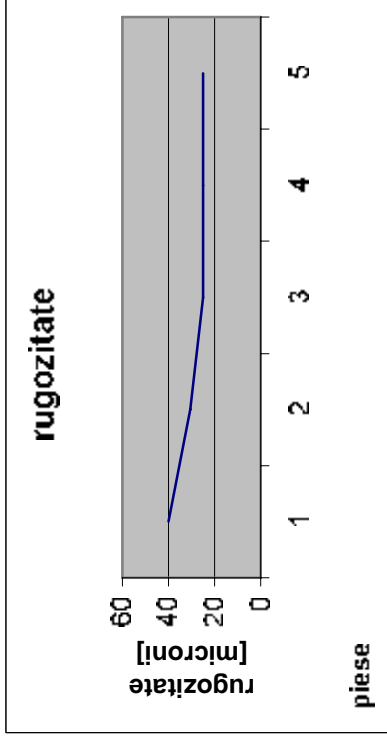
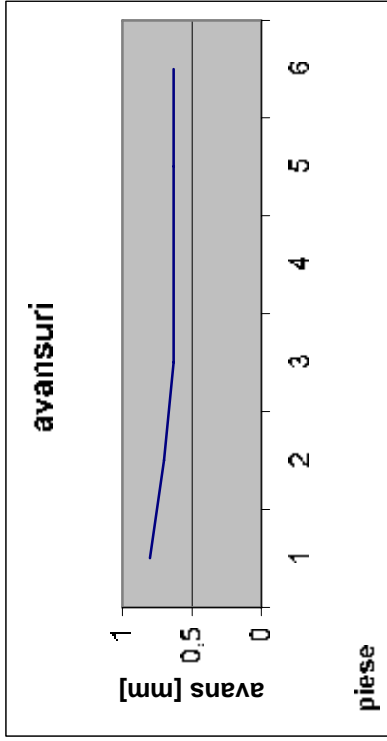


Fig.1.2.7

Tabel nr.1.2.15

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	12.5
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	10
Numar de reascutiri	-	nr	6
Cost scula	lei	Cs	300000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	30%
Regie sectie	lei	Regie	500%
Salariu lucrator	lei	Sj	79200000
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	tsr	8
Profit	lei	P	400000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	74.05

Denumire
experiment
PSC1

Tabel nr.1.2.16

T _{testiv}	avans mm.	avans val.	D mm	D mm	D mm	Ra μm	V _{max. prod.} m/min	V _{opt.} m/min	turatic rot/min	timp baza min	C Taylor	m	x	y	Uzura	T _{50%}	T ₉₀	T _{pi}
															μm	min	min	min
6.536	0	0.3	80.17	74.15	74.15	9.375	291.304	0	1250	2.202					134.8			
17.481	0	0.4	80.12	74.21	74.21	18.66	233.138	0	1000	2.065					47.25			
152.056	0.346	0.346	80.33	74.38	74.38	12.47	186.9373	0	800	2.08					7.85			
57.043	0.346	0.346	80.42	74.25	74.25	12.47	209.9369	0	900	2.65	295.374	0.1252	0.3545	0.1873	18.6	61.439	62.81	55.85
62.019	0.346	0.346	80.38	74.11	74.11	12.47	207.213	207.317	890	2.68	291.154	0.1244	0.341	0.1649	17.32	62.037	63.29	56.28
65.88	0.346	0.346	80.21	74.08	74.08	12.47	207.213	207.213	893	2.69	291.158	0.1247	0.3458	0.1643	17.35	62.046	63.51	56.95

Parametru	um	simbol	valoare
-----------	----	--------	---------

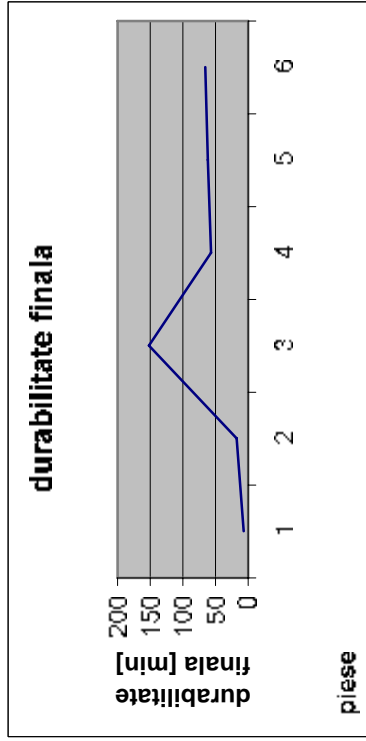
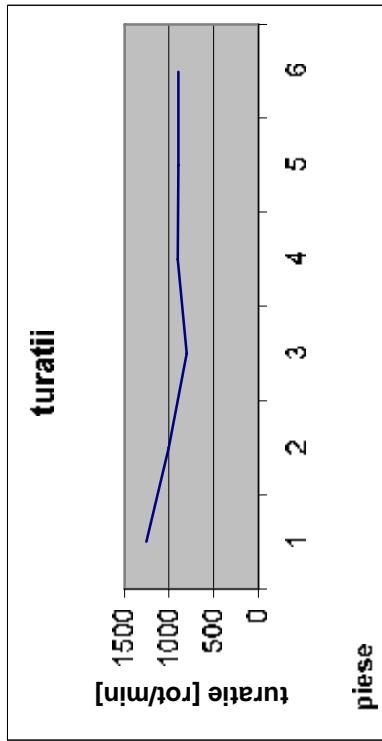
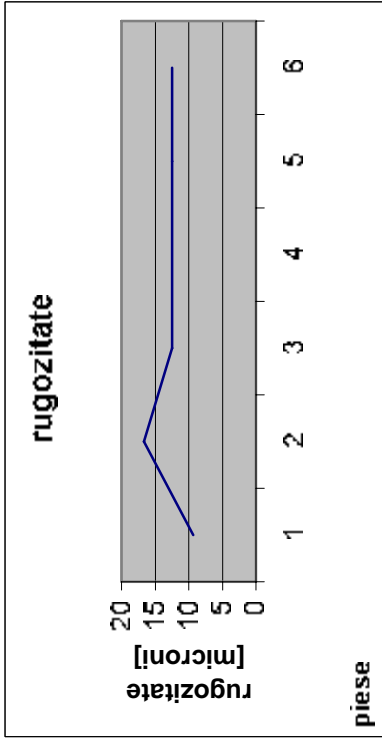
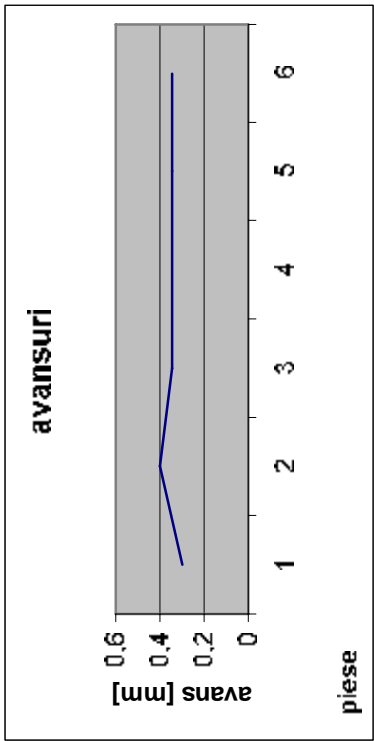


Fig.1.2.8

Tabel nr.1.2.17

Rugozitate	microni	Ra	2.5
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	6
Numar de reascutiri	-	nr	8
Cost scula	lei	Cs	98000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	20%
Regie scetic	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sl	1400000
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	Isr	4
Profit	lei	P	20000
Diametrul ideal de obtinut	mm	Dideal	80.1

Denumire
experiment
ADC1

Tabel nr.1.2.18

T _{test} min	avans mm	avans val.	D serit.	D realiz.	Ra	V _{max. proc.}	V _{max.}	turatic	imp baza	C Taylor	m	x	y	Uzura	T _{ep}	T _{es}	T _{fi}
	mm	mm	mm	mm	μm	m/min	m/min	rot/min	min					μm	min	min	min
19.50		0.4	92.5	80.25	10	201.69		800	2.58					105.68			
29.37		0.5	92.8	80.32	15.6	178.83		700	2.38					64.265			
80.71	0.546	0.546	92.6	80.35	18.6	151.45		600	2.52					24.99			
31.29	0.614	0.614	92.4	80.25	23.6	163.67		650	2.06	294.05	0.1249	0.3500	0.1801	52.9	43.93	50.46	28.00
43.69	0.636	0.636	92.7	80.16	25.3	154.37	154.13	613	2.11	294.30	0.1249	0.3500	0.1806	38.791	43.82	50.46	28.00
43.81	0.632	0.632	92.5	80.22	24.96	155.24	154.97	616	2.12	294.01	0.1250	0.3502	0.1800	38.737	43.88	50.47	28.00
44.42	0.632	0.632	92.3	80.37	24.96	155.78	155.39	617	2.11	293.96	0.1250	0.3503	0.1800	38.147	43.97	50.47	28.00
43.83	0.632	0.632	92.6	80.16	24.96	155.75	154.67	615	2.12	290.39	0.1226	0.3530	0.1789	38.782	44.86	51.59	28.62
35.78	0.632	0.6	92.68	80.16	22.50	155.70	157.14	624	2.20	370.45	0.1226	-0.1776	0.1789	49.327	44.89	51.59	28.62
41.52	0.632	0.81	92.35	80.23	23.25	155.75	154.25	612	2.21	778.05	0.2430	-0.6450	0.2170	42.625	18.87	22.39	12.42
7.957	0.632	0.62	92.73	80.25	24.02	155.69	187.57	744	1.79	203.16	0.1140	-0.1834	-0.1116	38.025	63.81	56.02	31.07
49.48	0.632	0.63	92.58	80.21	24.80	155.73	148.67	590	2.22	293.00	0.1250	0.3502	0.1806	35.937	43.86	50.48	28.00
43.99	0.632	0.633	92.63	80.19	25.04	155.78	150.39	597	2.18	294.61	0.1249	0.3518	0.1780	39.744	43.92	50.49	29.01
43.84	0.632	0.632	92.51	80.27	24.96	155.72	161.03	599	2.18	283.14	0.1250	0.34903	0.1180	39.812	43.9	50.47	28.00
44.19	0.632	0.633	92.63	80.25	25.04	155.70	150.51	597	2.18	283.12	0.1250	0.3491	0.1801	39.567	43.86	50.47	28.00
44.09	0.632	0.632	92.58	80.3	24.96	155.72	150.85	598	2.18	287.58	0.1255	0.3440	0.1805	39.654	43.65	50.22	27.86

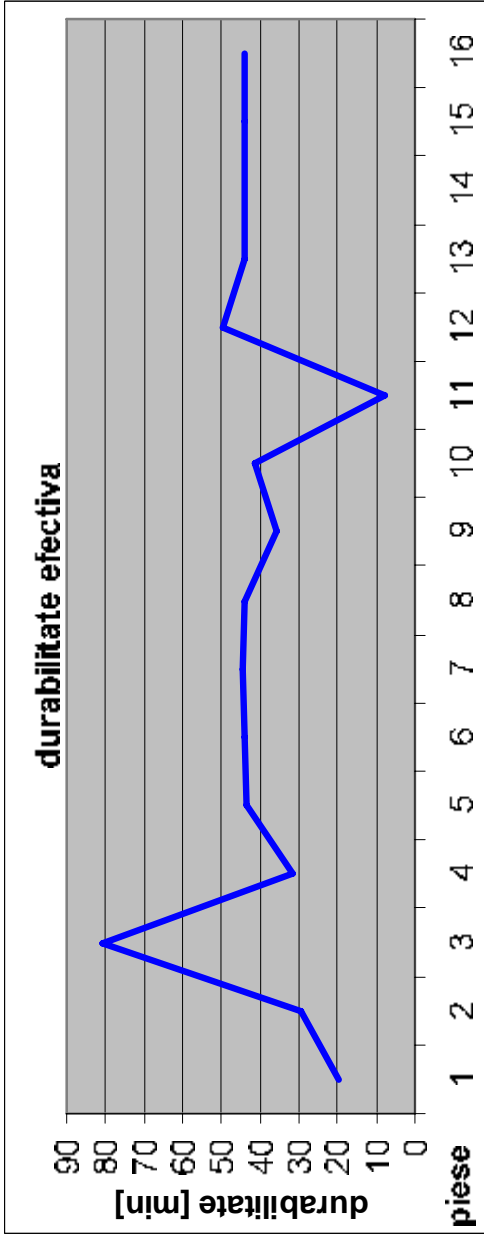
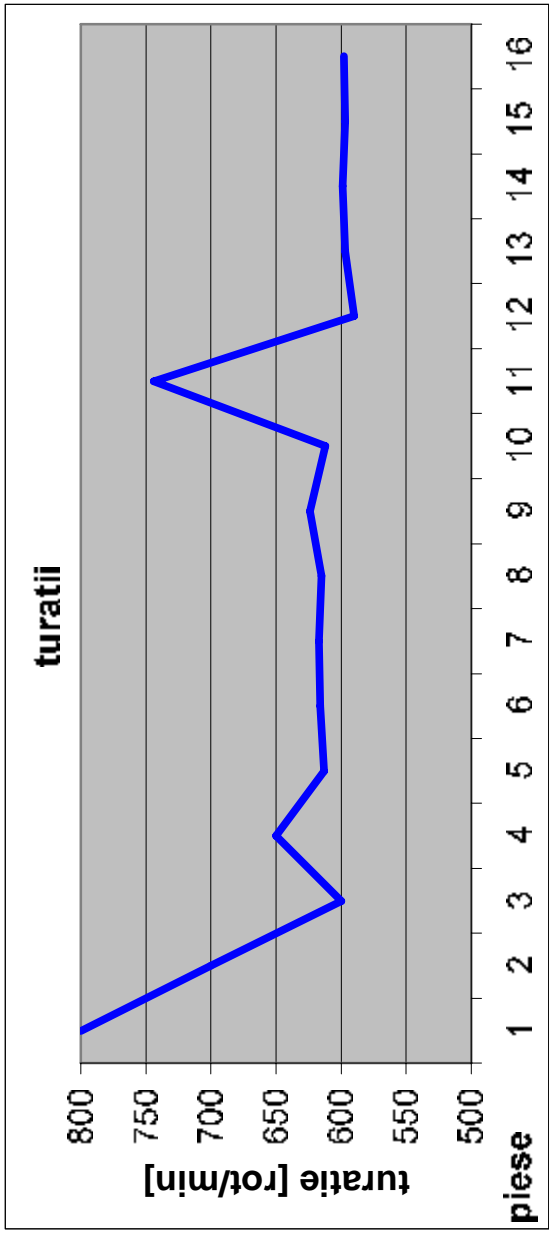


Fig. I.2.9

Tablel nr.1.2.19

Parametru	um	simbol	valoare
Rugozitate	microni	Ra	12.5
Lungime piesa	mm	l	800
Timp de ascutire	min	ta	10
Numar de reascutiri	-	nr	16
Cost scula	lei	Cs	98000
Cost de achizitie al sculei	lei	Cas	50%
Regie sectie	lei	Regie	300%
Salariu lucrator	lei	Sl	150000000
Fond de timp	ore	Fl	172
Timp de reglare scula	min	tst	8
Profit	lei	P	40000
Diametrul ideal dc obrzut	mm	Dideal	74.05

Denumire
experiment

ASCI

Tablel nr.1.2.20

T _{exec} min	avans proc.	avans res.	D seriaz.	D mm	Ra µm	V _{avc.} proc.	V _{avc.} m/min	V _{sup.} m/min	t _{uratic} rot/min	timp baza min	C Taylor	m	x	y	Uzura µm	T _{cp} min	T _{ec} min	T _o min
7.09279		0.55		80.22	31.51	233.4632			1000	1.501					84.63			
71.53374		0.45		80.28	21.09375	186.3593			800	2.294					12.83			
57.13596	0.346	0.346		80.39	74.21	209.8238			900	2.652					18.57			
93.6	0.347	0.346		80.21	74.16	198.0334			850	2.808	294.40338	0.12497	0.34998	0.18131	12	65.78	68.05	58.01
66.81828	0.346	0.346		80.48	74.19	205.1058	204.682	204.682	880	2.71	294.08044	0.12494	0.34999	0.18047	16.24	65.74	68.07	58.03
52.734	0.346	0.33		80.32	74.09	209.252	206.874	206.874	899	2.784	548.783	0.12484	-0.23851	0.18047	21.119	65.77	68.07	58.03
48.804	0.346	0.35		80.21	74.03	208.756	204.597	204.597	889	2.654	134.571	0.0589	0.20746	-0.39165	21.321	170.63	155.27	127.81
84.41	0.346	0.34		80.36	74.1	195.0797	198.462	198.462	838	2.899	27.0755	0.17001	0.0477	-2.3465	13.737	193.61	47.45	39.06
443.7046	0.346	0.34		80.15	74.08	159.4195	168.418	168.418	685	3.546	288.23848	0.12501	0.35012	0.18109	3.1972	65.76	68.02	55.99
66.18067	0.346	0.34		80.22	74.07	201.749	198.926	198.926	867	2.802	286.1944	0.125	0.34981	0.18068	16.938	65.74	68.03	58
65.1818	0.346	0.345		80.27	74.12	200.7209	197.544	197.544	862	2.777	285.19999	0.125	0.34982	0.18068	16.787	65.74	68.03	58
66.033	0.346	0.345		80.19	74.1	201.13	198.284	198.284	864	2.771	286.02331	0.125	0.34982	0.18018	16.788	65.75	68.03	58

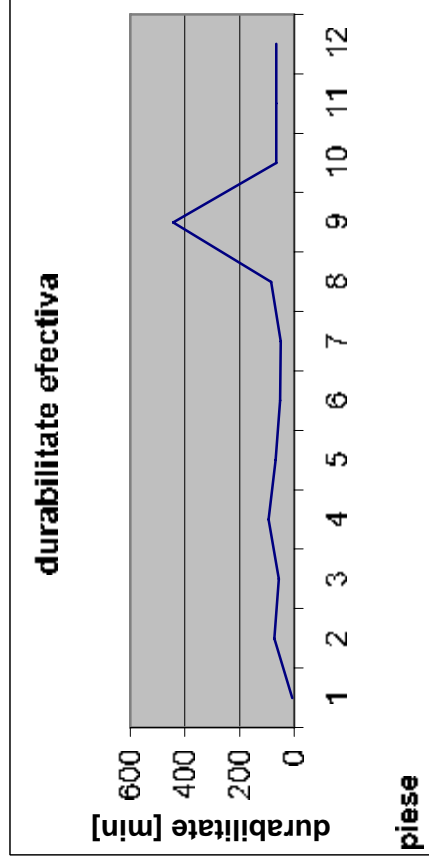
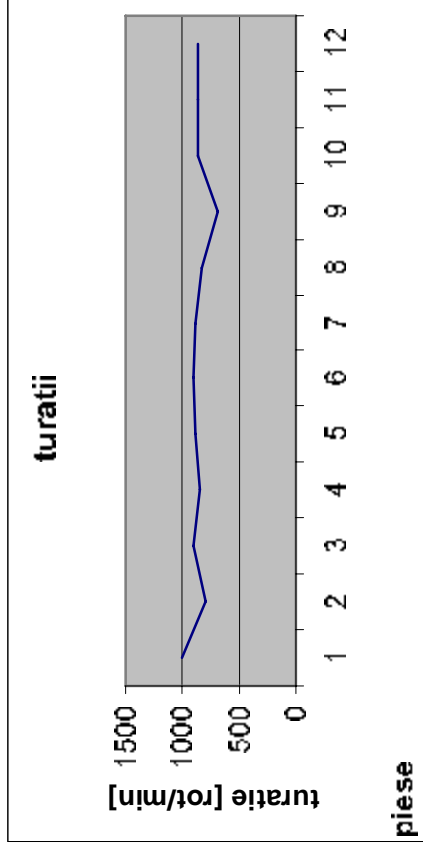


Fig.1.2.10

1.2.2 Concluziile experimentelor numerice

Desfasurarea experimentelor numerice a permis atat o evaluare a algoritmului propus cat si o determinare a limitelor intre care poate functiona programul de calcul numeric realizat. S-au desprins umatoarele concluzii:

- la experimentele numerice, ca si la cele fizice, valorile parametrilor optimi nu depind de parametrii initiali;

- daca apar semnale de tip treapta programul raspunde, identificand “on-line” dupa un numar mic de piese prelucrate, noile valori ale caracteristicilor sistemului tehnologic. Aceasta corespunde unor modificari a caracteristicilor materialului lotului de piese prelucrate;

- aparitia unor perturbatii de tip impuls este suportata de algoritm, valorile optime ale parametrilor stabilizandu-se rapid, situatie care apare de exemplu in cazul in care materialul unuia dintre exemplare are caracteristici mecanice mult diferite de cele ale restului exemplarelor

- s-a constatat ca exista o precizie minima de masurare a uzurilor peste care identificarea “on-line” este posibila. Acest parametru depinde de caracterul procesului de aschiere si de marimea adancimii de aschiere;

- simularea numerica a conducerii adaptiv-optimale in cazul sistemelor tehnologice avand cutia de viteze in trepte si a celor avand cutia de viteze cu reglare continua a evidentiat faptul ca algoritmul propus functioneaza la fel de bine permitand optimizarea proceselor de aschiere;

- simularile numerice au evidentiat faptul ca parametri economici influenteaza valorile parametrilor optimi cu care trebuie sa se desfasoare procesul de aschiere.

1.3. Algoritm pentru conducerea adaptiva a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

1.3.1. Schema conceptuala a unui proces de prelucrare

Sistemele tehnologice au o evolutie uneori rapida in timp si in spatiul de lucru, ceea ce evidentiaza utilitatea conducerii adaptive. Cel mai clar, acest lucru se constata in ceea ce priveste conducerea dimensionala a procesului de prelucrare.

Pana in prezent conducerea optima se bazeaza pe modele fixe, cu ajutorul carora se determina valorile optime ale parametrilor procesului, valori ce sunt mentinute constante pe tot parcursul prelucrării, desi sunt constatari ce pun in evidenta modificari semnificative ale modelelor matematice ce descriu procesul. Au aparut sisteme perfectionate de monitorizare dimensionala a procesului, care includ si posibilitatea monitorizării uzurii sculei. Succesul pe piata al produsului este doar calitativ evaluat si utilizat pentru conducerea proceselor de prelucrare. Lista parametrilor monitorizati ai sistemului va trebui sa includa eroarea de prelucrare, rugozitatea suprafetei si viteza de uzare a sculei .

Conducerea proceselor de prelucrare presupune stabilirea parametrilor ce caracterizeaza starea procesului si acestia sunt:

- parametrii regimului de aschiere, care reprezinta totalitatea parametrilor de stare ce definesc interactiunea dintre scula si obiectul de prelucrat de aceasta prin aschiere;

- parametrii geometrici ai sculei, care rezulta prin raportarea geometriei sculei la un ansamblu de norme de masurare legat de rolul functional al sculei;

- parametri referitori la materialul sculei, care sunt legati intrinsec de structura materialului si a modului de obtinere;

- parametri referitori la materialul prelucrat, care sunt legati de proprietatile fizico-chimice ale materialului , proprietati ce dau prelucrabilitatea acestuia;

- forta de aschiere, care reprezinta interactiunea mecanica intre scula prelucratoare si materialul de prelucrat;

- temperatura din zona de aschiere sau campul termic, care este o masura a agitatiei termice moleculare in elementele ce interactioneaza in timpul aschierii;

- nivelul vibratiilor sistemului tehnologic, care este o rezultanta a solicitarii componentelor sistemului, cu influenta negativa asupra calitatii pieselor prelucrate si a rezistentei la uzura a sculei.

O parte dintre parametri sunt modificati “off–line“ si raman constanti o perioada mai lunga de timp (de exemplu geometria sculei (α , β , γ), materialul sculei, materialul semifabricatului) iar o alta parte a parametrilor se modifica in timpul prelucrarii (viteza de aschiere, adancimea, avansul) si in acest fel se realizeaza conducerea procesului.

Parametrii sunt marimi de intrare in proces. Marimile de iesire din proces vor fi numite indicatori de performanta (fig.1.3.1).

In cazul procesului de aschiere indicatorii de performanta sunt:

- precizia prelucrarii, ce reprezinta masura in care dimensiunile, forma si pozitia suprafetei obtinute se incadreaza in prescriptiile tehnice;

- calitatea suprafetei, ce reprezinta un complex de caracteristici geometrice si structurale ale suprafetei obtinute;

- costul procesului de prelucrare, ce reprezinta raportul dintre suma cheltuielilor totale aferente unei operatii de prelucrare si volumul de aschii detasate;

- productivitatea tehnologica, ce reprezinta raportul dintre volumul de aschii detasate in procesul de prelucrare si timpul total de lucru necesar pentru detasarea aschiilor;

- stabilitatea procesului, ce reprezinta capacitatea sistemului de a reveni in starea initiala dupa ce a suferit o perturbatie care l-a scos din aceasta stare;

- rata profitului, ce reprezinta diferenta dintre pretul de vanzare al produsului si cheltuielile de fabricatie.

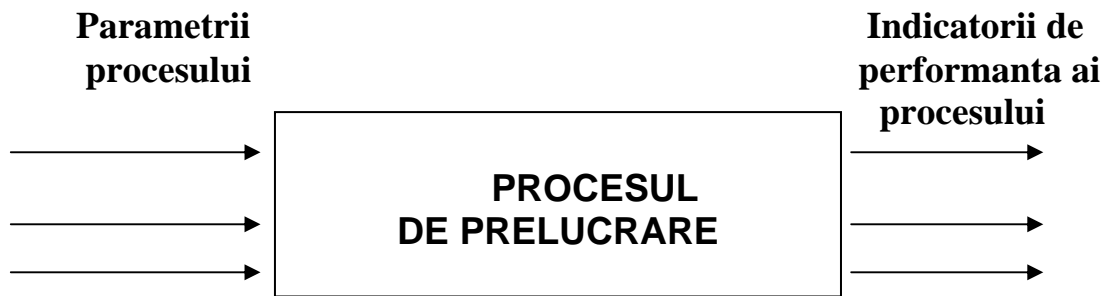


Fig. 1.3.1 Schema conceptuala a procesului de prelucrare

Conducerea unui proces reprezinta stabilirea setului de valori ale parametrilor, astfel incat indicatorii sa aiba valorile asteptate.

Pentru conducere este necesar, atat modelul procesului de prelucrare, adica relatiile dintre indicatorii de performanta si parametrii procesului, cat si un sistem de monitorizare, care sa asigure masurarea unor marimi ce caracterizeaza indicatorii de performanta (“on–line” si “off–line”).

Cunoscand valorile marimilor monitorizate si modelul procesului de prelucrare se determina valorile necesare ale parametrilor procesului de prelucrare.

1.3.2. Strategia de conducere adaptiv-optimala

Strategia adoptata pleaca de la obiectivele propuse avand in vedere mijloacele disponibile. Se urmareste maximizarea profitului in conditiile in care se cunosc parametrii tehnici si cei economici in care se desfasoara procesul de productie.

Optimizarea proceselor de aschiere trebuie realizata “on-line” pentru ajustarea continua, functie de situatia reala a sistemului, a parametrilor reglabili.

Ca baza a strategiei adoptate se considera:

- modelul matematic al aschierii dat de relatia lui Taylor;
- relatia durabilitatii optime ce tine seama atat de parametrii tehnici cat si de cei economici.

Etapele de dezvoltare a strategiei adoptate au fost urmatoarele:

a) realizarea unui algoritm care sa descrie din punct de vedere matematic toate elementele care concursa la modelarea completa a proceselor tehnico-economice. S-a avut in vedere modul practic in care trebuie sa se desfasoare procesele de achizitie de date si de implementare a optimizarilor recomandate.

In figura 1.3.2 este prezentata schema bloc a algoritmului propus. Achizitia de date se realizeaza piesa cu piesa. Se formeaza o baza de date din a carei prelucrare rezulta paternul de urmat pentru realizarea optimizarii.

b) identificarea sistemului prin intermediul parametrilor din relatia lui Taylor (C, m, x, y) se realizeaza continuu (cu exceptia primelor trei piese).

Sistemul genereaza recomandari privind modificarea parametrilor regimului de aschiere daca apar modificari ale parametrilor masurati.

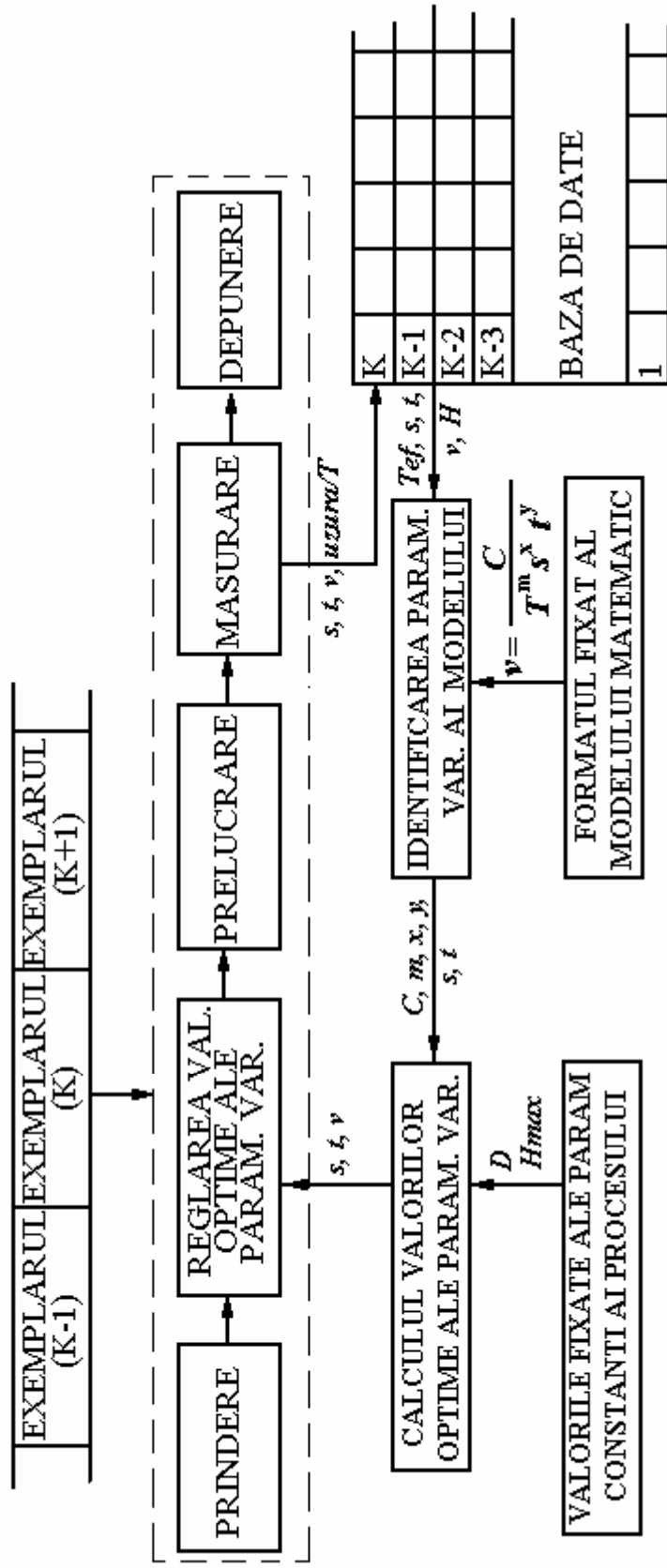
In conducerea proceselor de aschiere trebuie avute in vedere urmatoarele aspecte importante:

- incadrarea in prescriptiile tehnice cu privire la dimensiunile realizate;
- obtinerea unor suprafete a caror rugozitati sa corespunda cerintelor specificate;
- realizarea proceselor de aschiere in conditii de eficienta economica.

Toate aceste deziderate fac obiectul unor procese de optimizare conduse prin calculator, in baza unor algoritmi predefiniti. Atunci cand procesul de optimizare se realizeaza concomitent cu desfasurarea procesului de aschiere discutam despre o optimizare adaptiva.

In aceasta lucrare se propune un sistem de conducere adaptiv-optimala a regimurilor de aschiere. Optimizarea pleaca de la necesitatile de natura economica.

Algoritmul de conducere adaptiv-optimala este astfel conceput incat sa poata fi aplicat atat pe actualele masini unelte cu comanda numerica cat si pe masinile unelte clasice.



Se considera un proces de aschiere (strunjire) intr-o singura trecere, a unui lot de piese. Suprafata obtinuta trebuie realizata in anumite conditii de precizie si de rugozitate.

Adaosul de prelucrare variaza de la o piesa la alta si chiar de la o zona la alta ale aceleiasi piese. Pe langa respectarea tolerantei si a rugozitatii indicate pe desenul de executie (care reprezinta restrictiile tehnice ale problemei optimizarii) este necesara extremizarea “on-line“ a unei functii obiectiv – in cazul acesta rata profitului – in scopul obtinerii unei performante globale maxime a procesului de prelucrare.

In acest scop trebuie ca, in timpul prelucrarii lotului, avansul si viteza de aschiere sa fie permanent modificate, astfel incat sa se asigure obtinerea calitatii suprafetei si extremizarea functiei obiectiv. In acelasi timp adancimea de aschiere trebuie sa fie permanent modificata pentru a se putea obtine precizia necesara.

b) conceperea unui produs informatic care, avand ca baza algoritmul matematic sa permita achizitia datelor pe baza carora sa emita recomandari privind optimizarea procesului de aschiere.

Produsul informatic trebuie astfel realizat incat sa permita o usoara utilizare chiar si de personal cu o pregatire minimala in domeniul utilizarii calculatoarelor numerice.

Operatorul trebuie sa “dialogheze” cu calculatorul numeric in logica impusa de procesul de productie.

Programul trebuie sa poata permite intreruperi si reluari ale procesului de achizitie de date, totodata el trebuie sa permita accesul la bazele de date pe care chiar el le-a realizat anterior.

c) conceperea unui plan de cercetare care sa determine masura in care algoritmul propus conduce la optimizarea proceselor de aschiere. Trebuie determinata masura in care faptul ca se pleaca de la parametri initiali cvasi-aleatorii influenteaza stabilitatea procesului de optimizare.

Ca mijloace de cercetare se utilizeaza:

- cercetarea teoretica;
- cercetarea experimentală;
- simularea numerica.

Cercetarea experimentală vizează operații de strunjire de degrosare și semifinisare.

Simularea numerica se utilizează în scopul reducerii cheltuielilor de cercetare. Ea urmărește determinarea măsurii în care algoritmul răspunde în următoarele situații:

- apariția unui semnal impuls (situație care corespunde apariției unor valori eronate pentru o piesă oarecare, revenind în domeniul inițial de la piesa următoare);
- apariția unui semnal treaptă (situație care apare atunci când începând de la o anumită piesă se modifică unul sau mai mulți parametri pentru toate piesele care urmează);
- influența modificărilor parametrilor economici de intrare.

1.3.3. Algoritmul optimizării procesului de prelucrare

În prezenta lucrare, optimizarea regimurilor de aschiere se face extremizând următorii indicatori de performanță:

- costul prelucrării;
- productivitatea tehnologică;
- profitul specific.

Costul total al unei operații de prelucrare, C_T , include manopera directă, manopera indirectă și costul sculelor.

$$C_T = \left(\tau_b + \tau_a + \frac{\tau_{sr}}{n_b} \right) c_\tau + \frac{C_{as} + C_{es}}{(N+1)T} \tau_b + C_i \quad (1.3.1)$$

unde :

- τ_b – reprezinta timpul de baza, timpul in care are loc efectiv aschierea suprafetei;
- τ_a – timp auxiliar;
- τ_{sr} – timp de schimbare si reglare a sculei, o componenta a timpului auxiliar;
- n_b – numarul de bucati prelucrate intre doua reascutiri succesive ale sculei;
- c_τ – suma tuturor cheltuielilor care sunt direct proportionale cu timpul;
- C_{as} – cheltuieli de achizitie a sculei;
- C_{es} – cheltuieli de exploatare a sculei;
- N - numarul de reascutiri;
- T - durabilitatea sculei;
- C_i - cheltuieli indirecte.

Timpul de baza τ_b poate fi exprimat ca raport intre volumul aschiilor detasate si debitul volumic de aschii

$$\tau_b = \frac{V}{v \cdot s \cdot t} \quad (1.3.2)$$

Considerand relatia lui Taylor

$$v = \frac{C}{T^m s^x t^y} \quad (1.3.3)$$

rezulta ca

$$\tau_b = \frac{VT^m}{Cs^{1-x}t^{1-y}} \quad (1.3.4)$$

Se considera cheltuelile aferente sculei aschietoare intre doua ascutiri succesive sub forma

$$C_s = \frac{C_{as} + C_{es}}{N + 1} \quad (1.3.5)$$

Raportand cheltuelile totale la volumul de aschii detasate obtinem

$$C_V = \frac{C_T}{V} \quad (1.3.6)$$

si avand in vedere ca

$$\frac{\tau_b}{T} = \frac{V \cdot T^{m-1}}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}} \quad (1.3.7)$$

si notand

$$C_t = C_s + \tau_{sr} \cdot C_\tau \quad (1.3.8)$$

se obtine

$$C_V = \frac{1}{V} \left[\frac{V}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}} \left(T^m \cdot C_\tau + T^{m-1} \cdot C_t \right) + \tau_a \cdot C_\tau + C_i \right]. \quad (1.3.9)$$

Se retine din aceasta expresie cheltuiala volumica dependenta direct de timp sub forma:

$$C_{Vt} = \frac{T^m \cdot C_\tau + T^{m-1} \cdot C_t}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}}. \quad (1.3.10)$$

Pentru determinarea extremului acestei functii in raport cu durabilitatea T se calculeaza

$$\frac{\partial C_{Vt}}{\partial T} = \frac{mT^{m-1}C_\tau + (m-1)T^{m-2} \cdot C_t}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}}. \quad (1.3.11)$$

Analizand derivata costului in raport cu durabilitatea T rezulta maximul functiei, careia ii corespunde durabilitatea economica

$$T_{ec} = \frac{1-m}{m} \frac{C_t}{C_\tau}. \quad (1.3.12)$$

In figura 1.3.2 este prezentata dependenta costului functie de durabilitate. Se observa ca nivelul minim al costului corespunde durabilitatii economice.

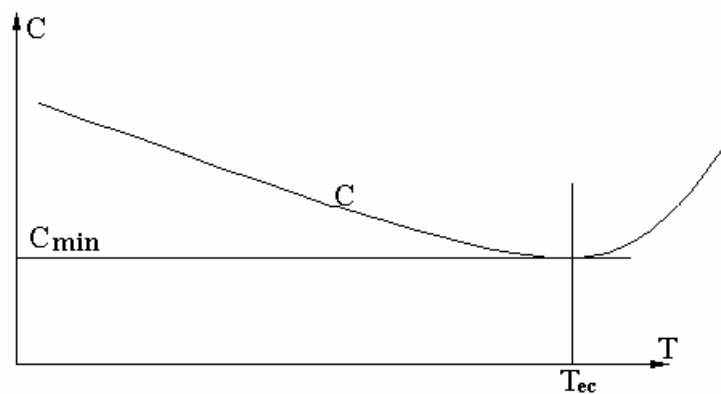


Fig. 1.3.2. Dependenta costului functie de durabilitate .

Calculand productivitatea aschierii

$$Q = \frac{V}{\tau_b + \tau_a + \frac{\tau_{sr}}{n_b}}, \quad (1.3.13)$$

Cu

$$\tau_b = \frac{V}{v \cdot s \cdot t} = \frac{V \cdot T^m}{c \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}}$$

$$\frac{1}{n_b} = \frac{\tau_b}{T} = \frac{V \cdot T^{m-1}}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}} \quad (1.3.14)$$

se obtine:

$$Q = \frac{1}{\frac{\tau_a}{V} + \frac{T^m + \tau_{sr} \cdot T^{m-1}}{C \cdot s^{1-x} \cdot t^{1-y}}}. \quad (1.3.15)$$

Calculand

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = 0 \quad (1.3.16)$$

se obtine minimul functiei careia ii corespunde durabilitatea productiva si care are expresia :

$$T_{pr} = \frac{1-m}{m} \cdot \tau_{sr} \quad (1.3.17)$$

In figura 1.3.3 este prezentata dependenta productivitatii si a costului functie de durabilitate.

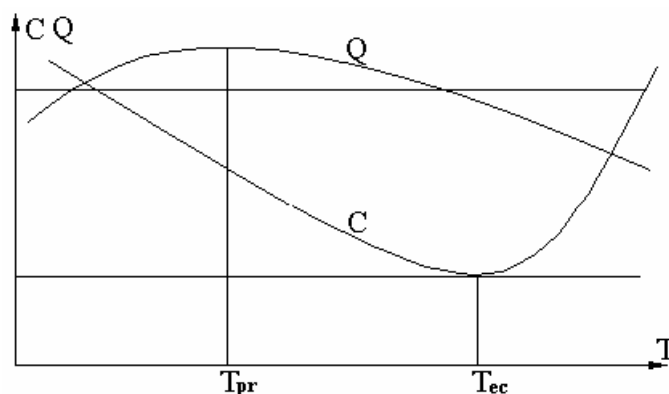


Fig. 1.3.3. Graficul productivitatii Q si a costului c functie de durabilitatea T a sculei

Ca parametru important in definirea procesului tehnico-economic se prezinta pretul specific p sub forma :

$$p = \frac{\text{pret de vanzare}}{\text{suprafata prelucrata}} \quad (1.3.18)$$

Se defineste astfel profitul specific (lei/min) cu expresia :

$$B = (p - c)Q \quad (1.3.19)$$

Se obtine astfel expresia profitului sub forma

$$B = \frac{C \cdot p \cdot s^{1-x} \cdot T^{1-m} - c_{\tau} \cdot T - c_s}{T + \tau_s} \quad (1.3.20)$$

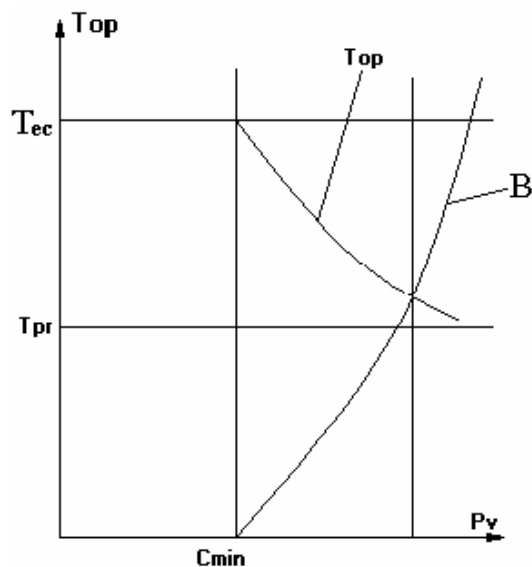
si care, derivat, conduce la

$$\frac{\partial B}{\partial T} = \frac{[(1-m)C \cdot p \cdot s^{1-x} T^m - c_{\tau}] \cdot (T + \tau_s) - C \cdot p \cdot s^{1-x} T^{1-m} + c_{\tau} \cdot T + c}{(T + \tau_s)^2} \quad (1.3.21)$$

Din anularea derivatei se obtine ecuatia (1.3.22) care contine ca necunoscuta durabilitatea numita optima, T_{op} .

Rezolvarea acestei ecuatii permite determinarea durabilitatii optime. Expresia acesteia este :

$$T_{op}^m - \frac{(1-m) \cdot C \cdot p \cdot s^{1-x}}{c_\tau} \cdot \frac{T_{op} - T_{pr}}{T_{ec} - T_{pr}} = 0. \quad (1.3.22)$$



Utilizand un regim de aschiere care sa conduca la o durabilitate a sculei $T = T_{op}$ se va obtine profitul maxim.

Fig. 1.3.4. Graficul durabilitatii optime si a profitului maxim functie de pretul de vanzare.

In figura 1.3.4 este prezentata dependenta durabilitatii optime functie de pretul de vanzare p_v .

Pentru realizarea optimizarilor este necesara mai intai determinarea parametrilor ce caracterizeaza sistemul analizat.

1.3.4. Identificarea sistemului

In conditiile specifice din sectiile de productie, de regula, nu sunt cunoscuti parametrii caracteristici ai regimului de aschiere. Se cauta ca determinarea acestora sa se realizeze pe cale experimentală.

Se considera ca acesti parametri provin din relatia lui Taylor. Fiind in numar de patru, pentru calcularea lor initiala sunt necesare patru determinari experimentale. Intrucat in timpul lucrului apar modificari in ceea ce priveste comportamentul sistemului tehnologic, calculul ce permite stabilirea constantelor procesului se realizeaza pe baza ultimelor patru experimente.

Lucrul direct cu relatia lui Taylor este dificil, preferandu-se logaritizarea acestei expresii care, pentru un experiment oarecare i , se prezinta sub forma

$$\ln(v_n) = \ln(C) - m \cdot \ln(T) - x \cdot \ln(s_n) - y \cdot \ln(t_n). \quad (1.3.23)$$

Scriind aceasta expresie de la $i = n - 3$ pana la $i = n$, unde n este numarul ultimului experiment, se obtine un sistem de patru ecuatii cu urmatoarele necunoscute : C, m, x, y .

In sistem vor trebui introduse drept variabile marimile: v_i, T, s_i, t_i cu $n - 3 \leq i \leq n$.

Sistemul se poate rezolva numai daca nici unul din parametri nu se repeta de patru ori consecutiv, adica daca sistemul este unic determinat.

Valorile acestor parametri se determina prin masurare directa cu o precizie care sa permita realizarea convergentei sirurilor de valori calculate.

1.3.4.1. Modelul matematic al rugozitatii

Pentru primele doua piese prelucrate se adopta din experienta valoarea avansului si se considera o dependenta a rugozitatii functie de avans si viteza de aschiere de forma:

$$H_n = A \cdot s_n^2 + B \cdot v_n. \quad (1.3.24)$$

Dupa prelucrarea primelor doua piese consecutive se pot determina constantele A si B cu relatiile

$$A = \frac{v_{n-1} \cdot H_n - v_n \cdot H_{n-1}}{v_{n-1} \cdot s_n^2 - v_n \cdot s_{n-1}^2} \quad (1.3.25)$$

si

$$B = \frac{H_{n-1} - A \cdot s_{n-1}^2}{v_{n-1}} \quad (1.3.26)$$

cu care se calculeaza avansul de la experimentul ce urmeaza cu relatia:

$$s_{n+1} = \sqrt{\frac{H_{adm} - B \cdot v_n}{A}} \quad \text{cu } (n = 2) \quad (1.3.27)$$

Pentru prelucrarea următoarelor piese se considera avansurile s_{n-1}, s_n și cu s_{n+1} adoptat din gama de avansuri a mașinii unelte (dacă aceasta dispune de o cutie de viteze secvențială) sau chiar valoarea calculată în cazul mașinilor unelte cu reglare continuă a avansului.

Peste piesa cu numărul 3 se urmărește modul de evoluție a rugozității funcție de avans și măsura în care rugozitățile realizate se situează sub valoarea rugozității admise H_{adm} .

Ca parametri se utilizează rugozitățile și avansurile corespunzătoare ultimelor trei experimente. Considerând o dependență liniară a acestor parametri se determină valorile medii:

$$s_{m1} = \frac{s_{n-1} + s_n}{2} \quad s_{m2} = \frac{s_n + s_{n+1}}{2} \quad (1.3.28)$$

pentru avansuri și

$$H_{m1} = \frac{H_{n-1} + H_n}{2} \quad H_{m2} = \frac{H_n + H_{n+1}}{2} \quad (1.3.29)$$

pentru rugozități. Se poate astfel determina, pentru prelucrarea piesei următoare, un avans optim de calcul

$$s_{(opt)} = \frac{s_{m2} - s_{s1}}{H_{m2} - H_{s1}} (H_{adm} - H_{m1}) + s_{m1} \quad (1.3.30)$$

pe baza căruia se alege avansul care va fi utilizat la prelucrarea piesei următoare.

1.3.4.2. Modelul matematic al vitezei de aschiere

Pentru determinarea coeficienților necunoscuți (C, m, x, y) care descriu sistemul se pleacă de la relația vitezei de aschiere a lui Taylor (1.3.3). Logaritmand această relație și scriind-o pentru ultimele patru piese prelucrate rezultă sistemul:

$$\begin{cases} \ln(v_{n-3}) = \ln(C) - m \cdot \ln(T_1) - x \cdot \ln(s_{n-3}) - y \cdot \ln(t_{n-3}) \\ \ln(v_{n-2}) = \ln(C) - m \cdot \ln(T_2) - x \cdot \ln(s_{n-2}) - y \cdot \ln(t_{n-2}) \\ \ln(v_{n-1}) = \ln(C) - m \cdot \ln(T_3) - x \cdot \ln(s_{n-1}) - y \cdot \ln(t_{n-1}) \\ \ln(v_n) = \ln(C) - m \cdot \ln(T_4) - x \cdot \ln(s_n) - y \cdot \ln(t_n) \end{cases} \quad (1.3.31)$$

In calcul se folosesc marimile T, v, s, t de la ultimele patru piese prelucrate.

Marimea durabilitatii T se stabileste plecand de la uzura sculei masurata dupa fiecare piesa prelucrata. Se admite ca uzura sculei creste constant pana la atingerea unei valori maxim admise U_{max} dupa care cutitul se reascute. Daca la prelucrarea unei singure piese s-a constatat o crestere a uzurii cu ΔU iar procesul de aschiere a durat t secunde se poate determina durabilitatea sculei ca fiind

$$T = \frac{U_{max}}{\Delta U} \cdot t. \quad (1.3.32)$$

Pe baza coeficientilor determinati din rezolvarea sistemului (1.3.31) se calculeaza T_{ec} si T_{pr} si se poate forma functia care descrie durabilitatea optima:

$$f(t_{opt}) = T_{opt}^m - \frac{(1-m) \cdot C \cdot p \cdot s_{max}^{1-x}}{C_\tau} \frac{T_{opt} - T_{pr}}{T_{ec} - T_{pr}} \quad (1.3.33)$$

Determinarea directa a radacinii acestei ecuatii este imposibila deoarece aceasta este o ecuatie transcendentă. Este posibilă o rezolvare aproximativă, cu o precizie impusa, prin metode numerice. S-a recurs la metoda bisectiei, cu o determinare prealabila a domeniului in care se afla solutia.

Pe baza durabilitatii optime astfel obtinute se determina viteza de aschiere optima. Aceasta este convertita in turatie adoptand o valoare existenta pe masina unalta (daca cutia de viteze este secventiala).

Bibliografie

- A A1** Alamano A.M., Epureanu, Al. “Optimizarea adaptiv-inteligenta a proceselor de aschiere pornind de la identificarea sistemului tehnologic”, Conferinta Nationala AGIR 28/29.05.2004, Braila/Romania Cercetarea stiintifica in conditiile integrarii europene, pag.1066;
- A2** Alamano A.M., Epureanu Al., Hauk N., “Program de calcul numeric destinat optimizarii proceselor de aschiere pornind de la identificarea sistemului tehnologic”, Conferinta Nationala AGIR 28/29.05.2004, Braila/Romania Cercetarea stiintifica in conditiile integrarii europene, pag.1070;
- A3** Apostu C., 1994 , “Analiza pozitionala a sistemelor de prelucrare“, Simpozionul Tehnologii speciale si neconventionale , Universitatea din Galati;
- A4** Apostu C., 1994 , “Sistem de prelucrare cu pozitionare adaptiva“, Simpozionul Tehnologii speciale si neconventionale, Universitatea din Galati;
- A5** Apostu C., 1998 , “Metoda de compensare adaptiva a erorilor de prelucrare.Partea I . Baze teoretice“ , a VI – a conferinta nationala de tehnologii si utilaje pentru prelucrarea materialelor prin deformare plastica , Universitatea Dunarea de Jos din Galati;
- A6** Apostu C., 1998 , “Metoda de compensare adaptiva a erorilor de prelucrare.Partea a II –a . Verificarea experimentală“ a VI-a conferinta nationala de tehnologii si utilaje pentru prelucrarea materialelor prin deformare plastica, Universitatea Dunarea de Jos din Galati;
- A8** Attia M. H., Kops , L., 1981 , “System Approach To The Thermal Behavior And Deformation Of Fixe Joints“, Transaction of ASME, Journal of Engineering for Industry, vol. 103, pag. 67 –

72;

- B1** Barthel J.W., Shin, Y.C., “Adaptive control of nonminimum phase processes with application to the end milling process”, Proceedings of the American Control Conference, pp.2449-2454,1993;
- B2** Beadle B., Bollinger, J., “Computer adaptive control of a machine tool”, Annals CIRP, 16 , pp.61-65, 1971;
- B3** Brecker J. N., Shum, L. Y., “Tool collision and machine considerations in adaptive control systems”, Annals CIRP, 25(1), pp. 319-322, 1976;
- B4** Boothroyd G., Knight , W.A., 1989 “Fundamentals of Machining and Machine Tools“, University of Rhode Island Kingstone;
- B5** Bryan J.B., 1968 “International Status of Thermal Error Research“, Annal of CIRP , vol. 16 , pag. 203 – 215;
- B6** Bunn D. W ., 1988 , “Analysis for optimal decisions“, Oxford University, John Wiley & Sons Publisher, Toronto, New York;
- C1** Carlsson T. E., Strand F., 1992 “A Statistical Model for Prediction of Tool Life as a Basis for Economical Optimization of the cutting Process“, Annals of the CIRP , vol. 41/1/1992;
- C2** Celano G., Costa A., Fichera S., “Statistical design of variable sample size and sampling Xcontrol charts with run rules”,Advanced Manufacturing Technology,2005;
- C3** Chen J., Yuan , J. X. , Ni , J. Wu , S., M., 1993 “Real-time Compensation for Time-variant Volumetric Errors on a Machining Center“, Transaction of ASME, Journal of Engineering for Industry , vol. 115 , pag.472 – 478;
- C4** Chang Y.F., Chen B.S., “The VSS controller design and implementation for the constant turning force adaptive control system”, International Journal of Machining Tools and Manufacturing, 28(4), pp.373-387, 1988;

- C5** Chen M.C., Tsai D., M., 1995 “A simulated annealing for optimization of multi-pass turning operations“ ASME;
- C6** Chen MS., Chu MC., «The analisys of optimal model in matching problem between manufacturing and marketing”;
- C7** Chen Y.S., Yu F.J., “Determination of optimal design parameters of mooving average control chart”, Advanced Manufacturing Technology,2003;
- C8** Choudburry S. K., Appa Rao , I. V. K., 1997 “Optimization of cutting parametres for maximizing tool life“ , International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 , pag. 343 – 353;
- C9** Chih-Ching Lo, Chao-Yin Hsiao, 1998 , “A method of tool path compensation for repeated machining process“, International Journal of Machine Tools Manufacturing, vol.38 , pag. 205 – 213;
- C10** Chua M., S., Loh Y.S., Wong M.R., 1991 , “Computer Aided Production Engineering“ edited by V.C. Venkatesh and J.A. McGeough;
- C11** Constantinescu I., Golumbovici D., Militaru C., 1980, “ Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoarele numerice” , Editura Tehnica , Bucuresti;
- C12** Cristea V., Athanasiu I., Kalisz E., Iorga V., 1993 , “Tehnici de programare“ , Editura Teora , Bucuresti;
- D1** Daneshmend L.K., Pak H.A., “Model reference adaptive control of feed force in turning”, Transaction ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control, 108, pp.215-222, 1986;
- D** **D2** Dodescu Gh., 1979 , “Metode numerice in algebra“, Editura Tehnica, Bucuresti;
- D3** Dodescu Gh., Toma M., 1976 , “Metode de calcul numeric“ , E.D.P. Bucuresti;
- D4** Draghici , G., 1977 , “ Tehnologia constructiilor de masini “ , Editura Didactica si Pedagogica , Bucuresti;

- E1** Elbestawi M.A., Sagherian R., “Parameter adaptive control in peripheral milling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 27(3), pp. 399-414,1987;
- E2** Elbestawi M. A., Mohamed Y., Liu, L., “Application of some parameter adaptive control algoritms in machining”, *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control*, 112 pp.611-617, 1990;
- E3** El Hakim M.A., El Awam A.M., El Sabbagh A., S., 1983 “A computer program for the optimization of the machining variables“ , *Computer & Industry Engineering*, vol. 7, pag. 317 – 336;
- E4** Epureanu Al. , Pruteanu O. , Gavrilas I. , 1983 , “Tehnologia constructiilor de masini“, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti;
- E5** Ermer D. S., Kromodihardja S., 1981 , “Optimization of Multipass Turning with Constrains“, *ASME* vol. 103;
- F1** Fong J.Y., Chinyao L., “An algorithm for the determination of optimal design parameters of xcontrol chart”, *Int J Adv Manuf. Technol.* (2005) 26:86-89;
- F2** Freiheit Th., Hu S.J., “Impact of machiming parameters on machine reliability and system productivity”, *Transaction of the ASME*, vol.24, 2002;
- F3** Fuh X.N., Chen C.T., Chang Y.F., “Design and implementation for maximum metal removal-rate control of a constant turning-force system”. *Journal of Material Processing Technology*, pp.351-359,1996;
- F4** Fuh K.H., Chen C.T., “Constant turning force operation with a fixed metal removal rate via a prior fuzzy controller system”, *Journal of Material Processing Technology*, 70(1-3), pp. 116-121, 1997;

- F5** Fussell B.K., Srinivasan K., “Model reference adaptive control of force in end milling operations”, Proceedings of the American Control Conference, pp. 1189-1194, 1988;
- F6** Fussell B.K., Srinivasa K., “On-line identification of end milling process parameters”, Transactions ASME Journal of Engineering for Industry, 111, pp.322-330, 1989;
- G1** Gharbi A., Kenne J.P., « Maintenance scheduling and production control of multiple-machine manufacturing systems », SO Computers & Industrial engineering;
- G2** Gupta R., Batra J.L. , Lal G. K. , 1993 , “Profit rate maximization in multipass turning with constraints; a geometric programming approach“, ASME;
- G**
- H1** Haber R., Alique J.R., Ros S., Peres C.R., “Fuzzy supervisor control of end milling process”, Information Science, 89(1-2), pp.95-106, 1996;
- H2** Honhjun J., Gruwald D., “design of servo control systems with quadric optimal control and observed-state feedback control for mems-based storage device”, Microsyst Technol. (2005) 11:1005-1012;
- H**
- H3** Huang S.J., Chiou K.C., “Application of neural network in self-turning constant force control”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36(1), pp.17-31, 1996;
- H4** Huang S.J., Shy C.Y., “Fuzzy logic for constant force control of end milling”, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 46(1), pp.169-176, 1999;
- H5** Hu J.S., Zhong W., Bingham D., “Selecting process parameters and machine tolerance for optimal system performance”;
- H6** Hsu P.L., Fann W.R., “Fuzzy adaptive control of machining processes with self-learning algorithm”, Transactions ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering”, 118(4), pp.

522-530, 1996;

- H7** Hwang C.L., Chen B.S., “Constant turning force adaptive control via sliding mode control design”, Transaction ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 112, pp.308-312, 1990;
- I1** Iwata K. , Murotsu Y., Iwatsubo T., Fujii S., 1972 , “A profitable approach to the determination of the optimum cutting conditions“, edited in Journal of Engineering for Industry , ASME;
- I J1** Jang D. Y., 1991 , “A unified optimization model of a machine process for specified conditions of machined surface and process performances “, ASME .
- J2** Jtlusty M. A. A., “Analysis of transients in an adaptive controlservomechanism for milling with constant force”, ASME Journal of Engineering for Industry, 99, pp. 766-772, 1977;
- J3** Jerard R.B., Fussel B.K., Ercan, M.T., “On-line optimization of cutting for NC machining”, Manufacturing&Industrial Innovation Research Conference, January 2001;
- K1** Kim S.I., Landers RG., Ulsoy A.G., “Robust machining force control with process compensation “, Journal of Manufacturing Science and engineering-transactions of the ASME;
- K2** Kim M.K., Cho M.W., Kim K., “Application of the fuzzy control strategy to adaptive force control of nonminimum-phase end milling operations “, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 34(5), pp. 677-696, 1994;
- K3** Koren Y., “Control of machine tools”, Journal of manufacturing science and engineering-transaction of the ASME;
- K4** Koren Y., “Adaptive control systems for machining”, Proceedins of the American Control Conference, pp. 1161-1167, 1988;
- K5** Koren Y., “Computer Control of Manufacturing Systems”, McGraw-Hill, New York, 1984;

- K6** Koren Y., Massory O., “Adaptive control with process estimation“, Annals CIRP , 30(1), pp.373-376, 1981;
- K7** Kwon W.T., Ehmann K.F. , 1992 , “Tool wear monitoring by using the imaginary part of the transfer functions of the cutting dynamics“, ASME;
- K8** Kwon W.T., Fischer G.W., “A novel approach to quantifying tool wear and tool life measurements for optimal tool management”;
- K9** Kooi S.B., “Robust adaptive control for nonlinear end milling process”, Proceedings of the American Control Conference, pp. 2995-2999, 1995;
- K10** Ko J.H., Yun W.S., Cho D.W., Ehmann F., “Development of a virtual machining system, approximation of the size effect for cutting prediction”, International Journal of Machine Tools & Manufacturing, July 2002;
- L1** Lan C.H., “Optimal control of a multistage machining operation on a computer numerically controlled machine”, Advanced Manufacturing Technology, 2002;
- L2** Landers R.G., Ulsoy A.G., “Model-based machining force”, Journal of dynamic systems measurement and control-transactions of the ASME;
- L** **L3** Lauderbaugh L.K., Ulsoy A.G., “Model reference adaptive force control in milling”, Transaction ASME Journal of Engineering for Industry, 111, pp.14-21, 1989 ;
- L4** Lim E.M., Menq C.H., “Integrated planning for precision machining of complex surfaces, cutting-path and feedrate optimization”, August 1995;
- L5** Lin C.M., Chiu P.Y., “Fuzzy PI control of constant turning force cutting process”, Journal of Control Systems and Technology, 5(2)pp.301-310, 1997 ;
- L6** Liu Y., Wang, C., “Neuronal network based adaptive control and

optimization in the milling process”, Advanced Manufacturing Technology, 1999;

- L7** Liu Ym., Zuo L., Wang, C.J., “Intelligent adaptive control in milling processes”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing;
- L8** Liu Y.M., Huang Y.F., Chen J.J., “Sliding mode self-tuning controller design and application to machining”, Proceedings of the IEEE Symposium on Industrial Electronics, pp.215-217,1992;
Liu Y.M., Huang Y.F., Katayama S.T., Hirose H.R., “The ultimate
- L9** sliding mode control for machining process”, Report of Researches Nippon Institute of Technology, 21(3), pp.239-248,1991;
- L10** Liu Y.M., Huang Y.F., Chen J.J., “Sliding model self-tuning controller design and application to machining”, Proceedings of the IEEE Symposium on Industrial Electronics, pp. 215-217,1992;
- L11** Liu Y.M., Huang J.J., Chen J.J., “A back propagation neural network self-tuning adaptive control for nonlinear machining process”, Proceedings of the Second IASTED International Conference on Computer Application in Industry, pp.17-19,1992;
- L12** Liu Y.M., Huang Y.F., Chen J.J., “A neural network based model reference adaptive control for machining”, Proceedings of the International Conference on Computers in Machinery Industry, pp.383-385,1992 ;
- L13** Liu Y.M., Huang F., Chen J.J., “A sliding mode control for nonlinear machining using the neural network to select the switching function”, Proceedings of the Second IASTED International Conference on Computer Application in Industry, pp.390-392, 1992;
- L14** Liu Y.M., Huang F., Yang, S.Z., “A neural network variable structure control and its application to nonlinear machining

- process”, Proceedings of the First Chinese World Congress on Intelligent Control and Intelligent Automation, pp.655-660, 1993;
- L15** Liu Y.M., Cheng T., Zuo L., Wang C., “Development of an open parallel intelligent CNC milling system.Part2.Milling Experiment”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, pp.542-546, 2000;
- L16** Liu Y.M., Zuo L., Cheng T., “A neural network based fuzzy learning controller and its experimental application to milling”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 13(5), pp.461-466,2000.
- L17** Luo X.N., Zhang Q., “Sliding mode controller for force constrained cutting process”, Proceedings of the American Control Conference, pp. 1121-1126, 1990;
- L18** Liu Y.M., Zuo L., Wang C.J., “Intelligent adaptive control in milling process”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 12(5), pp.453-460,1999;
- M1** Martin P., Schneider, F., Dantan, J.Y., “Optimal adjustmente of a machine tool for improving the geometrical quality of machined parts”, Int J Adv Manuf. Technol. (2005) 26:559-564;
- M2** Masory O., Koren Y., “Stability analysis of a constant force adaptive control system for turning”, Transactions ASME Journal of Engineering for Industry, 107, pp.295-300,1985;
- M3** Masory O., Koren Y., “Adaptive control system for turning “ Annals CIRP, 29(1), pp. 281-284,1980;
- M4** Masory O., “Real-time estimation of cutting process parametres in turning”, Transaction ASME Journal of Engineering for Industry, 106(3), pp.218-221, 1984;
- M**
- N1** Nandi R., Rogers, P., “Using simulation to make order/rejection decisions”, SO Simulation-transactions of the society for modeling and simulation international;

- N2** Narang R.V. , Fischer G. W. , 1992 , “Development of a framework to automate process planning functions and to determine machining parametres“ , ASME;
- N3** Neti N.P.K., 1992 , “Real time process monitoring of machining process in manufacturing“
- P1** Pandurangan B., Landers R.G., Balakrishnan, S.N., “Hierarchical optimal force-position control of turnong process”, SO IEEE
N Transaction on control systems technologies;
- P2** Park Y., Kim T.Y., Woo J., Shin D., “Sliding mode cutting force regulator for turning process”, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 38, pp.911-930, 1998;
- P3** Pitstra W.C., Pieper J.K. “Control of a turning machine for constant cutting force”, Proceedings of the American Control Conference, pp.3669-3673, 1997;
- R1** Rober B. K., Shin Y.C., “Control of cutting force for end milling process using an extended model reference adaptive control scheme” , Transactions ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering , 118, pp.339-347, 1996;
- P**
- R2** Rossetto S., Zompi A. , 1981 , “A stochastic tool-life model“ , AME , vol. 103;
- S1** Schweitzer P.J. , Seidmann A., 1991 , “Optimization processing rates for flexible manufacturing systems“ , Management Science , vol.37;
- S2** Shiue Y.R., Guh, R.S., “The optimization of attribute selection in decisiona tree-based production control systems”, Advanced
R Manufacturing Technology, 2006;
- S3** Sheu S.H., Lin Y.,B., Liao, G.,L., “Optimal number of production correction before maintenance of imperfect production process”, Advance Manufacturing Technology, 2006;
- T1** Tarnng Y.S., Hwang S.T., Wang Y.S., “A neural network controller

- S** for constant turning force”, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 34(4), pp.453-460, 1994;
- T2** Tarng Y.S., Cheng S.T., “Fuzzy control of feed rate in end milling operations”, International Journal of Machining Tools and Manufacturing, 33(4), pp.643-650,1993;
- T3** Tarng Y.S., Cheng S.T., ”Design of an adaptive control constant system for end-milling operations”, Journal of Materials Processing Technoligy, 34(1-4), pp.701-710,1993;
- T4** Tarng Y.S., Wang Y.S., “An adaptive fuzzy control system for turning operation”, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 33(6), pp.761-771, 1993;
- T**
- T5** Tarng Y.S., Wang Y.S., “New adaptive controller for constant turning force”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 9(4), pp. 211-216,1994;
- T6** Tarng Y.S., Hwang S.T., Nian C.Y., “Adaptive learning control of milling operations”, Mechatronics, 5, pp.937-948,1995;
- T7** Tarng Y.S., Lin C.Y., Nian C.Y., “Automatic generation of a fuzzy rule base for constant turning force”, Journal of Intelligent Manufacturing, 7(1), pp. 77-84, 1996;
- T8** Tarng Y.S., Yeh Z.M., Nian C.Y., “Genetic synthesis of fuzzy logic controllers in turning”, 7(1), pp.77-84, 1996;
- T9** Tarng Y.S., Nian C.Y., Kao J.K., “Automatic synthesis of membership functions for the force control turning operation”, Journal of Materials Processing Technology , 65(1-3), pp.80-87, 1997;
- T10** Tarng Y.S., Cheng S.T., Wang Y.S. “Adaptive control of machining operation”,Key Engineering Materials, pp.138-140, 1998;
- T11** Tomizuka M., S. Zhang, “Modeling and conventional/adaptive PI control of a lathe cutting process”, Transactions ASME Journal of

Dynamic Systems, Measurements and Control, 110(4), pp.350-354, 1988;

- T12** Tugrul O.,Karpaz Y., “Prediction of surface roughness and tool wear in finish dry hard turning using back propagation neural networks”;
- U U1** Ulsoy A.G., Y.Koren, Rasmussen F., “Principal developments in the adaptive control of machine tools”, Transactions ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control, 105(2), pp. 107-112, 1983;
- V V1** Vilharos Z.J., Monostori L., “A general ann-based cutting model and its application in different phases of manufacturing”;
- Y Y1** Yao, D.D., Shaohui Zheng, “Sequential quality control in batch manufacturing” Annals of Operations Research 87(1999)-30, 1999;
- Y2** Yeh L.J., Lan T.S., “The optimal control of material removal rate with fixed tool life and speed limitation”;
- Y3** Yeh Z.M., Tarng Y.S., Nian C.Y., “Self-organizing neural fuzzy logic controller for turning operations”, International Journal of Machine and Manufacturing, 35(10), pp.1363-1374,1995;
- Y4** Yeou, R.S., Ruye, S.G., “The optimization of attribute selection in decision tree-based production control system”, Int J Adv Manuf. Technol. (2006) 28:737-746;
- Y5** Yun W.S., Ko J.H., Lee H.L., Cho D.W., Ehmann K.F.,”Development of a virtual machining system:cutting process simulation in transient cuts”, International Journal of Machine & Tools Manufacture,2002;
- Y6** Yun W.S., Ko J.H., Cho D.W., Ehmann K.F., “Development of a virtual machining system, prediction and analysis of a machining surface error”,International Journal of Machine Tools & Manufacture, July 2002;

- W** **W1** Wick C., “Automatic adaptive control of machining tools”,
Manufacturing Engineering, pp.38-43, 1977 ;
- W2** Wu Z., Lam Y.C., Shamsuzzaman M., “Optimization design of
control chart system”, IIE Transaction;
- W3** Wysk R.A., Davis R.P., Tanchoco , J.M.A. , 1979 , “Machining
parametre optimization with lot size considerations“ , ASME.

CUPRINS

REZUMAT	8
PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE	8
METODE SI REZULTATE	9
1.1. Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricație reconfigurabile	9
1.1.1. Introducere	9
1.1.2. Principiul metodei	11
1.1.2.1 Aspecte generale	11
1.1.2.2 Analiza fenomenelor si stabilirea variabilelor	12
1.1.2.3 Segmentarea traiectoriei sculei	13
1.1.2.4 Starea sistemului. Tranzitiile sistemului.....	14
1.1.2.5 Algoritmul identificarii	16
Bibliografie	20
1.2. Modelarea și simularea procesului de prelucrare	22
1.2.1. Simularea numerica a conducerii adaptiv-optimale a proceselor de aschiere	22
1.2.1.2. Desfasurarea experimentelor numerice	23
1.2.2 Concluziile experimentelor numerice	46
1.3. Algoritm pentru conducerea adaptive a sistemelor de fabricatie reconfigurabile	47
1.3.1. Schema conceptuala a unui proces de prelucrare	47
1.3.3. Algoritmul optimizarii procesului de prelucrare	53
1.3.4. Identificarea sistemului	58
1.3.4.1. Modelul matematic al rugozitatii	59
1.3.4.2. Modelul matematic al vitezei de aschiere.....	60
Bibliografie	62

OBIECTIVUL 2

DEZVOLTAREA UNEI TEHNICI DE CONDUCERE A SISTEMELOR RECONFIGURABILE BAZATE PE NOI METODE DE MODELARE

2.4. FOLOSIREA SERVERELOR DE APLICATII OLE MICROSOFT SI A OPC SCHNEIDER PENTRU IMPLEMENTAREA INTERFETEOAROM-MASINA SI A LEGATURII CU PLC

REZUMAT

Utilizarea serverelor OLE si OPC este conformă cu necesitățile de reconfigurabilitate impuse sistemului de comandă. Din structura de comandă se poate schimba tipul CLP-ului sau tipul magistralei de comunicație PC-PLC doar prin instalarea driverului accesat de serverul de date. In cadrul acestui obiectiv este realizata o aplicatie intitulată SF.exe care gestionează crearea, modificarea, verificarea și gestionarea programelor piesa utilizate pentru comanda mașinii unelte.

PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE

Pe baza rezultatelor statistice ale unei societati de expertiza "Delphi" din SUA, au fost identificate sase "mari" orientari in domeniul fabricatiei de produse in domeniul mecanic, ce reprezinta puncti intre practicile curente si o noua viziune asupra tehnicilor de prelucrare ale materialelor anului 2020.

Orientarea nr. 1. Realizarea integrata a operatiilor de prelucrare. Orientarea nr. 2. Integrarea resurselor umane si tehnice pentru cresterea performantei produselor si satisfacerea beneficiarilor (orientare ce decurge si din directiva Comisiei europene de aplicare a managementului calitatii totale (TQM) in tehnologii si servicii. Orientarea nr 3. Convertirea “instantanee” a informatiilor tehnologice din domenii precum mecanica, electrotehnica, electronica, automatizari, fizica in principii bazate pe cunoastere ce pot fi decizii in cadrul unor sisteme expert. Orientarea nr. 4. Reducerea rebuturilor, a deseurilor si diminuarea aproape de zero a impactului industrial asupra mediului; Orientarea nr. 5. Reconfigurarea intreprinderilor industriale in concordanta cu centintele de inovare. Orientarea nr. 6. Inovarea de tehnologii noi si produse cu focalizare pe diminuarea dimensiunilor acestora si cresterea preciziei.

Reconfigurarea sistemelor de control si comunicare se bazeaza pe o platforma de programare si arhitectura de control comune, ca si pe software-uri flexibile si adaptabile care nu necesita reprogramare , ci doar sintaxe cu posibilitati multiple de decizie in timp real, cu posibilitati de corectare in timp real si cu posibilitati de monitorizare

METODE SI REZULTATE

2.4. Folosirea serverelor OLE (Object Linked Enable) Microsoft si a OPC – Sneider în implementarea interfețelor om-masina de comandă. Studiu de caz de implementare a comenzii numerice a unei mașini unelte de găurit în coordonate și frezare liniară

2.4.1. Premizele științifice si tehnice ale activitatii

Sistemul de comandă al mașinii este un sistem de comandă numerică alcătuit dintr-un controler logic programabil (CLP) folosit pentru comanda mașinii și un calculator industrial utilizat pentru realizarea funcției de interfață om mașină. Echipamentele sunt produse de Scheneider Electric. Structura de control este prezentată în figura 2.1.

La nivelul PC-ului rulează o aplicație client OPC care are posibilitatea accesării prin intermediul unui set de drivere date conținute în memoria CLP. Utilizarea serverului OPC este conformă cu necesitățile de reconfigurabilitate impuse sistemului de comandă. Din structura de comandă se poate schimba tipul CLP-ului sau tipul magistralei de comunicație PC-PLC doar prin instalarea driverului accesat de serverul de date. Aplicația intitulată SF.exe gestionează partea de creare, modificare, verificare și gestionare a programelor piesa utilizate pentru comanda mașinii unelte. Folosind aplicația se pot afișa și stoca datele referitoare la poziția și starea elementelor sistemului de manufacturare. Structura CLP utilizată pentru comanda mașini este o structură modulară în care configurația necesară aplicației se poate obține prin utilizare unui număr de module cu funcții standard: intrări-ieșiri digitale sau analogice, numărare rapidă, poziționare, interpolare, comunicație. Modulele pot fi dispuse într-o structură distribuită alcătuită din rack-uri (suporturi) ce pot contine până la 12 module, interconectate folosind o magistrală de comunicație dedicată. Modul de utilizare al modulelor poate fi configurat folosind software-ul de programare al CLP-ului.

Configurația utilizată are în componența sa:

- Un modul procesor cu memorie integrată de 32KWords
- Un modul de ieșiri cu 16 ieșiri pe contact de releu $I_{th}=2A$,
- Un modul de control al axelor cu posibilitate de interpolare liniară,
- Un modul de 32 de intrări digitale în logică pozitivă

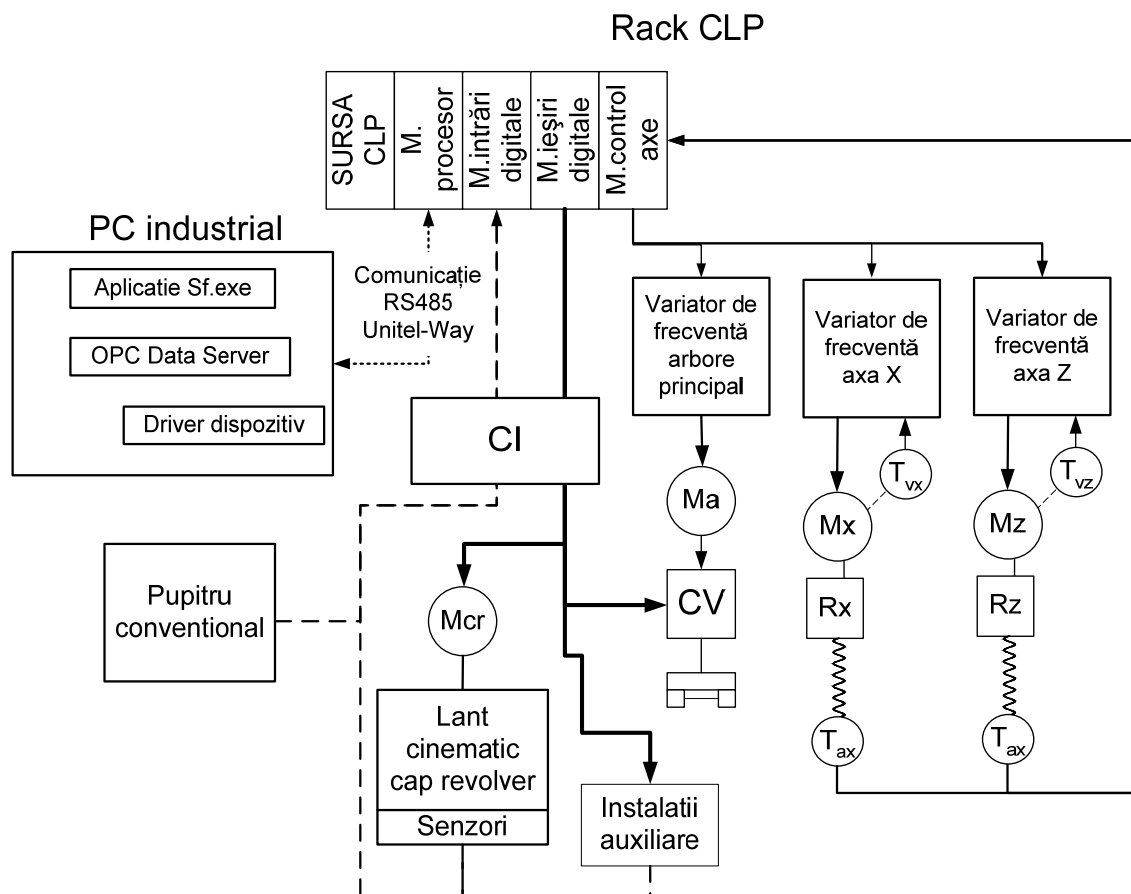


Fig. 2.1. Schema bloc a sistemului de comandă a mașinii

Modulul de control al axelor permite controlul a maxim trei variatoare de turație folosind comanda analogică bipolară $-10V...10V$. Așadar modul de control al axelor oferă posibilitatea de control a trei canale. Parametrii atașați fiecărui canal pot fi configurați utilizând softul de programare. Poziția axelor de lucru este determinată folosind traductoare incrementale montate la nivelul șuruburilor conducătoare ale axelor de deplasare. Pentru arborele principal poziția nu este achiziționată, controlul realizându-se în buclă deschisă. Toate motoarele

Variatoarele axelor de lucru operează folosind modalitatea de control vectorial de flux. Reacția de viteză este furnizată de traductoare de poziție montate pe arborii motoarelor de acționare ale axelor de lucru. Variatorul folosit pentru acționarea motorului arborelui principal operează în buclă deschisă. Gama de viteze a arborelui principal poate fi selectată folosind o cutie de viteze (CV) cu roți cuplabile cu patru trepte de turație.

Modul de funcționare și parametrii fiecărui variator sunt configurați folosind fie un software specializat, fie terminalul de operare prezent pe panoul frontal al fiecărui variator.

Celelalte elemente ale mașinii sunt controlate folosind elemente IO discrete. Folosind un set de circuite de interfațare se controlează prin intermediul ieșirilor digitale elementele sistemului de ungere a instalației, sistemul de răcire ungere piesă, sistemul atașat turelei capului revolver.

Structura de comandă este reconfigurabilă deoarece toate elementele componente ale sistemului prezintă posibilitatea de configurare a parametrilor referitori la modul de operare.

Datele referitoare la programul piesă introdus pot fi salvate de către operator în vederea utilizării lor ulterioare într-o **bază de date**.

Toate comenzile impuse de operator fie direct, fie prin intermediul programului piesă trebuie validate de către un **bloc de calcul** care va determina cotele ce trebuie atinse în urma comenzilor.

Pentru comunicarea cu CLP-ul se folosește un **server OPC** (Ole for Proces Control) denumit OFS (OPC Factory Server) .

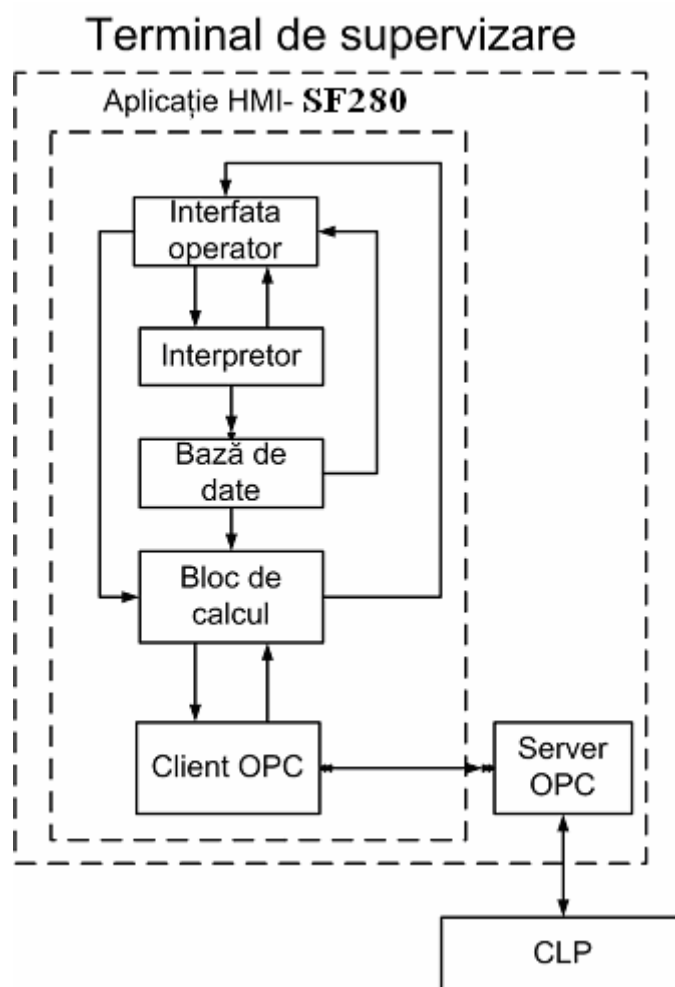


Fig. 2.2. Structura aplicației folosite pentru implementarea funcției om-mașină

OFS este un server de date , dezvoltat de firma Schneider Electric, ce este capabil sa comunice în timp real cu dispozitive din clasele TSX Compact, TSX Micro, TSX Momentum, TSX/PCX/PMX Premium, TSX Quantum si de a livra datele către clienții OPC (aplicația dezvoltată în Visual C++ în cazul nostru).

Obiectul OPC server furnizează o modalitate de acces sau de comunicare cu mai multe surse de date. Clientul OPC se conectează la server cu care poate comunica folosind interfețele acestuia.

Serverele OPC permit clienților să creeze și să utilizeze obiecte de tip grup de articole. Grupurile sunt obiecte oferă posibilitatea clienților de a-și organiza

datele pe care doresc să le acceseze. Grupurile de articole pot fi activate sau dezactivate ca o unitate. Fiecare grup de articole furnizează clientului o modalitate de subscriere la o listă de articole pentru a fi notificat de modificarea valorii lor. Un articol poate fi un element de memorie CLP, o intrare, o ieșire sau orice alt element adresabil prin intermediul programului CLP

Toate obiectele prezentate respectă specificațiile COM și de aceea pot fi adresate doar prin intermediul interfețelor lor.

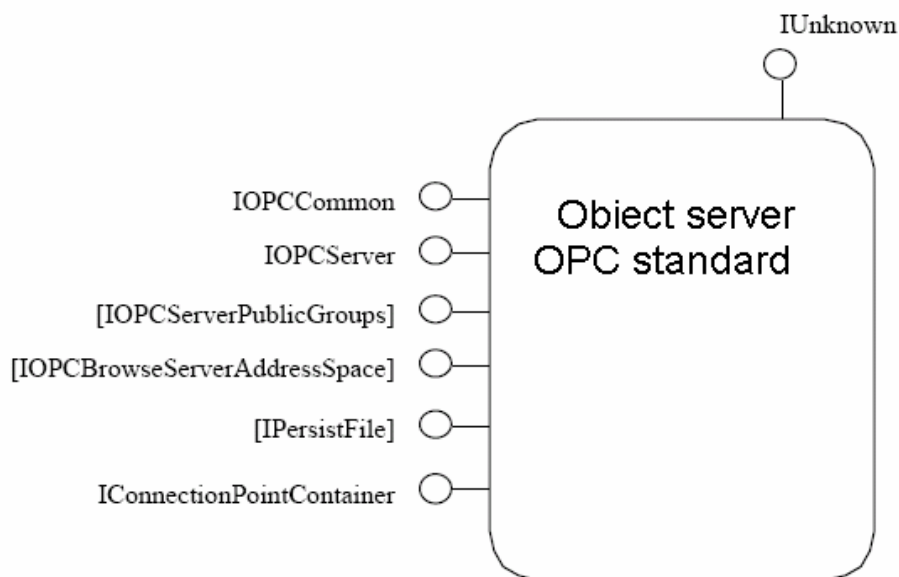


Fig. 2.3. Obiectul server OPC

Interfețele obiectului server OPC folosite sunt următoarele:

- IOPCServer – interfața principală a serverului OPC care permite gestionarea lucrului cu server-ul, gestionarea grupurilor etc.
- IconnectionPointContainer-această interfață furnizează acces pentru conectarea din partea clientului la o funcție (IShutdown) prin care acesta să fie notificat despre evenimentul de închidere a server-ului.
- IOPCCommon- această interfață este folosită și de alte servere cu ar fi OPC alarms and events. Prin această interfață se poate seta un ID al server-ului care va putea fi folosit în relațiile client-server.

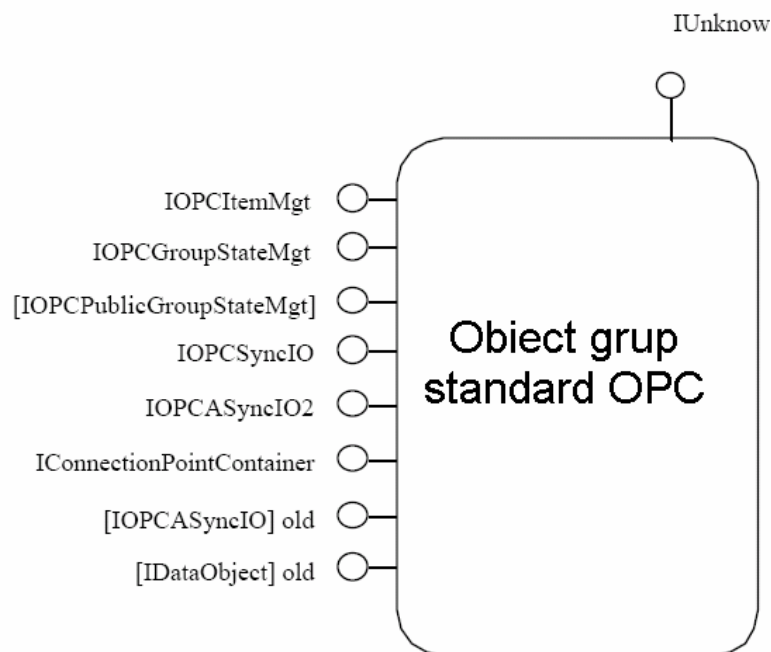


Fig. 2.4. Obiectul grup OPC

Un obiect de tip grup prezintă clientului următoarele interfețe:

- IOPCSyncIO – acces la metodele de scriere/citire sincronă ale variabilelor din CLP;
- IOPCASyncIO2 – acces la metodele de scriere/citire asincronă ale variabilelor din CLP;
- IOPCGroupStateMgt – prin intermediul acestei interfețe se poate seta/modifica rata de citire a serverului din CLP, precum și starea activă/inactivă pentru notificarea trimisă de server la modificarea variabilelor în CLP;
- IOPCItemMgt – permite clientului adăugarea de articole la grup
- IConnectionPointContainer – furnizează clientului o interfață către un punct de conectare prin care acesta poate asocia o funcție (interfață) prin care va fi notificat despre modificarea unei variabile active dintr-un grup activ;

2.4.2. Descriere interfeței om-mașină

Mașina poate funcționa în mai multe regimuri de lucru astfel:

- Regimul de lucru **convențional** - permite comanda mașinii folosind elementele prezente pe pupitrul de comandă al mașinii sau pe panoul mobil al mașinii.
- Regim **manual** - permite realizarea unor comenzi manuale folosind terminalul om-mașină;
- Regimul **IMD** (introducere manuală de date) - permite introducerea programelor piesă în baza de date a mașinii, editarea acestora și lansarea în execuție a unor fraze;

- Regimul **Automat** - este folosit pentru lansarea în execuție a unui program piesă.

2.4.2.1. Descrierea regimului manual

De remarcat este faptul că prin selectarea unui mod de lucru se inactivează toate operațiile lansate în modul de lucru care a fost activ anterior. De asemenea dacă pe mașină nu sunt îndeplinite condițiile de operare în siguranță, mașina va semnala un mesaj de eroare, iar comenzile impuse nu vor mai fi executate decât după dispariția erorilor.

În figura 2.5 este prezentat ecranul de comandă corespunzător modului de lucru manual. Din acest ecran pot fi selectate una din următoarele comenzi: „ZERO MAȘINĂ”, „AVANS RAPID”, „AVANS DE LUCRU” sau „POZIȚIE NULL”.

ZERO MASINA	X+ 1	X Null	Y Null	Z Null
	X- 2	0	0	0
AVANS RAPID	Y+ 3	X Real	Y Real	Z Real
	Y- 4	0	0	0
AVANS LUCRU	Z+ 5	ErroareX	ErroareY	ErroareZ
PozitieNULL	Z- 6	0	0	0
Valoare Increment	-	0	[um]	+
Viteza Avans	-	Viteza de avans este 10.0% din 1250		+
0				
R.Manual	R. IMD	Listare	R.Auto	Anexe
		Inchide		

Fig. 2.5. Ecranul de comandă corespunzător modului de lucru manual

Comanda „ZERO MAȘINĂ” poate fi selectată prin apăsarea tastei F2. În cadrul comenzii „ZERO MAȘINĂ” se face sincronizarea sistemului de măsură a mașinii. Prin apăsarea unuia din următoarele butoane X-(tasta R2), Y-(R4) sau Z+(R5) se specifică axa pe care se face sincronizarea. În momentul în care o comandă de mișcare este lansată în execuție celelalte butoane prin care se pot comanda mișcări sunt dezactivate. Mișcarea de sincronizare poate fi întreruptă în orice moment prin apăsarea din nou a butonului care a inițiat comanda. După sincronizarea unei axe butonul corespunzător este dezactivat. După ce s-au sincronizat toate axele vom spune că mașina e calibrată și automat regimul „ZERO MAȘINĂ” este inactivat.

Realizarea operației de sincronizare este obligatorie înainte de a efectua operații în modurile de lucru AUTOMAT și IMD. În modurile de lucru MANUAL și CONVENȚIONAL se pot realiza deplasări fără a realiza determinarea originii mașinii.

Pentru ca prelucrările să se efectueze în condiții de siguranță este recomandat ca de fiecare dată când se pornește mașina să se realizeze sincronizarea sistemului de măsură al mașinii.

Pentru realizarea unor deplasări manuale mai întâi se selectează una din comenzile „AVANS RAPID” (tasta F4), „AVANS DE LUCRU” (tasta F6).

Prin selectarea comenzii „AVANS RAPID” viteza de avans va fi de 1250 mm/min, iar prin selectarea opțiunii „AVANS DE LUCRU” viteza de avans va fi de 125 mm/min. Dacă se dorește selectarea unei alte valori pentru viteza de avans se apasă butonul „VITEZA DE AVANS” prin intermediul tastei R8 este posibilă modificarea vitezei de avans prin accesarea butoanelor „+” sau „-”, prin apăsarea succesivă a tastei TAB urmată de apăsarea repetată a tastei „ENTER” în momentul în care se observă faptul că s-a selectat unul din butoane. În acest caz valoarea vitezei de avans este afișată pe bara grafică din figura 2.6.

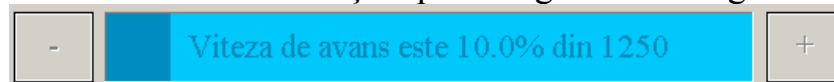


Fig. 2.6. Bara grafică de avans

În general se recomandă folosirea deplasărilor folosind comanda „AVANS RAPID” pentru faza de pregătire a piesei în vederea execuției unui program automat.

După ce s-a precizat viteza de avans se selectează una din comenzile X- (tasta R2), X+(R1), Y-(R4), Y+(R3), Z-(R6) sau Z+(R5). Prin selectarea comenzii se realizează deplasare pe axa solicitată. Pentru oprirea mișcării se mai apasă o dată butonul care a inițiat comanda. De fapt acest buton e singurul activ.

Dacă se dorește ca deplasarea să se realizeze cu un increment se poate apăsa butonul „VALOARE INCREMENT” și apoi se poate introduce valoarea incrementului exprimată în micrometri prin selectarea câmpului corespunzător comenzii prin apăsarea tastei „TAB” și folosirea tastelor numerice pentru introducerea cifrelor. De asemenea se poate accesa unul din butoanele „+” sau „-”, și apoi se va apăsa repetat tasta „ENTER” pentru a modifica valoarea incrementului cu o unitate.

Notă: Valoarea incrementului trebuie să fie mai mare de 100[μm]. Dacă prin introducerea valoarea incrementului este prea mare iar deplasarea ar conduce la depășirea curselor axelor mașinii comanda de mișcare inițiată prin apăsarea unuia din butoanele X-(tasta R2), X+(R1), Y-(R4), Y+(R3), Z-(R6) sau Z+(R5) nu se realizează iar operatorul va putea observa apariția unui mesaj de eroare ”EM-17. Mișcarea solicitata nu se poate realiza deoarece s-ar depăși limitele axei!”. Mesajul dispăre atunci când se lansează o comandă corectă.

Pentru stabilirea originii piesei se activează comanda „POZIȚIE NULL” prin apăsarea tastei F10. Pe ecranul terminalului va fi afișată fereastra prezentată

în figura 2.7. Deplasarea de origine reprezintă cotele originii piesei în raport cu sistemul de coordonate al mașinii.

Exista doua posibilitati pentru specificarea pozitiei de NULL:

Memorarea pozitiei curente

Introducerea valorilor X,Y și Z

Valoare X [um] Valoare Y [um] Valoare Z [um]

0 0 0

Salveaza Inchide

Fig. 2.7. Fereastra pentru stabilirea originii piesei – POZIȚIE NULL

Există două posibilități de stabilire a originii piesă:

- Prin memorarea poziției curente a axelor,
- Prin introducerea manuală a acestor valori.

După selectarea opțiunii dorite și eventual introducerea valorilor necesare se va apăsa butonul „Salvează”.

Pentru revenirea la fereastra inițială se apasă butonul „Închide”.

Operatorul poate vizualiza cotele curente exprimate în sistemul de coordonate al mașinii, erorile de poziționare de pe fiecare axă precum și deplasările de origine prin intermediul elementelor prezentate în figura 2.8.

X Null	Y Null	Z Null
0	0	0
X Real	Y Real	Z Real
0	0	0
ErroareX	ErroareY	ErroareZ
0	0	0

Fig. 2.8. Afișare cote

În zona prezentată în figura 2.9 sunt afișate eventualele mesaje de eroare. Operatorul trebuie să citească mesajele și să remedieze dacă e posibil cauzele care au dus la apariția erori.

EM63-Defect variator. Remediat eroarea si apoi apasati butonul continuare.

Fig. 2.9. Zona de afișare a mesajelor de eroare

2.4.2.2. Descrierea regimului IMD

În regimul IMD (Introducere Manuală a Datelor) se pot realiza următoarele operații:

- Introducerea valorilor registrelor de corecției a sculelor,
- Introducerea programelor piesă,
- Lansarea în execuție a frazelor introduse a programului piesă ,
- Oprirea execuției programului,
- Salvarea programului,
- Transferul programului piesă finalizat în fereastra corespunzătoare modului de lucru AUTOMAT.

Nr.Reg	Valoare	Coment	X Prog	Y Prog	Z Prog
D2	10000	Lungime burghiu	0	0	0
D3	13000	raza freza cilindric			
D4	30000	lungime bara de a	X Real	Y Real	Z Real
D5	40000	Lungime burghiu	0	0	0
Auto			ErroareX	ErroareY	ErroareZ
Salvare			0	0	0
Stop Avans					
Start Ciclu					
Executie					
Stop Executie					
Cod Program			Mesaje eroare		
N1 S3 T2 M6					
N2 M3 X100					
N3 Y100					
N4 Z800					
N5					
R.Manual		R. IMD	Listare	R.Auto	Anexe
					Inchide

Fig. 2.10. Fereastra corespunzătoare regimului de lucru IMD

După introducerea programului sau a unor fraze operatorul poate acționa asupra butonului EXECUȚIE. Programul piesă este verificat frază cu frază din punct de vedere sintactic de către programul CNC și apoi trimis către mașină. Dacă programul conține erori sintactice, frazele incorecte vor fi evidențiate cu culoarea roșie. În partea dreaptă a fiecărei fraze incorecte se va putea observa apariția a câte unui mesaj prin care se va indica cauza erorii.

Cod Program	Mesaje eroare
N1 S3 T2 M6	
N2 Y100	_Nu se pot executa deplasari cu arborele principal oprit
N3 Z100 M3	
N4 G01 Y300	_Specificati valoare avansului
N42 Z200	

Fig. 2.11. Afișare erori sintactice

Dacă în urma verificării sintactice programul este corespunzător va fi trimis spre execuție frază cu frază către procesorul mașinii. Acesta verifică faptul că fraza poate fi executată și apoi o va executa. Dacă fraza nu poate fi executată deoarece mașina nu are această capacitate se va afișa un mesaj de eroare pe linia corespunzătoare frazei. Tot în această zonă sunt afișate și erorile de mașină.

Pentru a afișa mesajul de eroare conținut pe o linie se apasă tasta R6. Pentru a derula lista frazelor la dreapta sau la stânga se apasă una din tasta R4 respectiv R2.

Fraza aflată în execuție este evidențiată cu culoare verde.

Cod Program	Mesaje eroare
N1 S1 T2 M6	0
N2 X95 M3	
N3 G01 X100 F50	
N4 X105	
N6 X95	

Fig. 2.12. Program lansat în execuție

De remarcat este faptul ca atunci când în execuție se află un program nu se mai pot realiza editarea sau introducerea frazelor. Frazele executate nu mai pot fi editate.

Poate opri execuția unui program în orice moment apăsând butonul STOP EXECUTIE prin apăsarea tastei R9.

Programul piesă introdus poate fi salvat astfel:

- Se selectează butonul salvare prin apăsarea tastei R3,
- Se apasă tasta ENTER,
- Pe ecranul terminalului apare fereastra prezentată în figura 2.12.
- Se introduc informațiile referitoare la numele programului, materialul din care e realizată piesa și persoana care a realizat programul. Pentru selectarea câmpurilor de editare se apasă tasta TAB.
- Se apasă butonul „Salvează”

- Selectarea unui program piesă prin apăsarea butonului importă prezent în ecranul Automat prin apăsarea taste „R1”.
- După selectarea programului acesta va fi afișat în lista din cadrul ecranului. Regimul automat poate fi utilizat în conjuncție cu oricare din subregimurile:
- „Frază cu frază”. În acest subregim activat prin apăsarea tastei R4, programul va executa o frază după care pentru reluarea execuției trebuie activat butonul „Execuție” prin apăsarea tastei R3.
 - „Continuu”, subregim activat prin apăsarea tastei R5. Este evident faptul că regimurile „Frază cu frază” și „Continuu” nu pot fi activate simultan.
 - „Activare M01” subregimul de activare a funcției de oprire facultativă activată poate fi lansat în execuție prin apăsarea tastei R9. Pentru a relua execuția programului după o funcție de oprire programată se va acționa asupra butonului „Start Ciclu” prin apăsarea tastei R5
 - „Activare/”. În acest subregim care poate fi selectat prin apăsarea tastei R10 frazele fraze facultative sunt luate în considerare.

Pentru a lansa în execuție un program se va apăsa tasta R3 activând astfel butonul „Execuție”. La fel ca și în regimul IMD programul va fi verificat frază cu frază și apoi trimis frază cu frază către procesorul mașinii pentru a se determina compatibilitatea programului cu mașina. Dacă programul conține erori acestea vor fi afișate pe câmpurile corespunzătoare frazelor incorecte. Tot pe aceste câmpuri se vor afișa erorile legate de starea mașinii.

Pentru a întrerupe mișcarea de avans se poate apăsa butonul STOP AVANS (tasta R7.). Automat textul acestui buton devine PORNIRE AVANS. Dacă se mai apasă butonul o dată mișcarea de avans este reluată. Mișcarea de avans nu este întreruptă dacă se execută un ciclu fix de tarodare.

Se poate renunța la execuția unui program automat prin apăsarea tastei R8, activând astfel butonul „Stop Execuție”.

Dacă se dorește editarea programului piesă se poate apăsa tasta R2, astfel frazele programului vor fi afișate în cadrul ecranului IMD.

2.4.3. Programarea mașinii

2.4.3.1. Sistemul de coordonate al mașinii unelte

Axele de deplasare rectilinie ale mașinii formează un sistem geometric de coordonate.

Axele mașini sunt următoarele:

- *Axa Z* este identică cu axa arborelui principal. Sensul pozitiv al axei Z corespunde deplasării care duce la mărirea distanței dintre sculă și semifabricat.
- *Axa X* este paralelă cu suprafața de așezare a semifabricatului și reprezintă axa principală de deplasare în planul în care se realizează poziționarea

piesei față de sculă. Sensul pozitiv al axei X este spre dreapta atunci când se privește mașina dinspre montant spre arborele principal.

- Axa Y întrecește triedrul și este deci perpendiculară pe planul XOZ. Sensul pozitiv al axei Y se determină cu regula burghiului.

Zero mașină OM (punct de referință fix pe mașină). Conform STAS 8902-71 „Mașini unelte cu comandă numerică. Axe și mișcări” punctul de zero mașină este amplasat în acea extremitate a axelor în care se pot efectua doar deplasări în sensul pozitiv al axelor.

În cazul axelor X și Y acest punct poate fi atins în cadrul regimului „Zero”. În aceste cazuri simultan se face și sincronizarea sistemului de măsură. Limitatoarele folosite pentru detectarea punctului de zero mașină se află plasate chiar în punctul fix de referință.

În cazul axei Z limitatorul de sincronizare este plasat la distanța de 875 [mm] față de suprafața mesei de bază. Pentru axa Z sistemul de măsură determină poziția suprafeței frontale a arborelui principal față de suprafața mesei.

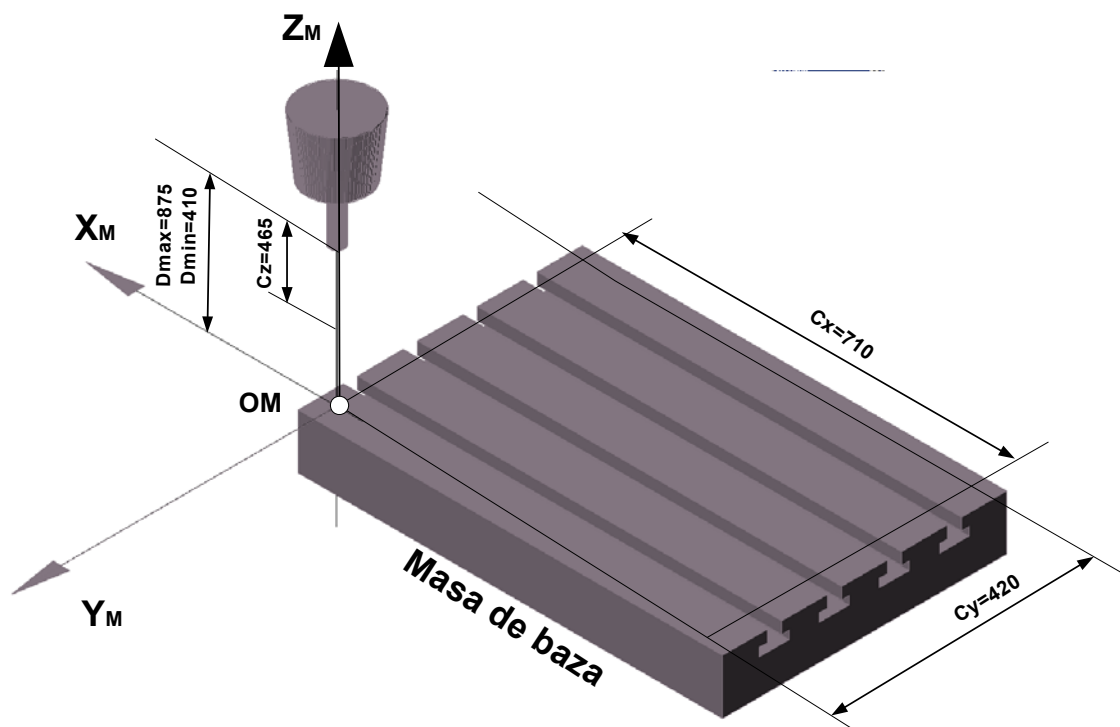


Fig. 2.15. Sistemul de coordonate al mașinii

OM XM YM ZM-sistem de coordonate mașină unealtă.

Cx, Cy, Cz –cursele maxime pe axele XM, YM, ZM.

Dmax, Dmin-distanță maximă, respectiv minimă între suprafața frontală a arborelui principal și suprafața mesei de bază.

2.4.3.2. Sistemul de coordonate al piesei

Se alege astfel se alege astfel încât bazele sistemului de măsurare să coincidă cu bazele tehnologice și cu axele de coordonate ale piesei.

Deplasările de origine reprezintă coordonatele de translație a sistemului de axe piesă în sistemul de coordonate ale mașinii.

- X_0 deplasarea de origine pe axa X care reprezintă distanța dintre proiecțiile axelor OM XM și Op Xp pe suprafața mesei de bază.
- Y_0 deplasarea de origine pe axa Y care reprezintă distanța dintre proiecțiile axelor OM YM și Op Yp pe suprafața mesei de bază.
- Z_0 deplasarea de origine pe axa Z care reprezintă distanța dintre proiecțiile axelor OM ZM și Op Zp măsurată de-a lungul axei Z.

$$Z_0 = 250 + h_p$$

În formula de mai sus h_p reprezintă înălțimea piesei iar 250 este înălțimea mesei suplimentare.

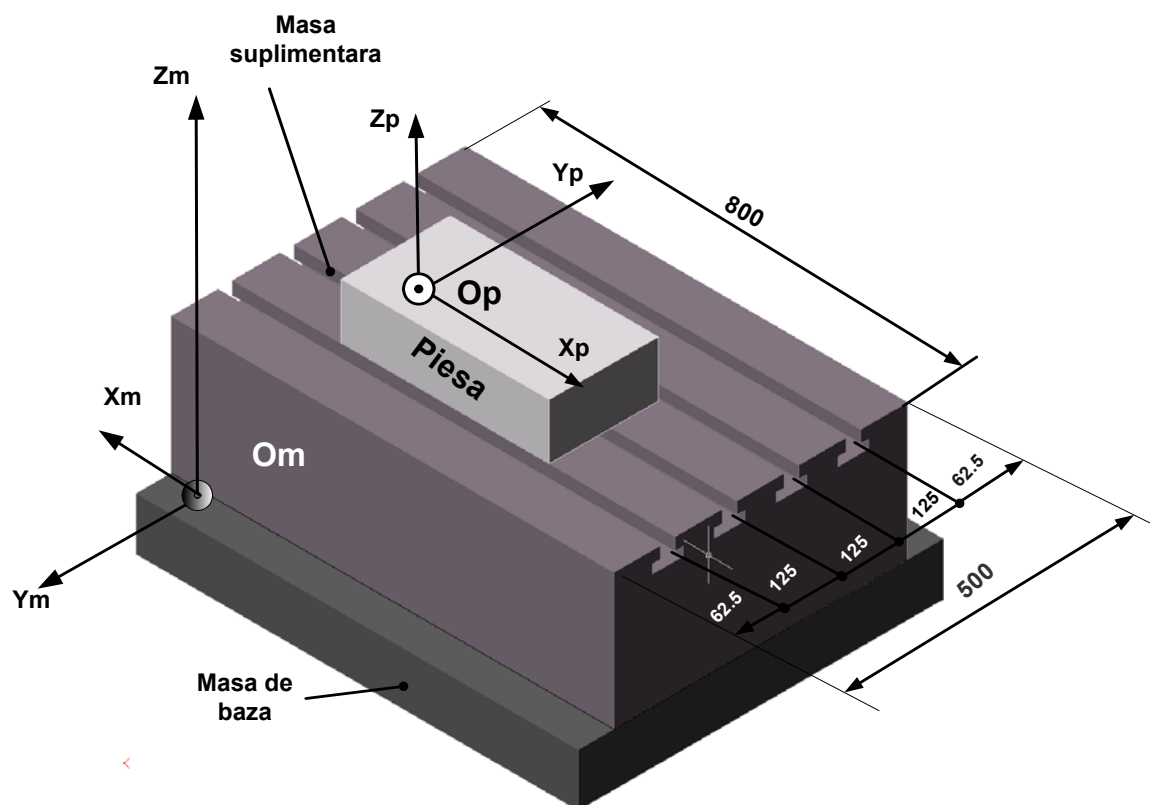


Fig. 2.16. Sistemul de coordonate al piesei

$OM XM YM ZM$ -sistem de coordonate mașină unealtă.

$Op Xp Yp Zp$ -sistem de coordonate piesă.

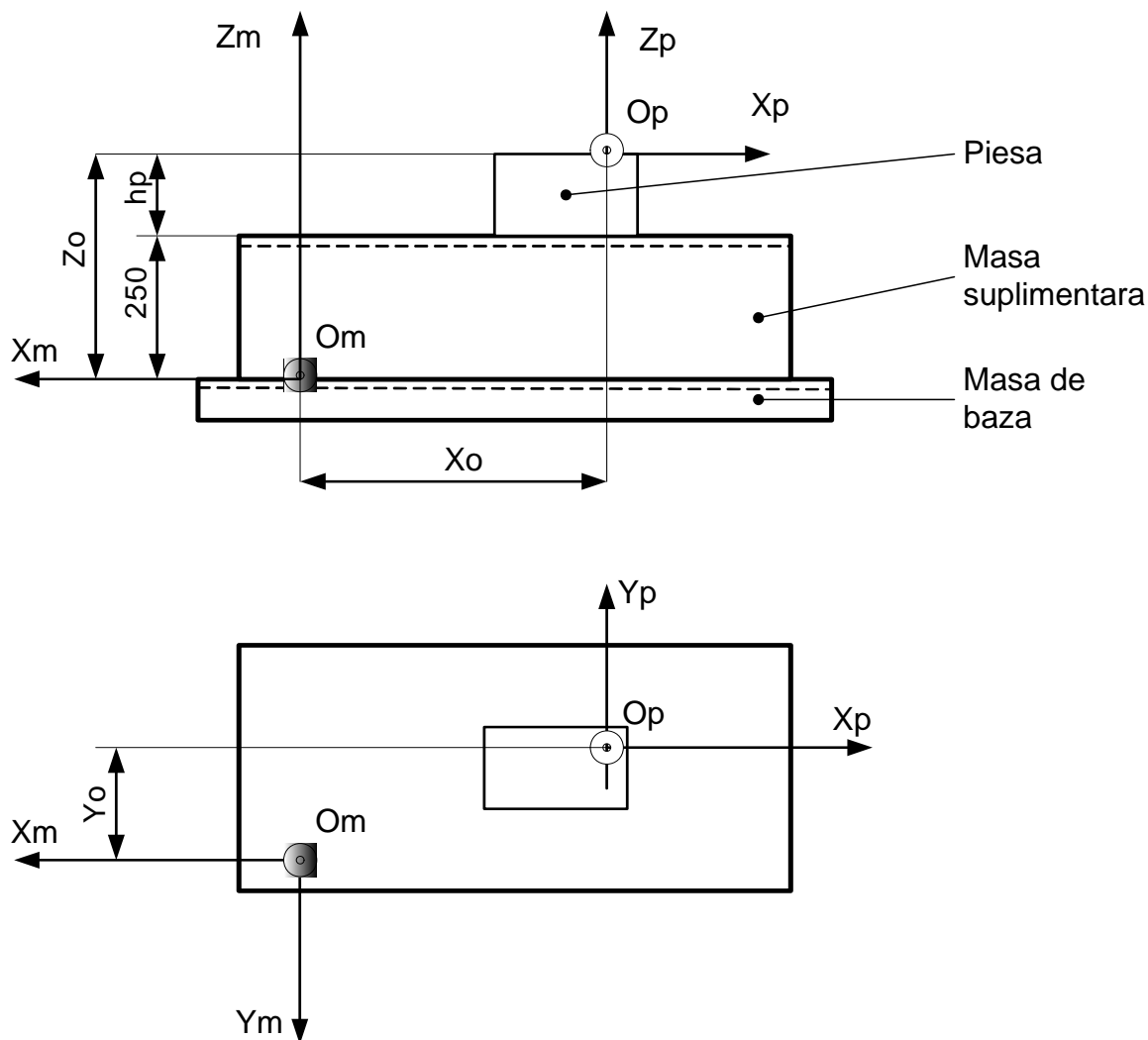


Fig. 2.17. Sistemul de coordonate al piesei proiecții pe planele XZ și XY

Originea piesă se stabilește în regimul NUL. Valoarea deplasării originii piesă se poate introduce prin program în orice moment cu ajutorul funcției G92 la adresele X, Y, Z. Toate cotele programate în frazele următoare vor fi raportate la noua origine.

Deplasările suplimentare de origine sunt anulate la lansare în execuție a unui program sau programând fraza G92 X0 Y0 Z0

2.4.3.3. Sistemul de coordonate al sculei

Vizează caracteristicile dimensionale ale sculei. Se ia în considerare prin corecțiile de sculă. Se mai numesc și coordonate de prereglare.

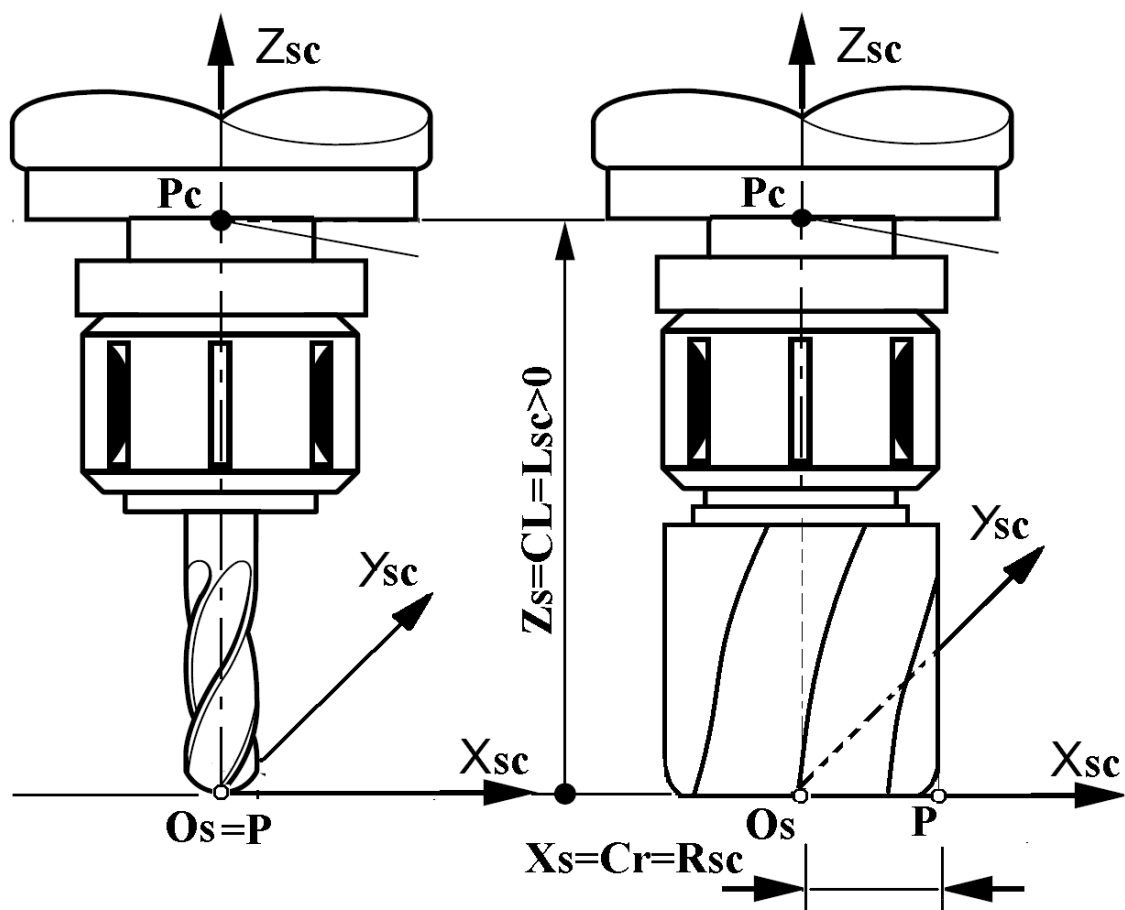


Fig. 2.18. Sistemul de coordonate al piesei proiecții pe planele XZ și XY

Pc- punctul controlat de sistemul de măsură.

OsXsYsZs- sistem de coordonate sculă

CL-corecție de lungime

CR-corecție de rază

P-punct programat.

- Coordonata de prereglare a sculei pe direcțiile X și Y este $X_s = Y_s = R_{sc}$ și se comunică echipamentului NC prin corecția de rază $CR = R_{sc}$.
- Coordonata de prereglare a sculei pe direcția Z este $Z_{sc} = L_{sc}$ și se comunică prin intermediul corecției de lungime și se comunică se comunică echipamentului prin corecția de $CL = L_{sc}$.

Observatii:

1. La stabilirea tehnologiei program fiecareia i se atașează un registru de corecție din domeniul D00-D63, și o corecție de rază din același domeniu dar corecțiile trebuie să fie distincte.
2. Valorile corecțiilor se determină prin măsurare cu ajutorul unor aparate de prereglat scule sau utilizând afișajul echipamentului de comandă numerică la atingerea suprafeței de zero a piesei pe direcția Z pentru corecția de lungime.

2.4.3.4. Adresele tehnologice G

Sunt împărțite în grupe după cum urmează:

Grupa 1

G00-poziționare cu avans rapid (avansul este de 2500 mm/min)

G01-poziționare sau prelucrare cu avansul programat prin intermediul funcției F.

Grupa 2

G04-temporizare. Valoarea temporizării este precizată cu ajutorul funcției F care trebuie programată în aceeași frază cu funcția G04.

Grupa 3

G24-anulare oglindire

G25-oglindire față de axa **Y**

G26-oglindire față de axa **Z**

G27- oglindire față de axele **X** și **Y**

CNC-ul execută toate frazele delimitate de una din funcțiile G25, G26, G27 și de funcția G24 de două ori. Prima dată nu se ține seama de funcția de oglindire iar a doua oară se modifică semnul adreselor geometrice în funcție de funcția de oglindire programată.

Grupa 4

G40-anulare corecție de sculă

G43-corecție negativă de sculă

G44- corecție pozitivă de sculă

Grupa 5

G60-poziționare precisă

G61-poziționare unidirecțională. Toate poziționările au loc în același sens , sensul pozitiv.

Grupa 6

G90- programare absolută

G91-programare incrementală

Grupa 7

G92- deplasare suplimentară de origine.

Obs: Într-o frază nu se pot programa două funcții din aceeași grupă.

Grupa 8

Cicluri fixe de găurire: G81, G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89.

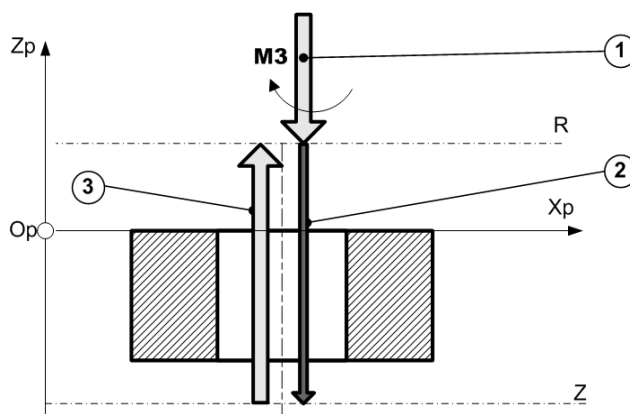
Anulare cicluri fixe G80.

Detaliere cicluri fixe**Funcția G81**

Ciclu fix de găurire (găurire, alezare, strunjire, etc) se programează:

N** G81 [G44]Z D** R
F

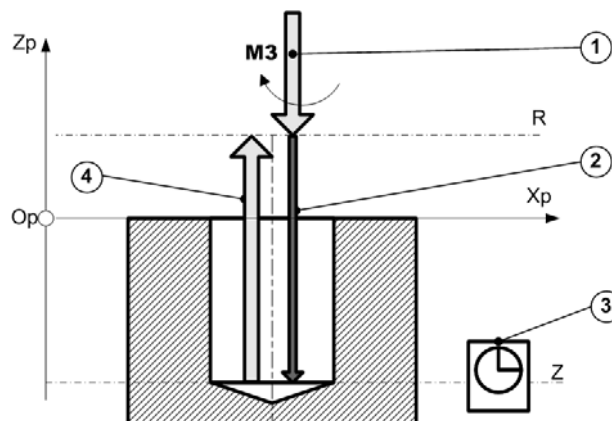
1. Poziționare cu avans rapid până la planul de siguranță R
2. Găurire cu avansul F înscris până la planul R=Zi
3. Poziționare cu avans rapid până în planul R de siguranță

**Funcția G82**

Ciclu fix de găurire cu temporizare (lamare, adâncire etc) se programează:

N** G82 [G44]Z D** R F

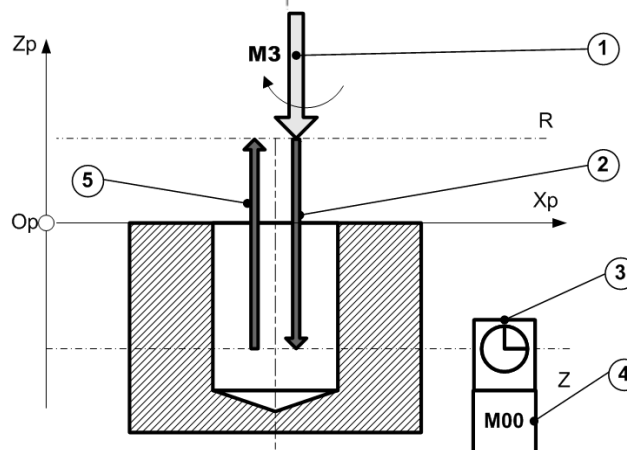
1. Poziționare cu avans rapid până la planul de siguranță R.
2. Găurire cu avansul F înscris până la planul Z
3. Temporizare în funcție de valoarea definită în ecranul anexe.
4. Poziționare cu avans rapid până în planul R de siguranță

**Funcția G83**

Ciclu fix de alezare cu temporizare (lamare, adâncire etc) se programează:

N** G83 [G44]Z D** R F

- 1 Poziționare cu avans rapid până



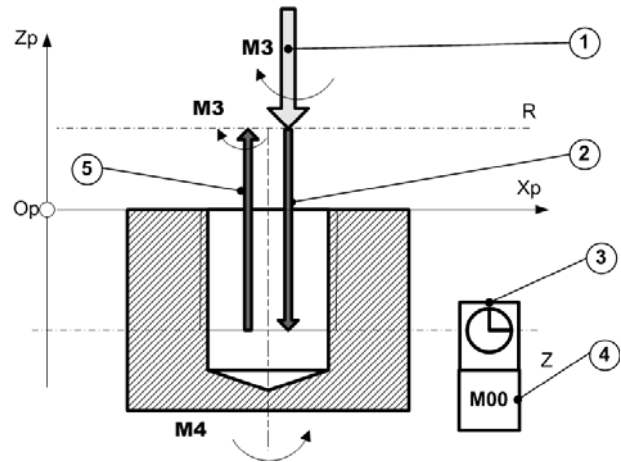
- la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F înscris pînă la planul Z
- 3 Temporizare în funcție de valoarea definită în ecranul anexe.
- 4 Opreire
- 5 Poziționare cu avans de lucru pînă în planul R de siguranță

Funcția G84

Ciclu fix de filetare cu tarodul se programează:

N** G84 [G44]Z D** R
F

- 1 Poziționare cu avans rapid pînă la planul de siguranță R.
- 2 Filetare cu avansul F pînă la planul Z
- 3 Reversare sens rotire sculă.
- 4 Poziționare cu avans de lucru pînă în planul R de siguranță

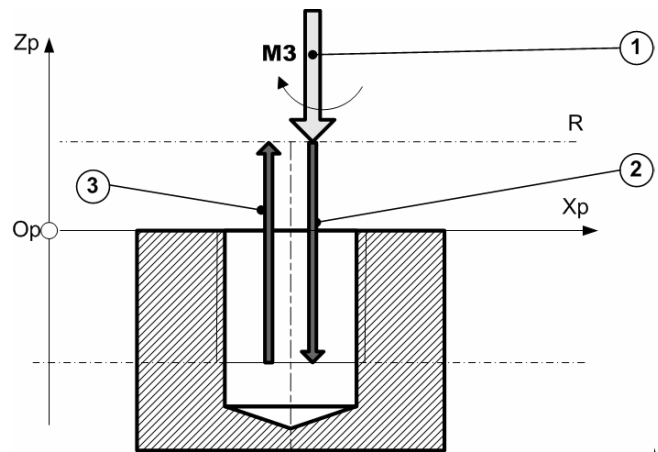


Funcția G85

Ciclu fix de alezare:

N** G85 [G44]Z D** R
F

- 1 Poziționare cu avans rapid pînă la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F pînă la planul Z
- 3 Poziționare cu avans de lucru pînă în planul R de siguranță

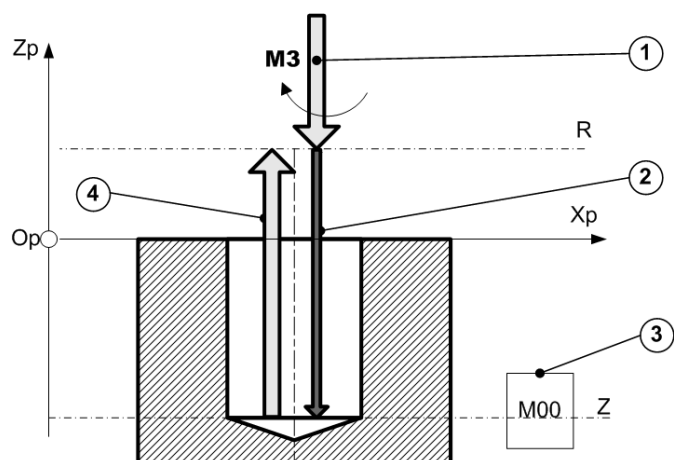


Funcția G86

Ciclu fix de alezare se programează:

N** G86 [G44]Z D** R
F

- 1 Poziționare cu avans rapid pînă la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F înscris pînă la planul Z
- 3 Opreire
- 4 Poziționare cu avans rapid pînă în planul R de siguranță



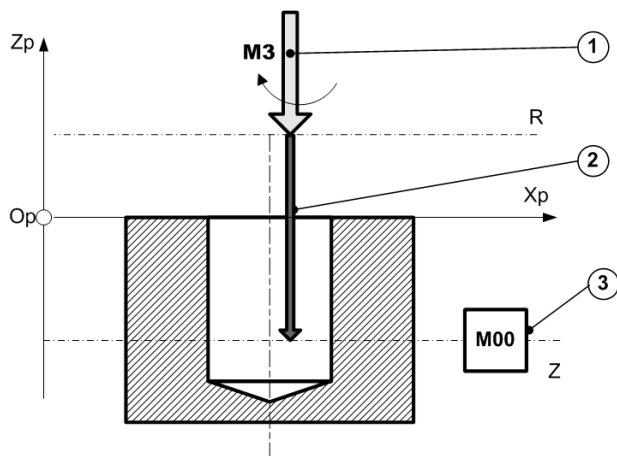
Functia G87

Ciclu fix de alezare se programează:

N** G87 [G44]Z D** R

F

- 1 Poziționare cu avans rapid până la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F pînă la planul Z
- 3 Opreire



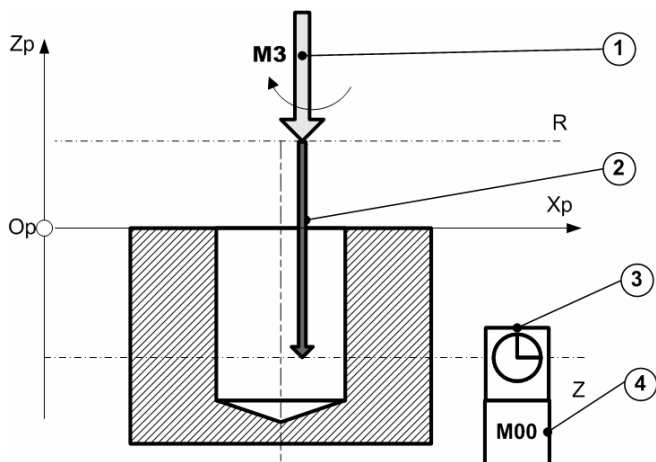
Functia G88

Ciclu fix de alezare se programează:

N** G88 [G44]Z D** R

F

- 1 Poziționare cu avans rapid până la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F înscris pînă la planul Z
- 3 Temporizare în funcție de valoarea definită în ecranul anexe.
- 4 Opreire



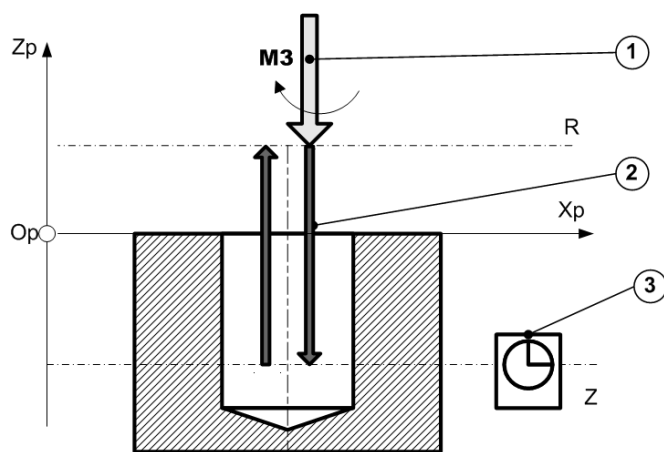
Functia G89

Ciclu fix de alezare se programează:

N** G89 [G44]Z D** R

F

- 1 Poziționare cu avans rapid până la planul de siguranță R.
- 2 Alezare cu avansul F înscris pînă la planul Z
- 3 Temporizare în funcție de valoarea definită în ecranul anexe.
- 5 Poziționare cu avans rapid până în planul R de siguranță



Adresele geometrice Z și R nu trebuie introduse de fiecare dată. Dacă anterior a fost programat un ciclu fix și acesta nu a fost anulat prin intermediul funcției G80 și una din adresele geometrice Z sau R lipsește se va lua în considerare valoarea pe care această adresă a avut-o în ciclul programat anterior.

Se recomandă ca atunci când se programează G80 să se programeze și o deplasare pe axa Z în scopul evitării coeziunii sculei cu piesa.

2.4.3.5. Adrese geometrice

Formula structurală

$X \pm 4.3$ $Y \pm 4.3$ $Z \pm 4.3$ $R \pm 4.3$

Exemple:

Poziționare în punctul de coordonate

X=242,000 mm	X242
Y=-100,456 mm	Y-100,456
Z=-5,346 mm	Z-5,346

X, Y, Z- sunt coordonatele programate ale pieselor.

R-planul de siguranță utilizat ca și coordonată pe direcția axei Z de la care se începe prelucrarea într-un ciclu fix recunoscut de CNC.

2.4.3.6. Regiștri de corecție

Definește numărul registrului în care s-au înscris coordonatelor de preregare ale sculelor.

CNC-ul dispune de 64 de registre de la D0 la D64

2.4.3.7. Funcția de avans

Se pot programa avansuri de la 4 la 1250mm/min.

Exemplu:

S=38 mm/min	F38
S=1024 mm/min	F1024

Funcția F este activată de funcțiile G01, G81, G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89.

Obs: Funcția de avans F asociată cu funcția tehnologică G04 specifică intervalul de timp folosit pentru temporizare. Valoarea precizată este considerată a fi exprimată în zecimi de secundă.

Exemplu:

Temporizare 3 secundă **G04 F30.**

2.4.3.8. Funcția de turație S

Treapta de turație programată se alege din tabelul.

Cod	S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Turație [rot/min]	n	5 6	8 0	11 2	16 0	22 4	31 5	45 0	63 0	90 0	125 0	180 0	250 0

Exemplu:

Turația n=224 rot/min

-S5

2.4.3.9. Funcții de sculă:

Formula structurală T2

Cod	T	01	02	03	04	05	06
Poziția capului revolver	Nr	1	2	3	4	5	6

2.4.3.10. Funcții auxiliare M**Grupa numărul 1**

M00- Oprește program. Pentru reluare se apasă butonul „Start ciclu” prezent la nivelul interfeței om mașină în regimurile AUTO și IMD

M01- Oprește program

M02-sfârșit program

Grupa numărul 2

M03- rotire arbore principal spre dreapta.

M04- rotire arbore principal spre stânga.

M05- oprire arbore principal.

Grupa numărul 3

M06- rotire cap revolver.

Programarea acestei funcții determină deplasarea axei Z până la cota 860 mm și apoi rotirea capului revolver pentru selectarea postului de lucru specificat de funcția T.

Observații:

- Funcțiile M00, M01, M02, M05 – anulează funcțiile M03 și M04.
- Nu este permisă deplasarea axelor fără rotirea arborelui principal.
- Funcțiile G81, G82, G83, G85, G86, G87, G88, G89 determina automat apariția funcției auxiliare M03.
- Funcția G84 determină apariția funcției M03 doar atunci când nu e activă funcția M04.
- Funcțiile M00, M01, M02, M05, M06 sunt eficace la sfârșitul frazei.
- Funcțiile M03, M04 sunt eficace la sfârșitul frazei.

2.4.4. Interpretarea corecțiilor de sculă

Corecția de sculă se programează prin intermediul funcției D. Numărul asociat funcției D corespunde registrului CNC în care s-a memorat corecția de sculă. Sunt disponibili 64 de registre de la D00 la D63. Valorile memorate în registre corespund unor corecții de rază sau de lungime.

2.4.5. Corecții de lungime

Corecția de lungime se înscrie în fraza care conține informații privind deplasarea axei Z. De asemenea această corecție se poate introduce în fraza care conține cicluri fixe.

Corecția de lungime este anulată cu o nouă corecție. Valoarea corecției de lungime nu se înscrie în fraza care conține funcția G40.

Exemplu:

- Sculei (burghiului) din poziția numărul 2 a capului revolver i s-a atașat prin program registrul de corecție D2.
- După prereglarea sculei la aparatul de prereglat s-a citit lungimea sculei L=178,83 [mm].
- Introducând ca valoare de NUL (deplasare de origine pe axa Z) valoarea Z0, sistemul de măsură va controla în sistemul de coordonate Op Xp Yp Zp punctul P corespunzător frontalului arborelui principal pe axa acestuia.
- Introducând în registrul D2 valoarea 178,83 și în program următoarele fraze:

```

N100 S3    T2    M6
N110 X-20 M3
N120 Y0
N130 G44  Z0    D2

```

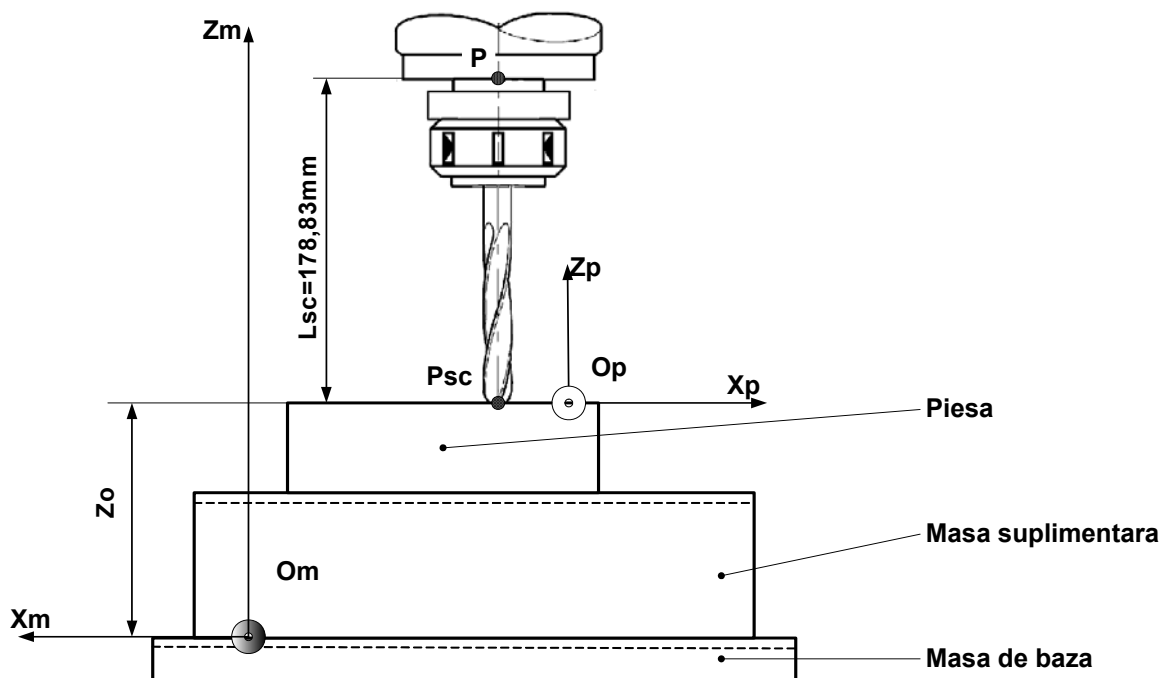



Fig. 2.19. Corecții de lungime

- Fraza 100 se selectează treapta a treia de turație ($S3=112$ rot/min) și se comandă rotire capului revolver (M6) pe poziția numărul 2(T2).
- Fraza 110 – are loc o poziționare cu avans rapid pe direcția X la valoarea $X=-20$ [mm] față de Op Xp după ce în prealabil s-a pornit rotația arborelui principal spre dreapta.
- Fraza 120 – are loc o poziționare cu avans rapid pe direcția Y la valoarea $Y=0$ [mm] față de Op Yp .
- Fraza 130 – are loc o poziționare cu avans rapid a capului vertical pe direcția Z la cota :

$$Z=Z_{\text{programat}} + D2 = 0 + 178,83 = 178,83 \text{ [mm]}$$

față de $OpXp$, deci la valoarea cotei programate se adaugă valoarea înscrisă în registrul D2 (178,83) astfel punctul P controlat de sistemul de măsură aflat pe suprafața frontală a arborelui de lucru se află la distanța de 178,83 [mm] față de suprafața piesei. Rezultă că vârful sculei Psc atinge exact punctul $Z=0$ programat.

2.4.6. Corecții de rază

Corecțiile de rază se scriu în frazele care conțin informații privind deplasarea axelor X și Y. Fiecărei direcții i se atașează un registru de corecție. Pentru fie care axă se va programa una din funcțiile G43 sau G44 pentru a indica semnul corecției introduse.

Exemplu:

- Frezei din poziția numărul 3 capului revolver i s-a atașat prin program registrul numărul 33.

- Introducând ca valoare de NUL (deplasare de origine pe axa X) valoarea X_0 , sistemul de măsură va controla în sistemul de coordonate $O_p X_p Y_p$ Z_p punctul O corespunzător inteseecției dintre axa de rotație a frezei și planul $O_p X_p Y_p$
- Introducând în registrul D33 valoarea 50 și în program următoarele fraze:
 $N200 S3 T3 M6$
 $N210 G44 X100 D33 M3$
 $N220 Y80$
 $N230 G43 X100$

- Fraza 200 – se selectează treapta a treia de turație ($S3=112$ rot/min) și se comandă rotire capului revolver ($M6$) pe poziția numărul 3($T3$).

Fraza 210 – are loc o poziționare cu avans rapid pe direcția X la valoarea

$$X = X_{\text{programat}} + D33 = 100 + 50 = 150 \text{ [mm]} \quad \text{față de}$$

$O_p X_p$, deci la valoarea cotei programate se adaugă ($G44$) valoarea înscrisă în registrul D33 (50), axa frezei deplasându-se cu 50[mm] (raza frezei) din punctul programat ajunge tangentă la (d) .

- Fraza 220 – are loc o poziționare cu avans rapid pe direcția Y la valoarea $Y=80$ [mm] față de $O_p Y_p$.

- Fraza 230 –are loc o poziționare cu avans rapid pe direcția X la cota:

$$X = X_{\text{programat}} + D33 = 100 - 50 = 50 \text{ [mm]} \quad \text{față de}$$

$O_p X_p$, deci la valoarea cotei programate se scade ($G44$) valoarea înscrisă în registrul D33 (50). Axa frezei se deplasează cu 50[mm] (raza frezei) din punctul programat și ajunge tangentă la (d) .

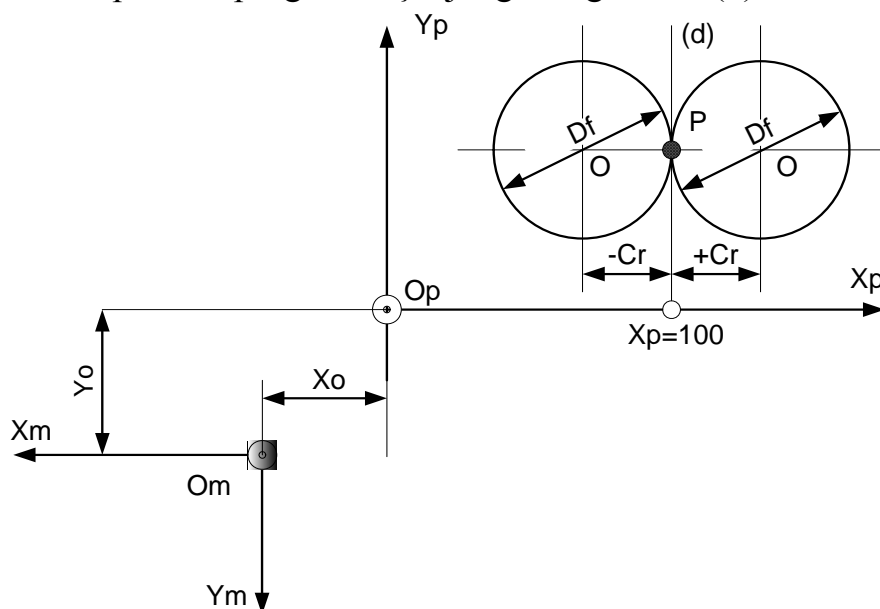
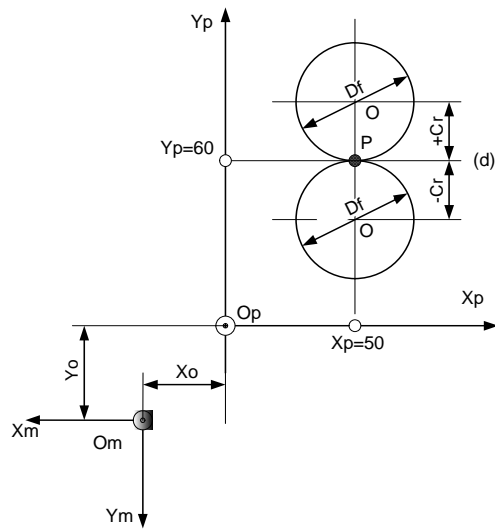


Fig. 2.20. Corecții de rază

P-punct programat; Cr-corecție de rază; Df-corecție
 Pentru axa Y interpretarea este identică.

N100 S3 T3 M6
N110 G44 X100 D33 M3
N120 Y80
N130 G43 X100



BIBLIOGRAFIE

- [1] R. David and H. Alla. Petri Nets & Grafcet. Prentice Hall, 1992
- [2] International Electrotechnical Commission, Technical Committee No. 65. Programmable Controllers – Programming Languages, IEC 61131-3, second edition, November 1998. Committee draft.
- [3] N. Bauer, R. Huuck, and B. Lukoschus. A parameterized semantics for sequential function charts. Institute of Computer Science and Applied Mathematics, University of Kiel, 2001.
- [4] SCHNEIDER ELECTRIC, PL7 Micro/Junior/Pro Detailed description of Instructions and Functions. 2001.
- [5] V. Marinescu, Conducerea sistemelor flexibile de prelucrare, Ed. Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați.
- [6] V. Marinescu - Sisteme și Echipamente de Comandă Numerică - Volumul 1 -Controlere Logice Programabile, Editura Cartea Universitară, București, ISBN 973-7956-14-1, 2004
- [7] V. Marinescu - Sisteme și Echipamente de Comandă Numerică - Volumul 2 -Comanda mașinilor de prelucrat prin ștanțare, Editura Cartea Universitară, București, ISBN 973-7956-15-x, 2004
- [8] M. Uzam , A. H. Jones. Discrete Event Control System Design Using Automation Petri Nets and their Ladder Diagram Implementation Advanced Manufacturing Technology, Springer-Verlag London Limited, 1998
- [9] A. Ramirez Serrano, S.C. ZHU, S.K.H. Chan A hybrid PC/PLC architecture for manufacturing system control- theory and implementation, Journal of Intelligent Manufacturing,13, 261-281, Kluwer Academic Publisher, 2002

CUPRINS

REZUMAT	75
PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE	75
METODE SI REZULTATE	76
2.4.1. Premizele stiintifice si tehnice ale activitatii	76
2.4.2. Descriere interfeței om-mașină	80
2.4.2.1. Descrierea regimului manual	81
2.4.2.2. Descrierea regimului IMD	84
2.4.2.3. Descrierea regimului automat	86
2.4.3. Programarea masinii	87
2.4.3.1. Sistemul de coordonate al mașinii unelte	87
2.4.3.2. Sistemul de coordonate al piesei	89
2.4.3.3. Sistemul de coordonate al sculei	90
2.4.3.4. Adresele tehnologice	92
2.4.3.5. Adresele geometrice	96
2.4.3.6. Registrii de corectie	96
2.4.3.7. Functia de avans	96
2.4.3.8. Functia de turatie	97
2.4.3.9. Functii de scula	97
2.4.3.10 Functii auxiliare M	97
2.4.4. Interpretarea corectiilor de scula	98
2.4.5. Corectii de lungime	98
2.4.6. Corectii de raza	99
BIBLIOGRAFIE	102

OBIECTIVUL 3

PROIECTAREA FUNCTIILOR TEHNOLOGICE ALE PROCESELOR DE DEFORMARE A TABLELOR IN VEDEREA RECONFIGURABILITATII SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICATIE A CAROSERIILOR AUTO

REZUMAT

In aceasta faza s-au desfasurat lucrari de cercetare destinate atingerii obiectivelor specificate mai sus. Aceste lucrari au constat in cercetari bibliografice, dezvoltari conceptuale si software, modelări numerice, proiectari si realizări de echipamente ce urmează a fi definitivate in continuare.

Dezvoltarile conceptuale realizate in cadrul fazei se referă la algoritmul de predicție bazata pe element finit pentru controlul formei matritelor cu pini reconfigurabili.

A fost dezvoltat un software pentru proiectarea suprafeței matriței cu pini, folosind metoda generării suprafețelor.

Au fost realizate o serie de simulări numerice în element finit pentru aprecierea revenirii elastice a pieselor deformate prin procedeul de presare cu matrițe cu pini reconfigurabili.

Deasemenea au fost dezvoltate resursele de cercetare (resurse informationale, resurse de calcul si resurse de experimentare in laborator) necesare pentru continuare investigatiei stiintifice legata de obiectivele prezentei faze si ale fazei urmatoare.

PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE

Activitatea 3.1. Dezvoltarea unei tehnici predictive bazata pe element finit pentru controlul formei matritelor cu pini reconfigurabili

Principalul parametru ce influențează formei pieselor deformate pe matrițel cu pini reconfigurabili este profilul suprafeței matriței. Acest profil este realizat prin poziționarea pe verticală a pinilor ce compun matrița. Poziționarea pe verticală trebuie să țină cont atât de proprietățile materialului care se deformează cât și de abaterile piesei obținute ținând cont de revenirea elastică a materialului după deformare. De aceea, pentru controlul profilului suprafeței matriței s-au dezvoltat și implementat o serie de tehnici de simulare. Una din aceste tehnici este cea care se bazează pe utilizarea simulării cu element finit. Tehnica constă în: simularea inițială a procesului de deformare cu matrița cu pini reconfigurabili, analiza revenirii elastice a piesei după deformare, reconstrucția profilului suprafeței matriței ținând cont de revenirea elastică, reluarea procesului de simulare, analiza din nou a revenirii elastice a piesei și

continuarea pe mai departe a metodologiei descrise până la obținerea formai dorite a piesei.

Pentru realizarea acestui studiu a fost folosit un program de element finit și totodată au fost realizate produse soft pentru determinarea geometriei matriței cu pini și pentru reconstrucția suprafeței dintr-un număr de puncte, produse care se află încă în starea de testare.

Activitatea 3.2. Dezvoltarea unei scheme de reconfigurabilitate bazata pe cunostinte

Tematicile promitatoare pentru utilizarea modelarii, simulării tehnologiilor în vederea construirii sistemelor reconfigurabile includ: rețele neuronale pentru optimizarea variantelor de reconfigurare și metode de inteligență artificială pentru luarea deciziilor (sisteme expert bazate pe cunoaștere).

Productia inovativa reprezinta o noua orientare a structurii unei întreprinderi, de la una rigidă, bazată pe reguli, la una bazată pe cunoștințe și capital de idei, ceea ce va determina o mișcare de la o economie a cantității spre una a calității, de la o economie bazată pe consum și risipă la o economie susținută.

Activitatea 3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilitatii

Există o serie de parametri care definesc procesul de deformare pe matrițe cu pini reconfigurabili. Acestea pot fi clasificați în parametri de intrare și parametri de ieșire. În această etapă au fost definiți parametri de intrare legați de echipamentul de deformare, respectiv de matrița cu pini reconfigurabili. Pe această bază a fost proiectat și realizat un echipament de deformare cu pini reconfigurabili. Conceptul a fost proiectată o matriță pentru deformare hidraulică cu pini reconfigurabili, care constituie obiectul unui brevet de invenție.

MATERIAL ȘI METODE

Activitatea 3.1. Dezvoltarea unei tehnici predictive bazată pe element finit pentru controlul formei matrițelor cu pini reconfigurabili

3.1.1. Algoritm de predicție a formei matrițelor cu pini reconfigurabili

Pentru o matriță digitizată (matriță cu suprafețe discrete) compusă din $m \times n$ poansoane, de fiecare parte a tablei, suprafața semifabricatului deformat poate fi exprimată ca o funcție de înălțimile tuturor poansoanelor $p_i (i=1, 2, 3, \dots, m \times n)$:

$$S(x, y) = f(p_1, p_2, \dots, p_{mn}). \quad (3.1)$$

Dacă suprafața $S(x, y)$ este reprezentată de $m \times n$ puncte discrete, ecuația (3.1) poate fi scrisă sub forma:

$$S = F(P) \quad (3.2)$$

unde $S = (S_1 S_2 \dots S_{mn})^T$ este o matrice $m \times n$ ale coordonatelor pe direcția z a punctelor discrete măsurate și reprezintă forma piesei deformate; $P = (p_1 p_2 \dots p_{mn})^T$ este o matrice $m \times n$ cu înălțimea poansoanelor și reprezintă suprafața de lucru a matriței digitizate, corespunzătoare suprafeței S inițiale; $F = \{F_1 F_2 \dots F_{mn}\}^T$ și $S_i = F_i(p_1, p_2, \dots, p_{mn})$.

Incrementul suprafeței de lucru ΔP poate fi calculat aproximativ din incrementul formei suprafeței deformate ΔS cu relația:

$$\Delta P = C \cdot \Delta S \quad (3.3)$$

unde $C = \nabla^{-1} F$ este o matrice $(m \times n) \times (m \times n)$, și:

$$\nabla F = \begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial p_1 & \partial F_1 / \partial p_2 & \dots & \partial F_1 / \partial p_{mn} \\ \partial F_2 / \partial p_1 & \partial F_2 / \partial p_2 & \dots & \partial F_2 / \partial p_{mn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \partial F_{mn} / \partial p_1 & \partial F_{mn} / \partial p_2 & \dots & \partial F_{mn} / \partial p_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Fie S_{obj} funcția formei obiectiv a suprafeței cerute. Eroarea de formă (figura 3.1) ΔS poate fi descrisă de relația:

$$\Delta S = S_{obj} - S \quad (3.5)$$

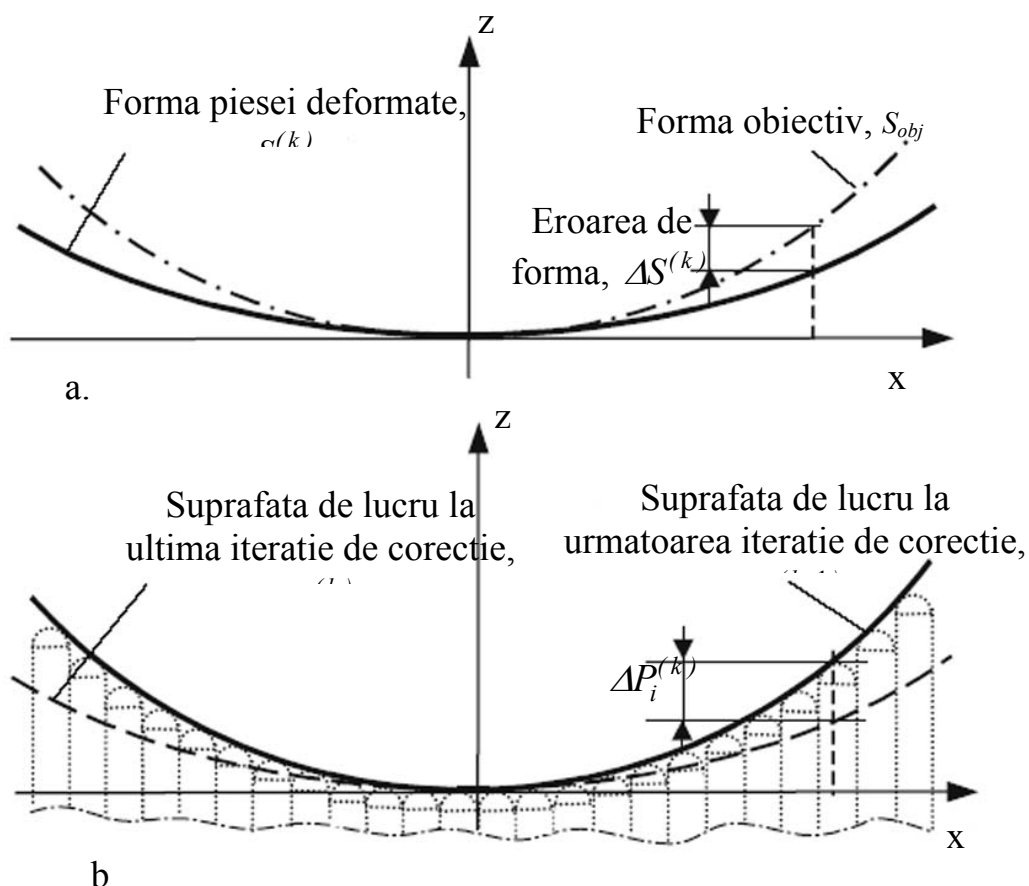


Fig. 3.1

Pentru minimizarea revenirii elastice, suprafața de lucru trebuie corectată pas cu pas în funcție de eroarea de formă a piesei deformatate. Noua suprafață de lucru poate fi calculată prin următoarea procedură:

$$P^{(k+1)} = P^{(k)} + C^{(k)} \Delta S^{(k)} \quad (3.6)$$

unde k este numărul iterației de corecție, $P^{(k)}$ și $\Delta S^{(k)}$ sunt forma suprafeței de lucru și eroarea de formă a suprafeței deformatate după k iterații de corecții, $P^{(k+1)}$ este suprafața de lucru la următoarea iterație (figura 2), $C^{(k)} = \nabla^{-1} F^{(k)}$ este matrița de corecție și elementul în ∇F poate fi calculat pe baza rezultatelor ultimelor două iterații.

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial P_j} \right)^{(k)} \approx \frac{S_i^{(k)} - S_i^{(k-1)}}{P_j^{(k)} - P_j^{(k-1)}} \quad (3.7)$$

Eroarea totală de formă a piesei deformatate este:

$$E_s^{(k)} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^{m \times n} |\Delta S_i^{(k)}| \quad (3.8)$$

Figura 3.2 prezintă algoritmul de corecție a revenirii elastice.

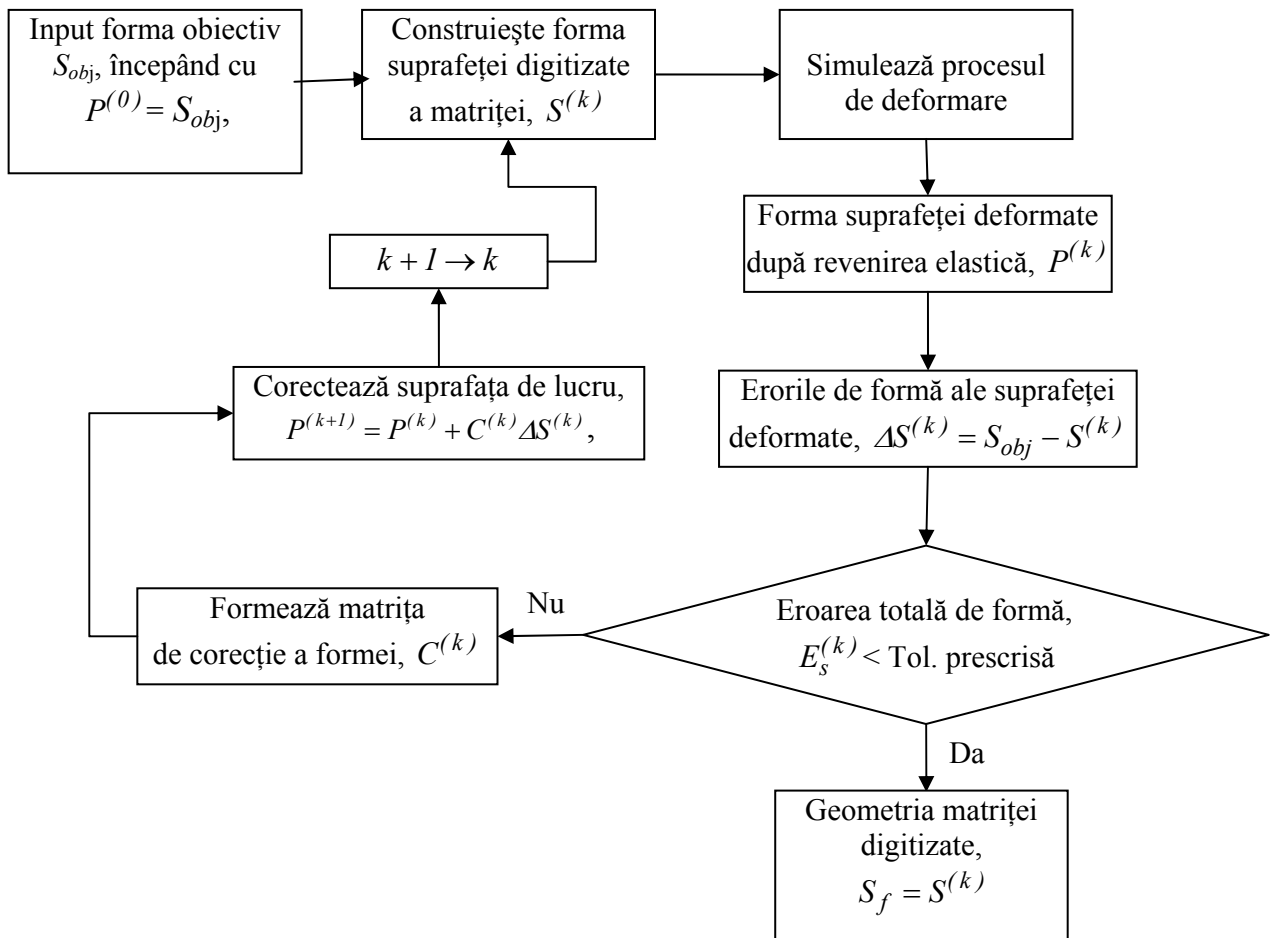


Fig. 3.2

Pe baza rezultatelor simulate ale ciclului de deformare anterior, forma obiectiv a piesei este comparată cu forma piesei deformată pentru a obține erorile de formă, toate aceste erori sunt procesate pentru a genera o nouă suprafață de lucru a matriței digitizate. Această nouă formă a suprafeței este utilizată pentru a deforma semifabricatul obținând a nouă piesă deformată cu câteva erori. Iterația de corecție continuă până când toleranța prescrisă a erorii de formă este satisfăcută.

În schema din figura 3.2 se identifică câteva blocuri principale de calcul care necesită dezvoltare.

Forma obiectiv a piesei este cunoscută, fie analitic fie este definită discret. Suprafața digitizată a matriței este reprezentată de totalitatea punctelor de contact dintre pini și suprafața deformată finală a piesei. Pentru a afla aceste puncte a fost elaborat un algoritm și un program de calcul. Rezultatele rulării acestui program sunt folosite în simulările numerice. Pentru simularea procesului de deformare este folosit programul de element finit Dynaform. Programul permite obținerea revenirii elastice a piesei. În continuare va fi dezvoltat un algoritm și un program de calcul pentru determinarea formei geometrice a piesei revenite.

3.1.2. Modelarea în element finit a procesului de deformare, folosind suprafețe reconfigurabile, discretizate

În studiul proceselor de deformare a tablelor și îndoire a profilelor, simularea permite inginerilor evaluarea posibilităților de fabricare a reperelor încă din faza de proiectare. Prin simulare este posibilă explorarea diferitelor alternative și evaluarea acestora astfel încât să rezulte piesa dorită prin procedeul cel mai convenabil, care să satisfacă toate cerințele legate de calitate și productivitate. Pentru realizarea simulării unui astfel de proces este folosită cu succes metoda elementului finit pentru analiza deformării în trei dimensiuni a tablelor.

Studiul procesului de fasonare a tablelor, atât prin deformare pe suprafețe discrete cât și pe matriță continuă a fost efectuat cu ajutorul sistemului de programare LS-DYNA, modulul DYNAFORM. Testele au fost efectuate pe un calculator Pentium III, cu un procesor de 800MHz și 500 MB RAM. Din multitudinea de elemente finite disponibile în biblioteca programului s-a utilizat elementul Belytschko-Lin-Tsay shell, cu 4 noduri, care prezintă o serie de avantaje față de alte elemente, evidențiindu-se în primul rând faptul că acest element a fost creat pentru studiul problemelor puternic neliniare, atât fizic cât și geometric, datorită deplasărilor rotaționale mari care apar în procesele de deformare. Se știe că în orice analiză în care apar deplasări mari, problema centrală este aceea legată de separarea deplasărilor din deformații de deplasările de rigid, ținând seama că numai primele apar în expresia energiei de deformație pe baza căreia se obțin matricele caracteristice. Această problemă se realizează prin compararea configurației actuale cu o configurație de referință. Uzual, prin utilizarea metodei incrementale, configurația de referință într-un pas de timp t^{n+1} este cea obținută la pasul anterior $t^n = t^{n+1} - \Delta t$. Compararea configurației actuale cu cea de referință trebuie făcută însă nu pentru deplasările totale care rezultă la pașii t^{n+1} și t^n , ci pentru deplasările legate de deformații. Rezultă evident necesitatea separării deplasărilor din deformații din deplasările totale, prin eliminarea deplasărilor de rigid. Pentru rezolvarea problemei, Belytschko a utilizat așa zisa "co-rotational formulation", pe baza căreia a creat și elementul Belytschko Beam, care reprezintă o alternativă pentru elementul Hughes-Lin. În formularea co-rotatională se utilizează două tipuri de sisteme de referință, unul asociat elementului și altul asociat fiecărui nod. Primul sistem, numit "element system", se modifică o dată cu deformarea elementului, în timp ce al doilea sistem, numit "body system", este atașat unui corp "înglobat" în nod. Termenul "body" a fost introdus pentru a evita posibila confuzie cu "coordonatele nodale". Se obțin apoi relațiile dintre versorii celor două sisteme de axe. În fiecare configurație actualizată se obțin relațiile de transformare dintre versorii celor două sisteme față de un sistem unic global, ceea ce permite separarea rotațiilor de rigid de cele din deformație pentru fiecare nod și obținerea matricei de rigiditate care leagă forțele nodale de deplasările din deformații.

Programul LS-DYNA conține, ca orice program de element finit, o parte de preprocesare și o parte de postprocesare. În partea de preprocesare se definesc elementele active care conduc la obținerea piesei și a semifabricatului. Totodată în această etapă se realizează un fișier executabil pe baza căruia se face calculul stării de tensiuni și deformații în toate elementele finite ale semifabricatului. Vizualizarea simulării și obținerea fișierelor de rezultate se realizează în partea de postprocesare.

Simularea procesului de deformare plastică a tablei s-a efectuat pentru 4 scheme distincte, cu corespondent în variantele posibile de realizare tehnologică:

- a) deformare între două plăci, cu pini poziționați față în față;
- b) deformare între două plăci, cu pini poziționați decalat;
- c) deformare între două plăci, cu suprafețele materializate complet de pini;
- d) deformare între două plăci, cu ansamblul matriță-poanson continuu.

Pentru reducerea numărului de elemente finite, în toate schemele de simulare adoptate s-au folosit condiții la limită de simetrie, analizându-se numai un sfert de placă. S-a folosit un număr de 10 pași, recomandați implicit în program, adică s-a divizat în zece cursa totală dată poansonului. Vizualizarea procesului de deformare și alte rezultate pot fi obținute la fiecare pas. Componentele stării de tensiune precum și tensiunile echivalente von Mises în fiecare element, pot fi vizualizate în toate punctele de integrare Gauss utilizate (s-au considerat implicit 7 puncte de integrare). După terminarea procesului de simulare, se poate vizualiza și revenirea elastică (spring-back), care se realizează tot incremental prin 5 pași. În afara datelor de ieșire menționate programul mai furnizează informații cu privire la variația grosimii semifabricatului în timpul procesului de deformare plastică, atât într-un fișier de rezultate cât și pe o hartă. De asemenea, programul furnizează o diagramă a forțelor necesare procesului de deformare, valorile din această diagramă trebuind să fie demultiplicate cu constanta 8896, impusă de program, pentru a se obține forțele în tf.

Utilizând modelarea cu element finit au fost realizate o serie de încercări pentru evidențierea particularităților acestui tip de deformare, pentru cazul tablelor groase.

Modelul are ca elemente geometrice de bază un număr de 2 plăci, compuse fiecare din câte 27 de pini dispuși față în față pe cele două plăci.

3.1.2.1. Model de simulare a procesului de deformare plastică cu pini poziționați față în față.

3.1.2.1.1. Construcția modelului geometric

În cadrul acestei etape s-a realizat mai întâi generarea profilurilor caracteristice ale matriței, poansonului și semifabricatului, pe baza coordonatelor obținute conform figurii 3.3 și prezentate și în tabelul 3.1 (forma finală pe care trebuie să o capete semifabricatul).

Tabelul 3.1

Date:	B [mm] =	1000	r [mm] =	50	n =	2			
	R [mm]	707.1068							
	Bn [mm]	1110.721							
Sup.	0	ho [mm]	207.1068	Y0 [mm]	0	y0 [mm]	0	z0 [mm]	0
Inf.	0		207.1068		0		0		0
Sup.	1	h1 [mm]	161.4378	Y1 [mm]	250	y1 [mm]	17.6777	z1 [mm]	6.9753
Inf.	1		161.4378		250		17.6777		6.4142
Sup.	2	h2 [mm]	0	Y2 [mm]	500	y2 [mm]	35.3553	z2 [mm]	38.277
Inf.	2		0		500		35.3553		33.015

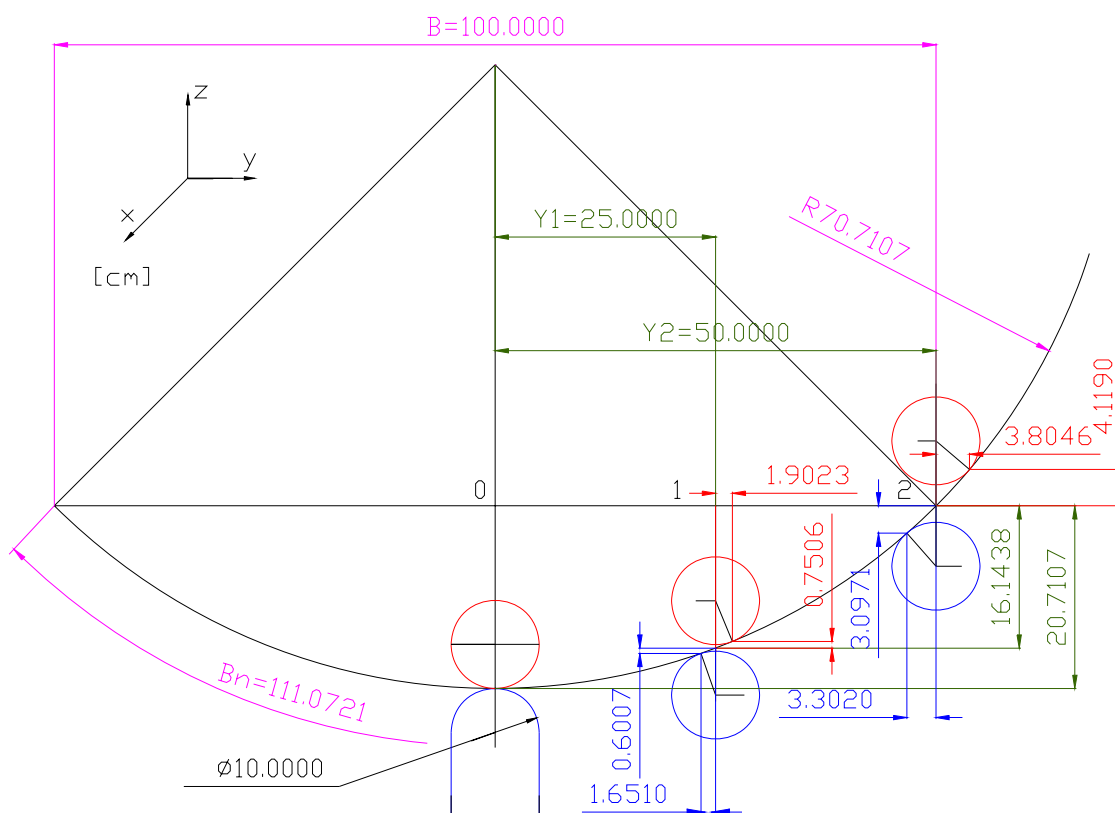


Fig. 3.3.

3.1.2.1.2 Generarea profilului matriței

Pe baza coordonatelor punctelor profilului caracteristic determinate anterior, s-a construit zona caracteristică a suprafeței matriței, reprezentată în figura 3.4. Vârfulurile pinilor dispuși pe matriță corespund numai aproximativ cu forma suprafeței plăcii fasonate.

În figura 3.3 se observă corecțiile care au fost aplicate, determinate de deplasarea punctelor de tangentă dintre pini și semifabricat.

Suprafața matriței, cu cei 27 de pini, a fost discretizată automat în elemente finite. La discretizare programul ține seama ca elementele să aibă dimensiuni cuprinse în limite date. După discretizare o subrutină a programului

verifică coincidența nodurilor, eventualele suprapuneri de elemente și gradul de distorsiune al elementelor. După efectuarea acestor operații, procesul de generare a profilului matriței se consideră finalizat.

Matrița după discretizare conține un număr de 66555 elemente finite.

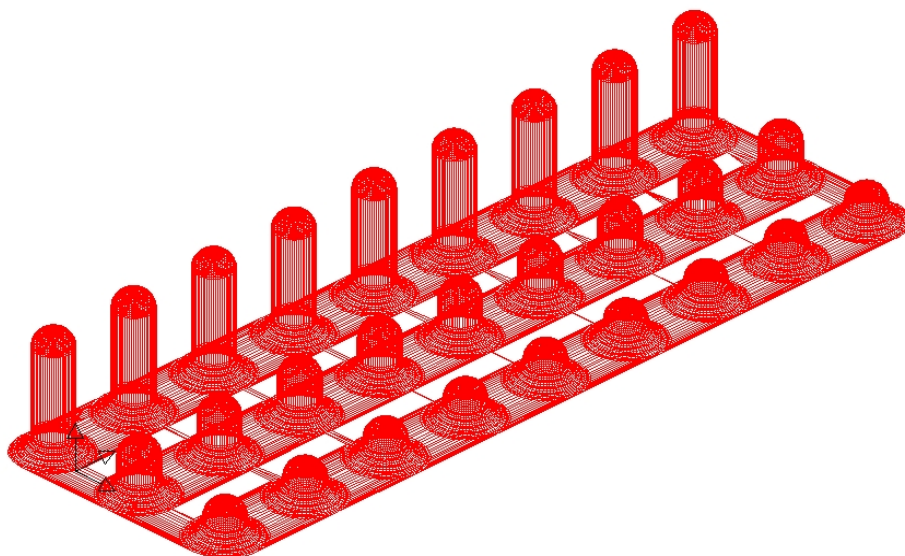


Fig. 3.4.

3.1.2.1.3 Generarea profilului poansonului

Profilul poansonului a fost realizat printr-un număr de 27 pini (figura 3.5), a căror înfășurătoare este chiar suprafața deformată a plăcii (v. Figura 3.3). În urma discretizării profilului complex al poansonului au rezultat 67110 elemente finite.

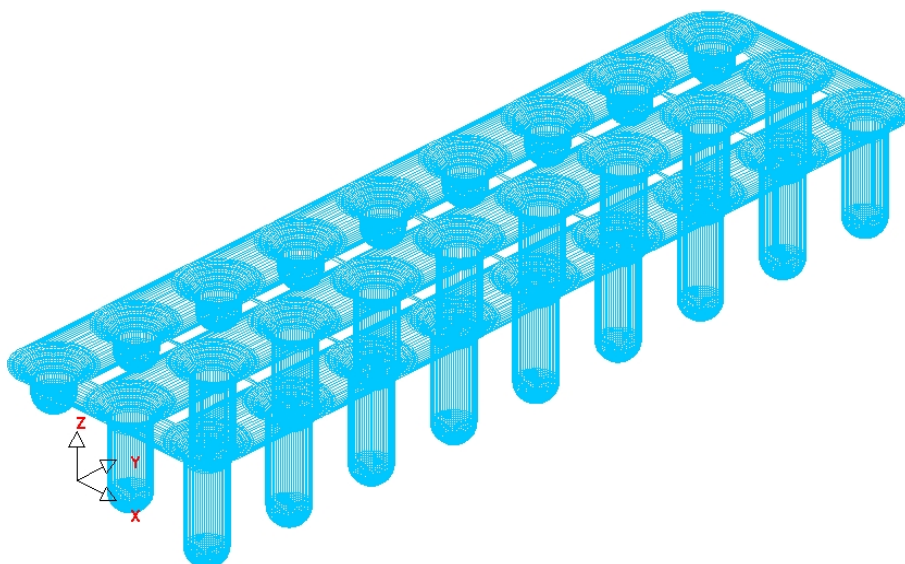


Fig. 3.5

3.1.2.1.4 Generarea semifabricatului

Placa pentru care se simulează procesul de fasonare s-a considerat de grosime 10 mm și dimensiuni în plan 1110,7 x 4000 mm, sfertul modelat având

dimensiunile 2000 x 550,35 x 10 mm. Programul impune a se introduce o discretizare preliminară în elemente finite (mesh) a semifabricatului în cazul de față prin specificarea numărului de noduri pe laturile acestuia. În timpul rulării, programul efectuează repetate rediscretizări, pe baza unui algoritmului specific de “contact-impact”. Numărul elementelor introduce inițial pe semifabricat influențează asupra timpului total de rulare. În aplicația analizată s-au introdus 50 elemente finite pe semifabricat (figura 3.6).

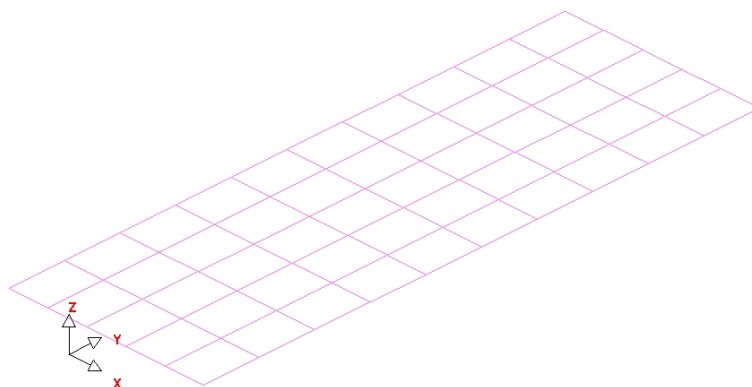


Fig. 3.6

3.1.2.1.5 Introducerea parametrilor de simulare

În figura 3.7 este reprezentat modelul geometric complet (matriță-semifabricat-poanson), în poziția inițială.

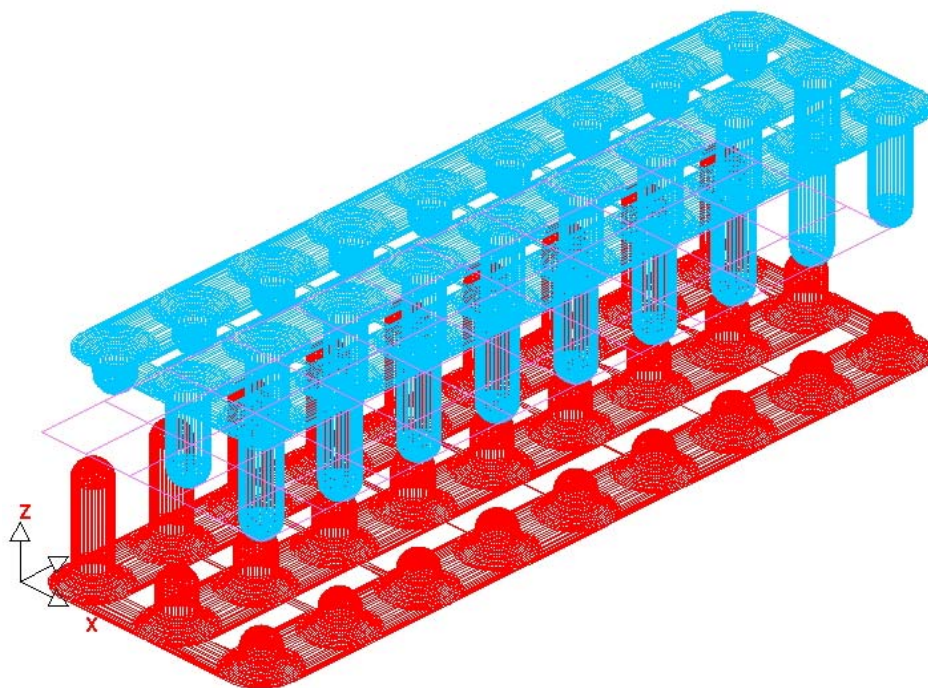


Fig. 3.7

Pentru efectuarea simulării au fost introduși următorii parametrii specifici acestei aplicații:

- cursa poansonului: 215,07 mm;
- pentru material s-a admis legea de comportare a lui Ludwik:

$$\sigma = k\varepsilon^n \quad (3.9)$$

unde: k – coeficientul de ecruisare, $k = 574$ MPa, valoare specifică oțelurilor navale prezentate în tabelul 3.1; n – exponentul de ecruisare, $n = 0,11$, egal cu deformația specifică la gătuire.

Coeficientul de anizotropie a fost considerat egal cu 1. Coeficienții de frecare dintre semifabricat și elementele active au fost luați egali cu 0,125. Celelalte date referitoare la material, respectiv coeficientul lui Poisson, densitatea, modulul de elasticitate, au fost luate egale cu valorile implicite recomandate de programul de simulare pentru oțeluri.

Simularea s-a realizat cu refacerea automată a rețelei de discretizare a semifabricatului.

3.1.2.1.6 Analiza rezultatelor obținute

Timpul de calcul necesar pentru realizarea acestei simulări a fost de cca 2 ore. În continuare se prezintă o parte din rezultatele obținute în urma rulării programului.

Forma plăcii după îndepărtarea poansonului, adică după revenirea elastică, este reprezentată în figura 3.11, iar în tabelul 3.2 sunt date coordonatele într-o serie de puncte ale plăcii, înainte și după revenirea elastică. Prezența undulațiilor, cu deformații plastice locale mai pronunțate explică practic valorile nesemnificative ale deformațiilor de revenire elastică.

În figura 3.8 se prezintă variația grosimii materialului piesei deformată. Se observă că în urma deformării, grosimii materialului a rămas practic aceeași, existând unele reduceri de grosime în zonele de contact ale suprafețelor pinilor cu semifabricatul.

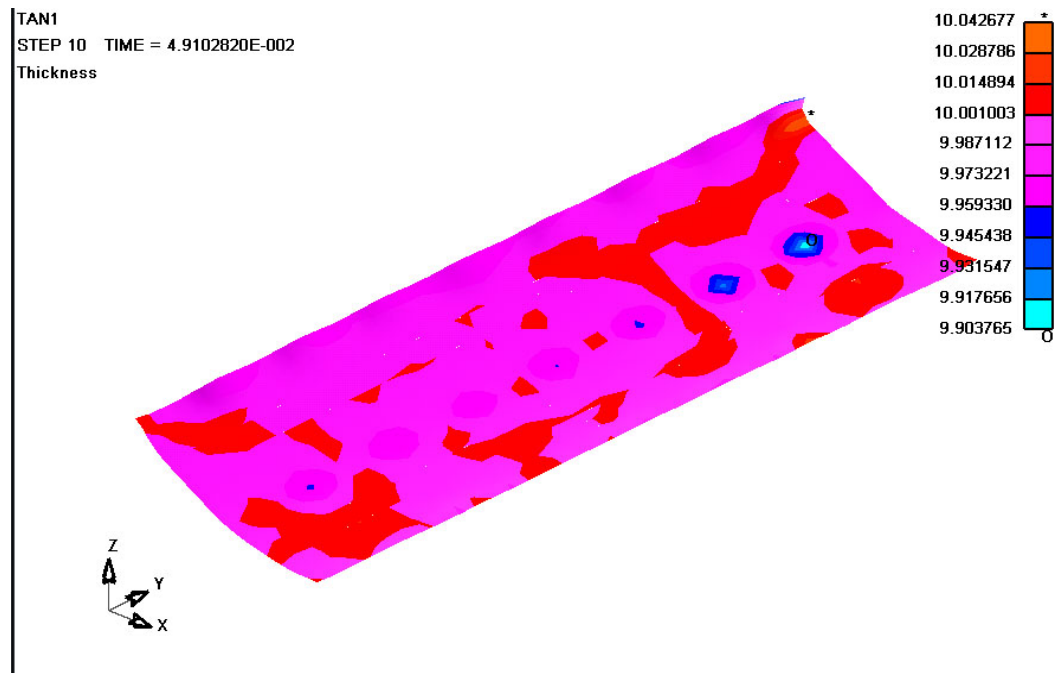


Fig. 3.8

Analiza tensiunilor von Mises (figura 3.9) arată că starea de plastifiere a materialului nu este uniformă, însă acestea nu ating valori care să se apropie de limita de reală de rupere. Se observă că după revenirea elastică, tensiunile von Mises (tensiuni remanente) scad (figura 3.10).

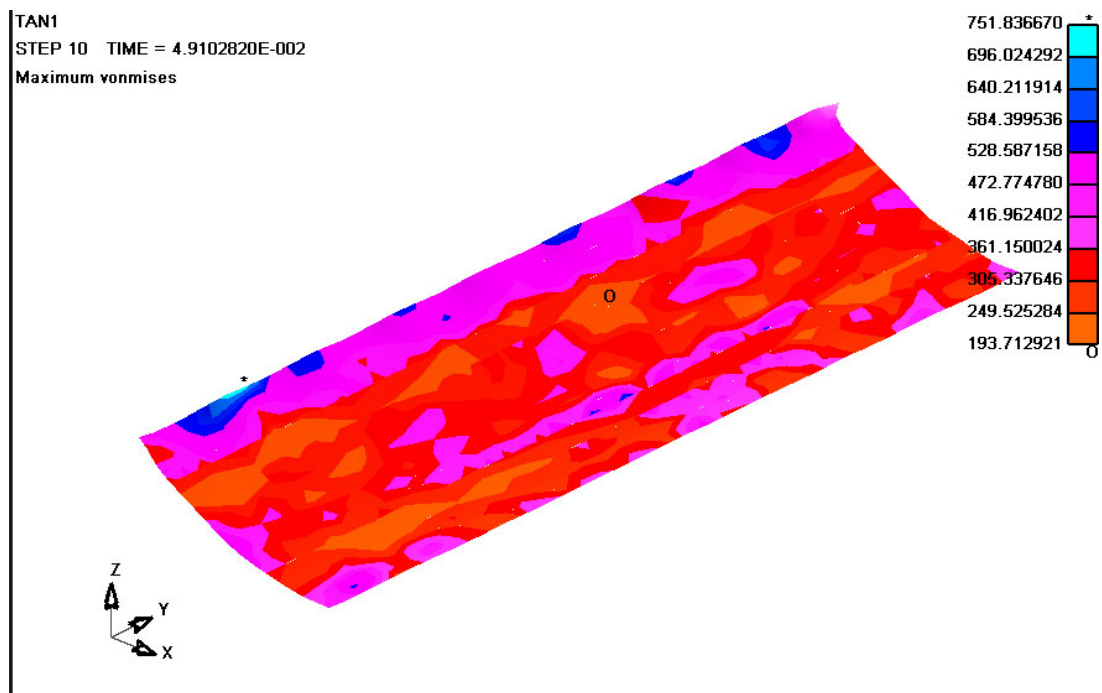


Fig. 3.9

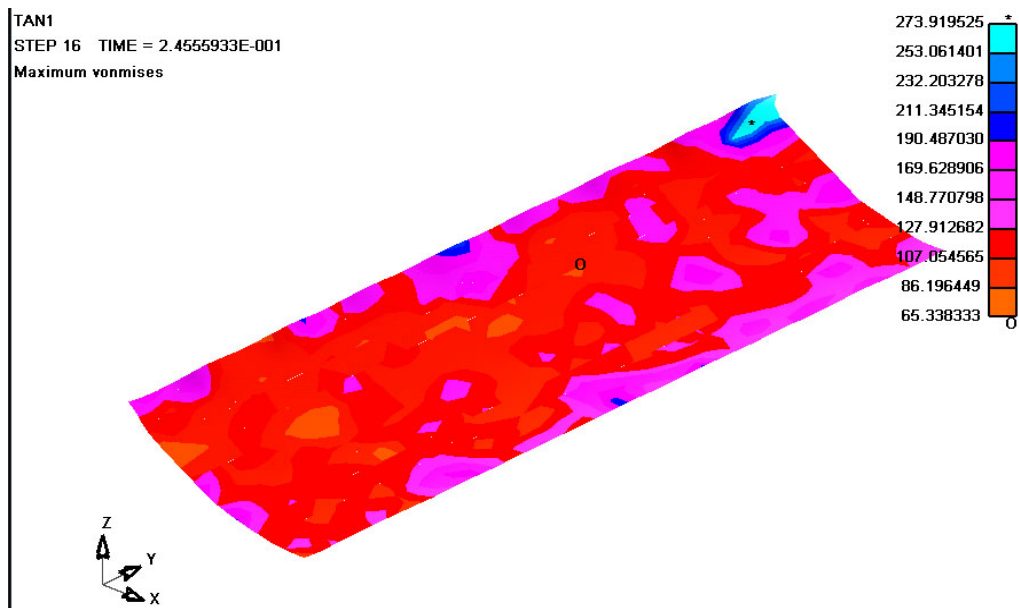


Fig. 3.10

Din analiza diagramei forței de deformare se obține o valoare maximă o forță de 52,60 tf, care apare la intrarea în contact a ultimului pin. Altiura diagramei este în directă concordanță cu forma elementelor de deformare, dispuse discret, alte două maxime cu valori mai mici decât 52,6 tf apărând la contactul cu primele două rânduri de pini. Pe măsură ce pini avansează, zona de contact dintre poanson și material se modifică.

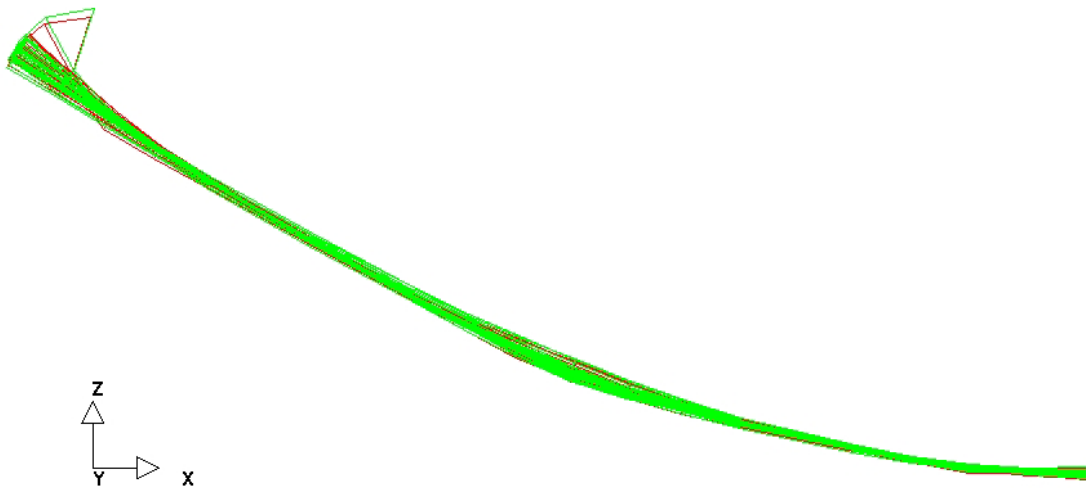


Fig. 3.11. Forma semifabricatului înainte (forma de sus) și după revenirea elastică a materialului (forma de jos).

Tabelul 3.2

Înainte de spring-back		După spring-back	
x	z	x	z
0	-219,931	0	-220,135
-55,558	-218,381	-55,559	-218,356
-110,325	-209,449	-110,316	-209,444
-164,559	-197,582	-164,491	-197,375
-218,433	-184,072	-218,433	-183,941
-270,505	-164,294	-270,422	-164,026
-318,862	-136,650	-318,967	-136,897
-366,707	-108,678	-367,096	-109,278
-414,64	-80,627	-415,045	-81,251
-459,617	-48,139	-460,21	-49,016
-502,238	-13,11	-502,793	-13,931

3.1.2.2 Model de simulare a procesului de deformare plastică cu pini poziționați decalat

Modelul are ca elemente geometrice de bază un număr de 2 plăci, compuse fiecare din câte 36 respectiv 27 de pini dispuși decalați pe lățimea semifabricatului.

3.1.2.2.1 Construcția modelului geometric

Ca și în cazul precedent, în cadrul acestei etape s-a realizat mai întâi generarea profilurilor caracteristice ale matriței, poansonului și semifabricatului, pe baza coordonatelor obținute conform figurii 3.12 și prezentate și în tabelul 3.3 (forma finală pe care trebuie să o capete semifabricatul). Profilurile au fost apoi discretizate în elemente finite.

3.1.2.2.2 Generarea profilului matriței

Pe baza coordonatelor punctelor profilului caracteristic determinate anterior, s-a construit zona caracteristică a suprafeței matriței, reprezentată în figura 3.13. Vârfurile pinilor dispuși pe matriță corespund numai aproximativ cu forma suprafeței plăcii fasonate. În figura 3.12 se observă corecțiile care au fost aplicate, determinate de deplasarea punctelor de tangență dintre pini și semifabricat.

Suprafața matriței, cu cei 36 de pini, a fost discretizată automat în elemente finite. La discretizare programul ține seama ca elementele să aibă dimensiuni cuprinse în limite date. După discretizare s-a verificat coincidența nodurilor, eventualele suprapuneri de elemente și gradul de distorsiune al elementelor. După efectuarea acestor operații, procesul de generare a profilului matriței se consideră finalizat.

Tabelul 3.3

Date:	B [mm]				r1 [mm] =	50	n =	6	r2 [mm] =	30			
	R [mm]	707.107			cursa [mm]			207.1					
	Bn [mm]	1110.72											
Pin		A	B	C	D	Pin		A	B	C	D		
Inferior	0	x	0	0	0	Superior	1	x	0	0	0	0	
		y	0	50	50			80	y	83.33	133.33	133.3	163.3
		z	30	30	30			30	z	342.4	342.41	486.1	486.1
	2	x	0	0	0		0	3	x	0	0	0	0
		y	166.667	216.667	216.67		246.7		y	250	300	300	330
		z	48.5725	48.5725	30		30		z	386.5	386.52	486.1	486.1
	4	x	0	0	0		0	5	x	0	0	0	0
		y	333.333	383.333	383.33		413.3		y	416.7	466.67	466.7	496.7
		z	107.328	107.328	30		30		z	486.1	486.1	486.1	486.1
	6	x	0	0	0		0						
		y	500	550	550		580						
		z	218.591	218.591	30		30						

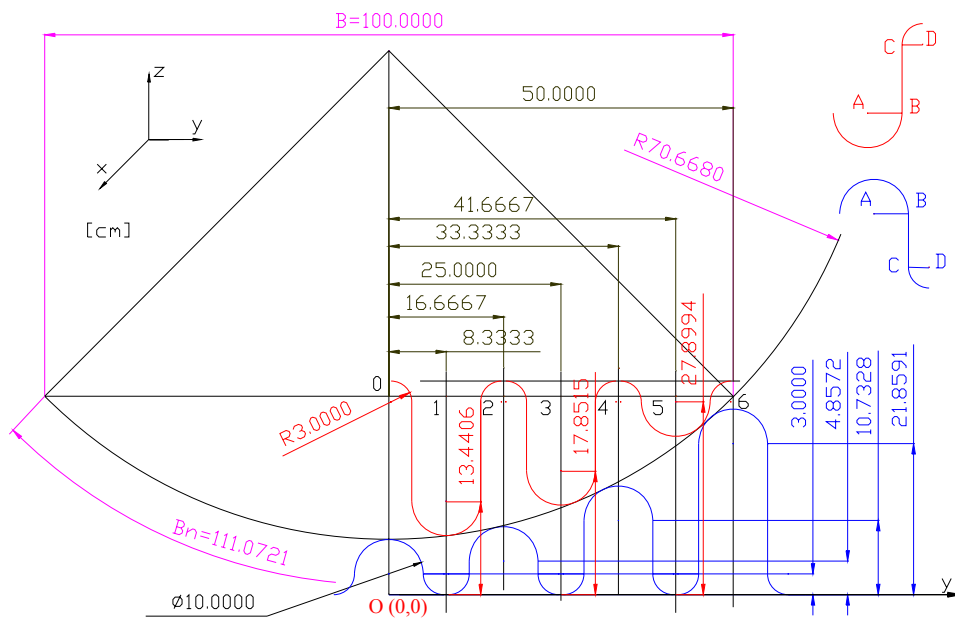


Fig. 3.12

Matrița după discretizare conține un număr de 83624 elemente finite.

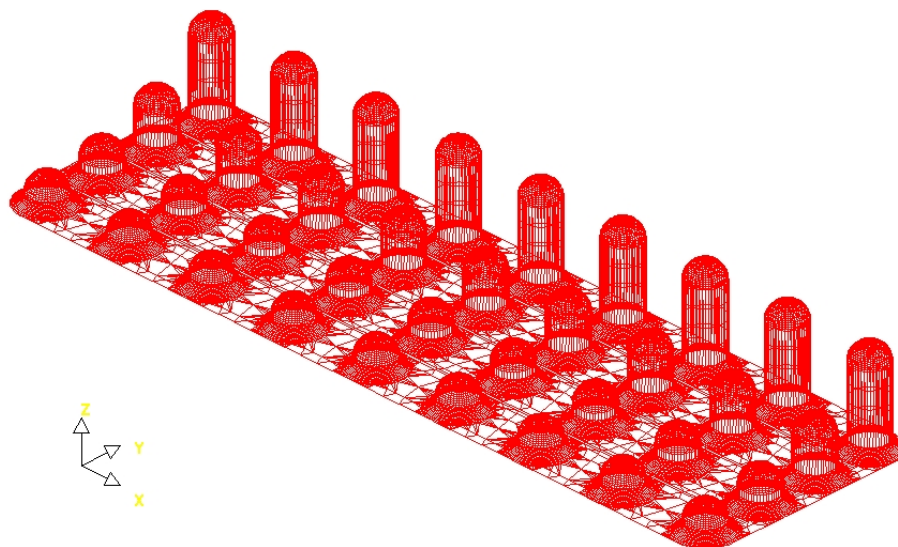


Fig. 3.13

3.1.2.2.3 Generarea profilului poansonului

Profilul poansonului a fost realizat printr-un număr de 27 pini (figura 3.14). În urma discretizării profilului poansonului au rezultat 72392 elemente finite.

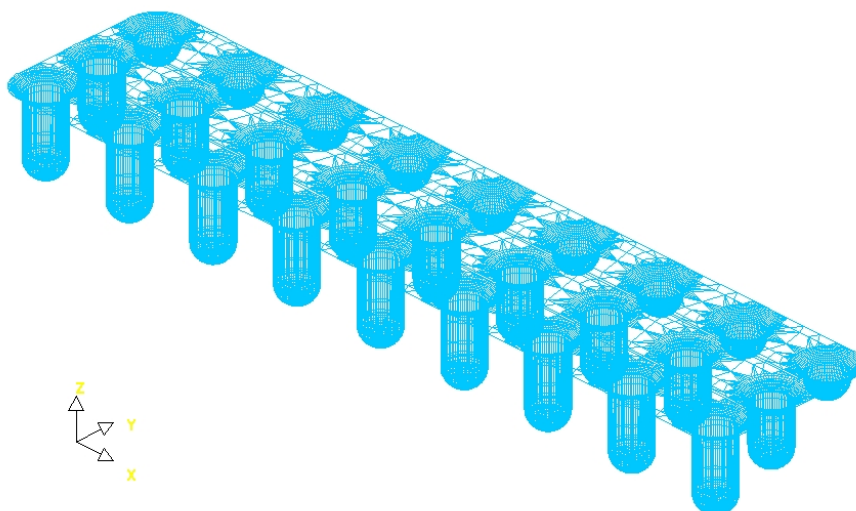


Fig. 3.14

3.1.2.2.4 Generarea semifabricatului

Placa pentru care se simulează procesul de fasonare s-a considerat cu aceleași dimensiuni ca în modelarea de la punctul 3.1.2.1 și s-a considerat aceeași discretizare (50 elemente finite pe semifabricat) (v. figura 3.6).

3.1.2.2.5 Introducerea parametrilor de simulare

În figura 3.15 este reprezentat modelul geometric complet (matriță-semifabricat-poanson), în poziția inițială.

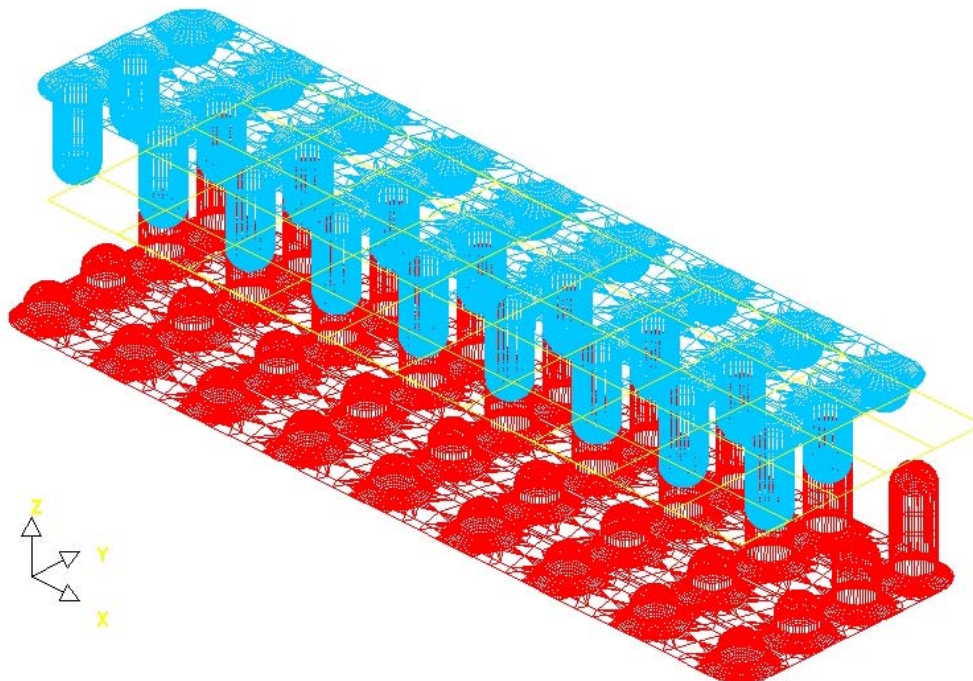


Fig. 3.15

Pentru efectuarea simulării au fost introduși aceiași parametrii ca la punctul 3.1.2.1.5., cu excepția cursei poansonului care a fost luată 198,145 mm.

Simularea s-a realizat cu refacerea automată a rețelei de discretizare a semifabricatului.

3.1.2.2.6 Analiza rezultatelor obținute

Timpul de calcul necesar pentru realizarea acestei simulări a fost de cca 2 ore. În continuare se prezintă o parte din rezultatele obținute în urma rulării programului.

Forma deformată a plăcii în urma procesului de fasonare prin matrițare discretă este reprezentată în figura 3.16, iar în figura 3.17 se prezintă ansamblul matriță-semifabricat-poanson la ultimul pas de timp înainte de revenirea elastică. Se observă că în zonele de contact cu pinii au rămas ondulații firești, cauzate de acțiunea locală a acestora.

NT10
STEP 10 TIME = 4.3228135E-002

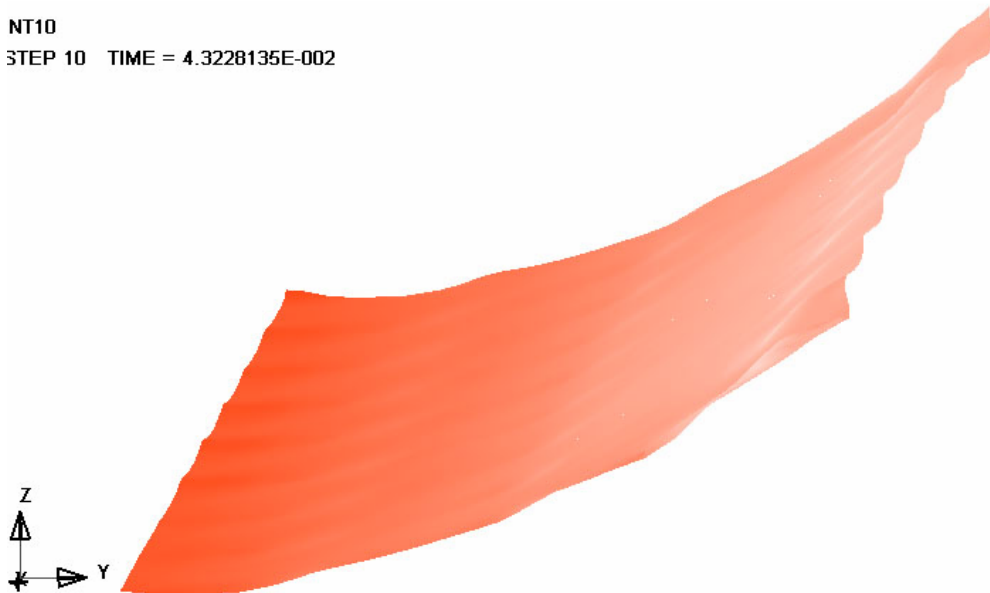


Fig. 3.16

STEP 10 TIME = 4.3228135E-002

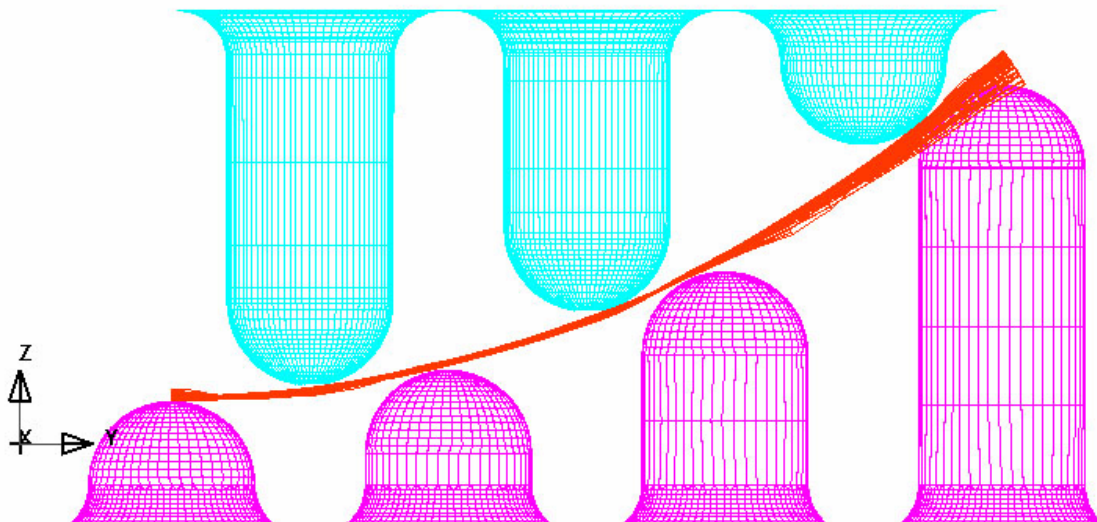


Fig. 3.17

Forma plăcii după îndepărtarea poansonului, adică după revenirea elastică, este reprezentată în figura 3.18, iar în tabelul 3.4 sunt date coordonatele într-o serie de puncte ale plăcii, înainte și după revenirea elastică.

Analiza tensiunilor von Mises conduce la aceleași concluzii ca la punctul 3.1.2.1.6 și anume că starea de plastifiere a materialului nu este uniformă, însă acestea nu ating valori care să se apropie de limita de reală de rupere. Se observă că după revenirea elastică, tensiunile von Mises (tensiuni remanente) scad.

Din analiza diagramei forței de deformare se obține o valoare maximă o forță de 110,4 tf, care apare la intrarea în contact a ultimului pin. Alături de curba este în directă legătură cu forma elementelor de deformare. Pe măsură ce pini avansează, zona de contact dintre poanson și material se modifică. Valorile maxime corespund intrării linilor de pini în material.

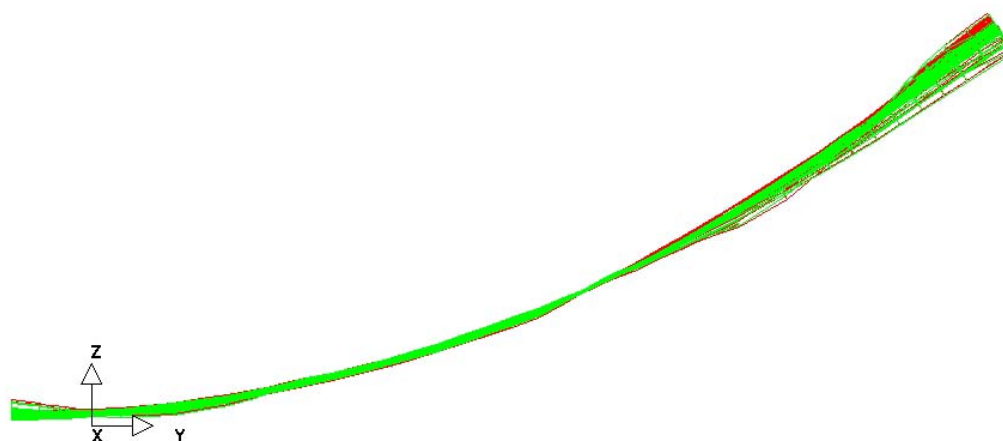


Fig. 3.18. Forma semifabricatului înainte (forma de sus) și după revenirea elastică a semifabricatului (forma de jos)

Tabelul 3.4

Înainte de spring-back		După spring-back	
x	z	x	z
0	75,603	0	75,644
41,631	72,413	41,632	72,434
83,313	73,911	83,309	73,982
124,252	82,089	124,221	82,287
164,735	91,877	164,70	92,094
205,186	101,877	205,194	101,903
244,951	114,299	244,871	114,293
283,346	130,437	283,444	130,233
319,919	150,353	320,188	149,827
368,081	178,039	368,413	177,397
415,202	207,507	415,691	206,591
438,271	222,972	438,995	221,687
459,416	241,016	460,494	239,283
479,259	260,420	481,056	257,902
500,9	277,782	503,286	274,467

3.1.2.3. Model de simulare a procesului de deformare plastică cu suprafața materializată complet cu pini

Modelul are ca elemente geometrice de bază un număr de 2 plăci compuse din 66 de pini dispuși față în față. Modelul reprezintă un sfert din cazul real de deformare datorită numărului mare de elemente. Semifabricatul considerat are dimensiunile de 555,36 x 1000 mm și o grosime de 10 mm.

3.1.2.3.1 Construcția modelului geometric

Ca și în cazurile precedente, în cadrul acestei etape s-a realizat mai întâi generarea profilurilor caracteristice ale matriței, poansonului și semifabricatului, pe baza coordonatelor obținute conform figurii 3.19 și prezentate și în tabelul 3.5 (forma finală pe care trebuie să o capete semifabricatul). Profilurile au fost apoi discretizate în elemente finite.

Tabelul 3.5

Date	B [mm] = 1000		r1 [mm] = 49		n = 5	r2 [mm] = 1						
	R [mm] = 707.11					cursa	207.11					
	Bn [mm] 1110.7											
Pin		A	B	C	D	Pin		A	B	C	D	
Inferior	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0
		y	0	49	49	50		y	0	49	49	50
		z	1	1	1	1		z	306.11	306.11	536.31	536.31
	1	x	0	0	0	0	1	x	0	0	0	0
		y	100	149	149	150		y	100	149	149	150
		z	7.642	7.642	1	1		z	313.75	313.75	536.31	536.31
	2	x	0	0	0	0	2	x	0	0	0	0
		y	200	249	249	250		y	200	249	249	250
		z	27.93	27.931	1	1		z	337.23	337.23	536.31	536.31
	3	x	0	0	0	0	3	x	0	0	0	0
		y	300	349	349	350		y	300	349	349	350
		z	63.06	63.062	1	1		z	378.46	378.46	536.31	536.31
	4	x	0	0	0	0	4	x	0	0	0	0
		y	400	449	449	450		y	400	449	449	450
		z	115.5	115.47	1	1		z	441.62	441.62	536.31	536.31
5	x	0	0	0	0	5	x	0	0	0	0	
	y	500	549	549	550		y	500	549	549	550	
	z	189.9	189.92	1	1		z	536.31	536.31	536.31	536.31	

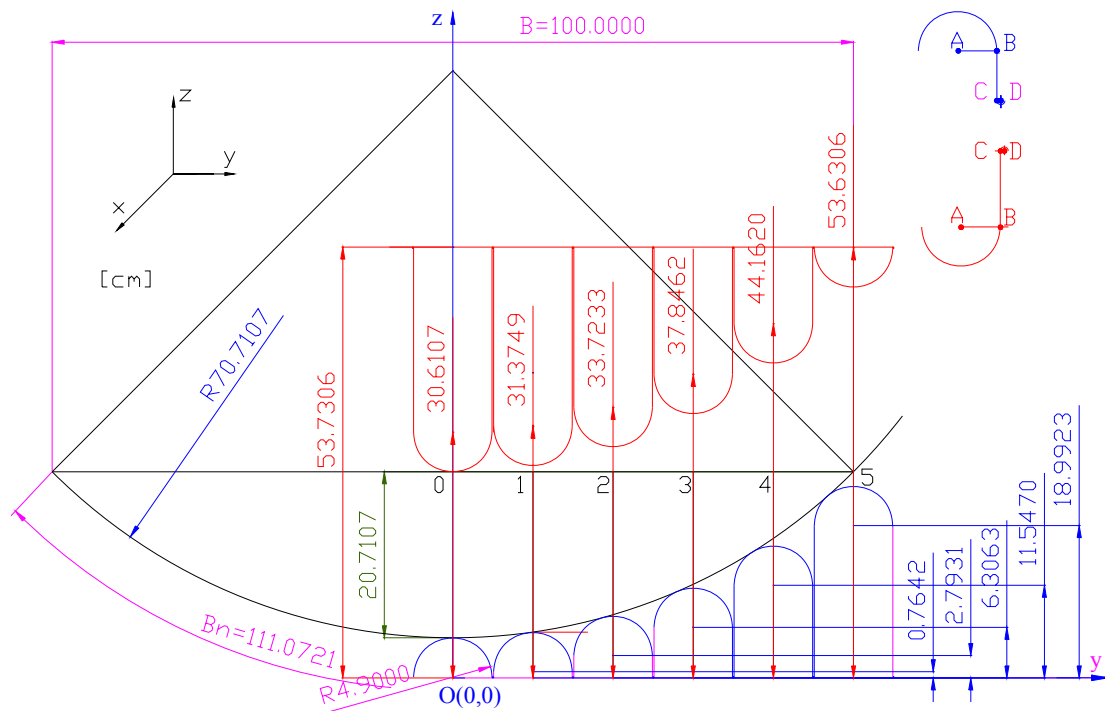


Fig. 3.19

3.1.2.3.2 Generarea profilului matriței

Pe baza coordonatelor punctelor profilului caracteristic determinate anterior, s-a construit zona caracteristică a suprafeței matriței, reprezentată în figura 3.20. Ca și în cazurile precedente, vârfurile pinilor dispuși pe matriță corespund numai aproximativ cu forma suprafeței plăcii fasonate. În figura 3.19 se observă corecțiile care au fost aplicate, determinate de deplasarea punctelor de tangență dintre pini și semifabricat. Configurația propusă în acest caz se apropie cel mai mult de conceptul de matriță discretă.

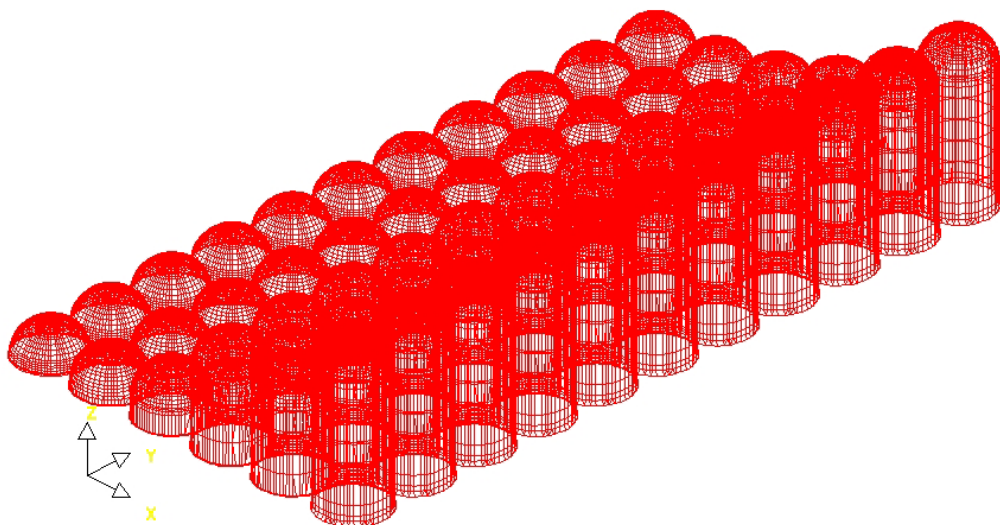


Fig. 3.20

Suprafața matriței, cu cei 66 de pini, a fost discretizată automat în elemente finite. La discretizare programul ține seama ca elementele să aibă dimensiuni cuprinse în limite date. După discretizare s-a verificat coincidența nodurilor, eventualele suprapuneri de elemente și gradul de distorsiune al elementelor. După efectuarea acestor operații, procesul de generare a profilului matriței se consideră finalizat.

Matrița după discretizare conține un număr de 100945 elemente finite.

3.1.2.3.3 Generarea profilului poansonului

Profilul poansonului a fost realizat printr-un număr de 27 pini (figura 3.21). În urma discretizării profilului poansonului au rezultat 111733 elemente finite.

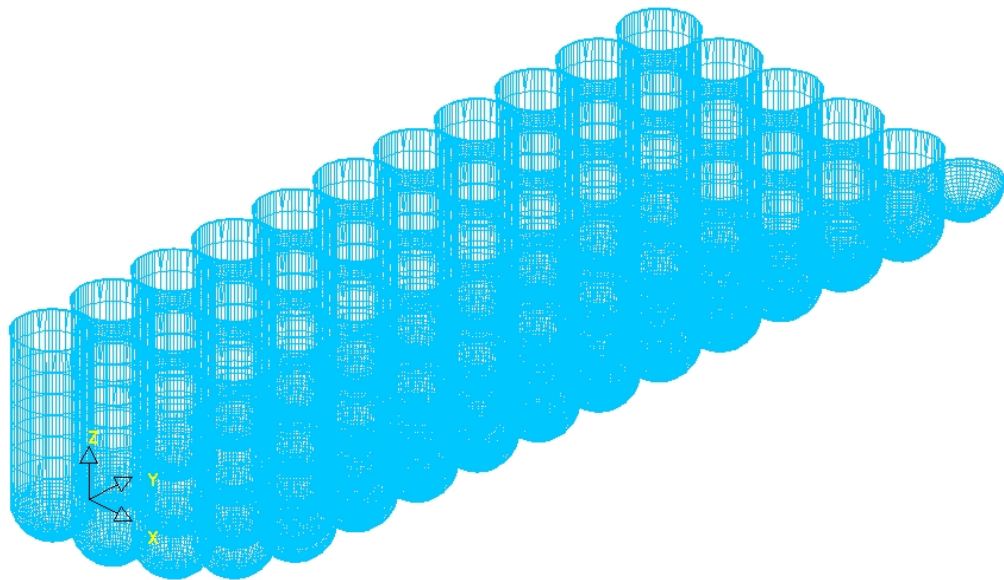


Fig. 3.21

3.1.2.3.4. Generarea semifabricatului

După cum s-a precizat, placa pentru care se simulează procesul de fasonare s-a considerat de 555,36 x 1000 mm și o grosime de 10 mm. În aplicația analizată s-au introdus 200 elemente finite pe semifabricat (figura 3.22).

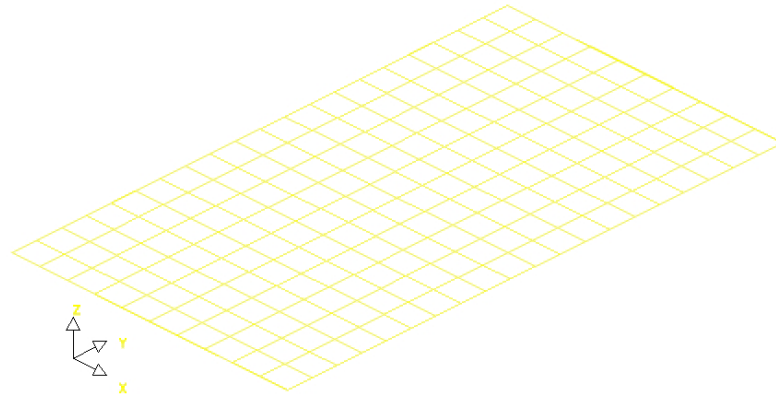


Fig. 3.22

3.1.2.3.5 Introducerea parametrilor de simulare

În figura 3.23 este reprezentat modelul geometric complet (matriță-semifabricat-poanson), în poziția inițială.

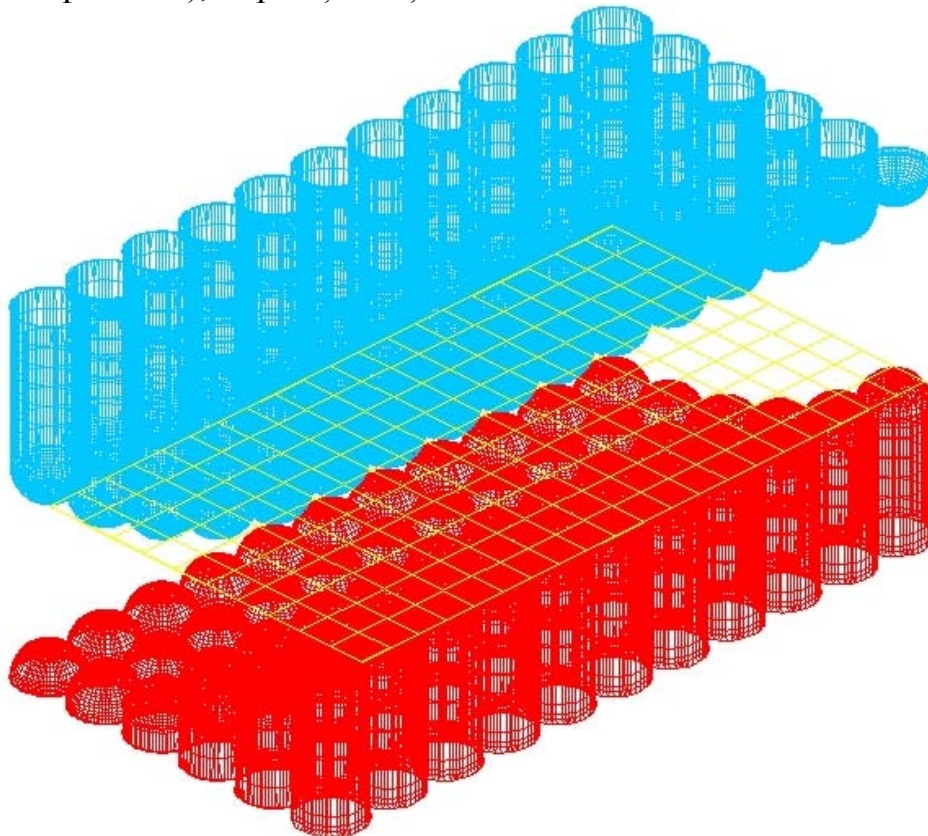


Fig. 3.23

Pentru efectuarea simulării au fost introduși aceeași parametrii ca la punctul 3.1.2.1.5. Simularea s-a realizat cu refacerea automată a rețelei de discretizare a semifabricatului.

3.1.2.3.6 Analiza rezultatelor obținute

Timpul de calcul necesar pentru realizarea acestei simulări a fost de cca 5 ore. În continuare se prezintă o parte din rezultatele obținute în urma rulării programului.

Forma deformată a plăcii în urma procesului de fasonare prin matrițare discretă este reprezentată în figura 3.24, iar în figura 3.25 se prezintă ansamblul matriță-semifabricat-poanson la ultimul pas de timp înainte de revenirea elastică. Se observă reducerea ondulațiilor față de cazurile precedente, în zonele de contact cu pinii. De altfel, în studiile efectuate se subliniază importanța prezenței unui interpolator de cauciuc între suprafețele de contact, cu rolul de atenuare a ondulațiilor.

FULL1
STEP 10 TIME = 4.3253474E-002

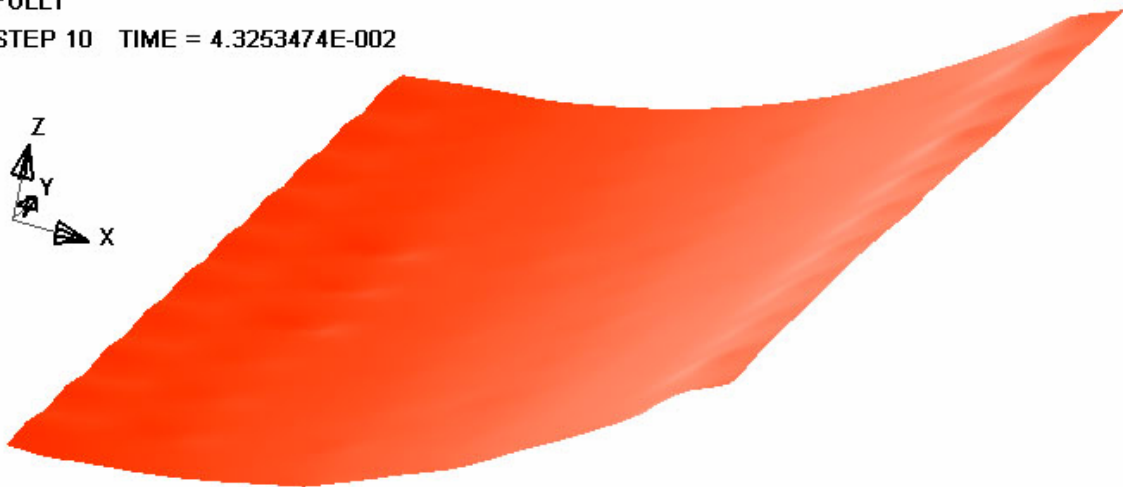


Fig. 3.24

FULL1
STEP 10 TIME = 4.3253474E-002

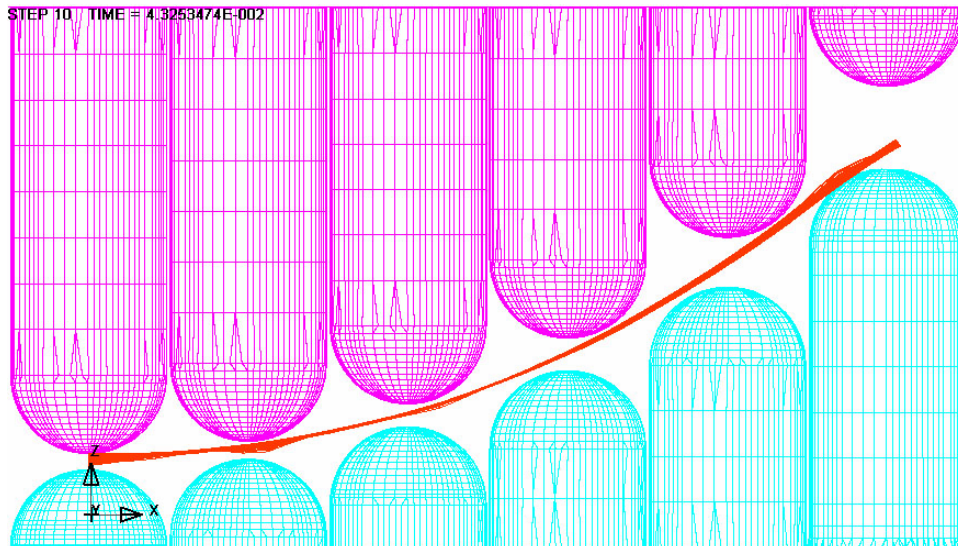


Fig. 3.25

În figura 3.26 se prezintă variația grosimii materialului piesei deformată. Se observă că în urma deformării, grosimii materialului este aproape uniformă existând câteva zone subțiate spre capetele libere ale semifabricatului și în

zonele de contact al suprafețelor frontale ale pinilor cu suprafața semifabricatului.

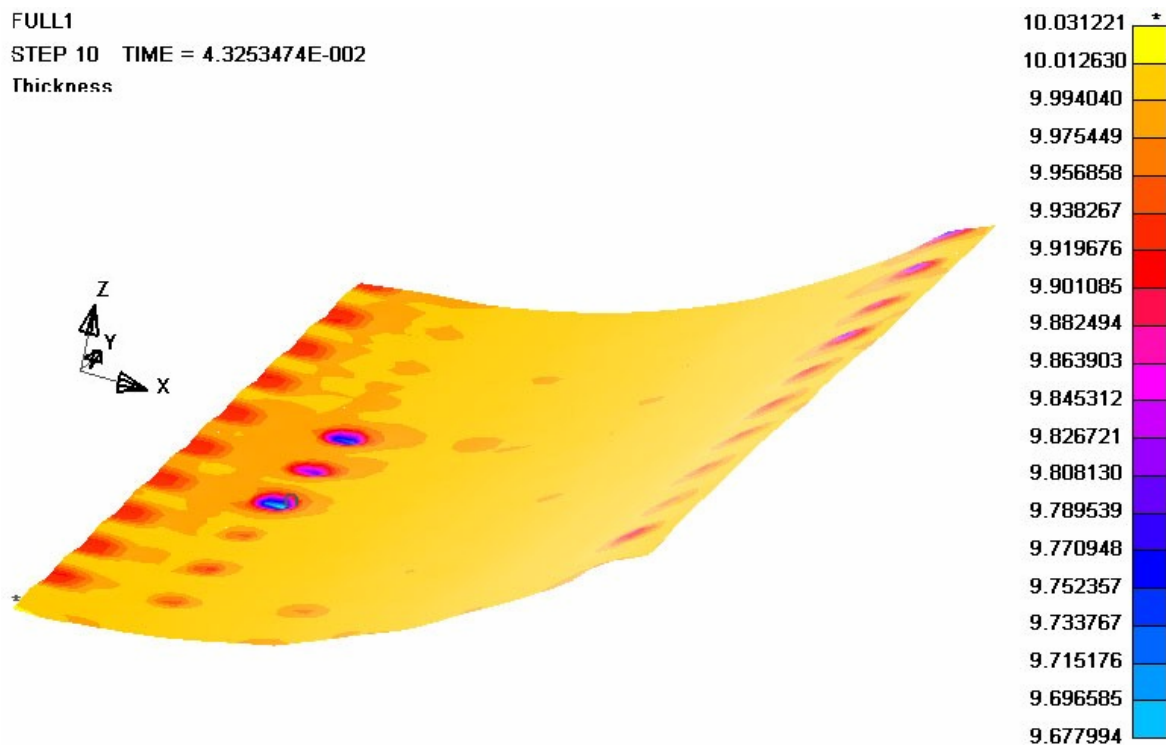


Fig. 3.26

Din analiza diagramei forței de deformare (figura 3.27) se obține o valoare maximă o forță de 23,6 tf, care apare la intrarea în contact a ultimului pin. Aliura curbei este în directă legătură cu forma elementelor de deformare. Pe măsură ce pinii avansează, zona de contact dintre poanson și material se modifică. Valorile maxime corespund intrării linilor de pini în material.

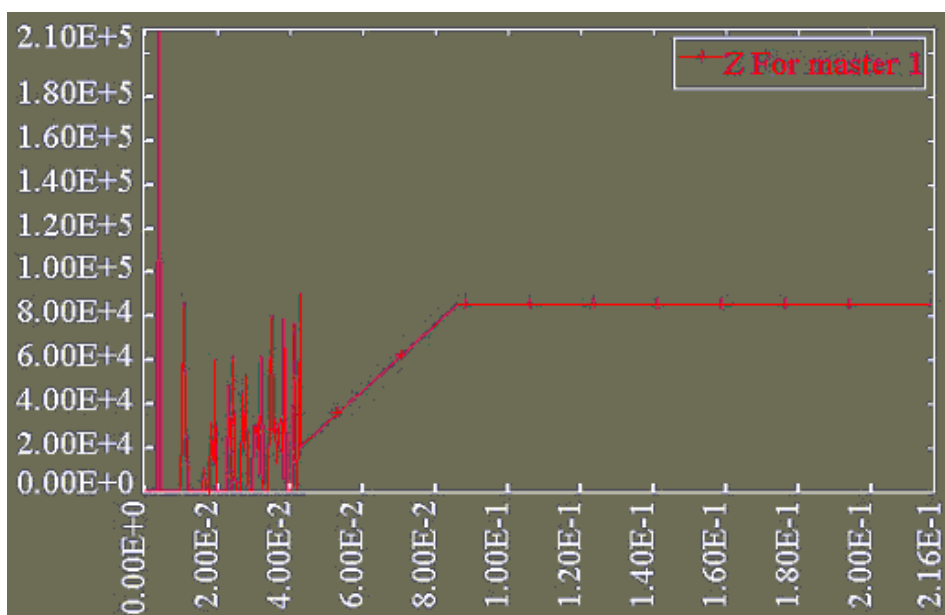


Fig. 3.27

Forma plăcii după îndepărtarea poansonului, adică după revenirea elastică, este reprezentată în figura 3.28, iar în tabelul 3.6 sunt date coordonatele într-o serie de puncte ale plăcii, înainte și după revenirea elastică.

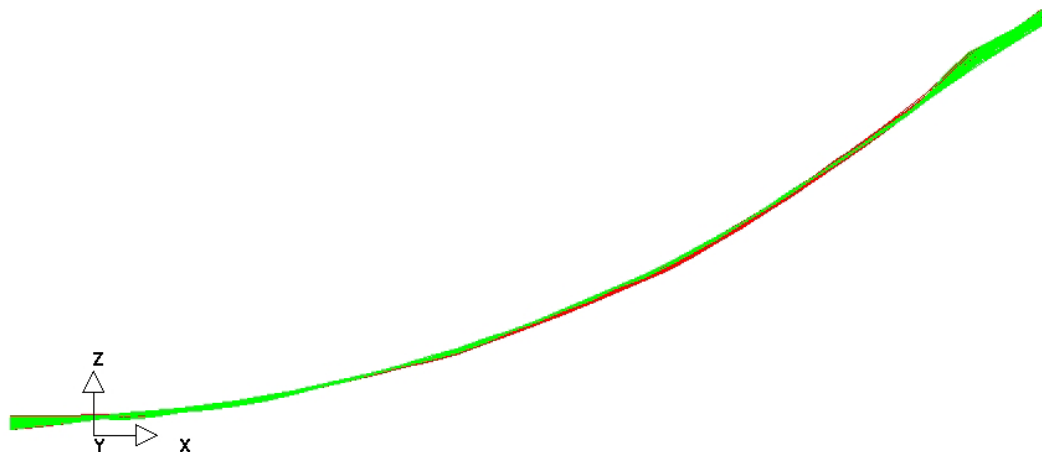


Fig. 3.28

Tabelul 3.6

Înainte de spring-back		După spring-back	
x	z	x	z
0	49,604	0	49,144
27,812	52,988	27,818	52,591
55,295	56,448	55,296	56,174
82,98	58,757	82,966	58,658
110,458	62,5	110,433	62,484
137,734	67,72	137,710	67,699
164,898	73,427	164,862	73,484
191,891	79,905	191,813	80,132
218,661	87,271	218,513	87,753
244,911	96,314	244,684	97,04
270,809	106,311	270,539	107,166
296,362	117,152	296,076	118,063
321,681	128,55	321,401	129,45
345,914	142,128	345,662	142,976
369,535	156,711	369,315	157,521
392,98	171,578	392,836	172,276
415,889	187,274	415,907	187,735
438,227	207,753	438,441	207,944
458,290	222,856	458,669	222,871
481,213	238,927	481,704	238,769
505,21	252,86	505,762	252,597

3.1.2.4. Model de simulare a procesului de deformare plastică cu ansamblu matriță-poanson continuu

Modelul are ca elemente geometrice de bază un număr de 2 plăci circulare, corespunzătoare formei finale necesare a semifabricatului (matriță-poanson continuu). Semifabricatul considerat are dimensiunile de 555,36 x 2000 mm și o grosime de 10 mm.

3.1.2.4.1 Construcția modelului geometric de deformare

Această etapă a presupus generarea la dimensiunile reale ale profilurilor simplificate ale: matriței, poansonului, plăcii de reținere și semifabricatului. Profilurile au fost apoi discretizate în elemente finite.

3.1.2.4.2 Generarea profilului matriței

S-a considerat o rază a matriței de 707,107 mm. Forma matriței este prezentată în figura 3.29. Suprafața matriței a fost discretizată în elemente finite. S-a verificat coincidența nodurilor, eventualele suprapuneri de elemente și gradul de distorsiune al elementelor. După efectuarea acestor operații, procesul de generare a profilului matriței se consideră finalizat. Matrița după discretizare conține un număr de 2816 elemente finite.

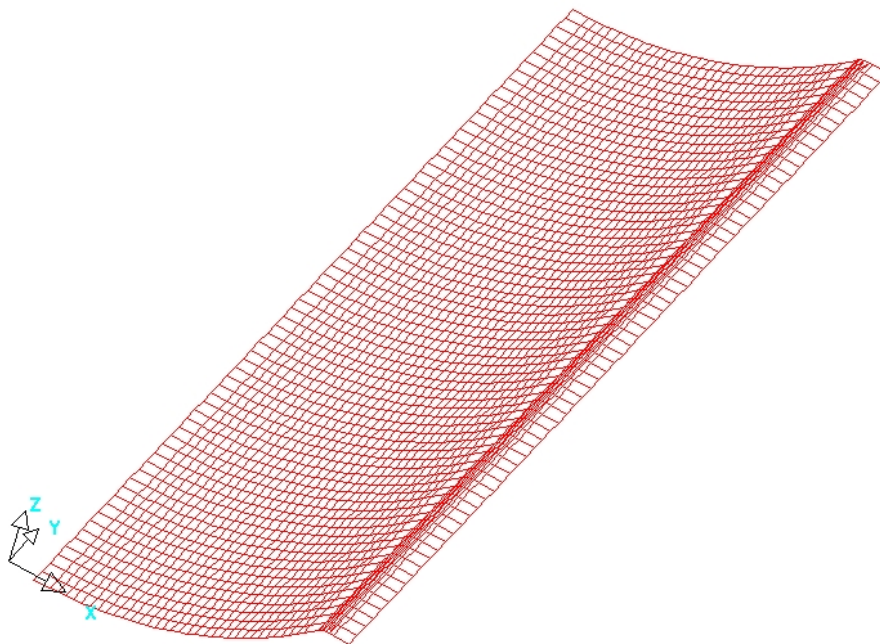


Fig. 3.29

3.1.2.4.3 Generarea profilului poansonului

Profilul poansonului a fost obținut în aceleași condiții ca și profilul matriței (figura 3.30). Numărul de elemente finite este de 2816.

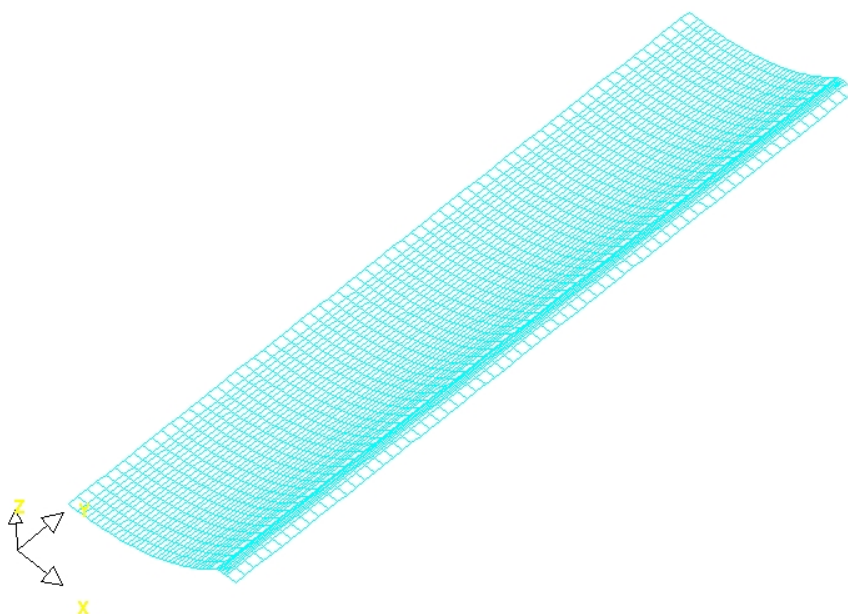


Fig. 3.30

3.1.2.4.4 Generarea semifabricatului

Piesa rezultă în urma deformării unui semifabricat de forma prezentată în figura 3.31. Semifabricatul este compus dintr-un număr de 200 de elemente finite.

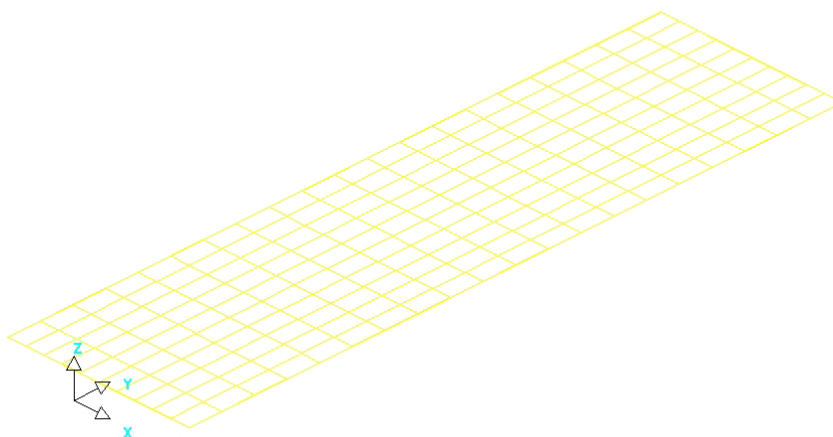


Fig. 3.31

3.1.2.4.5 Introducerea parametrilor de simulare

În figura 3.32 este reprezentat modelul geometric complet (matriță-semifabricat-poanson), în poziția inițială. Simularea s-a realizat cu refacerea automată a rețelei de discretizare a semifabricatului.

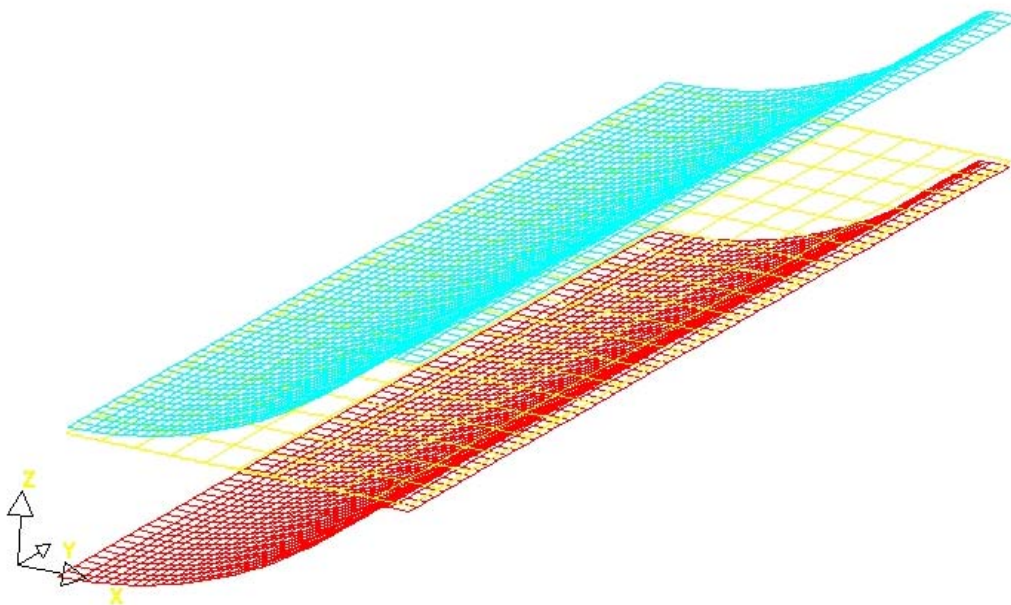


Fig. 3.32

3.1.2.4.6 Analiza rezultatelor obținute

Timpul de calcul necesar pentru realizarea acestei simulări a fost de cca 40 min. În continuare se prezintă o parte din rezultatele obținute în urma rulării programului.

În figura 3.33 se prezintă variația grosimii materialului piesei deformate. Se observă că în urma deformării, grosimii materialului este aproape uniformă existând câteva zone subțiate spre capetele libere ale semifabricatului.

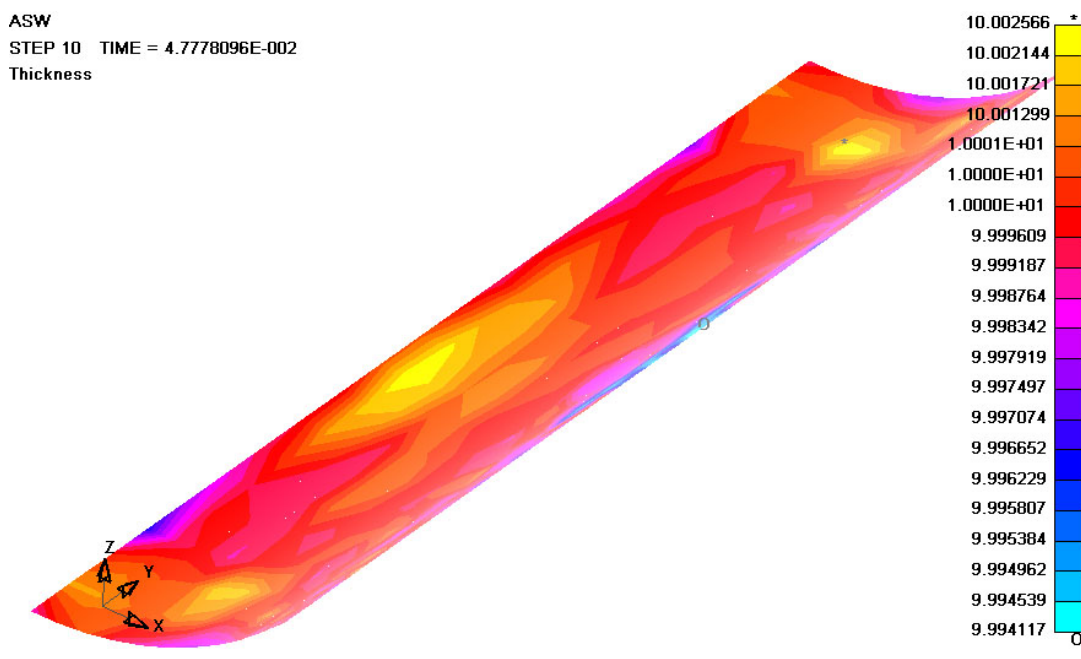


Fig. 3.33

Distribuția tensiunii Von Mises în materialul deformat se prezintă în figura 3.34.

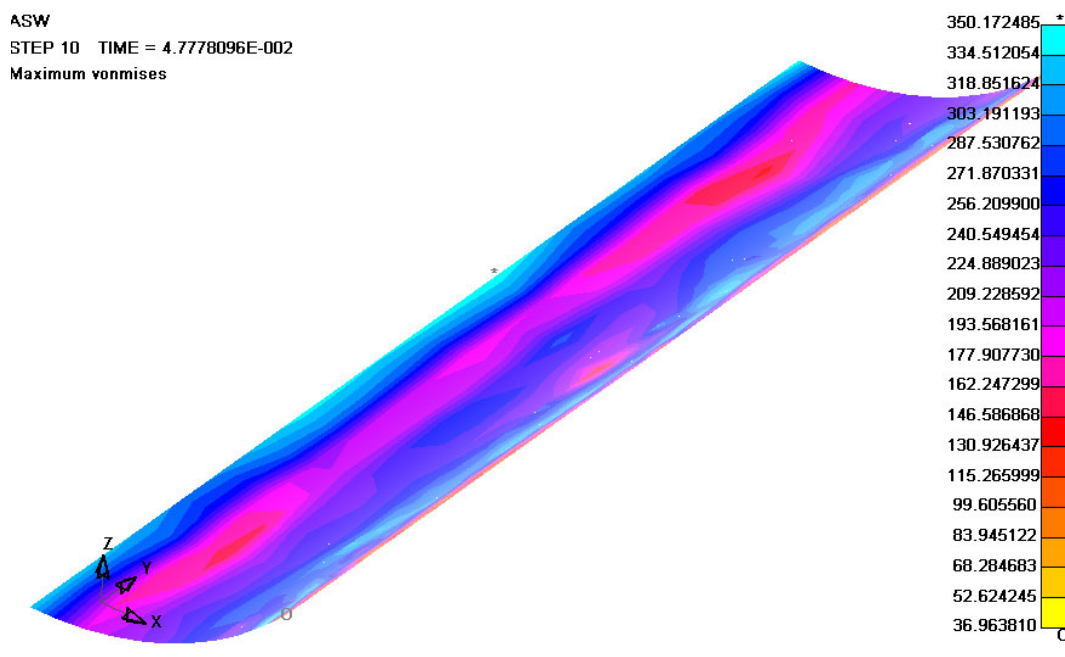


Fig. 3.34

Analiza figurii, arată că starea de plastifiere a materialului este diferită în diverse zone ale semifabricatului, dar că nici una din valorile tensiunii maxime nu depășește valoarea rezistenței la rupere a materialului. După revenirea elastică valorile tensiunilor scad (fig. 3.35).

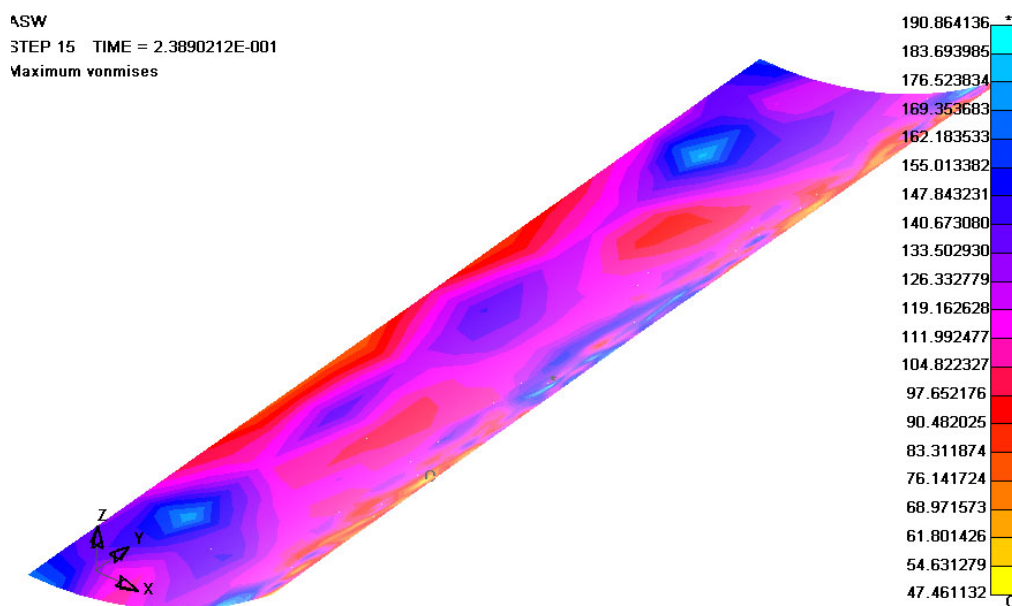


Fig. 3.35

În figura 3.36 se prezintă variația forței de deformare. Valoarea maximă este de 84 tf. Aliura curbei este în directă legătura cu forma elementelor de deformare. Pe măsură ce poansonul avansează, zona de contact dintre poanson și material crește ca urmare și forța va crește.

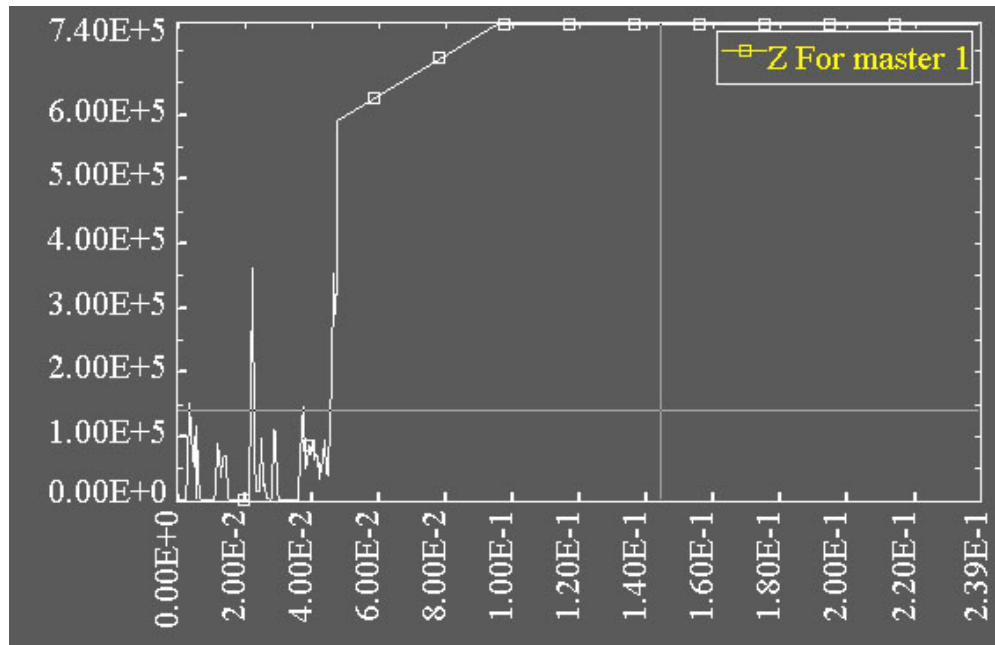


Fig. 3.36

Forma plăcii după îndepărtarea poansonului, adică după revenirea elastică, este reprezentată în figura 3.37.

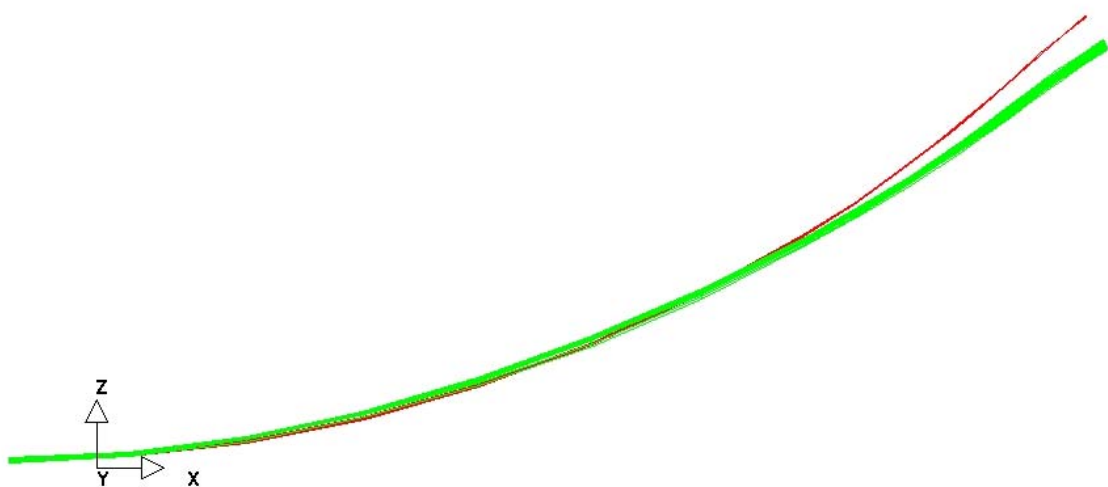


Fig. 3.37

Activitatea 3.3. Identificarea fluxului tehnologic de parametri necesari reconfigurabilității

3.3.1. Parametri de deformare

Deformarea cu matrițe reconfigurabile poate fi caracterizată de următorii parametri de intrare principali:

- *forma, numărul și modul de aranjare a pinilor în rețea* (figura 3.38).

Forma pinilor poate fi hexagonală, pătrată, triunghiulară sau circulară (figura 3.38).

Cum se dorește ca suprafața de contact dintre pini să fie maximă, rezultă că este de preferat o aranjare a pinilor de tip triunghiular, pătrat sau hexagonal. Rețeaua rotundă, deși este cel mai ușor de realizat din punct de vedere practic, nu asigură decât un contact liniar între pini, cu efect negativ asupra realizării unei forțe de strângere corespunzătoare. Din rațiuni tehnologice, în practică, cea mai utilizată este rețeaua pătrată.

Capetele active ale pinilor sunt semisferice, cu un diametru egal cu diagonala secțiunii transversale prin pin, având dimensiunile cuprinse între 25 și 28 mm.

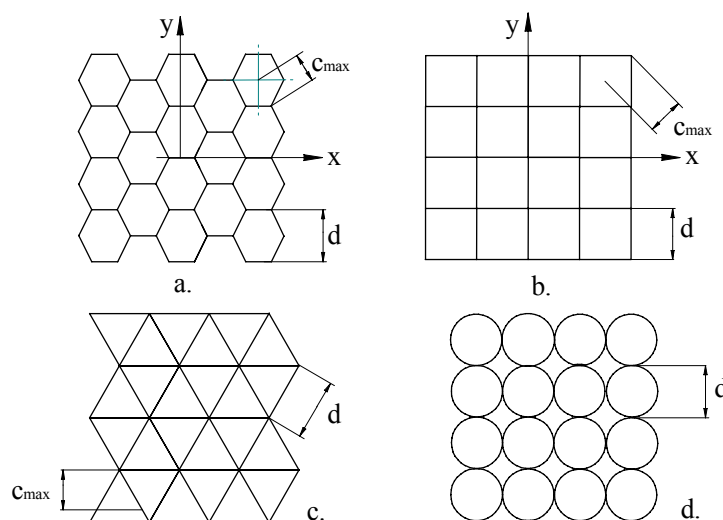


Fig. 3.38. Tipuri de rețele de pini: a. rețea hexagonală; b. rețea pătrată; c. rețea triunghiulară; d. rețea circulară

Corpul pinilor poate fi solid sau poate fi de formă tubulară.

Numărul pinilor este determinat de dimensiunile piesei care urmează a se deforma și de diametrul lor. De exemplu pentru o matriță cu dimensiunile de 1,2 x 1,8 m sunt necesari între 2700 (29 mm diametru de pin) și 3500 pini (25 mm diametru de pin). Cu cât diametrul lor este mai mic, evident că numărul necesar de pini va fi mai mare cu efect benefic asupra calității suprafeței tablei deformată, care va fi mai bună.

- *poziția pe înălțime a pinilor în rețea*, determină punctul de contact al pinilor cu suprafața tablei. Determinarea înălțimii pinilor de deformare z_{ij} , din punctele $M_{ij}(x_i, y_j)$ ale ochiurilor rețelei de distribuție a pinilor (figura 3.39), indiferent de soluția constructivă aleasă pentru partea de contact a pinilor cu

tabla, se face pe baza unor modele matematice și a unor programe de calcul [Gav 2].

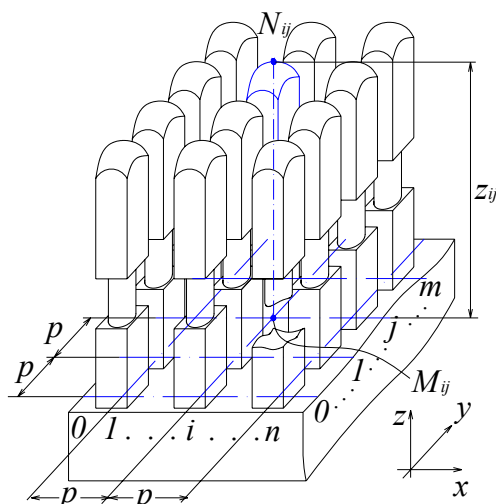


Fig. 3.39. Schema de distribuție a pinilor în rețea

Există a serie de modele de calcul a acestor poziții atât analitice [Wal 1], cât și complexe, bazate de exemplu pe metoda elementului finit [Cai 1], considerând fie că suprafața este cunoscută analitic fie că ea este definită prin puncte (în formă discretă). Pentru acest caz o metodă de determinare a poziției pinilor a fost propusă de [Pau 1]. S-a considerat cazul general, când de exemplu suprafața respectivă este rezultatul unor măsurători punctuale.

În figura 3.40 se prezintă forma discretizată a suprafeței.

Într-un punct oarecare al suprafeței, fie $M_{i,10}$, se poate defini un poliedru, substitutiv suprafeței S.

Astfel, normala la suprafața S poate fi aproximată cu oricare dintre normalele la cele patru fețe ale poliedrului.

Pentru fiecare dintre direcțiile normalelor la fețele poliedrului, se pot scrie ecuațiile normalelor (în jurul punctului $M_{i-1,10}$), în forma:

$$N_{Sv} = N_{sv_x} \vec{i} + N_{sv_y} \vec{j} + N_{sv_z} \vec{k} \quad (3.10)$$

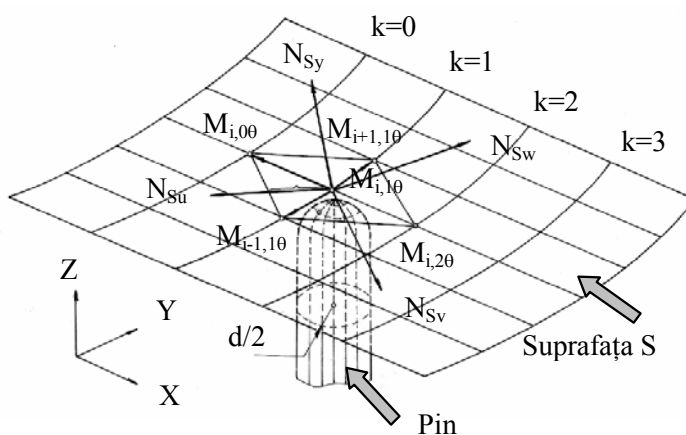


Fig. 3.40. Discretizarea suprafeței deformate, suprafața este definită discret

Din ansamblul celor patru normale, la suprafețele poliedrului înlocuitor, se alege aceea pentru care condiția de incidență cu axa pinului A_i , are cea mai mică valoare. Se scrie condiția de intersecție a normalei cu axa pinului ca și condiția de tangență la suprafața a pinului. Algoritmul determină poziția efectivă a axei pinului relativ la punctul $M_{i,10}$ de pe suprafața S . Prin repetarea algoritmului pentru toate punctele, vor rezulta pozițiile pinilor din rețea în raport cu suprafața piesei.

- *materialul*. Dintre caracteristicile de material, grosimea este cel mai influent parametru asupra procesului de deformare. O grosime mică de material duce la apariția fenomenului de imprimare a capului pinilor pe suprafața tablei cu efect negativ asupra calității piesei. La grosimi mai mari acest efect se diminuează, dar rămâne prezent. Ca urmare, în vederea obținerii unei forme corecte a tablei și a reducerii abaterilor de formă care rezultă în urma deformării, este necesar să se introducă între suprafețele active, a poansonului și a matriței și suprafața tablei, o membrană (interpolator) de cauciuc (figura 3.41). Grosimea acestui interpolator și modulul lui de compresiune au rol important în reducerea undulațiilor materialului dintre pini.

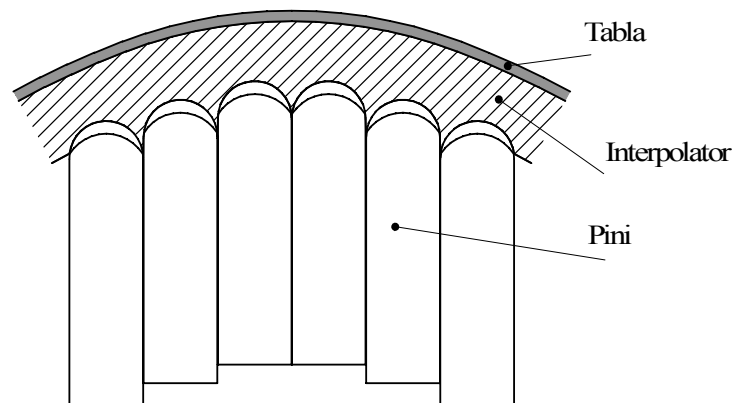


Fig. 3.41. Schema deformării cu pini folosind o membrană de cauciuc

- *forța de strângere*. Fiecare pin se sprijină de pinii vecini, astfel încât sarcinile rezultate din presare vor fi transferate casetei de prindere, pinii neavând nevoie de rigidizări suplimentare.

Se pot utiliza două metode de strângere a pinilor: cu fixare pe o direcție, cu fixare pe două direcții (figura 3.42).

În cazul general, forța minimă necesară prinderii pinilor, la fixarea pe o direcție, este dată de relația:

$$N = n \cdot \frac{F_a}{2 \cdot \mu_{static}} \quad (3.11)$$

unde: F_a este forța de deformare verticală; n – numărul de pini; μ_{static} – coeficientul de frecare dintre pini.

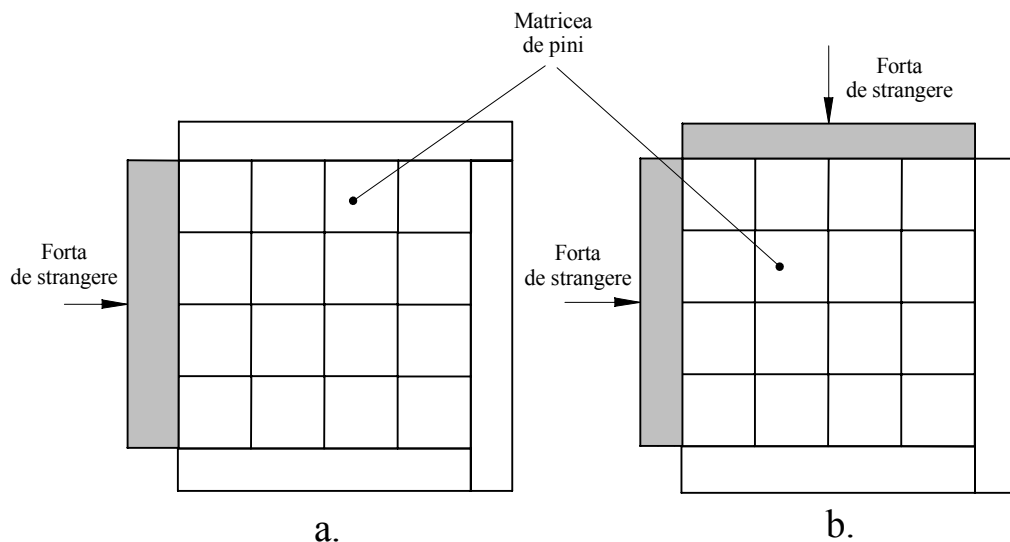


Fig. 3.42. Modalități de fixare a pinilor: a. fixare pe o direcție;
b. fixare pe două direcții

3.3.2. Construcția matritelor

Matrițe reconfigurabile din punct de vedere constructiv, pot fi proiectate în două variante:

- pentru procedeul de tragere pe poanson sau de ambutisare hidraulică. Matrița de compune numai dintr-un pachet de pini care acționează asupra materialului.
- pentru ambutisare, caz în care sunt utilizate două pachete conjugate de pini

Reglarea înălțimii pinilor se poate face prin diferite metode, în funcție de dimensiunile acestora. Se poate adopta o soluție de reglare a fiecărui pin individual, a fiecărei linii de pini din rețea sau a întregii rețele. Ultima metodă este recomandată la dimensiuni mici de pini (sub 20 mm), necesitând folosirea unui model al suprafeței care urmează a fi deformată.

Pentru dimensiuni de pini mai mari de 25 mm, se folosesc trei metode de reglare a înălțimii acestora, aplicate fie fiecărui pin fie unei linii de pini, și anume:

- reglare cu ajutorul motoarelor electrice (figura 3.43, a);
- reglare prin angrenare (figura 3.43, b);
- reglare hidraulică (figura 3.43, c).

Reglarea cu ajutorul motoarelor electrice presupune poziționarea în serie a pinilor, acționați de șuruburi conducătoare, folosind cuplaje mecanice. Mișcarea se transmite de la motorul electric la cuplajul mecanic și apoi la mecanismul șurub-piuliță cu filet trapezoidal al pinului.

Cuplajul mecanic este compus din ansamblul arbore-alezaj hexagonal. Motoarele electrice, dispuse într-o rețea, sunt montate pe o masă indexabilă care se deplasează pentru a se cupla cu grupul de pini corespunzători. După cuplare și reglarea poziției grupului de pin, motoarele sunt decuplate și deplasate într-o

nouă poziție, la alt grup de pini. Secvența continuă până ce toți pini din rețea au fost poziționați.

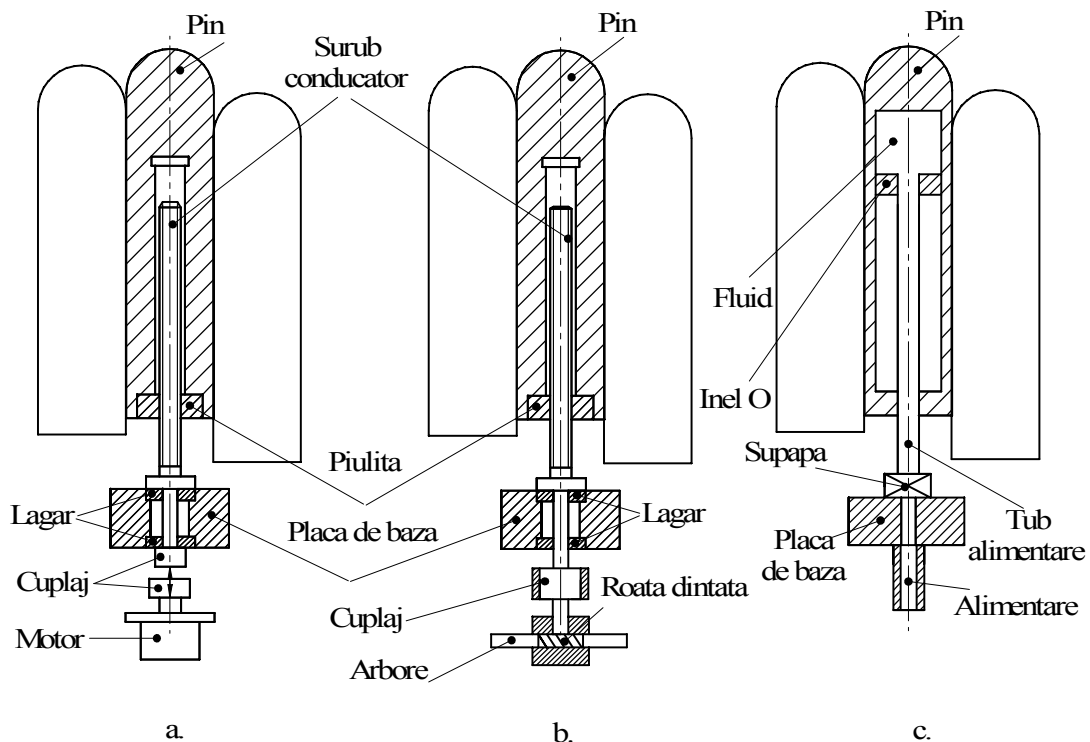


Fig. 3.43. Sisteme de reglare a poziției pinilor: a. cu motor electric; b. cu angrenaj; c. hidraulic

Reglare prin angrenare presupune poziționarea pinilor, acționați de șuruburi conducătoare, folosind cuplaje electrice. Motoare electrice sunt cuplate la arborii de comandă. De la motorul electric mișcarea se transmite la arborele melcat apoi la roata melcată care mai departe transmite mișcarea la mecanismul șurub-piuliță cu filet trapezoidal al pinului, realizându-se poziționarea. Între roata melcată și mecanismul șurub-piuliță se află cuplajul electric care automat realizează cuplarea și decuplarea celor două elemente. Pe baza raportului de transmitere a angrenajului melcat și a rotației motorului de acționare se realizează poziționarea pinului. Totul este controlat numeric.

Reglarea hidraulică presupune poziționarea pinilor, sub forma unor cilindri hidraulici, folosind servo-valve. Tubul este staționar și asigură lichidul hidraulic necesar mișcării pinilor. O serie de distribuitoare permit alimentarea cu fluid a pinilor, de la o unitate centrală. Deplasarea pinilor se face față de o placă de referință. Servo-valve întrerup circuitul de fluid când pini au atins poziția de lucru. Toate comenzile sunt monitorizate numeric. După reglarea poziției de lucru, pini sunt strânși într-un cadru rigid care preia și forțele rezultate din acțiunea forței de deformare. Sistemul de control numeric comandă mișcarea pinilor, până la poziția dată de un fișier CAD al formei piesei de realizat. Poziționarea pinilor ține cont și de efectul de revenire elastică al materialului, efect inerent oricărei deformării plastice.

Există mai multe soluții constructive de realizare a forței de strângere a pachetului de pini: folosirea unui mecanism cu pârghii, folosirea unui cilindru

hidraulic de strângere, folosirea unui mecanism cu pene, strângerea piezoelectrică și strângerea termică (tabelul 3.7). Aceste soluții pot fi aplicate atât pentru strângerea pe o direcție cât și pentru cea bidirecțională.

Sisteme de strângere a pachetelor de pini

Tabelul 3.7.

	$F_p = \frac{F_a}{2 \cdot \tan \theta}$
<p>Mecanism cu pârghii</p>	$F_p = p_0 \cdot A$
<p>Mecanism hidraulic</p>	$F_p = \frac{F_a \cdot (\cos \phi - \mu_A \cdot \sin \phi)}{[(\mu_A + \mu_B) \cdot \cos \phi + (1 - \mu_A \cdot \mu_B) \cdot \sin \phi]}$
<p>Mecanism cu pene</p>	$F_p = \frac{N \cdot V \cdot H \cdot B}{g \cdot c}$
<p>Strângere piezoelectrică</p>	<p>N – numărul de lamele piezoelectrice; V – mărimea tensiunii pe lamelă; H, B, g – dimensiunile lamelei; c – factor de tensiune</p>
	$F_p = \frac{\alpha_c \cdot (T - T_0)}{\left[\frac{l}{A_p \cdot E_p} - \frac{l}{A_c \cdot E_c} \right]}$
<p>Strângere termică</p>	<p>α – coeficientul de dilatare termică a cadrului; A_p, A_c – ariile de contact dintre pini și cadru; E_p, E_c – modulul de elasticitate al materialului pinilor și cadrului</p>
<p>F_p – forța de prindere; F_a – forța de acționare</p>	

3.3.3. Proiectarea unor matrițe experimentale, reconfigurabile

Pe baza datelor prezentate mai sus a fost proiectată și realizată o matriță pentru ambutisare a cărui pachet inferior se prezintă în figura 3.44.

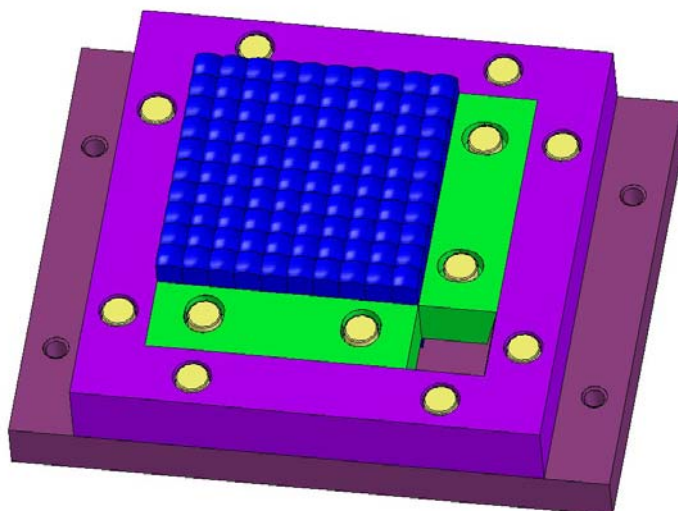


Fig. 3.44. Pachetul inferior al unei matrițe pentru ambutisare

Matrița se compune dintr-un număr de 100 de pini. Strângerea este asigurată de două mecanisme cu pene. Reglarea înălțimii pinilor se face manual, cu ajutorul unor șuruburi plasate la baza pinilor. Pentru controlul formei se poate utiliza un palpator cuplat la un braț robotizat și la un calculator, existent în cadrul departamentului. Matrița a fost executată și se găsește în cadrul laboratorului de presare la rece.

În figura 3.45 se prezintă exemple de piese posibil de obținut cu matrița proiectată.

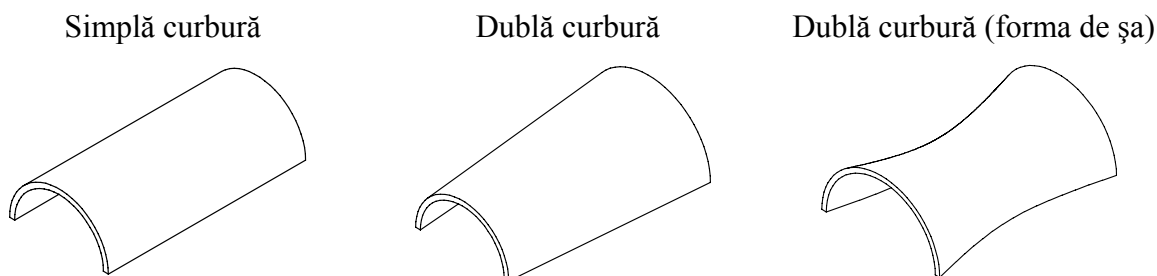


Fig. 3.45. Geometrii de piese obținute prin deformare prin tragere pe poanson

O altă soluție, în curs de brevetare, se prezintă în figura 3.46. Echipamentul pentru ambutisarea hidraulică reconfigurabil, conform invenției, este alcătuit dintr-un corp, 1, în interiorul căruia este montat subansamblul plăcii de ambutisare format dintr-un anumit număr de pini identici, 2, amplasați în

placa de ghidare, 3, care poate fi realizată în două variante, în construcție monobloc sau în construcție multistrat. Pinii, 2, au o parte de ghidare cilindrică, de secțiune redusă și o parte de sprijin cu secțiunea majorată și suprafața de capăt de forma sferică. Rigiditatea pinilor, 2, respectiv blocarea deplasării lor axiale și menținerea poziției, în timpul procesului de ambutisare, este asigurată prin turnarea unei rășini termoreactive, 4, (neaderentă la suprafețe metalice), în stare lichidă și solidificarea ei în spațiul creat prin montarea capacului, 5, la partea inferioară a echipamentului.

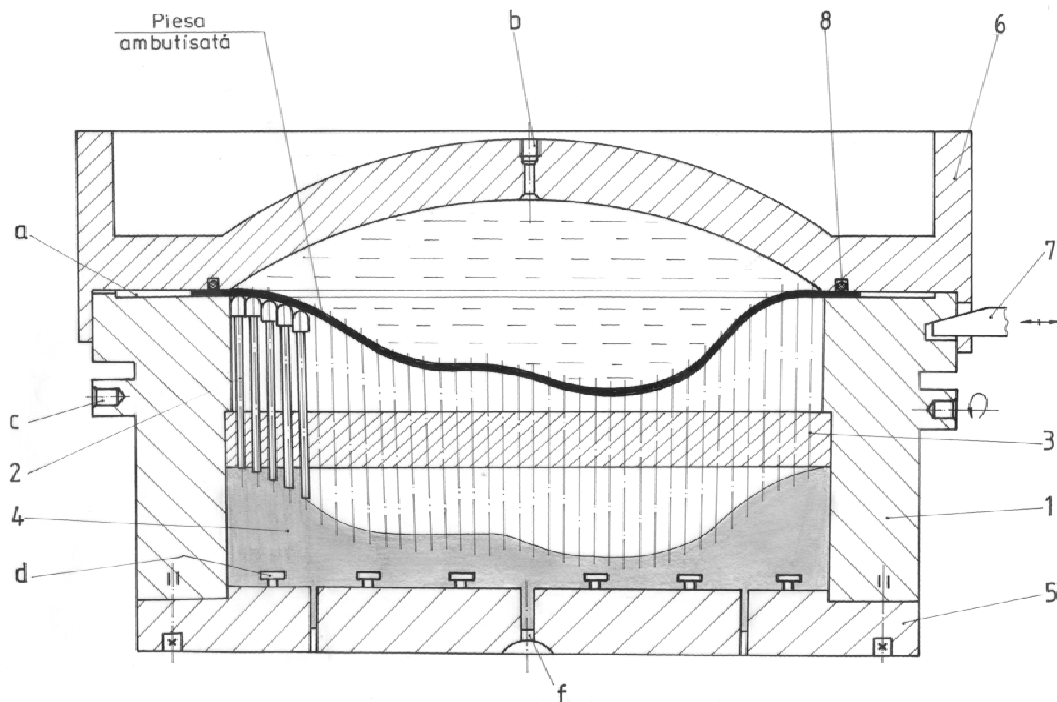


Fig. 3.46. Echipament de ambutisare hidraulică, reconfigurabil

CONCLUZII

În urma simulării procesului de deformare a unei table groase cu simplă curbura se pot trage următoarele concluzii.

1. Forța de deformare la presarea cu pini este semnificativ mult mai redusă față de forța necesară la presarea cu matrița continuă. Pentru aceleași dimensiuni ale semifabricatului forța necesară a rezultat de 26,3 tf la fasonarea cu pini poziționați față în față, de 20,8 tf la fasonarea cu pini poziționați decalat și de 18,4 tf la fasonarea cu suprafețe complet materializate cu pini, scăderea explicându-se printr-o distribuție uniformă a forței de deformare pe suprafața tablei. Toate aceste valori sunt mult mai mici decât forța de 33 tf necesară la fasonarea cu suprafețe continue.

2. Calitativ, suprafața tablelor obținute la deformarea cu pini, fără a folosi un interpolator, este mai redusă decât la deformarea cu matriță-poanson continue. Pe tablă sunt evidente urmele lăsate de capetelor pinilor. Calitatea suprafeței se îmbunătățește vizibil odată cu creșterea numărului de pini, atât pe direcția transversală, cât și pe direcția longitudinală.

3. Valoarea revenirii elastice la deformarea cu pini este însă mult mai mică față de cea obținută la deformarea cu matriță-poanson continue. În acest din urmă caz este necesară recalcularea razei de curbura inițială a ansamblului matriță-poanson care să țină seama de revenirea elastică. Practic, la utilizarea deformării cu suprafețe materializate complet cu pini, această procedură suplimentară nu este necesară, revenirea elastică încadrându-se în erorile admise (creșterea razei de curbura după revenirea elastică față de raza necesară fiind aproximativ egală cu grosimea tablei).

Explicația mecanică constă în faptul că la deformarea cu pini au loc deformări locale mai pronunțate față de deformarea realizată cu matriță-poanson continue, deformarea globală rezultată apropiindu-se într-o măsură bună față de cea necesară.

4. Ținând seama de concluziile precedente se poate face aprecierea generală că utilizarea matrițelor discrete reconfigurabile reprezintă o soluție tehnologică mult mai avantajoasă față de fasonarea cu matrițe continue. La acestea se adaugă avantajul esențial, constând în rațiunea pentru care s-a propus acest mod de fasonare, și anume posibilitatea reconfigurării ușoare a matriței pentru diferitele suprafețe întâlnite. Industria navală, fabricarea și repararea tablelor de înveliș ale unui corp de navă, ar fi astfel una din primele alternative avantajoase din punct de vedere tehnologic și economic ale aplicării acestei metode.

5. A fost proiectat și realizat un echipament de deformare cu pini cu suprafață reconfigurabilă, necesar experimentărilor viitoare

6. A fost propus un brevet de invenție legat de deformarea hidraulică cu pini cu suprafață reconfigurabilă

BIBLIOGRAFIE

1. Anagnostou, Elias L.; Papazian, John M., *Optimized Tooling Design Algorithm for Sheet Metal Forming over Reconfigurable Compliant Tooling, Materials Processing And Design: Modeling, Simulation and Applications - Numiform 2004 - Proceedings of the 8th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes. AIP Conference Proceedings, Volume 712, pag. 741-748, 2004, [Ana 1]*
2. Cai Z.Y., Li, M.Z., *Finite element simulation of Multi-point sheet forming process based on implicit scheme. J Mater Process Technol (2005, 161(3):449–455, [Cai 1]*
3. Cai Z.Y., Li, M.Z., *Digitized die forming system for sheet metal and springback minimizing Technique, Int J Adv Manuf Technol (2006) 28: 1089–1096, pag. 1089-1096, [Cai 2]*
4. Cao, J., and Boyce, M. C., *A Predictive Tool for Delaying Wrinkling and Tearing Failures in Sheet Metal Forming, ASME J. Eng. Mater. Technol., 119, pag. 354–365, 1997, [Cao 1]*
5. Finckenstein, E.V., Kleiner, M., *Flexible Numerically&Controlled Tool System for Hydro-Mechanical Deep Drawing, Annals of the CIRP, v40, n1, 1991, pag. 311-314, [Fin 1]*
6. Gavan, E., Paunoiu, V., Dimache, A., *Comparative Study for Single-Curved Plates Forming with Continuous and Reconfigurable Die-Punch Assembly, Analele Universității Dunărea de Jos din Galați, fasc. V, 2004, pag. 81-85, ISSN 1221-4566, [Gav 1]*
7. Gavan, E., Paunoiu, V., Dimache, A., *Cylindrical Thick Plate Forming with Reconfigurable Die-Punch Tool, TMCR, Chișinău, 20035, pag. 400-404, ISBN 9975-9975-3-2, [Gav 2]*
8. Hardt, D.E., Rzepniewski, A., Pi, A., *Cycle-to-Cycle Feedback Control and its Application to Sheet Metal Forming. Proceedings of the JSME/ASME International Conference on Materials and Processing, Oct. 2002, [Har 1]*
9. Hardt, D.E., Norfleet, N.A., Valentin, V.M, and Parris, A., *In-Process Control of Strain in a Stretch Forming Process, Transactions of the ASME, Vol. 123, oct. 2001, [Har 2]*
10. Karafillis, A. P., and Boyce, M. C., *Tooling and Binder Design for Sheet Metal Forming Processes Compensating Springback Error, [Int. J. Mach. Tools Manuf., 36, pag. 503–526](#), 1996, [Kar 1]*
11. Modiga, M., Dimache, A., Paunoiu, V., *Model matematic al procesului de deformare a tablelor pe dorn, A XXVI-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Brăila, ISBN 973-8132-28-2, pag. 49-54, 2002, [Mod 1]*
12. Neagoe, I., *Cercetări teoretice și experimentale asupra prelucrării pieselor cave de rotație, din tablă, prin deformare rotativă – ca tehnologie flexibilă, Rezumatul tezei de doctorat, Brașov, 2000, pag. 29-30, [Nea 10]*

13. Owodunni, O.O., Diaz-Rozo, J., and Hinduja, S., *Development and Evaluation of a Low-Cost Computer Controlled Reconfigurable Rapid Tool, Computer-Aided Design and Applications*, 1, 1-4, 2004, 101-108, [Owo 1]
14. Papazian, J. M., Anagnostou, E.L., Christ, R. J., Hoitsma Jr.D., Ogilvie, P., Schwarz, R.C., *Tooling For Rapid Sheet Metal Parts Production*, 6th Joint FAA/DoD/NASA Conf. on Aging Aircraft, San Francisco, CA, USA, September 16-19, 2002, [Pap 1]
15. Papazian, J., *Tools of Change. Mechanical Engineering*, Feb. 2002, pp. 31-40, [Pap 2]
16. Paunoiu, V., Oancea, N., Nicoara, D. – *Simulation of Plate's Deformation Using Discrete Surfaces, Materials Processing and Design: Simulation and Application*, NUMIFORM, 2004, OHIO State University, American Institute of Physics 0-7354-0188-8, pag. 1007-1010, [Pau 1]
17. Paunoiu, V., Nicoară, D. – *Tehnologii de presare la rece a tablelor*, Editura Cartea Universitară, București, 2004, ISBN 973-7956-02-8, 320 pag, [Pau 2]
18. Paunoiu, V., Nicoara, D., *Design an experimental reconfigurable die for sheet metal forming*, *Analele Universității Dunărea de Jos din Galați*, fasc. V, 2006, pag. 81-85, ISSN 1221-4566, [Pau 3]
19. Socrate, S., and Boyce, M.C., *A Finite Element Based Die Design Algorithm for Sheet Metal Forming on Reconfigurable Tools. Proceedings of the ASME Symposium on Advances in Metal Forming*, Orlando, Nov. 200, [Soc 1].
20. Valjavec, M. and Hardt, D.E., *Closed-loop Shape Control of the Stretch Forming Process over a Reconfigurable Tool: Precision Airframe Skin Fabrication. Proceedings of the ASME Symposium on Advances in Metal Forming*, Nashville, Nov. 1999, [Val 1]
21. Walczyk, D.F., Hardt, D.E., *Design and Analysis of Reconfigurable Discrete Dies for Sheet Metal Forming*, *Journal of Mfg. Systems*, v. 17, nr. 6, 1998, pag. 436-454, [Wal 1]
22. Walczyk, D.F., Im, Z.T., *A Hydraulically-actuated Reconfigurable Tool for Flexible Fabrication: Implementation and Control*, *ASME Journal of Mfg. Science and Engg*, v. 122, nr. 3, Aug, 2000 [Wal 2]
23. Webb, R. D., Hardt, D. E., *A Transfer Function Description of Sheet Metal Forming for Process Control*, *ASME J. Eng. Ind.*, 113, pag. 44–54, 1991, [Web 1]

OBIECTIVUL 4

SINTEZA UNOR NOI TEHNICI DE MODELARE A CINEMATII SISTEMELOR DE PROFILARE A SCULELOR GENERATOARE

4.1. SINTEZA UNEI NOI METODE PENTRU MODELAREA ÎNFĂȘURĂRII SUPRAFETELOR APLICABILĂ PE MAȘINI-UNELTE CARE GENEREAZĂ VÂRTEJURI ORDONATE DE SUPRAFETE -METODA TANGENTELOR-

1. REZUMAT

În cadrul acestui obiectiv s-a imaginat o metoda de reprezentare, în forma discreta, a suprafețelor, în baza căreia s-au elaborat algoritmi pentru profilarea sculelor care generează vîrtejuri ordonate de suprafețe. Noul algoritm a fost verificat, prin comparare, pentru profiluri elementare, cu metodele fundamentale ale înfășurării suprafețelor și, de asemenea, cu metodele teoremelor complementare. S-a elaborat un produs soft dedicat, în limbajul de programare *java* cu applet-uri interactive.

2. PREMISE ȘTIINȚIFICE

Sunt cunoscute modalități de reprezentare discretă a suprafețelor în legătură, în primul rând, cu posibilitățile legate de măsurarea acestor suprafețe, utilizând proprietăți ale sistemelor CAI, în vederea abordării unor probleme de înfășurare.

Acestea sunt impuse de necesitatea modelării suprafețelor “efectiv generate” de către sculele reale ale căror profiluri, cunoscute prin măsurare, conduc la exprimări specifice ale suprafețelor generate de tășurile sculelor (suprafețe de revoluție, cilindrice sau elicoidale), în mișcarea de așchiere.

Cunoașterea normalei la suprafețele astfel exprimate face posibilă utilizarea teoremelor: Gohman, Novicov sau Willis, în rezolvarea problemelor de înfășurare.

Soluțiile prezentate, în cele ce urmează, constituie modele care, în anumite condiții, pot deveni deosebit de utile în modelarea generării suprafețelor semifabricatelor prelucrate și a profilării sculelor generatoare a acestora.

Se propune, în cele ce urmează, o metodologie de reprezentare în formă discretă a suprafețelor, cilindrice, de revoluție și elicoidale într-o formă particulară care să permită scrierea ușoară a normalei la aceste suprafețe. Așa cum este cunoscut, cunoașterea normalei la suprafață este indispensabilă în scrierea condiției de înfășurare prin metodele: Gohman; Nikolaev; Willis.

În acest, sens, cunoscând pe suprafață dată două curbe, directoarea și generatoarea, dintre care una se consideră a fi reprezentată discret, se poate accepta că, normala în punctul curent al suprafeței este produsul vectorial al tangențelor \vec{T}_D și \vec{S}_G , figura 4.1,

$$\vec{N}_\Sigma = \vec{T}_D \times \vec{S}_G. \quad (4.1)$$

Tangenta la curba directoare este definită analitic iar tangenta la generatoarea în formă discretă este aproximată ca fiind direcția segmentului $M_i M_{i+1}$, când punctele M_i și M_{i+1} sunt suficient de apropiate, figura 4.1.

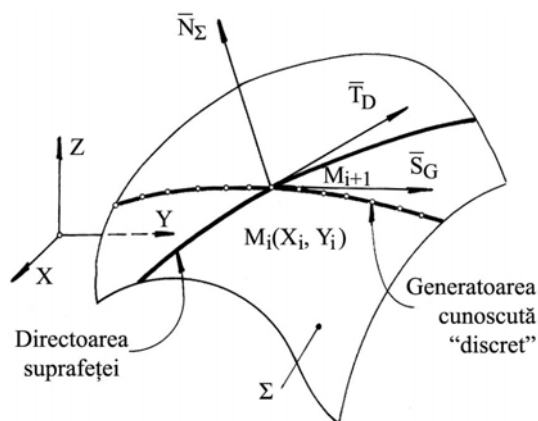


Fig. 4.1. Normala la suprafața Σ în punctul M_i

În acest mod de reprezentare, în care generatoarea suprafeței este cunoscută în forma discretă, suprafața Σ rezultă ca fiind formată din fâșii.

• **Metoda tangențelor în exprimarea discretă a suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant**

Exprimarea în forma discretă a suprafețelor elicoidale, având în vedere cinematica generării acestora, se poate face pornind de la cunoașterea punctiformă a generatoarei suprafeței.

Ca generatoare a suprafețelor elicoidale, cel mai adesea, poate fi utilizată o curbă plană perpendiculară pe axa elicoidului reprezentând secțiunea transversală a acesteia, definită în formă discretă printr-un număr finit de puncte, ca o matrice de forma (4.2), vezi și figura 4.2,

$$S_T = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 \\ X_2 & Y_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_i & Y_i \\ \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n \end{pmatrix}. \quad (4.2)$$

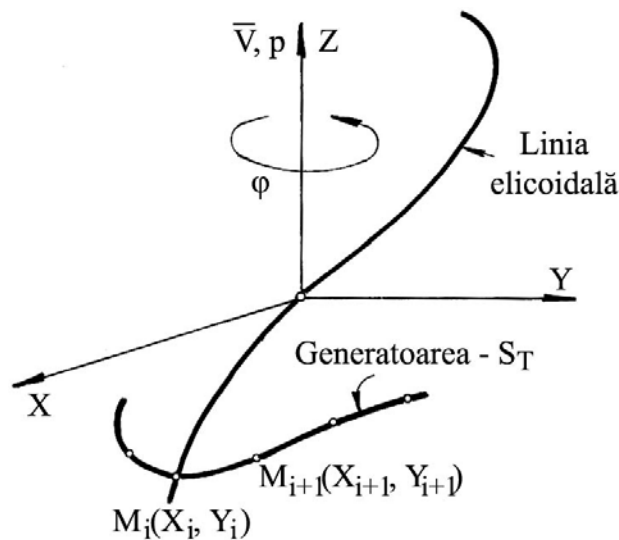


Fig.4.2. Generatoarea suprafeței elicoidale

Prin mișcarea elicoidală a generatoarei S_T în jurul axei \vec{V} , de parametru elicoidal p , se modelează numeric suprafața elicoidală.

În rezolvarea problemei determinării înfășurătoarei unei suprafețe elicoidale (de altfel, pentru orice alt tip de suprafață), așa cum este cunoscut din

teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor, este necesar a determina normala la această suprafață.

În cazul particular al suprafeței elicoidale (cazul cel mai frecvent - suprafața elicoidală cilindrică de pas constant) normala poate fi definită ca produsul vectorial

$$\vec{N}_\Sigma = \vec{T}_E \times \vec{T}_{ST}, \quad (4.3)$$

în care:

\vec{T}_E este vectorul tangent la linia elicoidală în punctul considerat, fie $M_i(X_i, Y_i)$ acesta (punct pe directoarea suprafeței);

\vec{T}_{ST} - tangenta, în punctul M_i , la generatoarea (secțiunea transversală) în formă discretă a suprafeței elicoidale, deplasată în lungul liniei elicoidale, până în punctul curent al liniei elicoidale considerat.

Dacă elicea punctului curent de pe suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant se generează în mișcarea

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p\varphi \end{pmatrix}, (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (4.4)$$

cu φ - parametru variabil, conducând la ecuații de forma:

$$\begin{cases} X = X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi; \\ Y = X_i \sin \varphi + Y_i \cos \varphi; \\ Z = p\varphi, \end{cases} \quad (4.5)$$

vectorul tangentei la elicea (4.5) este

$$\vec{T}_E = \frac{\partial X}{\partial \varphi} \vec{i} + \frac{\partial Y}{\partial \varphi} \vec{j} + \frac{\partial Z}{\partial \varphi} \vec{k} \quad (4.6)$$

sau, după înlocuire,

$$\vec{T}_E = [-X_i \sin \varphi - Y_i \cos \varphi] \vec{i} + [X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi] \vec{j} + p \vec{k}. \quad (4.7)$$

Parametrii directori ai tangentei la profilul secțiunii transversale, figura 3, având în vedere definiția unghiului

$$\beta_i = \arctg \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|}, \quad (4.8)$$

se exprimă prin

$$\vec{T}_{St} = \cos \beta_i \vec{i} + \sin \beta_i \vec{j}. \quad (4.9)$$

Deplasarea vectorului (4.9) în lungul liniei elicoidale determină vectorul tangentei la profilul secțiunii transversale, în punctul curent al liniei elicoidale,

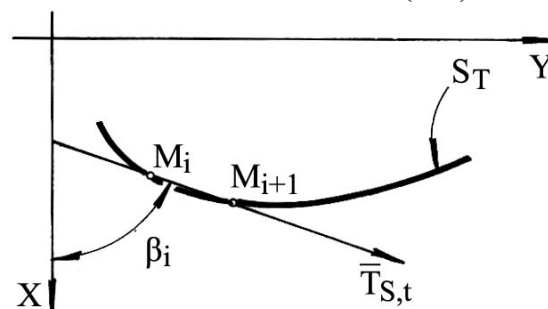


Fig. 4.3. Tangenta la profilul secțiunii transversale a suprafețelor elicoidale

$$\begin{pmatrix} T_{St,X} \\ T_{St,Y} \\ T_{St,Z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \beta_i \\ \sin \beta_i \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

sau, după dezvoltare:

$$\begin{cases} T_{ST,X} = \cos \beta_i \cos \varphi - \sin \beta_i \sin \varphi; \\ T_{ST,Y} = \cos \beta_i \sin \varphi + \sin \beta_i \cos \varphi. \end{cases} \quad (4.11)$$

Există, acum, posibilitatea de a determina normala în punctul curent al suprafeței Σ , din (4.7) și (4.11),

$$\vec{N}_\Sigma = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -X_i \sin \varphi - Y_i \cos \varphi & X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi & p \\ \cos \beta_i \cos \varphi - \sin \beta_i \sin \varphi & \cos \beta_i \sin \varphi + \sin \beta_i \cos \varphi & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.12)$$

Rezultă parametrii directori ai normalei la suprafața Σ :

$$\begin{cases} N_x = p[\cos \beta_i \sin \varphi + \sin \beta_i \cos \varphi]; \\ N_y = -p[\cos \beta_i \cos \varphi - \sin \beta_i \sin \varphi]; \\ N_z = -X_i \cos \beta_i - Y_i \sin \beta_i. \end{cases} \quad (4.13)$$

• **Metoda tangentelor pentru exprimarea în formă discretă a suprafețelor de revoluție**

Într-o manieră asemănătoare, se poate defini normala și la o suprafață de revoluție, figura 4.4.

Directoarea suprafeței de revoluție este de formă circulară. Tangenta în punctul curent al acesteia are forma

$$\vec{T}_R = \sin \varphi \vec{i} - \cos \varphi \vec{j}. \quad (4.1)$$

Tangenta în punctul curent al generatoarei, în planul ZY, este

$$\vec{T}_G = \sin \beta_i \vec{j} + \cos \beta_i \vec{k}, \quad (4.1)$$

în care

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|Z_{i+1} - Z_i|}. \quad (4.1)$$

Deplasarea vectorului (4.15) în lungul directoarei circulare, prin transformarea

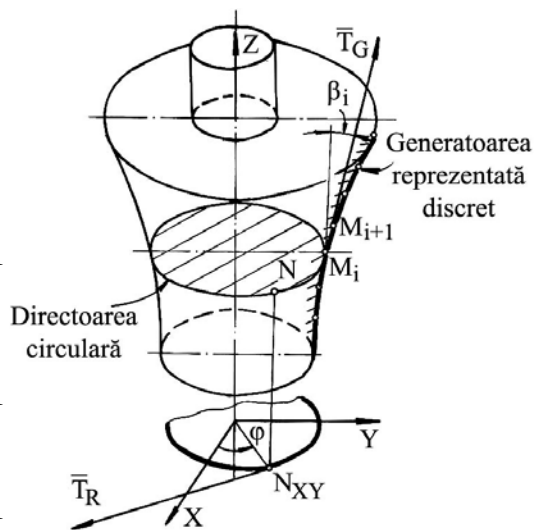


Fig. 4.4. Tangente la generatoarea și directoarea suprafeței de revoluție

$$\begin{pmatrix} T_{GX} \\ T_{GY} \\ T_{GZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sin \beta_i \\ 0 \\ \cos \beta_i \end{pmatrix}, \text{ cu } \varphi \text{ variabilă continuă,} \quad (4.17)$$

conduce la determinarea parametrilor directori ai acestuia:

$$\begin{cases} T_{GX} = \sin \beta_i \cos \varphi; \\ T_{GY} = \sin \beta_i \sin \varphi; \\ T_{GZ} = \cos \beta_i. \end{cases} \quad (4.18)$$

Se definește, acum, normala la suprafața de revoluție

$$\vec{N}_\Sigma = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \sin \varphi & -\cos \varphi & 0 \\ \sin \beta_i \cos \varphi & \sin \beta_i \sin \varphi & \cos \beta_i \end{vmatrix}, \quad (4.19)$$

care are parametrii directori:

$$\begin{cases} N_x = \cos \beta_i \cos \varphi; \\ N_y = \cos \beta_i \sin \varphi; \\ N_z = -\sin \beta_i. \end{cases} \quad (4.20)$$

În (4.20), mărimea β_i este o variabilă cunoscută în formă discretă.

• Metoda tangențelor pentru exprimarea în formă discretă a suprafețelor cilindrice

În conformitate cu cele de mai sus, modalitatea de exprimare, în acest fel, a normalei poate fi utilizată și în cazul suprafețelor cilindrice, figura 4.5.

Versorul generatoarei suprafeței cilindrice este

$$\vec{T}_G = \vec{k}, \quad (4.21)$$

pentru cazul din figura 4.5.

De asemenea, tangenta la directoarea exprimată în formă discretă are forma

$$\vec{T}_D = \cos \beta_i \vec{i} + \sin \beta_i \vec{j} \quad (4.22)$$

în care

$$\operatorname{tg} \beta_i = \left\{ \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|} \right\}. \quad (4.23)$$

Normala la suprafața cilindrică, în punctul curent al acesteia, este

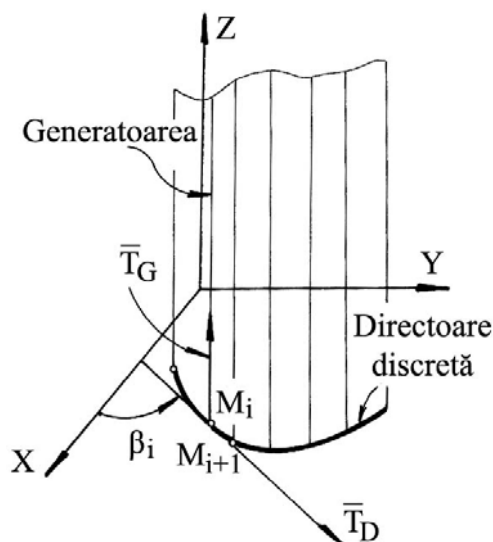


Fig. 4.5. Normala la o suprafață cilindrică

$$\vec{N}_\Sigma = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ \cos \beta_i & \sin \beta_i & 0 \end{vmatrix}. \quad (4.24)$$

Normala are parametrii directori:

$$\begin{cases} N_x = \sin \beta_i; \\ N_y = -\cos \beta_i. \end{cases} \quad (4.25)$$

De asemenea, facem observația că mărimile β_i reprezintă o variabilă exprimată în formă discretă.

3. MATERIAL ȘI METODĂ

Metoda tangentelor, ca metodă de reprezentare în formă discretă a suprafețelor, poate fi aplicată și pentru studiul suprafețelor reciproc înfășurătoare asociate unor cupluri de axoide în rulare. Se propun, în cele ce urmează, algoritmi specifici realizați în baza teoremelor fundamentale și complementare ale înfășurării suprafețelor.

3.1. Metoda tangentelor aplicată profilării sculelor care generează prin înfășurare prin metoda rulării

- Profilarea sculei-cremalieră

Se acceptă reprezentarea unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas constant, asociată unui cuplu de centroide în rulare, în forma (4.4), vezi și figura 4.6.

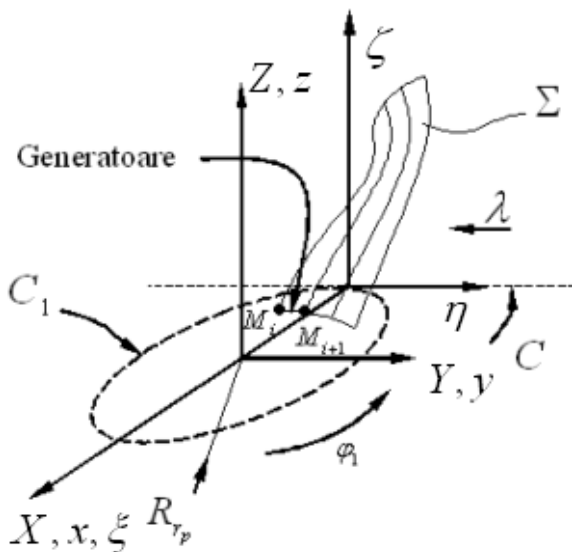


Fig. 4.6. Sistemele de referință, profilarea sculei-cremalieră

cremalierii.

Se definesc sistemele de referință:

- xyz este sistemul de referință fix, cu axa z suprapusă axei vârtejului de suprafețe;
- XYZ – sistem de referință mobil, solidar cu una dintre suprafețele elicoidale ale vârtejului de generat;
- $\xi\eta\zeta$ - sistem de referință mobil solidar cu flancul

Mișcările absolute ale sistemelor de referință mobile, sunt:

$$x = \omega_3^T(\varphi_1) \square X, \quad (4.26)$$

reprezentând mișcarea de rotație a vârtejului de suprafețe de generat:

$$x = \xi + a, \text{ cu } a = \begin{vmatrix} -R_{rp} \\ -R_{rp} \square \varphi_1 \end{vmatrix} \quad (4.27)$$

reprezentând translația sistemului $\xi\eta\zeta$, solidar flancului sculei-cremalieră.

Rezultă mișcarea relativă

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_1) \square X - a \quad (4.28)$$

și inversa acesteia

$$X = \omega_3(\varphi_1) \square [\xi + a]. \quad (4.29)$$

Astfel, familia de suprafețe elicoidale, reprezentată în “forma discretă” prin metoda tangentelor,

$$\begin{vmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_i \square \cos \varphi - Y_i \square \sin \varphi \\ X_i \square \sin \varphi + Y_i \square \cos \varphi \\ p \square \varphi \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -R_{rp} \\ -R_{rp} \square \varphi_1 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (4.30)$$

se exprimă, principal, prin:

$$(\Sigma)_{\varphi_1} \begin{cases} \xi = \xi[\varphi, \varphi_1, (X_i, Y_i)]; \\ \eta = \eta[\varphi, \varphi_1, (X_i, Y_i)]; \\ \zeta = \zeta[\varphi, \varphi_1, (X_i, Y_i)], \end{cases} \quad (4.31)$$

în care (X_i, Y_i) sunt coordonate ale punctelor de pe secțiunea transversală, exprimată în formă discretă.

Înfășurătoarea familiei de suprafețe elicoidale $(\Sigma)_{\varphi_1}$ reprezintă flancul cremalierii generatoare – suprafață periferică primară a sculei-pieptene.

Condiția de înfășurare în forma

$$\overline{N_\Sigma} \square \overline{R_{\varphi_1}} = 0 \quad (4.32)$$

presupune cunoașterea normalei la suprafața Σ , exprimată în formă discretă prin metoda tangentelor (vezi relațiile (4.8) și (4.13)),

$$\begin{aligned} Nx &= p[\cos \beta_i \square \sin \varphi + \sin \beta_i \square \cos \varphi] \\ Ny &= -p[\cos \beta_i \square \cos \varphi - \sin \beta_i \square \sin \varphi] \\ Nz &= -X_i \square \cos \beta_i - Y_i \square \sin \beta_i; \end{aligned} \quad (4.33)$$

precum și a parametrilor directori ai vectorului $\overline{R_{\varphi_1}}$,

$$R_{\varphi_1} = \frac{dX}{d\varphi_1} = \omega_3(\varphi_1) \square \omega_3^T(\varphi_1) \square X + \omega_3(\varphi_1) \square \begin{vmatrix} 0 \\ -R_{rp} \\ 0 \end{vmatrix} \quad (4.34)$$

În final, rezultă

$$R_{\varphi_1} = \begin{vmatrix} X_i \square \sin \varphi + Y_i \square \cos \varphi - R_{rp} \square \sin \varphi_1 \\ -X_i \square \cos \varphi + Y_i \square \sin \varphi - R_{rp} \square \cos \varphi_1 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (4.35)$$

sau, în formă vectorială:

$$\overline{R_{\varphi_1}} = [X_i \square \sin \varphi + Y_i \square \cos \varphi - R_{rp} \square \sin \varphi_1] \vec{i} + [-X_i \square \cos \varphi + Y_i \square \sin \varphi - R_{rp} \square \cos \varphi_1] \vec{j}. \quad (4.36)$$

Condiția de înfășurare specifică, dacă se ține seama de (4.33) și (4.36), devine

$$\begin{aligned} & [\cos \beta_i \sin \varphi + \sin \beta_i \cos \varphi] [X_i \sin \varphi + Y_i \cos \varphi - R_{rp} \sin \varphi_1] - \\ & - [\cos \beta_i \cos \varphi - \sin \beta_i \sin \varphi] [-X_i \cos \varphi + Y_i \sin \varphi - R_{rp} \cos \varphi_1] = 0. \end{aligned} \quad (4.37)$$

Notă: Este evident, condiția de înfășurare nu depinde de mărimea parametrului elicoidal, deci problematica de înfășurare a suprafeței Σ se reduce la o problemă plană de înfășurare în plane perpendiculare pe axa $\vec{V}[Z]$.

Se poate defini și suprafața de angrenare –S.A. – în sistemul fix

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi \\ X_i \sin \varphi + Y_i \cos \varphi \\ p \varphi \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4.38)$$

sau

$$\begin{aligned} S.A. \begin{cases} x = X_i \cos(\varphi + \varphi_1) - Y_i \sin(\varphi + \varphi_1); \\ y = X_i \sin(\varphi + \varphi_1) + Y_i \cos(\varphi + \varphi_1); \\ z = p \varphi. \end{cases} \end{aligned} \quad (4.39)$$

• **Linia de contact între cele două suprafețe**

Se definește linia de contact între cele două suprafețe conjugate, suprafața elicoidală și flancul cremalierii, într-o poziție de rulare,

$$\varphi_1 = const. \quad (4.40)$$

cel mai adesea,

$$\varphi_1 = 0, \quad (4.41)$$

împreună cu ansamblul de ecuații(4.31) și (4.37).

În cazul în care vârtejul de suprafețe de generat este format din suprafețe cilindrice, în (4.32) se consideră $p = 0$.

• **Profilarea sculei cuțit-roată**

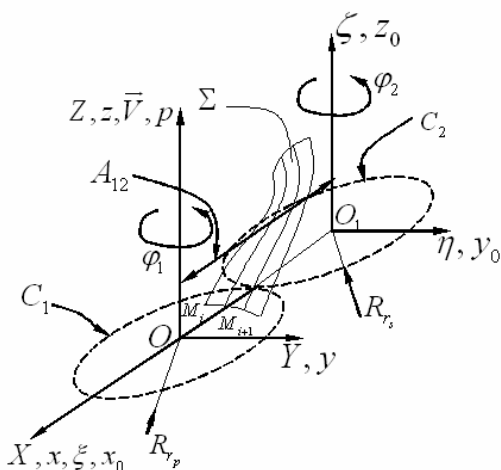


Fig. 4.7. Generarea cu cuțit-roată

În mod similar, vezi figura 4.7, se sintetizează un algoritm specific pentru profilarea sculei de tip cuțit-roată.

În figura 4.7, s-au definit cele două centroide (secțiuni transversale ale celor două axoide în rulare) ale căror mișcări îndeplinesc condiția

$$R_{r_p} \varphi_1 = R_{r_s} \varphi_2 \quad (4.42)$$

cu φ_1 și φ_2 - parametrii unghiulari ai mișcărilor de rotație și sistemele

fixe xyz și $x_0y_0z_0$. De asemenea, sunt definite sistemele de referință mobile XYZ și $\xi\eta\zeta$.

Suprafața Σ , solidară centroidei C_1 - suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant, exprimată în forma discretă prin metoda tangențelor în forma (4.5), execută, împreună cu sistemul de referință XYZ , o mișcare de rotație

$$x = \omega_3^T(\varphi_1) \square X \tag{4.43}$$

și similar, centroida asociată sculei,

$$x_0 = \omega_3^T(-\varphi_2) \square \xi. \tag{4.44}$$

Transformarea de coordonate între sistemele de referință fixe este cunoscută

$$x_0 = x - \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}. \tag{4.45}$$

Rezultă mișcările relative

$$\xi = \omega_3(-\varphi_2) \square \left[\omega_3^T(\varphi_1) \square X - \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \right] \tag{4.46}$$

și inversa

$$X = \omega_3(\varphi_1) \square \left[\omega_3^T(-\varphi_2) \square \xi + \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \right]. \tag{4.47}$$

Se definește familia de suprafețe Σ , în sistemul de referință $\xi\eta\zeta$, vezi și (4.5) și (4.46)

$$\begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \square \begin{Bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \square \begin{Bmatrix} X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi \\ X_i \sin \varphi + Y_i \cos \varphi \\ p \square \varphi \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}, \tag{4.48}$$

principal, în forma

$$\begin{cases} \xi = \xi[\varphi, \varphi_1, \varphi_2, (X_i, Y_i)]; \\ (\Sigma) \eta = \eta[\varphi, \varphi_1, \varphi_2, (X_i, Y_i)]; \\ \zeta = \zeta[\varphi, \varphi_1, \varphi_2, (X_i, Y_i)], (i=1,2,3,\dots,n) \end{cases}. \tag{4.49}$$

• **Condiția de înfășurare**

Condiția, în forma GOHMAN, presupune cunoașterea normalei, vezi forma (4.13) și a vectorului având direcția vitezei în mișcarea relativă a sistemului asociat sculei față de sistemul XYZ ,

$$R_{\varphi_1} = \frac{dx}{d\varphi_1} = \omega_3(\varphi_1) \square \left[\omega_3^T(-\varphi_2) \square \xi + \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \right] + \omega_3(\varphi_1) \square \omega_3^T(-\varphi_2) \square \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \square \xi \tag{4.50}$$

cu definiția

$$i = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}, \text{ (raportul de transmitere)} \quad (4.51)$$

și matricea ξ dată de (4.49), rezultă forma

$$[(i+1)Y[(X_i, Y_i), \varphi] - iA_{12} \sin \varphi_1] N_x - [(i+1)X[(X_i, Y_i), \varphi] + iA_{12} \cos \varphi_1] N_y = 0 \quad (4.52)$$

Dacă se ține seama de expresiile parametrilor directori ai normalei și, de asemenea de ecuațiile suprafeței elicoidale exprimată în formă discretă prin metoda tangentelor conform (4.13) și (4.89), condiția (4.52) capătă forma

$$\begin{aligned} & \{ (i+1)[X_i \sin \varphi + Y_i \cos \varphi] - iA_{12} \sin \varphi_1 \} [\cos \beta_i \sin \varphi + \sin \beta_i \cos \varphi] + \\ & + \{ (i+1)[X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi] + iA_{12} \cos \varphi_1 \} [\cos \beta_i \cos \varphi - \sin \beta_i \sin \varphi] = 0. \end{aligned} \quad (4.53)$$

Ansamblul ecuațiilor (4.49), (4.53) reprezintă, în formă discretă, suprafața periferică primară a cuțitului roată.

Facem observația că, și în acest caz, generarea se consideră a se realiza în planul transversal axelor de rotație.

Pentru cazul vârtejului de suprafețe cilindrice, în ecuațiile (4.48) se consideră $p = 0$.

Linia de angrenare și linia de contact se definesc în mod similar cu cele prezentate anterior, vezi (4.38), (4.40).

• Profilarea cuțitului rotativ

Generarea suprafețelor elicoidale cu scule de tipul cuțitului rotativ prin procedeul rulării reprezintă un caz particular al generării cu cuțitul-roată, centroida semifabricatului fiind în acest caz o dreaptă, vezi figura 4.8. Este cunoscut faptul că, acest tip de generare este o problemă de înfășurare plană.

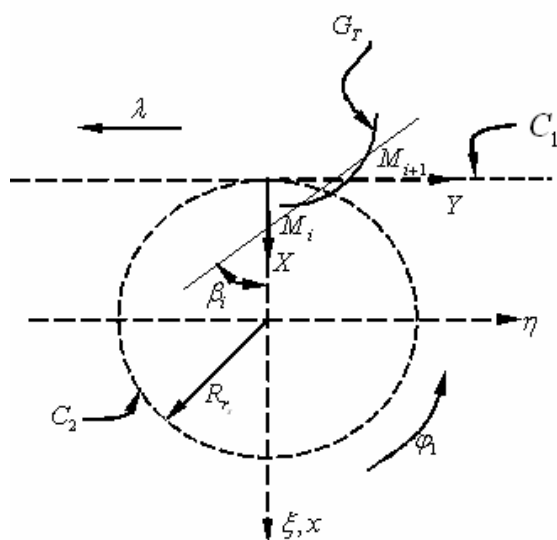


Fig. 4.8. Generarea cu cuțit rotativ

Se definesc sistemele de referință:

- xy este sistemul de referință fix;
- XY - sistem de referință mobil, solidar cu secțiunea axială a semifabricatului;
- $\xi\eta$ - sistem de referință mobil, solidar cu centroida cuțitului rotativ.

Dacă se definește în sistemul mobil XY – generatoare a suprafeței de generat (aici profilul axial G_T) de tipul (4.2),

$$G_T = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 \\ X_2 & Y_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n \end{pmatrix}, \quad (4.54)$$

atunci tangenta la profil în punctul M_i are parametrii directori de tipul (4.8), (4.9)

Se definesc mișcările relative între sistemele mobile,

$$\xi = \omega_3(\varphi_1)[X + a]; \quad (4.55)$$

$$\text{cu } a = \begin{vmatrix} -R_{rs} \\ -R_{rs}\varphi_1 \end{vmatrix},$$

între secțiunea axială G_T (4.54) și cuțitul rotativ, precum și inversa acesteia, ca mișcarea relativă a sistemului centroidei sculei C_2 față de sistemul generatoarei G_T ,

$$X = \omega_3^T(\varphi_1)\xi - a. \quad (4.56)$$

Din (4.55), se determină familia de profiluri G_T reprezentate în formă discretă

$$\begin{vmatrix} \xi \\ \eta \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_i \\ Y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -R_{rs} \\ -R_{rs}\varphi_1 \end{vmatrix} \quad (4.57)$$

sau, după efectuarea operațiilor :

$$\begin{cases} \xi = [X_i - R_{rs}]\cos \varphi_1 + [Y_i - R_{rs}\varphi_1]\sin \varphi_1; \\ \eta = [X_i - R_{rs}]\sin \varphi_1 - [Y_i - R_{rs}\varphi_1]\cos \varphi_1; \end{cases} \quad (4.58)$$

cu X_i, Y_i coordonatele punctelor aparținând generatoarei (4.54).

• Condiția de înfășurare

Exprimată în forma (4.32), condiția de înfășurare presupune calculul parametrilor directori ai normalei la generatoarea G_T (4.54)

$$\overline{N_{GT}} = \sin \beta_i \vec{i} + \cos \beta_i \vec{j} \quad (4.59)$$

iar vectorul $\overline{R_{\varphi_1}}$ are expresia

$$R_{\varphi_1} = \frac{dX}{d\varphi_1} = \omega_3^T(\varphi_1)\xi - \begin{vmatrix} 0 \\ -R_{rs} \end{vmatrix} \quad (4.60)$$

care, după dezvoltare, ajunge la forma

$$\overline{R_{\varphi_1}} = [-Y_i + R_{rs}\varphi_1]\vec{i} + X_i\vec{j} \quad (4.61)$$

și, deci, condiția de înfășurare devine

$$[-Y_i + R_{rs}\varphi_1]\sin \beta_i + X_i\cos \beta_i = 0. \quad (4.62)$$

Ansamblul relațiilor (4.58) și (4.62) reprezintă profilul înfășurător al cuțitului rotativ, exprimat pentru reprezentarea în formă discretă, a secțiunii axiale a semifabricatului.

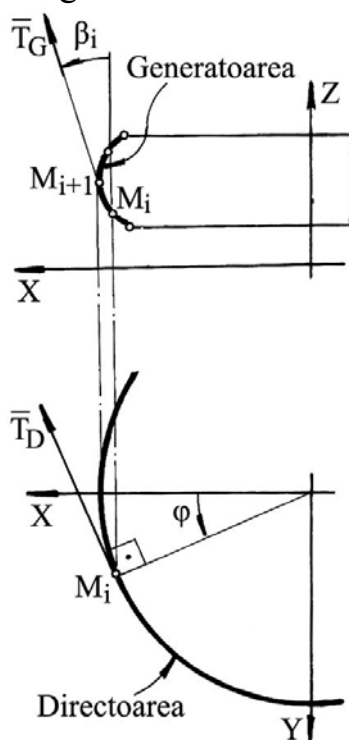
Se definește, și pentru acest caz, linia de angrenare ca ansamblul format din relațiile care descriu mișcarea absolută și relația care reprezintă condiția de înfășurare:

$$L.A. \begin{cases} x = X_i + R_{rs}; \\ y = Y_i + R_{rs}\varphi_1; \\ [-Y_i + R_{rs}\varphi_1]\sin \beta_i + X_i\cos \beta_i = 0. \end{cases} \quad (4.63)$$

3.2. APLICAȚII ALE METODEI TANGENTELOR LA GENERAREA SUPRAFETELOR ELICOIDALE

• Modelarea generării suprafeței elicoidale cu scula-disc

Modelul de reprezentare a suprafețelor de revoluție, anterior examinat, poate fi utilizat pentru modelarea generării suprafețelor, în scopul evaluării erorii de generare sau a corecției sculei.



Cunoscută fiind scula-disc, figura 4.9, prin coordonatele secțiunii axiale ale acesteia, în forma matricei (4.64)

$$S_A = \begin{pmatrix} X_1 & Z_1 \\ X_2 & Z_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_n & Z_n \end{pmatrix}, \quad (4.64)$$

se definesc:

- tangenta la generatoarea suprafeței de revoluție (secțiunea axială (4.64)),

$$\vec{T}_G = \sin \beta_i \vec{i} + \cos \beta_i \vec{k}, \quad (4.65)$$

cu

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{|X_{(i+1)} - X_i|}{|Z_{(i+1)} - Z_i|}, \quad (4.66)$$

- tangenta la directoarea suprafeței, în punctul curent,

$$\vec{T}_D = \sin \varphi \vec{i} - \cos \varphi \vec{j}, \quad (4.67)$$

cu φ - parametru unghiular variabil.

Dacă, acum, se redefinește tangenta la generatoare, prin deplasarea acesteia în lungul directoarei, prin transformarea

$$\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sin \beta_i \\ 0 \\ \cos \beta_i \end{pmatrix}, \quad (4.68)$$

rezultă parametrii directori ai tangentei la generatoare în punctul M:

$$T_G \begin{cases} T_x = \sin \beta_i \cos \varphi; \\ T_y = \sin \beta_i \sin \varphi; \\ T_z = \cos \beta_i. \end{cases} \quad (4.69)$$

Din (4.67) și (4.69), rezultă normala la suprafața de revoluție

$$\vec{N}_S = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \sin \varphi & -\cos \varphi & 0 \\ -\sin \beta_i \cos \varphi & -\sin \beta_i \sin \varphi & \cos \beta_i \end{vmatrix} = \cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j} + \operatorname{tg} \beta_i \vec{k}. \quad (4.70)$$

Sunt cunoscute poziția relativă a sculei-disc față de suprafața elicoidală generată, figura 4.10 și ecuațiile familiei de cercuri reprezentând suprafața periferică efectivă a sculei-disc:

$$S \begin{cases} X_1 = X_i \cos \varphi; \\ Y_1 = Y_i \sin \varphi; \\ Z_1 = Z_i, \quad (i=1,2,3,\dots,n), \end{cases} \quad \text{în care } X_i, Y_i, Z_i \text{ sunt date de (4.64)}. \quad (4.71)$$

În mișcarea elicoidală, de axă \vec{V} și parametru elicoidal p , a sistemului $X_1 Y_1 Z_1$ și, odată cu aceasta, a suprafeței S

$$(S)_\theta \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_i \cos \varphi - a \\ Y_i \sin \varphi \\ Z_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ p\theta \end{vmatrix}, \quad (4.72)$$

se generează familia de suprafețe $(S)_\theta$:

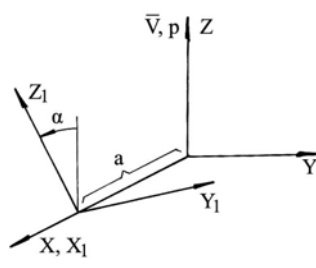
$$(S)_\theta \begin{cases} X = [X_i \cos \varphi - a] \cos \theta - [Y_i \sin \varphi \cos \alpha + Z_i \cos \alpha] \sin \theta; \\ Y = [X_i \cos \varphi - a] \sin \theta + [Y_i \sin \varphi \cos \alpha + Z_i \cos \alpha] \cos \theta; \\ Z = -Y_i \sin \varphi \sin \alpha + Z_i \cos \alpha + p\theta. \end{cases} \quad (4.73)$$

Caracteristica suprafeței S , în această mișcare, se determină asociind ecuațiilor (4.73) condiția de înfășurare, în forma GOHMAN

$$\vec{N}_S \cdot \vec{R}_\theta = 0, \quad (4.74)$$

în care, \vec{N}_S este dat de (4.70).

Se calculează R_θ , din (4.72),



$$R_\theta = \frac{dX}{d\theta} = \begin{vmatrix} -\sin \theta & -\cos \theta & 0 \\ \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_i \sin \varphi - a \\ Y_i \sin \varphi \cos \alpha + Z_i \sin \alpha \\ -Y_i \sin \varphi \sin \alpha + Z_i \cos \alpha \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ p \end{vmatrix} \quad (4.75)$$

Fig. 4.10. Sisteme de referință

care, pentru $\theta=0$, capătă forma

$$R_{\theta=0} = \begin{vmatrix} -(Y_i \sin \varphi \cos \alpha + Z_i \sin \alpha) \\ X_i \cos \varphi - a \\ p \end{vmatrix}.$$

Condiția de determinare a curbei caracteristice (vezi și (4.74)), ținând seama de (4.70), (4.73) și (4.76) rezultă în forma

$$-(Y_i \sin \varphi \cos \alpha + Z_i \sin \alpha) \cos \varphi + (X_i \cos \varphi - a) \sin \varphi + p \operatorname{tg} \beta_i = 0, \quad (i=1,2,\dots,n). \quad (4.77)$$

Ansamblul ecuațiilor (4.73) și (4.77) reprezintă curba caracteristică a suprafeței elicoidale modelate. În mișcarea elicoidală de axa \vec{V} și parametru p ,

se obțin ecuațiile (familia de curbe caracteristice exprimată în formă discretă) reprezentând suprafața elicoidală modelată.

• **Modelarea generării suprafeței elicoidale cu scula cilindro-frontală**

Similar cu cele de mai sus, se rezolvă problema modelării generării suprafeței elicoidale cu o sculă cilindro-frontală, figura 4.11.

Tangenta la generatoarea exprimată în formă discretă are cosinușii directori

$$\vec{T}_G = \cos \beta_i \vec{i} + \sin \beta_i \vec{j}, \quad (4.78)$$

cu $tg \beta_i = \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|}$;

care, prin deplasarea pe cercul director, poate fi adusă la forma

$$\vec{T}_G = \cos \beta_i \vec{i} + \sin \beta_i \cos \varphi \vec{j} - \sin \beta_i \sin \varphi \vec{k} \quad (4.79)$$

Tangenta la curba directoare este de forma

$$\vec{T}_D = \sin \varphi \vec{j} - \cos \varphi \vec{k}. \quad (4.80)$$

Normala, la suprafața de rotație S, rezultă din produsul vectorial

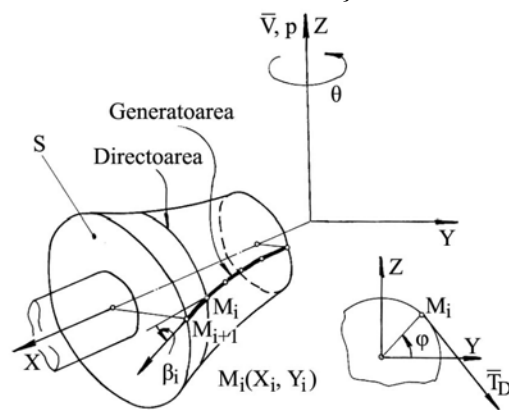


Fig. 4.11. Scula cilindro-frontală

$$\vec{N}_S = \vec{T}_G \times \vec{T}_D, \quad (4.81)$$

și se exprimă prin vectorul

$$\vec{N}_S = -\sin \beta_i \vec{i} + \cos \beta_i \cos \varphi \vec{j} + \cos \beta_i \sin \varphi \vec{k}. \quad (4.82)$$

Suprafața S are ecuațiile:

$$S \begin{cases} X = X_i; \\ Y = Y_i \cos \varphi; \\ Z = Z_i \sin \varphi, \quad (i=1,2,\dots,n), \end{cases} \quad (4.83)$$

(X_i, Y_i - coordonatele punctului curent (discret) pe generatoare).

Mișcarea elicoidală a suprafeței S, mișcare de axă \vec{V} și parametru elicoidal p, conduce la forma vectorului R_θ

$$R_\theta = \frac{dX}{d\theta} = \begin{vmatrix} -\sin \theta & -\cos \theta & 0 \\ \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_i \\ Y_i \cos \varphi \\ Y_i \sin \varphi \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ p \end{vmatrix} \quad (4.84)$$

care, pentru $\theta=0$, poate fi adusă la forma:

$$\vec{R}_\theta = -Y_i \vec{i} \cos \varphi + X_i \vec{j} + p \vec{k}. \quad (4.85)$$

Din (4.74), (4.82) și (4.85), rezultă condiția de înfășurare specifică.

• **Modelarea generării suprafeței elicoidale cu scula-cilindrică**

Scula-cilindrică, în fapt scula mărginită de o suprafață periferică cilindrică, poate fi materializată sub forma unui cuțit profilat de rabotat (sculă care generează o suprafață cilindrică în mișcarea de rabotare, în lungul generatoarelor proprii) sau în forma unui șever plan.

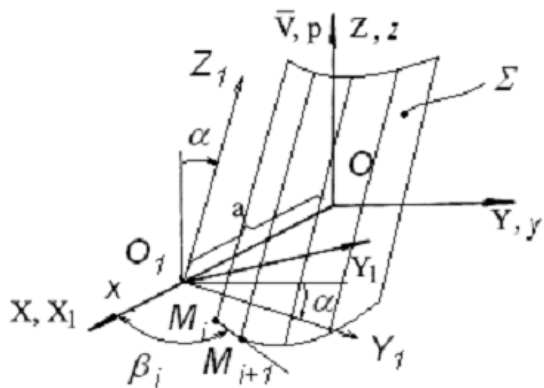


Fig. 4.12. Scula-cilindrică

În figura 4.12, se prezintă poziția sistemelor de referință, față de care sunt raportate suprafața cilindrică și suprafața elicoidală de modelat.

Se definesc:

xzy este un sistem de referință fix, având axa z suprapusă axei suprafeței elicoidale de modelat;

$X_1Y_1Z_1$ – sistem de referință mobil în care este definită suprafața cu care se modelează suprafața elicoidală;

XZY – sistem de referință mobil, suprapus inițial sistemului fix și

solidar sistemului $X_1Y_1Z_1$ al suprafeței cilindrice.

În sistemul $X_1Y_1Z_1$ se definește, în formă discretă, suprafața cilindrică – suprafața periferică primară a sculei prin matricea formată de coordonatele secțiunii transversale

$$S_D = \begin{pmatrix} X_{1_1} & Y_{1_1} \\ X_{1_2} & Y_{1_2} \\ \vdots & \vdots \\ X_{1_n} & Y_{1_n} \end{pmatrix}, \tag{4.86}$$

precum și prin vectorul generatoarei suprafeței cilindrice (4.21),

$$\vec{T}_D = \cos \beta_i \vec{i} + \sin \beta_i \vec{j} \tag{4.87}$$

în care

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{|Y_{1_{i+1}} - Y_{1_i}|}{|X_{1_{i+1}} - X_{1_i}|}. \tag{4.88}$$

Normala la suprafața cilindrică are exprimarea

$$\vec{N}_\Sigma = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ \cos \beta_i & \sin \beta_i & 0 \end{vmatrix} = -\sin \beta_i \vec{i} + \cos \beta_i \vec{j}. \tag{4.89}$$

În principiu, ecuațiile suprafeței cilindrice, în sistemul $X_1Y_1Z_1$ se exprimă printr-o matrice de forma, S

$$S: \|X_i\| = \begin{pmatrix} X_{1_i} & Y_{1_i} & \lambda \\ X_{2_i} & Y_{2_i} & \lambda \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n_i} & Y_{n_i} & \lambda \end{pmatrix}, \text{ cu } \lambda \text{ parametru variabil} \quad (4.90)$$

Se transferă suprafața cilindrică, la sistemul XYZ prin transformarea

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \|X_{1_i}\| \\ -a \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (4.91)$$

În principiu suprafața cilindrică, în forma discretă, se exprimă prin norul ordonat de puncte

$$\begin{cases} X = X_{1_i} + a; \\ Y = Y_{1_i} \cos \alpha - Z_{1_i} \sin \alpha; \\ Z = Y_{1_i} \sin \alpha + Z_{1_i} \cos \alpha, \quad (i=1,2,\dots,n), \end{cases} \quad (4.92)$$

în care:

a - mărime constantă, reglabilă pe mașina-unealtă;

α - unghiul generatoarei suprafeței cilindrice.

Mișcarea elicoidală

$$x = \omega_3^T(\theta) X + p \theta \vec{k} \quad (4.93)$$

cu θ variabilă și matricea X având definiția dată de transformarea (4.92), se generează familia de suprafețe cilindrice (suprafața cilindrică exprimată în forma discretă prin metoda tangentelor)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p \theta \end{pmatrix}, \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (4.94)$$

sau

$$(\Sigma) \begin{cases} x = X_i \cos \theta - Y_i \sin \theta; \\ y = X_i \sin \theta + Y_i \cos \theta; \\ z = Z_i + p \theta, \quad (i=1,2,\dots,n). \end{cases} \quad (4.95)$$

Ecuatiile (4.90) reprezintă familia de suprafețe cilindrice exprimate în forma discretă în mișcarea elicoidală de axă \vec{V} și parametru elicoidal „p”, axa și parametrul suprafeței elicoidale modelate.

Înfășurătoarea familiei de suprafețe (4.95) reprezintă suprafața elicoidală modelată.

Condiția de înfășurare

În forma GOHMAN, condiția de înfășurare se exprimă prin

$$\overline{N}_\Sigma \cdot \overline{R}_\theta = 0 \quad (4.96)$$

în care:

– \overline{N}_Σ are forma dată de (4.89), transpusă în sistemul xyz prin transformarea

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \beta_i \\ \cos \beta_i \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (4.97)$$

$$\begin{cases} N_x = -\sin \beta_i; \\ N_y = \cos \beta_i \cos \alpha; \\ N_z = \cos \beta_i \sin \alpha; \end{cases} \quad (4.98)$$

– vectorul viteză \vec{R}_θ este asociat matricii R_θ ,

$$R_\theta = \frac{dx}{d\theta} = \begin{pmatrix} -\sin \theta & -\cos \theta & 0 \\ \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p \end{pmatrix}, \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (4.99)$$

sau

$$\vec{R}_\theta = [-X \sin \theta - Y \cos \theta] \vec{i} + [X \cos \theta - Y \sin \theta] \vec{j} + p \vec{k} \quad (4.100)$$

în care:

- X_i, Y_i sunt definiți de (4.90) și (4.91) și (4.92)
- p este parametrul elicoidal al suprafeței modelate.

Ansamblul (4.96), (4.98) și (4.100) permite exprimarea condiției de înfășurare, pentru o exprimare în formă discretă prin metoda tangentelor a suprafeței cilindrice

$$[-X \sin \theta - Y \cos \theta](-\sin \beta_i) + [X \cos \theta - Y \sin \theta] \cos \beta_i \cos \alpha + p \cos \beta_i \sin \alpha = 0 \quad (4.101)$$

Ansamblul (4.95), (4.101) reprezintă, în formă discretă suprafața elicoidală modelată, pentru o exprimare prin metoda tangentelor a suprafeței cilindrice.

Pentru $Z = 0$

echivalentă cu

$$Z + p \theta = 0 \quad (4.102) \quad (4.103)$$

se determină secțiunea transversală a suprafeței modelate.

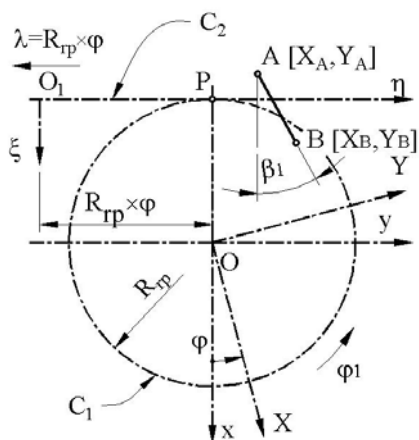
3.3. VERIFICAREA METODEI TANGENTELOR PENTRU PROFILAREA SCULELOR DE TIP CREMALIERĂ PENTRU GENERAREA PRIN ÎNFĂȘURARE

Verificarea “metodei tangentelor” ca metodă pentru reprezentarea discretă a profilurilor se propune a fi făcută prin compararea rezultatelor privind profilurile sculelor obținute, la generarea aceluiași vârtej de suprafețe de generat, prin teoremele fundamentale și a metodelor complementare cunoscute.

În acest sens, se propune utilizarea unei teoreme fundamentale (teorema normalelor) și a metodelor complementare (metoda “distanței minime”, metoda “trajectoriilor plane de generare”, metoda “familiei de cercuri substitutive”) în scopul profilării sculei-cremalieră, care generează un același profil, exprimat în formă discretă.

3.3.1. Profil rectiliniu - metoda tangentelor

Un profil oarecare care aparține vârtejului de profiluri de generat, asociat unei centriode circulare de rază R_{rp} este reprezentat în formă discretă prin matricea



$$\Sigma = \begin{pmatrix} X_A & Y_A \\ X_2 & Y_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_i & Y_i \\ \vdots & \vdots \\ X_B & Y_B \end{pmatrix}$$

(4.104) în sistemul XY, sistem de referință asociat vârtejului de profiluri de generat.

Fig.4.13. Vârtejul de profiluri asociat centriodei circulare

Numărul de coordonate, care definesc matricea (4.104), poate fi corelat

cu precizia de reprezentare a profilului Σ .

Modelul propus pentru definirea coordonatelor punctului curent al matricei Σ este de forma

$$\begin{cases} X = X_A + v \cos \beta_i \\ Y = Y_A + v \sin \beta_i \end{cases} \quad (4.105)$$

cu β_i dat de (4.8) și v variabilă incrementală.

Familia de profiluri Σ descrisă în sistemul de referință asociat semifabricatului $\xi\eta$ este de forma:

$$\begin{cases} \xi = X_i \cos \varphi_1 - Y_i \sin \varphi_1 + R_{rp}; \\ \eta = X_i \sin \varphi_1 + Y_i \cos \varphi_1 + R_{rp} \varphi_1. \end{cases} \quad (4.106)$$

Condiția de înfășurare determinată pentru exprimarea profilului de generat în forma (4.104), prin metoda tangentelor, este:

$$\sin \beta_i [Y_i - R_{rp} \sin \varphi] - \cos \beta_i [-X_i - R_{rp} \cos \varphi] \leq \varepsilon \quad (4.107)$$

cu ε arbitrar și suficient de mic.

Ansamblul reprezentărilor familie de profiluri în formă discretă (4.106) și a condiției de înfășurare specifică metodei tangentelor (4.107) reprezintă, în formă discretă, profilul sculei-cremalieră reciproc înfășurătoare profilului Σ .

În baza algoritmului propus în formă succintă, în cele de mai sus, se imaginează o schemă logică, vezi figura 4.14, în baza căreia s-a realizat cu ajutorul limbajului de programare *java* o aplicație care permite, în baza exprimării numerice a profilului de generat, determinarea profilului sculei-cremalieră.

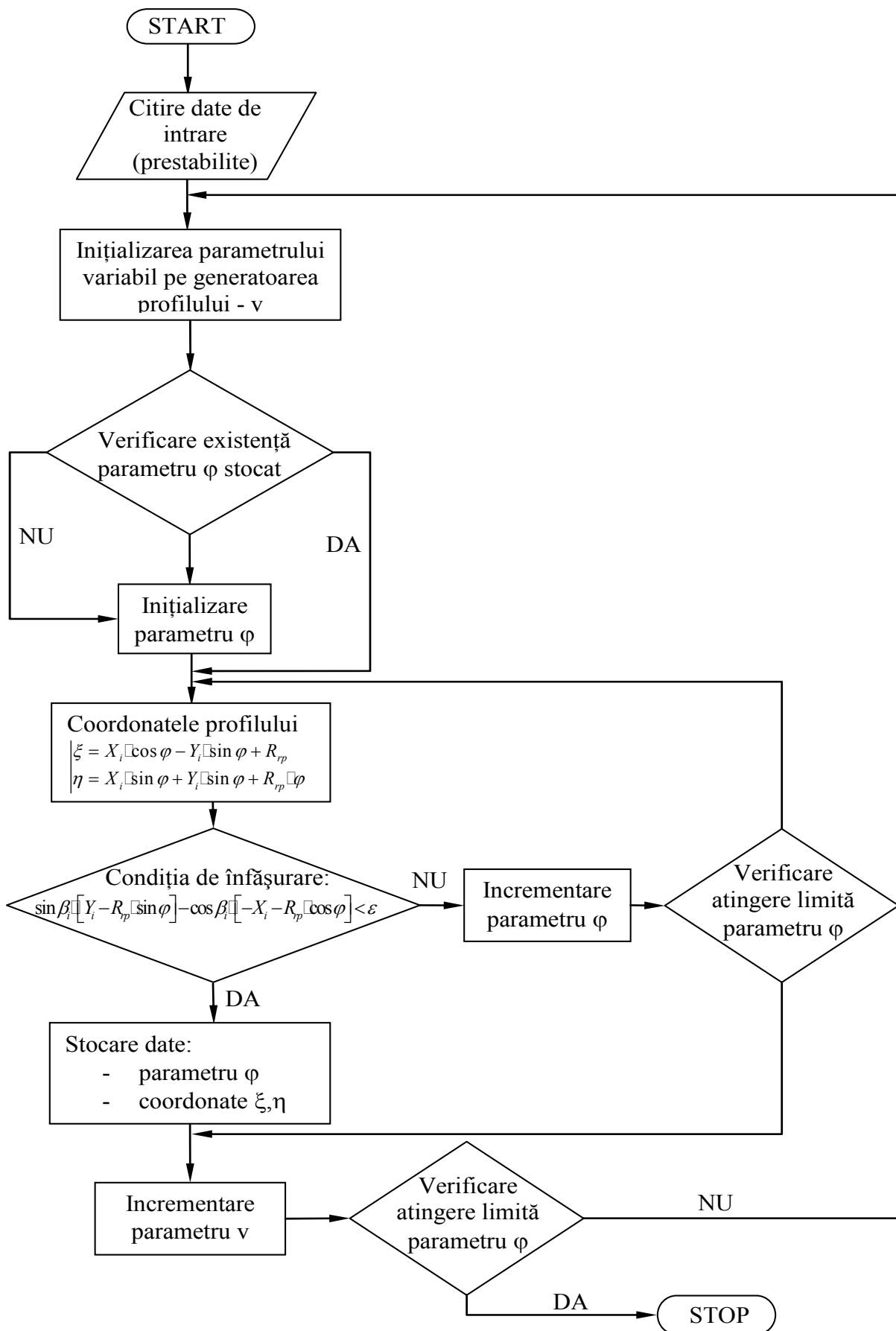


Fig. 4.14. Schema logică pentru profilarea sculei-cremalieră folosind metoda tangentelor

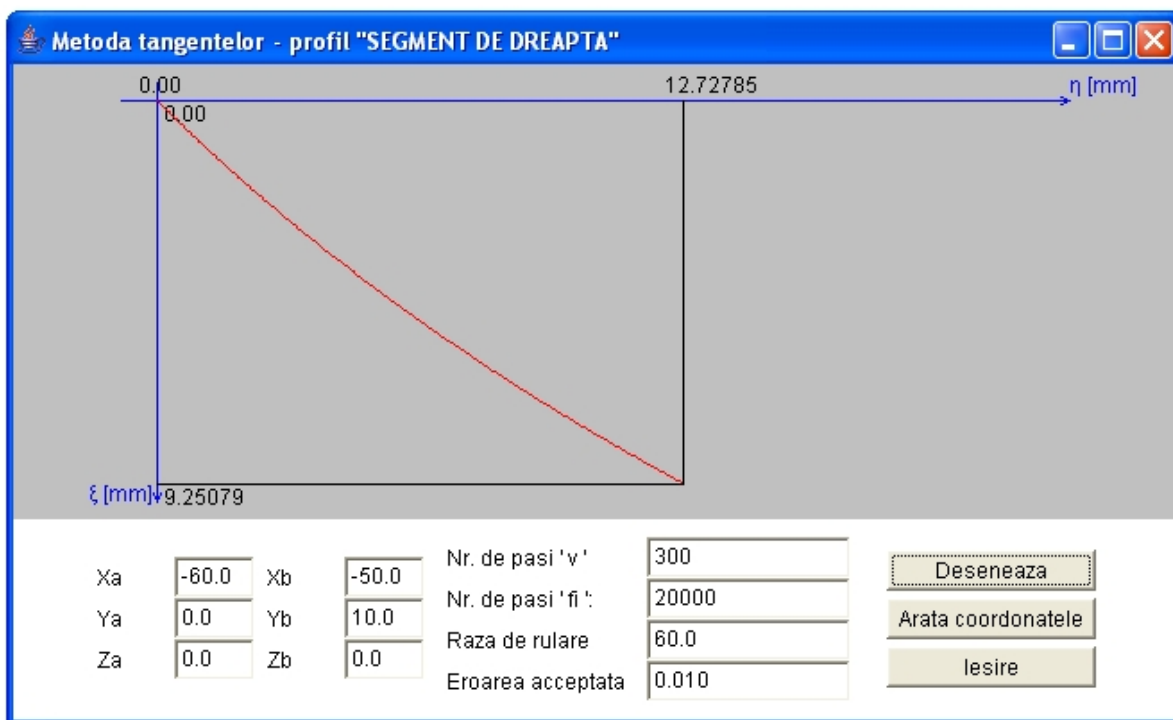


Fig. 4.15. Forma profilului sculei-cremalieră, metoda tangentelor

În figura 4.15 și tabelul 4.1 (extras din 300 de puncte), se prezintă forma și coordonatele profilului sculei cremalieră pentru un profil de generat având caracteristicile

$$A[X_A = -60, Y_A = 0];$$

$$B[X_A = -50, Y_A = 10];$$

$$R_{rp} = 60 \text{ mm}.$$

Tabelul 4.1. Profilul sculei-cremalieră, metoda tangentelor, profil prelucrat „segment de dreaptă”

ξ [mm]	η [mm]
0.00000	0.00000
0.03345	0.03349
0.06690	0.06705
0.10036	0.10069
0.13381	0.13440
0.16726	0.16819
0.20070	0.20205
.....
9.06281	12.37880
9.08999	12.42894
9.11675	12.47841
9.14386	12.52864
9.17054	12.57820
9.19720	12.62780
9.22421	12.67817
9.25079	12.72785

. Profil rectiliniu - metoda “distanței minime”

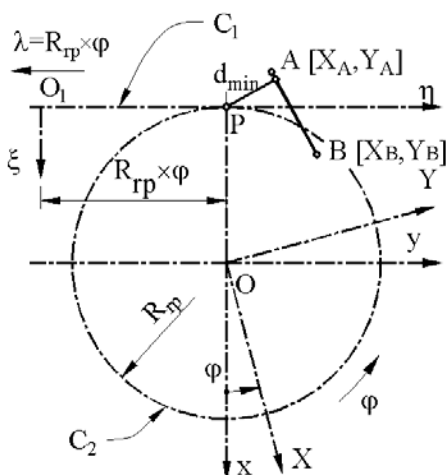


Fig. 4.16. Metoda “distanței minime” - sisteme de referință

Metoda *distanței minime*, apelând la aceeași reprezentare a profilului Σ aparținând vârtejului asociat centroidei C_1 , conduce la familia de profiluri în sistemul de referință al sculei-cremalieră ($\xi\eta$, asociat centroidei C_2) de forma :

$$\begin{cases} \xi_i = X_i \cos \varphi_1 - Y_i \sin \varphi_1 + R_{rp}; \\ \eta_i = X_i \sin \varphi_1 + Y_i \cos \varphi_1 + R_{rp} \varphi_1, \end{cases}$$

(4.108)

precum și a condiției de înfășurare specifice metodei “distanței minime”

$$d = \left\{ \sqrt{(\xi_i - \xi_p)^2 + (\eta_i - \eta_p)^2} \right\}_{\min} \quad (4.109)$$

în care ξ_p, η_p sunt coordonatele polului

angrenării:

$$\xi_p = 0; \eta_p = R_{rp} \varphi_1$$

(4.110)

astfel că, forma (4.109) devine

$$d = \left\{ \sqrt{\xi_i^2 + (\eta_i - R_{rp} \varphi_1)^2} \right\}_{\min} \quad (4.111)$$

Ansamblul reprezentărilor (4.108) și (4.111) reprezintă, în formă discretă, profilul cuțitului-pieptene (scula-cremalieră). Apelând la noul algoritm, specific metodei “distanței minime”, pentru exprimarea în formă discretă a condiției de minim, se imaginează o schemă logică asemănătoare celei de la metoda tangentelor, vezi figura 4.15, în care ecuațiile profilului de generat și condiția de înfășurare sunt cele

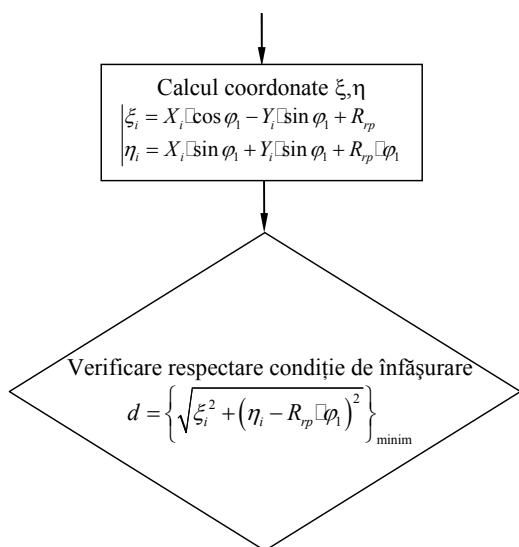


Fig. 4.17. Schema logică, partea specifică metodei “distanței minime”

specifice, vezi figura 4.17. În baza acestora, se realizează o aplicație cu ajutorul limbajului de programare *java*, care permite exprimarea numerică și grafică a profilului sculei-cremalieră.

În figura 4.18 și tabelul 4.2 (extras din 20.000 puncte), se prezintă forma și coordonatele profilului sculei-cremalieră pentru un profil de generat având aceleași caracteristici dimensionale.

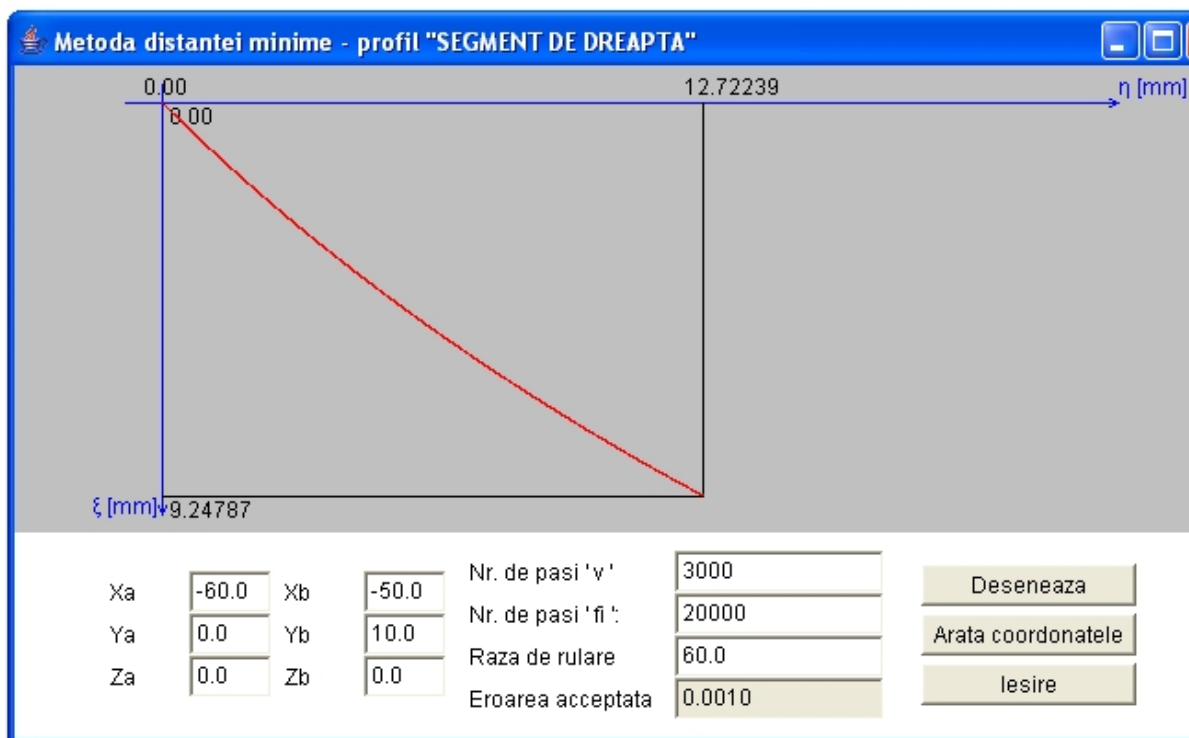


Fig. 4.18. Applet java pentru metoda distantei minime

Tabelul 4.2. Profilul sculei-cremalieră, metoda distantei minime, profil prelucrat „segment de dreaptă”

ξ [mm]	η [mm]
0.00000	0.00000
0.43484	0.44117
0.90205	0.92947
1.33595	1.39643
1.80063	1.91126
2.26336	2.43938
2.75420	3.01694
3.21161	3.57171
3.69548	4.17648
4.14642	4.75724
4.62216	5.38853
5.09312	6.03302
5.58607	6.72931
6.04607	7.39999
6.52634	8.12283
6.97425	8.81883
7.44071	9.56730
7.89958	10.32840
8.35056	11.10189
8.81632	11.92888
9.22780	12.68483

. Profil rectiliniu - metoda “trajectoriilor plane de generare”

Pentru reprezentarea analitică a segmentului AB, vezi figura 4.19, modelul propus pentru definirea coordonatelor punctului curent al matricei Σ este de forma (4.105), cu β_i constant dat de (4.8) și v variabilă incrementală. Familia de profiluri rezultă de forma (4.112), similară formei (4.106). Variabilele v și φ_1 sunt tratate, în acest caz, ca variabile independente, continue.

$$\begin{cases} \xi = [X_A + v \cos \beta_i] \cos \varphi_1 - [Y_A + v \sin \beta_i] \sin \varphi_1 + R_{rp}; \\ \eta = [X_A + v \cos \beta_i] \sin \varphi_1 + [Y_A + v \sin \beta_i] \cos \varphi_1 + R_{rp} \varphi_1. \end{cases} \quad (4.112)$$

Se definesc derivatele parțiale, din relația (4.112)

$$\begin{cases} \frac{d\xi}{dv} = \cos(\varphi_1 + \beta_i); \\ \frac{d\eta}{dv} = \sin(\varphi_1 + \beta_i); \\ \frac{d\xi}{d\varphi_1} = -[X_A + v \cos \beta_i] \sin \varphi_1 - [Y_A + v \sin \beta_i] \cos \varphi_1; \\ \frac{d\eta}{d\varphi_1} = [X_A + v \cos \beta_i] \cos \varphi_1 - [Y_A + v \sin \beta_i] \sin \varphi_1 + R_{rp}; \end{cases} \quad (4.113)$$

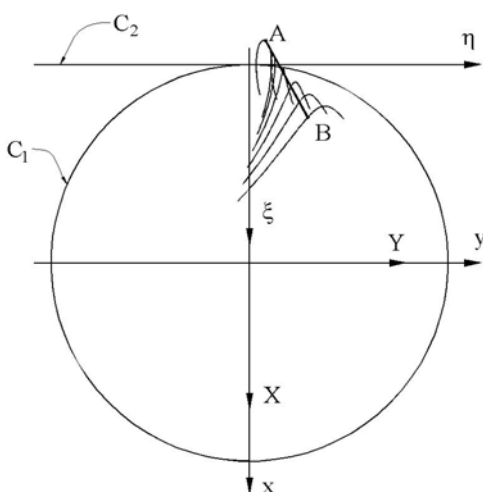


Fig. 4.19. Metoda trajectoriilor plane de generare - sisteme de referință

$$\left| \frac{\frac{d\xi}{dv} - \frac{d\eta}{dv}}{\frac{d\xi}{d\varphi_1} - \frac{d\eta}{d\varphi_1}} \right| \leq \varepsilon, \quad (4.114)$$

astfel că, se poate scrie acum condiția de înfășurare specifică

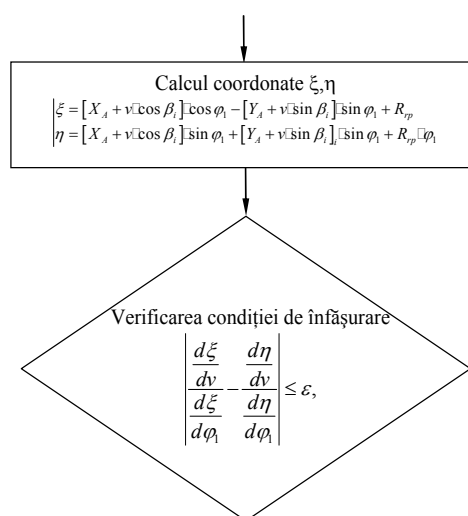


Fig. 4.20. Schema logică, partea specifică metodei “trajectoriilor plane de generare”

pentru ε arbitrar și suficient de mic, în corelație cu precizia dorită de determinare a profilului sculei cremalieră.

În baza algoritmului, se imaginează o schemă logică dedicată, vezi figura 4.20, cu ajutorul careia s-a sintetizat, folosindu-se limbajul *java*, un program care prezintă numeric și grafic profilul sculei-cremalieră.

În figura 4.21 și tabelul 4.3, se prezintă forma și coordonatele profilului sculei- cremalieră pentru un profil de generat având aceleași caracteristici dimensionale.

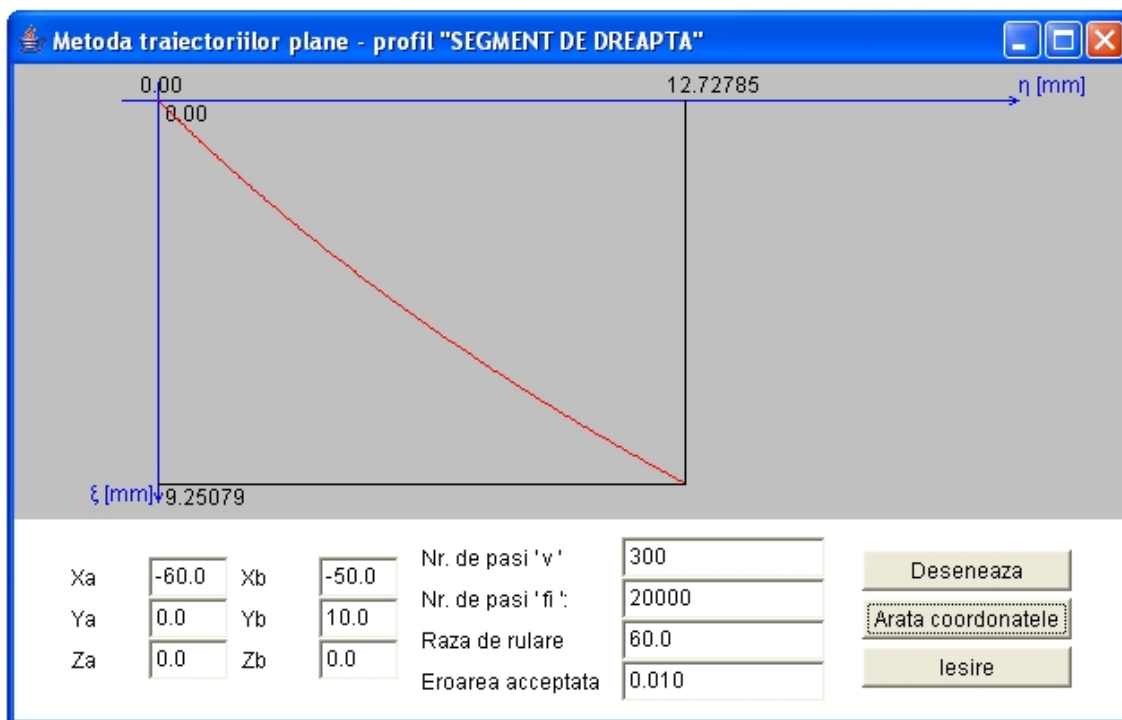


Figura 4.21. Applet java pentru metoda traiectoriilor plane de generare

Tabelul 4.3. Profilul sculei-cremalieră, metoda traiectoriilor plane de generare, profil prelucrat „segment de dreaptă”

ξ [mm]	η [mm]
0.00000	0.00000
0.03345	0.03349
0.06690	0.06705
0.10036	0.10069
0.13381	0.13440
0.16726	0.16819
0.20070	0.20205
0.23415	0.23598
.....
9.03599	12.32941
9.06281	12.37880
9.08999	12.42894
9.11675	12.47841
9.14386	12.52864
9.17054	12.57820
9.19720	12.62780
9.22421	12.67817
9.25079	12.72785

. Profil rectiliniu - metoda “familiei de cercuri de substituie”

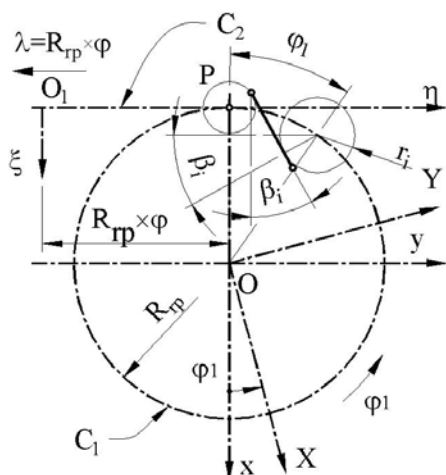


Fig. 4.22. Familia de cercuri de substituie

În concordanță cu metoda familiei de cercuri de substituie, se definește familia de cercuri asociate segmentului AB ca având ecuațiile:

$$\begin{cases} X = -R_{rp} \cos \varphi_1 + r_i \sin \beta_i; \\ Y = R_{rp} \sin \varphi_1 - r_i \cos \beta_i, \end{cases} \quad (4.115)$$

în care r_i, β_i sunt definibile din condiția ca cercurile familiei să fie tangente segmentului AB, vezi ecuațiile (4.105).

Din această condiție, se determină ecuațiile de identificare:

$$\begin{cases} X_A + v \cos \beta_i + R_{rp} \cos \varphi_1 = r_i \sin \beta_i; \\ Y_A + v \sin \beta_i - R_{rp} \sin \varphi_1 = -r_i \cos \beta_i, \end{cases} \quad (4.116)$$

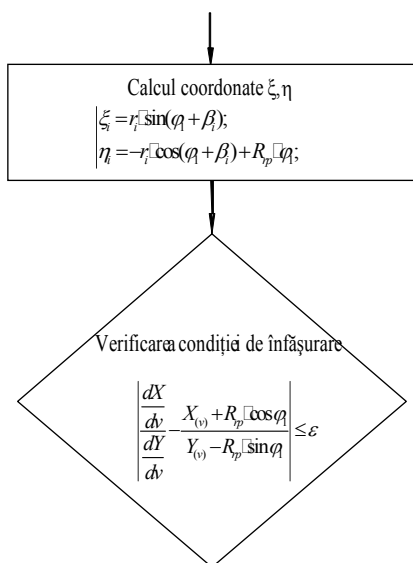
reprezentând condițiile de punct comun între cercuri și segment, și

$$\begin{cases} \frac{dX}{dv} = r_i \cos \beta_i; \\ \frac{dY}{dv} = r_i \sin \beta_i, \end{cases} \quad (4.117)$$

reprezentând condiția de tangentă comună în punctul de contact.

Astfel, se definesc:

$$r_i = \sqrt{[X_A + v \cos \beta_i + R_{rp} \cos \varphi_1]^2 + [Y_A + v \sin \beta_i - R_{rp} \sin \varphi_1]^2}; \quad (4.118)$$



$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|}; \quad (4.119)$$

și condiția

$$\left| \frac{dY}{dv} \frac{X_{(v)} + R_{rp} \cos \varphi_1}{Y_{(v)} - R_{rp} \sin \varphi_1} \right| \leq \varepsilon. \quad (4.120)$$

Condiția (4.120) reprezintă condiția de înfășurare specifică metodei familiei de cercuri de substituie. Familia de cercuri de substituie, transpusă în rulare pe centroidă C_2 are ecuațiile:

Fig. 4.23. Schema logică, metoda “cercurilor substitutive”

$$\xi_i = r_i \sin(\varphi_1 + \beta_i);$$

$$\eta_i = -r_i \cos(\varphi_1 + \beta_i) + R_{rp} \varphi_1. \tag{4.121}$$

Ansamblul ecuațiilor (4.118), (4.119), (4.120) și (4.121) reprezintă profilul sculei-cremalieră, reciproc înfășurătoare profilului de generat. Schema specifică metodei cercurilor este dată în figura 4.23.

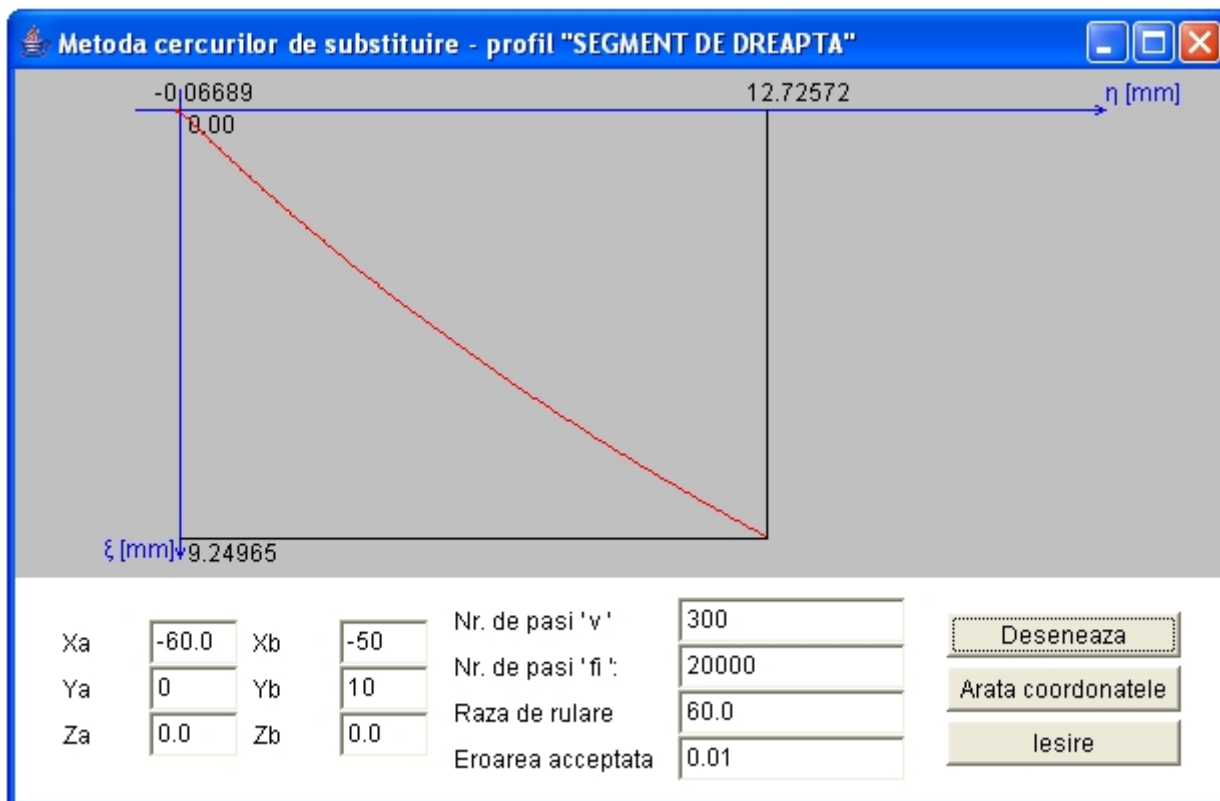


Fig. 4.24. Applet-ul java – metoda cercurilor de substituire

Tabelul 4.4 Profil rectiliniu, „cercuri substitutive”

ξ [mm]	η [mm]
0.00000	0.00000
0.03344	-0.03344
0.06689	-0.06689
0.07478	-0.00746
0.21190	0.21075
0.24834	0.24875
.....
9.08902	12.42714
9.11555	12.47620
9.14251	12.52614
9.16944	12.57614
9.19635	12.62621
9.22323	12.67635

Tabelul 4.5. Profilul sculei-cremalieră, metoda normalelor -profil modelat „segment de dreaptă”

ξ [mm]	η [mm]
0.00000	0.00000
0.03344	-0.03344
0.06689	-0.06689
0.07478	-0.00746
0.09714	0.06773
0.13538	0.12556
0.17432	0.17050
0.21190	0.21075
0.24834	0.24875
0.28415	0.28576
.....
8.98088	12.22828
9.00795	12.27790
9.03500	12.32758
9.06202	12.37733
9.08902	12.42714
9.11555	12.47620
9.14251	12.52614
9.16944	12.57614
9.19635	12.62621
9.22323	12.67635

3.3.2. Profil circular - metoda tangentelor

În figura 4.27, este prezentată aplicația specifică realizată tot sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului sculei-cremalieră rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.6., pentru un profil de generat având coordonatele.

$$X_o = -64$$

$$Y_o = 0$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$v_{\min} = -30^\circ$$

$$v_{\max} = 30^\circ$$

$$R_{rp} = 60 \text{ mm}$$

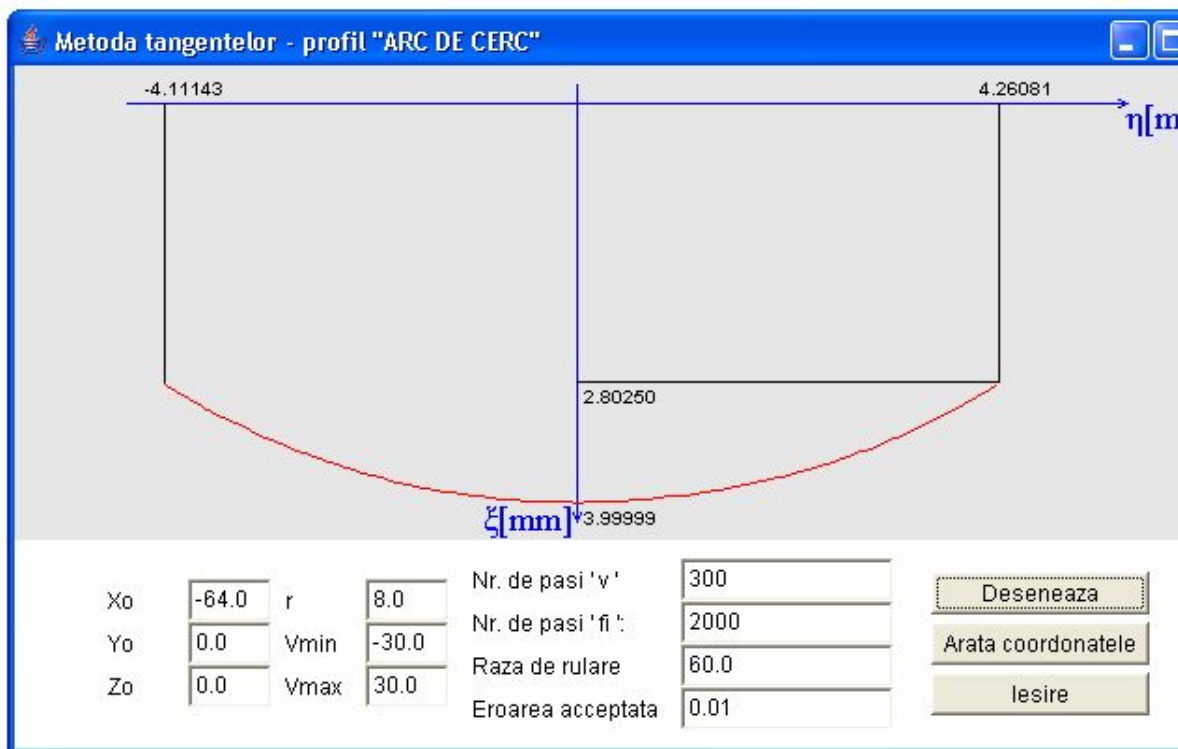


Fig. 4.27. Applet-ul java – metoda tangentelor, profil arc de cerc

Tabelul 4.6. Profilul sculei-cremalieră, metoda tangentelor, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
2.81621	-4.11083
2.83166	-4.08621
2.84702	-4.06153
2.86229	-4.03678
2.87746	-4.01198
2.89254	-3.98712
2.90753	-3.96219
.....
2.89469	4.11506
2.87960	4.13964
2.86442	4.16415
2.84915	4.18858
2.83379	4.21295
2.81834	4.23724
2.80280	4.26146

Profil circular – “metoda traiectoriilor plane de generare”

Se realizeaza o aplicație *java* care să permită reprezentarea profilului sculă precum și afișarea coordonatelor profilului cuțitului-pieptene, prin metoda *traiectoriilor plane de generare*.

În figura 4.28, este prezentată aplicația specifică realizată sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului sculei-cremalieră rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.7., pentru un profil de generat având aceleași coordonate ca în cazul anterior.

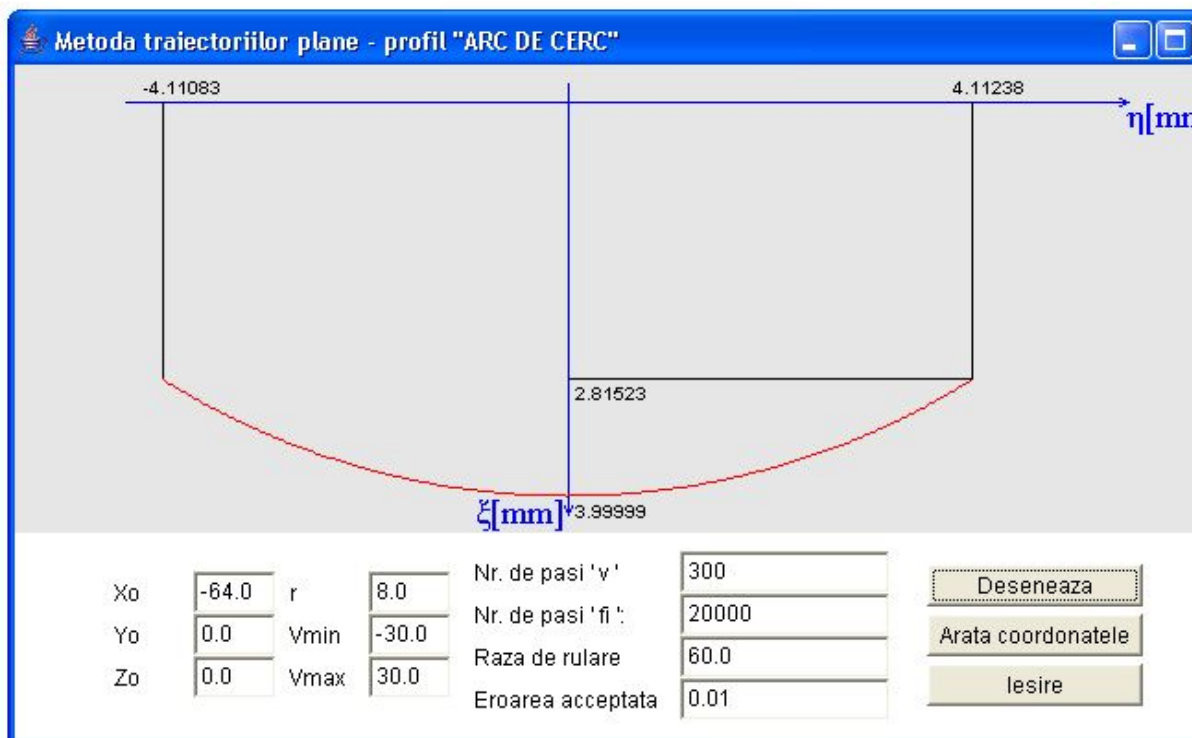


Fig. 4.28. Applet-ul java – metoda traiectoriilor plane de generare, profil arc de cerc

Tabelul 4.7. Profilul sculei-cremalieră, metoda traiectoriilor plane, profil prelucrat "arc de cerc"	
ξ [mm]	η [mm]
2.81621	-4.11083
2.83166	-4.08621
2.84702	-4.06153
2.86229	-4.03678
.....
2.92161	3.93858
2.90671	3.96356
2.89172	3.98848
2.87664	4.01334
2.86146	4.03813
2.84605	4.06309
2.83069	4.08777
2.81523	4.11238

. Profil - arc de cerc – “metoda normalelor”

În figura 4.29, este prezentată aplicația specifică *metodei normalelor*, iar coordonatele profilului sculei-cremalieră rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.8., pentru un profil de generat având aceleași dimensiuni (vezi cap. 4.4.6.).

<i>Tabelul 4.8. Profilul sculei-cremalieră, metoda normalelor, profil prelucrat "arc de cerc"</i>	
ξ[mm]	η[mm]
2.81621	-4.11083
2.83166	-4.08621
2.84702	-4.06153
2.86229	-4.03678
2.87746	-4.01198
2.89254	-3.98712
2.90753	-3.96219
2.92243	-3.93721
2.93723	-3.91216
2.95194	-3.88706
.....
2.95112	3.88845
2.93641	3.91355
2.92161	3.93858
2.90671	3.96356
2.89172	3.98848
2.87664	4.01334
2.86146	4.03813
2.84605	4.06309
2.83069	4.08777
2.81523	4.11238

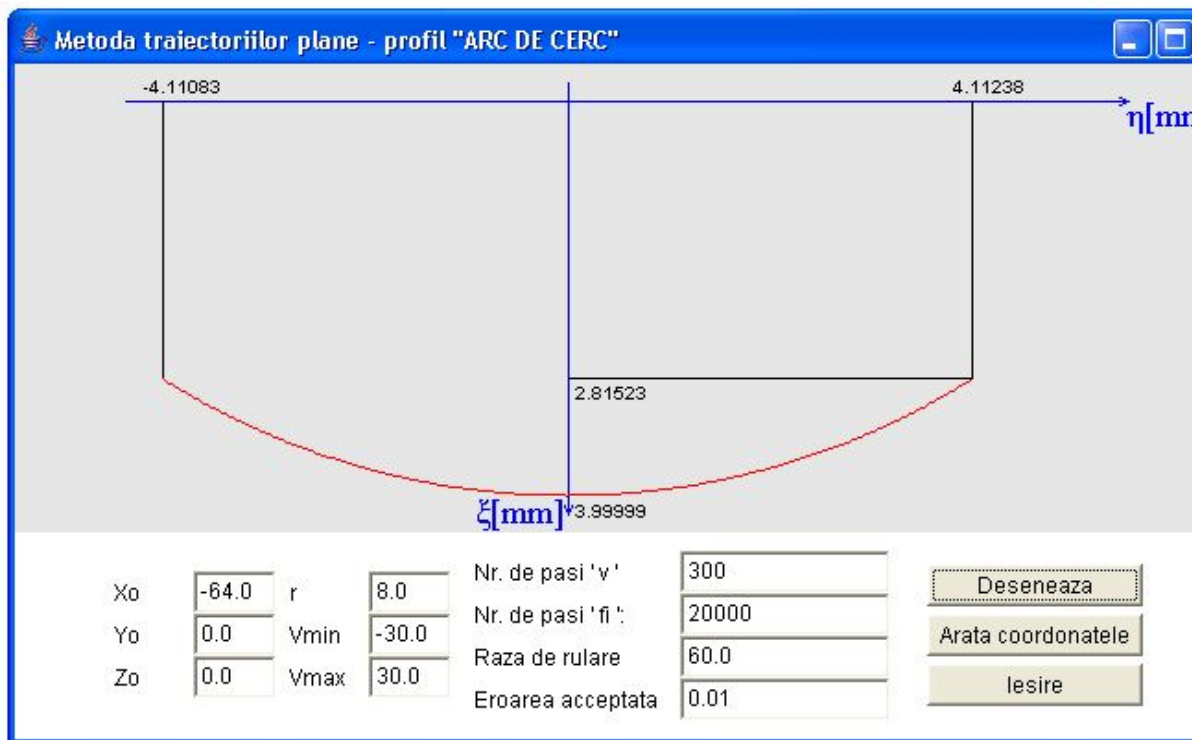


Fig. 4.29. Applet-ul java – metoda normalelor, profil arc de cerc

3.4. VERIFICAREA METODEI TANGENTELOR PENTRU PROFILAREA SCULELOR DE TIP CUȚIT-ROATĂ PENTRU GENERAREA PRIN ÎNFĂȘURARE

3.4.1. Profilul rectiliniu – “metoda tangentelor”

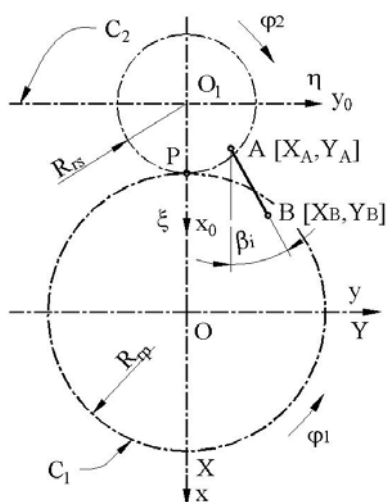


Fig. 4.30. Cuțitul-roată

În mod similar cu problematica dezbătută la generarea cu scula-cremalieră, se analizează metoda tangentelor, ca metodă pentru reprezentarea discretă a profilurilor și la profilarea sculelor de tip cuțit-roată, figura 4.30.

Pentru o reprezentare a profilului de generat de tipul

$$\Sigma = \|X_i, Y_i\|, i=1,2,\dots,n \quad (4.123)$$

în mișcarea relativă

$$\xi = \omega_3(-\varphi_2) \left[\omega_3^T(\varphi_1) \square X - A \right] \quad (4.124)$$

cu

$$A = \left\| \begin{matrix} -A_{12} \\ 0 \end{matrix} \right\|, \quad (4.125)$$

a sistemelor de referință mobile, se generează familia de profiluri:

$$(\Sigma)_{\varphi_1} \begin{cases} \xi_i = X_i \cos(\varphi_1 + \varphi_2) - Y_i \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + A_{12} \cos \varphi_2; \\ \eta_i = X_i \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + Y_i \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + A_{12} \sin \varphi_2, \end{cases} \quad (4.126)$$

în care: X_i, Y_i sunt elementele matricei (4.123),

$$A_{12} = R_{rp} + R_{rs}, \quad (4.127)$$

iar $\varphi_2 = i \varphi_1, \quad (4.128)$

i-raport de transmitere.

Înfășurătoarea familiei de profiluri se obține alăturând ecuațiilor (4.126), rescrise în forma:

$$\begin{cases} \xi_i = X_i \cos[(i+1)\varphi_1] - Y_i \sin[(i+1)\varphi_1] + A_{12} \cos(i\varphi_2); \\ \eta_i = X_i \sin[(i+1)\varphi_1] + Y_i \cos[(i+1)\varphi_1] + A_{12} \sin(i\varphi_2), \end{cases} \quad (4.129)$$

condiția de înfășurare pentru metoda tangentelor

$$\left[Y_i - R_{rp} \sin \varphi_1 \right] \sin \beta_i + \left[X_i + R_{rp} \cos \varphi_1 \right] \cos \beta_i = 0, \quad (4.130)$$

pentru care

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|}, \quad (4.131)$$

vezi și generarea cu scula-cremalieră.

Se acceptă pentru modelul profilului rectiliniu forma:

$$\begin{cases} X = X_A + v \cos \beta_i; \\ Y = Y_A + v \sin \beta_i. \end{cases} \quad (4.132)$$

Pentru un algoritm, similar cu cel realizat pentru profilarea sculei-cremalieră, se realizează o aplicație în limbajul de programare *java* pentru profilul de generat având caracteristicile:

$$A[X_A = -16, Y_A = 0];$$

$$B[X_A = -13, Y_A = 1.5];$$

$$R_{rp} = 16 \text{ mm}, R_{rs} = 8 \text{ mm}$$

În figura 4.31 și tabelul 4.9, se prezintă forma și coordonatele profilului cuțitului-roată.

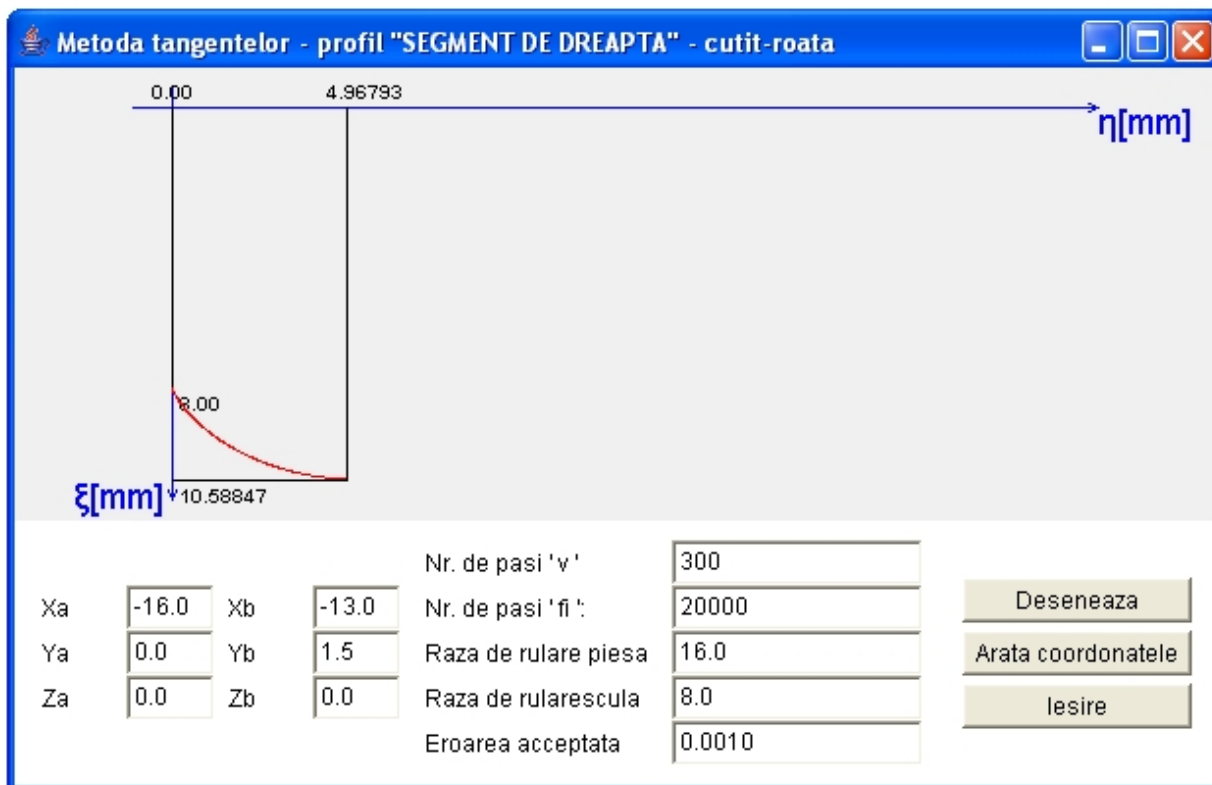


Fig. 4.31. Applet-ul java – metoda tangentelor pentru cușitul-roată

Tabelul 4.9. Profilul cușitului-roată, metoda tangentelor, profil prelucrat "segment de dreaptă"

ξ [mm]	η [mm]
8.00000	0.00000
8.01006	0.00506
8.02019	0.01022
8.03039	0.01546
8.04065	0.02081
8.05098	0.02625
8.06137	0.03178
8.07183	0.03741
8.08234	0.04313
8.09292	0.04895
.....
10.57682	4.77518
10.57852	4.79919
10.58015	4.82324
10.58171	4.84733
10.58320	4.87145
10.58462	4.89561
10.58598	4.91980
10.58727	4.94402
10.58847	4.96793

. Profil rectiliniu - metoda traiectoriilor plane de generare

Pentru modelul (4.132) al matricei Σ și, de asemenea, pentru familia de profiluri de forma (4.129), se definesc, în baza *metodei traiectoriilor plane de generare*, vezi 1.1.5, derivatele parțiale:

$$\begin{aligned} \frac{d\xi}{dv} &= \frac{dX_i}{dv} \cos[(i+1)\varphi_1] - \frac{dY_i}{dv} \sin[(i+1)\varphi_1]; \\ \frac{d\eta}{dv} &= \frac{dX_i}{dv} \sin[(i+1)\varphi_1] + \frac{dY_i}{dv} \cos[(i+1)\varphi_1]; \\ \frac{d\xi}{d\varphi_1} &= -(i+1)X_i \sin[(i+1)\varphi_1] - (i+1)Y_i \cos[(i+1)\varphi_1] + iA_{12} \sin(i\varphi_1); \\ \frac{d\eta}{d\varphi_1} &= (i+1)X_i \cos[(i+1)\varphi_1] - (i+1)Y_i \sin[(i+1)\varphi_1] + iA_{12} \cos(i\varphi_1), \end{aligned} \tag{4.133}$$

care servesc la definirea condiției de înfășurare specifică metodei

$$\left| \frac{\frac{d\xi}{d\varphi_1}}{\frac{d\xi}{dv}} - \frac{\frac{d\eta}{d\varphi_1}}{\frac{d\eta}{dv}} \right| \leq \varepsilon. \tag{4.134}$$

Ansamblul de ecuații determinat de familia de profiluri (4.129), (4.132) căreia i se asociază condiția de înfășurare (4.134), reprezintă profilul cuțitului-roată.

Pentru același model al profilului de generat, în figura 4.32 și tabelul 4.10 sunt prezentate forma și coordonatele profilului căutat al cuțitului-roată.

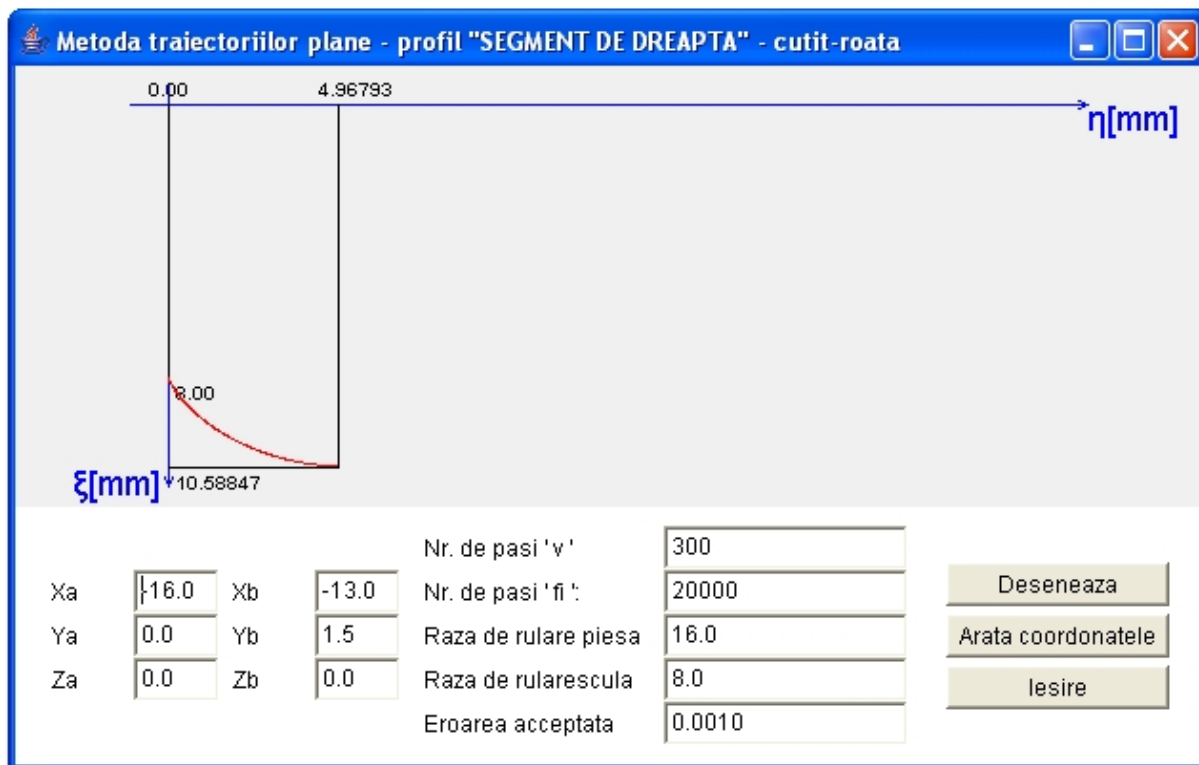


Fig. 4.32. Applet metoda traiectoriilor plane de generare pentru cuțitul-roată

Tabelul 4.10. Profilul cuțitului-roată, metoda traiectoriilor plane de generare, profil prelucrat "segment de dreaptă"

ξ [mm]	η [mm]
8.00000	0.00000
8.01006	0.00506
8.02019	0.01022
8.03039	0.01546
8.04065	0.02081
8.05098	0.02625
8.06137	0.03178
8.07183	0.03741
8.08234	0.04313
8.09292	0.04895
.....
10.57506	4.75120
10.57682	4.77518
10.57852	4.79919
10.58015	4.82324
10.58171	4.84733
10.58320	4.87145
10.58462	4.89561
10.58598	4.91980
10.58727	4.94402
10.58847	4.96793

. Profil rectiliniu – “metoda normalelor”

Pentru același profil rectiliniu, profilul cuțitului-roată rezultă ca înfășurător al familiei de profiluri

$$\begin{cases} \xi = [X_A + v \cos \beta_i] \cos[(i+1)\varphi_1] - [Y_A + v \sin \beta_i] \sin[(i+1)\varphi_1] - A_{12} \cos(i\varphi_2); \\ \eta = [X_A + v \cos \beta_i] \sin[(i+1)\varphi_1] + [Y_A + v \sin \beta_i] \cos[(i+1)\varphi_1] + A_{12} \sin(i\varphi_2), \end{cases} \quad (4.135)$$

căroră li se asociază condiția specifică metodei normalelor (Willis)

$$\left| \{R_{rp} \cos \varphi_1 - [X_A + v \cos \beta_i]\} \cos \beta_i + \{R_{rp} \sin \varphi_1 - [Y_A + v \sin \beta_i]\} \sin \beta_i \right| \leq \varepsilon \quad (4.136)$$

în care β_i se determină din (4.131).

În figura 4.32 și tabelul 4.11, se prezintă forma și coordonatele profilului cuțitului-roată determinate prin metoda normalelor.

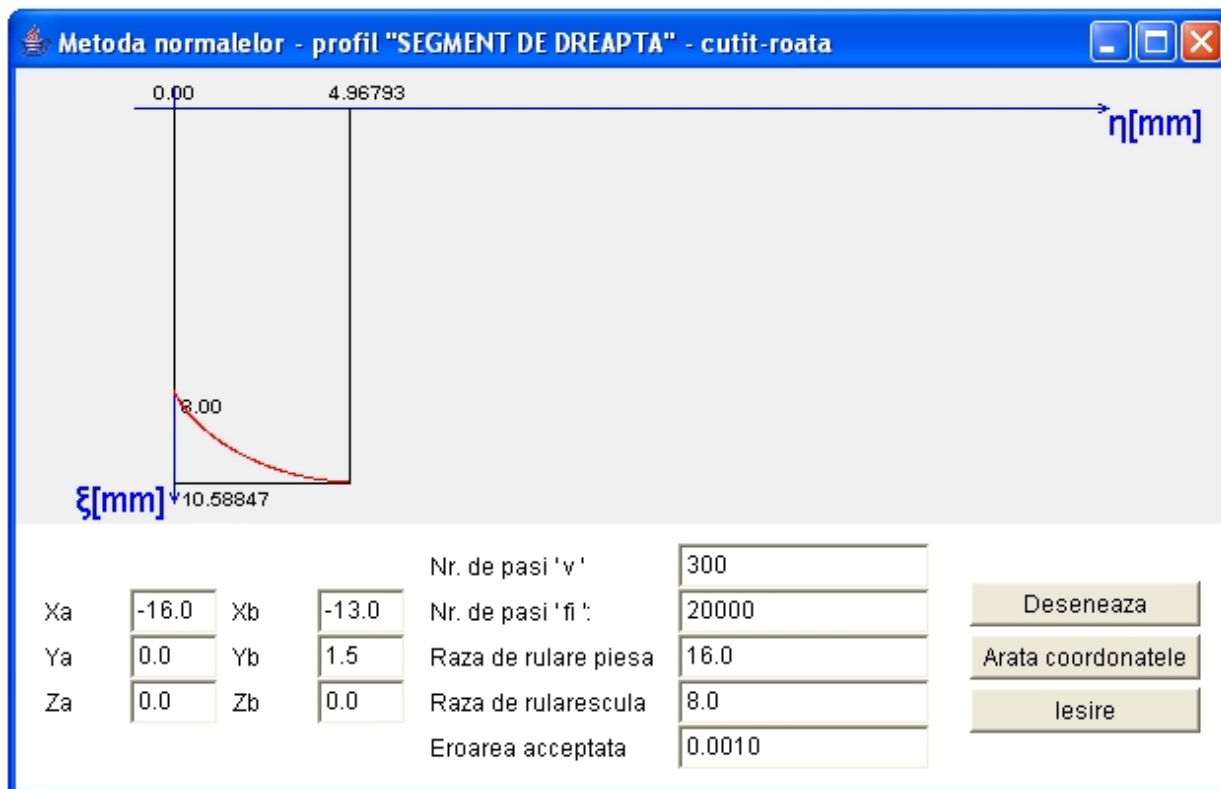


Fig. 4.33. Applet metoda normalelor pentru cuțitul-roată

Tabelul 4.11. Profilul cuțitului-roată, metoda normalelor, profil prelucrat "segment de dreaptă"

ξ [mm]	η [mm]
8.00000	0.00000
8.01006	0.00506
8.02019	0.01022
8.03039	0.01546
8.04065	0.02081
8.05098	0.02625
8.06137	0.03178
8.07183	0.03741
8.08234	0.04313
8.09292	0.04895
.....
10.57506	4.75120
10.57682	4.77518
10.57852	4.79919
10.58015	4.82324
10.58320	4.87145
10.58462	4.89561
10.58598	4.91980
10.58727	4.94402
10.58847	4.96793

. Profil circular – “metoda tangentelor”

În figura 4.34, este prezentată aplicația specifică realizată tot sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cuțitului-roată rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.12., pentru un profil de generat având coordonatele.

$$X_o = -22$$

$$Y_o = 0$$

$$r = 6 \text{ mm}$$

$$v_{\min} = -30^\circ$$

$$v_{\max} = 30^\circ$$

$$R_{rp} = 20 \text{ mm}$$

$$R_{rs} = 15 \text{ mm}$$

Tabelul 4.12. Profilul cuțitului-roată, metoda tangentelor, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ[mm]	η[mm]
17.83759	-3.41300
17.85454	-3.39106
17.87139	-3.36903
17.88407	-3.35228
17.90073	-3.33008
17.91729	-3.30779
17.92973	-3.29086
17.94610	-3.26841
17.95839	-3.25136
17.97456	-3.22875
.....
17.97062	3.23427
17.95444	3.25686
17.93815	3.27934
17.92574	3.29630
17.90926	3.31863
17.89268	3.34086
17.88002	3.35764
17.86325	3.37971
17.85045	3.39638
17.83349	3.41828

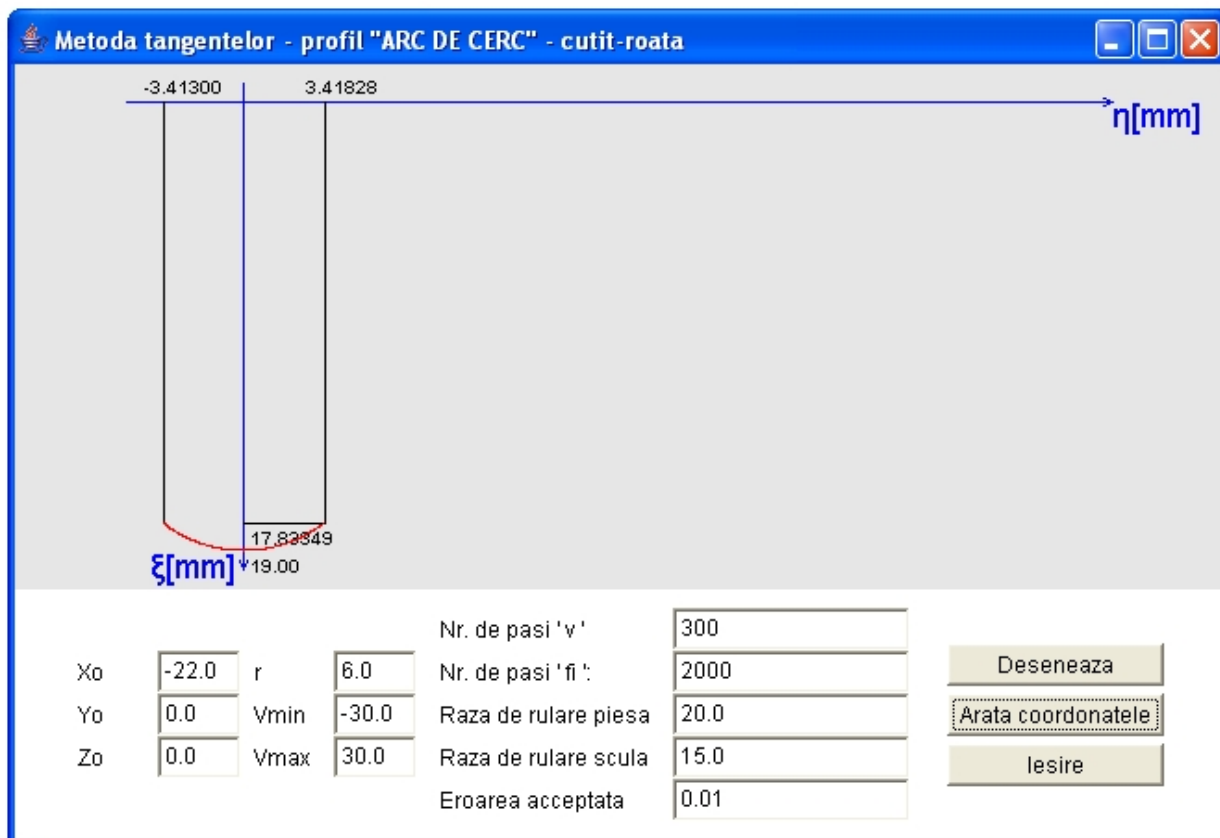


Fig.4.34.Applet metoda tangentelor pentru cușitul-roată, profil arc de cerc

. Profil circular – “metoda traiectoriilor plane de generare”

Pentru același profil de realizat, în figura 4.35 este prezentată aplicația specifică realizată sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cușitului-roată rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.13.

Tabelul 4.13. Profilul cușitului-roată, metoda traiectoriilor plane, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
17.83759	-3.41300
17.85454	-3.39106
17.87139	-3.36903
17.88407	-3.35228
17.90073	-3.33008
17.91729	-3.30779
.....
17.92574	3.29630
17.90926	3.31863
17.89268	3.34086
17.88002	3.35764
17.86325	3.37971
17.85045	3.39638
17.83349	3.41828

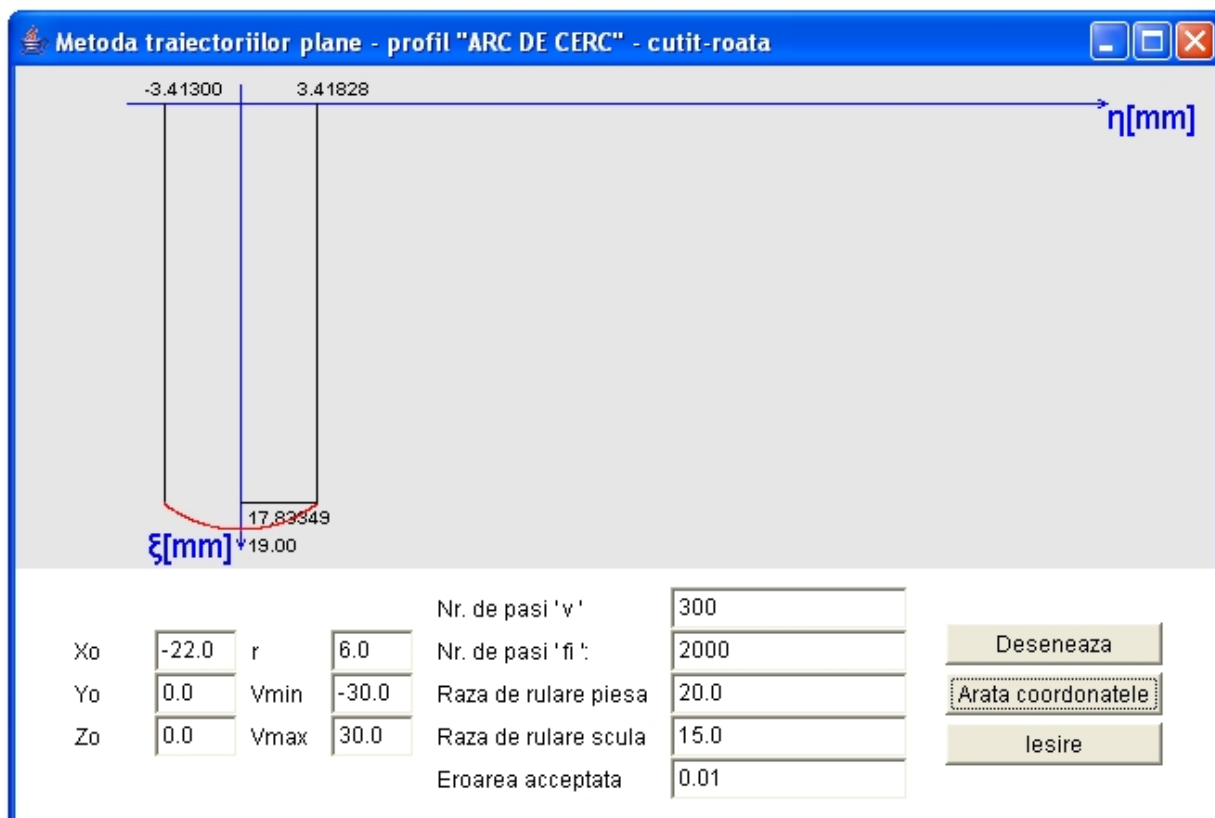


Fig. 4.35. Applet metoda traiectoriilor plane pentru cuțitul-roată, profil arc de cerc

. Profil circular – “metoda normalelor”

În figura 4.36, este prezentată aplicația specifică metodei normalelor, realizată sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cuțitului-roată rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.14, pentru același profil de realizat.

Tabelul 4.14. Profilul cuțitului-roată, metoda normalelor, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
17.83759	-3.41300
17.85454	-3.39106
17.87139	-3.36903
.....
17.92574	3.29630
17.90926	3.31863
17.89268	3.34086
17.88002	3.35764
17.86325	3.37971
17.85045	3.39638
17.83349	3.41828

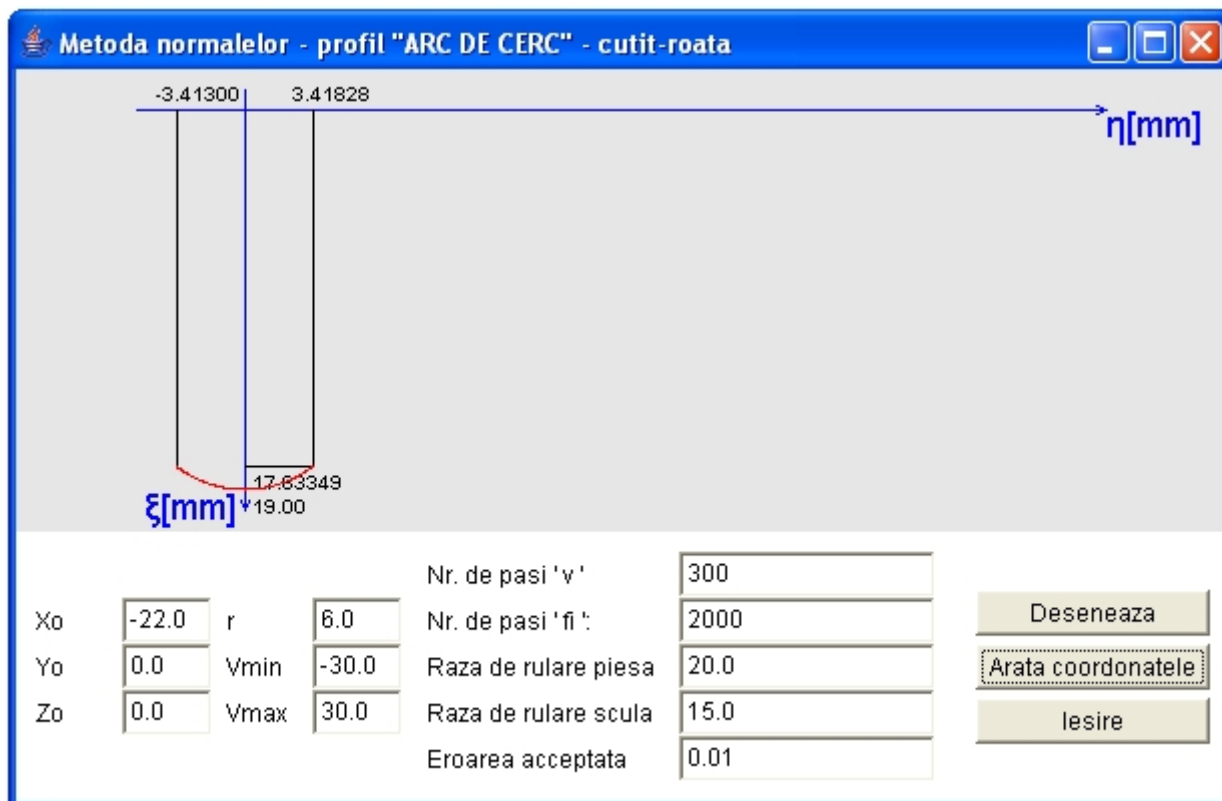


Fig. 4.36. Apolet metoda normalelor pentru cuțitul-roată, profil arc de cerc

3.5. VERIFICAREA METODEI TANGENTELOR PENTRU PROFILAREA SCULELOR DE TIP CUȚIT ROTATIV PENTRU GENERAREA PRIN ÎNFĂȘURARE

3.5.1. Profil rectiliniu – “metoda tangentelor”

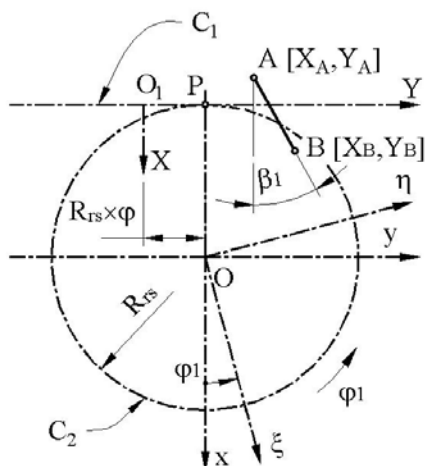


Fig. 2.37. Cuțitul rotativ, sisteme de referință

Cuțitul rotativ, așa cum este cunoscut, constituie o aplicație aparte a cuțitului-roată, la generarea profilului axial al filetelor de lungime mare.

Se definesc, cinematica specifică și sistemele de referință la generarea cu cuțite rotative, vezi figura 4.37.

C_1 este centroida asociată secțiunii axiale a filetelui generat (semifabricat);

C_2 – centroida asociată cuțitului rotativ;

XY – sistem mobil, asociat secțiunii axiale a semifabricatului;

$\xi\eta$ - sistem mobil, asociat cuțitului rotativ.

Cinematica generării presupune realizarea următoarelor mișcări:

$$x = \omega_3^T(\varphi_1) \cdot \xi, \quad (4.137)$$

reprezentând mișcarea de rotație a cuțitului rotativ;

$$X = x - a; \quad (4.138)$$

$$a = \begin{pmatrix} -R_{rs} \\ -R_{rp} \cdot \varphi_1 \end{pmatrix}; \quad (4.139)$$

reprezentând translația secțiunii axiale a filetului, astfel că, pentru o reprezentare a profilului de generat de forma (4.137), modelată cu relațiile (4.138), se obține familia de curbe:

$$\begin{cases} \xi_i = [X_i - R_{rs}] \cos \varphi_1 + [Y_i - R_{rp} \varphi_1] \sin \varphi_1; \\ \eta_i = -[X_i - R_{rs}] \sin \varphi_1 + [Y_i - R_{rp} \varphi_1] \cos \varphi_1. \end{cases} \quad (4.140)$$

Condiția de înfășurare, în corelație cu figura 2.33, are forma

$$[-Y_i + R_{rp} \varphi_1] \sin \beta_i - X_i \cos \beta_i = 0. \quad (4.141)$$

Ansamblul ecuațiilor (4.140) și (4.141) reprezintă profilul cuțitului rotativ.

În figura 4.38 și tabelul 4.15, se prezintă applet-ul specific metodei tangentelor precum și coordonatele profilului cuțitului rotativ pentru un profil de generat având coordonatele :

$$A[X_A = -10, Y_A = -10];$$

$$B[X_A = 10, Y_A = 10];$$

$$R_{rs} = 60 \text{ mm}.$$

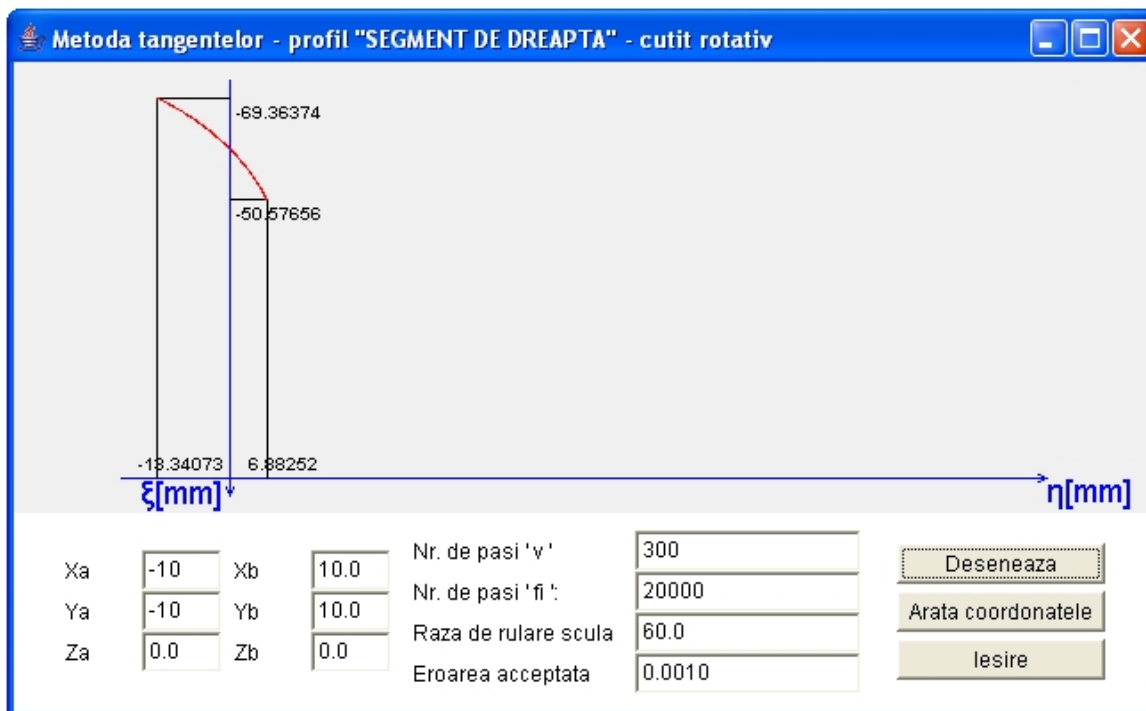


Fig. 4.38. Applet metoda tangentelor pentru cuțitul rotativ, profil rectiliniu

Tabelul 4.15. Profilul cuțitului-roată, metoda tangențelor, profil prelucrat "segment de dreaptă"

ξ [mm]	η [mm]
-69.36374	-13.34073
-69.25280	-13.11484
-69.19734	-13.00285
-69.08546	-12.77885
-69.02953	-12.66779
-68.91672	-12.44567
-68.80332	-12.22482
-68.74663	-12.11531
-68.63234	-11.89634
-68.51747	-11.67864
.....
-51.44321	6.44104
-51.32626	6.50275
-51.20979	6.56354
-51.15128	6.59383
-51.03553	6.65326
-50.92028	6.71179
-50.86236	6.74096
-50.74786	6.79815
-50.69030	6.82666
-50.57656	6.88252

Profil rectiliniu - metoda "traiectoriilor plane"

Pentru ecuațiile segmentului definite de (4.132) și familia de profiluri (4.140), condiția de înfășurare specifică metodei traiectoriilor plane de generare se obține după definirea derivatelor parțiale

$$\begin{aligned} \frac{d\xi_i}{dv} &= \frac{dX_i}{dv} \cos \varphi_1 + \frac{dY_i}{dv} \sin \varphi_1; \\ \frac{d\eta_i}{dv} &= -\frac{dX_i}{dv} \sin \varphi_1 + \frac{dY_i}{dv} \cos \varphi_1; \\ \frac{d\xi_i}{d\varphi_1} &= -[X_i - R_{rs}] \sin \varphi_1 + [Y_i - R_{rs} \cos \varphi_1] \cos \varphi_1 - R_{rs} \sin \varphi_1; \\ \frac{d\eta_i}{d\varphi_1} &= -[X_i - R_{rs}] \cos \varphi_1 - [Y_i - R_{rs} \cos \varphi_1] \sin \varphi_1 - R_{rs} \cos \varphi_1; \\ \frac{dX_i}{dv} &= \cos \beta_i; \\ \frac{dY_i}{dv} &= \sin \beta_i, \end{aligned}$$

(4.142)

și este dată de (4.143)

$$\left| \frac{\frac{d\xi_i}{d\varphi_1} - \frac{d\eta_i}{d\varphi_1}}{\frac{d\xi_i}{dv} - \frac{d\eta_i}{dv}} \right| < \varepsilon .$$

(4.143)

cu ε sufficient de mic, în corelație cu precizia dorită a cunoașterii profilului sculei.

Ansamblul format din ecuațiile familiei de profiluri (4.140) și condiția distanței minime (4.143), ținând seama de definițiile (4.142), reprezintă profilul cuțitului rotativ.

În figura 4.39 și în tabelul 4.16, sunt prezentate forma și coordonatele profilului cuțitului rotativ reciproc înfășurător modelului (2.132), având aceleași caracteristici.

<i>Tabelul 4.16. Profilul cuțitului rotativ, metoda trajectoriilor plane de generare, profil prelucrat "segment de dreaptă"</i>	
ξ[mm]	η[mm]
-69.36374	-13.34073
-69.25280	-13.11484
-69.19734	-13.00285
-69.08546	-12.77885
-69.02953	-12.66779
-68.91672	-12.44567
-68.80332	-12.22482
-68.74663	-12.11531
-68.63234	-11.89634
-68.51747	-11.67864
.....
-51.44321	6.44104
-51.32626	6.50275
-51.20979	6.56354
-51.15128	6.59383
-51.03553	6.65326
-50.92028	6.71179
-50.86236	6.74096
-50.74786	6.79815
-50.69030	6.82666
-50.57656	6.88252

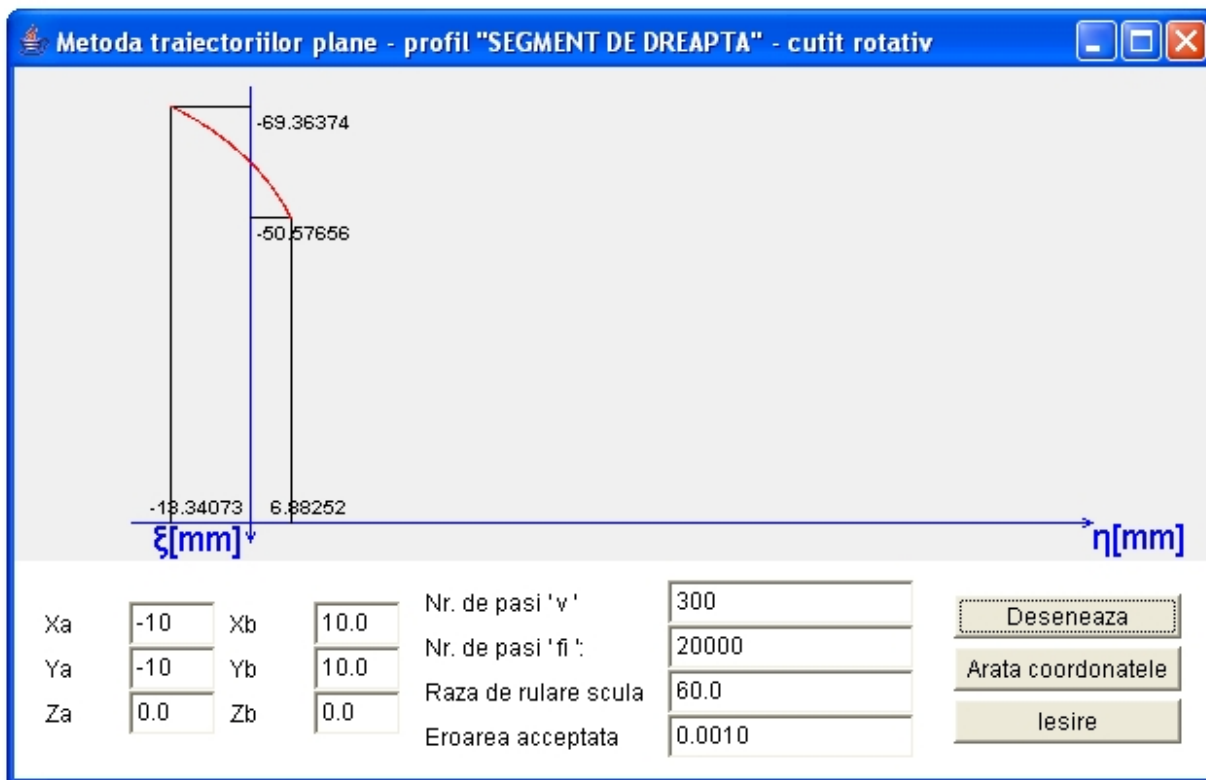


Fig. 4.39. applet metoda traiectoriilor plane pentru cuțitul rotativ, profilul rectiliniu

. Profil rectiliniu – “metoda normalelor”

Se definesc pentru profilul rectiliniu AB, familia de profiluri (4.140), precum și condiția ca normala la profil, vezi figura 4.40,

$$[X - X(v)] \frac{dX}{dv} + [Y - Y(v)] \frac{dY}{dv} = 0 \tag{4.144}$$

să intersecteze centroida

$$C_1 \lambda = \frac{X(v) \frac{dX}{dv} + Y(v) \frac{dY}{dv}}{\frac{dY}{dv}} \tag{4.145}$$

Ansamblul de ecuații (4.140) și (4.145), pentru modelul profilului secțiunii axiale în forma:

$$\begin{cases} X = X_A + v \cos \beta_i; \\ Y = Y_A + v \sin \beta_i, \end{cases} \tag{4.146}$$

reprezintă profilul cuțitului rotativ reciproc înfășurător profilului axial rectiliniu al secțiunii axiale a semifabricatului.

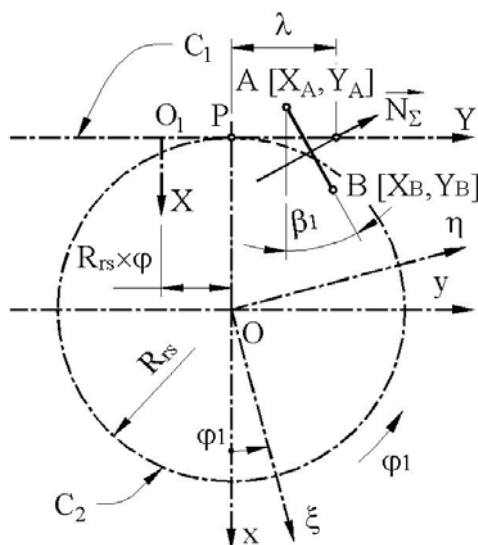


Fig. 4.40. Cuțitul rotativ, metoda „normalelor”

În figura 4.41 și în tabelul 4.17, sunt prezentate forma profilului cuțitului rotativ și mărimile coordonatelor specifice, pentru profilul de generat prezentat în 2.6.1, cu aceleași coordonate.

Tabelul 4.17. Profilul cuțitului rotativ, metoda normalelor, profil prelucrat "segment de dreaptă"

ξ [mm]	η [mm]
-69.36374	-13.34073
-69.25280	-13.11484
-69.19734	-13.00285
-69.08546	-12.77885
-69.02953	-12.66779
-68.91672	-12.44567
-68.80332	-12.22482
-68.74663	-12.11531
-68.63234	-11.89634
-68.51747	-11.67864
.....
-51.44321	6.44104
-51.32626	6.50275
-51.20979	6.56354
-51.15128	6.59383
-51.03553	6.65326
-50.92028	6.71179
-50.86236	6.74096
-50.74786	6.79815
-50.69030	6.82666
-50.57656	6.88252

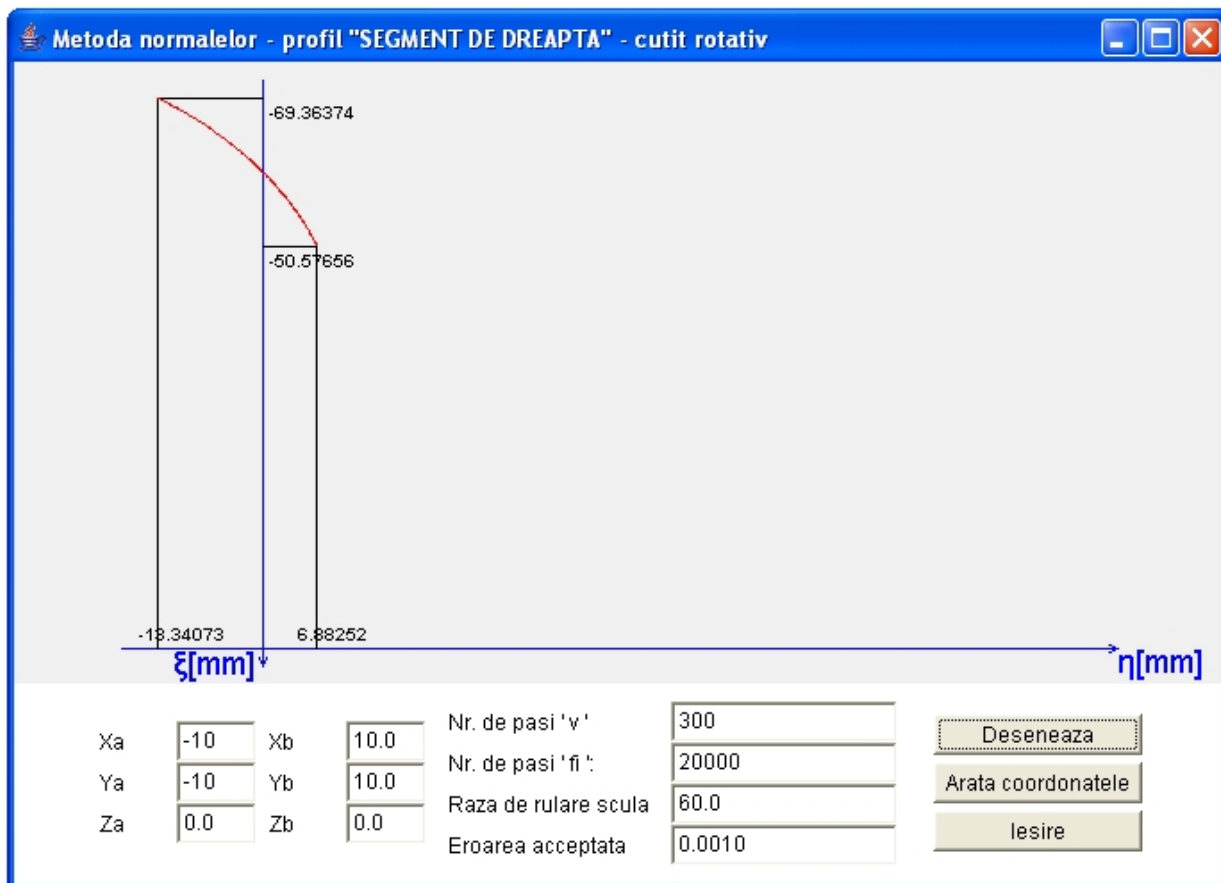


Fig. 4.41. Applet metoda normalelor pentru cuțitul rotativ, profil rectiliniu

3.5.2. Profil circular – “metoda tangentelor”

În figura 4.42, este prezentată aplicația specifică realizată tot sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cuțitului rotativ rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.18., pentru un profil de generat având coordonatele specificate și în appletul , vezi figura 4.43.

$$\left. \begin{array}{l} X_o = 3 \\ Y_o = 0 \\ r = 10 \text{ mm} \\ v_{\min} = -45^\circ \\ v_{\max} = 45^\circ \\ R_{rs} = 30 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Tabelul 4.18. Profilul cuțitului rotativ, metoda tangentelor, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
-20.85427	-8.04703
-20.80494	-8.00664
-20.74727	-7.95881
-20.69850	-7.91781
-20.64999	-7.87653
-20.60174	-7.83497
-20.54537	-7.78581
-20.49769	-7.74365
-20.45027	-7.70122
-20.39492	-7.65106
.....
-20.36237	7.62121
-20.40927	7.66411
-20.46463	7.71414
-20.51210	7.75645
-20.55984	7.79849
-20.60784	7.84025
-20.66452	7.88897
-20.71309	7.93012
-20.76190	7.97100
-20.81098	8.01159

Profil circular – “metoda traiectoriilor plane”

Pentru același profil de realizat, în figura 4.43 este prezentată aplicația specifică realizată sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cuțitului-roată rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.19.

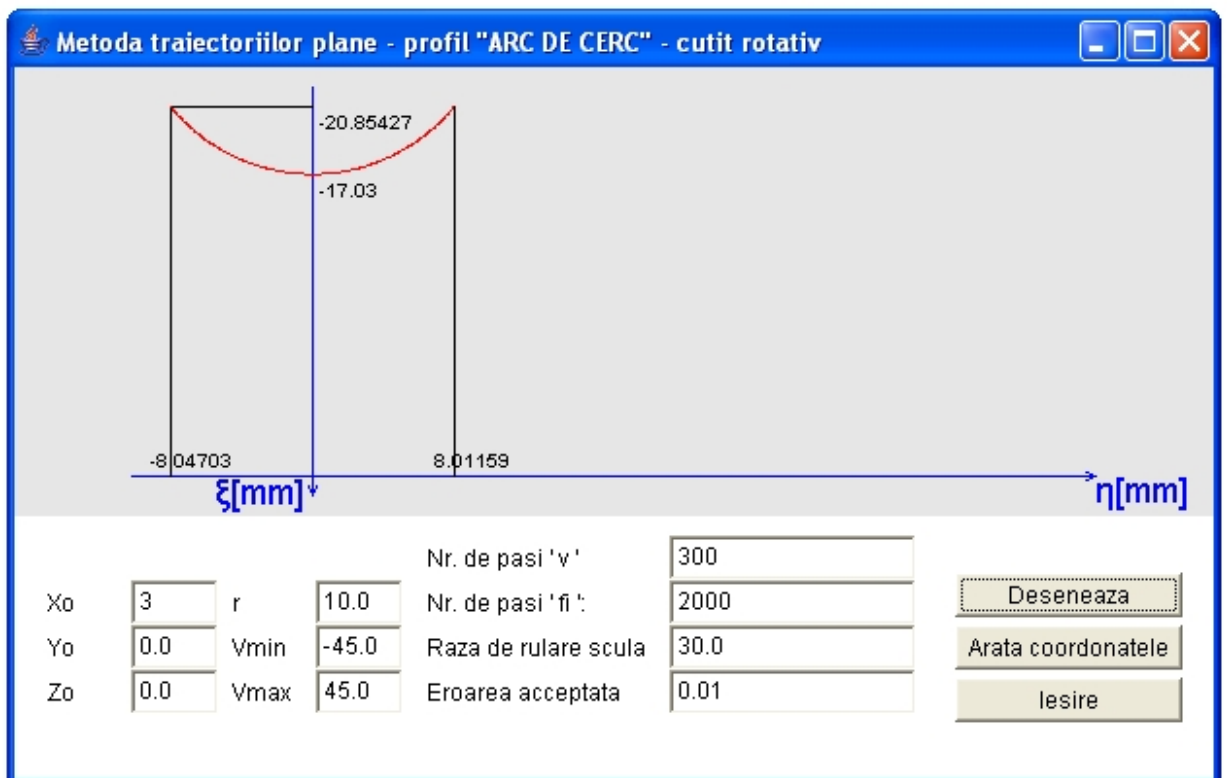


Fig. 4.43. Applet metoda traiectoriilor plane pentru cuțitul rotativ, profil arc de cerc

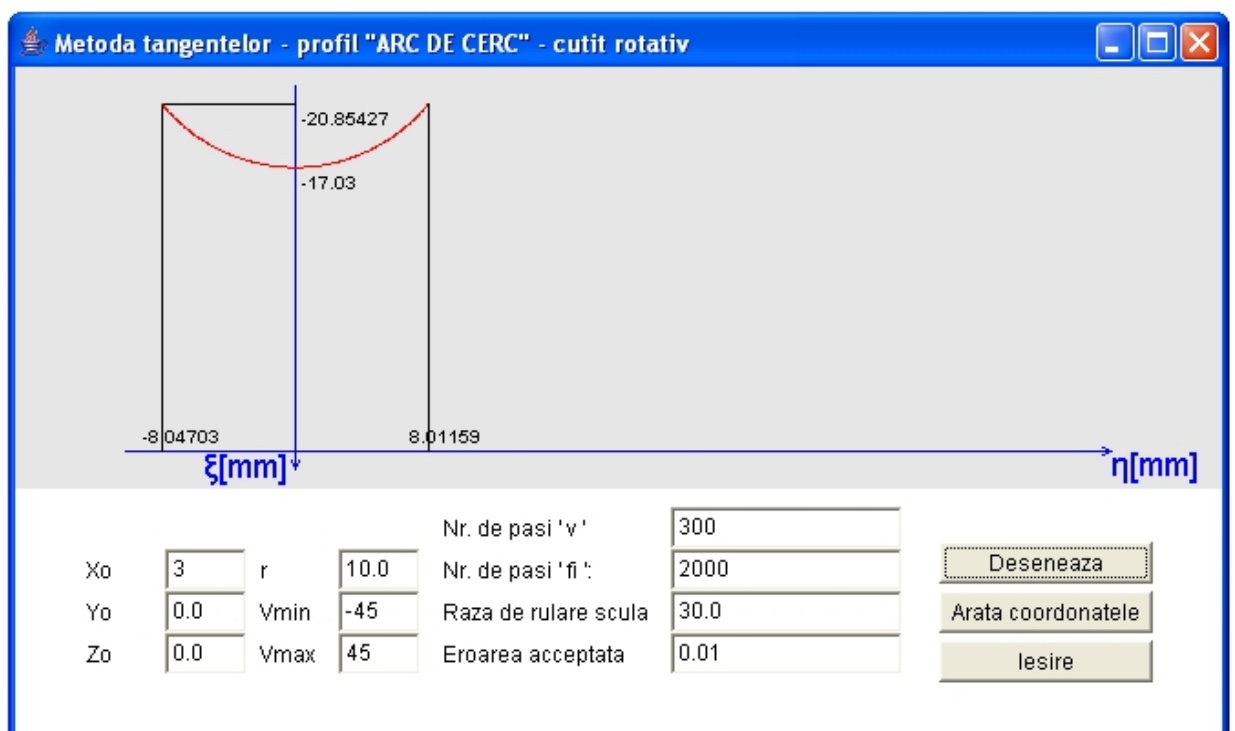


Fig. 4.42. Applet metoda traiectoriilor plane pentru cuțitul rotativ, profil arc de cerc

Tabelul 4.19. Profilul cuțitului rotativ, metoda traiectoriilor plane de generare, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
-20.85427	-8.04703
-20.80494	-8.00664
-20.74727	-7.95881
-20.69850	-7.91781
-20.64999	-7.87653
.....
-20.55984	7.79849
-20.60784	7.84025
-20.66452	7.88897
-20.71309	7.93012
-20.76190	7.97100
-20.81098	8.01159

Profil arc de cerc – “metoda normalelor”

În figura 4.44, este prezentată aplicația specifică metodei normalelor, realizată sub formă de *applet java*, iar coordonatele profilului cuțitului-roată rezultate în urma rulării sunt prezentate în tabelul 4.20, pentru același profil de realizat.

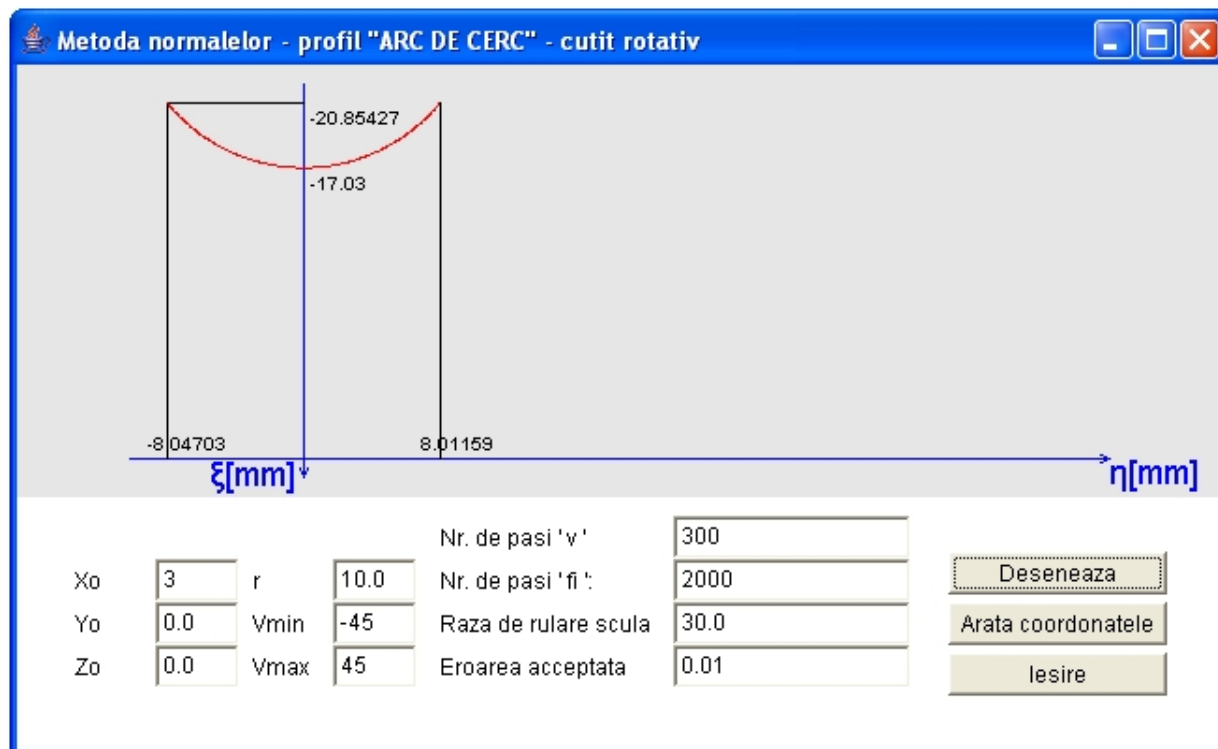


Fig. 4.44. Applet metoda traiectoriilor plane pentru cuțitul rotativ, profil arc de cerc

Tabelul 4.20. Profilul cuțitului rotativ, metoda normalelor, profil prelucrat "arc de cerc"

ξ [mm]	η [mm]
-20.85427	-8.04703
-20.80494	-8.00664
-20.74727	-7.95881
-20.69850	-7.91781
-20.64999	-7.87653
-20.60174	-7.83497
-20.54537	-7.78581
-20.49769	-7.74365
-20.45027	-7.70122
-20.39492	-7.65106
.....
-20.36237	7.62121
-20.40927	7.66411
-20.46463	7.71414
-20.51210	7.75645
-20.55984	7.79849
-20.60784	7.84025
-20.66452	7.88897
-20.71309	7.93012
-20.76190	7.97100
-20.81098	8.01159

4. CONCLUZII

•In conformitate cu Obiectivul 4 al temei de cercetare s-a sintetizat o metodă de modelare a generării suprafețelor prin înfășurare - „**metoda tangentelor**” care permite o exprimare în formă discretă. a suprafețelor, care constituie vârtejuri ordonate, asociate unor cupluri de centroide în rulare.

•Metoda permite utilizarea informațiilor preluate de la măsurarea suprafețelor, utilizând facilitati ale sistemelor CAI, în vederea abordării unor probleme specifice de corecție a erorilor de generare ale suprafețelor generate prin înfășurare.

•Această metodă are avantajul că poate permite, în condițiile în care se acceptă că cinematica generării se conservă în cadrul sistemului tehnologic, modelarea unor suprafețe generate fictive, obținute prin profilarea sculelor în scopul modelării suprafețelor generate precum și a modelării corecțiilor de formă a sculelor în vederea compensării erorilor suprafețelor efective, constată prin măsurare -**profilarea corectivă**.

• Metoda fost aplicată la profilarea sculelor de danturare de tipul sculei - cremalieră, cuțit -roata și cuțit rotativ.

• Metoda a fost atent verificată, prin compararea profilurilor sculelor de danturare cu profilurile ce se obțin prin folosirea unei metode analitice clasice

precum *metoda normalelor* sau a unor metode complementare : *metoda distanței minime* ; *metoda familiei de cercuri de substituire* ; *metoda traiectoriilor plane de generare*, pentru profilurile elementare- segment de dreaptă și arc de cerc.

- Rezultatele modelelor numerice obținute și prezentate în lucrare dovedesc calitatea metodei propuse. În toate cazurile în care numărul de puncte considerate în lungul profilurilor de generat este același, coordonatele profilurilor sculelor rezultă identice , indiferent de metoda de profilare utilizată

- Metoda tangentelor, ca metodă pentru studiul suprafețelor în înfășurare, poate fi utilizată și pentru exprimarea , în forma discretă și a suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant

- Metoda tangentelor poate fi extinsă și pentru profilarea sculelor specifice pentru generarea prin înfășurare a acestor tipuri de suprafețe cum ar fi: scula -disc , scula cilindro frontală și scula cilindrică.

- În baza algoritmilor prezentați în cadrul lucrării, a fost realizat un produs soft în limbajul de programare *java*, care prezintă sub forma unui *applet* ,cu ferestre de dialog pentru introducerea caracteristicilor dimensionale ale profilurilor de generat , a dimensiunilor centroidelor asociate vârtejului de suprafețe de generat și al sculei, a nivelului de eroare cu care se determină condiția de înfășurare .

- Programul permite trasarea în formă grafică a profilurilor sculei , pentru toate tipurile de scule analizate, precum și prezentarea coordonatelor calculate a profilurilor în formă text.

- Metoda tangentelor poate extinsă și pentru profilarea sculelor care generează cu contact punctiform , în speță, scula – melc.

- Cercetarea va fi devoltată , în conformitate cu programul de cercetare, în vederea realizării de algoritmi specifici și a unui produs soft dedicat, în baza metodei tangentelor, în vederea realizării unor metode de modelare a profilării corective a sculelor generatoare

5. BIBLIOGRAFIE

1. Ahn, K.-G., Min, B.-K., Pasek, Z.J., *Modeling And Compensation Of Geometric Errors In Simultaneous Cutting Using A Multi-Spindle Machine Tool*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29, 2006, pag. 929-939.
2. Anca, S., Pruteanu, O., Paraschiv, D., *Study Of The Influence Of The Rack-Shaped Cutter Rotation Around Its Own Axis On The Precision Of Profile Of The Threads Processed Through Chip Removal On The Lathe*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Publicat de Universitatea Tehnică „Gh. Asachi“, Iași, Tomul LII (LVI), fasc.5A, 2006, pag. 265-269
3. Argyris, J., Fuentes, A., Litvin, F. L., *Computerized Integrated Approach For Design And Stress Analysis Of Spiral Bevel Gears*, Computational Methods for Applied Mechanical Engineering , 191, 2002, pag. 1057-1095.
4. Baicu, I., *Cercetări privind utilizarea modelării 3D pentru algoritmizarea profilării sculelor așchietoare*. Teză de doctorat, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, 2002.
5. Baicu, I., Oancea, N., *Modelarea generării suprafețelor prin metoda grafica a traiectoriilor*. În: Acta Universitatis Cibiniensis, Vol. XLIV-Seria tehnica A. Știința și

- Tehnologia Materialelor, Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu, 2001, pag. 31-36
6. Burghilă, A., *Elaboration Of Guidance Device For Prediction Of Precision And Quality Of Machining The Profilecomposite Stocks By Band Creep Feed Grinding*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Publicat de Universitatea Tehnică „Gh. Asachi“, Iași, Tomul LII (LVI), fasc.5A, 2006, pag. 37-40
 7. Cărean, A., Cărean, M., Borzan, M., *Analysis Of The Opportunities Of Minimizing The Cutting Tool Path At CNC Machining*, International Conference On Manufacturing Systems, Bucharest, Published by Editura Academiei Române, ISSN 0035-4074, 2004, pag. 563-566.
 8. Chang, P.-C., Wang, F.-S., Hwang, J.-H., Chen, W.-F., *Research On The Design And Manufacturing Of An Outer Cycloid Slotting Cutter*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27, 2005, pag. 248–253.
 9. Chen, W.-F., Lai, H.-I., Chen, C.-K., *Design And NC Machining Of Concave-Arc Ball-End Milling Cutters*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20, 2002, pag. 169–179.
 10. Cho, M.-W., Kim, G.-H., Seo, T.-I., Hong, Y.-C., Cheng, H.-H., *Integrated Machining Error Compensation Method Using OMM Data And Modified PNN Algorithm*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 2006, pag. 1417-1427.
 11. Crichigno, F.J.M., Teixeira, C.R., Schroeter, R.B., *Prediction Of The Cutting Tool Edge Position And Orientation Accuracy Through Error Synthesis Of Spindle Elements*, ProQuest Science Journals, 219, 2005, pag. 477-482.
 12. Croitoru, S.M., Minciuc, C., Constantin, G., Bălan, E., *Modeling And Simulation Of Oil Pump Valve Static Behaviour*, International Conference On Manufacturing Systems, Bucharest, Published by Editura Academiei Române, ISSN 0035-4074, 2004, pag. 571-574.
 13. Dobre, G., Ghionea, A., Mirica, R.F., *On Depending The Counterpart Rack Flanks For Modeling The Hypocycloidal Curve Cylindrical Tothing*, International Conference On Manufacturing Systems, Bucharest, Published by Editura Academiei Române, ISSN 0035-4074, ISBN 973-27-0932-4, 2002, pag. 113-116.
 14. Frumușanu, G., *Algorithm And Soft To Evaluate The Errors Between Profiles Given Through Points*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Publicat de Universitatea Tehnică „Gh. Asachi“, Iași, Tomul LII (LVI), fasc.5A, 2006, pag. 119-123
 15. Fulin, W., Chuanyun, Y., Tao, W., Yang, S., Zhao, G., *A Generating Method For Digital Gear Tooth Surfaces*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28, 2006, pag. 474–485.
 16. Fung, E.H.K., Chan, J.C.K., *Modelling And Compensation Of Roundness Errors In Taper Turning*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, pag. 404–412, 2000
 17. Ghiță, E., *Contribuții la studiul prelucrabilității prin așchiere a suprafețelor poliforme*. Teză de doctorat, Universitatea “Dunarea de Jos” din Galați, 1990.
 18. Ghiță, E., Ghiță, D., *New Consideration Regarding The Grinding Of The Polycentric Surfaces*, International Conference On Manufacturing Systems, Bucharest, Published by Editura Academiei Române, ISSN 0035-4074, ISBN 973-27-0932-4, 2002, pag. 217-220.
 19. Jian, L., Hongxing, L., *Modeling System Error In Batch Machining Based On Genetic Algorithms*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 2003, pag. 599-604.
 20. Jung, T.-S., Yang, M.-Y., Lee, K.-L., *A New Approach To Analysing Machined Surfaces By Ball-End Milling, Part I: Formulation Of Characteristic Lines Of Cut Remainder*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25, 2005, pag. 833–840.

21. Lai, H.-Y., *A High-Precision Surface Grinding Model For General Ball-End Milling Cutters*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19, 2002, pag. 393–402.
22. Lee, J.H., Liu, Y., Yang, S.H., *Accuracy Improvement Of Miniaturizing Machine Tool: Geometric Error Modeling And Compensation*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46, 2006, pag. 1508-1516.
23. Li, C., Mann, S., Bedi, S., *Error Measurement For Flank Milling*, Computer-Aided Design, 37, 2005, pag. 1459-1468.
24. Litvin, F.L., Fuentes, A., Fan, Q., Handschuh, R.F., *Computerized Design, Simulation Of Meshing And Contact And Stress Analysis Of Face-Milled Formate Generated Spiral Bevel Gears*, Mechanism and Machine Theory, 37, 2002, pag. 441-459.
25. Litvin, F.L., Wang, A.G., Handschuh, R.F., *Computerized Generation And Simulation Of Meshing And Contact Of Spiral Bevel Gears With Improved Geometry*, Computational Methods for Applied Mechanical Engineering, 158, 1998, pag. 35-64.
- 26.
27. Litvin, F.L., Fuentes, A., Mullins, B.R., Woods, R., *Computerized Design, Generation, Simulation Of Meshing And Contact, And Stress Analysis Of Formate Cut Spiral Bevel Gear Drives*, NASA/CR—2003-212336, ARL—CR—525, 2003.
28. Litvin, F.L., *Gear Geometry And Applied Theory*, Prentice Hall, 1994
29. Litvin, F.L., Zhang, Y., *Local Synthesis And Tooth Contact Analysis Of Face-Milled Spiral Bevel Gears*, NASA Contractor Report 4342, AVSCOM Technical Report 90-C-028, 1991
30. Litvin, F.L., Zhao, X., *Computerized Design And Analysis Of Face-Milled, Uniform Tooth Height, Low-Noise Spiral Bevel Gear Drives*, NASA Contractor Report 4704, 1996
31. Mainar, E., Pěna, J.M., *Error Analysis Of Corner Cutting Algorithms*, Numerical Algorithms, 22, 1999, pag. 41–52.
32. Minciuc, C., Croitoru, S.M., Ilie, S., *Aspects Regarding Generation Of Non-Involute Gear Profiles*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 311-314.
33. Minciuc, C., Croitoru, S.M., Ilie, S., *Numeric Applications Regarding Determination Of The Complementary Profiles In Gear Hobbing*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 315-318.
34. Oancea, N., Oancea, V.G., *Geometrical Design Of Cutting Tools With Surfaces Of Revolution*. În: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 221, part C, 1997, pag. 559-566.
35. Oancea, N., Oancea, V. G., *A New Method for Modeling Cutting Tools Associated with Rolling axoides*. În: Design Engineering, Technical Conference, Atlanta, GA 1998, pag. 404.
36. Oancea, N., *A New Method In Profiling Of The Tools Which Work By Wrapping Up*, În: Tecnica Italiana nr. 2, 1992, pag. 85-94.
37. OANCEA, N., GENERAREA SUPRAFETELOR PRIN ÎNFĂȘURARE, VOL I, EDITURA FUNDAȚIEI UNIVERSITARE ”DUNĂREA DE JOS”, GALAȚI, 2004.
38. Oancea, N., *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Vol. I. Teoreme Fundamentale*. Editura Fundației Universitare “Dunărea de Jos” din Galați, ISBN 973-627-106-4, 2004.
39. Oancea, N., *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Vol. II. Teoreme Complementare*. Editura Fundației Universitare “Dunărea de Jos” din Galați, 2005.
40. Oancea, N., Teodor, V., *Method Of The Generation Trajectories. Generation Of The*

- Helical Surfaces. The Face-Mill Tool*, În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul XLIX (LIII), ISSN 1582-6392, 2003, pag. 115-120.
41. Oancea, N., Teodor, V., **Cucu, M.**, *Discretely Known Reciprocally Enwrapping Surfaces Representation Model – Surface's Polyhedron Representation Method*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Publicat de Universitatea , Tehnica "Gh. Asachi" , Iasi Tomul LII (LVI) , Fasc. 5, A, Sectia Constructii de Masini, 2006 , pag. 222-228.
 42. Oancea, N., Teodor, V., **Cucu, M.**, *Discretely Known Reciprocally Enwrapping Surfaces Representation Model - Software's Descriptions*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Publicat de Universitatea , Tehnica "Gh. Asachi" , Iasi Tomul LII (LVI) , Fasc. 5A, Sectia Constructii de Masini, 2006, pag. 229-232.
 43. Oancea, N., Teodor, V., **Cucu, M.**, *Discretely Known Reciprocally Enwrapping Surfaces Representation Model – Algorithms*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Publicat de Universitatea , Tehnica "Gh. Asachi" , Iasi Tomul LII (LVI) , Fasc. 5, A, Sectia Constructii de Masini, 2006, ISSN 1582-6392, , pag. 217-221.
 44. Raicu, L., Ioniță, E., Vasilescu, I.A., *Computer Aided Design Of Involute Gear Cutter*, International Conference On Manufacturing Systems, Bucharest, Published by Editura Academiei Române, ISSN 0035-4074, 2004, pag. 603-606.
 45. Rao, V. S., Yoon, K.Y., *Minimization Of Transmission Error In Helical Gears*. În: Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 215, Part. C, 2001, pag. 447-459.
 46. Rao, V.S., Rao, P.V.M., *Tool Deflection Compensation In Peripheral Milling Of Curved Geometries*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46, 2006, pag. 2036-2043.
 47. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *An Advanced FEA Based Force Induced Error Compensation Strategy In Milling*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46, 2006, pag. 542-551.
 48. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *Error Compensation Strategy In Milling Flexible Thin-Wall Parts*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 162-163, 2005, pag. 673-681.
 49. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *Milling Error Prediction And Compensation In Machining Of Low-Rigidity Parts*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 44, 2004, pag. 1629-1641.
 50. Sabri, T.E., Can, C., *A Cutting Force Induced Error Elimination Method For Turning Operations*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 170, 2005, pag. 192-203.
 51. Sandu, C., Ghionea, A., Sandu, C., *Virtual Hobbing Machine*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 137-140.
 52. Sandu, C., Ispas, C., Sandu, C., *Technical Support Design Of A Virtual Machine*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 323-325, pag. 141-144.
 53. Sandu, I.-G., Străjescu, E., *Contributions At The Theory Of The Generation Of The Directrix And Generatrix Curves Of The Geometrical Surfaces*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 323-325.
 54. Sandu, I.-G., Străjescu, E., *Theoretical Studies About The Generation Of The Complex Surfaces*, Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Published by Editura Academiei Române, 2006, ISSN 1842-3183, pag. 327-330.
 55. Suh, S.-H., Lee, E.-S., Jung, S.-Y., *Error Modelling And Measurement For The*

- Rotary Table Of Five-Axis Machine Tools*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14, 1998, pag. 656-663.
56. Takahashi, S., *Variational design of curves and surfaces using multiresolution constraints*, The Visual Computer, 14, 1988, pag. 208-227.
 57. Yang, S., Yuan, J., Ni, J., *Accuracy Enhancement Of A Horizontal Machining Center By Real-Time Error Compensation*, Journal of Manufacturing Systems, 2, 1996, pag. 113-118.
 58. Yang, S.-C., *Mathematical Model Of A Helical Gear With Asymmetric Involute Teeth And Its Analysis*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26, 2005, pag. 448-456.
 59. Yang, S.-H., Kim, K.-H., Park, Y.K., Lee, S.-G., *Error Analysis And Compensation For The Volumetric Errors Of A Vertical Machining Centre Using A Hemispherical Helix Ball Bar Test*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 23, 2004, pag. 495-500.

CUPRINS

1. Rezumat.....	157
2. Premise stiintifice	157
3. Material și metodă.....	162
3.1. Metoda tangentelor aplicată profilării sculelor care generează prin înfășurare prin metoda rulării	162
3.2. Aplicații ale metodei tangentelor la generarea suprafețelor elicoidale	168
3.3. Verificarea metodei tangentelor pentru profilarea sculelor de tip cremalieră pentru generarea prin înfășurare	173
3.3.1. Profil rectiliniu - metoda tangentelor	174
3.3.2. Profil circular - metoda tangentelor	184
3.4. Verificarea metodei tangentelor pentru profilarea sculelor de tip cuțit-roată pentru generarea prin înfășurare	188
3.4.1.. Profil rectiliniu – “metoda tangentelor”	188
3.5. Verificarea metodei tangentelor pentru profilarea sculelor de tip cuțit rotativ pentru generarea prin înfășurare.....	197
3.5.1. Profil rectiliniu – “metoda tangentelor”	197
3.5.2. Profil circular – “metoda tangentelor”	203
4. Concluzii	207
5. Bibliografie	208

4.2 MODELĂRI ALE UNOR SUPRAFETE CU EVOLUȚIE CONTINUĂ ÎN SCOPUL RECONFIGURĂRII UNOR MAȘINI DE RECTIFICAT – SUPRAFETE POLIFORME CONICE

1. REZUMAT

În cadrul acestui obiectiv s-au imaginat scheme cinematice de reconfigurare al unei masini de rectificat rotund, în scopul modelarii unor noi tipuri de suprafețe - suprafețe cu evoluție continuă (suprafețe poliforme conice). Pentru modelarea numerică s-au elaborat modele matematice ale acestor tipuri de suprafețe și produse soft dedicate

2. PREMISE ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Suprafețele poliforme, ca o clasă aparte de suprafețe, pot fi utilizate în multiple scopuri, în special în construcția organelor de mașini, care transmit momente de torsiune.

S-au prezentat modelări ale generării unor tipuri de astfel de suprafețe – suprafețe de tip cilindric.

Lărgirea domeniului de utilizare a unor astfel de suprafețe a impus crearea unor modele și, de aici, a unor tehnologii specifice pentru generarea și a altor tipuri de suprafețe poliforme – suprafețe poliforme conice.

Se sintetizează, în cele ce urmează, atât modele analitice cât și modelări ale acestor tipuri de suprafețe realizate prin metodele specifice ale modelării solide.

Este evident, modelele analitice se bazează pe teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor. În multe situații, este mai comodă, totuși, utilizarea unora dintre teoremele complementare.

Se propune, în cele ce urmează, o metodică de modelare a suprafețelor poliforme conice utilizând un corp generator plan. Metodologia, aplicabilă pe mașini universale de rectificat, prezintă avantajul unei soluții mai simple, ceea ce poate conduce la o mai mare precizie de modelare a arborelui poliform.

3. METODE ȘI REZULTATE

3.1. Suprafețe cuprinse, sisteme de referință și mișcări de generare

3.1.1. Modelarea generării cu suprafețe plane

În figura 1, se prezintă sistemele de referință față de care sunt referite planul generator și, totodată, suprafața de generat (arborele poliform).

Suprafața de generat execută o mișcare planetară, în ansamblul mișcărilor de rotație în jurul axelor Δ_1 și Δ_2 . Planul generator P este definit ca un plan înclinat cu unghiul α față de axa z și aflat la distanța A_{12} , măsurată în planul transversal al arborelui generat, care corespunde planului $\xi\eta$, ($\zeta=0$).

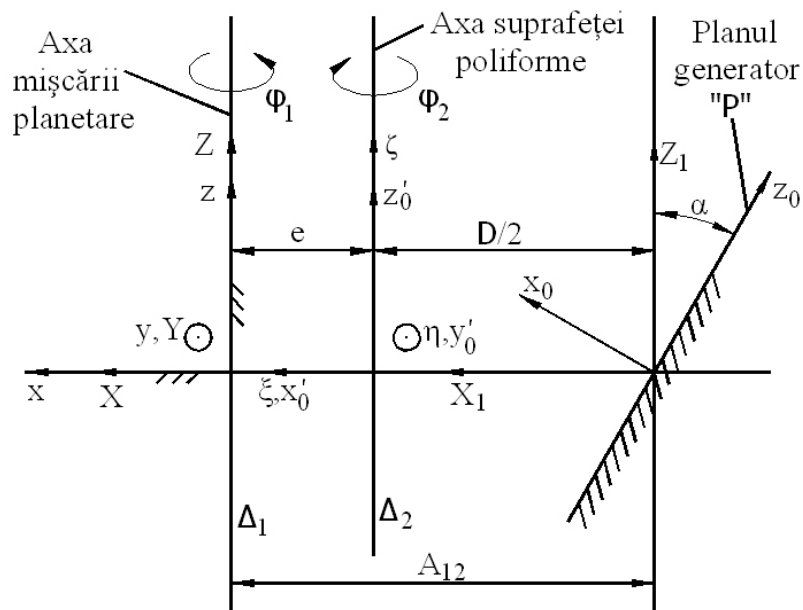


Fig.4.1. Cinematica generării suprafeței poliforme utilizând un plan generator

Se definesc sistemele de referință:

XYZ este un sistem de referință mobil cu axa Z suprapusă axei mișcării planetare Δ_1 ;

$x'_0 y'_0 z'_0$ – sistem de referință mobil, solidar cu XYZ, aflat în mișcare de rotație în jurul axei Δ_1 ;

$x_0 y_0 z_0$ – sistem de referință fix, solidar planului generator, plan materializat de suprafața frontală a unui corp abraziv;

xyz – sistem de referință fix, axa z fiind suprapusă axei mișcării planetare Δ_1 ;

$X_1 Y_1 Z_1$ – sistem de referință fix, solidar cu $x_0 y_0 z_0$, totodată solidar planului generator și având axele paralele cu XYZ.

De asemenea, se definesc pozițiile sistemelor de referință:

- e este excentricitatea (brațul manivelei în mișcarea planetară);

- A_{12} - distanța între axele z și z_0 , în planul xy al sistemului fix;

- $D/2$ - distanța între originile sistemelor $\xi\eta\zeta$ și $x_0 y_0 z_0$, în planul xy, în legătură cu dimensiunea caracteristică a arborelui poliform în acest plan;

- α - unghiul de înclinare al generatoarei suprafeței poliforme conice.

Este evidentă corelația

$$A_{12} = e + \frac{D}{2}. \quad (4.1)$$

• Cinematica procesului de generare

Suprafața poliformă este generată în mișcarea planetară: rotații de unghi φ_1 și, respectiv, φ_2 în jurul axelor Δ_1 (axa fixă) și Δ_2 (axa suprafeței generate).

Astfel, rotația sistemului $\xi\eta\zeta$ în jurul axei z'_0 este descrisă de transformarea

$$x'_0 = \omega_3^T (-\varphi_2) \xi. \quad (4.2)$$

De asemenea, rotația sistemului XYZ, în jurul axei Z (identică cu z), de unghi φ_1 , are forma

$$x = \omega_3^T (\varphi_1) X. \quad (4.3)$$

Este definibilă poziția relativă a sistemelor de referință:

$$X = x'_0 - e; \quad (4.4)$$

$$e = \begin{pmatrix} e \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (4.5)$$

$$X_1 = x - A; \quad (4.6)$$

cu

$$A = \begin{pmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (4.7)$$

Se determină mișcarea absolută

$$X_1 = \omega_3^T (\varphi_1) [\omega_3^T (-\varphi_2) \xi - e] - A, \quad (4.8)$$

a sistemului de referință mobil al suprafeței generate, $\xi\eta\zeta$, față de sistemul $X_1Y_1Z_1$, solidar planului generator, precum și “inversa” acesteia,

$$\xi = \omega_3 (-\varphi_2) [\omega_3 (\varphi_1) [X_1 + A] + e], \quad (4.9)$$

privită ca mișcare relativă a planului generator în raport cu sistemul de referință al viitoarei suprafețe generate, $\xi\eta\zeta$.

• Familia de planuri generatoare

În mișcarea (4.9), planul generator – P descrie o familie a cărei înfășurătoare este suprafața conică a arborelui poliform.

Dacă în sistemul de referință $x_0y_0z_0$ se definește planul generator

$$P: \begin{cases} x_0 = 0; \\ y_0 = u; \\ z_0 = t, \end{cases} \quad (4.10)$$

cu u și t variabile independente, prin transformarea de coordonate

$$X_1 = \alpha x_0, \quad \alpha = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad (4.11)$$

se determină ecuațiile parametrice ale planului generator în sistemul $X_1Y_1Z_1$,

$$P: \begin{cases} X_1 = -t \sin \alpha; \\ Y_1 = u; \\ Z_1 = t \cos \alpha. \end{cases} \quad (4.12)$$

În (4.11) și (4.12), cu α s-a notat unghiul de înclinare al planului generator față de axa mișcării planetare, axa Δ_1 .

Astfel, cunoscută fiind mișcarea (4.9) și ecuațiile planului generator, se determină familia de suprafețe plane în sistemul $\xi\eta\zeta$,

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -A_{12} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\} + \begin{pmatrix} e \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

sau, după dezvoltare,

$$(P)_{\varphi_1} : \begin{cases} \xi = [X_1 - A_{12}] \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + Y_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + e \cos \varphi_2; \\ \eta = -[X_1 - A_{12}] \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + Y_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + e \sin \varphi_2; \\ \zeta = Z_1. \end{cases} \quad (4.14)$$

Ecuțiile 4.(14) reprezintă, generic, o familie de suprafețe.

Dacă se face trimitere explicit la ecuațiile (4.12) - planul generator - atunci, ecuațiile (14) capătă forma, vezi (4.15),

$$(P)_{\varphi_1} : \begin{cases} \xi = [-t \sin \alpha - A_{12}] \cos(1-i)\varphi_1 + u \sin(1-i)\varphi_1 + e \cos(i\varphi_1); \\ \eta = -[-t \sin \alpha - A_{12}] \sin(1-i)\varphi_1 + u \cos(1-i)\varphi_1 + e \sin(i\varphi_1); \\ \zeta = t \cos \alpha, \end{cases} \quad (4.15)$$

împreună cu corelația între unghiurile de rotație, φ_1 și φ_2 ;

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = i - \text{raportul de transmitere.} \quad (4.16)$$

În mod frecvent, raportul de transmitere “i” are valorile:

$$i = \frac{1}{2}; \frac{1}{3}; \frac{1}{4}, \quad (4.17)$$

pentru tipurile de suprafețe poliforme uzuale.

Înfășurătoarea familiei de plane (4.15) constituie suprafața poliformă generată.

NOTĂ

Metoda de generare nu poate fi aplicată pentru generarea suprafețelor cuprinzătoare (alezaje) decât pentru un caz particular: planul P degenerază la o dreaptă.

Pentru $t=0$ și $u=0$, se determină punctul generator al profilului poliform în planul transversal acestuia, familia $(P)_{\varphi_1}$ reducându-se la:

$$\begin{cases} \xi = -A_{12} \cos(1-i)\varphi_1 + e \cos(i\varphi_1); \\ \eta = A_{12} \sin(1-i)\varphi_1 + e \sin(i\varphi_1); \\ \zeta = 0. \end{cases} \quad (4.18)$$

Cazului prezentat îi corespunde generarea cu un punct, cazul practic constituindu-l strunjirea interioară.

- **Condiția de înfășurare**

Așa cum este cunoscut, înfășurătoarea familiei de plane - $(P)_{\varphi_1}$ se obține alăturând ecuațiilor familiei condiția de înfășurare scrisă pentru profilul din planul

$$\zeta = H \quad (H - \text{mărime arbitrară}) \quad (4.19)$$

care, ținând seama de (15), devine

$$t = \frac{H}{\cos \alpha}. \quad (4.20)$$

Astfel, pentru ecuația “trajectoriilor plane de generare”

$$\frac{\xi'_{\varphi_1}}{\xi'_u} = \frac{\eta'_{\varphi_1}}{\eta'_u}, \quad (4.21)$$

se calculează derivatele parțiale, din (15) și (20):

$$\begin{aligned} \xi'_{\varphi_1} &= -[-t \sin \alpha - A_{12}](1-i) \sin[(1-i)\varphi_1] + u(1-i) \cos[(1-i)\varphi_1] - ei \sin(i\varphi_1); \\ \eta'_{\varphi_1} &= -[-t \sin \alpha - A_{12}](1-i) \cos[(1-i)\varphi_1] + u(1-i) \sin[(1-i)\varphi_1] + ei \cos(i\varphi_1); \\ \xi'_u &= \sin[(1-i)\varphi_1]; \\ \eta'_u &= \cos[(1-i)\varphi_1]. \end{aligned}$$

(4.22)

După dezvoltare, condiția de înfășurare se reduce la forma

$$u = e^{\frac{i}{i-1} \sin \varphi_1}. \quad (4.23)$$

Ansamblul de ecuații (4.18) și 4.23), în diferitele plane H, reprezintă profilul arborelui poliform conic.

* *
*

3.1.2. Modelarea generării cu suprafețe cilindrice

Există posibilitatea generării suprafețelor poliforme exterioare utilizând

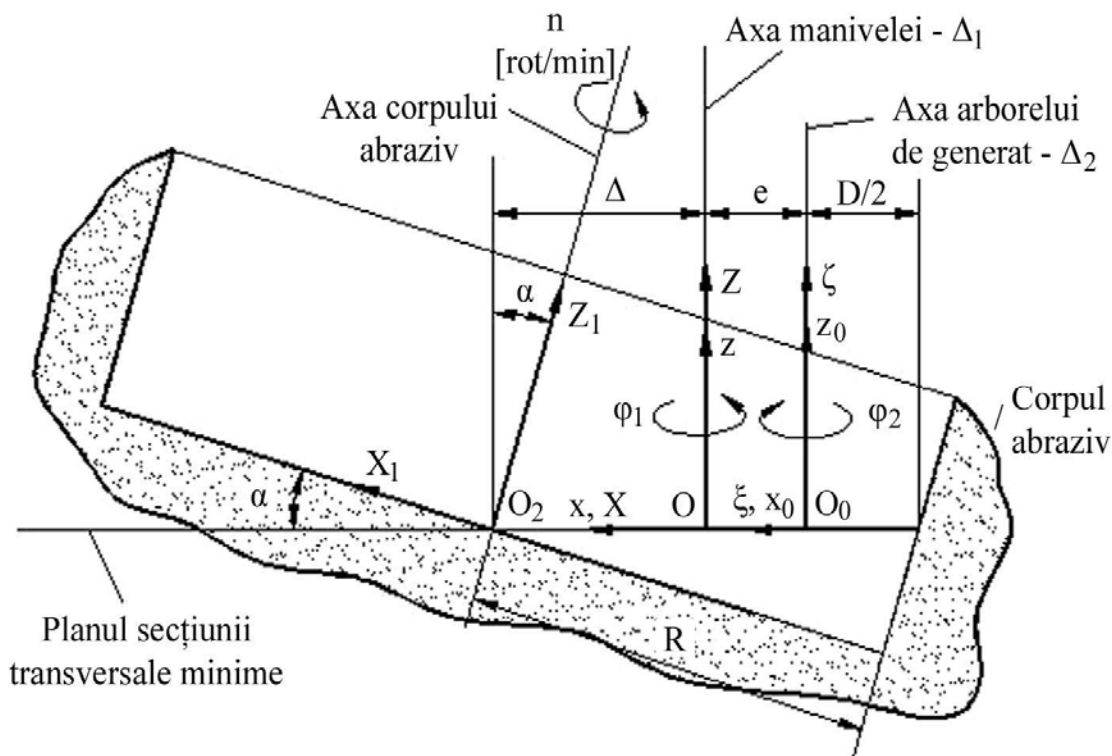


Fig.4.2. Cinematica generării suprafeței poliforme utilizând o suprafață generatoare de tip cilindric sisteme de referință

suprafața interioară a unui corp abraziv de tip oală, în corelație cu schema propusă în figura 4.2, în care semifabricatul execută o mișcare planetară, în raport cu axele Δ_1 și Δ_2 , aceasta din urmă constituind axa suprafeței generate.

Corpul abraziv oală execută o mișcare de rotație în jurul axei proprii, cu n [rot/min], în scopul asigurării unei mărimi a vitezei periferice, în concordanță cu cerințele tehnologice (mișcarea de așchiere).

Se definesc sistemele de referință:

xyz este sistem de referință fix, solidar cu axa de rotație a corpului abraziv oală;
 $X_1Y_1Z_1$ - sistem de referință mobil, solidar cu suprafața interioară a corpului oală;
 XYZ - sistem de referință mobil, solidar, în mișcarea planetară, cu axa de rotație a arborelui generat;

$\xi\eta\zeta$ - sistem de referință mobil, solidar cu axa suprafeței poliforme generată;
 $x_0y_0z_0$ - sistem de referință mobil, solidar cu axa suprafeței poliforme în mișcarea planetară.

- **Cinematica procesului de generare**

Cinematica procesului de generare include următoarele mișcări:

- mișcarea de rotație a semifabricatului în jurul axei proprii, în figură, axa Δ_2 ;

- mișcarea de rotație a manivelei mecanismului planetar, aici axa Δ_1 , corelată cu mișcarea de rotație în jurul axei Δ_2 ;
 - mișcarea de așchiere, rotația corpului abraziv oală în jurul axei Z_1 .
- În formă matriceală, mișcările de generare sunt date de:

$$x_0 = \omega_3^T(\varphi_1)\xi \quad (4.24)$$

semnificând rotația arborelui poliform, în jurul axei proprii;

$$x = \omega_3^T(-\varphi_2)X \quad (4.25)$$

reprezentând mișcarea manivelei mecanismului planetar.

De asemenea, sunt definite dependențele între sistemele fixe:

$$X = x_0 - b; \quad b = \begin{Bmatrix} e \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad (4.26)$$

$$X_1 = \alpha(x - B); \quad (4.27)$$

$$\alpha = \begin{Bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{Bmatrix} \quad \text{și } B = \begin{Bmatrix} \Delta \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (4.28)$$

În corelație cu (4.28) și figura 4.2, se definește legătura între mărimile constante

$$\Delta = \frac{R}{\cos \alpha} - \frac{D}{2} - e, \quad (4.29)$$

în care:

D este dimensiunea diametrală a arborelui poliform;

e – mărimea brațului manivelei mecanismului planetar (mărime constructivă);

R – raza interioară a corpului abraziv.

Se determină, din relațiile (24)...(27), mișcarea față de sistemul de referință al arborelui poliform, vezi (30),

$$\xi = \omega_3(\varphi_1)\{\omega_3(-\varphi_2)[\alpha^T X_1 + B] + b\} \quad (4.30)$$

care, după dezvoltare, va reprezenta familia de suprafețe de revoluție, de rază R, în sistemul de referință al arborelui poliform.

După înlocuire, rezultă forma

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}. \quad (4.31)$$

Sunt definite ecuațiile parametriche ale suprafeței cilindrice de revoluție (corpul generator),

$$C: \begin{cases} X_1 = -R \cos \theta; \\ Y_1 = R \sin \theta; \\ Z_1 = t, \end{cases} \quad (4.32)$$

cu t și θ parametrii variabili independenți. Astfel, după înlocuirea ecuațiilor (32) în transformarea (31), rezultă forma

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(\theta) \cos \varphi_2 - B(\theta) \sin \varphi_2 + e \\ A(\theta) \sin \varphi_2 + B(\theta) \cos \varphi_2 \\ C(\theta) \end{pmatrix}, \quad (4.33)$$

în care funcțiile $A(\theta)$, $B(\theta)$ și $C(\theta)$ au semnificațiile:

$$\begin{aligned} A(\theta) &= -R \cos \theta \cos \alpha - t \sin \alpha + \Delta; \\ B(\theta) &= R \sin \theta; \\ C(\theta) &= -R \cos \theta \sin \alpha + t \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4.34)$$

După dezvoltare, se determină familia de suprafețe, vezi (4.35),

$$(C)_{\varphi_1}: \begin{cases} \xi = A(\theta) \cos(\varphi_2 - \varphi_1) - B(\theta) \sin(\varphi_2 - \varphi_1) + e \cos \varphi_1; \\ \eta = A(\theta) \sin(\varphi_2 - \varphi_1) + B(\theta) \cos(\varphi_2 - \varphi_1) - e \sin \varphi_1; \\ \zeta = C(\theta). \end{cases} \quad (4.35)$$

Înfășurătoarea familiei de suprafețe (4.35) constituie suprafața periferică a arborelui poliform conic.

Facem observația că profilul transversal al arborelui se determină în planul

$$\zeta = H, \quad (H \text{ variabilă arbitrară}). \quad (4.36)$$

Ținând seama de relațiile (35), rezultă condiția

$$H = -R \cos \theta \sin \alpha + t \cos \alpha - \Delta \sin \alpha \quad (4.37)$$

sau

$$t = \frac{H + \Delta \sin \alpha}{\cos \alpha} + R \operatorname{tg} \alpha \cos \theta. \quad (4.38)$$

De asemenea, se definește legătura între parametrii unghiulari de rotație, i .

• **Condiția de înfășurare**

Ca și în cazul anterior, în acest fel, problema de înfășurare spațială poate fi tratată ca o problemă plană, putându-se utiliza condiția de înfășurare a metodei traiectoriilor plane,

$$\frac{\xi'_{\varphi_1}}{\xi'_\theta} = \frac{\eta'_{\varphi_1}}{\eta'_\theta}, \tag{4.39}$$

pentru care se definesc derivatele parțiale:

$$\begin{aligned} \xi'_\theta &= A'(\theta)\cos(i-1)\varphi_1 - B'(\theta)\sin(i-1)\varphi_1 - \frac{dt}{d\theta}\sin\alpha; \\ \eta'_\theta &= A'(\theta)\sin(i-1)\varphi_1 + B'(\theta)\cos(i-1)\varphi_1 - \frac{dt}{d\theta}\sin\alpha; \end{aligned} \tag{4.40}$$

$$\begin{aligned} \xi'_{\varphi_1} &= -(i-1)A(\theta)\sin[(i-1)\varphi_1] - (i-1)B(\theta)\cos[(i-1)\varphi_1] - e\sin\varphi_1; \\ \eta'_{\varphi_1} &= (i-1)A(\theta)\cos[(i-1)\varphi_1] - (i-1)B(\theta)\sin[(i-1)\varphi_1] - e\cos\varphi_1. \end{aligned}$$

$$\frac{dt}{d\theta} = -R\operatorname{tg}\alpha \sin\theta$$

Pentru diferitele mărimi ale lui H , ansamblul ecuațiilor (4.35), și (4.39) reprezintă profilurile arborelui poliform conic.

* *
*

C. În conformitate cu figura 4.3, se poate imagina o schemă de generare a unei suprafețe poliforme cuprinzătoare utilizând broșa de rectificare pentru interior, echipament aflat în dotarea standard a mașinilor de rectificat universale.

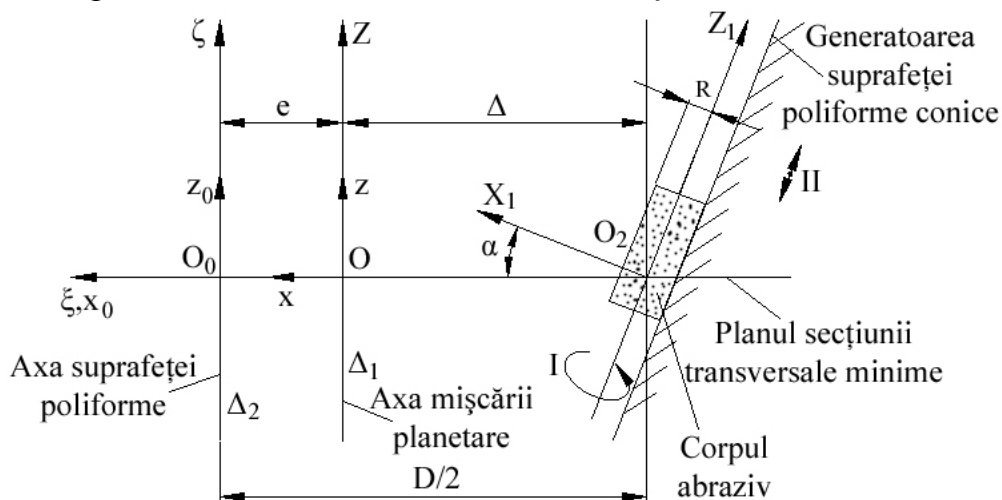


Fig.4.3. Cinematica generării și sisteme de referință

Corpul abraziv, montat pe axa broșei a echipamentului de rectificat interior, execută două mișcări:

- mișcarea de rotație în jurul axei proprii, constituind mișcarea de așchiere (I);

- mișcarea de avans în lungul generatoarei suprafeței generate – II, mișcare rectilinie alternativă, pe care, în realitate, o execută masa longitudinală a mașinii de rectificat.

Este evidentă relația existentă între constantele din proces, pentru noua schemă de generare, vezi figura 4.3.

$$\Delta = -\frac{R}{\cos \alpha} - e + \frac{D}{2} \quad (4.41)$$

în care:

D este dimensiunea diametrală a suprafeței poliforme;

e - mărimea excentricității mecanismului planetar;

R - raza corpului abraziv.

În concordanță cu sistemele de referință asociate corpului abraziv și suprafeței de generat, se definește mișcarea relativă, vezi și cazul anterior,

$$\xi = \omega_3(\varphi_1) \left\{ \omega_3(-\varphi_2) \left[\alpha^T X_1 + B \right] + b \right\} \quad (4.42)$$

în care:

$$\alpha = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} -\Delta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} -e \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (4.43)$$

Algoritmul modelării suprafeței polifome cuprinzătoare este similar celui prezentat anterior.

4. Aplicații numerice

Se prezintă un exemplu, în corelație cu algoritmul prezentat în subcapitolul 1 și figura 1, pentru:

$$A=14,925 \text{ [mm]}; \alpha=3 \text{ [}^\circ\text{]};$$

$$e=1 \text{ [mm]}; i=4/3; =27,85 \text{ [mm]}.$$

Coordonatele a 30 de puncte din intervalul [A, B] sunt prezentate în tabelul 1.

De asemenea, se prezintă suprafața poliformă conică cu patru laturi, modelată în condiții similare, pentru:

$$A=15 \text{ [mm]}; \alpha=3 \text{ [}^\circ\text{]}; e=1 \text{ [mm]}; i=3/4;$$

$$D=28 \text{ [mm]}, \text{ vezi tabelul 4.2.}$$

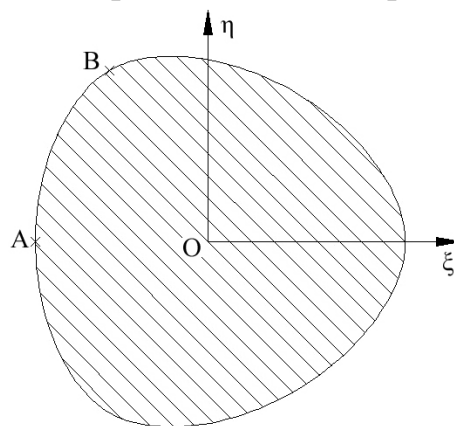


Fig. 4. Secțiunea transversală a aborelui poliform cu trei laturi ($H=0$)

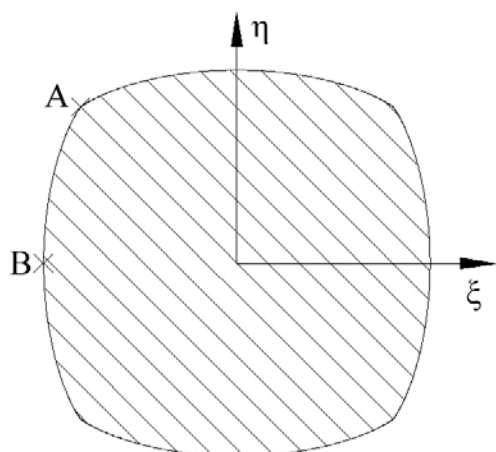


Fig. 5. Secțiunea transversală a arborelui poliform cu patru laturi

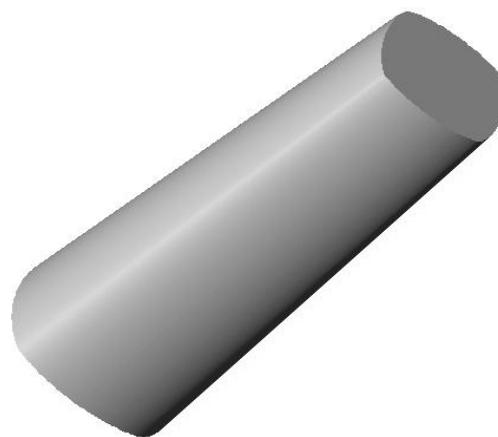


Fig. 6 Modelul solid al suprafeței poliforme conice cu patru laturi

Coordonatele a 30 de puncte din intervalul [A,B] sunt prezentate în tabelul 6.8.

Se prezintă, în cele ce urmează, exemple de aplicare a algoritmilor propuși pentru modelarea suprafețelor poliforme conice cuprinse (de tip arbore) prin cele două metode.

În figura 7, este prezentat un exemplu de suprafață modelată conform schemei propuse pentru:

$e=1$ [mm]; $D=32$ [mm]; $R=5,5$ [mm]; $\alpha=3$ [°]; $i=3/4$.

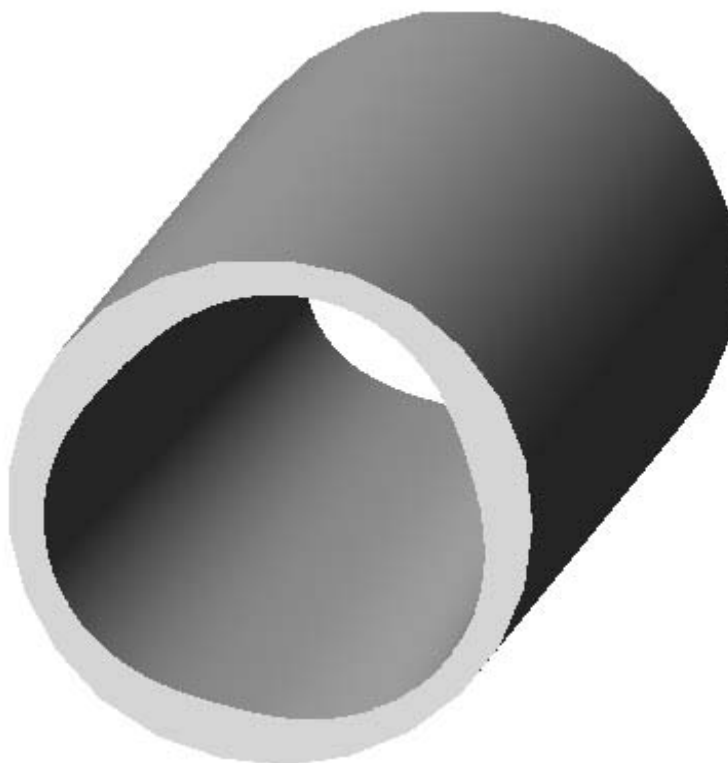


Fig. 7. Suprafața poliformă conică cuprinzătoare

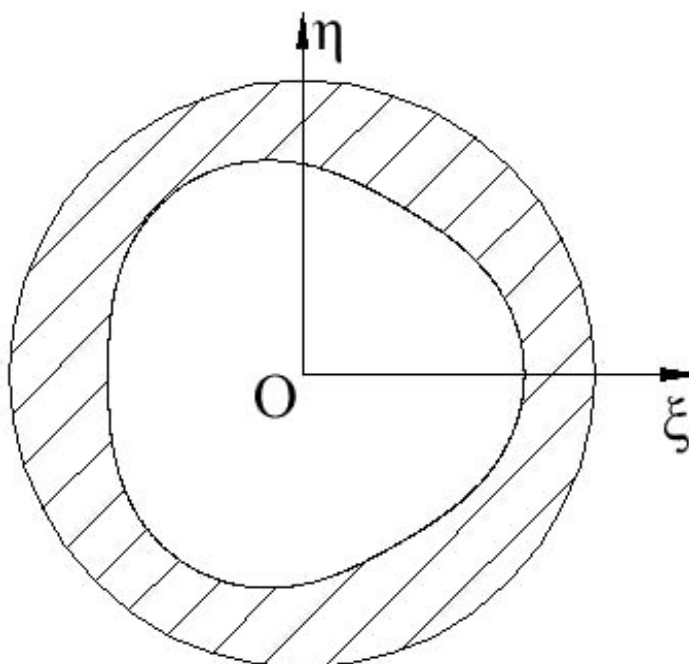


Fig. 8. Secțiunea transversală a suprafeței poliforme conice cuprinzătoare

De asemenea, în figura 4.7 și tabelul 4.3, sunt prezentate forma secțiunii transversale minime precum și coordonatele acesteia.

Tabelul 4.1

Nr. crt.	ξ [mm]	η [mm]
1	-9.069	13.003
2	-9.152	12.931
3	-9.320	12.779
4	-10.169	11.878
5	-10.624	11.295
6	-10.968	10.801
7	-11.266	10.330
8	-11.589	9.769
9	-11.884	9.205
10	-12.125	8.699
11	-12.359	8.163
12	-12.607	7.537
13	-12.778	7.060
14	-12.941	6.565
15	-13.076	6.118
16	-13.203	5.658
17	-13.305	5.255
18	-13.401	4.844
19	-13.475	4.495
20	-13.558	4.070
21	-13.632	3.639
22	-13.632	3.275
23	-13.689	2.833
24	-13.792	2.462
25	-13.830	2.088
26	-13.867	1.635
27	-13.891	1.257
28	-13.908	0.876
29	-13.920	0.495
30	-13.925	0.037

Tabelul 4. 2

Nr. crt.	ξ [mm]	η [mm]
1	-14.000	0.027
2	-13.988	0.851
3	-13.935	1.964
4	-13.804	3.408
5	-13.643	4.578
6	-13.431	5.739
7	-13.243	6.575
8	-13.071	7.241
9	-12.892	7.856
10	-12.831	8.049
11	-12.740	8.328
12	-12.559	8.844
13	-12.499	9.003
14	-12.455	9.119
15	-12.410	9.231
16	-12.295	9.514
17	-12.238	9.646
18	-12.183	9.772
19	-12.089	9.978
20	-12.076	10.006
21	-12.038	10.088
22	-11.975	10.217
23	-11.939	10.290
24	-11.892	10.382
25	-11.751	10.646
26	-11.692	10.749
27	-11.638	10.841
28	-11.310	11.317
29	-11.288	11.336
30	-10.758	11.687

Tabelul 4.3

Nr. crt.	ξ [mm]	η [mm]
1	-13.943	0.038
2	-13.943	0.186
3	-13.942	0.301
4	-13.942	0.372
5	-13.941	0.449
6	-13.938	0.746
7	-13.931	1.159
8	-13.924	1.419
9	-13.919	1.603
10	-13.913	1.787
11	-13.909	1.899
12	-13.869	2.710
13	-13.855	2.930
14	-13.839	3.151
15	-13.816	3.439
16	-13.796	3.658
17	-13.778	3.838
18	-13.759	4.020
19	-13.619	5.055
20	-13.596	5.197
21	-13.564	5.379
22	-13.525	5.589
23	-13.429	6.051
24	-13.254	6.752
25	-13.076	7.348
26	-12.803	8.112
27	-12.461	8.901
28	-12.038	9.708
29	-11.737	10.203
30	-11.411	10.684

5. Concluzii

În corelație cu tematica de cercetare, în cadrul Obiectivului 4, activitatea 4.2 s-a dezvoltat un algoritm de modelare a generării unor suprafețe cu evoluție continuă, în scopul reconfigurării unor mașini de rectificat rotund.

- Se propun două modele de generare prin rectificare pe mașini de rectificat rotund a unor suprafețe evoluție continuă - suprafețe poliforme

- Modelarea s-a realizat în baza teoremelor fundamentale ale generării suprafețelor, prin modelarea reconfigurării cinematicii procesului de generare pe aceste tipuri de mașini suprafețelor.

- Modelele analitice obținute au permis, în baza unor produse soft destinate acestui tip de problemă de generare, o interpretare numerică a profilurilor.

- S-au modelat suprafețe poliforme interioare și exterioare, în scopul realizării unor cuplaje pentru transmiterea momentelor de torsiune

- S-au elaborat produse soft dedicate pentru modelarea numerică a secțiunilor transversale ale suprafețelor cuprinse și cuprinzătoare cu evoluție continuă (poliforme) conice.

6. Bibliografie

1. Ghiță, E, *Teoria și tehnologia suprafețelor poliforme*, 2001, Ed. BREN, ISBN 973-8141-07-1;
2. Baicu, I, Oancea, N, *Algoritm pentru identificarea numerică a profilurilor în înfășurare generate prin metoda grafică. II- Scula de tip roată*, 2001, Buletin științific, Seria C, Volumul XV, Universitatea de nord, Baia Mare, ISSN 1224-3264, pag. 24-31;
3. Baicu, I, Oancea, N, *A Graphic Variant to Profile Tools for the Generation by Winding of Surfaces. Profiling of Rotative Cutter*. 2001, Analele Universității Dunărea de Jos, Galați, Fasc. V, ISSN 1221-4566, XIX, pag. 31-39.
4. Oancea, N., Mihaluta, M., Teodor, V., Pirvu, G. *The modelling of the Generation of Conical polyform Surfaces*. Analele Universității Dunărea de Jos, Galați, Fasc. V, ISSN 1221-4566, XXIII (XXVIII), 2005, pag. 15-21.

CUPRINS

4.2 Modelări ale unor suprafețe cu evoluție continuă în scopul reconfigurării unor mașini de rectificat – suprafețe poliforme conice.....	214
1. Introducere.....	214
2. Premise științifice.....	214
2.1. Suprafețe cuprinse, sisteme de referință și mișcări de generare.....	214
2.1.1. Modelarea generării cu suprafețe plane.....	214
2.1.2. Modelarea generării cu suprafețe cilindrice.....	219
3. Aplicații numerice.....	223
Concluzii.....	226
Bibliografie.....	227

4.3. Modelarea suprafetelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile

REZUMAT

In cazul generarii cinematice a suprafetelor pe sisteme de prelucrare computerizate reconfigurabile, o influenta deosebita asupra procesului de prelucrare si, in final, asupra formei si dimensiunilor suprafeței generate pe semifabricat o au urmatoarele fenomene:

- eroziunea materialului de pe suprafata generatoare a electrodului real, numita "uzarea electrodului";
- variatia in timpul procesului de prelucrare a marimii interstitiului lateral.

Aceste doua fenomene, specifice proceselor de generare prin eroziune electrica, determina legi specifice de variatie in timp a formei si dimensiunilor suprafeței generatoare a electrodului real (S_E), respectiv a electrodului fictiv (S_{EF}).

Parametrii de deformare a suprafeței generatoare a electrodului real, care vor fi notati cu k_{e1} si k_{e2} , sunt determinati din legile de variatie in timp a uzurii electrodului, pentru diversi parametri tehnologici, specifici regimurilor de prelucrare electroerozive.

In aceasta faza este descrisa tehnica modelarii procesului de generare cinematica a suprafetelor prin procedee neconventionale, analizandu-se cazul generarii suprafetelor elicoidale, in particular a suprafetelor simetrice de revolutie.

Se va exemplifica metodic si algoritmul de generare utilizand tehnica prelucrării cu electrozi masivi succesivi, alocand fiecărei faze de generare un electrod.

PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE

Prelucrarea prin procedee neconventionale a suprafetelor complexe de revolutie in sisteme de prelucrare reconfigurabile ofera posibilitatea generării suprafetelor pe sisteme virtuale de prelucrare, modelarea numerica a parametrilor procesului si a parametrilor suprafeței generate si in final simularea procesului de generare.

Toate aceste etape se desfasoara asistat de calculator in afara procesului fizic de prelucrare, deci in afara sistemului fizic de fabricatie, utilizand tehnici avansate de programare prin algoritmi specifici de modelare numerica.

Eroziunea electrica este utilizata in procent de peste 80% din totalul procedeeleor neconventionale de prelucrare dimensionala a suprafetelor, ceea ce a determinat ca cercetarea stiintifica din cadrul acestui program sa fie directionata spre studiul unor noi tehnici de modelare avand la baza procesul de generare termoeroziva.

MATERIAL SI METODE

La baza studiului, experimentarilor si a simularilor numerice au stat urmatoarele date privind materialele/instalatiile utilizate si a metodelor abordate:

1. materiale si instalatii :
 - instalatie tehnologica ELER ;
 - stand de laborator pentru studiul eroziunii electrotermice ;
 - electrozi – Cu 99.5 ;
 - piese-proba – C 120, VCW85, RP 3, YT 5;
 - dielectric – TR 32A
2. metode si modele:
 - modelul CROOKAL pentru studiul uzurii electrodului;
 - modelul BALLEYS – FREI pentru studiul interstitiului;
 - metoda de generare cu infasuratoare – electrod fictive;
 - algoritm de modelare numerica a generarii cu electrozi succesivi

4.3.1. Generarea cinematica cu electrozi succesivi – eroarea de generare

Pentru generarea cu electrozi succesivi pe sisteme de prelucrare reconfigurabile se folosesc electrozi de forma geometrica simpla (cilindrica, conica, toroidala sau combinata) pentru prelucrarea suprafetelor elicoidale si de revolutie complexe, in mai multe faze de prelucrare. Pe parcursul procesului de generare fiecare electrod prezinta forme de uzura specifice, functie de parametri tehnologici programati pentru fiecare faza a procesului de prelucrare (figura 4.1).

Parametrul care determina inclinarea generatoarei electrodului real este dat de relatiile urmatoare:

* electrod 1 / regim de degrosare (figura 4.1,a)

$$k_{e1} = \Phi_{E1} = \arctg(u_{c1}), \quad (4.1)$$

in care u_{c1} este uzura coaxiala a electrodului real, $u_{c1} = u_{c1}(p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}, t)$;

* electrod 2 / regim de finisare 1 (figura 4.1,b)

$$k_{e1} = \Phi_{E2} = \arctg\left(\frac{u_{c2}}{1 + u_{c2}} u_{f1}\right), \quad (4.2)$$

in care u_{f1} este uzura coaxiala a electrodului fictiv, $u_{f1} = u_{f1}(p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}, t)$;

* electrod 3 / regim de finisare 2 (figura 4.1,c)

$$k_{e1} = \Phi_{E3} = \arctg\left(\frac{uc_3}{1 + uc_3} uf_2\right); \quad (4.3)$$

* electrod n / regim de finisare n-1

$$k_{e1} = \Phi_{En} = \arctg\left(\frac{uc_n}{1 + uc_n} \frac{uc_{n-1}}{1 + uc_{n-1}} \dots \frac{uc_3}{1 + uc_3} uf_2\right). \quad (4.4)$$

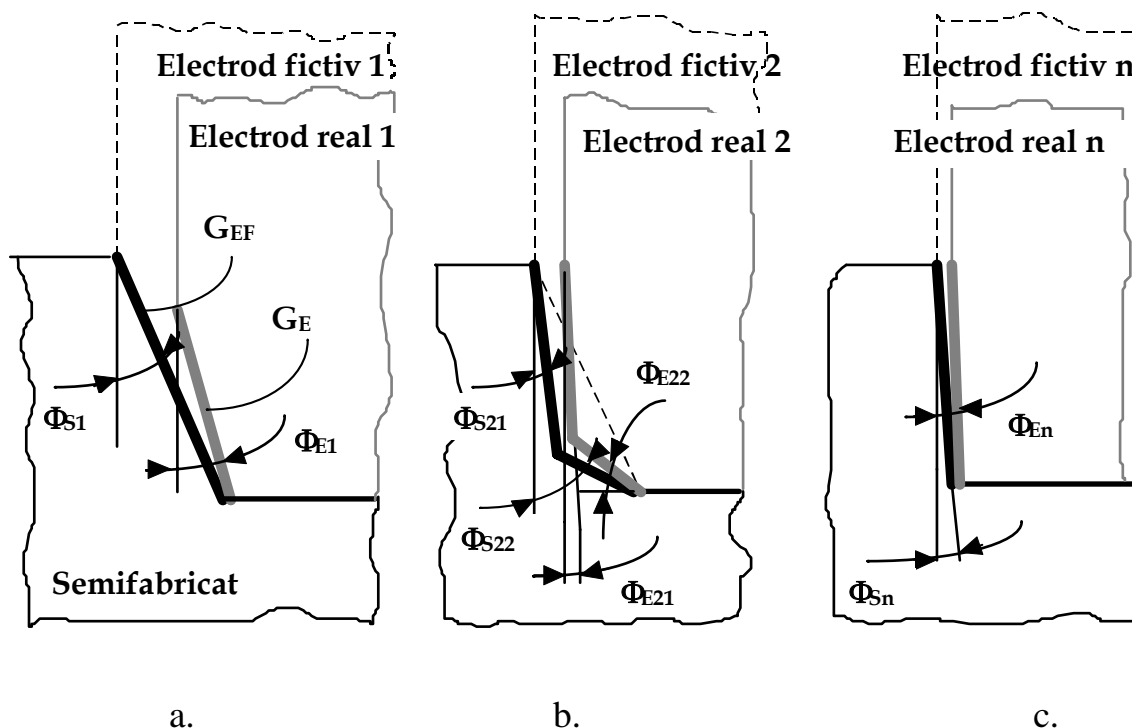


Figura 4.1. Forme de uzura a electrozilor succesivi

Deoarece curbele generate pe suprafata semifabricatului sunt identificate ca fiind generatoarele electrodului fictiv, rezulta ca uzura coaxiala a fiecarui electrod fictiv (u_f) reprezinta in realitate inclinarea coaxiala a suprafetei generate pe semifabricat (u_s).

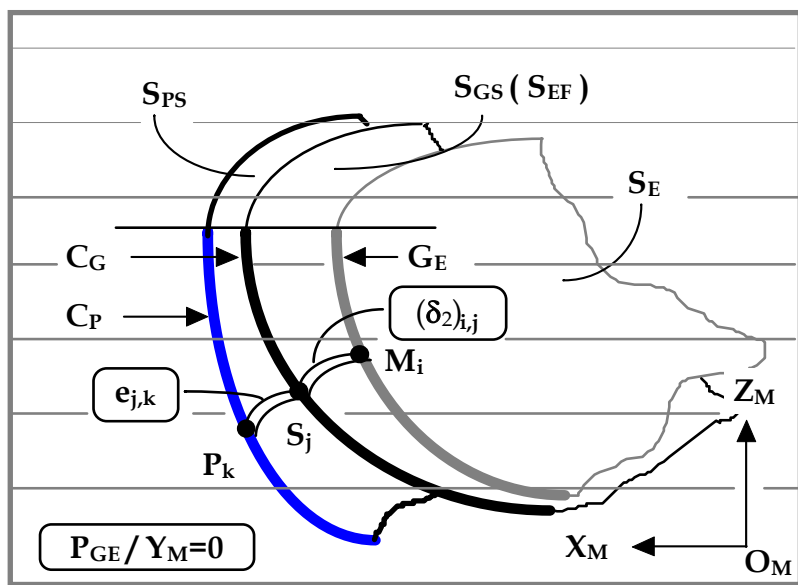


Figura 4.2. Identificarea erorii de generare

G_E - curba generatoare, C_G - curba generată, C_P - curba programată

Marimea acestui parametru de deformare a suprafeței generate determina marimea erorii de generare în fiecare fază a procesului de prelucrare.

Eroarea de generare este definită ca fiind distanța minimă, din planul de generare (P_{GE}), dintre punctele corespondente aparținând curbei generate pe suprafața prelucrată (S_{GS}), respectiv ale curbei de pe suprafața programată (S_{PS}) (figura 4.2).

Relația generală de calcul a erorii este

$$e_{j,k} = \sqrt{(X_J - X_K)^2 + (Z_J - Z_K)^2}, \quad j = 1 \dots n, \quad k = 1 \dots m. \quad (4.5)$$

Pentru un punct $P_k(X_P, Z_P)$ aparținând curbei programate, eroarea de generare măsurată în acel punct va fi definită ca cea mai mică distanță care unește punctul P_k cu toate punctele $S_j(X_S, Z_S)$, aparținând curbei generate, adică:

$$e_g = \min(e_{j,k}), \quad j = 1 \dots n, \quad k = 1 \dots m. \quad (4.6)$$

Aceste erori, specifice proceselor de prelucrare prin electroeroziune reconfigurabile, sunt cauzate de numeroși factori tehnici și de proces eroziv; în plus marimea acestora este serios influențată și de metoda de generare cinematică (figura 4.3).

Se observă că pentru creșterea preciziei suprafețelor prelucrate pe semifabricat, comanda procesului de prelucrare trebuie direcționată spre:

- regimul de prelucrare, prin care se influențează legea de variație a uzurii electrodului, respectiv legea de variație a interstiului;

- metoda de generare cinematica, prin care se poate controla si modifica nivelul de uzura a electrodului si coordonatele traiectoriei programate.

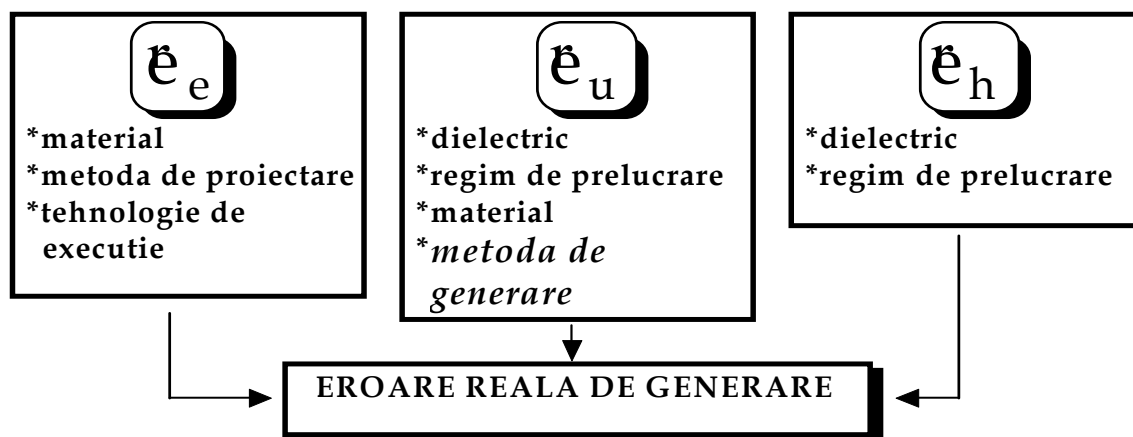


Figura 4.3. Factorii care determina eroarea reala de generare

Rezulta ca, in realitate, uzura electrodului fictiv va fi diferita de uzura electrodului real si deci eroarea de generare reala va fi o functie de forma:

$$eg = eg(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2, \varphi_1), \quad (4.7)$$

sau tinand cont de parametri procesului de eroziune si generare,

$$eg = eg(kg, k_{TP}, p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}, t). \quad (4.8)$$

Prin modelarea generarii cu directoare spatiale (3D) a suprafetelor se pot determina coordonatele punctelor apartinand curbelor generate, cu ajutorul carora se calculeaza eroarea reala de generare in fiecare punct al curbei programate.

Etapetele care formeaza algoritmul modelarii procesului de generare spatiale a suprafetelor cu electrozi succesivi sunt prezentate in figura 4.4.

Din analiza relatiei (4.8) si a modelului electrozilor succesivi se pot formula urmatoarele observatii:

- pentru electrozi identici din punct de vedere al formei si dimensiunilor ($k_{g1} = k_{g2} = \dots = k_{gn}$) este necesara determinarea parametruului traiectoriei ($k_{TP} = ct.$) in functie de regimul de prelucrare;

- pentru fiecare faza de prelucrare parametruul traiectoriei electrodului real este modificat static (initial) cu o valoare numita corectie de scula (K_{TE}), mentinuta la o valoare constanta pe tot intervalul de timp de eroziune din faza respectiva;

- numarul fazelor de prelucrare este influentat de urmatoarii factori:

- eroarea maxima de prelucrare (ep_{max});

- parametrii procesului de eroziune electrica ($p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}$);

- timpul total de prelucrare a suprafeței.

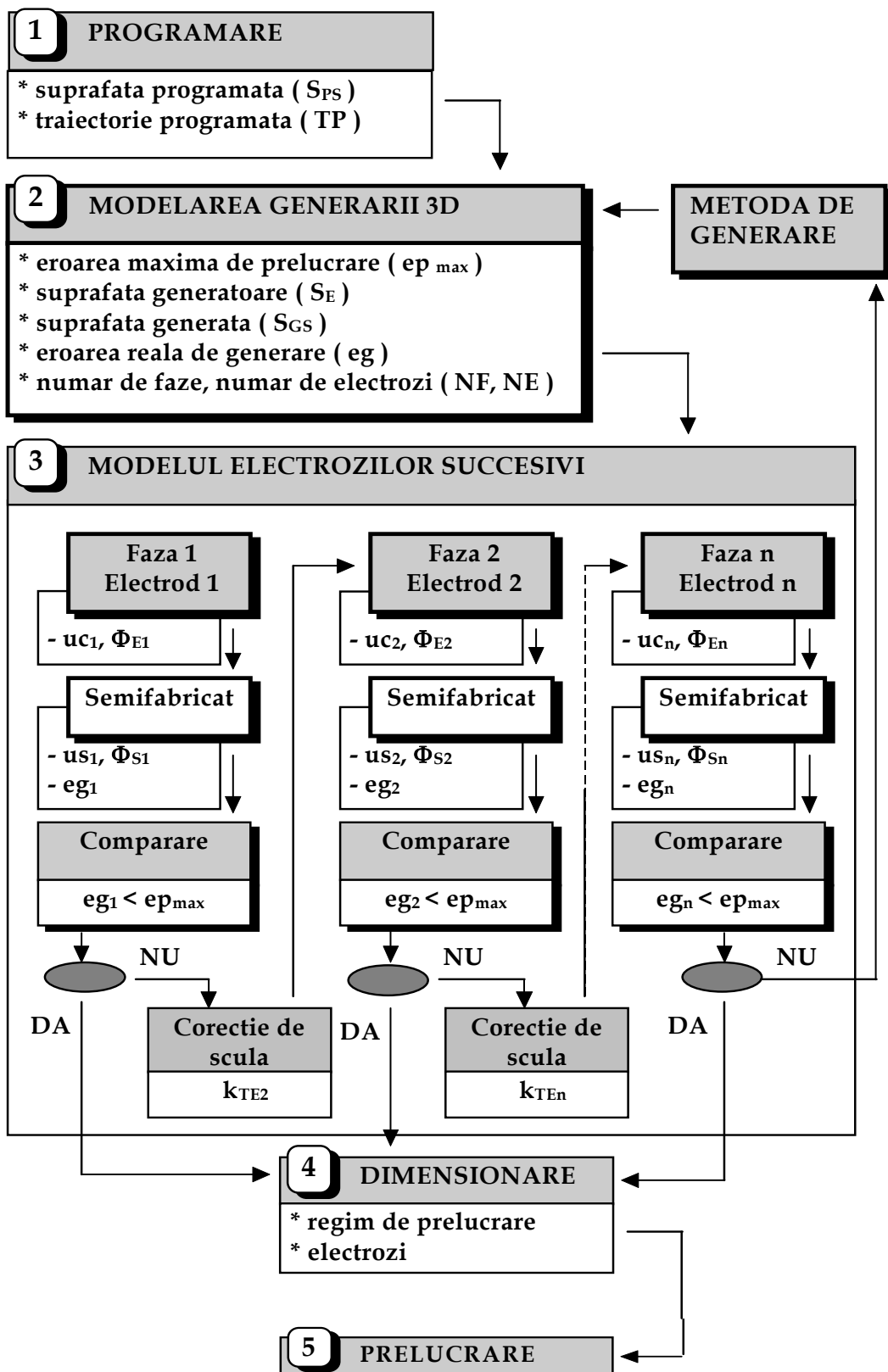


Figura 4.4. Etapele algoritmului de modelare numerică a generării

4.3.2. Generarea cinematica cu electrozi succesivi – modelarea procesului de generare cu electrozi de tip “cilindric”

Modelarea numerica a agenerarii suprafetelor trateaza in acest caz urmatoarele aspecte particulare (figura 4.5):

- * prelucrarea cu electrozi de forma geometrica simpla : electrod de tip cilindric, electrod de tip conic, electrod de tip toroidal;
- * prelucrarea in mai multe faze : degrosare, finisare 1, ... ,finisare n;
- * prelucrarea cu electrozi din cupru electrolitic.

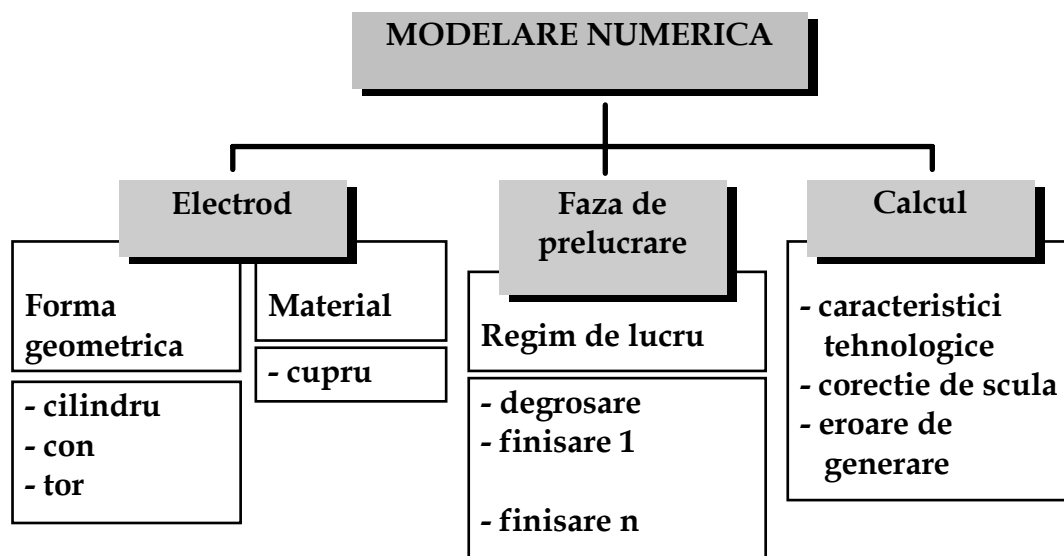


Figura 4.5. Particularitatile modelarii numerice pentru generarea cu electrozi succesivi

Dimensiunile electrodului si ale suprafetei de prelucrat pe semifabricat sunt prezentate in figura 4.6.

Elementele geometrice si de generare din zona de prelucrare (ZG) sunt determinate de tipul fazei de prelucrare : degrosare, finisare.

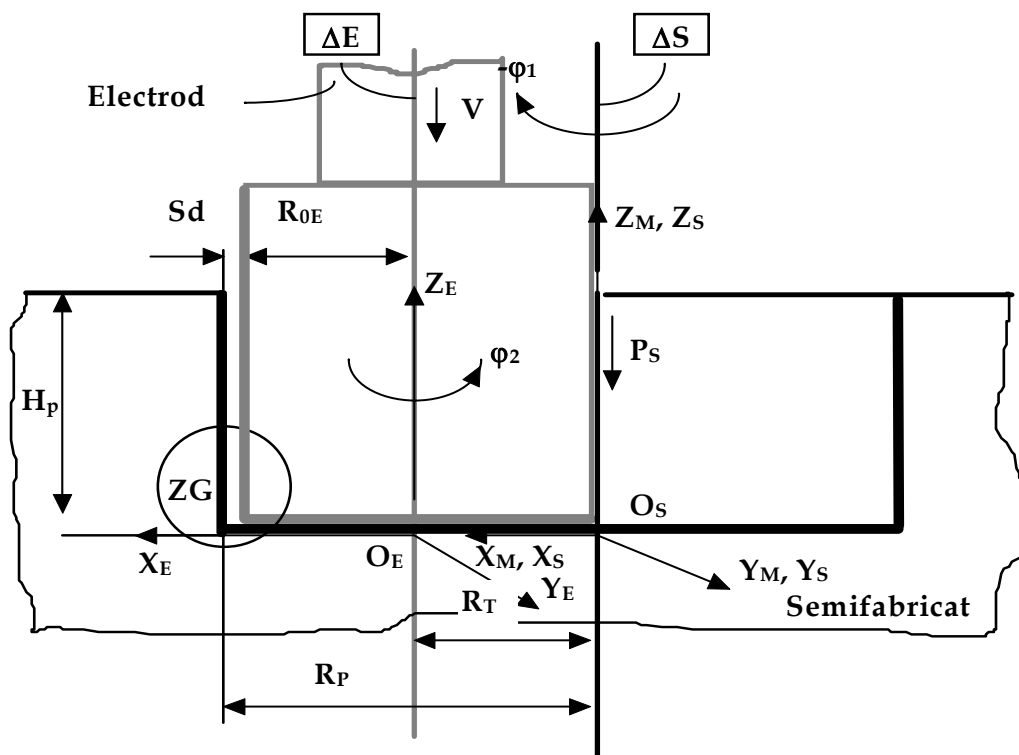


Figura 4.6. Elementele geometrice ale electrodului de tip cilindric si ale semifabricatului

Electrod 1
Faza - degrosare

(figura 4.7)

Familia de curbe generate pe suprafata semifabricatului este reprezentata prin pozitiile succesive, la diferite intervale de timp, ale curbelor generatoare ale electrodului fictiv. Aceste pozitii sunt dependente de parametrii tehnologici ai regimului de prelucrare, programati in faza curenta de prelucrare, si de timpul de eroziune, prin relatiile generale:

$$\left. \begin{aligned} X_S &= X_S(k_g, k_{TP}, pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t); \\ ((C_S)_{pti})_t Y_S &= 0; \\ Z_S &= Z_S(k_g, k_{TP}, pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t). \end{aligned} \right\} (4.9)$$

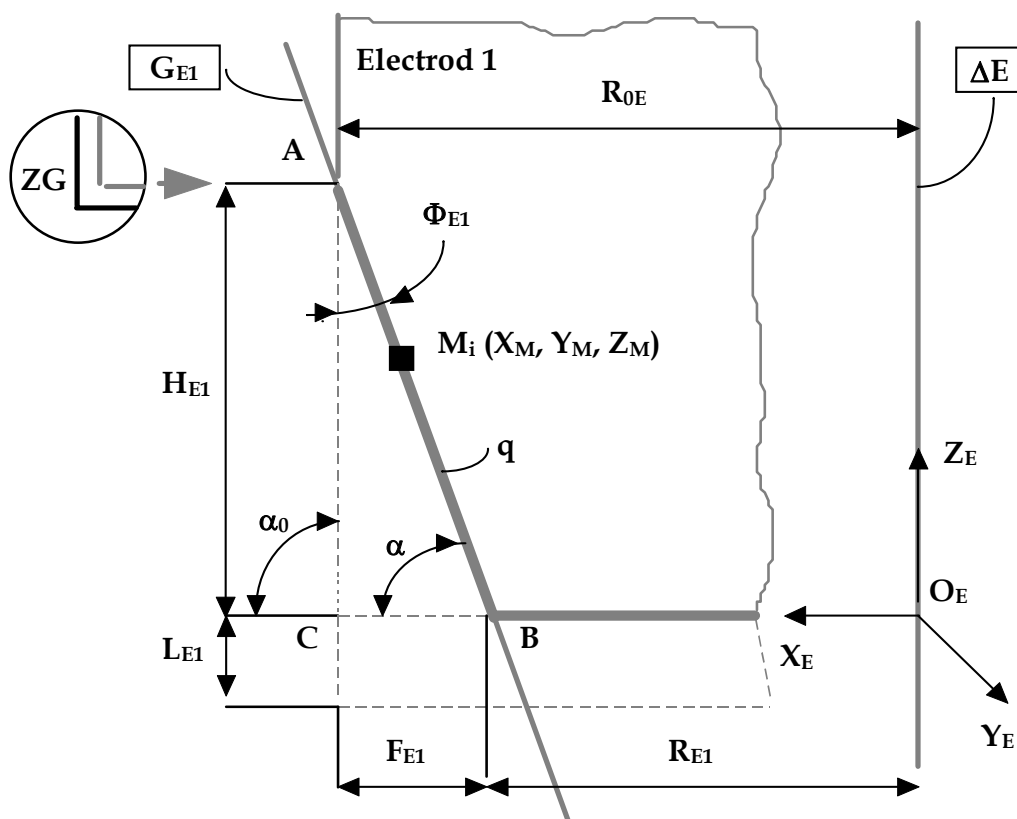


Figura 4.7. Electrode 1 / faza de degrosare - zona de generare

Parametrul de pozitie al punctului curent de pe generatoare variaza in intervalul $q[0 \dots q_{\max}]$, astfel:

* $q = 0$, pentru $t = 0$;

$$* q_{\max} = H_{fp}^f \frac{1}{(1 + uo_{f1}) \cos[\arctg(uc_{f1})]} \text{ [mm] , pentru } t = tf, (4.9)$$

in care H_{fp} , uo_{f1} si uc_{f1} sunt parametrii finali calculati la sfarsitul procesului de prelucrare.

Programul de modelare numerica a suprafetei generate in aceasta faza este prezentat in figura 4.8.

Unghiul de inclinare a curbei generate pe suprafata semifabricatului, la timpul t , folosind modelul numeric, este dat de relatia (figura 4.9):

$$\Phi_{S1} = \arctg \left[\frac{uc_1}{1 + uo_1} + \frac{S_m + R_{\max} + gs + h_1 \cos[\arctg(uc_1)]}{H_p} \right], (4.10)$$

in care : eg_0 este eroarea de generare, calculata la timpul t si pentru $q = 0$ [mm];
 H_p - adancimea de patrundere, calculata la timpul t [mm].

Inclinarea curbei generate se definește prin parametrul uzurii electrodului

$$u_{S1} = \text{tg} (\Phi_{S1}), \text{ sau } u_{S1} = u_{S1} (t_i, t) . \quad (4.11)$$

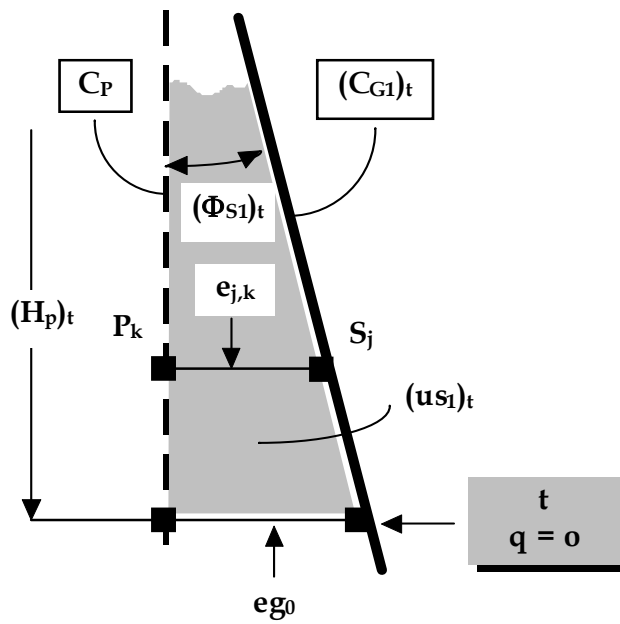


Figura 4.9. Evolutia unghiului de inclinare a curbei generate - degrosare
Eroarea de generare

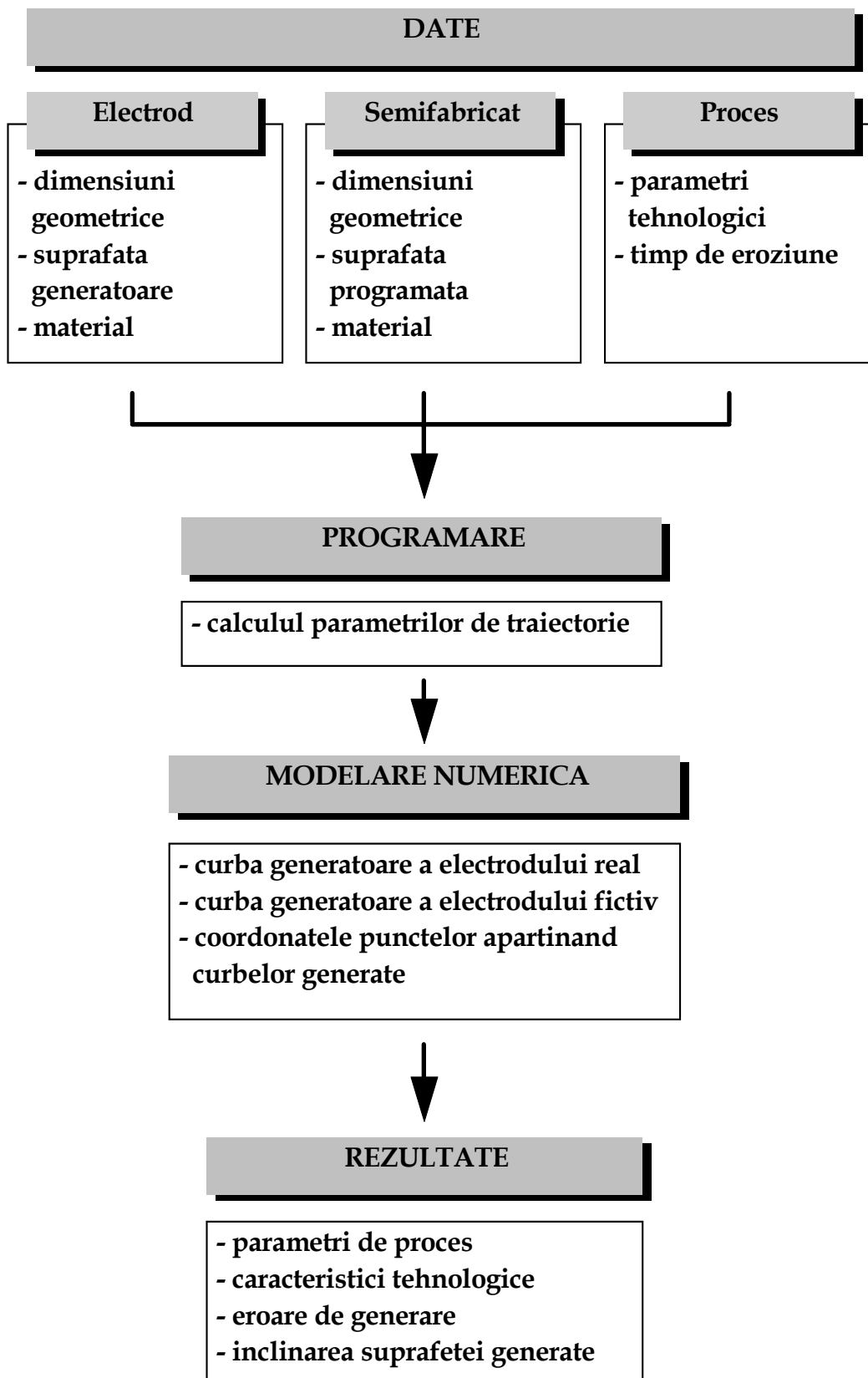


Figura 4.8. Schema de principiu a programului de modelare numerica

In figura 4.10 sunt reprezentate grafic pozitiile succesive, la diferite intervale de timp, ale curbelor generate, pentru un regim de degrosare adoptat.

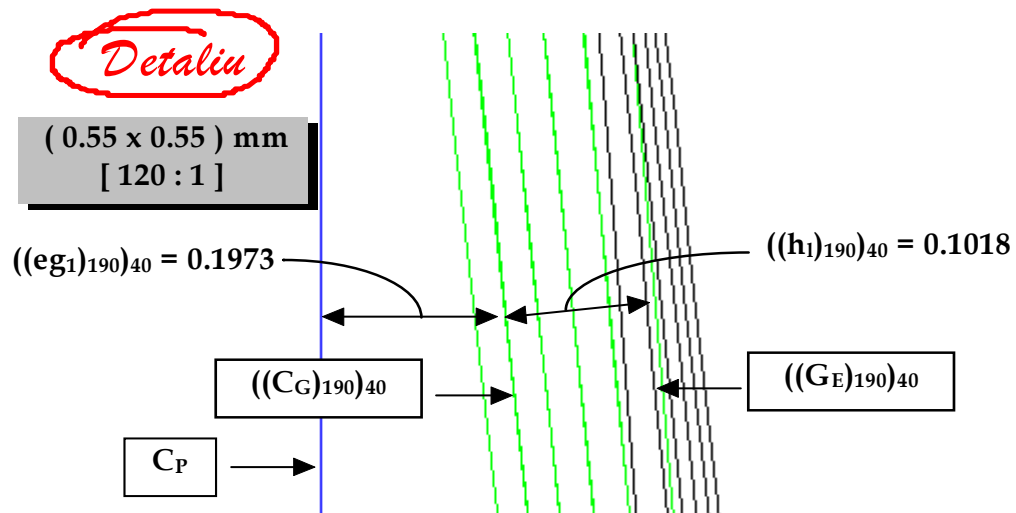
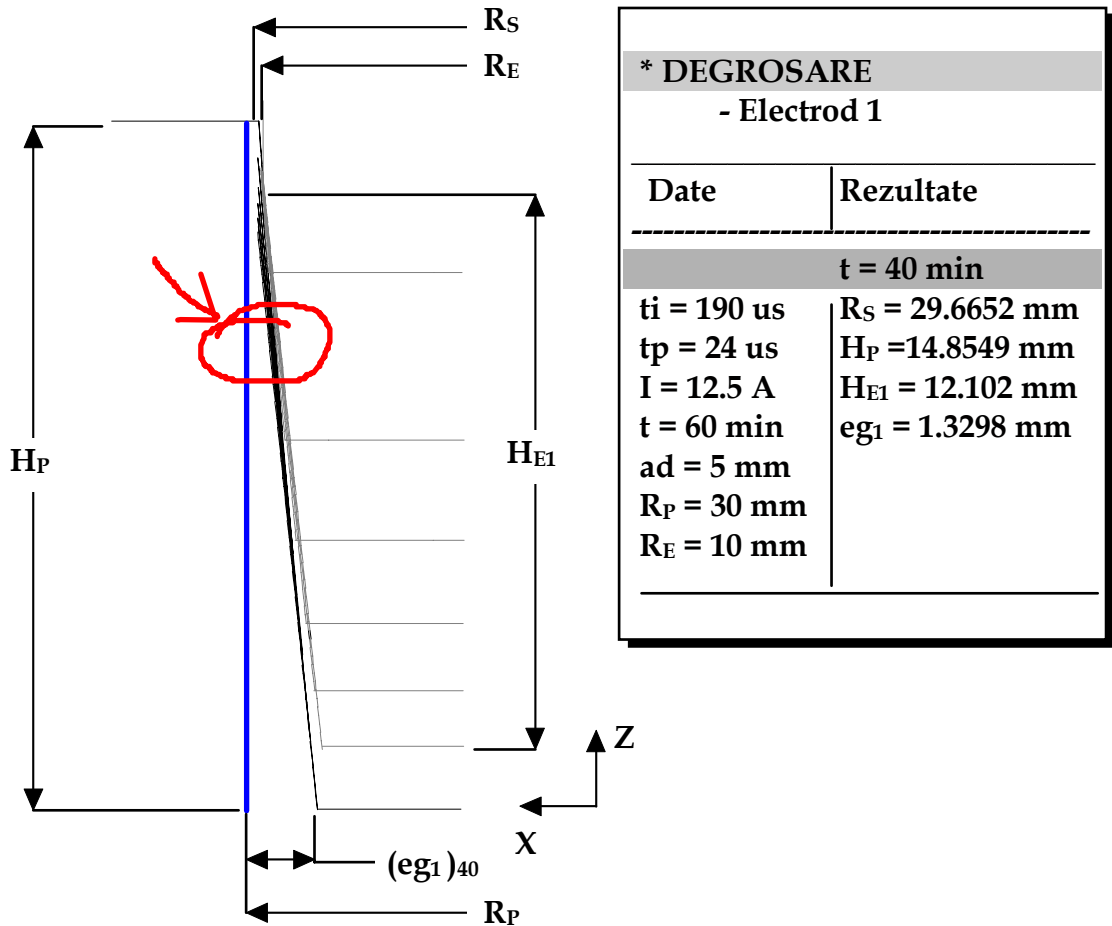


Figura 4.10. Pozitiile succesive ale curbelor generate pentru $t_i = 190 \mu s$
Faza – degrosare

Datele de calcul, parametrii de proces si caracteristicile tehnologice, cat si profilul generat sunt prezentate si descrise numeric in anexa 4.1.

Variatia in timp si in functie de timpul de impuls a erorii de generare este prezentata in figura 4.11, iar variatia in lungul axei ΔS , pe suprafata prelucrata, este prezentata in figura 4.12.

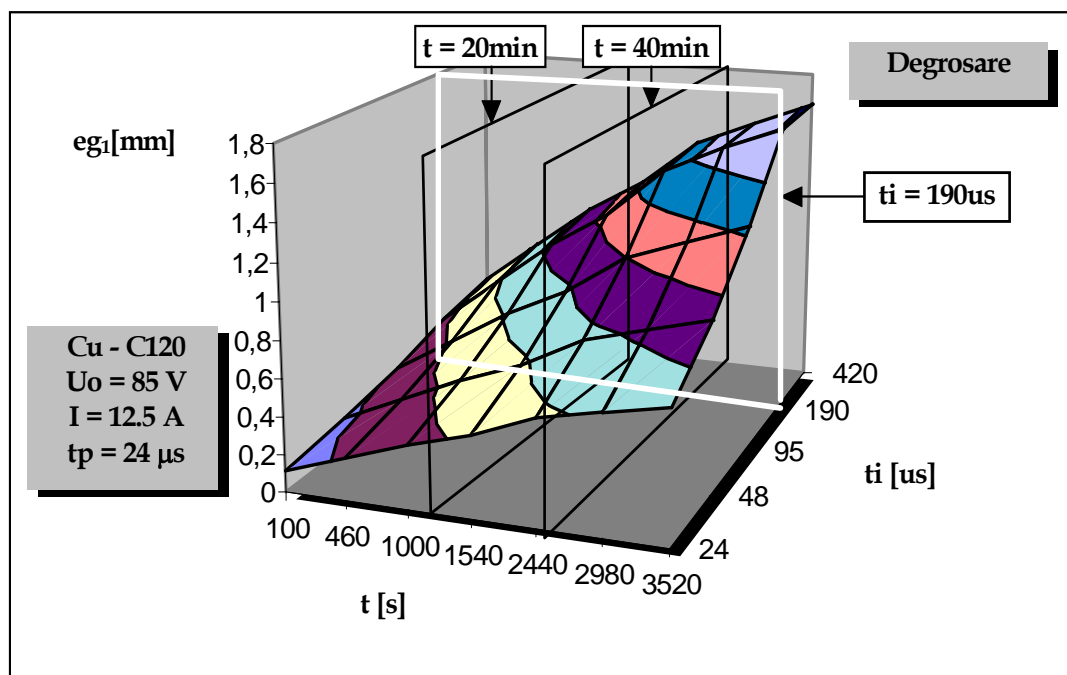


Figura 4.11. Eroarea de generare - $eg_1(t_i, t)$ / degrosare

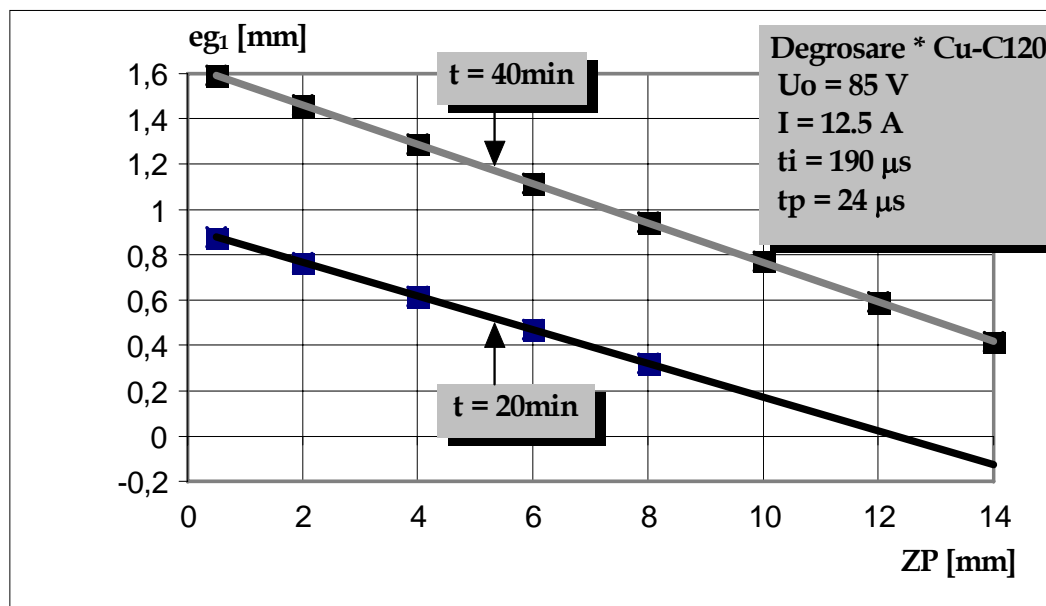


Figura 4.12. Eroarea reala de generare in lungul axei ΔS

Cu valorile parametrilor din anexa 4.1 si datele numerice ale erorii de generare se calculeaza variatia in timp si in functie de timpul de impuls a inclinarii curbelor generate pe suprafata semifabricatului (figura 4.13).

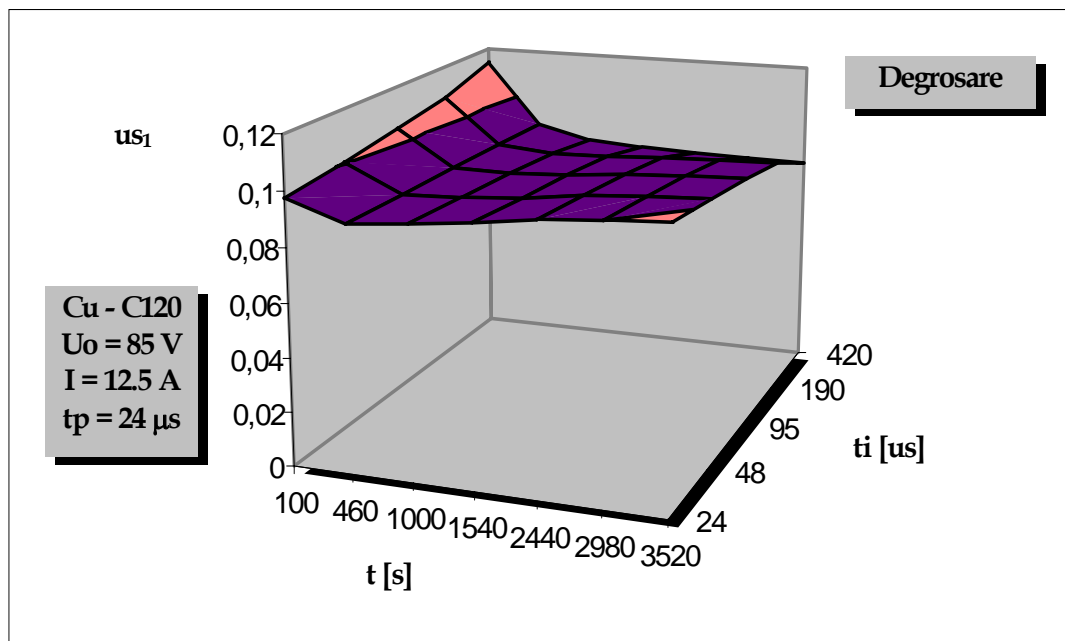


Figura 4.13. Inclinarea curbei generate - $us_1(t_i, t)$

Electrod 3
Faza - finisare 2

(figura 4.14)

Inclinarea curbelor generate pe suprafata semifabricatului in faza de degrosare, constituie un adaos de prelucrare suplimentar, variabil ca dimensiune, pentru faza de finisare.

Dupa si conform rezultatelor experimentale obtinute prin teste de prelucrare, in regimuri de finisare diferite, suprafata generatoare a electrodului real poate fi descompusa in doua suprafete cu generatoare conica, avand unghiuri de pozitie diferite.

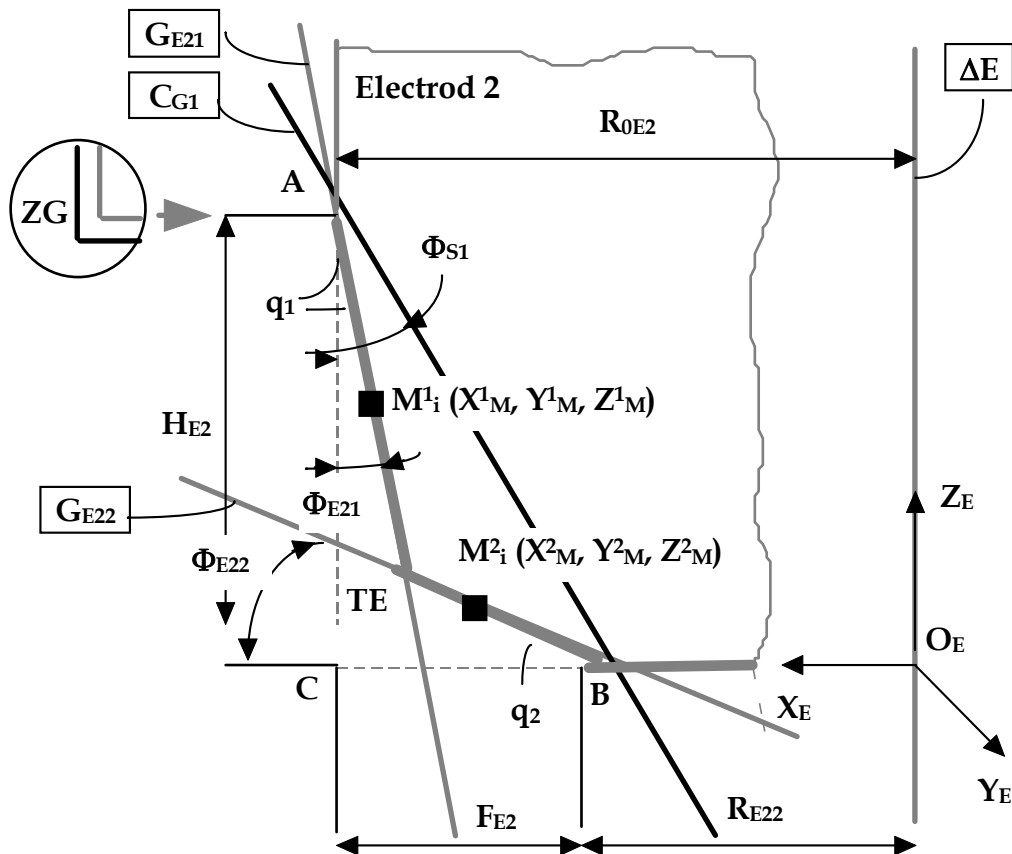


Figura 4.14. Electrode 2 / faza de finisare - zona de generare

Ecuatiile care descriu pozitiile succesive ale curbilor generate pe semifabricat in ultima faza de finisare, faza – finisare 2, se deduc din ecuatiile generale parametrice ale procesului de modelare numerica agenerarii, si iau forma finala descrisa mai jos prin sistemele:

$$((C^1_G)_{ke})_\delta \begin{cases} X^1_S = R_{0E3} - q_1 \sin(\Phi_{E31}) + R_{0T3} + \delta_2 \cos(\Phi_{E31}); \\ Y^1_S = 0; \\ Z^1_S = k''_{e3} - q_1 \cos(\Phi_{E31}) - \delta_2 \sin(\Phi_{E31}); \end{cases} \quad (4.12)$$

$$((C^2_G)_{ke})_\delta \begin{cases} X^2_S = R_{0E3} - k'_{e3} + q_1 \cos(\Phi_{E32}) + R_{0T3} + \delta_2 \sin(\Phi_{E32}); \\ Y^2_S = 0; \\ Z^2_S = q_2 \sin(\Phi_{E32}) - \delta_2 \cos(\Phi_{E32}). \end{cases} \quad (4.13)$$

in care:

$$k'_{e3} = H_p us_2 \quad [\text{mm}], \text{ cu } us_2 = us_{21}; \quad (4.14)$$

$$k''e3 = H_p \quad [\text{mm}] ; \quad (4.15)$$

$$\Phi_{E31} = \text{arctg} \left(\frac{uc_3}{1 + uc_3} us_2 \right) ; \quad (4.16)$$

$$\Phi_{E32} = \text{arctg} \left(\frac{uo_3}{1 + uo_3} \frac{1}{us_2} \right) ; \quad (4.17)$$

Unghiul de inclinare pentru fiecare curba generata, la timpul t , este dat de relatiile (figura 4.15):

$$(\Phi_{S31})_t = \text{arctg} \left(\frac{eg_T}{H_p - Z_{TS}} \right) ; \quad (4.18)$$

$$(\Phi_{S32})_t = \text{arctg} \left(\frac{eg_0 - eg_T}{Z_{TS}} \right) . \quad (4.19)$$

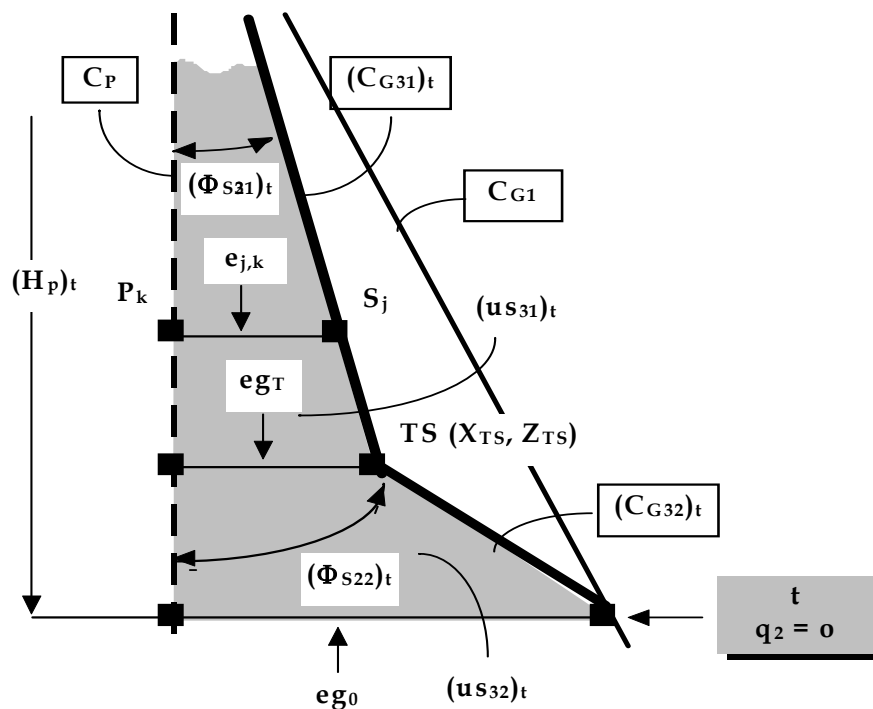


Figura 4.15. Evolutia unghiului de inclinare a curbelor generate – finisare
Eroarea de generare

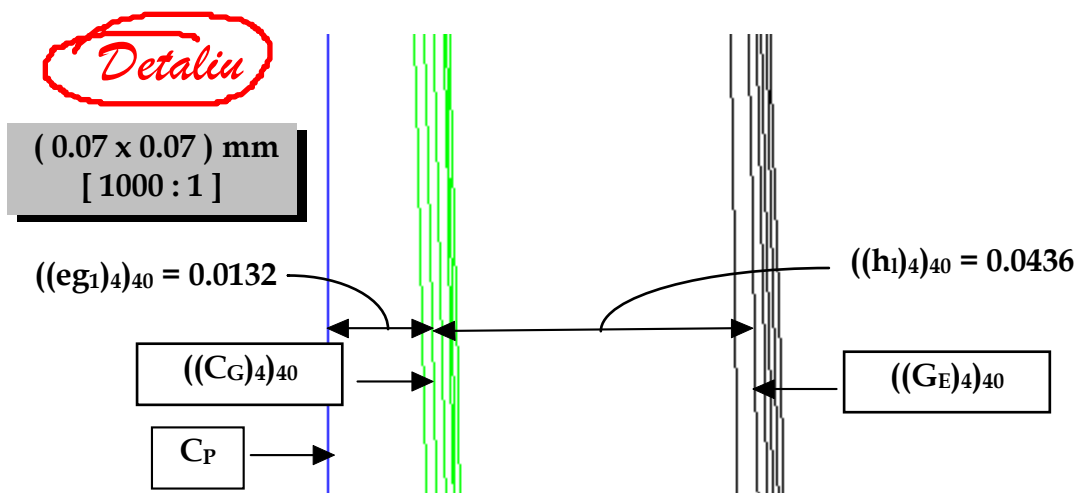
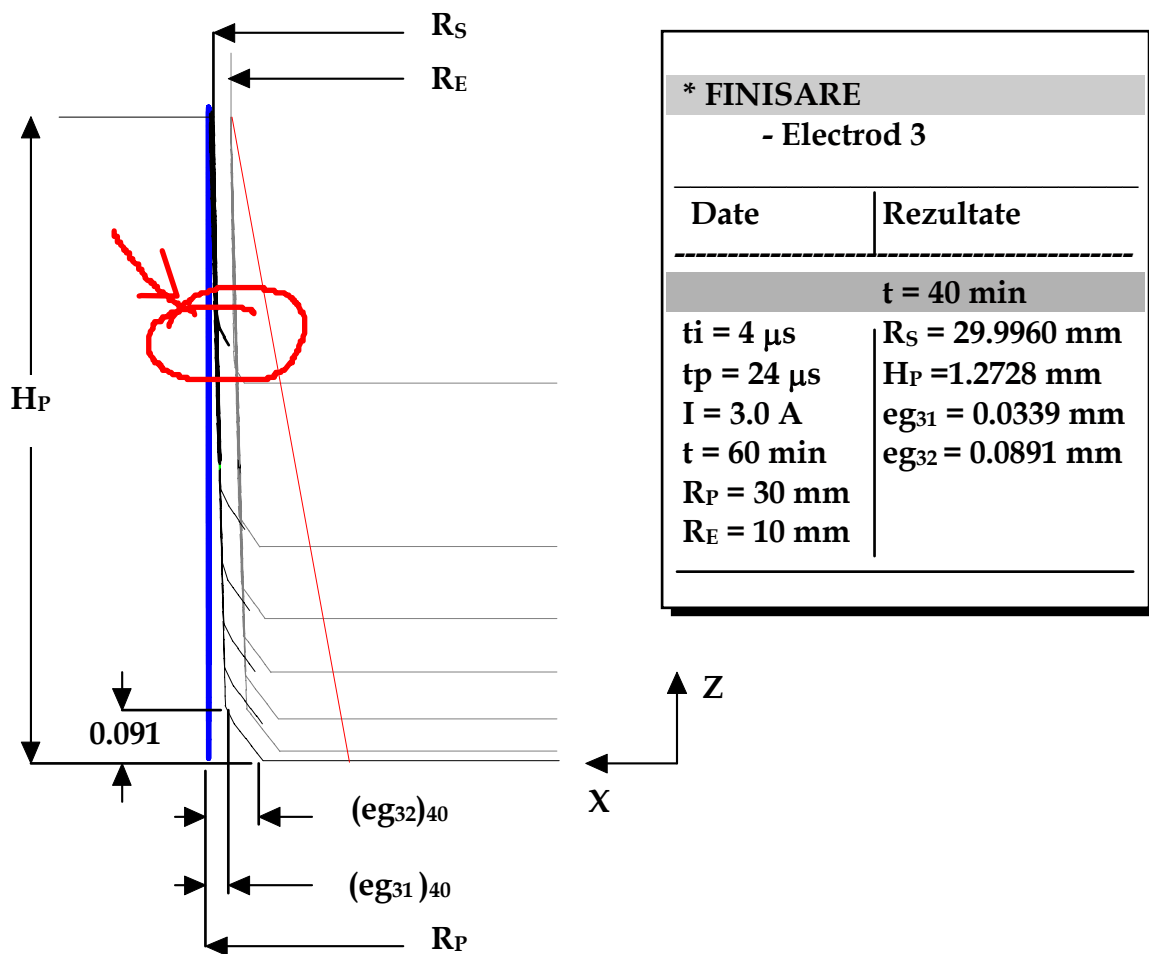


Figura 4.16. Pozitiile succesive ale curbelor generate pentru $t_i = 4 \mu s$
Faza - finisare 2

Inclinarea curbelor generate se calculeaza cu relatiile:

$$u_{S31} = \text{tg} (\Phi_{S31}) \text{ si } u_{S32} = \text{tg} (\Phi_{S32}) . \quad (4.20)$$

Pentru un regim de finisare dat pozitiile succesive ale curbelor generate sunt prezentate in figura 4.16. Datele de calcul , parametrii de proces si caracteristicile tehnologice sunt prezentate in anexa 4.2.1, iar profilul generat este descris numeric in anexa 4.2.2.

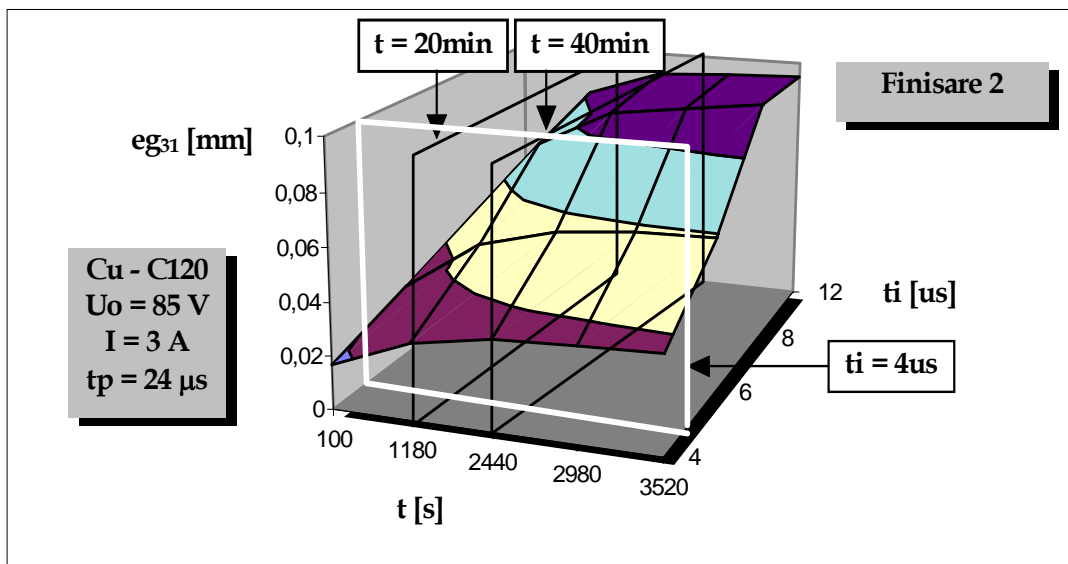


Figura 4.17. Eroarea de generare - $eg_{31}(t_i, t)$ / finisare 2

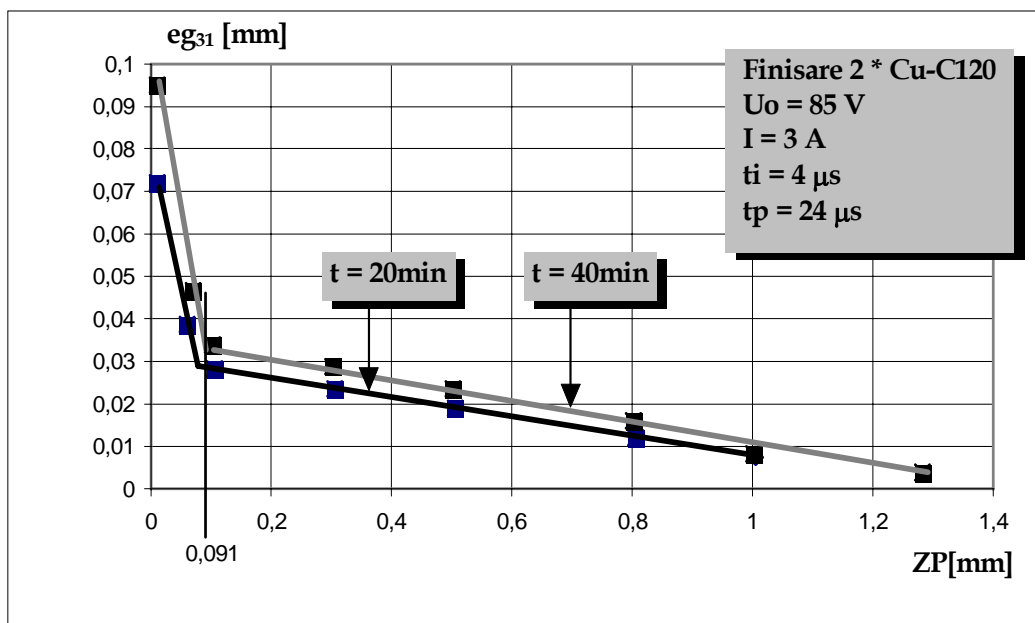


Figura 4.18. Eroarea reala de generare in lungul axei ΔS

Variatia in timp si in functie de timpul de impuls a erorii de generare este prezentata in figura 4.17, iar variatia in lungul axei ΔS , pe suprafata prelucrata, este prezentata in figura 4.18.

Cu valorile parametrilor din anexa 4.2 si datele numerice ale erorii de generare se calculeaza variatia in timp si in functie de timpul de impuls a inclinarii curbelor generate pe suprafata semifabricatului (figura 4.19, 4.20).

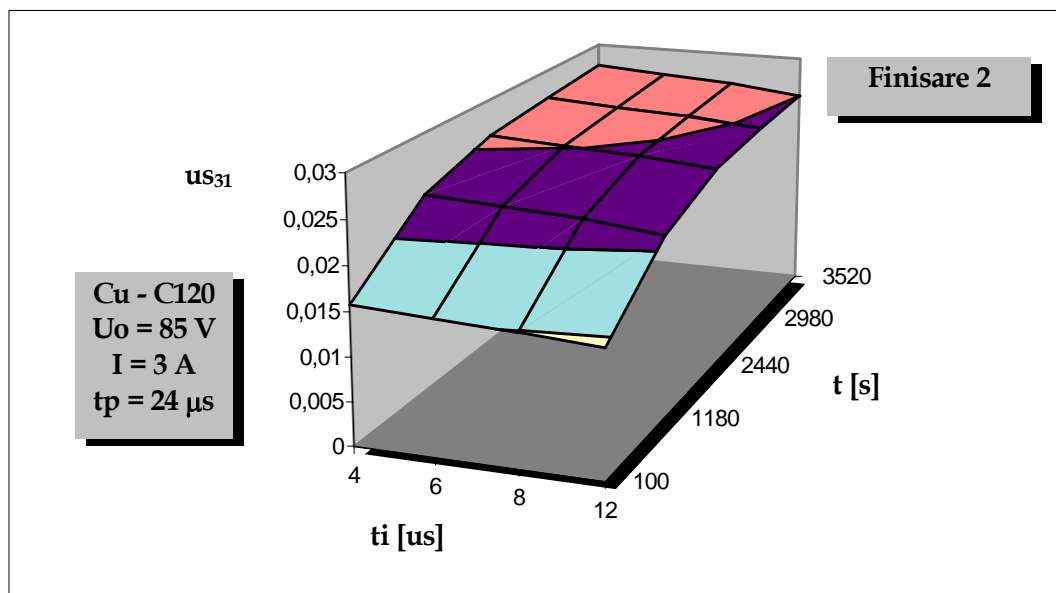


Figura 4.19. Inclinarea curbei generate $u_{s31}(t_i, t)$

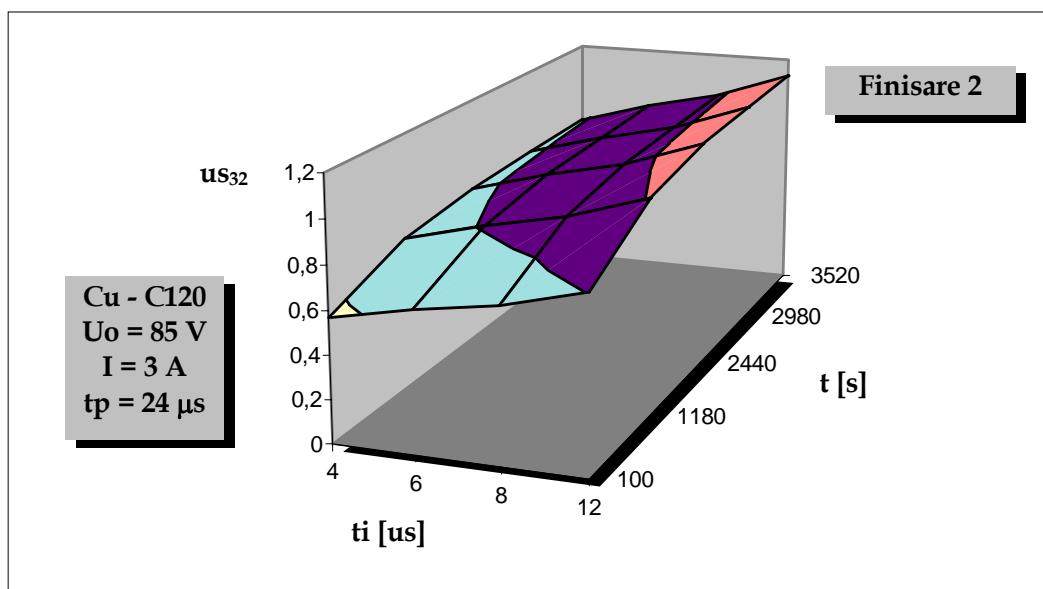


Figura 4.20. Inclinarea curbei generate $u_{s32}(t_i, t)$

4.3.3. REZULTATE

În etapa 4.3, aparținând obiectivului 4 / 2006, s-a propus studiul generării suprafețelor prelucrabile prin procedee neconventionale pe sisteme de fabricație reconfigurabile. În acest context rezultatele obținute în etapa parcursă sunt următoarele:

- determinarea ecuațiilor și parametrilor de modelare a procesului de generare cu electrozi succesivi de tip cilindric ;
- determinarea legilor de variație și a parametrilor de modelare pentru uzura electrozilor din Cu 99.5 ;
- determinarea legilor de variație și a parametrilor de modelare pentru interstiul de descarcare ;
- elaborarea unui algoritm de modelare specific generării cu infasurătoare electrod – fictive;
- determinarea prin modelare numerică a profilului suprafeței generate, cât și a erorii reale de generare.

Din analiza rezultatelor obținute, dar și a datelor inițiale propuse, se constată o realizare completă a obiectivului propus, acela de studiu al unor noi tehnici de modelare, aplicabile în cazul suprafețelor generabile prin procedee neconventionale pe sisteme de fabricație reconfigurabile.

4.3.4. CONCLUZII

1. S-au realizat programe de calcul a profilului suprafeței generatoare, a suprafeței generate și a erorii reale de generare.

Programele au fost utilizate pentru calculul coordonatelor punctelor aparținând curbei programate și curbei generate pe semifabricat, pentru regimuri de prelucrare diferite (anexele 4.1, 4.2); s-au trasat pozițiile succesive ale curbelor generate ca o imagine a desfășurării în timp a procesului de generare.

2. S-a calculat eroarea de generare în cazul generării cu directoare spațiale pentru diferite regimuri de prelucrare.

În cazul generării cu electrozi succesivi s-a constatat creșterea erorii de generare în funcție de timpul de impuls și timpul de prelucrare (figurile 4.11, 4.17), cât și creșterea liniară, în lungul axei suprafeței generate (figurile 4.12, 4.18 și anexele 4.3.1, 4.3.2).

3. S-a calculat corectia de scula și corectia de traiectorie pentru fiecare caz particular modelat numeric.

Corectia de scula a fost utilizată pentru determinarea parametrilor inițiali ai traiectoriei programate, iar corectia de traiectorie pentru ajustarea traiectoriei spațiale a suprafeței generatoare a electrodului, în vederea micșorării erorii reale de generare.

BIBLIOGRAFIE

1. BALLEYS F., FREI C. - *Evolution du gap frontal et du gap lateral en electro-erosion*. Annals of CIRP, vol. 28 /1, 1979, pag. 117-119
2. BOTZEL T. - *The technology of EDM*. MAHO Hansen GmbH, 1991
3. BORANGIU TH., s.a. - *Conducerea multiprocesor in timp real a structurilor flexibile de fabricatie*. Bucuresti, Ed. Tehnica, 1989
4. CARON R. A. - *New developments in accuracy, application and automation for CNC Ram EDM*. INGERSOLL Maschinen und Werkzeug GmbH, 1991
5. CROOKALL J. R. - *A theory of planar electrode-face wear in EDM*. Annals of CIRP, vol. 28, pag. 125-129, 1979
6. DORF C. R. - *Handbook of design, manufacturing and automation*. KUSIAC A. New York, A Wiley-Interscience Publication, 1994
7. GAVRILAS I. MARINESCU N. I.- *Prelucrarea prin electroeroziune a suprafetelor complexe de revolutie*. TCMM, nr. 3, 1988
8. HAMMER H. - *Development and state of FMS-Information*. Berlin, FRITZ WERNER Werkzeugmaschinen AG, 1992
9. HAMMER H. - *Manufacturing system for large-scale production Information*. Berlin, FRITZ WERNER Werkzeugmaschinen AG, 1992
10. LEE L. C., LIM L. C.- *Quantification of surface damage of tool steels after EDM*. International Machine Tools Manufacture, vol.28, nr. 4, pag. 359-372, 1988
11. McGEOUGH J. A., RASMUSSEN H. - *A macroscopic model of EDM*. International Machine Tools Manufacture, vol.22, nr. 4, pag. 333-339, 1982
12. NANU A., NANU D.- *Prelucrarea dimensionala prin eroziune electrica in camp magnetic*. Timisoara, Ed. Facla, 1981
13. NICHICI A., s.a. - *Prelucrarea prin eroziune in constructia de masini*. Timisoara, Ed. Facla, 1983
14. OANCEA N., NEAGU M., ARBUREANU C., s.a. - *Metode numerice pentru prelucrarea sculelor*. Galati, Universitatea "Dunarea de Jos", vol. 2, 1992
15. PROTH J., QUENTIN DE GROMARD H.- *Systemes flexibles de production*. Paris, Masson, 1986
16. SAITO K., s.a. - *Development of numerical contouring control in EDM*. Annals of CIRP, vol. 35, pag. 117-120, 1986
17. STUTE G., BAUER E., WILHELM R.- *How to find the optional configuration for a FMS*. Columbus, Forth North American Metal Working Research Conference, 1984
18. TABACARU V., MITU S.- *Tehnologii neconventionale*. Ed. Universitatea din Galati, 1992
19. TABACARU V., NAIDIM O.- *Proiectarea asistata a tehnologiei electroerozive*. Galati, A 8-a Conferinta de tehnologii moderne de prelucrare, 1993

20. TABACARU V., EPUREANU A., OANCEA N., BANU M.- *Aspects de la generation cinematique des surfaces par erosion electrique*. Galati, Analele Universitatii “Dunarea de Jos”, fascicula V, pag. 45-52, 1995.

22. TABACARU V., MAIER C., NAIDIM O.- *Mathematical model of material removing in elementary erosion process by electrical discharge*. Galati, Analele Universitatii “Dunarea de Jos”, fascicula V, pag. 53-60, 1995

4.3. Modelarea suprafetelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile	229
Rezumat	229
Premise stiintifice si tehnice	229
Material si metode	230
4.3.1. Generarea cinematica cu electrozi succesivi – eroarea de generare	230
4.3.2. Generarea cinematica cu electrozi succesivi – modelarea procesului de generare cu electrozi de tip “cilindric”	235
4.3.3. Rezultate	248
4.3.4. Concluzii	248
Bibliografie	249

4.4. METODĂ DE MODELARE A RECONFIGURĂRII CORECTIVE APLICABILĂ PE MAȘINI DE DANTURAT

REZUMAT

În scopul reconfigurării sculei-cremaliera, pentru modelarea generării virtejurilor ordonate de suprafețe, se sintetizează, în mediul AUTOCAD, algoritmi specifici, în baza cărora se propune o nouă formă constructivă a sculei – cremaliera, cu structura reconfigurabilă în funcție de numărul de dinți ai roții generate, în scopul reducerii mărimii forței principale de așchiere.

PREMISE ȘTIINȚIFICE

Se acceptă, la modelarea proceselor de generare prin așchiere liberă și ortogonală, dependența presupusă proporțională, în primă fază, între mărimea ariei așchii detașată de tășurile sculei așchietoare și mărimea forței principale de așchiere.

De asemenea, este cunoscut faptul că grosimea așchii detașate, pentru anumite domenii de variație ale mărimii acesteia, poate modifica în mare măsură proporționalitatea între mărimea forței principale de așchiere și aria geometrică a așchii nedetașate. Totuși, o modelare a schemei de așchiere, mai ales în cazul generărilor complexe prin înfășurare, cazul profilurilor asociate unui ansamblu de centroide în rulare, care să conducă la reducerea mărimii ariei așchii simultan detașată în cadrul unui ciclu de rulare, poate constitui o cale de îmbunătățire a desfășurării procesului prin perfecționarea constructivă a sculei așchietoare care, în cadrul aceleiași cinematici de generare, să conducă la o schemă de așchiere modificată, cu repercursiuni asupra mărimii forței principale de așchiere.

În cele ce urmează, în baza teoremelor generale ale înfășurării suprafețelor, se dezvoltă o metodă de modelare a schemei de așchiere la generarea cu scula – cremalieră a danturii evolventice (dantură dreaptă fără corijare) în scopul reconfigurării corective a acesteia.

1. Cinematica procesului de generare

Se prezintă, în figura 4.1, sistemele de referință, centroidele asociate profilurilor în rulare precum și evolventa cercului de rază R_b .

Sunt cunoscute dependențele între mărimile unghiulare care definesc forma evolventei cercului de rază R_b ,

$$\delta = \frac{\pi}{2z} + \alpha - \operatorname{tg}\alpha \quad (4.1)$$

în care:

α este unghiul de angrenare pe cercul de rază R_r ;

z – numărul de dinți ai modelului semifabricatului;

δ - semiunghiul golului dintre doi dinți succesivi pe cercul de bază.

Se definesc, în legătură cu figura 4.1, sistemele de referință:

xy este sistemul fix având originea suprapusă axei de rotație a semifabricatului generat;

XY – sistemul mobil, asociat evolventei cercului de bază și, totodată, centroidei C_1 ;

$\xi\eta$ - sistemul mobil asociat sculei – cremalieră și centroidei C_2 .

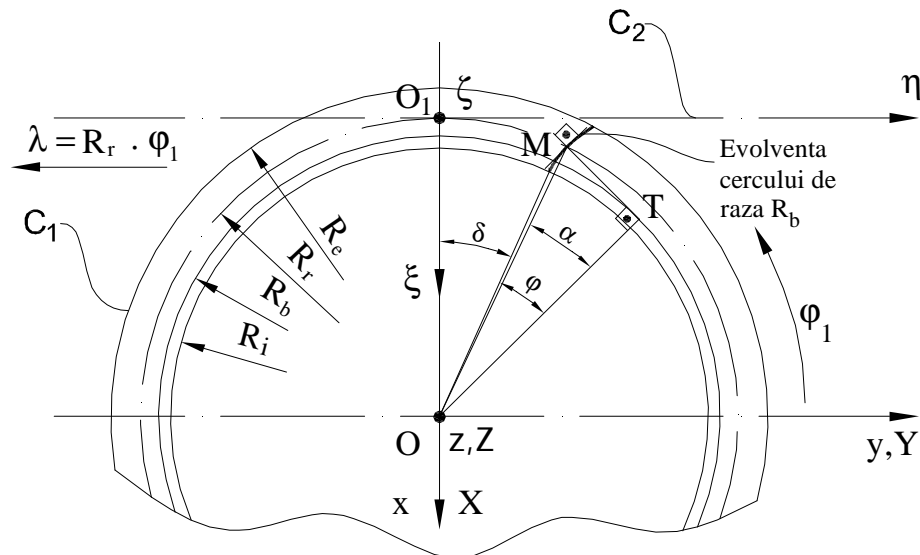


Fig. 4.1. Sisteme de referință

Condiția de rulare a celor două centroide, C_1 și C_2 , asociate modelului semifabricatului și sculei - cremalieră este

$$\lambda = R_r \cdot \varphi_1 \quad (4.2)$$

în care:

λ este parametrul de mișcare a cremalierii (translație cu viteză constantă în lungul axei η);

φ_1 – unghiul de rotație a modelului semifabricatului, considerat într-o mișcare de rotație cu viteză unghiulară constantă, în jurul axei z .

Se definesc ecuațiile evolventei cercului de rază R_b , în formă parametrică:

$$E \begin{cases} X = -R_b \cdot \cos(\varphi + \delta) - R_b \cdot \varphi \cdot \sin(\varphi + \delta); \\ Y = R_b \cdot \sin(\varphi + \delta) - R_b \cdot \varphi \cdot \cos(\varphi + \delta), \end{cases} \quad (4.3)$$

în care φ este parametrul variabil iar δ a fost definit anterior (4.1).

Mișcarea relativă între sistemele de referință mobile $\xi\eta$ și XY este dată de transformarea

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_1) \cdot X - a, \quad (4.4)$$

$$\text{cu } a = \begin{vmatrix} -R_r \\ -R_r \cdot \varphi_1 \end{vmatrix}.$$

Astfel, în baza mișcării (4.4), se poate determina familia de evolvente (4.3) în sistemul de referință al sculei – cremalieră, în forma

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -R_b \cdot \cos(\varphi + \delta) - R_b \cdot \varphi \cdot \sin(\varphi + \delta) \\ R_b \cdot \sin(\varphi + \delta) - R_b \cdot \varphi \cdot \cos(\varphi + \delta) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -R_r \\ -R_r \cdot \varphi_1 \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

sau, după dezvoltare:

$$(E)_{\varphi_1} \begin{cases} \xi = -R_b \cdot \cos(\varphi + \delta - \varphi_1) - R_b \cdot \varphi \cdot \sin(\varphi + \delta - \varphi_1) + R_r; \\ \eta = R_b \cdot \sin(\varphi + \delta - \varphi_1) - R_b \cdot \varphi \cdot \cos(\varphi + \delta - \varphi_1) + R_r \cdot \varphi_1. \end{cases} \quad (4.6)$$

Condiția GOHMAN pentru determinarea înfășurătoarei familiei de profiluri (4.6) poate fi adusă la forma:

$$\cos(\varphi_1 + \delta - \varphi) = \frac{R_b}{R_r}, \quad (4.7)$$

și, conform definiției cunoscute,

$$\frac{R_b}{R_r} = \cos(\alpha_{R_r}), \quad (4.8)$$

se poate defini mărimea unghiului de angrenare α_{R_r} pe un cerc de rulare R_r , arbitrar ales, precum și dependența

$$\alpha_{R_r} = \varphi_1 + \delta - \varphi, \quad (4.9)$$

între parametrii variabili φ_1 și φ .

Ansamblul ecuațiilor (4.6) și (4.7) reprezintă profilul sculei - cremalieră reciproc înfășurătoare evolventei cercului de rază R_b .

2. Algoritm pentru determinarea mărimii ariilor așchiilor detașate în planul de generare

Algoritmul de determinare a mărimii ariei așchiei detașate de dinții sculei - cremalieră se bazează pe posibilitățile mediului de programare AUTOCAD care, permițând modelarea sub forma unei *regiuni* a cremalierii, vezi figura 4.2, permite, utilizând comanda “SUBTRACT” specifică, decuparea succesivă din *regiunea* semifabricatului a *regiunii* sculei – cremalieră, în

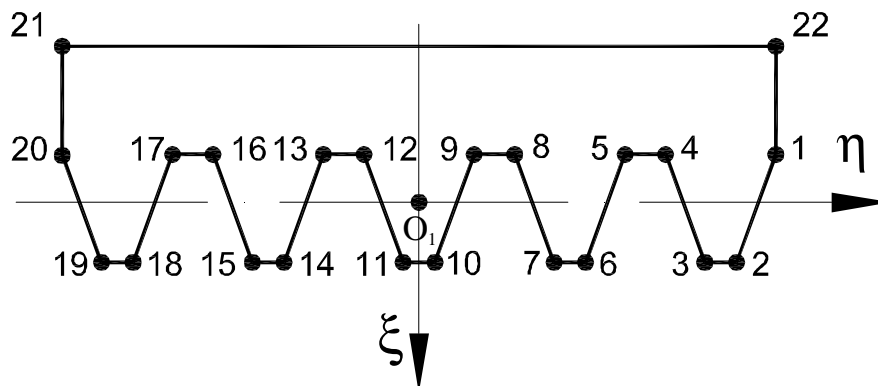


Fig. 4.2. Regiunea sculei-cremalieră

conformitate cu pozițiile succesive ale acesteia față de modelul semifabricatului.

Cinematica procesului presupune cunoașterea mișcării relative a regiunii sculei - cremalieră față de semifabricat

$$X = \omega_3(\varphi_1) \cdot [\xi + a], \quad (4.10)$$

vezi și relația (4.4).

Matricea ξ este formată din totalitatea punctelor care delimitează regiunea cremalierii, figura 4.2, segmentele : $\overline{1,2}$; $\overline{2,3}$; $\overline{3,4}$; ... $\overline{21,22}$; $\overline{22,1}$.

Astfel, există posibilitatea poziționării relative a regiunii sculei - cremalieră în raport cu semifabricatul, conform cinematicii descrisă de ecuația (4.10), pentru o variație incrementală a unghiului “ φ_1 ”.

În figura 4.3, sunt prezentate două poziții succesive ale sculei - cremalieră, în raport cu regiunea semifabricatului, delimitând modelul așchiei detașate.

NOTĂ În STAS 6599, se utilizează noțiunea de “așchie nedetașată”. În lucrarea de față poate fi înlocuită uneori cu “așchie modelată”.

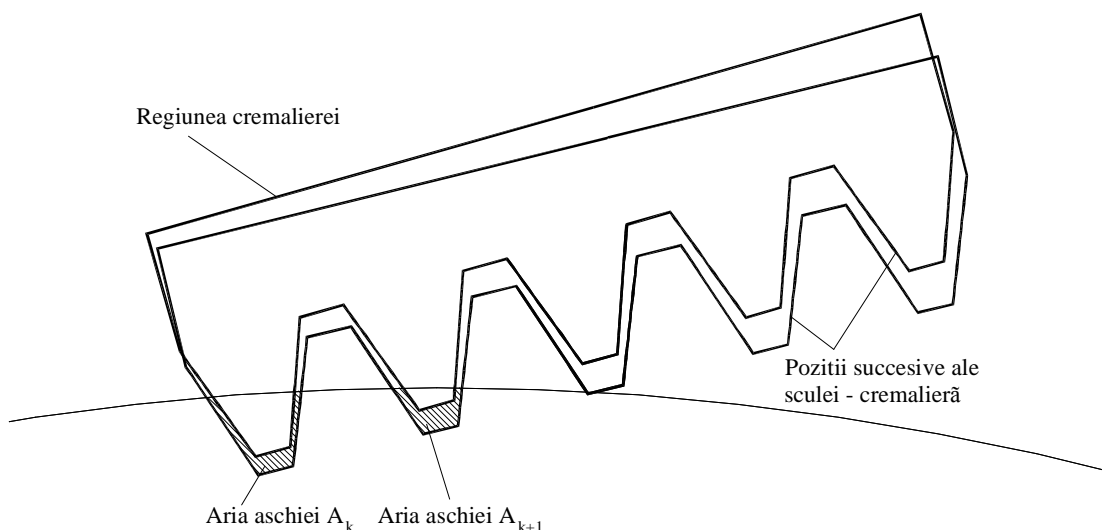


Fig. 4.3. Modelul așchiei detașate la două poziții succesive ale cremalierii în raport cu semifabricatul (poziții relative a regiunilor asociate)

Se modelează, în acest fel, în mișcarea relativă a cremalierii față de semifabricat, forma și mărimea ariei detașate (mărimea ariei așchiei) de scula - cremalieră din regiunea semifabricatului, ariile A_{k-1} , A_k , A_{k+1} etc.

Suma acestor arii, detașate simultan în planul de generare al evolventei, reprezintă aria totală detașată, între două poziționări succesive ale sculei - cremalieră față de semifabricat,

$$A_{\text{TOTAL}} = \sum_{k=1}^n A_k, \quad (4.11)$$

în care “n” este numărul total de dinți ai sculei - cremalieră în contact cu semifabricatul.

Algoritmul permite modelarea variației mărimii ariei așchii modelate, în procesul simulat de așchiere, în condițiile modificării poziției relative a dinților sculei-cremalieră.

3. Sinteza unei scheme de așchiere la generarea cu o cremalieră cu geometrie reconfigurabilă

Se imaginează o sculă-pieptene cu o geometrie reconfigurabilă, în funcție de numărul de dinți ai roții prelucrate, în scopul acordării geometriei acestuia cu semifabricatul prelucrat, în vederea uniformizării mărimii ariei așchii detașate pe un ciclu de rulare.

Dinții cuțitului-pieptene, de formă și dimensiuni identice cu dinții cremalierii standard, păstrând pasul de divizare, sunt poziționați diferit în direcție transversală față de dreapta de divizare a cremalierii standard.

În figura 4.4, este prezentată regiunea sculei modificate. Sunt evidențiate pozițiile distincte ale dinților cremalierii cu geometrie reconfigurabilă. O astfel de geometrie este posibilă printr-o construcție specială a cremalierii (vezi figura 4.5).

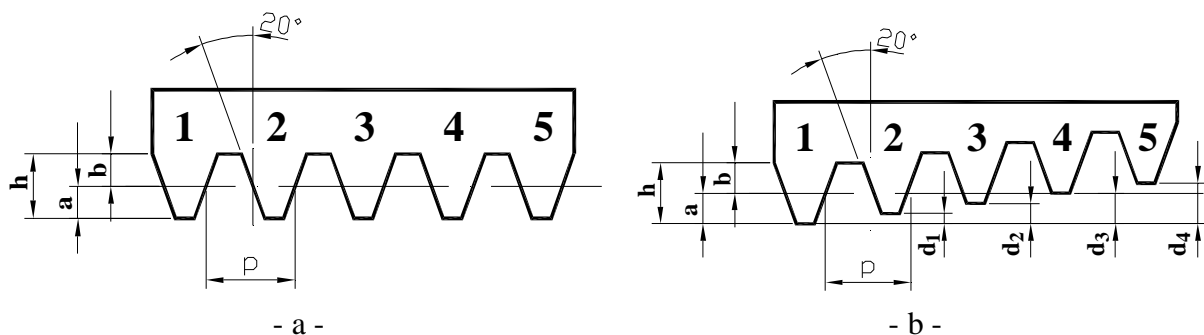


Fig.4.4. Regiunea sculei – cremalieră (a – standard, b – reconfigurabilă)
($d_1=0,375 m$; $d_2=0,750 m$; $d_3=1,125 m$; $d_4=1,5 m$; m – modulul roții modelate)

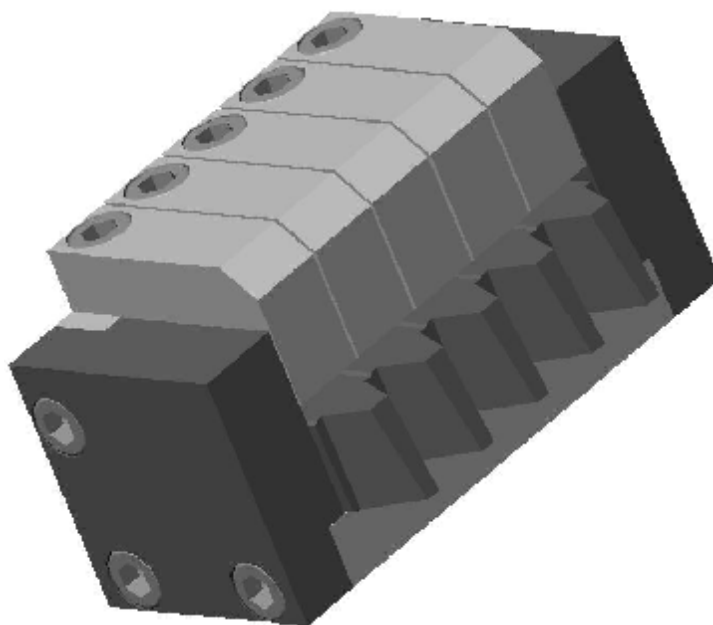


Fig. 4.5. Sculă-pieptene cu geometrie reconfigurabilă (vedere de ansamblu)

În figura 4.6, se prezintă elementele constructive ale sculei cu geometrie reconfigurabilă.

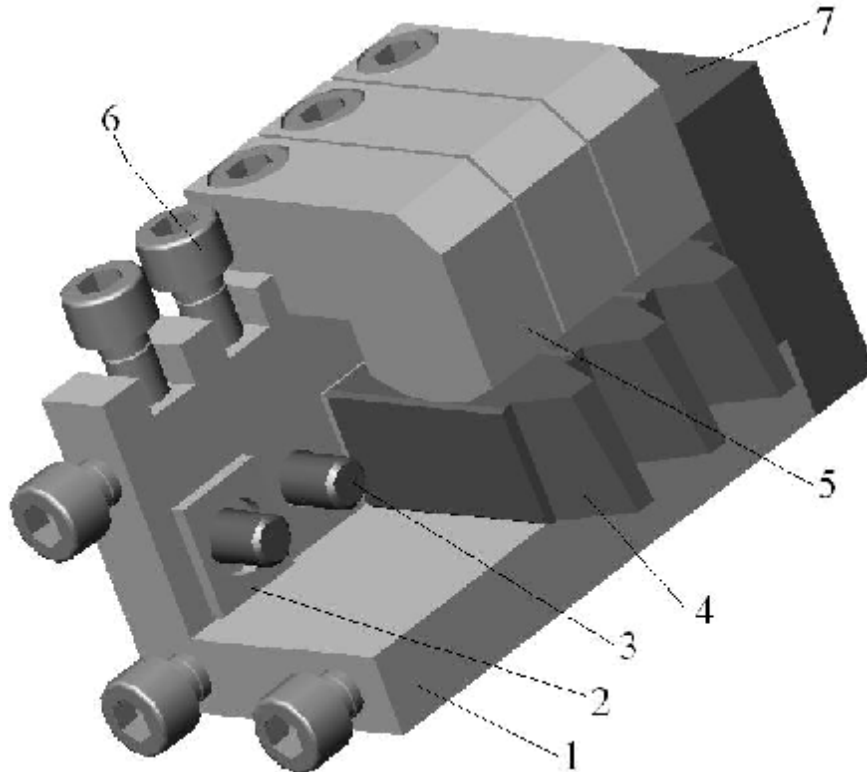


Fig.4.6. Elementele componente ale sculei-pieptene cu geometrie reconfigurabilă

Pe corpul 1 sunt poziționate cuțitele 4, identice cu dinții cremalierii, care pot fi reconfigurate ca poziție cu ajutorul adaosurilor 2, diferite ca grosime pentru fiecare cuțit în parte. Prinderea cuțitelor pe corp se face cu ajutorul șuruburilor 3 precum și a bridelor 5, fixate cu șuruburile 6. Ansamblul cuțitelor este strâns între pereții 7, realizându-se precizia pasului cremalierii generatoare.

În baza algoritmului prezentat, pentru modelarea schemei de așchiere la generarea cu scule-cremalieră, a fost sintetizată o schemă de așchiere, în baza unei geometrii reconfigurate a sculei, care să conducă la uniformizarea relativă a mărimii ariei așchiei modelate și, pe această cale, la reducerea maximum mărimii ariei așchiei detașate în procesul de modelare a danturii evolventice cu o cremalieră de tipul prezentat în figurile 4.5 și 4.6.

Având în vedere forma constructivă a sculei – cremalieră cu geometrie reconfigurabilă la care atât numărul de dinți activi (care participă la modelarea formării așchiei) cât și poziția relativă a acestora în raport cu *dintele de referință* (dintele în poziția standard) se pot modifica, s-au imaginat modele de reconfigurare a *regiunilor* cremalierii (vezi algoritmul pentru determinarea mărimii ariei așchiei detașate), modele care să corespundă unui singur criteriu: o cât mai uniformă variație a legității mărimii ariei așchiei.

Așa cum s-a precizat în cadrul algoritmului propus, divizarea modelului roții se consideră a se face din dinte în dinte.

În figurile 4.7, 4.8 și 4.9, sunt prezentate legități de variație ale mărimii ariei așchiei detașate la modelarea danturării cu o sculă cu geometrie

reconfigurabilă cu șapte dinți succesivi, dispuși în conformitate cu legenda figurilor, pentru diferite numere de dinți ai roților considerate.

Legenda

Scula reconfigurabila Inaltime dinte=2.25 2 1.75 1.45 1.15 0.8 0.4 m
 Scula standard Inaltime dinte=2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 m

A - aria aschiei detasate [mm x mm] - Scara Y 10 : 1

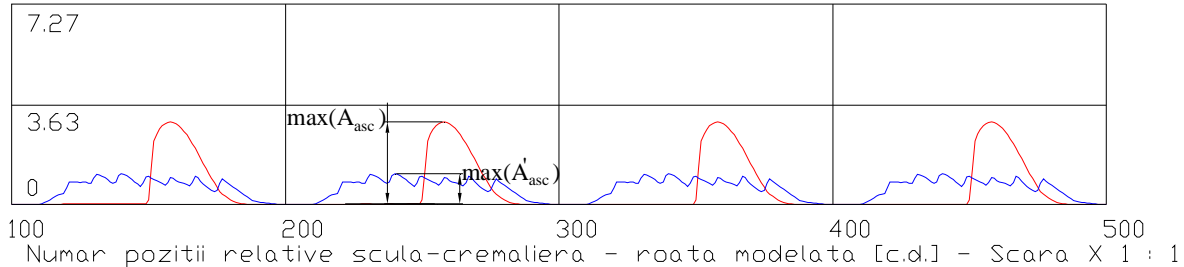


Fig. 4.7. Legea de variație a mărimii ariei așchiei modelate în funcție de numărul de poziții relative a sculei-cremalieră — roată modelată

(dantură exterioară; numărul de dinți ai sculei, $z_s = 7$; numărul de dinți ai piesei, $z_p = 40$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

Legenda

Scula reconfigurabila Inaltime dinte=2.25 2 1.75 1.45 1.15 0.8 0.4 m
 Scula standard Inaltime dinte=2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 m

A - aria aschiei detasate [mm x mm] - Scara Y 10 : 1

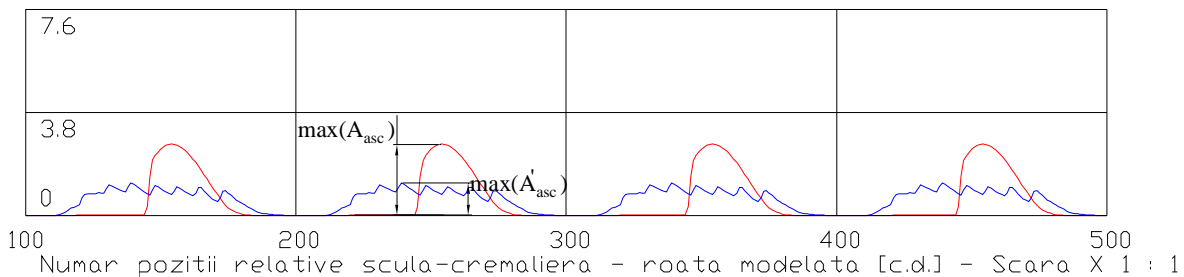


Fig. 4.8. Legea de variație a mărimii ariei așchiei modelate în funcție de numărul de poziții relative a sculei-cremalieră — roată modelată

(dantură exterioară; numărul de dinți ai sculei, $z_s = 7$; numărul de dinți ai piesei, $z_p = 60$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

Legenda

Scula reconfigurabila Inaltime dinte=2.25 2 1.75 1.45 1.15 0.8 0.4 m
 Scula standard Inaltime dinte=2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 m

A - aria aschiei detasate [mm x mm] - Scara Y 10 : 1

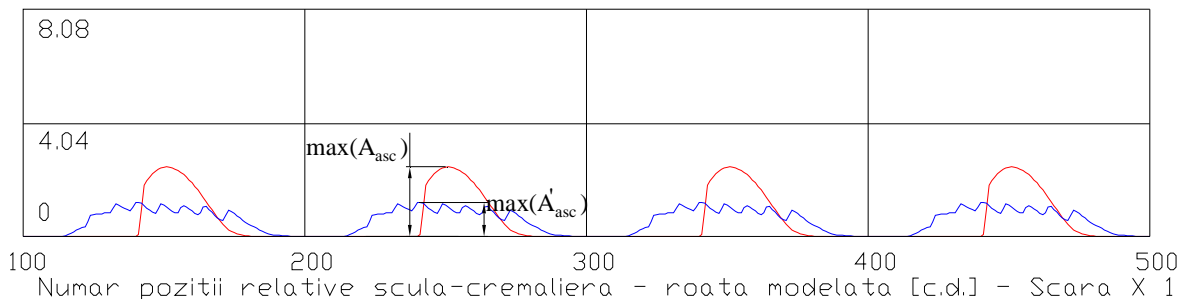


Fig. 4.9. Legea de variație a mărimii ariei așchiei modelate în funcție de numărul de poziții relative a sculei-cremalieră — roată modelată

(dantură exterioară; numărul de dinți ai sculei, $z_s = 7$; numărul de dinți ai piesei, $z_p = 80$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

· Coeficient de reducere

Oricare dintre schemele de aşchiere modelate pot fi caracterizate printr-un coeficient de reducere a neuniformităţii legii de variaţie a mărimii ariei aşchii modelate definit ca raportul dintre maximul ariei aşchii modelate cu scula reconfigurabilă şi maximul ariei aşchii modelate cu scula standard, în cadrul aceluiaşi ciclu de rulare:

$$C_R = \frac{A_{\max_scula_reconfigurabila}}{A_{\max_scula_s\ tan\ dard}} \cdot 100, [\%]. \quad (4.12)$$

În baza algoritmului de modelare propus şi a schemelor de aşchiere reprezentate (vezi figurile 4.7, 4.8 şi 4.9), în figura 4.10 s-a trasat legea de variaţie a coeficientului de reducere a mărimii ariei aşchii detaşate în funcţie de numărul de dinţi ai roţii modelate, variaţie cuprinsă între limitele 32% - 58%.

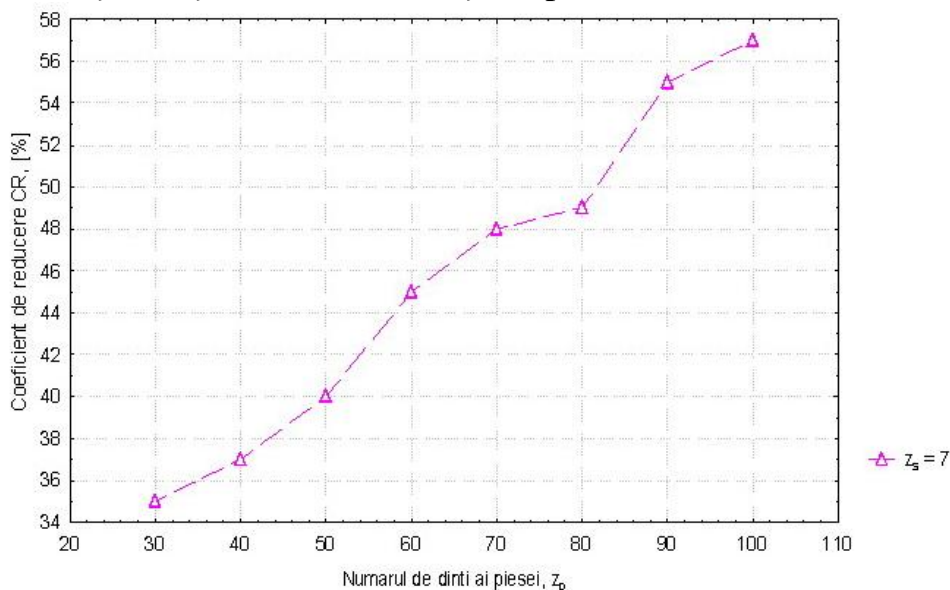


Fig. 4.10. Coeficienți de reducere în funcție de numărul de dinți ai roții modelate (sculă – cremalieră cu 7 dinți activi)

(dantură exterioară; număr de dinți sculă, $z_s = 7$; număr de dinți piesă, $z_p = 80$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

Astfel, se poate stabili o legitate între mărimea modelată a ariei aşchii detaşate şi numărul de dinţi ai roţii prelucrate, ca bază a reconfigurabilităţii sculei aşchietoare.

4. Metodă de reconfigurare a sculei – cremalieră

În baza faptului că există o legitate de variaţie a coeficientului de reducere a mărimii ariei aşchii modelate în funcţie de numărul de dinţi ai roţii dinţate, pentru o configuraţie dată a sculei – cremalieră, este de aşteptat ca,

pentru diferite configurații ale sculei (număr de dinți z_s , poziție relativă a dinților succesivi), în funcție de numărul de dinți ai roții modelate, să se poată stabili criterii de alegere ale configurației sculei – cremalieră care să asigure:

- o anumită mărime maximă a ariei așchii modelate, deci a unui coeficient de reducere dorit, față de lucrul cu scula standard;
- un timp „relativ” de danturare a roții dințate, în comparație cu timpul necesar generării aceleiași roți, cu aceeași sculă standard, în condițiile identității modelelor procesului de generare: număr de poziții relative ale sculei - cremalieră față de modelul semifabricatului pentru un ciclu de rulare (generarea unui gol între doi dinți succesivi)—echivalentul avansului circular de danturare;
- îndepărtarea întregului „adaos de prelucrare” dintre doi dinți succesivi, la o singură trecere (poziționare) a celor două regiuni —ale modelelor cremalierii și al roții prelucrate.

În baza unor astfel de criterii, pentru un anumit număr de dinți ai roții modelate, se poate stabili o configurație a sculei - cremalieră care să satisfacă ambele cerințe ale unui viitor proces real de danturare:

- o anumită reducere a mărimii forței principale de așchiere (considerând viabilă ipoteza unei dependențe intrinsecă a mărimii forței de așchiere de aria așchii detașate) pentru un material dat;
- un timp de prelucrare (aici, timp relativ modelat);
- ambele în comparație cu „așchiera modelată” cu o sculă-cremalieră standard.

Notă

În modelarea propusă, se poate accepta că timpul de bază pentru generarea unei roți dințate cilindrice cu dinți drepți poate fi definit ca fiind dependent de:

- mărimea pasului danturii pe cercul de divizare, $p=m\pi$; m —modulul roții dințate;
- avansul circular, S_c , posibil de reglat pe mașina de danturat, în sensul modelării numărului de poziții succesive sculă—modelul semifabricatului, pentru realizarea unui ciclu de rulare;
- z_s —numărul de dinți activi ai sculei – cremalieră reconfigurabilă;
- z_p —numărul de dinți ai roții de modelat;

deci,

$$\tau_{b \text{ relativ}} = \frac{\pi m}{S_c} z_s z_p K, \quad (4.13)$$

în care K reprezintă un coeficient de transformare specific procesului de modelare.

În acest caz, dacă modelarea generării danturii cu scula reconfigurabilă se realizează pentru același număr de poziții relative sculă—semifabricat, echivalentul în model al avansului circular, și totodată se acceptă că divizarea rotii se face din dinte în dinte, ca la prelucrarea cu o sculă-cremalieră monodinte luată ca bază de comparație, atunci, în aceleași condiții, timpul de prelucrare depinde direct proporțional de numărul de dinți ai cremalierii reconfigurabile z_s .

Mărirea numărului de dinți activi ai sculei-cremalieră reconfigurabile, va conduce la mărirea timpului de bază relativ de generare a roții dințate.

Având în vedere forma constructivă a sculei - cremalieră cu geometrie reconfigurabilă, figura 4.6, pentru care atât numărul de dinți activi (dinții care participă la modelarea formării așchiei) cât și poziția relativă a acestora, în raport cu „dintele” de referință (dintele în poziția standard), s-au imaginat modele de reconfigurare a *regiunilor cremalierii* (vezi algoritmul de modelare a așchierii) modele care să corespundă unui singur criteriu: o cât mai uniformă variație a legității mărimii ariei așchiei detașate pentru zona activă a cremalierii reconfigurate.

În tabelul 4.1, se prezintă forma *regiunilor* cremalierii reconfigurabile, precum și poziția relativă a dinților succesivi, pentru diferite numere de dinți activi ale acesteia, precum și legitatea de variație a mărimii ariei așchiei detașate, pentru numărul de dinți ai piesei $z_p = 30$.

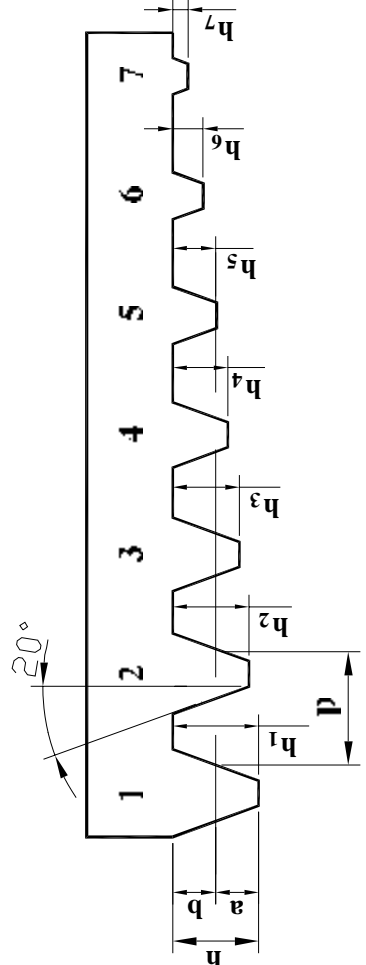
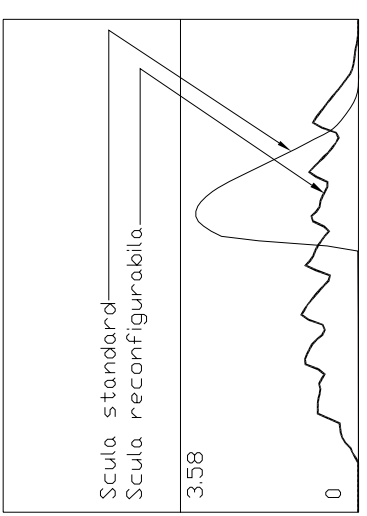
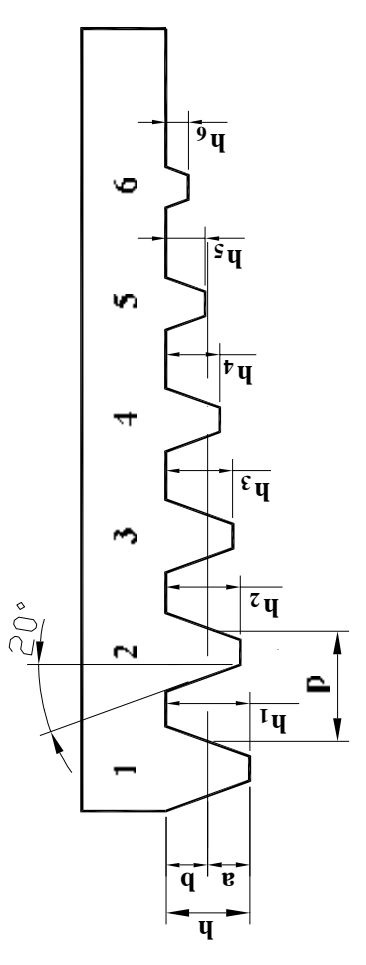
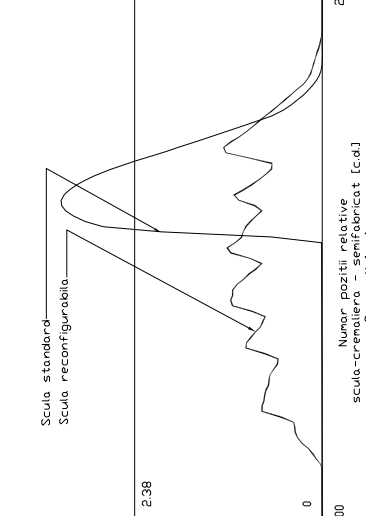
Odată descrise modelele cremalierii reconfigurate, cu valori ale numărului de dinți activi cuprins între 4 și 7, se realizează un *experiment modelat* pentru diferite numere de dinți ai roții modelate.

În figurile A1 – A26 din Anexa 4.4, sunt prezentate prin suprapunere, pentru aceleași cicluri de rulare, modele de variație ale mărimii ariei așchiei detașate de dinții sculei – cremalieră de construcție standard, respectiv reconfigurabilă, în procesul generării prin rulare, pentru condițiile:

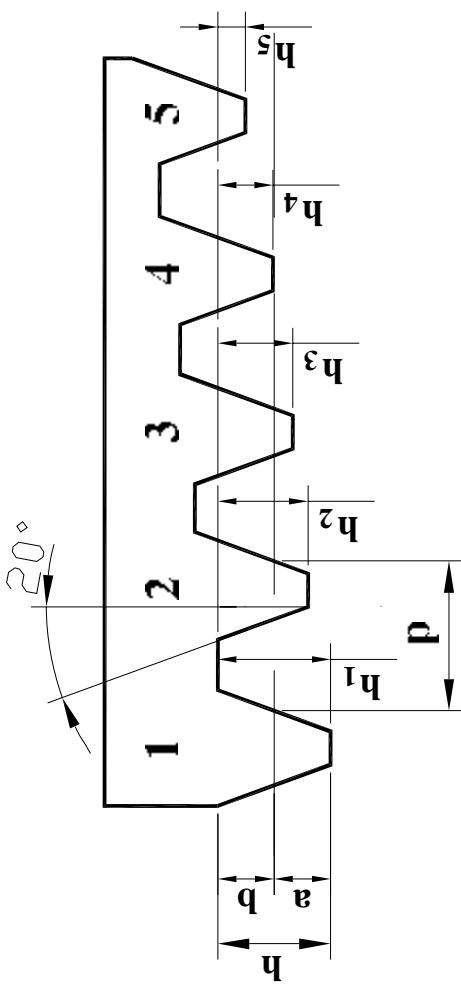
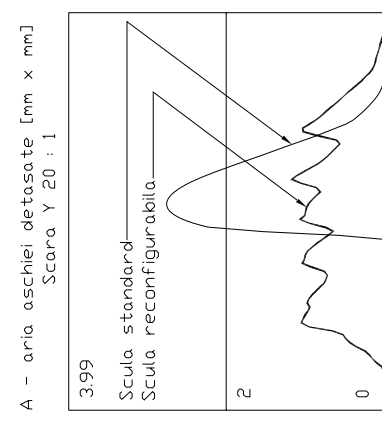
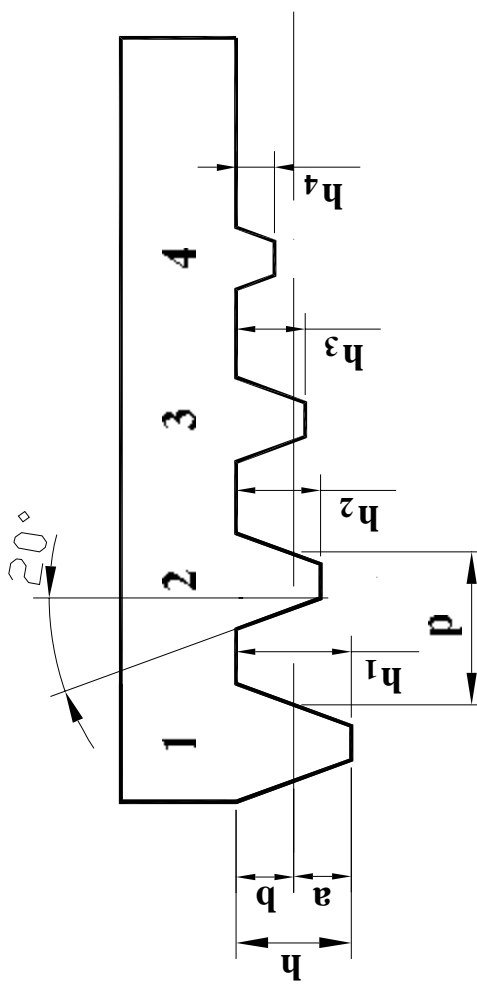
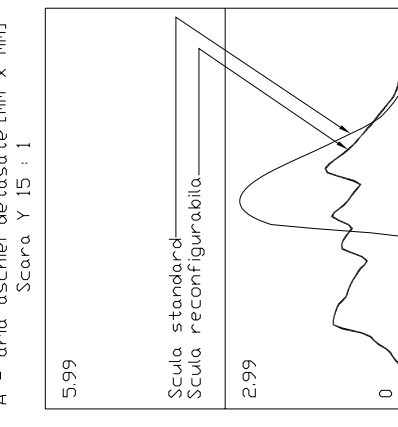
- număr de dinți ai sculei – cremalieră, $z_s = 4, 5, 6, 7$;
- modul roții dințate, $m = 4$ mm;
- numărul de curse duble al cremalierii, raportat la un ciclu de rulare (generarea unui gol), $n_{cd} = 50, 100$ [c.d. / ciclu de rulare];
- îndepărtarea întregului adaos de prelucrare la o singură trecere.

Se definesc, în legătură cu figurile A1 – A26 din Anexa 4.4, coeficientul de reducere, vezi (4.12), și timpul relativ modelat, vezi (4.13), rezultatele fiind reprezentate grafic tridimensional în figurile 4.11, 4.12, pentru un număr de curse duble la generarea golului dintre doi dinți succesivi ai piesei, $n_{cd} = 100$ [c.d./gol] și, respectiv, în figurile R1 și R2 din Anexa 4.4, pentru un număr de curse duble la generarea golului dintre doi dinți succesivi ai piesei, $n_{cd} = 50$ [c.d./gol] .

Tabellul 4.1

Forma regiunii sculei	Numărul de dinți ai sculei	Înălțimea dinților	Schema de aşchiere (numărul de dinți ai piesei, $Z_p - 30$)
	7	$h_1=2,25$ m $h_2=2$ m $h_3=1,75$ m $h_4=1,45$ m $h_5=1,15$ m $h_6=0,8$ m $h_7=0,4$ m	<p>A - aria aşchii detasate [mm x mm] Scara Y 10 : 1</p>  <p>Scula standard Scula reconfigurabila</p> <p>358</p> <p>0</p> <p>100</p> <p>Numar pozitii relative scula-cremaliera - semifabricat [c.d.] Scara X 1 : 1</p>
	6	$h_1=2,25$ m $h_2=2$ m $h_3=1,8$ m $h_4=1,45$ m $h_5=1,05$ m $h_6=0,6$ m	<p>A - aria aşchii detasate [mm x mm] Scara Y 20 : 1</p>  <p>Scula standard Scula reconfigurabila</p> <p>238</p> <p>0</p> <p>100</p> <p>Numar pozitii relative scula-cremaliera - semifabricat [c.d.] Scara X 1 : 1</p>

Tabelul 4.1 (continuare)

Forma regiunii sculei	Numărul de dinți ai sculei	Înălțimea dinților	Schema de aşchiere (numărul de dinți ai piesei, $z_p - 30$)
	5	$h_1=2,25 \text{ m}$ $h_2=1,8 \text{ m}$ $h_3=1,5 \text{ m}$ $h_4=1,1 \text{ m}$ $h_5=0,55 \text{ m}$	<p>A - aria aşchierii detasate [mm x mm] Scara Y 20 : 1</p>  <p>3.99 Scula standard Scula reconfigurabila</p> <p>2 0</p> <p>100 Numar pozitii relative scula-cremaliera - semifabricat [c.d.] Scara X 1 : 1</p>
	4	$h_1=2,25 \text{ m}$ $h_2=1,65 \text{ m}$ $h_3=1,35 \text{ m}$ $h_4=0,75 \text{ m}$	<p>A - aria aşchierii detasate [mm x mm] Scara Y 15 : 1</p>  <p>5.99 Scula standard Scula reconfigurabila</p> <p>2.99 0</p> <p>100 Numar pozitii relative scula-cremaliera - semifabricat [c.d.] Scara X 1 : 1</p>

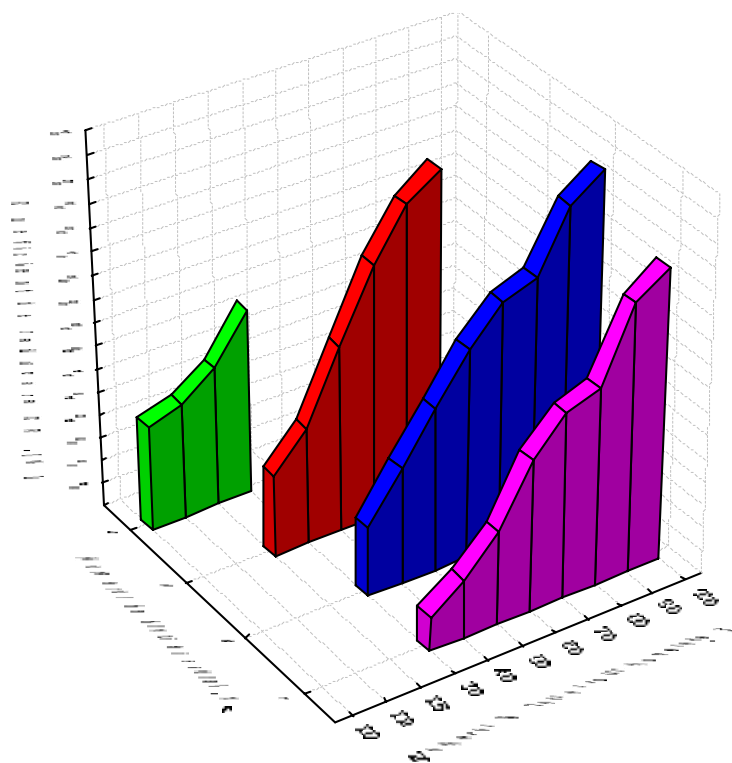


Fig. 4.11. Coeficienți de reducere în funcție de numărul de dinți ai roții modelate și numărul de dinți activi ai sculei reconfigurabile (numărul de curse duble la generarea golului dintre doi dinți succesivi ai piesei, $n_{cd} = 100$ [c.d./ciclu de rulare (gol modelat)]; număr de dinți ai sculei, $z_s = 4, 5, 6, 7$; număr de dinți ai piesei, $z_p = 20 - 100$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

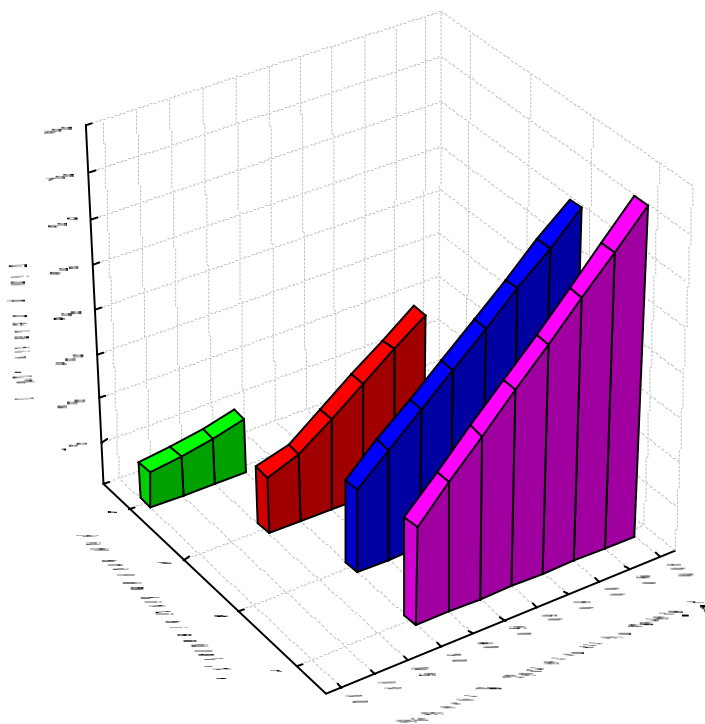


Fig. 4.12. Timp relativ de generare în funcție de numărul de dinți ai roții modelate și numărul de dinți activi ai sculei reconfigurabile (numărul de curse duble la generarea golului dintre doi dinți succesivi ai piesei, $n_{cd} = 100$ [c.d./ciclu de rulare (gol modelat)]; număr de dinți ai sculei, $z_s = 4, 5, 6, 7$; număr de dinți ai piesei, $z_p = 20 - 100$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

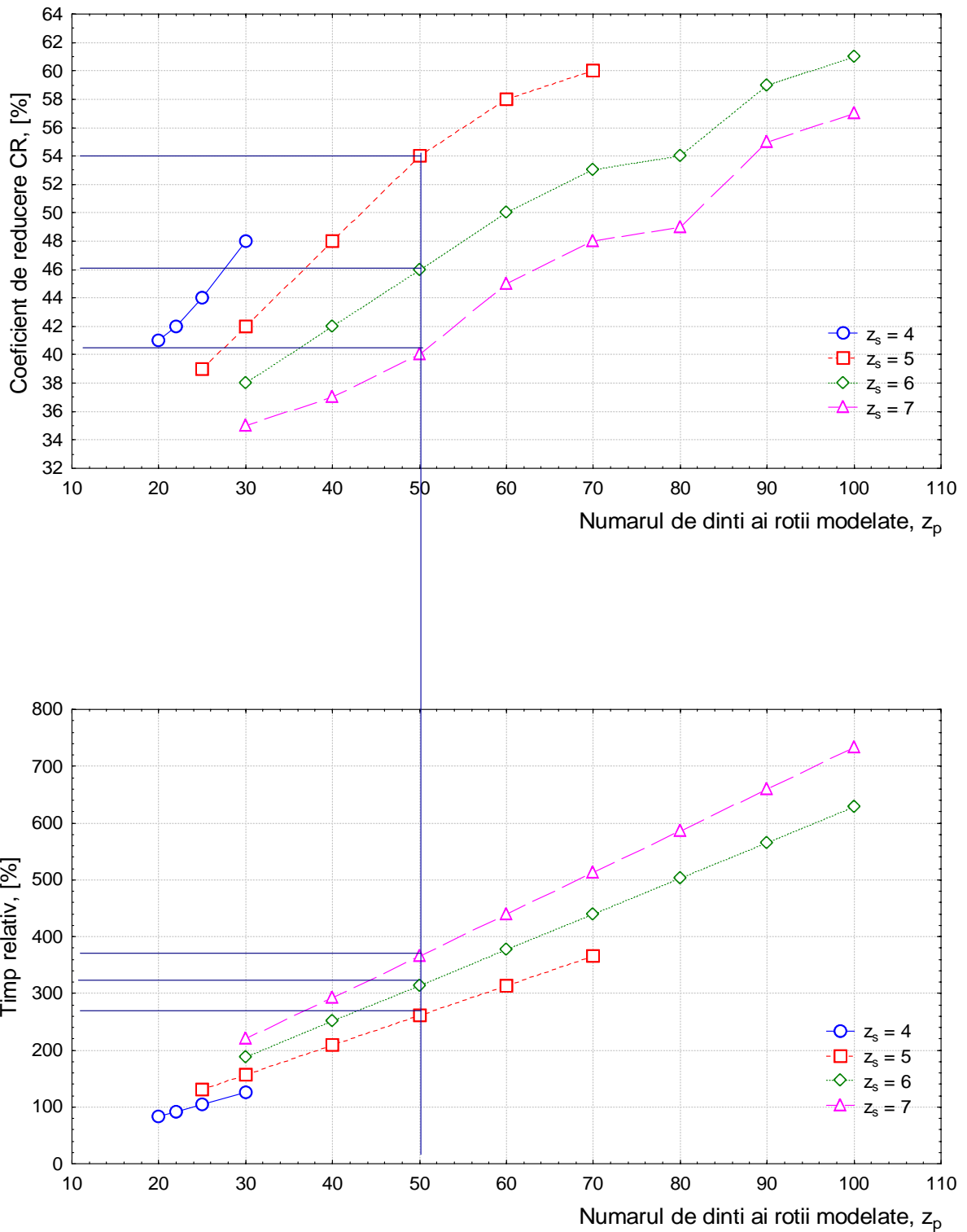


Fig. 4.13. Coeficienții de reducere și timpi relativi de generare în funcție de numărul de dinți ai roții dințate și, respectiv, numărul de dinți activi ai sculei reconfigurabile (numărul de curse duble la generarea golului dintre doi dinți succesivi ai piesei, $n_{cd} = 100$ [c.d./ciclu de rulare (gol modelat)]; număr de dinți ai sculei, $z_s = 4, 5, 6, 7$; număr de dinți ai piesei, $z_p = 20 - 100$; modulul, $m=4$; îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere)

În figura 4.13, s-a realizat reprezentarea în coordonate plane a indicatorilor menționați.

Este evident că scula cu șapte dinți activi, pentru configurația prezentată în tabelul 4.1, asigură cel mai redus coeficient de reducere, indiferent de numărul modelat de dinți ai roții (vezi figura 4.13).

De asemenea, este evident faptul că, odată cu creșterea numărului de dinți ai sculei-cremalieră, procesul modelat se îmbunătățește, în sensul că, mărimea coeficientului de reducere (4.12) se diminuează.

Totuși, numai o asemenea interpretare, în baza acestui unic criteriu este inadecvată pentru descrierea procesului.

Odată cu creșterea numărului de dinți ai roții modelate se mărește și timpul relativ în care se generează roata dințată (vezi figura 4.12). Mai mult, figura 4.12 indică și o mărire a acestui timp relativ odată cu mărirea numărului de dinți activi ai cremalierii reconfigurabile, astfel că satisfacerea cerinței privind asigurarea unui timp relativ limită pentru generarea unei roți cu un număr de dinți dat este diferit pentru diferitele configurații ale cremalierii cu geometrie reconfigurabilă.

În acest fel, cele două criterii:

- *mărimea coeficientului de reducere;*

- *timpul relativ limită de generare a roții;*

constituie un ansamblu de criterii ce trebuie satisfăcute simultan, pentru alegerea unei configurații a sculei-cremalieră.

Spre exemplu: pentru o roată cu 50 de dinți, se pot alege configurații cu 7, 6 sau 5 dinți ai sculei-cremalieră, care conduc la timpi relativi între 400% și 250% și în același timp la coeficienți de reducere între 54% și 40%.

O decizie poate fi luată: un timp mai îndelung al generării, dar cu o forță principală de așchiere mai redusă, ca efect al reducerii mărimii ariei așchierii detașate, ori un timp de generare mai redus, dar pentru o forță principală de așchiere mai mare, ca efect al unui coeficient de reducere mai mic.

5. Descrierea programului destinat modelării schemei de așchiere în scopul reconfigurării corective a sculelor de tip cremalieră

Produsul soft MODSAC (modelarea schemei de așchiere cu scule - cremalieră) este destinat atât studiului legii de variație a mărimii ariei așchierii modelate în cazul generării danturilor evolventice ale roților .

Schema logică a acestui modul este prezentată în figura 4.14.

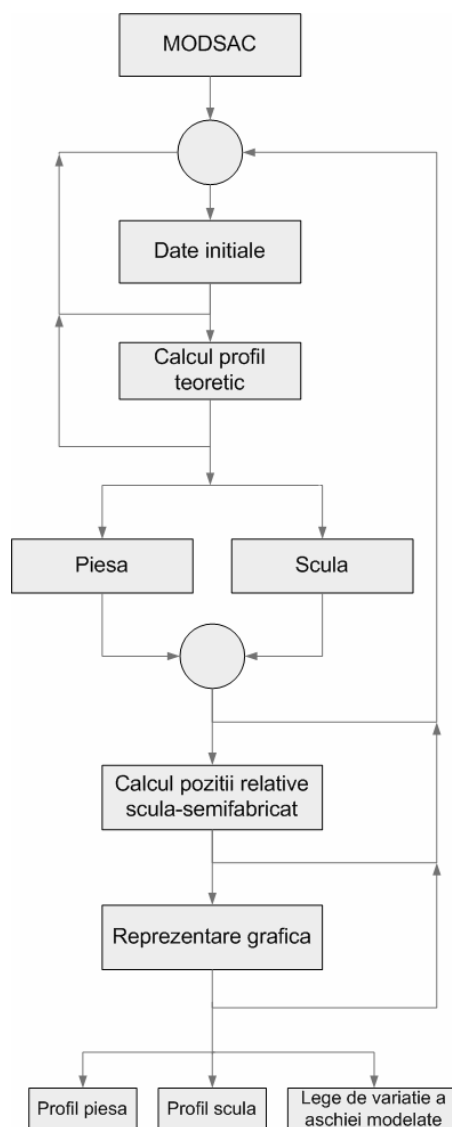


Fig.4.14. Schema logică a modului MODSAC

• Comenzi software

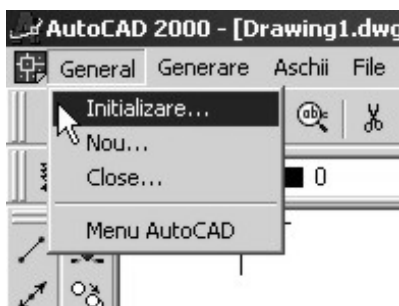


Fig.4.15. Meniul GENERAL

În meniul **GENERAL** sunt cuprinse următoarele comenzi:

- **Inițializare**
- **Nou**
- **Close**
- **Meniu AutoCAD**

Prin intermediul comenzii **Inițializare** (figura 4.15), se încarcă modulul care generează o fereastră de dialog prin intermediul căreia se specifică discul și directorul din care se vor apela ulterior comenzile necesare simulării, reprezentând în același timp locația fișierelor de date generate (figura 4.16).



Fig.4.16. Inițializarea aplicației

Prin intermediul comenzii **Nou** (figura 4.15), se realizează deschiderea unui nou spațiu de lucru. Ulterior, după realizarea simulării, spațiul de lucru se poate închide cu ajutorul comenzii **CLOSE**, având posibilitatea de a salva imaginea obținută.

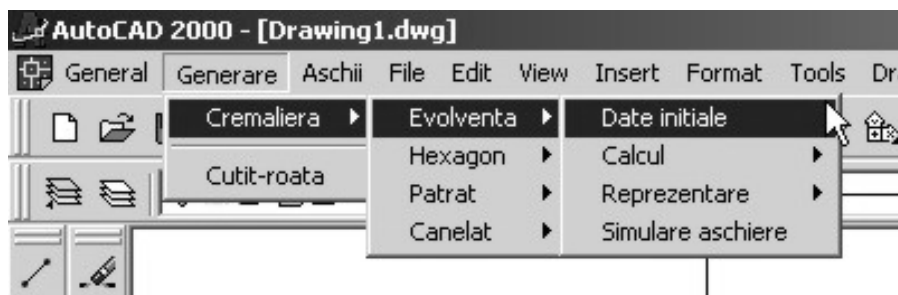


Fig.4.17. Comenzile modului

Comanda **Meniu AutoCAD** dezactivează meniul “general.mnu”, revenindu-se la meniul AutoCAD implicit.

Meniul **GENERARE** are o structură modulară concepută pentru fiecare caz analizat. De exemplu, scula-cremalieră pentru generarea unui arbore hexagonal, sau scula-cremalieră pentru generarea unui profil evolventic, în cazul prelucrării roților dințate. Fiecare caz cuprinde o structură identică de comenzi, din punct de vedere a dispunerii în meniu. Calea introdusă prin intermediul comenzii **Inițializare**, permite apelarea comenzilor și, respectiv, a modulelor specifice cazului analizat (figura 4.17).

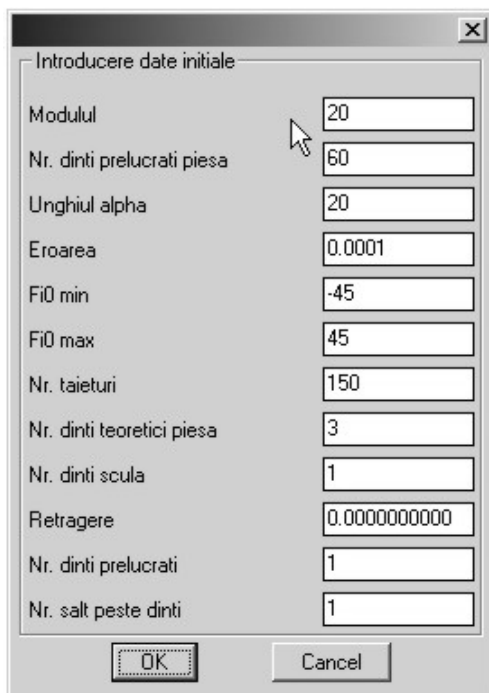


Fig.4.18. Date inițiale

Acste comenzi sunt următoarele:

- **Date inițiale** (date de intrare)
- **Calcul** (profil teoretic piesă, sculă; poziții relative sculă - semifabricat)
- **Reprezentare** (grafică)
- **Simulare aşchiere**

Comanda **Date Inițiale** deschide o

fereastră de dialog în care se introduc datele de intrare necesare modelelor schemelor de aşchiere (figura 4.18).

Există posibilitatea analizării schemelor de aşchiere prin modificarea poziţiei relative a dinţilor în cazul sculelor – pieptene reconfigurabile.

Următorul pas constă în calculul profilurilor teoretice, al piesei (comanda **Profil Piesă**) şi al sculei (comanda **Profil Sculă**), calcul ce se realizează cu ajutorul modulelor de comenzi apelate din meniu, prezentate în figura 4.19.

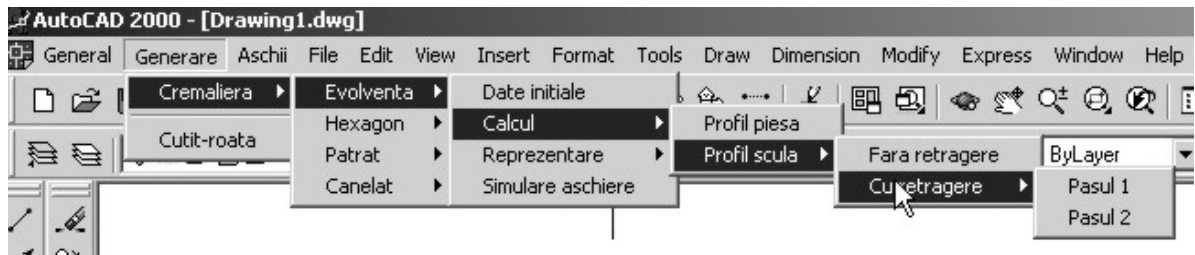


Fig.4.19 Calculul profilului teoretic al piesei şi al sculei

În figura 4.20, este prezentată trecerea la următorul pas, **Reprezentare**, prin intermediul căreia se apelează două opţiuni, **Profil Piesa Poz.0** şi respectiv **Profil Sculă Poz.0**, ce permit o apreciere grafică calitativă a profilului teoretic al piesei şi respectiv al sculei, în poziţia 0 (iniţială), în vederea realizării simulării.

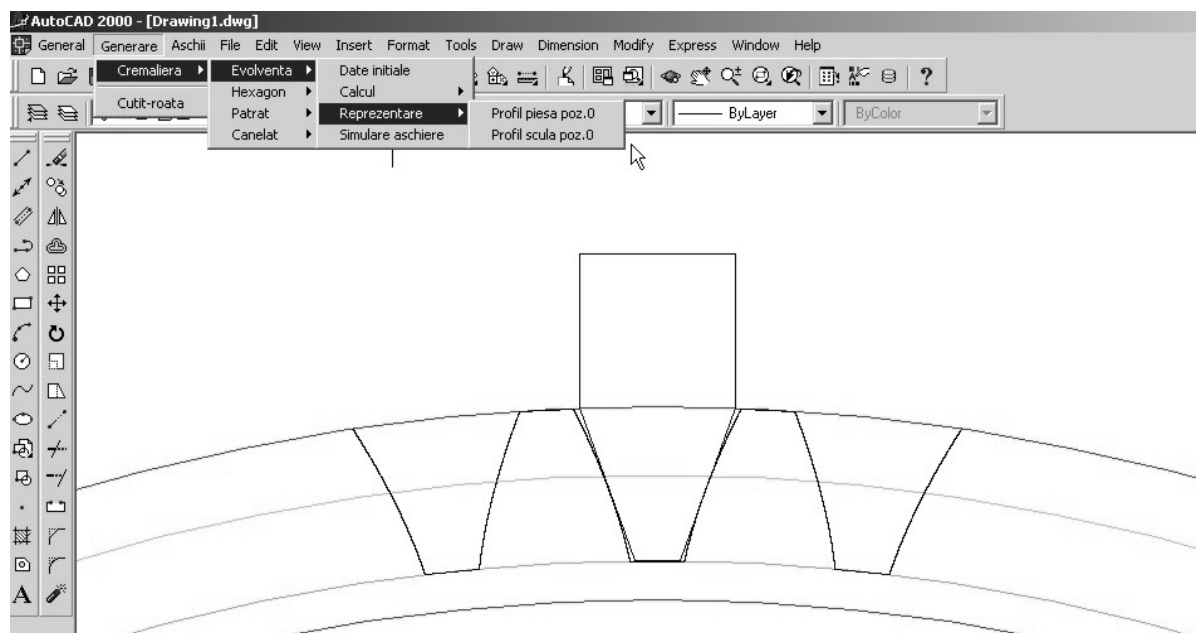


Fig.4.20. Reprezentarea regiunii sculei monodinte şi a piesei în poziţia "0"

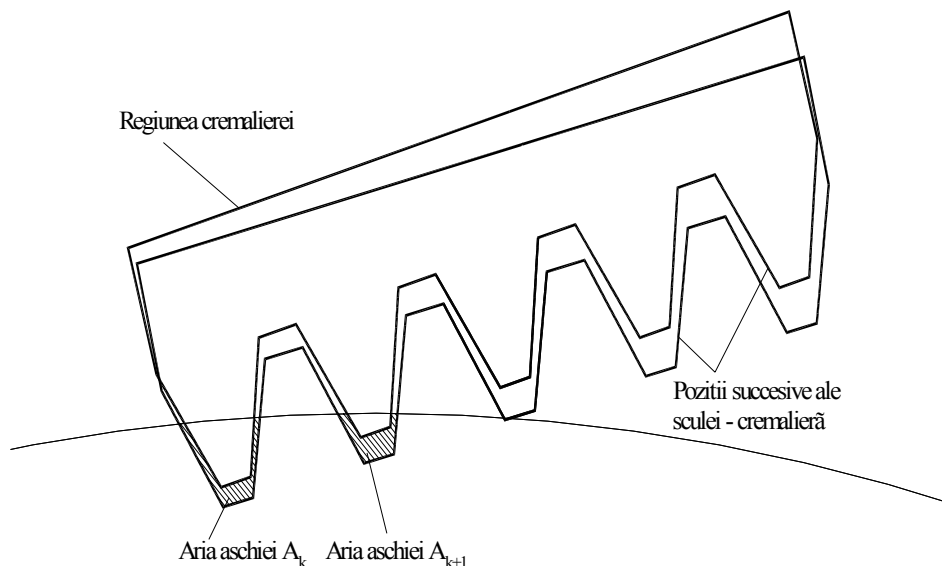


Fig.4.21. Poziții succesive ale regiunii sculei cremalieră

Următorul pas constă în determinarea pozițiilor relative ale sculei în raport cu semifabricatul, vezi secțiunea **CALCULUL POZIȚIILOR RELATIVE SCULĂ – SEMIFABRICAT** din Anexa 4.4.

Prin apelarea opțiunii **Simulare Așchiere**, vezi figura 4.17, se realizează modelarea procesului de generare, cu ajutorul comenzii SUBTRACT, decupând regiunile sculei din regiunea semifabricatului.

Meniul **AȘCHII** are o structură modulară asemănătoare cu a meniului **GENERARE**, apelarea comenzilor realizând reprezentarea graficului de variație a mărimilor așchiilor detașate. Rezultatul apelării acestor comenzi, în condițiile prelucrării unei roți dințate cu modulul $m=4$, numărul de dinți $z=60$ cu scule – pieptene reconfigurabile, este prezentat în figura 4.22.

Legenda

Scula reconfigurabila Inaltime dinte=2.25 2 1.75 1.45 1.15 0.8 0.4 m
 Scula standard Inaltime dinte=2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 2.25 m

A - aria aschiei detasate [mm x mm] - Scara Y 10 : 1

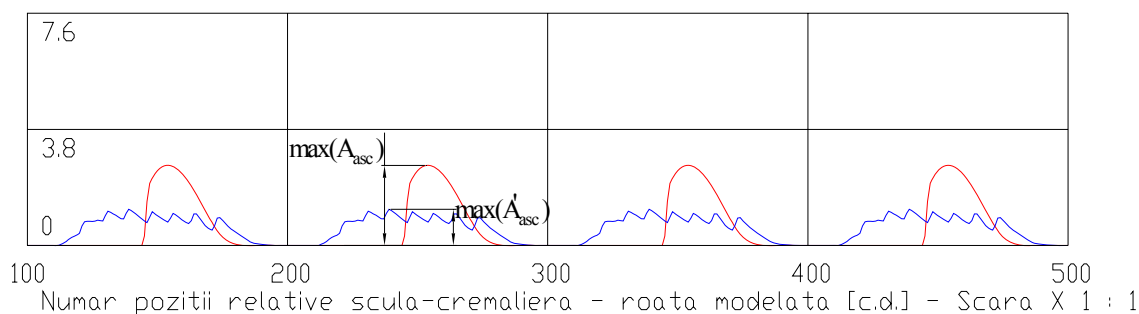


Fig.4.22. Legea de variație a mărimii ariei așchiei modelate în funcție de numărul de poziții relative a sculei-cremalieră — roată modelată

Modulele de calcul pentru diferite modificări constructive ale sculelor-pieptene sunt asemănătoare.

6. Concluzii

- Modelarea schemei de aşchiere, poate constitui o modalitate suficient de riguroasă pentru predicţia modului de variaţie a mărimii principale a forţei de aşchiere, mai ales pentru cazul aşchierii ortogonale – cazul aşchierii cu scula tip pieptene.

- Legile fundamentale pentru studiul suprafeţelor (profilurilor) reciproc înfăşurătoare, permit descrierea riguroasă a proceselor de înfăşurare, în procesul de rulare, caz specific şi modelării procesului de generare a danturii evolventice.

- Mediul de programare AUTOCAD permite o abordare riguroasă a procesului complex de stabilire a ariei decupate de o regiune închisă, definibilă riguros.

- Precizia oferită este suficientă pentru abordarea unei astfel de problematice, chiar în condiţiile unei succesiuni apropiate ale regiunilor definite de sculă.

- Modelarea procesului de divizare a adaosului de prelucrare sub formă de “aşchii geometrice”, permite o analiză precisă a modului de desfăşurare a procesului din punctul de vedere:

- a tipului de sculă utilizat (sculă monodinte sau sculă polidinte);
- a geometriei profilului sculei pe direcţie transversală mişcării de aşchiere.

- Propunerea unei noi construcţii a cuţitului – pieptene (scula cu geometrie reconfigurabilă) în scopul diminuării neuniformităţii legităţii de variaţie a mărimii ariei aşchierii detaşate.

- Există posibilitatea de a defini criterii simple de comparaţie a diferitelor scheme de aşchiere, în scopul ameliorării procesului.

- Realizarea unui algoritm pentru modelarea mărimii ariei aşchierii detaşate la generarea danturii evolventice cu scula – cremalieră, şi finalizat printr-un produs soft original în baza unui program în mediul de programare AUTOCAD care permite o abordare complexă a acestui proces de danturare (vezi anexa 4.4);

- Softul elaborat a permis analiza schemelor de aşchiere la generarea danturilor evolventice cu scula de tip cuţit-pieptene cu o construcţie reconfigurabilă;

- Schemele de aşchiere rezultate reliefează faptul că, pentru diferite numere de dinţi prelucrate, modificările propuse ale cremalierelor generatoare (şi în consecinţă ale construcţiei sculelor) au ca efect reducerea neuniformităţii legităţii de variaţie a mărimii ariei aşchierii detaşate şi în consecinţă a mărimii forţei principale de aşchiere;

- S-a evidenţiat că procesul de generare, la generarea unui gol este evident neuniform cu repercursiuni asupra desfăşurării procesului de aşchiere;

- Procesul de modelare al schemei de aşchiere devine reproductibil, în condiţiile modelului propus, după două sau trei goluri succesiv generate cu

cremaliera normală și, respectiv, la generarea cu scula cu structură reconfigurabilă;

- Construcția unei scule – cremalieră cu structură reconfigurabilă care să permită montarea unor numere diferite de scule monodinte având drept scop fie diminuarea timpului de lucru, fie diminuarea forței principale de așchiere și, implicit, diminuarea energiei consumate, fapt datorat măririi ciclului de rulare efectiv;

- S-a realizat un produs software care să permită o analiză completă a procesului de generare prin modelarea schemei de așchiere la danturarea roților dințate evolventice cu scula-cremalieră;

- Programul permite elaborarea schemelor de așchiere pentru module diferite, numere de dinți ai sculei și, respective, piesei, diferiți; modificări geometrice tehnologic realizabile;

- Metodele de modelare permit elaborarea unor concluzii calitative privind schema de așchiere, în scopul unei eventuale modificări a formei constructive a sculei-cremalieră în vederea micșorării neuniformității mărimii forței de așchiere la danturare, fiind posibilă, oricând, o extensie a analizei în acest domeniu.

Bibliografie

- [1] Antoniadis, A., Vidakis, N., Bilalis, N., -2002 – *Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 1: FEM Modelling of Fly Hobbing and Computational Interpretation of Experimental Results*. În: Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 124, November, pag. 784-791.
- [2] Antoniadis, A., Vidakis, N., Bilalis, N., -2002 – *Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 2: The Effect of Cutting Parameters on the Level of Tool Stereses – A Quantitativr Parametric Analysis*. În: Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 124, November, pag. 792-798.
- [3] Agapiou, J. S. – 1994 - *Evolution of the effect of High Speed Machining on Taping*. În : “Journal of Engineering for Industry”, vol. 116, nr. 4, pag. 457-462.
- [4] Agapiou, J. S. – 1994 - *Full Speed Ahead, Part II*. În : “Cutting Tool Engineering”, vol. 43, nr. 3, pag. 52-59.
- [5] Baker, M. – 2003 - *An Investigation of the Chip Segmentation Process Using Finite Elements*. În : Technische Mechanik, Band 23, Heft 1, 1-9, pag. 1-9.
- [6] Bartelss, N. – 1996 - *Cutting Tools Now*. În: “Gear Technology”, vol. 13, nr. 3, May.-Jun., pag.16-21.
- [7] Baicu I. – 2002- *Cercetari privind utilizarea modelarii 3D pentru algoritmizarea profilarii sculelor aschietoare*, Teza de doctorat, Universitatea „Dunarea de Jos” din Galați
- [8] Chien, Wen-Tung, Chou, Chung-Yi – 2001 - *The predictive model for machinability of 304 stainless steel*. În : Journal of Materials Processing Technology, vol. 118, pag. 442-447, ISSN 0924-0136.
- [9] Coelho, R., T., Braghini Jr., A., Valente, C., M., O., Medalha, G., C. – 2003 - *Experimental Evaluation of Cutting Force Parameters Applying Mechanistic Model in Orthogonal Milling*. În: J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci.& Eng., July-September, vol. XXV, No. 3, pag. 247-253.
- [10] Constantin, E., ș.a - 1979 - *Freză melc modul*. Brevet de invenție nr. 72423 29.09.
- [11] **Dima, M.**, Baicu, I. – 2003 - *Produs soft dedicat modelării schemei de aşchiere la danturarea cu scula-cremalieră*. În: Conferința internațională de comunicări științifice, “TEHNOLOGII MODERNE, CALITATE, RESTRUCTURARE”, 29 mai - 01 iunie 2003, Chișinău, vol. III, pag.138-141, ISBN 9975-9748-3X.
- [12] **Dima, M.**, Oancea, N. – 2004 - *Constructive modifications of the energetically improvement of the toothing process*. În: Romania Journal of Technical Sciences Applied Mechanics, Tome 49, Special Number 2004, Proceedings of the International Conferences on Manufacturing Systems ICMAS 2004, pag. 237-241, ISBN 973-27-1102-7.
- [13] **Dima, M.**, Oancea, N. – 2004 – *Modificare constructivă a cuțitului –*

- pieptene în vederea reducerii forței de așchiere.* În: Conferința națională cu participare internațională “CERCETAREA ȘTIINȚIFICĂ ÎN CONDIȚIILE INTEGRĂRII EUROPENE”, 28 - 29 mai 2004, Brăila, Editura Agir, București, 2004, pag.1084-1087, ISBN 973-8466-50-44.
- [14] Fang, N. – 2003 - *Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool – Part 1: New model and theory.* În: Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 51, pag. 715-742.
- [15] Fang, N. – 2003 - *Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool – Part 2: analysis of the size effect and the shear strain-rate.* În: Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 51, pag. 743-762.
- [16] Huang, Y., Liang, S. Y., Woodruff, G. W. – 2003 - *Cutting Forces Modeling Considering the Effect of Tool Thermal Property – Application to CBN Hard Turning.* În : ASME, International Journal of Machine Tool and Manufacture, vol.43(3), pag. 307-315.
- [17] Huang, Yong, Liang, Steven, Y., Woodruff, George, W. – 2003 - *Force Modelling in Shallow Cuts with Large Negative Rake Angle and Large Nose Radius Tools. Application to CBN Hard Turning.* În: International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22(9-10), pag. 626-632.
- [18] Litvin, F, L. -1989- *Theory of Gearing*, The University of Illinois at Chicago Department of Mechanical Engineering, Chicago, Illinois.
- [19] Litvin, F. L. – 1994 - *Gear Geometry and Applied Theory.* În: Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [20] Litvin, F. L., Seal, I. H., Kim, D., Lu, J. – 1996 - *Kinematic and Geometric Models of Gear Drives.* În: Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 118, pag. 544 – 550.
- [21] Litvin, F. L. – 1991 - *Identification and Minimization of Deviation of Real Gear Tooth Surface.* În: “Journal of Mechanical Design”, March. 1991, pag. 83-91.
- [22] Liu, X. – W., Cheng, K., Webb, D., Luo, X. – C. – 2002 - *Prediction of cutting force distribution and its influence on dimensional accuracy in peripheral milling.* În: International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, pag. 791-800.
- [23] Minciu, C. – 1986 - *Proiectarea și tehnologia sculelor pentru danturare.* Editura Tehnică, București.
- [24] Minciu, C. – 1989 - *Broșarea*, Vol. I și II. Editura Tehnică, București.
- [25] Oancea, N. – 2004 – *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Volumul I. Teoreme fundamentale.* Editura Fundației Universitare “Dunărea de Jos”, ISBN 973-627-106-4, ISBN 973-627-107-2 Vol. I.
- [26] Oancea, N. – 2004 – *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Volumul II. Teoreme complementare.* Editura Fundației Universitare “Dunărea de Jos”, ISBN 973-627-106-4, ISBN 976-627-170-6 Vol. II.
- [27] Oancea, N., Baicu, I., Dima, M., Teodor, V. – 2005 – *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Volumul III. Elemente de teoria înfășurării suprafețelor.* Editura Fundației Universitare “Dunărea de

- Jos”, ISBN 973-627-106-4, ISBN 973-627-239-7 Vol. III.
- [28] Radovanovic, M. – 2002 - *Determination of Theoretical Roughness Profile Height by Peripheral Milling*. În : The Annals “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle V, Technologies in Machine Building, ISSN 1221-4566.
- [29] Rumșiski, L. Z. – 1974 - *Prelucrarea matematică a datelor experimentale. Îndrumar*. Editura Tehnică, București.
- [30] Rusu, V., Abrudan, G. – 1994 - *Cercetări numerice privind controlul profilului la rectificarea pieptenilor frezei – melc*. În: “Construcția de mașini”, nr. 1-2, pag. 74-78, ISSN 0573-7419.
- [31] Teodor V. -2005- *Contribuții la elaborarea unei metode pentru profilarea sculelor care generează prin înfășurare*, Teza de doctorat, Universitatea „Dunărea de Jos“ din Galați

Cuprins

4.4. Metodă de modelare a reconfigurării corective aplicabilă pe mașini de danturat	252
Rezumat	252
Premise științifice	252
1. Cinematica procesului de generare	252
2. Algoritm pentru determinarea mărimii ariilor așchiilor detașate în planul de generare	254
3. Sinteza unei scheme de așchiere la generarea cu o cremalieră cu geometrie reconfigurabilă.....	256
4. Metodă de reconfigurare a sculei – cremalieră	259
5. Descrierea programului destinat modelării schemei de așchiere în scopul reconfigurării corective a sculelor de tip cremalieră	265
6. Concluzii	270
Bibliografie.....	272

OBIECTIVUL 5

REALIZAREA UNUI DEMONSTRATIV DE FUNCTIONARE VIRTUALA A UNUI SISTEM DE FABRICATIE RECONFIGURABIL

5.2. REALIZAREA/EXPERIMENTAREA UNUI DEMONSTRATIV PENTRU FUNCTIONAREA VIRTUALA A UNUI SISTEM DE FABRICATIE RECONFIGURABIL

REZUMAT

In cadrul cercetarilor efectuate pentru atingerea obiectivului 5 din planul de realizare a proiectului s-a efectuat conceperea si experimentarea unui *program pentru functionarea virtuala a unui sistem reconfigurabil de fabricatie*. Programul este alcatuit din doua module:

- *modulul 1* „erori-sectiune” folosit pentru autodiagnoza masinii-unelte;
- *modulul 2* „secvential-sectiune” folosit pentru comanda propriu-zisa a masinilor-unelte; acest modul, la randul lui, are structura: *pre-procesor* (pentru gestionarea regimurilor de lucru a masinilor-unelte), *procesor*, *post-procesor* (pentru asigurarea depasirii interblocajelor specifice aplicatiei si gestionarea modului de lucru automat.

Acest program a fost testat si validat prin intermediul unui plan experimental extins ale carui rezultate, ca si programul sursa sunt prezentate in anexa.

PREMISELE STIINTIFICE SI TEHNICE

Structura curenta a industriei producatoare este o retea complexa de intrari si iesiri independente care acopera atat diverse sectoare de productie cat si tehnologii individuale pentru produs. Productia inovativa reprezinta o noua orientare a structurii unei intreprinderi, de la una rigida, bazata pe reguli, la una bazata pe cunostinte si capital de idei, ceea ce va determina o miscare de la o economie a cantitatii spre una a calitatii, de la o economie bazata pe consum si risipa la o economie sustinuta.

In prezent, orientarea productiei industriale trebuie sa aiba in vedere:

- adaptarea si reconfigurarea rapida a proceselor industriale de fabricatie pentru productie de produse variate, eventual produse orientate strict pe cerintele clientului.
- adaptarea si reconfigurarea rapida a intreprinderilor industriale care sa permita formarea unor consortii intre organizatii specializate pe domenii conexe.

Fabricarea adaptiva va raspunde in mod automat la schimbarile din mediul de operare. Fabricarea digitala implica utilizarea unei largi palete de metode de planificare, software si ICT pentru a integra noile tehnologii in proiectarea si operarea proceselor de fabricare.

METODE SI REZULTATE

5.2. Realizarea/experimentarea unui demonstrativ pentru functionarea virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil

5.2.1. Configurarea structurii CLP

CLP-ul este folosit pentru comanda elementelor de execuție atașate mașinii unelte pe baza informațiilor provenite de la senzorii mașinii și pe baza comenzilor specificate de operator fie prin intermediul terminalului om-mașină, fie prin intermediul pupitrului de comandă manuală.

Folosind software-ul de programare s-au configurat elementele structurii PLC. S-au selectat elementele structurii CLP folosind editorul de configurație (fig. 5.1):

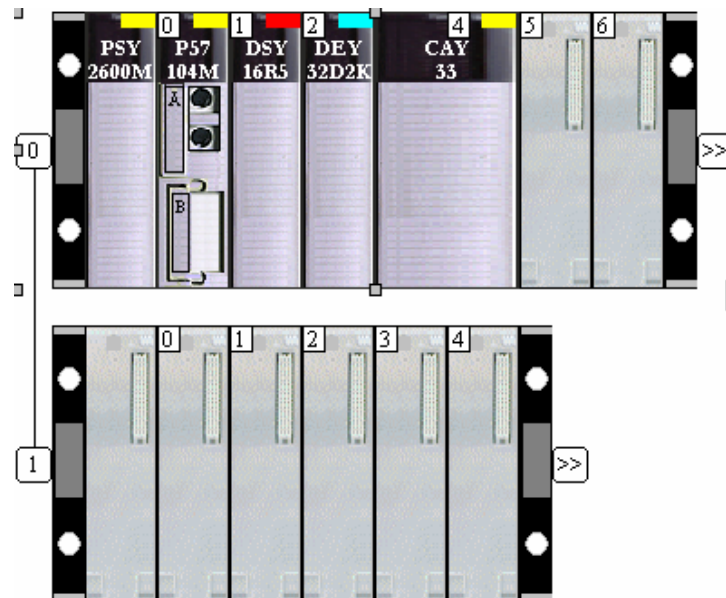


Fig. 5.1. Reprezentare a structurii CLP în editorul de configurație al software-ului de programare

- Structura multi-rack;
- Modulul procesor,
- Modulul de 16 ieșiri digitale pe contact de releu 50VA
- Modul de 32 de intrări digitale în logică pozitivă la 24 Vcc.
- Modul de control al axelor. Număr de axe controlate prin ieșiri analogice 3.

Pentru modulul procesor s-au configurat următoarele elemente:

- Modul de execuție al programului: program executat ciclic cu supraveghere watchdog 200ms, cu structură multitask.
- Modalitatea de repornire a aplicației după întreruperea alimentării,

- Folosirea unei cartele de memorie suplimentară,
- Parametrii canalului de comunicație atașat modului procesor. Acest canal de comunicație este folosit pentru comunicația pe magistrala Unitel-Way cu PC-ul industrial.

Pentru modulul de ieșiri se vor seta următoarele elemente:

- Modalitatea de comportament în cazul în care CLP-ul este afectat de erori interne. În cazul aplicație SF280 toate ieșirile sunt configurate ca în cazul unui defect să fie resetate la 0.
- Simbolurile (mnemonicele) utilizate pentru accesarea ieșirilor.

Canal	Adresa	Simbol	Comentariu
0	%Q1.0	Cv1	Cuplaj 1 al cutiei de viteze
1	%Q1.1	Cv2	Cuplaj 2 al cutiei de viteze
2	%Q1.2	Cv	Alimentare cuplaje cutie de viteze
3	%Q1.3	Fz	Frâna axa Z
4	%Q1.4	Fx	Frâna axa X.
5	%Q1.5		Rezervă
6	%Q1.6		Rezervă
7	%Q1.7		Rezervă
8	%Q1.8	Ssc	Semnalizare ciclu de schimbare suport de lucru
9	%Q1.9	Scl	Semnalizare ciclu de automat de lucru
10	%Q1.10	Ser	Semnalizare eroare de functionare
11	%Q1.11		Rezervă
12	%Q1.12	Ghidaje	Motor pentru ungere ghidaje
13	%Q1.13	Ungere	Motor pompa lichid de ungere răcire
14	%Q1.14	Rott	Rotire cap revolver
15	%Q1.15	Indext	Indexare turelă cap revolver.

Pentru modulul de intrări digitale se configurează pentru fiecare grup de 16 intrări faptul că se monitorizează existența alimentării și simbolurile folosite pentru accesarea intrărilor :

Canal	Adresa	Simbol	Comentariu
0	%I2.0	Brarb	Buton rotire arbore principal.
1	%I2.1	Jxm	Controler comandă axă X deplasare în sens negativ
2	%I2.2	Jxp	Controler comandă axă X deplasare în sens pozitiv.
3	%I2.3	Jzm	Controler comandă axă Z deplasare în sens negativ
4	%I2.4	Jzp	Controler comandă axă Z deplasare în sens pozitiv.
5	%I2.5	Sc1	Selector suport de lucru 1

6	%I2.6	Sc2	Selector suport 2
7	%I2.7	Sc3	Selector suport 3
8	%I2.8	Ss	Schimbare scula
9	%I2.9	Tr2	Selector treaptă de turatie 2
10	%I2.10	Tr3	Selector treaptă de turatie 3
11	%I2.11	Tr4	Selector treaptă de turatie 4
12	%I2.12	EI1	Selector eliberare franare arbore pozitie dreapta.
13	%I2.13	EI2	Selector eliberare franare arbore poziție stanga.
14	%I2.14	Ecran	Sesizor poziție ecran de protecție
15	%I2.15	Nivel	Senzor de nivel ulei ungere ghidaje
16	%I2.16	Ss1	Senzor sesizare poziție turelă
17	%I2.17	Ss2	Senzor sesizare poziție turelă
18	%I2.18	Ss3	Senzor sesizare poziție turelă
19	%I2.19	Startc	Buton pornire ciclu
20	%I2.20	Ack	Buton recunoaștere eroare
21	%I2.21	Pauza	Buton pauză program
22	%I2.22	Regim	Selector regim de lucruS

Pentru modulul de control al axelor pentru fiecare canal se vor seta parametrii:

Axa Z

Parametru	Semnificație	Valoare
Length units	Unitățile de măsură introduse folosite pentru exprimarea poziției. În cazul prezentat unitate pentru deplasare corespunde unei distanțe de 10^{-7} m. Această mărime a fost aleasă astfel încât un increment de deplasare al traductorului incremental să poată fi contorizat la nivelul părții de comandă.	Um-1.
Encoder type	Tipul traductorului	Incremental.
Initial resolution	Rezoluție inițială. Distanța care corespunde unui increment al traductorului. Deoarece rezoluția nu este în general un număr întreg, ea este prezentă sub forma fracției: REZOLUȚIE=Distanță/Nr. de impulsuri. Pasul șurubului axei de Z este de 5mm adică 50000 de unități. Traductorul incremental utilizat are un număr de 5000 de impulsuri. Datorită faptului că numărul de impulsuri rezultat prin procesarea semnalelor complementare provenite de la traductor este de 4 ori mai mare decât numărul de impulsuri valoarea luată în calcul este de 20000 de impulsuri.	50000/2000 0.

Lo limit	Limita inferioară a axei. Valoare a cotei sub care deplasarea axei în sens negativ nu va mai fi autorizată de modul.	0
High limit	Limita superioară a axei. Valoare a cotei sub care deplasarea axei în sens pozitiv nu va mai fi autorizată de modul.	2886000
Maximum speed	Viteza maximă autorizată de modul. Unitățile pentru viteză sunt calculate astfel: Unitatea de măsură a vitezei = unitate de măsură a poziției · 1000 / min	10000
Maximum setpoint	Tensiunea maximă UMAX este valoarea care trebuie aplicată intrării variatorului de turație pentru obținerea vitezei VMAX. Valoarea este exprimată în mV.	9000
Maximum acceleration	Accelerația maximă este definită de timpul maxim (în ms) necesar pentru creșterea de la viteza 0 la VMAX. Valoarea introdusă este reprezentată în milisecunde.	1000
Reference point	Modalitatea de realizare a ciclului de sincronizare a axelor. Ciclul constă în detecția unei came aflată în poziție extremă pozitivă și detectarea semnalului Z al traductorului incremental	
Parametrii buclei de poziție		
Gain 1	Factor de amplificare pentru bucla de poziție pentru viteze scăzute. Coeficientul K_p este calculat astfel: $KP=C \times UMAX \times Gain$ Unde C este o constantă, iar UMAX este valoarea maximă pentru ieșirea analogică.	1000
Gain 2	Factor de amplificare pentru bucla de poziție pentru viteze ridicate.	500
Gain treshold	Prag de amplificare procent din VMAX. Factorii de amplificare pentru bucla de poziție sunt aplicați după cum urmează. <ul style="list-style-type: none"> • Dacă viteza curentă $> 3 \times Threshold/2$ se aplică Gain 1 • Dacă $3 \times Thershold/2 > viteza \text{ curentă} > Threshold/2$: se aplică factorul de amplificare egal cu $(Gain 1 + Gain 2)/2$. • Dacă viteza curentă $< Thershold/2$ se aplică Gain 2. 	50
Feed forward	Coeficientul de amplificare pentru buclă deschisă (anticipare viteză)	20
Offset	Tensiune care va fi adăugată ieșirii analogice calculată de bucla de poziție.	0

Parametrii de control

Following error 1	Eroare de urmărire. Diferența critică dintre poziția calculată de modul și poziția măsurată care determină oprirea părții mobile.	10000
Overspeed	Valoarea maximă pe care viteza o poate avea suplimentar față de VMAX exprimat în procente.	10%
Stop delay	Când referința de viteza atinge valoarea 0, modulul inițiază o temporizare. Când timpul de întârziere a expirat modulul compară viteza măsurată a părții mobile cu viteza de oprire și semnalează eroare atunci când partea mobilă nu s-a oprit. Timpul de temporizare este exprimat în ms.	500
Stop speed	Viteza la care partea mobilă este considerată staționară	1000
Target window	Toleranțele poziției atinse de partea mobilă după expirarea timpului de întârziere. Modulul semnalează eroare atunci când partea mobilă s-a poziționat în afara toleranțe.	160
Manual mode speed	Viteza de mișcare a părții mobile în modul de lucru manual	3000

Axa X

Parametru	Valoare	Parametru	Valoare
Length units	Um-1.	Gain 2	500
Encoder type	Incremental.	Gain treshold	50
Initial resolution	50000/20000.	Feed forward	20
Lo limit	-1000000	Offset	0
High limit	1915000	Following error 1	10000
Maximum speed	10000	Overspeed	10%
Maximum setpoint	9000	Stop delay	500
Maximum acceleration	1000	Stop speed	1000
Reference point	Idem Z	Target window	160
Gain 1	1000	Manual mode speed	3000

Pentru canalul atașat arborelui principal parametrii introduși nu sunt concludenți deoarece acest canal este utilizat doar pentru funcția de convertor digital analogic.

Pentru variabilele interne se vor introduce mnemonice astfel încât folosirea lor în program să fie facilă. Vom prezenta în continuare aceste variabile urmând ca în prezentarea programului să nu mai insistă asupra

acestora. Variabilele folosite pentru comunicația PC-CLP vor fi reprezentate cu litere cursive.

Variabile de tip bit

Adresa	Simbol	Comentariu
%M0	<i>Dok</i>	<i>Folosit de către PC pentru a specifica faptul că toate variabilele corespunzătoare frazei curente au fost scrise.</i>
%M1	<i>Pcautomat</i>	<i>Folosit de PC pentru a solicita activarea modului automat de lucru</i>
%M2	In_auto	Bit folosit intern pentru a desemna faptul că mașina funcționează în modul automat
%M3	In_manu	Bit folosit intern pentru a desemna faptul că mașina funcționează în modul manual
%M4	<i>Incremental</i>	<i>Folosit de PC în cadrul modului de lucru automat pentru a activa deplasări de tip incremental. Incrementul este specificat în cuvântul %Md112.</i>
%M5	In_calib	Bit folosit intern pentru a desemna faptul că mașina funcționează în regimul de sincronizare a sistemului de măsură.
%M8	Mfg09	Bit folosit intern prin care se specifică că în fraza baleată de program este programată funcția am G09. Bitul este generat în subrutina SR1.
%M9	Mposts	Bit folosit intern prin care se specifică că în fraza baleată de program este programată o funcție auxiliară M post care determina transformarea ultimei mișcări în mișcare cu oprire ca și cum ar fi programată funcția G09. Bitul este generat în subrutina Sr2. La mașinile cu comandă numerică unele funcțiile auxiliare determină întreruperea execuției mișcărilor succesive de interpolare până când se returnează confirmarea finalizării funcției (CRM).
%M10	Mpres	Bit folosit intern prin care se specifică că în fraza baleată de program este programată o funcție auxiliară M post care determina transformarea ultimei mișcări în mișcare cu oprire.
%M20	Condexec	Bit folosit intern pentru a specifica faptul că în frazele acumulate în buffer sunt suficiente condiții pentru lansarea în execuție.
%M21	Misfr	Bit folosit intern prin care se specifică că în fraza baleată este programată o mișcare. Bitul este generat în subrutina SR0.
%M22	Fcg09	Bit folosit intern prin care se specifică faptul că fraza curenta trebuie lansată în execuție cu G09. Bit folosit

		în subrutina SR3.
%M23	Nfcg09	Bit folosit intern prin care se specifică faptul că fraza curenta nu trebuie lansata in execuție cu G09. Bit folosit în subrutina SR3.
%M30	Imove	Bit folosit în modul automat pentru a specifica faptul că mai există mișcări care trebuie lansate în execuție.
%M31	Firstm	Specifică faptul că fraza curentă este prima dintr-un set cu mișcări de interpolare.
%M33	Tchange	Bit folosit pentru activarea secvenței de schimbare post turelă.
%M34	Tchanged	Bit prin care se specifică faptul că scula a fost schimbată
%M35	Tindex	Bit prin care se specifică faptul că turela a fost indexată corespuzător.
%M37	Tcond	Bit prin care se specifică faptul că există condiții suficiente schimbarea postului selectat la nivelul turelei.
%M38	Iss1	Imagine a semnalului primului sensor folosit pentru detectarea postului selectat la nivelul turelei. Această imagine este folosită pentru „filtrare”.
%M39	Iss2	Imagine a semnalului celui de al doilea sensor folosit pentru detectarea postului selectat la nivelul turelei.
%M40	Iss3	Imagine a semnalului celui de al doilea sensor folosit pentru detectarea postului selectat la nivelul turelei.
%M42	Liber	Bit prin care se specifică faptul că cei trei senzori nu mai detectează nicio cama.
%M43	Gasit	Bit prin care se specifică faptul că s-a detectat cel puțin una
%M48	Modechange	Bit prin care se specifică faptul că s-a schimbat modul de lucru.
%M49	Se	Bit care specifică faptul că s-a detectat o eroare în funcționarea mașină.
%M50	Errg96	Bit prin care se specifică faptul că în regim automat a fost programată funcțiile G96/G97 fără a fi programată funcția S
%M51	Errg96x	Bit prin care se specifică apariția unei erori datorata faptului ca G96 a fost programata fara X in fraza curenta sau într-o fraza anterioara
%M52	Errsmax	Bit prin care se specifică faptul că s-a atins turația maxim admisibilă pentru gama de turație selectată
%M53	Errg92	Bit prin care se specifică faptul că G92 a fost programat fără S
%M54	Errxout	Bit prin care se specifică faptul că cota X programată depășește limitele axei.
%M55	Errzout	Bit prin care se specifică faptul că cota Z programată

		depășește limitele axei.
%M56	Errm00	Bit prin care se semnalizează eroare datorată activării funcției M00.
%M58	Errtsc	Bit prin care se specifică faptul că în cadrul ciclului de schimbare post de lucru nu a fost respectată succesiunea posturilor de lucru.
%M59	Errttimp	Bit prin care se specifică faptul că în cadrul ciclului de schimbare poziție turelă nu a fost respectată succesiunea posturilor de lucru.
%M60	Errinc	Bit prin care se semnalizează că în regimul manual valoare incrementului este necorespunzătoare.
%M61	Errincxm	Bit prin care se semnalizează că în regimul manual prin deplasare incrementală s-ar depăși poziția minima pentru axa X
%M62	Errincxp	Bit prin care se semnalizează că în regimul manual prin deplasare incrementală s-ar depăși poziția maxim admisibilă pentru axa X.
%M63	Errincxn	Bit prin care se specifică faptul că pentru axa X nu s-a realizat ciclul de sincronizare.
%M64	Errscpoz	Bit prin care se semnalizează faptul că poziția axelor nu este corespunzătoare pentru executarea ciclului de rotire turelă.
%M65	Errinczm	Bit prin care se semnalizează că în regimul manual prin deplasare incrementală s-ar depăși poziția minima pentru axa Z.
%M66	Errinczp	Bit prin care se semnalizează că în regimul manual prin deplasare incrementală s-ar depăși poziția maxim admisibilă pentru axa Z.
%M67	Errinczn	Bit prin care se specifică faptul că pentru axa X nu s-a realizat ciclul de sincronizare.
%M68	Errg04	Bit prin care se specifică faptul că funcția G04 a fost programată fără funcția F.
%M69	Trready	Bit prin care se specifică faptul că comutatorul de selectare a suporturilor de lucru a fost deja poziționat.
%M70	Errfg94	Bit prin care se specifică faptul că pentru funcțiile G94 sau G95 nu a fost programată funcția F.

Variabile de tip cuvânt

Adresă	Simbol	Comentariu
<i>%MW0</i>	<i>Guri</i>	<i>Registru în care PC-ul activează pentru fraza specificată de cuvântul Cereredate (%MW19) biții corespunzători funcțiilor pregătitoare G programate.</i>
<i>%MW0:X0</i>	<i>Pg90g91</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza curentă este programată una din funcțiile pregătitoare G90 sau G91</i>
<i>%MW0:X1</i>	<i>Pg91</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza curentă este programată funcția G91 sau 0 dacă în fraza curentă este programată funcția G90.</i>
<i>%MW0:X2</i>	<i>Pg97g96</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată una din funcțiile pregătitoare G97 sau G96</i>
<i>%MW0:X3</i>	<i>Pg97</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția G96 sau 0 dacă în fraza trimisă este programată funcția G97.</i>
<i>%MW0:X4</i>	<i>Pg04</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția pregătitoare G94</i>
<i>%MW0:X5</i>	<i>Pg0001</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată una din funcțiile pregătitoare G00,G01,G02 sau G03</i>
<i>%MW0:X6</i>	<i>Pg001</i>	<i>Biții X6 și X7 sunt folosiții pentru codificarea funcțiilor active astfel</i>
<i>%MW0:X7</i>	<i>Pg002</i>	<i>00-G00, 01-G01, 10 G02, 11 G03</i>
<i>%MW0:X8</i>	<i>Pg94g95</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată una din funcțiile pregătitoare G94 sau G95</i>
<i>%MW0:X9</i>	<i>Pg95</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția G95 sau 0 dacă în fraza trimisă este programată funcția G94.</i>
<i>%MW0:X10</i>	<i>Pg09</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția G09</i>
<i>%MW0:X11</i>	<i>Pg92</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția G92</i>
<i>%MW1</i>	<i>Muri</i>	<i>Registru în care PC-ul activează pentru fraza specificată de cuvântul Cereredate (%MW19) biții corespunzători funcțiilor auxiliare M programate.</i>
<i>%MW1:X0</i>	<i>Pm03m04m05</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 dacă în fraza curentă este programată una din funcțiile auxiliare M03, M04</i>

		<i>sau M05</i>
<i>%MW1:X1</i>	<i>Pm031</i>	<i>Biții X1 și X2 sunt folosiții pentru codificarea funcțiilor active astfel</i>
<i>%MW1:X2</i>	<i>Pm032</i>	<i>00-M05, 01-M04, 10-M04, 11-M05</i>
<i>%MW1:X3</i>	<i>Pm07m09</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 daca în fraza curentă este programată una din funcțiile auxiliare M07 sau M09</i>
<i>%MW1:X4</i>	<i>Pm07</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția M07 sau 0 dacă în fraza trimisă este programată funcția M09.</i>
<i>%MW1:X5</i>	<i>Pm40m41m 42m43</i>	<i>Bit care ia valoarea 1 daca în fraza curentă este programată una din funcțiile auxiliare M40, M41, M42 sau M43</i>
<i>%MW1:X6</i>	<i>Pm401</i>	<i>Biții X7 și X8 sunt folosiții pentru codificarea funcțiilor active astfel</i>
<i>%MW1:X7</i>	<i>Pm402</i>	<i>00-M40, 01-M41, 10-M42, 11-M43</i>
<i>%MW1:X8</i>	<i>Pm06</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția M06</i>
<i>%MW1:X14</i>	<i>Pm00</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția M00 sau M01</i>
<i>%MW1:X15</i>	<i>Pm02</i>	<i>Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă în fraza trimisă este programată funcția M02</i>
<i>%MW2</i>	<i>Turi</i>	<i>Cuvânt în care PC-ul scrie pentru fraza specificată de cuvântul Cereredate (%MW19) valoarea programata a functiei T.</i>
<i>%MW3</i>	<i>Suri</i>	<i>Cuvânt în care PC-ul scrie pentru fraza specificată de cuvântul Cereredate (%MW19) valoarea programata a functiei S.</i>
<i>%MW4</i>	<i>Furi</i>	<i>Cuvânt în care PC-ul scrie pentru fraza specificată de cuvântul Cereredate (%MW19) valoarea programata a functiei S.</i>
<i>%MW7</i>	<i>Ber</i>	<i>Cuvânt folosit pentru depanare în care se stochează codul de eroare generat în cadrul ciclului de program.</i>
<i>%MW8</i>	<i>Er</i>	<i>Cuvânt citit de către PC în care se specifică codul de eroare determinat în cadrul ciclului de baleere curent.</i>
<i>%MW9</i>	<i>Cereredate</i>	<i>Cuvant incrementat de CLP pentru a solicita scrierea de către PC a unei noi fraze</i>

<i>%MW10</i>	<i>Treaptapf</i>	<i>Cuvânt scris de către PC prin care se specifică treapta de viteză selectată mecanic de către operator de la nivelul cutiei de viteze</i>
<i>%MW11</i>	<i>Ccmv</i>	<i>Cuvânt prin care operatorul specifică de la nivelul PC procentul exprimat în miimi pe care îl are viteza de rotire a motorului acționării principale din viteza maximă</i>
<i>%MW12</i>	<i>Comtr</i>	<i>Cuvânt prin care CLP-ul specifică PC-ului poziția comutatoarelor de pe panoul frontal al instalației.</i>
<i>%MW12:X0</i>	<i>Cvtr1</i>	<i>Biții X0 și X1 specifică poziția comutatorului de selectare a treptei cutiei de viteze codificat astfel:</i>
<i>%MW12:X1</i>	<i>Cvtr2</i>	<i>00- poziția 1; 01- poziția 2; 10- poziția 3; 11- poziția 4.</i>
<i>%MW12:X2</i>	<i>Cvcuplat</i>	<i>Biții X2, X3 și X4 sunt folosiți pentru a indica poziția comutatorului de comandă a arborelui principal X2- arbore cuplat la cutia de viteze</i>
<i>%MW12:X3</i>	<i>Cveliberat</i>	<i>X3- arbore de cuplat de cutia de viteze</i>
<i>%MW12:X4</i>	<i>Cyfranat</i>	<i>X4- arbore franat</i>
<i>%MW13</i>	<i>Manax</i>	<i>Cuvânt prin care CLP-ul specifică PC-ului sensul și direcția de deplasare în modul manual de lucru</i>
<i>%MW13:X0</i>	<i>Xp</i>	<i>x plus</i>
<i>%MW13:X1</i>	<i>Xmi</i>	<i>x minus</i>
<i>%MW13:X2</i>	<i>Zp</i>	<i>z plus</i>
<i>%MW13:X3</i>	<i>Zmi</i>	<i>z minus</i>
<i>%MW14</i>	<i>Icmv</i>	<i>Cuvânt prin care operatorul specifică de la nivelul PC procentul exprimat în miimi pe care îl are viteza avans din viteza maximă</i>
<i>%MW18</i>	<i>Ncurent</i>	<i>Cuvânt în care PLC-ul specifică numărul frazei active</i>
<i>%MW19</i>	<i>Nerr</i>	<i>Cuvânt în care PLC-ul specifică în cazul erorilor de editare a programului numărul frazei eronate.</i>
<i>%MW20</i>	<i>Ibp</i>	<i>Indexul primei instrucțiuni din bufferul circular în care sunt stocate frazele</i>
<i>%MW21</i>	<i>Ibu</i>	<i>Indexul ultimei instrucțiuni din bufferul circular în care sunt stocate frazele</i>
<i>%MW22</i>	<i>Nrib</i>	<i>Specifică numărul de fraze baleate din buffer care conțin mișcări</i>
<i>%MW23</i>	<i>Ibb</i>	<i>Indexul instrucțiunii din buffer baleate</i>
<i>%MW24</i>	<i>Index</i>	<i>Index</i>

%MW25	Buffdim	Numărul de instrucțiuni stocate în buffer
%MW26	Indexbuff	Index pentru determinarea instrucțiunii baleate
%MW27	Index4	Index folosit în subrutina SR4
%MW29	Ibe	Indexul instrucțiunii din buffer aflate în execuție
%MW30	Ibt	Indexul instrucțiunii din buffer trimise către interpolator
%MW31	Sat	Turația activă pentru fraza transmisă către modulul de interpolare
%MW32	Gat	Cuvânt care conține codificat funcțiile G active corespunzătoare frazei transmise către interpolator
%MW32:X0	Gatg00	Biții X0 și X1 specifică funcțiile de mișcare active astfel: 00-G00
%MW32:X1	Gatg01	01-G01 10-G02 11-G03
%MW32:X2	Gatg97g96	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G97, altfel este activă funcția G96
%MW32:X3	Gatg94g95	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G95, altfel este activă funcția G94
%MW32:X4	Gatg90g91	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G90, altfel este activă funcția G91
%MW33	Satmax	Valoarea maxima pentru turație stabilită folosind funcția G92 pentru ultima frază trimisă interpolatorului
%MW40	Sarp	Turatie impusa pentru motorul acționării principale
%MW42	Smax	Valoarea maxima pentru turație stabilită folosind funcția G92 pentru ultima frază executată
%MW44	Spa	Valoarea activă a funcției S corespunzătoare frazei executate.
%MW50	Gactiv	Cuvânt care conține codificat funcțiile G active corespunzătoare frazei în execuție
%MW50:X0	Ga00	Biții X0 și X1 specifică funcțiile de mișcare active astfel: 00-G00
%MW50:X1	Ga01	01-G01 10-G02 11-G03
%MW50:X2	Ga97g96	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G97, altfel este activă funcția G96
%MW50:X3	Ga94g95	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G95, altfel este activă funcția G94
%MW50:X4	Ga90g91	Dacă bitul are valoarea 0 este activă funcția G90,

		altfel este activă funcția G91
%MW51	Mda	Funcții auxiliare active pentru fraza aflată în execuție. Sunt luate în evidență doar funcțiile care sunt modale.
%MW51:X0	Cm3	Bitii X0 și X1 specifică funcțiile active referitoare la comanda arborelui codificate astfel:
%MW51:X1	Cm4	01-M03 10-M04 00,01-M05
%MW51:X2	Cm40	Biții X2 și X3 sunt folosiții pentru codificarea funcțiilor active astfel
%MW51:X3	Cm41	00-M40, 01-M41, 10-M42, 11-M43
%MW51:X4	Cm7	Bitul ia următoarele valoarea 1 dacă este activă funcția auxiliară M07 sau 0 dacă funcția activă este M09.
%MW52	Fa	Valoarea avansului pentru fraza aflată în execuție
%MW53	Ta	Cuvântul conține numărul sculei programat folosind funcția T
%MW55	Tc	<i>Cuvântul citit de către PLC conține numărul suportului de lucru selectat. Dacă acest număr este -1 atunci ciclul de schimbare a poziției capului revolver nu s-a executat.</i>
%MW56	Tn	Cuvânt conține numărul de ordine al suportului de lucru care urmează să fie determinat la nivelul turelei
%MW57	Ti	Cuvântul conține numărul de ordine al suportului care urmează a fi indexat în urma execuției ciclului de rotire turelă
%MW59	Fax	Cuvânt care conține valoarea vitezei axei X. Cuvântul este monitorizat de către PC.
%MW60	Faz	Cuvânt care conține valoarea vitezei axei Z. Cuvântul este monitorizat de către PC.
%MW150	Bg	Cuvintele de la %MW150 până la %MW165 sunt folosite pentru a stoca funcțiile pregătitoare G pentru maxim 16 fraze. Structura utilizată pentru memorare este de tip buffer circular.
%MW166	Bm	Buffer circular pentru funcții auxiliare M.
%MW182	Bt	Buffer circular pentru funcția T
%MW198	Bs	Buffer circular pentru funcția S
%MW214	Bf	Buffer circular pentru funcția F
%MW230	Bn	Buffer care conține numărul frazelor memorate
%MW388	Bft	Buffer cu valorile avansului pentru frazele

transmise interpolatorului.

Variabile de tip cuvânt dublu

Adresă	Simbol	Comentariu
%MD80	Pcx	Cuvântul dublu conține valoarea funcției X pentru fraza specificată cu ajutorul cuvântului Cereredate (%MW19)
%MD82	Pcz	Cuvântul dublu conține valoarea funcției Z pentru fraza specificată cu ajutorul cuvântului Cereredate (%MW19)
%MD84	Pci	Cuvântul dublu conține valoarea funcției I pentru fraza specificată cu ajutorul cuvântului Cereredate (%MW19)
%MD86	Pck	Cuvântul dublu conține valoarea funcției K pentru fraza specificată cu ajutorul cuvântului Cereredate (%MW19)
%MD90	Ft	Avansul programat corespunzător ultimei fraze trimise modulului de control al axelor
%MD92	Xg96t	Valoarea programată pentru X în cadrul funcției G96
%MD94	Ftt	Valoarea vitezei de avans pentru instrucțiunea de programare a modului de control al axelor.
%MD96	Xmint	Valoarea minimă a cotei Xcare va fi atinsă în cadrul ultimei fraze transmise către modulul de control al axelor
%MD98	X	Valoarea X corespunzătoare frazei aflate în execuție
%MD100	Z	Valoarea Z corespunzătoare frazei aflate în execuție
%MD102	Xt	Valoarea X corespunzătoare frazei transmise modulului de control al axelor
%MD104	Zt	Valoarea Z corespunzătoare frazei transmise modulului de control al axelor
%MD106	Xtemp	Cuvânt dublu folosit pentru determinarea Xt în cazul în care funcția G91 este activă
%MD108	Xg96	Valoarea lui X programată în aceeași frază cu G96
%MD110	Ztemp	Cuvânt dublu folosit pentru determinarea Zt în cazul în care funcția G91 este activă
%MD112	Increment t	Cuvânt dublu scris de către PC prin care se specifică valoarea incrementului pentru mișcările incrementale realizate în modul de lucru manual
%MD114	Xpos	Valoarea actuală a poziției corepunzătoare axei X
%MD116	Zpos	Valoarea actuală a poziției corepunzătoare axei Z
%MD118	Zerr	Valoarea erori de poziționare pentru axa Z.
%MD120	Xerr	Valoarea erori de poziționare pentru axa X.
%MD122	A	Variabilă auxiliare
%MD124	B	Variabilă auxiliare
%MD126	Sav	Valoarea turației arborelui principal atinsă în ciclul

		curent de baleere a programului
%MD250	Bz	Buffer circular pentru funcția Z.
%MD282	Bi	Buffer circular pentru funcția X.
%MD314	Bk	Buffer circular pentru funcția K.
%MD346	Bx	Buffer circular pentru funcția X.

Constante

Adresa	Simbol	Valoare	Comentariu
%KW30	Ksmax	3000	Turația maxima a motorului acționării principale
%KD48	Knop	-2147483647	Valoare prin care se specifică faptul că cuvintele duble transmise de PC nu au fost scrise.
%KD50	Kfg00	1000	Valoarea avansului pentru cazul în care este activă funcția G00
%KD52	Kfmax	1000	Avans maxim
%KF4	Icv1	1120.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze pentru treapta 1
%KF6	Icv2	1400.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze pentru treapta 2
%KF8	Icv3	1800.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze pentru treapta 3
%KF10	Icv4	2240.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze pentru treapta 4
%KF12	Ipf1	224.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze cu comandă manuală pentru treapta 1
%KF14	Ipf2	450.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze cu comandă manuală pentru treapta 2
%KF16	Ipf3	710.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze cu comandă manuală pentru treapta 3
%KF18	Ipf4	1400.0	Valoarea număratorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze cu comandă manuală pentru treapta 4
%KF20	Icv	2900.0	Valoarea numitorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze
%KF22	Ipf	2240.0	Valoarea numitorului raportului de transmitere pentru cutia de viteze

5.2.2. Programul CLP - Proiectare soft pentru structura reconfigurabilă de fabricatie

5.2.2.1. Structura aplicației

Aplicația de comandă a structurii CPL este o aplicație monotask, întreg programul fiind executat în task-ul MAST. Programul este alcătuit din două părți:

- Erori-secțiune folosită pentru partea de autodiagnostic a mașinii. În acest regim sunt analizate condițiile de funcționare corespunzătoare a elementelor mașinii, a sistemului de comandă și a modului de executare a operațiilor impuse.
- Secvențial-secțiune folosită pentru a realiza comanda propriu-zisă a mașinii. Secțiunea este bazată pe partea de procesare secvențială corespunzătoare diagramelor Grafcet de comandă. La fiecare ciclu de baleere a programului CLP se execută suplimentar față de elementele Grafcet următoarele structuri:
 - Preprocesare – PRL- executată înaintea diagramei Grafcet este folosită în special pentru gestionarea regimurilor de lucru ale mașinii și pentru determinarea rezultatelor unor expresii utilizate pe tot parcursul programului.
 - Postprocesare –Post- fiind ultima parte din program executată înainte de actualizarea ieșirilor postprocesarea este utilizată pentru asigurarea interblocajelor specifice aplicației dar și pentru gestionarea modului de lucru automat.

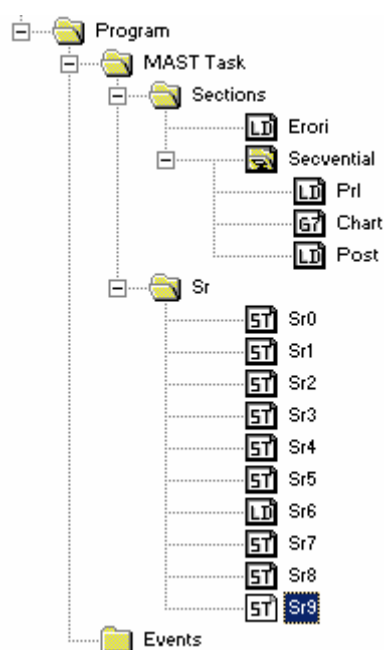


Fig. 5.2. Structura aplicației de comandă

5.2.2.2. Secțiunea de autodiagnostic „Erori”

Secțiunea “ Erori” este scrisă în limbajul LADDER și face analiza tuturor condițiilor necesare funcționării corecte și a condițiilor de asigurare a siguranței de funcționare.

Rezultatul acestei secțiuni este finalizat printr-o sumă de erori depusă în variabila de tip boolean și un cod de eroare depus într-o variabila de tip cuvânt. În cazul în care toate condițiile de funcționare sunt asigurate bitul este inactiv, iar variabila prin care se precizează codul erori are valoarea 0. Valoarea acestui bitului „sumă de erori” condiționează toate activitățile din celelalte secțiuni ale programului. Astfel, în momentul în care acest bit este activ toate acțiunile din celelalte secțiuni ale programului sunt inhibate și se apelează o serie de proceduri de tratare a erorii apărute.

Analiza condițiilor ce trebuie îndeplinite se face astfel încât atunci pe mașină există mai multe condiții neîndeplinite să se genereze un cod de eroare care să se apropie cât mai mult de cauzele defecțiunii. Acest lucru este posibil prin suprascrierea cuvântului de eroare astfel încât o posibilă cauză a unei erori să aibă un cod mai mic decât eroarea respectivă.

Erorile sunt analizate succesiv și în cazul în care este găsită o defecțiune se verifică existența unor defecțiuni cu nivel de prioritate mai mare. Dacă nu există o altă eroare prioritară, se depune în variabila de tip cuvânt codul corespunzător erorii detectate.

Există situații în care datorită unei defecțiuni se generează un set de defecțiuni în lanț. De exemplu dacă variatorul unei axe nu mai funcționează eroarea de poziționare din cadrul mișcării curente va crește peste limita admisibilă. Cauza acestei situații nu este o defecțiune mecanică, ci faptul că variatorul nu funcționează.

Se verifică dacă valoarea variabilei este nulă, caz în care se dezactivează bitul sumei de erori sau dacă valoarea acesteia este nenulă se activează bitul sumei de erori..

Programul de interfață om mașină fi notificat despre schimbarea variabilei ce conține codul de eroare și va afișa operatorului un mesaj prin care se specifică cauzele apariției erorii și posibilitățile de remediere.

În continuare prezentăm aceste mesaje și codurile atașate:

Cod	Mesaj
5300	Valoarea incrementului este necorespunzătoare! Valoare trebuie sa fie mai mare de 100um
5290	Prin deplasare a axei X in sens negativ s-ar depasi limitele masinii!
5280	Prin deplasare a axei X in sens pozitiv s-ar depasi limitele masinii!
5270	Prin deplasare a axei Z in sens negativ s-ar depasi limitele masinii!
5260	Prin deplasare a axei Z in sens pozitiv s-ar depasi limitele masinii!
5250	Axa Z nu este calibrata! Rotiti comutatorul Regim pe pozitia Automat (1) si actionati manipulatorul de comanda manuala a axelor in sensul corespunzator deplasarii axei Z in sens pozitiv!

- 5240 Axa X nu este calibrata! Rotiti comutatorul Regim pe pozitia Automat (1) si actionati manipulatorul de comanda manuala a axelor in sensul corespunzator deplasarii axei X in sens pozitiv!
- 5020 Ciclu de rotire a sculei se va realiza intr-o zona apropiata de universal apasati butonul „Rotire suport”
- 5000 Masina este oprita apasati butonul „Recunoastere eroare”
- 4999 Functia G96 a fost programata fara a specifica turatia cu ajutorul functiei S.
- 4990 Functia G96 a fost programata fara functia X.
- 4980 Turatia programata nu poate fi atinsa. Selectati o treapta superioara folosind cutia de viteze din papusa fixa.
- 4970 Functia G92 a fost programata fara functia S in fraza.
- 4960 Miscarea solicitata nu poate fi realizata deoarece ar conduce la depasirea limitelor de miscare a axei X.
- 4950 Miscarea solicitata nu poate fi realizata deoarece ar conduce la depasirea limitelor de miscare a axei Z.
- 4940 Functia G04 a fost programata fara functia F.
- 4930 Functia G94 a fost programata fara functia F.
- 4920 Functia G95 a fost programata fara functia F.
- 4490 Sucesiunea posturilor de lucru de la nivelul capului revolver nu a fost respectata.
- 4480 Nu au fost detectate camele de la nivelul suportului de lucru in intervalul de timp prestabilit!
- 2010 Eroare a axei Z!
- 1990 Iesirea analogica a axei Z este in scurt-circuit!
- 1980 Defectiune a variatorului axei Z
- 1970 Traductorul de pe axa Z nu este alimentat!
- 1960 Cablul traductorului axei Z nu este alimentat!
- 1950 Avarie axa Z!
- 1940 Auxiliarele axei Z nu sunt alimentate!
- 1930 Deplasarea axei Z a determinat depasirea limitelor soft in sens pozitiv!
Folosind comanda manuala eliberati axa!
- 1920 Deplasarea axei Z a determinat depasirea limitelor soft in sens negativ!
Folosind comanda manuala eliberati axa!
- 1910 Depasire a vitezei maxime pe axa Z! Verificati reactia de la traductorul incremental!
- 1900 Depasire a ferestrei tinta a axei Z!
- 1890 Eroarea de pozitionare a axei Z a depasit valoarea maxim admisibila!
- 1880 Eroare de oprire a axei Z!
- 1700 Eroare a axei X!
- 1690 Iesirea analogica a axei X este in scurt-circuit!
- 1680 Defectiune a variatorului axei X!
- 1670 Traductorul de pe axa X nu este alimentat!
- 1660 Cablul traductorului axei X nu este alimentat!
- 1650 Avarie axa X!

- 1640 Auxiliarele axei X nu sunt alimentate!
- 1630 Deplasarea axei X a determinat depasirea limitelor soft in sens pozitiv!
Folosind comanda manuala eliberati axa!
- 1620 Deplasarea axei X a determinat depasirea limitelor soft in sens negativ!
Folosind comanda manuala eliberati axa!
- 1610 Depasire a vitezei maxime pe axa X! Verificati reactia de la traductorul incremental!
- 1600 Depasire a ferestrei tinta a axei X!
- 1590 Eroarea de pozitionare a axei X a depasit valoarea maxim admisibila!
- 1580 Eroare de oprire a axei X!
- 1400 Eroare a actionarii arborelui principal!
- 1390 Iesirea analogica pentru controlul variatorului arborelui principal este in scurt-circuit!
- 1380 Defect al variatorului arborelui principal!
- 1370 Lipseste alimentarea cu 5V a canalului corespunzator arborelui principal!
- 1360 Conectorul CH3 nu este fixat corespunzator!
- 1350 Avarie!
- 1340 Lipseste alimentarea elementelor auxiliare ale actionarii arborelui principal!
- 1300 Eroare interpolare!
- 1000 Eroare a modulului de iesiri analogice!
- 990 Eroare a modulului de intrari analogice!
- 980 Eroare a modulului de control al axelor!
- 970 Eroare a modului de procesor!

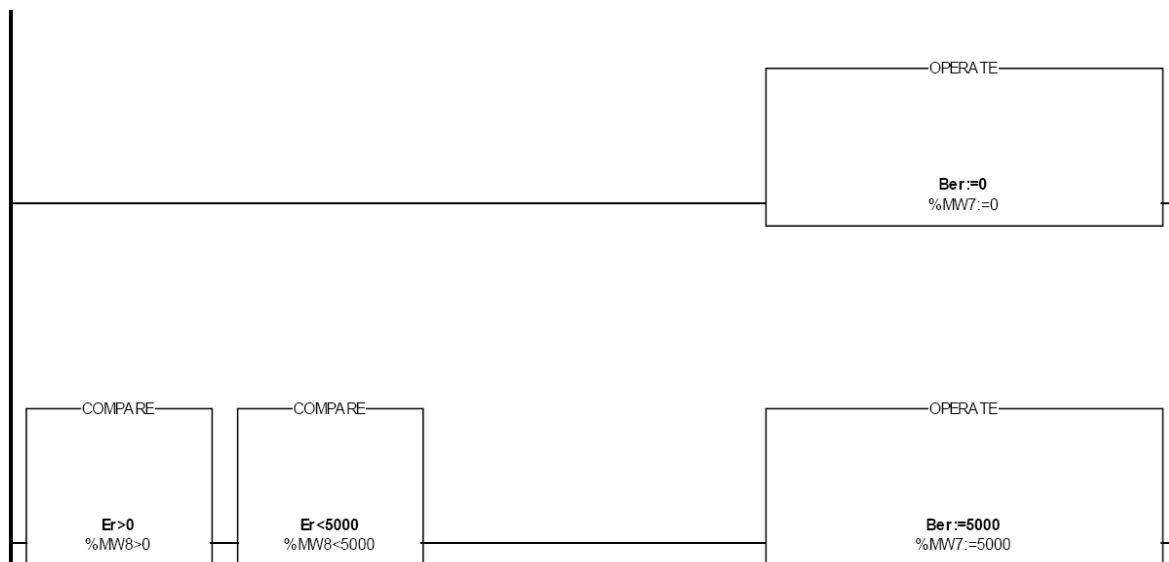


Fig. 5.3. Secțiunea erori. Rang 1.

La fiecare ciclu de baleere al programului se inițializează variabila Ber cu 0 iar în cazul în care în ciclul anterior de baleere al programului s-a detectata o eroare care a dus la oprirea funcționării instalației se va inițializa Ber cu

valoarea 5000 corespunzătoare codului de eroare care solicită operatorului să apese pe butonul „Continuare”.

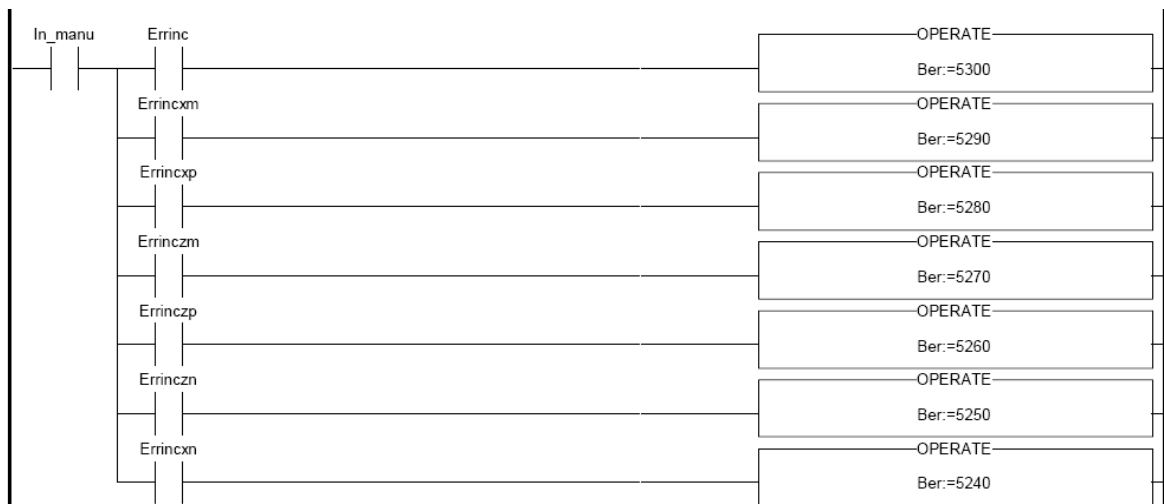


Fig. 5.4. Secțiunea erori. Semnalizare erori mod manual

În continuare se generează codurile de eroare specifice modului de lucru manual mai precis condițiile necesare pentru realizarea mișcărilor incrementale. Biții care sunt folosiți pentru generarea erorilor sunt reseați atunci când condițiile care au dus la apariția lor nu mai sunt îndeplinite la schimbarea modului de lucru sau la apăsarea butonului „Continuare”(intrarea Ack).

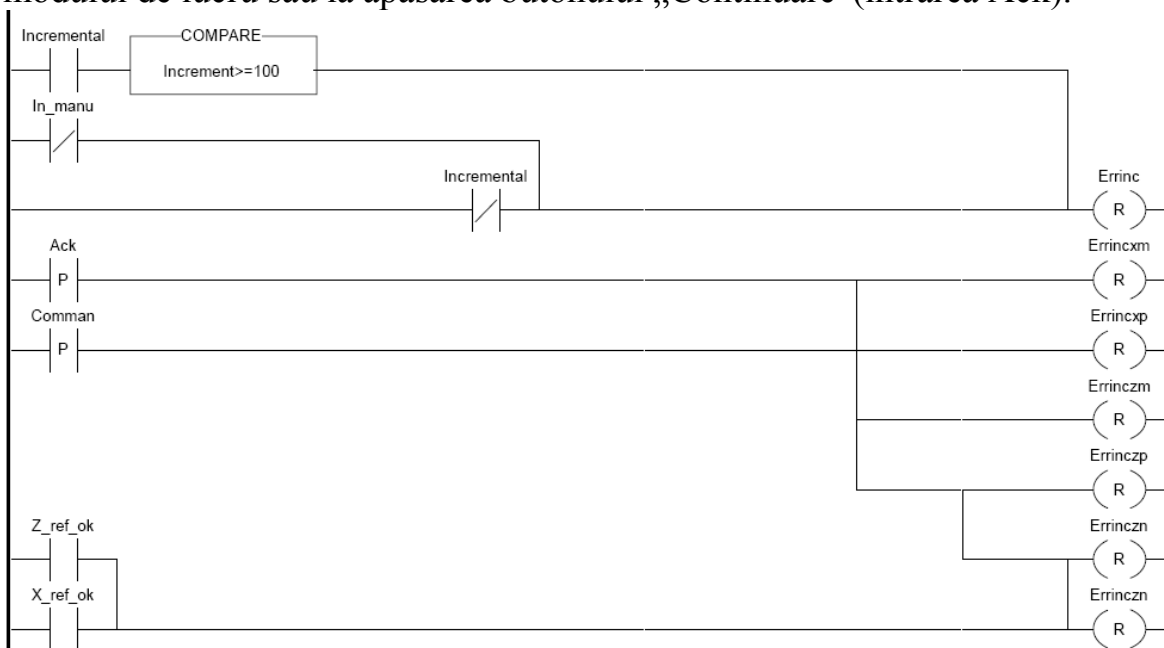


Fig. 5.5. Secțiunea erori. Resetarea biților de eroare specifice modului de lucru manual

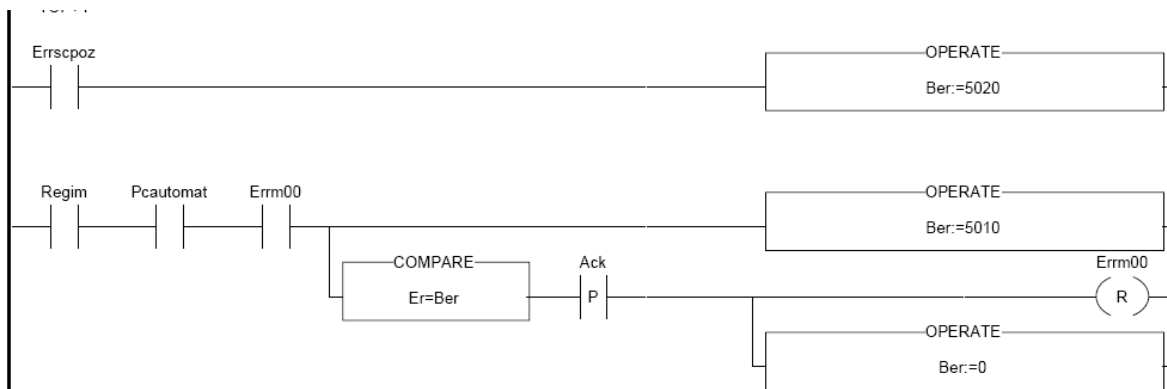


Fig. 5.6. Secțiunea erori. Avertizarea asupra poziției necorespunzătoare a turelei și asupra activării funcției M00

Erorile care au codurile mai mici de 5000 nu determină oprirea elementelor de execuție a mașinii sau urmarea unor măsuri deosebite de siguranță. Scopul acestor erori este doar de semnalizare. Erorile apar ca urmare a acțiunii operatorului care se așteaptă ca mașina să execute un anumit ciclu. Operatorul este avertizat astfel de faptul că mașina nu poate executa ciclul impus.



Fig. 5.7. Secțiunea erori. Resetarea cod eroare

Prin apăsarea butonului continuare toate erorile care au fost remediate sunt considerate eliminate prin resetarea cuvântului Ber. Erorile care vor fi descrise în continuare determină întreruperea ciclurilor de execuție active și chiar oprirea elementelor de execuție a mașinii.

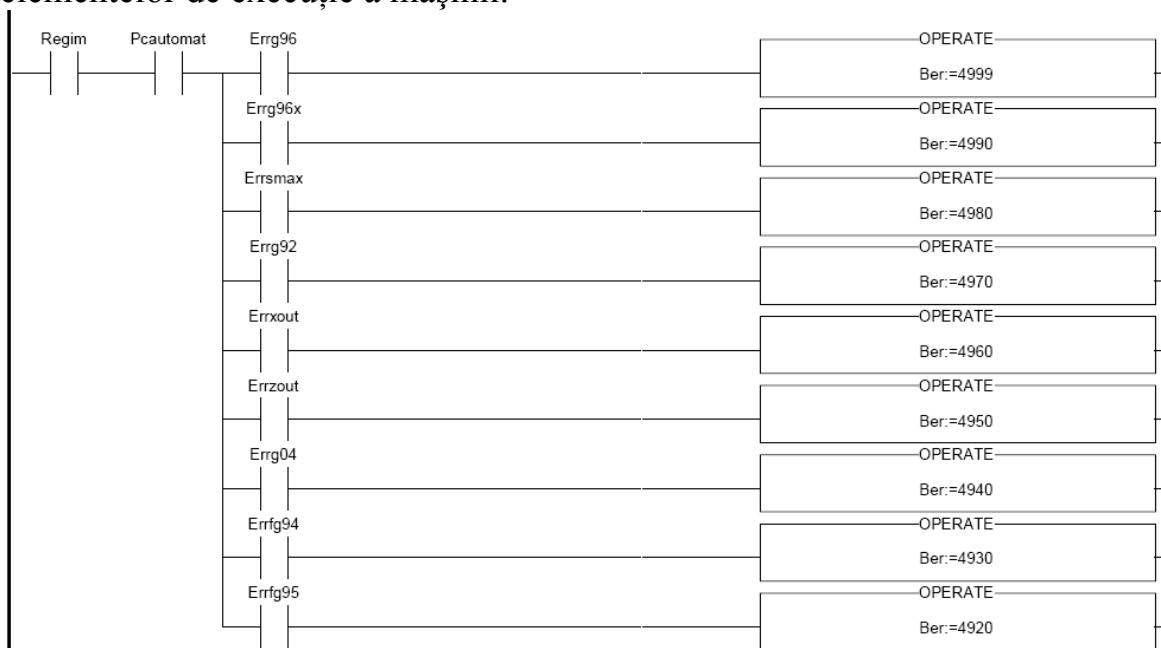


Fig. 5.8. Secțiunea erori. Erori program automat

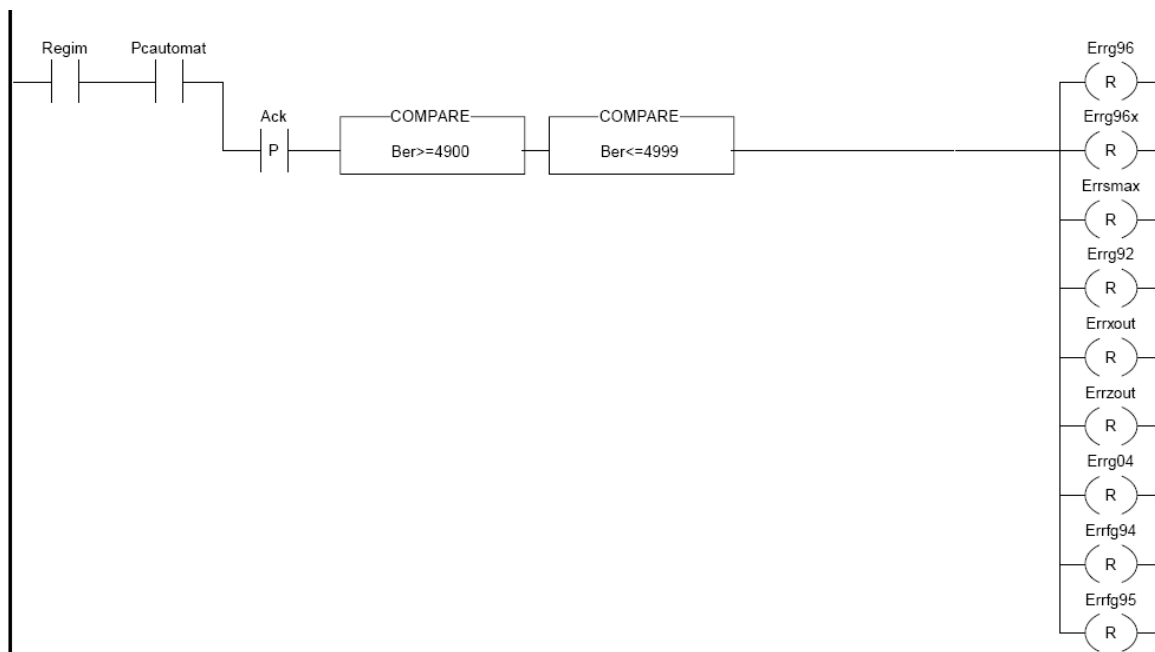


Fig. 5.9. Secțiunea erori. Remedierea erorilor specifice modului de lucru automat

Rangurile prezentate mai sus sunt folosite pentru determinarea erorilor din programul piesă. Semnificația fiecărui bit din aceste ranguri a fost deja prezentată în cadrul capitolului de referitor la configurarea elementelor structurii CLP. Diagnosticarea erorilor de introducere a programului se face de către PC, verificarea corectitudinii datelor primite de CLP este o măsură redundantă utilizată în special la partea de punere în funcțiune a instalației atunci când se verifică corectitudinea fișierelor de sintaxa gestionate de interpretorul reconfigurabil.

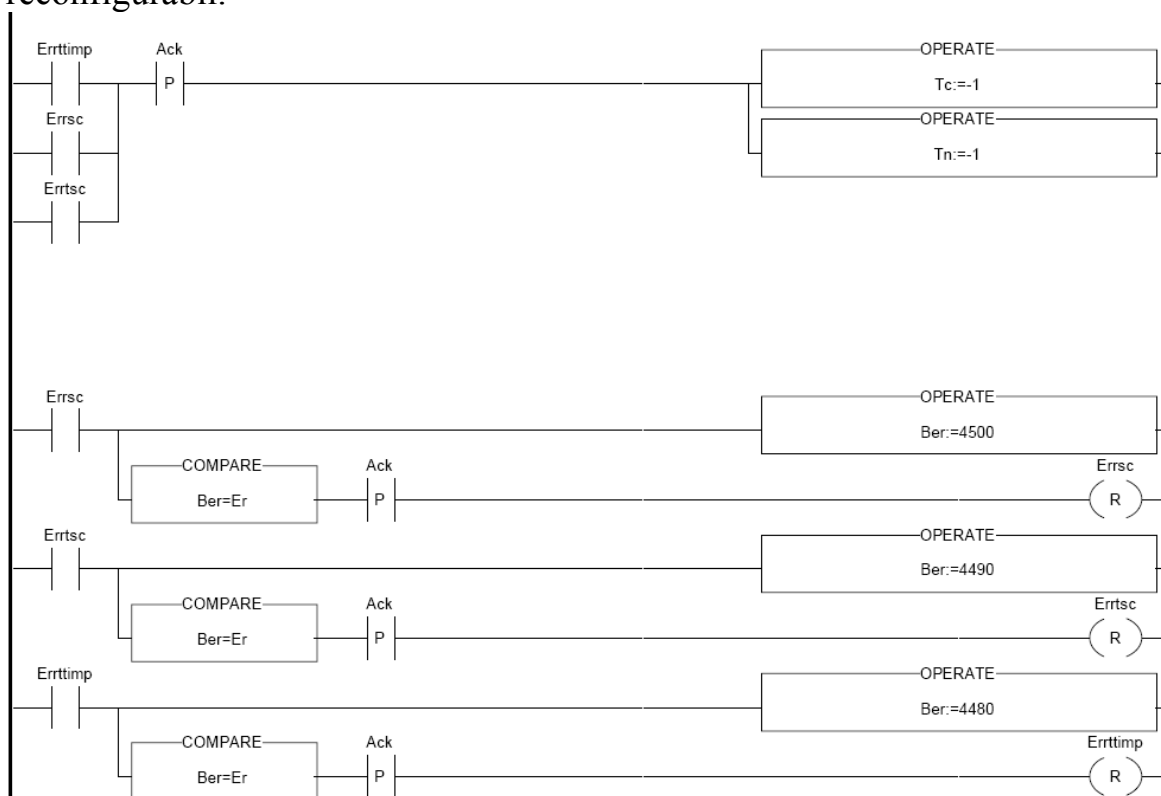


Fig. 5.10. Secțiunea erori. Semnalizarea funcționării necorespunzătoare a capului revolver

Atunci când unul din biții care specifică funcționarea incorectă a capului revolver este activ se va indica eroarea prin scrierea valorii corespunzătoare în cadrul cuvântului Ber și în același timp se vor scrie cuvintele Tc și Tn cu valoarea -1 pentru a specifica astfel faptul că informațiile detinute despre postul de lucru selectat și cel următor nu sunt valide.

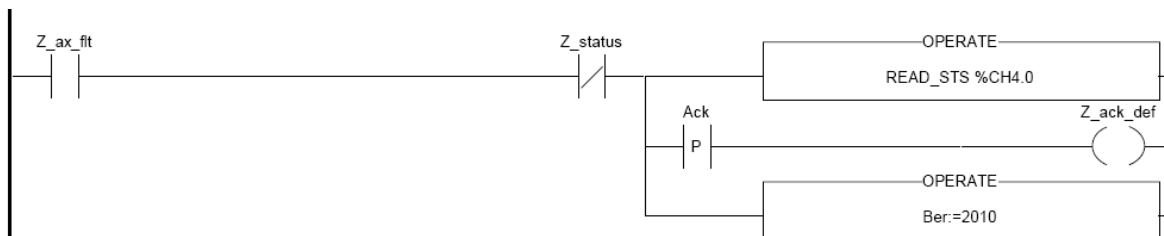


Fig. 5.11. Secțiunea erori. Gestionarea transferurilor de date explicite referitoare defecțiunile detectate de modulul de control al axelor pentru canalul axei Z

Modulul de control al axelor specifică faptul că unul din canalele sale funcționează incorect prin activarea biților Ax_fit. Defecțiunea poate avea trei cauze:

- hardware- defecțiuni datorate neconcordanței semnalelor de la traductor, lipsei semnalului care specifică faptul că variator corespunzător axei controlate nu mai funcționează corect, lipsei alimentării cu 5Vcc sau 24 Vcc etc.
- de aplicație- depășirea valorii maxim admisibile pentru eroarea de poziționare a părții mobile în timpul mișcării, oprirea în afara toleranțelor impuse, apariția suprareglajului etc.
- de comandă – comenzile transmise de către programul CLP modulului nu sunt corespunzătoare.

În primă fază modulul specifică faptul că sesizează o eroare nespecificând tipul ei. Pentru a se determina mai multe informații referitoare la natura erori se va realiza o operație de transfer explicit de date de la modulul de control al axelor la procesor CLP folosind comanda READ_STS care va iniția citirea cuvintelor de diagnostic ale canalului, cuvinte care vor fi folosite în continuare în secțiunea erori pentru generarea codurilor de eroare. După remedierea defecțiunilor acestea nu vor dispărea decât după ce au fost recunoscute folosind bitul ACK.(acknowledge).

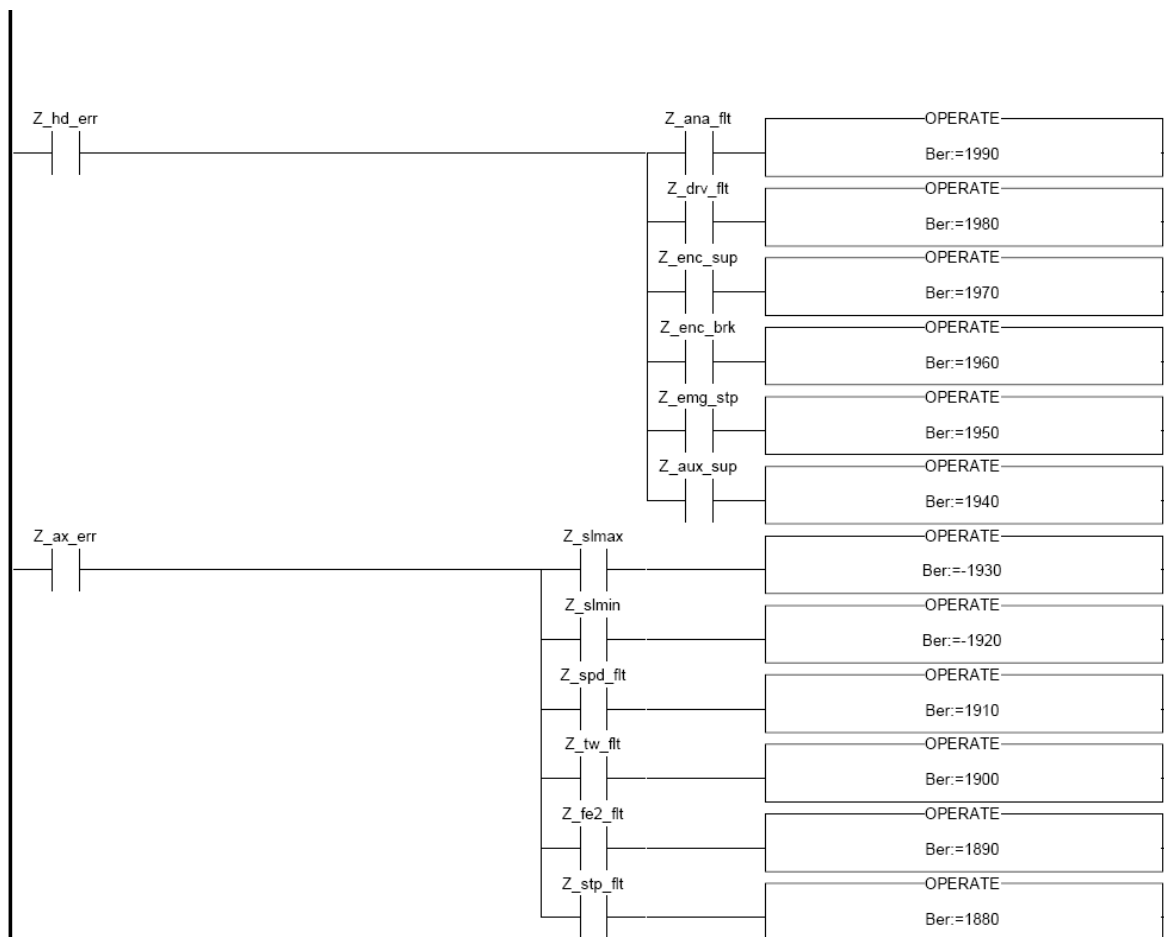


Fig. 5.12. Secțiunea erori. Erorile canalului atașat axei Z

Codurile de eroare pentru depășirea limitelor software au valori negative pentru ca programul să nu determine oprirea variatorului lucru care ar face imposibilă revenirea în zona de operare normală. În continuare în același mod s-au programat și rangurile pentru gestionarea celorlalte canale.

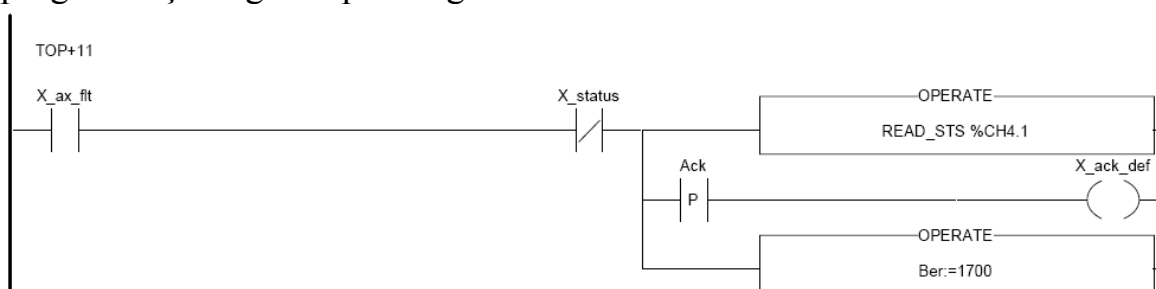


Fig. 5.13. Secțiunea erori. Gestionarea transferurilor de date explicite referitoare defecțiunile detectate de modulul de control al axelor pentru canalul axei X

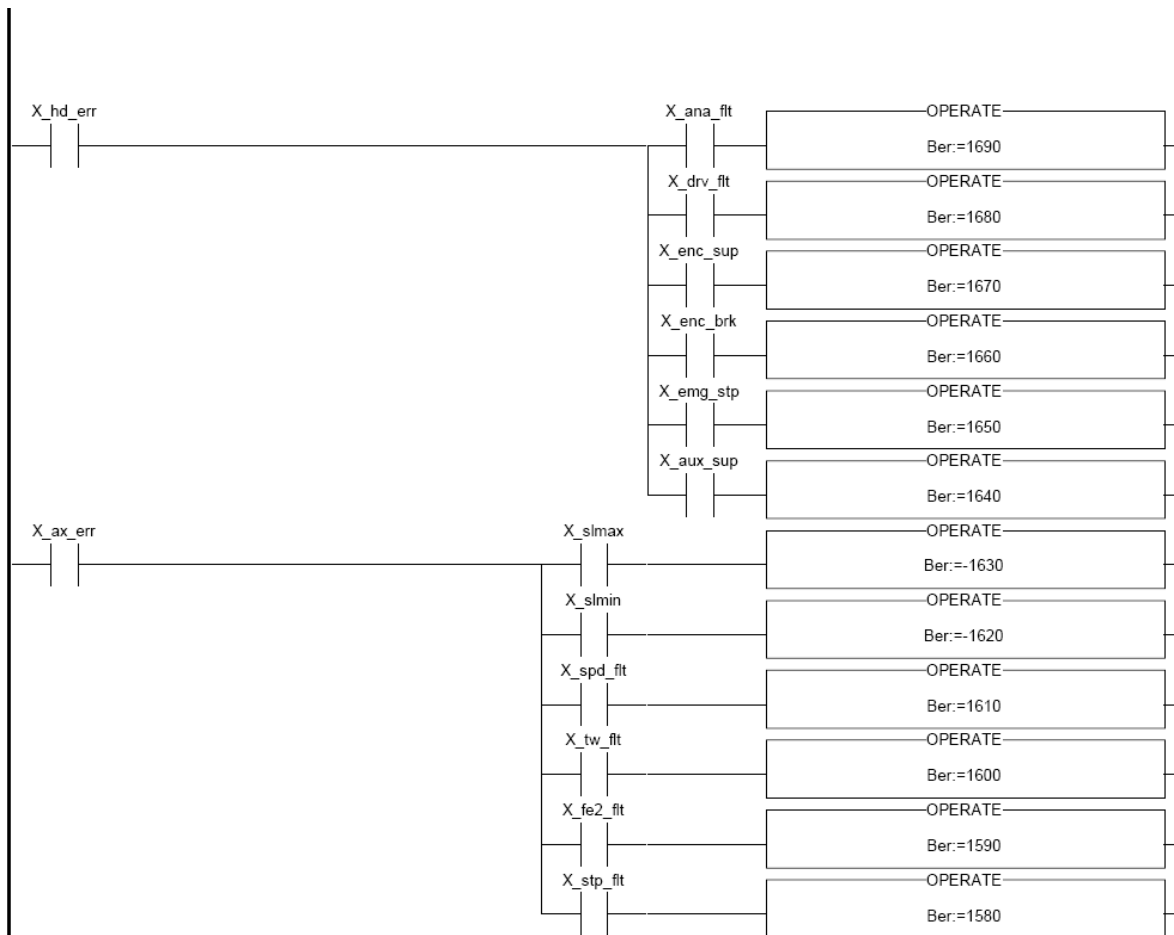


Fig. 5.14. Secțiunea erori. Erorile canalului atașat axei X

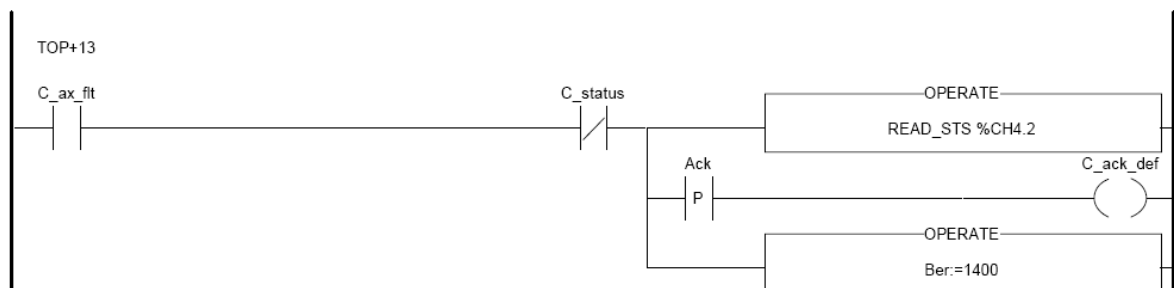


Fig. 5.15. Secțiunea erori. Gestionarea transferurilor de date explicite referitoare defecțiunile detectate de modulul de control al axelor pentru canalul axei C atașate arborelui principal

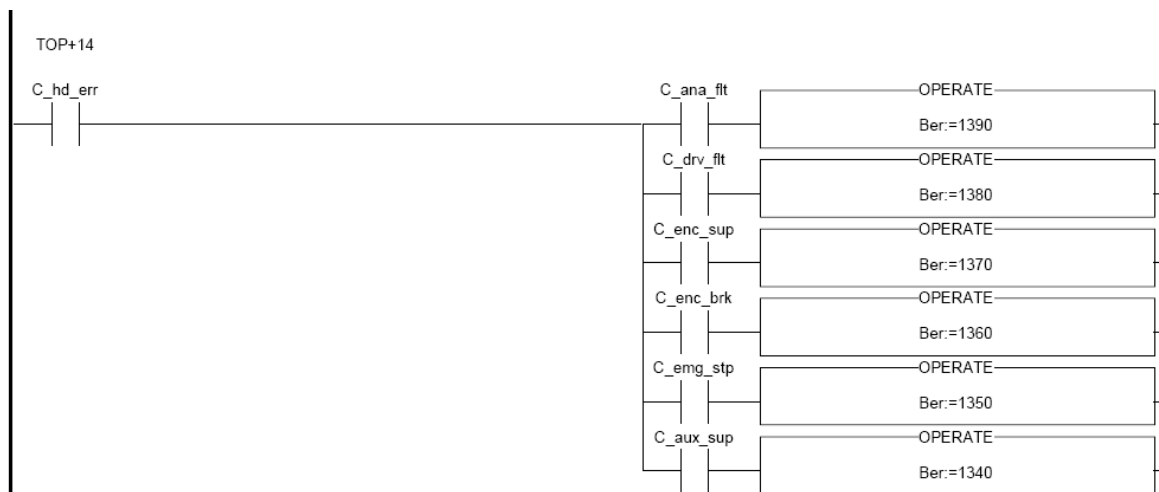


Fig. 5.16. Secțiunea erori. Erorile canalului atașat arborelui principal

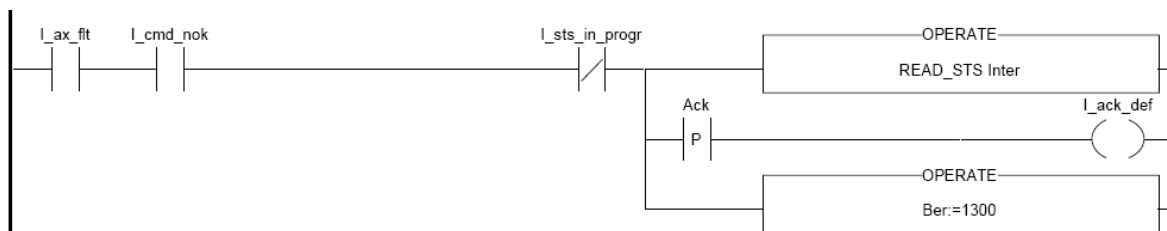


Fig. 5.17a. Secțiunea erori. Erorile canalului interpolare

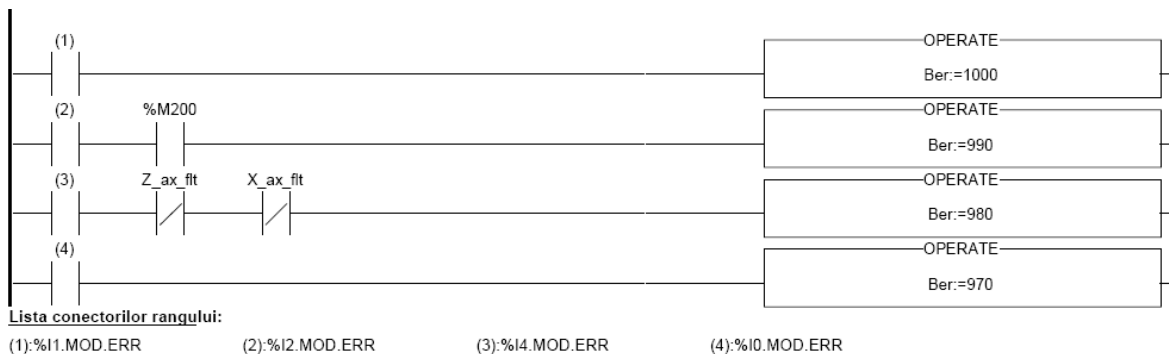


Fig. 5.17b. Secțiunea erori. Erorile modulelor structurii CLP

Biții Mod.ERR indică fie lipsa fie funcționarea incorectă a modulului atașat.

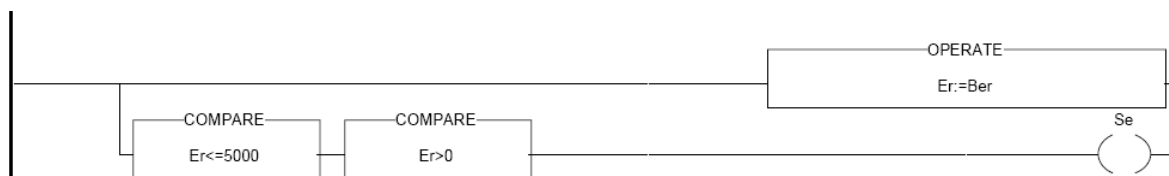


Fig. 5.18. Secțiunea erori. Erorile modulelor structurii CLP

Rezultatul secțiunii „Erori ” este exprimat prin valoarea cuvântului Er care va fi citită de PC și va fi afișată pe monitorul terminalului industrial.

5.2.2.3. Secțiunea Grafcet- Preprocesarea

În partea de preprocesare se gestionează modurile de lucru și se definesc o serie de variabile care vor fi folosite pe tot parcursul procesării secvențiale. De exemplu în primele ranguri se determină un set de variabile care vor fi folosite în partea de program responsabilă pentru schimbarea posturilor de lucru de la nivelul turelei.

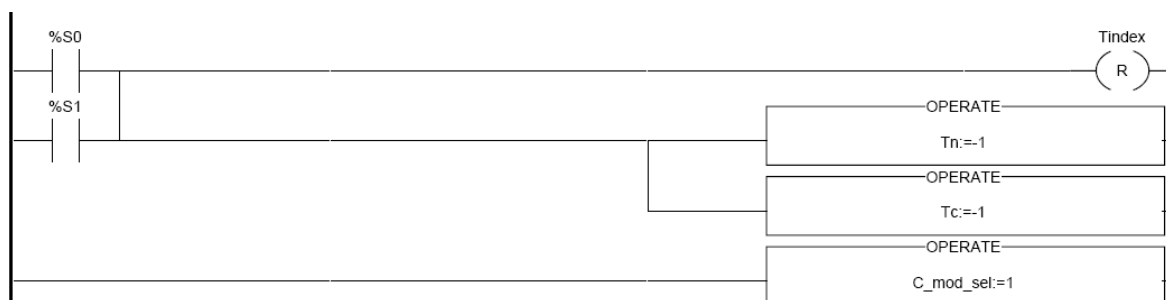


Fig. 5.20. Preprocesare. Inițializare după repornire

După pornirea mașinii toți biții și cuvintele de memorie au valoarea 0. Rangul prezentat în figura 5.20. este folosit pentru a realiza inițializarea variabilelor care sunt folosite pentru gestionarea posturilor de lucru de la nivelul capului revolver. Cuvintele Tc și Tn sunt inițializate cu valoarea -1 pentru a specifica faptul că poziția capului revolver nu este cunoscută.

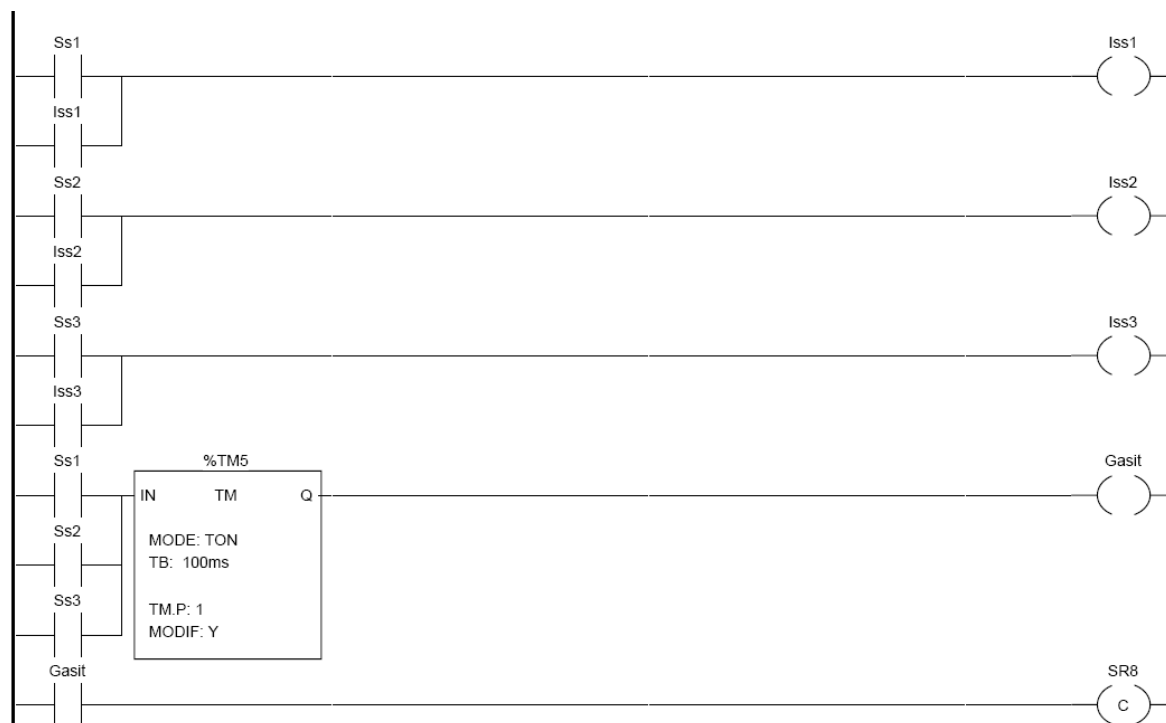


Fig. 5.21. Preprocesare. Determinarea biților imagine a senzorilor de la nivelul capului revolver

Biții IS1, IS2 și IS3 sunt folosiți pentru a realiza funcția de „filtrare” a semnalelor provenite de la senzorii de proximitate inductivi de la nivelul turelei. De asemenea acești biți sunt folosiți și pentru a realiza sincronizarea acestor semnale astfel încât citirea camelor feromagnetice detectate de acești senzori să se facă corect. În acest scop se atunci când se detectează una din came se inițiază o temporizare de 100 de ms după care se activează bitul Gasit lucru care semnifică faptul că biții IS1, IS2 și IS3 conțin informații valid. Se apelează apoi subrutina 8 în care se generează cuvântul Tc care conține numărul de ordine al postului de lucru detectat. În tabelul de mai jos se precizează starea senzorilor de la nivelul turelei pentru toate posturile de lucru.

Postul de lucru	Stare senzor 1	Stare senzor 2	Stare senzor 3
1	1	0	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	1	0	0

Se observă faptul că informația provenită de la senzorul 1 și cea de la senzorul 2 sunt pe tot parcursul complementare. Se observă de asemenea faptul că informația negată de la senzorul 3 și starea senzorului 2 reprezintă valoarea codificată Gray a postului de lucru minus o unitate. Având în vedere aceste lucruri vom considera că pentru postul 1 Tc va avea valoare 0, pentru postul 2 valoarea 1 și așa mai departe. Subrutina Sr8 este scrisă în limbajul Structured Text definit în **IEC 61131-3**.

Tc:=0;

Tc:X0:=Iss2 OR NOT Iss1;Tc:X1:=NOT Iss3;

Tc:=GRAY_TO_INT(Tc);

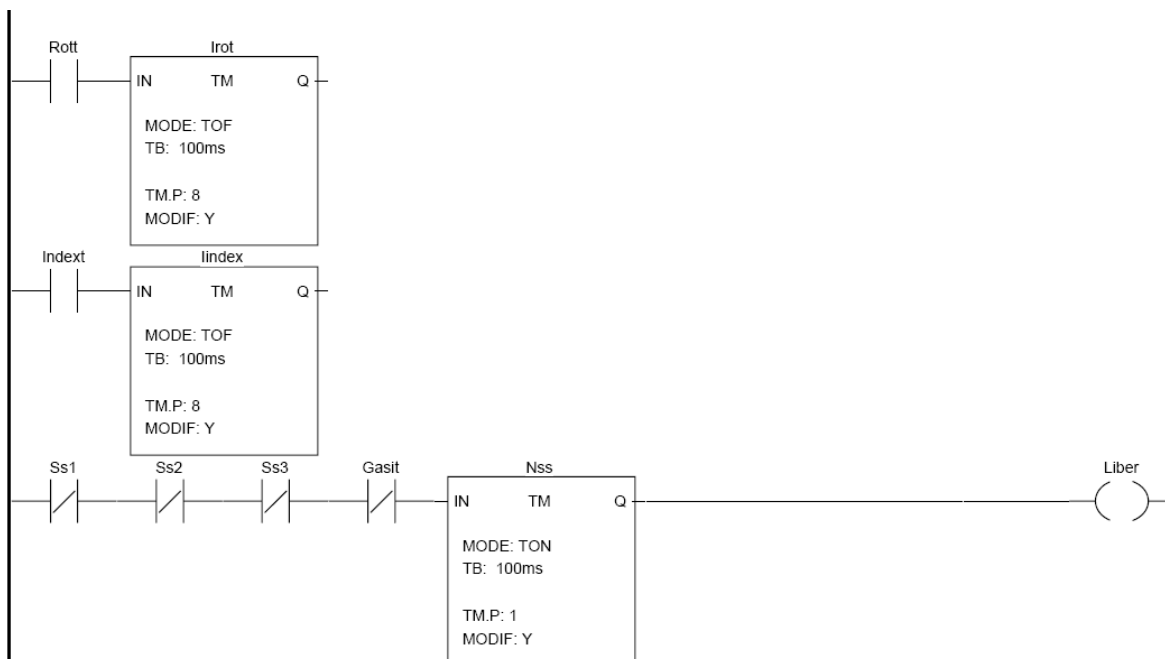


Fig. 5.22. Preprocesare. Gestionarea elementelor referitoare la schimbarea postrurilor de lucru de la nivelul turelei

Pentru comenzile de rotire și indexare se vor iniția blocuri de temporizare la revenire pentru a se determina modalitatea de calcul a variabilei T_n (care specifică postul de lucru următor) în partea de Postprocesare. De asemenea se va genera bitul Liber care specifică faptul că nu s-a detectat nicio camă la nivelul capului revolver.



Fig. 5.23. Preprocesare. Detectarea solicitării de schimbare a modului de lucru

Prin monitorizarea stării comutatorului de selectare a regimului de lucru se generează bitul ModeChange, bit folosit pentru a realiza oprirea ciclurilor de lucru specifice modului de lucru dezactivat.

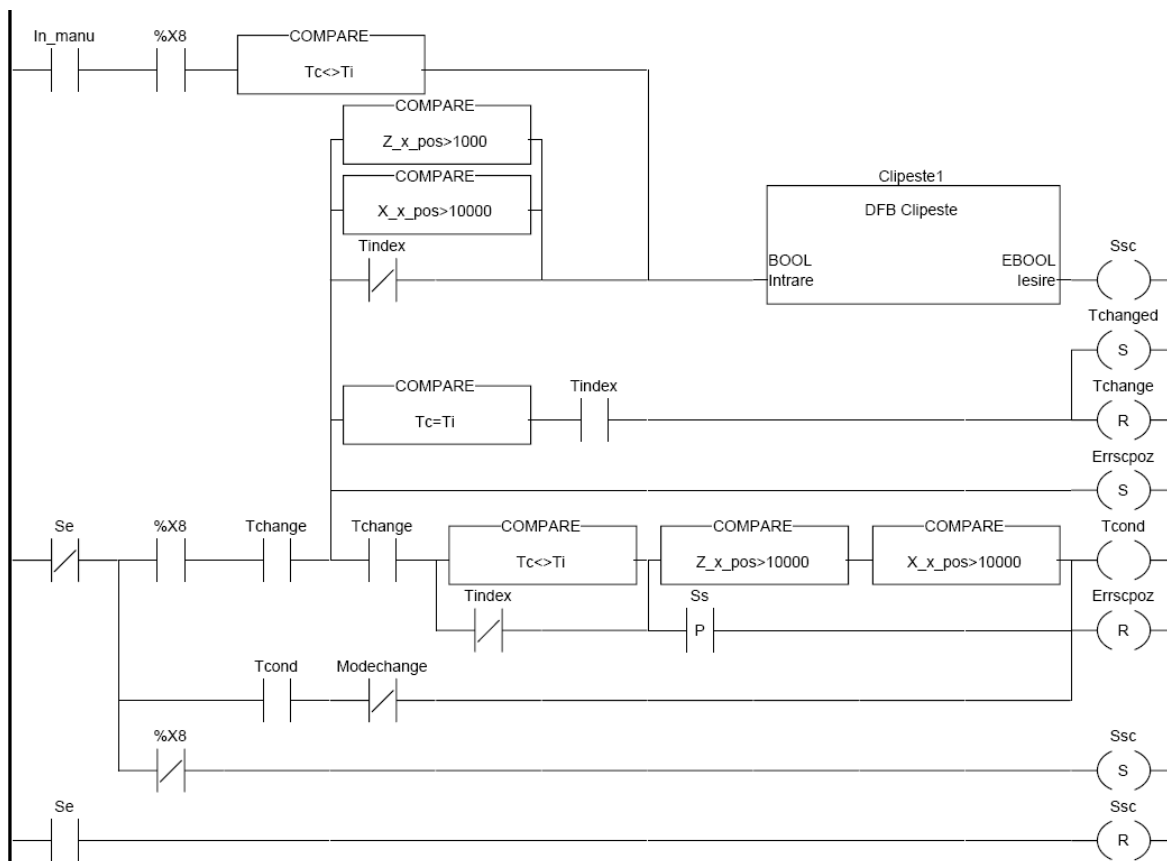


Fig. 5.24. Preprocesare. Gestionarea solicitărilor de activare a ciclului de schimbare post de lucru

În ceea ce privește semnalizarea efectuării ciclului de rotire a capului revolver se va aprinde lampa de panoul mașinii atunci când este activ ciclul de schimbare, lampa va clipi atunci când în cadrul regimului de lucru manual se va detecta faptul că postul de lucru selectat diferă de postul de lucru impus cu ajutorul comutatorului de selecție de pe panoul mașinii. De asemenea indiferent de regimul selectat lampa va clipi atunci când partea mobilă este într-o poziție prea apropiată de arborele principal.

Funcția de clipire se realizează folosind un bloc de funcție definit de programator (DBF) a cărui cod a fost scris în limbajul Structured Text. Codul este:

FPULSOR(Intrare,100,100,Iesire,Curent,Privat);

unde:

- Intrare - reprezintă intrarea de activare a blocului;
- Ieșire – reprezintă ieșirea blocului care va fi activă pentru 100 ms și inactivă pentru 100 ms;
- Curent – cuvânt care este incrementat la fiecare ms până la 100 (valoarea temporizării).
- Privat – cuvânt folosit intern de funcția FPulsor.

Tot în acest rang se gestionează bitul „Tcond” bit folosit în cadrul procesării secvențiale pentru a permite execuția ciclului de schimbare a postului de

lucru. Bitul este activat dacă sunt îndeplinite o serie de condiții, automenținerea valorii 1 se întrerupe la schimbarea modului de lucru.

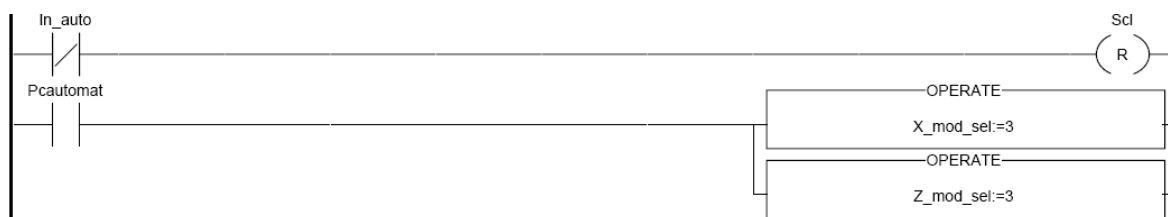


Fig. 5.25. Preprocesare. Selectarea modului de lucru automat pentru canalele X și Z

La solicitarea PC-ului se activează scrie în cuvintele de comanda Mod_Sel valoarea 3 lucru care determină selectarea regimului de lucru automat pentru aceste canale. În acest rang se resetează ieșirea corespunzătoare lămpii care indică funcționarea în regim automat.

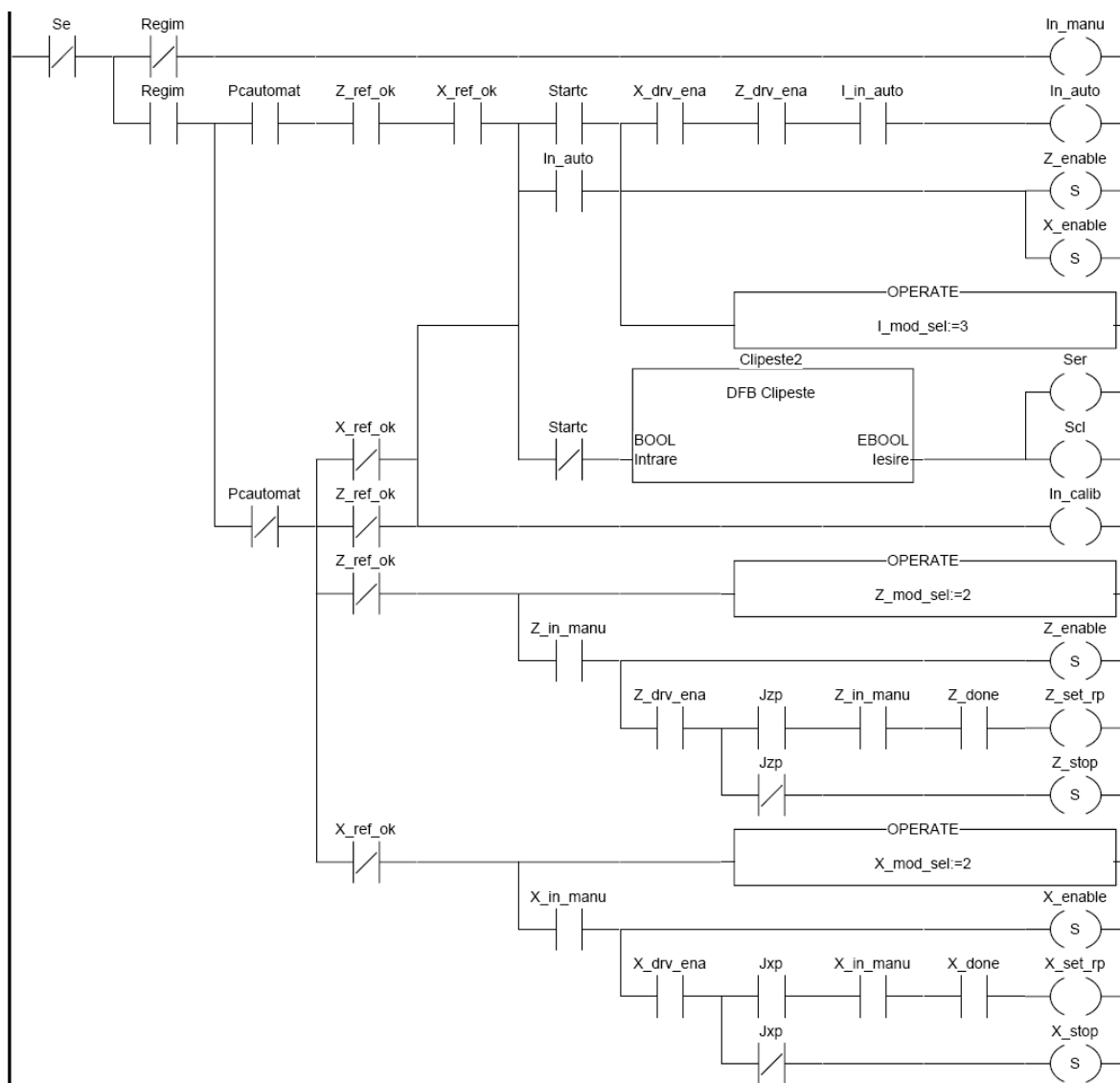


Fig. 5.26. Preprocesare. Gestionarea modurilor de lucru

Execuția ciclurilor de lucru în regimul manual sau în regimul automat este condiționată de valoarea 1 a biților corespunzători In_auto , respectiv In_manu.

Una din condiții pentru ca acești biți să fie activi este reprezentată de lipsa defecțiunilor de funcționare ale instalației (bitul Se are valoarea0).

Pentru modul de lucru automat condițiile de activare sunt:

- Axele X și Z au fost calibrate
- Confirmare din partea PC (bitul PCautomat)
- Variatoarele axelor de lucru să fie activate (biții X_drv_ena și Z_drv_ena activi)
- Butonul „Start ciclu” apăsat pentru inițiere după care se realizează automenținere.

În cazul în care toate condițiile sunt îndeplinite însă butonul „Start ciclu” nu a fost apăsat lampa butonului va clipi. La lansarea modului de lucru automat se va scrie și cuvântul I_mod_sel cu valoarea 3 pentru a permite efectuarea mișcărilor de interpolare.

Rangul din figura este folosit și pentru realizarea ciclului de sincronizare a sistemului de măsură a mașinii. Pentru fiecare axă pentru care nu s-a realizat ciclul de sincronizare se va activa modul de lucru manual prin scrierea valorii 2 în cuvintele Mod_sel și apoi se va activa comanda Set_Rp atunci când operatorul acționează controlerul de comandă manuală a axelor în sens pozitiv și la nivelul axei nu este activă nici o comandă (X_done). Operatorul poate opri la orice moment de timp ciclul de sincronizare prin eliberarea controlerului.

Tot în această secțiune se gestionează funcționarea specifică modului de lucru manual. Pentru activarea comenzilor manuale se verifică în primul rând faptul că nu s-a sesizat nici o defecțiune. Se verifică de asemenea faptul că nu este în execuție o altă comandă. Dacă o mișcare de deplasare nu este posibilă atunci se va semnala acest lucru printr-un mesaj de eroare.

Partea de procesare secvențială este compusă din mai multe grafice independente. Există un grafic pentru controlul arborelui principal, a capului revolver și a cutiei de viteze; un grafic care este folosit pentru selectarea axei pe care se va realiza mișcarea de avans și în final un grafic pentru gestionarea modului de lucru automat.



Fig. 5.27. Preprocesare. Semnalizarea activității modului de lucru automat

Dacă regimul activ este cel automat se setează bitul corespunzător ieșiri care guvernează lampa butonului „Start ciclu”.

5.2.2.4. Procesarea secvențială

Secțiunea Grafcet este folosită pentru:

- Gestionarea bufferului circular de date,
- Gestionarea modului de lucru automat,
- Schimbarea posturilor de lucru de la nivelul capului revolver.

Instrucțiunile transmise de PC sunt stocate de PLC într-un buffer circular. Transferul frazelor de către PC se face asincron față execuția acestora. Bufferul circular este gestionat astfel cu ajutorul următoarelor variabile:

- Ibp- numărul de ordine al primei instrucțiuni din buffer
- Ibb- o fraza analiazată de program
- Buffdim –numărul de instrucțiuni din buffer
- Ibu-numărul ultimei fraze din buffer

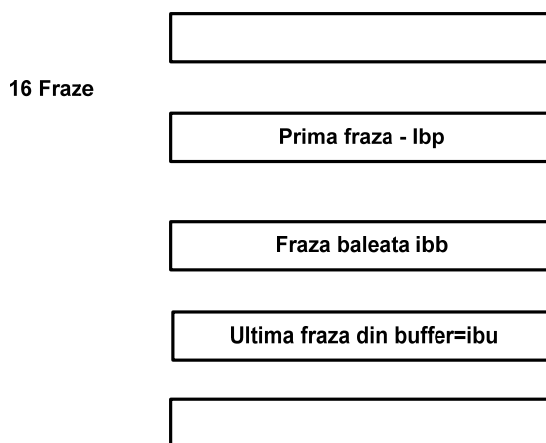


Fig. 5.28. Structura buffer

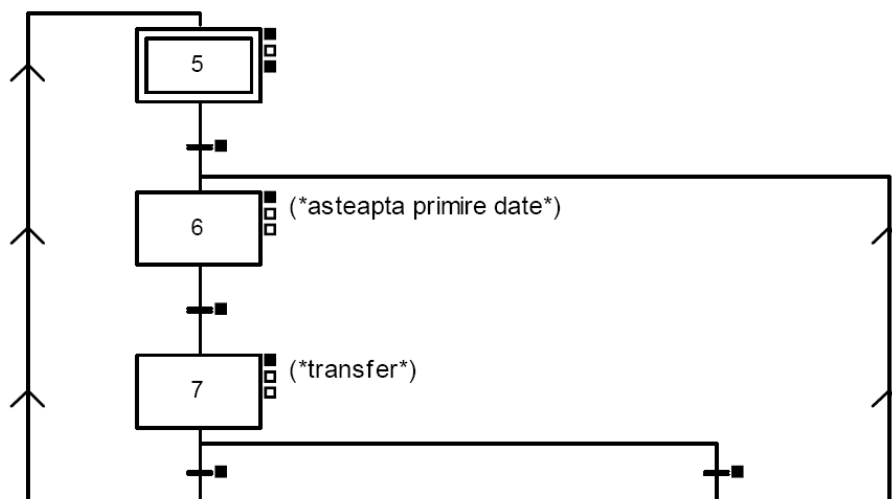


Fig. 5.29. Grafic de comandă a pentru gestionarea bufferului

Pasul 5 este activ atunci când nu este selectat modul de lucru automat. Condiția pentru activarea pasului 6 este:

! In_auto

La dezactivarea pasului se execută următoarea delcarație Structured Text:

! RESET Dok;

În pasul 6 se așteaptă până când PC-ul confirmă datele transmise folosind bitul Dok. Pentru a determina PC –ul să scrie datele se va incrementa cuvântul CerereDate.

! INC Cereredate;

Trecerea la pasul 7 se realizează atunci când s-au recepținat datele de la PC sau atunci când PC-ul solicită dezactivarea modului de lucru automat prin resetare bitului PCAutomat.

! Dok OR NOT Pcautomat

Pasul 7 este folosit pentru transferul datelor transmise de PLC în bufferul circular.

!Ibu:=(Ibp+Buffdim)REM 16;

Bx[Ibu]:=Pcx;

Bz[Ibu]:=Pcz;

Bi[Ibu]:=Pci;

Bk[Ibu]:=Pck;

Bg[Ibu]:=Guri;

Bm[Ibu]:=Muri;

Bf[Ibu]:=Furi;

Bs[Ibu]:=Suri;

Bt[Ibu]:=Turi;

Bn[Ibu]:=Cereredate;

Pcx:=Knop;

Pcz:=Knop;

Pci:=Knop;

Pck:=Knop;

Guri:=0;

Muri:=0;

Furi:=-1;

Suri:=-1;

Turi:=-1;

INC Buffdim;

RESET Dok;

Se calculează IBu pe baza dimensiunilor bufferului și se depune la ultima locație a bufurelui variabilele transmise de PC. După care se inițializează zona în care depune PC date cu valoarea conținută de constanta Knop pentru variabilele de tip cuvânt dublu și cu valoarea -1 sau 0 pentru celelalte tipuri de cuvinte. Scopul acestei operații este acela de a putea determina cuvintele care au fost scrise de PLC.

Se incrementează dimensiunea bufferului și apoi se resetează bitul Dok pentru a putea determina din nou scrierea de către PC a unei noi fraze.

Din pasul 7 se poate realiza tranziția la pasul 5 dacă s-a abandonat execuția programului automat:

! NOT Pcautomat

sau transfer la pasul 6 dacă modul automat nu a fost abandonat și dimensiunea buferului este mai mică sau egală cu 15. Cuvântul Buffdim se decrementează după execuția fiecărei fraze în partea de procesare a programului.

!Pcautomat AND Buffdim<=15

La activarea pasului 5 adică după finalizarea sau abandonare a execuției unui program se execută:

!Cereredate:=-1;RESET Dok;Ibp:=0;

Buffdim:=0;

Bx:16:=Knop;

Bz:16:=Knop;

Bs:16:=-1;

Bf:16:=-1;

Bt:16:=-1;

Bm:16:=0;

Bg:16:=0;

Bn:16:=-1;

Pcx:=Knop;

Pcz:=Knop;

Pci:=Knop;

Pck:=Knop;

Guri:=0;

Muri:=0;

Furi:=-1;

Suri:=-1;

Turi:=-1;

Se inițializează cu -1 cuvântul Cereredate, se resetează bitul Dok și se realizează resetarea bufferului prin atribuirea valorii 0 cuvintelor Ibp și Ibu. Instrucțiuni de atribuire de genul Bx:16:=Knop sunt folosite pentru realizarea atribuirii valorii Knop la nivelul tuturor elementelor tabelului de 16 elemente care are ca prim element Bx. Se realizează așadar inițializarea întregului buffer circular. Se inițializează apoi și variabilele în care PC-ul depune datele corespunzătoare frazelor active.

Partea de program de comandă a mașinii în regim automat a presupus dificultăți deosebite în ceea ce privește gestionarea bufferului circular și lucru cu modulul de control al axelor care dispune la rândul său de un buffer în care se

pot stoca trei instrucțiuni de mișcare în plus față de cea aflată în execuție. Instrucțiunile transmise modulului au următorul format

XMOVE %CHxy.3(N_RUN,G9_,G,SPACE,X,Y,Z,F,M)

unde:

%Chxy.3	Adresa canalului atașat axei controlate
x	numărul rack-ului
y	poziția modulului în rack
3	Canalul de interpolare
N_RUN	Număr folosit pentru identificarea mișcării. Poate conține valori de la de la 0 la 32767.

Coduri ale mișcării

G9_ = tipul mișcării

- 90 Mișcare în coordonate absolute. Poziția furnizată în cadrul instrucțiunii este raportată la poziția punctului de referință.
- 91 Mișcare în coordonate relative la poziția curentă
- 98 Mișcare la o poziție **relativă în raport cu o poziție memorată PREF1** (PREF1 este memorată folosind codul instrucțiune G07)

G = codul instrucțiunii

- 09 Interpolare liniară cu oprire la sfârșitul instrucțiunii.
- 01 Interpolare liniară fără oprire la sfârșitul instrucțiunii.

Mai există instrucțiuni pentru gestionarea intrărilor de tip reflex (întreruperi) asociate canalelor modulului însă nu le vom prezenta deoarece nu vor fi folosite.

SPACE- definește spațiul în care se realizează interpolarea Valori posibile:

- 0 Mișcare în planul XY**
- 1 Mișcare în planul the XZ.**
- 2 Mișcare în planul YZ.**
- 3 Mișcare în spațiu XYZ.**

X,Y,Z- definesc valorile poziției care vor fi atinse pe cele trei axe controlate de modul la sfârșitul instrucțiunii.

F- definește viteza părții mobile. Pe baza acestui parametru modulul calculează proiecția vitezei pe fiecare axa.

M= Cuvânt codificat pe doi octeți. Valoarea fiecărei cifre hexazecimale

#16^{3 2 1 0}□□□□ determină executarea unor funcții specifice. Având în vedere faptul că nu vom activa aceste funcții suplimentare nu vom insista.

Modulul generează eroare dacă ultima instrucțiune executată impune o mișcare fără oprire și în buffer nu mai există alte instrucțiuni. De aceea

programul trebuie să determine momentul în care instrucțiunile ce impun interpolări vor fi lansate în execuție.

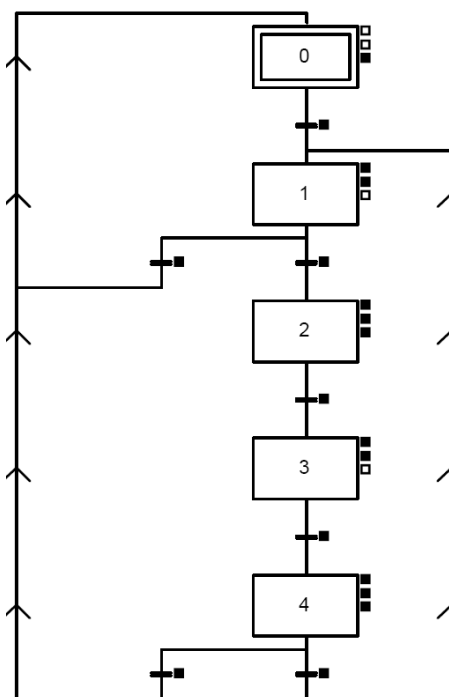


Fig. 5.30. Grafic de comandă a pentru gestionarea execuției modului de lucru automat

În diagrama Grafcet prezentată figura pasul 0 este activ când modul automat nu este selectat. În pasul 1 se așteaptă îndeplinirea condițiilor necesare pentru lansarea în execuția a frazelor. Condițiile se referă la lipsa defecțiunilor instalației și la condiții specifice pentru a evita generarea erorii datorate execuției unei instrucțiuni de mișcare cu oprire care nu e urmată de altă instrucțiune. Pasul 2 servește la activarea funcțiilor auxiliare pre. În pasul 3 se realizează mișcările de interpolare iar în pasul 4 se execută funcțiile auxiliare POST.

La dezactivarea pasului 0 se vor scrie în cuvintele care rețin funcțiile activate valoarea funcțiilor implicite astfel:

```
!Smax:=Ksmax;
Fa:=Kfmax;
Gactiv:=0;
Mda:=0;
Spa:=300;
Ta:=0;
Zt:=Z_x_pos;
Xt:=X_x_pos;
Bft:16:=-1;
```

Se vor activa astfel funcțiile G00, G90, G94, G97, M05, M09, M40.

Dezactivarea pasului 0 se realizează atunci când regimul automat este activ. Tranziția de la pasul 0 la pasul 1 are atașată următoare condiție:

!In_auto

La activarea pasului 1 se realizează resetarea variabilelor care vor fi folosite în cadrul acțiunii continue atașată pasului 1.

***!Nrib:=0;
RESET Condexec;
Indexbuff:=0;***

În cadrul pasului 1 în mod continuu se calculează bitul Condexec care atunci când este activat determină lansarea în execuție a frazelor conținute în bufferul circular.

***!IF(Indexbuff<Buffdim AND NOT Condexec
)THEN
Ibb:=(Ibp+Indexbuff)REM 16;
SR1;
SR2;
SR3;
Condexec:=(Indexbuff=0 AND NOT Misfr)OR
Mfg09 OR Mposts OR(Indexbuff<>0)AND
Mpres;
INC Indexbuff;
END_IF;
Condexec:=Condexec OR Buffdim=16;***

În cadrul acestui pas se balează toate frazele din buffer calculând bitul Condexec care va fi activat în următoarele condiții:

- Prima instrucțiune din buffer nu presupune mișcare,
- Instrucțiunea baleată conține funcția G09ș
- Sau in fraza curentă există programate funcții auxiliare post care determină oprirea părții mobile (M00, M05, M06, M02)
- Fraza baleată nu este prima și conține funcții auxiliare pre care determină oprirea (M03, M04, M07, M40..M43).

Subrutina SR1 activează bitul Mfg09 dacă fraza curentă conține funcția G09.

***SR0;
Mfg09:=(Misfr AND(Bg[Ibb]:X10));***

Subrutina Sr0 activează bitul Misfr dacă în fraza curentă este programată o mișcare.

***Misfr:=NOT((Bx[Ibb]=Knop)AND(Bz[Ibb]=Knop)
OR
((Bx[Ibb]<>Knop)AND(Bg[Ibb]:X2 AND NOT
Bg[Ibb]:X3)));***

Subrutina Sr2 este folosită pentru a determina dacă în fraza curentă este programată una din funcțiile post:

!Mposts:=

**(Bm[Ibb]:X0 AND((Bm[Ibb]:X1 AND Bm[Ibb]:X2)OR
(NOT Bm[Ibb]:X1 AND NOT Bm[Ibb]:X2)))OR
(Bm[Ibb]:X3 AND NOT Bm[Ibb]:X4)OR
(Bm[Ibb]:X14 OR Bm[Ibb]:X15)OR
Bm[Ibb]:X8 OR(Bg[Ibp]:X4 AND Bf[Ibp]<>-1);**

Subrutina Sr3 este folosită pentru a determina dacă în fraza curentă este programată una din funcțiile auxiliare pre:

!Mpres:=

**(Bm[Ibb]:X0 AND NOT((Bm[Ibb]:X1 AND
Bm[Ibb]:X2)OR(NOT Bm[Ibb]:X1 AND NOT Bm[Ibb]:X2)))OR
(Bm[Ibb]:X3 AND Bm[Ibb]:X4)OR
(Bm[Ibb]:X5)OR Bg[Ibb]:X4;**

Tranziția către pasul 2 se realizează atunci când bitul Condexec este activ și când mașina este în regim automat. Acest lucru implică și faptul că bitul Se este 0 adică nu se detectează nici o eroare de funcționare

!Condexec AND In_auto

Tranziția al pasul 0 se realizează atunci când PC-ul specifică faptul că programul actual trebuie abandonat.

!NOT Pcautomat

Ațiunea la activarea pasului 2 este folosită pentru a activa funcțiile auxiliare. Se transferă din buffer biții corespunzători funcțiilor în cuvântul Mda.

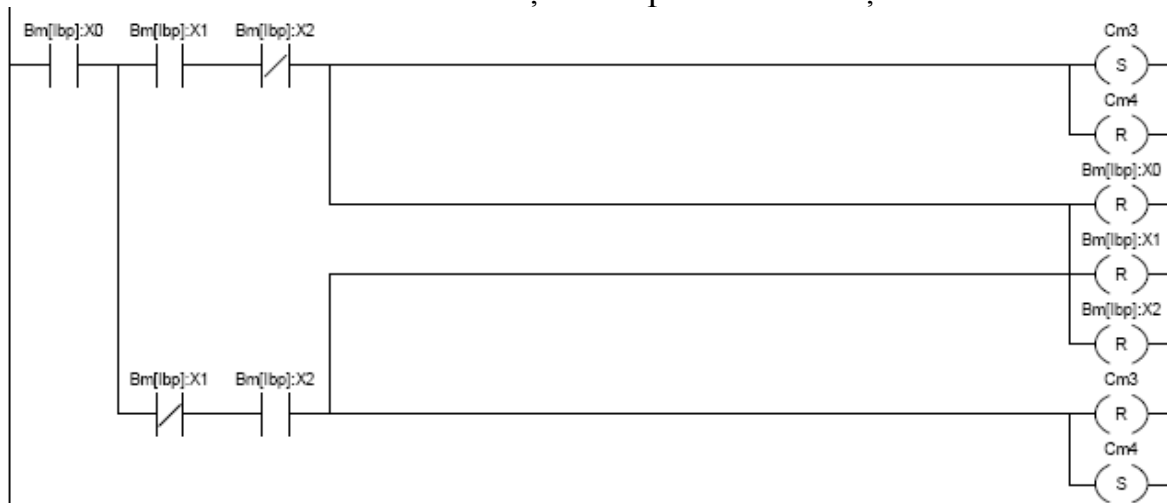


Fig. 5.31. Activare a biților corespunzătorii funcțiilor M3 și M4

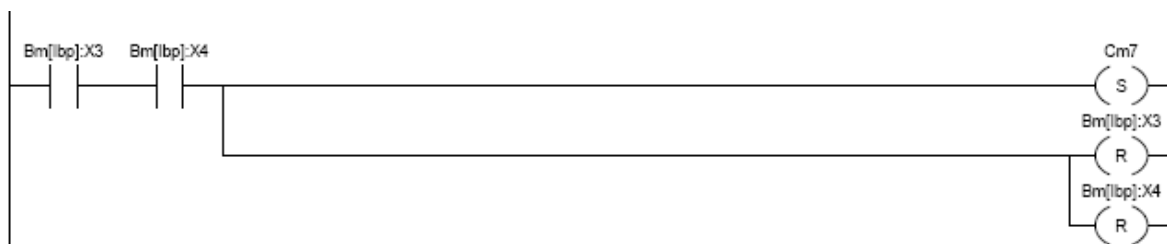


Fig. 5.32. Activare a bitului corespunzătorii funcție M7



Fig. 5.33. Activare a biților corespunzătorii funcțiilor M40, M41, M42, M43

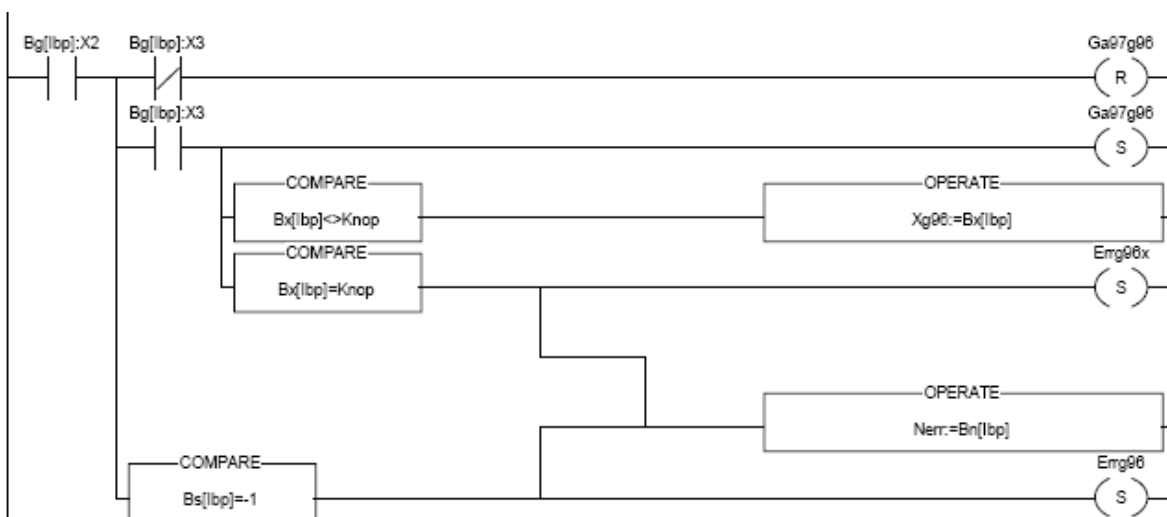


Fig. 5.34. Activare a biților corespunzătorii funcțiilor pregătitoare G97 și G96

La activarea bitului corespunzător funcției G96 se verifică faptul că a fost programată funcția X. La oricare din funcțiile din această grupă se verifică faptul că a fost programată funcția S.

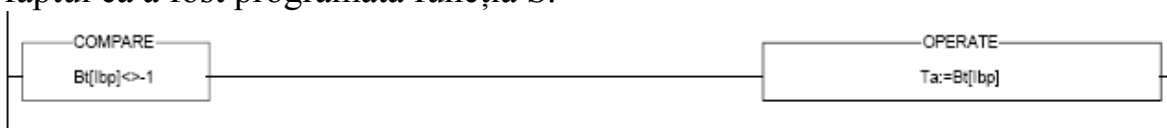


Fig. 5.35. Transferarea valorii funcției T



Fig. 5.36. Apelarea subrutinei SR6

Subrutina SR6 este apelată atât în pasul 2 cât și în pasul 4 și este utilizată în special pentru a calcula turația arborelui motorului principal.

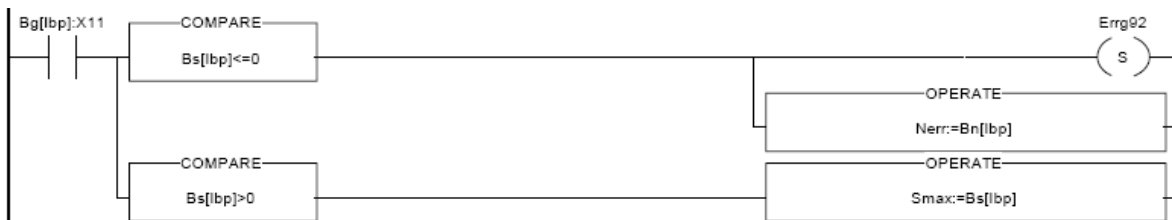


Fig. 5.37. Tratarea funcției G92

În prima parte a subrutinei se testează dacă a fost programată funcția G92 și se actualizează cuvântul Smax. Dacă funcția G92 a fost programată fără a fi programată funcția S se generează bitul Errg92 pentru a semnaliza eroarea de introducere a programului.



Fig. 5.38. Actualizarea valorii programate a turației

Dacă funcția S a fost programată pentru a indica turația arborelui principal și nu pentru a indica limitarea turației acestuia, adică S nu a fost programată în stare G92 se va copia valoarea funcției în cuvântul Spa.

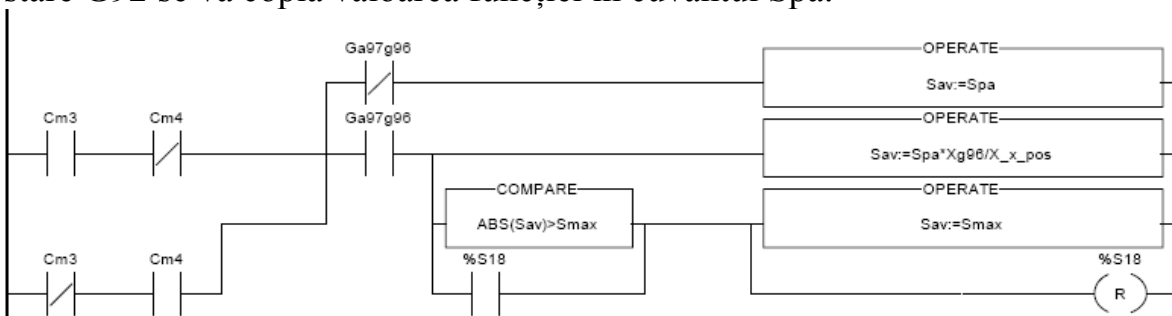


Fig. 5.39. Tratarea funcțiilor G96, G97

În cazul în care a fost programată una din funcțiile auxiliare M03 sau M04 se va depune în variabila Sav. În cazul în care funcția activă este G97 Sav va fi egal cu valoarea programată a turației Spa, altfel în cazul folosirii opțiunii de viteză de aşchiere constantă, Sav se va calcula cu relația:

$$Sav = Spa * Xg96 / X_x_pos$$

unde: Xg96- valoarea funcției X care a fost programată odată cu funcția G96

X_x_pos- valoarea curentă corespunzătoare poziției axei X.

Atunci când poziția axei X este mică valoarea rezultată a variabilei Sav poate fi mai mare decât valoarea maxim admisibilă, valoare definită cu funcția G92. De asemenea valoare rezultată poate depăși capacitatea de stocare a cuvântului dublu Sav. În această situație CLP-ul va semnaliza depășirea capacității prin activarea bitului %S18. În situația rezultatul expresiei este prea mare se va limita valoarea cuvântului Sav.

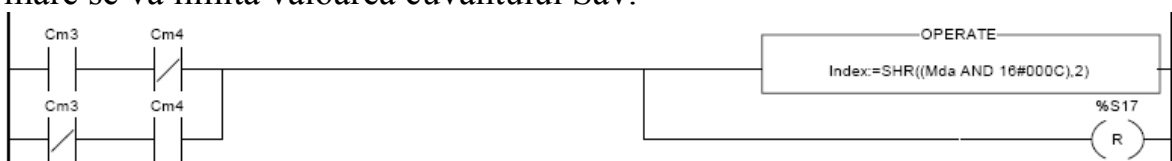


Fig. 5.40. Determinarea treptei de turație selectate

Treapta de turație este selectată în regimul automat folosind funcțiile M40..M43. În rangul de mai sus se va genera valoarea Index care va fi 0 pentru M40, 1 pentru M41,... , 3 pentru M43. Folosind expresia $Mda \text{ AND } 16\#000C$ se elimină din cuvântul Mda biții care nu sunt în legătură cu funcțiile de selectare a trepte de viteză. Funcția SHR determină deplasare la dreapta la nivel de biți nu 2 poziții în cazul de mai sus. Astfel rezultă valoarea Index.

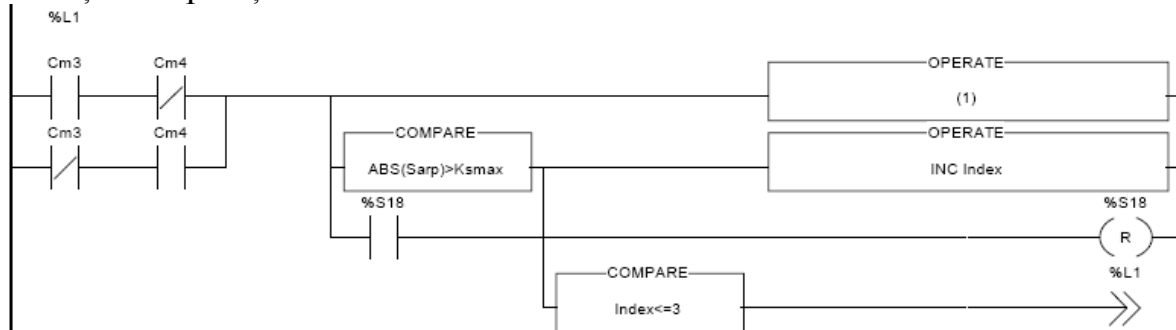


Fig. 5.41. Calculul turației motorului acționării principale

(1): $Sarp:=REAL_TO_INT(Icv*Ipf/(Icv[Index]*Ipf1[Treaptapf])*DINT_TO_REAL(Sav))$

În principiu se calculează pe baza turației arborelui principal turația motorului pentru treapta de turație selectată astfel

$$Sarp = Sav / (ipf * icv)$$

Unde Sav – turația programată a arborelui principal

Ipf- raport de transmitere al cutiei de viteze manuale, amplasate în păpușa fixă

Icv- raport de transmitere al cutie de viteze cu roți cuplabile.

Cutie de viteze cu roți cuplabile realizează treapta de viteze impusă de treapta selectată, treaptă cu numărul de ordine Index. Folosind indexarea și constatele Icv1, Icv2... , Icv4, Icv se determină raportul corespunzător treptei selectate. Pentru cutia de viteze treapta selectată se precizează de către operator prin intermediul cuvântului Treaptapf. Se calculează turația selectată folosind indexarea constantelor Ipf1, Ipf2... , Ipf4.

Dacă valoarea rezultată pentru turația motorului este mai mare decât constata Ksmax care precizează turația maxim admisibilă pentru motorul arborelui principal se incrementează variabila index lucru care va conduce în final la incrementarea numărului de ordine al treptei de turație a cutiei de viteze. Dacă indexul este mai mic decât 3 se va executa salt în program la începutul rangului pentru recalcularea Sarp.

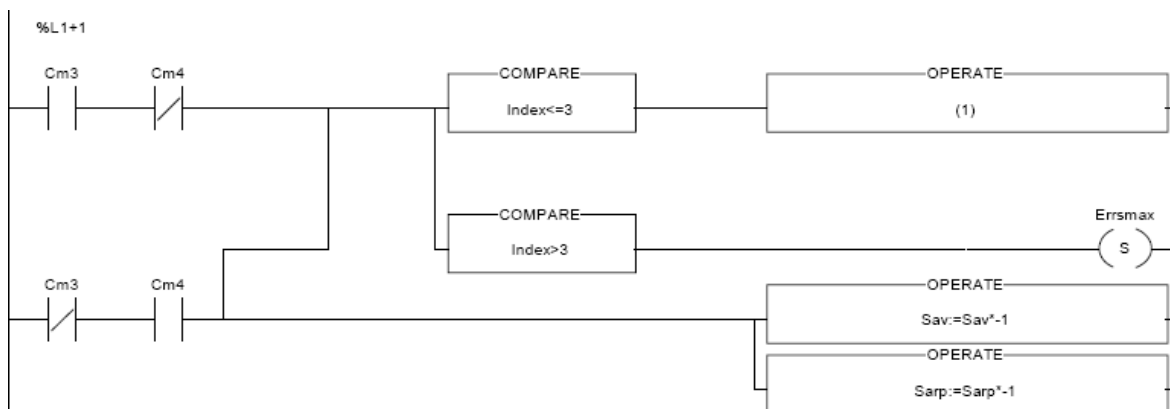


Fig. 5.42. Calculul turației motorului acționării principale

(1):Mda:=Mda AND 16#FFF3 OR(SHL(Index,2)AND 16#000C)

Dacă valoarea rezultată a variabilei index este mai mică sau egală cu 3 adică dacă viteza impusă de Sav poate fi atinsă prin schimbarea treptei de turație se vor suprascrise în cuvântul Mda biții corespunzători funcțiilor M40 .. M43 folosind expresia 1. Funcția SHL determină deplasarea pe biți a valorii cuvântului Index determinând „aducerea” biților pe poziția similară cu cea din cuvântul Mda apoi folosind operatorii de sumă și produs logic la nivel de biți se scrie valoarea din Mda. Dacă indexul are valoarea mai mare de 3 atunci turația impusă nu se poate realiza se va scrie bitul ErrSmax, iar CLP-ul va semnaliza eroarea. De asemenea se va înmulți valoarea rezultată cu -1 pentru a obține sensul impus de funcția M04.

Ațiunea continuă a pasului 2 este scrisă în limbajul Structured Text și este folosită pentru activarea funcțiilor auxiliare pre.

!IF Cm7 THEN SET Ungere;END_IF;SR7;

Se setează ieșirea care determină pornirea pompei de răcire ungere dacă este programată funcția M7. Și se apelează subrutina Sr7 care va fi apelată și în pasul 4.

```
!IF Cm4 XOR Cm3 THEN
SET Cv;
Cv1:=Cm40;
Cv2:=Cm41;
C_mod_sel:=1;
C_param:=Sarp*3;
SET C_enable;
IF C_in_dirdr AND C_drv_ena THEN
SET C_dirdrv;
END_IF;
END_IF;
```

Dacă este programată una din funcțiile auxiliare M03 sau M04 se activează ieșirea prin care roțile cutiei de viteză sunt cuplate și ieșirile (cv1, cv2) care comandă cele 4 cuplaje electromagnetice. Se selectează pentru axa atașată arborelui principal modul de conducere directă (în buclă deschisă). Ieșirea

analogică de comandă a variatorului arborelui principal va avea o valoare care se calculează prin înmulțirea turației impuse cu 3 deoarece la 3000 rot/min corespunde valoarea de 9000mV. În final se activează variatorul și se execută comanda în buclă închisă prin activarea bitului C_dirdrv.

Tranziția la pasul 3 se face cu condiția:

!(Cm7 AND %X2.T>8)OR((Cm3 XOR Cm4)AND ABS(C_ana_out-C_param)<5)OR NOT(Cm7 OR(Cm3 XOR Cm4))OR NOT In_auto

adică dacă funcția M7 a fost programată și au trecut 800 ms de la activarea ei, dacă a fost programată una din funcțiile M03 sau M04 și diferența dintre valoarea ieșirii analogice și valoarea impusă este mai mică de 5mV. De asemenea tranziția este efectuată și dacă nu au fost programate funcții auxiliare pre sau dacă modul automat nu mai este activ.

Activarea pasului 3 se realizează efectuând următoarea declarație Structured text.

```
!RESET Imove;
SR0;SET Firstm;
IF Misfr THEN
(*trimite prima instructiune*)
SET Imove;
Ibt:=Ibp-1;
IF Ibt<0 THEN Ibt:=15;END_IF;
Gat:=Gactiv;
Sat:=Spa;
Ft:=Fa;
END_IF;
```

Se setează bitul Imove dacă în fraza curentă este programată o mișcare se calculează Ibt ca fiind Ibp-1. Ibt este indexul ultimei fraze trimise interpolatorului. Se stabilesc funcțiile active pentru fraza trimisă interpolatorului prin copierea funcțiilor active.

În continuare prezentăm acțiunea continuă comentariile fiind inserate în cod:

```
!IF Imove AND I_next THEN
(*dacă sunt programate miscari si canalul de interpolare poate accepta o nouă
instructiune*)
INC Ibt;
Ibt:=Ibt REM 16;(* se incrementează indexul frazei trimise*)
IF(Ibp+Buffdim)REM 16>Ibt THEN
(* se verifică faptul că instrucțiunea care va fi trimisă este situată în buffer*)
```

```
IF Bg[Ibt]:X0 THEN Gatg90g91:=Bg[Ibt]:X1;END_IF;
IF Bg[Ibt]:X2 THEN Gatg97g96:=Bg[Ibt]:X3;
SET Errg96;
IF Gatg97g96 THEN SET Errg96x;
```

```

      IF Bx[Ibt]<>Knop THEN RESET
Errg96x;Xg96t:=Bx[Ibt];END_IF;
      END_IF;
      IF Bs[Ibt]<>-1 THEN RESET Errg96;END_IF;
      IF Errg96x OR Errg96 THEN Nerr:=Bn[Ibt];END_IF;
      END_IF;
      IF Bg[Ibt]:X8 THEN Gatg94g95:=Bg[Ibt]:X9;END_IF;
      IF Bg[Ibt]:X5 THEN
Gatg00:=Bg[Ibt]:X6;Gatg01:=Bg[Ibt]:X7;END_IF;
      IF Bs[Ibt]<>-1 AND NOT Bg[Ibt]:X11 THEN
Sat:=Bs[Ibt];END_IF;
      IF Bf[Ibt]<>-1 AND NOT Bg[Ibt]:X4 THEN
Ft:=Bf[Ibt];END_IF;
(*se actualizează cuvintele Gat, Sat și Ft cu valorile specificate de fraza
baleată*)

```

```

      (*calculare Ftt si satmax doar pentru interpolare liniara*)
      Ftt:=Ft;
      IF Gatg94g95 THEN
      Satmax:=Sat;
      IF Gatg97g96 THEN
      Xmint:=Xt;
      (*calculare smax*)
      IF Bx[Ibt]<>Knop AND NOT(Bg[Ibt]:X2 AND
Bg[Ibt]:X3)THEN
      Xtemp:=Bx[Ibt];
      IF Gatg90g91 THEN
      Xtemp:=Bx[Ibt]+Xt;END_IF;
      IF Xmint>Xtemp THEN
      Xmint:=Xtemp;END_IF;
      END_IF;
      Satmax:=Sat*Xg96t/Xmint;
      IF Satmax>Smax OR %S18 THEN
      RESET %S18;
      Satmax:=Smax;
      END_IF;
      END_IF;
      Ftt:=ABS(Ft*Satmax)/100;
      END_IF;
      IF Ftt>Kfmax THEN Ftt:=Kfmax;END_IF;
      Bft[Ibt]:=Ftt;

```

(*se calculează
Satmax – turatai maxima care va fi atinsă în fraya curentă pe baza cotei
minime X

Ftt- viteza de avans pentru cazul în care este activă funcția G95 viteză de avans exprimată în mm/rot

Se reține valoarea calculată a vitezei în tabelul Bft deoarece în cazul în care sunt active ambele funcții G96 și G95 se viteza de avans trimisă modulului de control al axei va fi viteza maximă urmând să se aplice o corecție de viteză în funcțioe de turația arborelui principal)*

IF((Bx[Ibt]<>Knop OR Bz[Ibt]<>Knop)AND NOT(Bg[Ibt]:X2 AND Bg[Ibt]:X3))AND NOT Gatg00 THEN

*(*pentru mișcări de interpolare liniară *)*

IF NOT Gatg01 AND NOT Gatg00 THEN

Ftt:=Kfg00;END_IF;

*(*în cazul funcției G00 viteza de avans este definită de constanta Kfg00*)*

SR4;

*(*Se apelează suburtina Sr4 pentru a determina dacă instrucțiunea ce va fi transmisă este cu oprire sau nu*)*

Xtemp:=0;

Ztemp:=0;

IF Bx[Ibt]<>Knop THEN

Xtemp:=Bx[Ibt];

IF Gatg90g91 AND NOT Firstm THEN

Xt:=Xt+Xtemp;

ELSE Xt:=Xtemp;

END_IF;

END_IF;

IF Bz[Ibt]<>Knop THEN

Ztemp:=Bz[Ibt];

IF Gatg90g91 AND NOT Firstm THEN

Zt:=Zt+Ztemp;

ELSE Zt:=Ztemp;

END_IF;

END_IF;

*(*se calculează cotele X și Z pentru situațiile în care funcția activă este G90 respectiv G91*)*

IF Xt<X_sl_min OR Xt>X_sl_max THEN SET Errxout;Nerr:=Bn[Ibt];END_IF;

IF Zt<Z_sl_min OR Zt>Z_sl_max THEN SET Errzout;Nerr:=Bn[Ibt];END_IF;

*(*dacă cotele impuse depășesc limitele software sl_max și sl_min se generează eroare*)*

IF Gatg90g91 AND NOT Firstm THEN

IF Fcg09 THEN

```

        XMOVE
        Inter(Ibt,91,9,0,Ztemp,Xtemp,0,Ftt,0);
        RESET Imove;
        RESET I_done;
    ELSE
        XMOVE
        Inter(Ibt,91,1,0,Ztemp,Xtemp,0,Ftt,0);
        RESET I_done;
    END_IF;
ELSE
    IF Fcg09 THEN
        INC %MW66;
        XMOVE Inter(Ibt,90,9,0,Zt,Xt,0,Ftt,0);
        RESET I_done;
        RESET Imove;
    ELSE
        INC %MW66;XMOVE
        Inter(Ibt,90,1,0,Zt,Xt,0,Ftt,0);
        RESET I_done;
    END_IF;
END_IF;
(*se transmite comenzile de miscare Xmove*)
END_IF;
END_IF;
END_IF;

```

Determinarea faptului că instrucțiunea transmisă trebuie trimisă cu oprire sau fără oprire se face folosind subrutina 4.

```

!RESET Fcg09;
RESET Nfcg09;
Index4:=(16+Ibt-Ibp)REM 16;
IF Index4<Buffdim THEN
Ibb:=(Ibp+Index4)REM 16;
SR1;
SR2;
(*pentru prima post sau g09*)
Fcg09:=Mposts OR Mfg09;
INC Index4;
WHILE(Index4<Buffdim)AND NOT(Nfcg09 OR Fcg09)DO
Ibb:=(Index4+Ibp)REM 16;
SR0;
SR2;
SR3;
Nfcg09:=NOT Mpres AND Misfr;

```

```

Fcg09:=Mpres OR(NOT Misfr AND Mposts);
INC Index4;
END_WHILE;
Fcg09:=NOT(Nfcg09 OR Fcg09)OR(Fcg09);
END_IF;

```

Rezultatul acestei subrutine poate fi determinat folosind biții Fcg09 respectiv Nfcg09. Bitul Fcg09 precizează faptul că instrucțiunea din fraza curentă este o instrucțiune cu oprire iar Nfcg09 este fără oprire. Dacă în buffer nu există suficiente instrucțiuni pentru a preciza tipul instrucțiunii ambii biți vor fi 0.

În continuare se monitorizează schimbarea numărului frazei active prin generarea cuvântului Ibe(indexul instrucțiunii aflate în execuție) și compararea acestuia cu cuvântul Ibp(indexul primei instrucțiuni din buffer). Dacă cele două cuvinte diferă se apelează incrementează Ibp actualizându-se funcțiile active folosind subrutina Sr5. Dacă fraza aflată în execuție este prima se va apela Sr5 pentru a actualiza funcțiile active.

```

!Ibe:=I_sync_n_run AND 16#000F;(*in executie*)
IF Firstm THEN
    (*pentru prima miscare din buffer*)
    SR5;
RESET Firstm;
END_IF;
IF Ibe<>Ibp AND %X3.T>2 AND NOT I_done THEN
    (*exista posibilitatea de a fi efectuate mai multe fraze*)
    Bx[Ibp]:=Knop;
    Bz[Ibp]:=Knop;
    Bi[Ibp]:=Knop;
    Bk[Ibp]:=Knop;
    Bg[Ibp]:=0;
    Bm[Ibp]:=0;
    Bf[Ibp]:=-1;
    Bs[Ibp]:=-1;
    Bt[Ibp]:=-1;
    Bn[Ibp]:=-1;
    Bft[Ibp]:=-1;
    INC Ibp;DEC Buffdim;
    IF Ibp>15 THEN Ibp:=0;END_IF;
    SR5;
END_IF;

```

În continuare prezentăm subrutina 5:

```

!IF Bg[Ibp]:X0 THEN Ga90g91:=Bg[Ibp]:X1;END_IF;
IF Bg[Ibp]:X2 THEN Ga97g96:=Bg[Ibp]:X3;

```



```

    IF Ga97g96 THEN SET Errg96x;
        IF Bx[Ibp]<>Knop THEN RESET
Errg96x;Xg96:=Bx[Ibp];END_IF;
    END_IF;
    IF Bs[Ibp]=-1 THEN SET Errg96;Nerr:=Bn[Ibp];END_IF;
    IF Errg96x THEN Nerr:=Bn[Ibp];END_IF;
END_IF;
IF Bg[Ibp]:X8 THEN
    Ga94g95:=Bg[Ibp]:X9;
    IF Ga94g95 THEN
        IF Bf[Ibp]<1 OR Bf[Ibp]>3000 THEN SET Errfg95;END_IF;
    ELSE
        IF Bf[Ibp]<1 OR Bf[Ibp]>2500 THEN SET Errfg94;END_IF;
    END_IF;
END_IF;
IF Bg[Ibp]:X5 THEN Ga00:=Bg[Ibp]:X6;Ga01:=Bg[Ibp]:X7;END_IF;
IF Bg[Ibp]:X11 THEN
    IF Bs[Ibp]<0 THEN
        SET Errg92;
    ELSE
        Smax:=Bs[Ibp];
    END_IF;
END_IF;
IF Bs[Ibp]<>-1 AND NOT Bg[Ibp]:X11 THEN Spa:=Bs[Ibp];END_IF;
IF Bg[Ibp]:X4 AND Bf[Ibp]=-1 THEN SET Errg04;END_IF;
IF Bf[Ibp]<>-1 AND NOT Bg[Ibp]:X4 THEN
    Fa:=Bf[Ibp];
END_IF;
IF Bt[Ibp]<>-1 THEN Ta:=Bt[Ibp];END_IF;

```

În finalul acțiunii pasului 3 se apelează subrutinele 6 și 7 folosite pentru calculare a turației la nivelul arborelui motorului acționării principale și pentru acționarea asupra variatorului pentru a obține această turației. Dacă este activă funcția G95 se calculează factorul de corecție al vitezei amintit mai sus care va fi depus în variabila I_cmv și care reprezintă procentul exprimat în miimi pe care viteza de avans îl va avea din viteza maximă definită în cadrul instrucțiunii de mișcare.

```

!IF NOT I_done THEN SR6;SR7;END_IF;
I_cmv:=1000;
IF Ga94g95 AND NOT I_done THEN
(*calculare F/s=const mm/min min/rot
Fa=Fp*sa*)
B:=Fa;
A:=B*ABS(Sav)*10/Bft[Ibp];

```

IF A>1000 THEN A:=1000;END_IF;
I_cmv:=A;
END_IF;

Tranziția de la pasul 3 la pasul 4 are atașată următoarea condiție:

!I_done AND %X3.T>3 OR NOT In_auto.

Aceasta impune ca modulul de mișcări să fi terminat de executat toate comenzile (bitul I_done setat) și ca timpul de activitate al pasului să fie mai mare de 300 ms astfel încât să existe timp suficient pentru transmiterea instrucțiunilor de mișcare de la modulul procesor la modulul de comandă a mișcărilor.

Pasul 4 este folosit pentru a implementa funcțiile auxiliare post. Acțiunea la activarea acestui pas este folosită pentru a implementa funcțiile M05 M01, M00, M02 și M06. În cazul în care una din funcțiile M05 M01, M00, M02 este activă se vor reseta biții Cm3 și Cm4 adică se vor dezactiva funcțiile M03 și M04 și în același timp se va opri mișcarea arborelui principal prin dezactivarea variatorului atșat arborelui.

Pentru funcția M06 se va seta cuvântul Ti cu valoarea Ta și se va iniția comanda prin activarea bitului Tchange.

! IF Bm[Ibp]:X0 AND NOT(Bm[Ibp]:X1 XOR Bm[Ibp]:X2)OR Bm[Ibp]:X14 OR Bm[Ibp]:X15 THEN RESET Cm3;RESET Cm4;RESET C_enable;END_IF;
IF Bm[Ibp]:X8 THEN Ti:=Ta;SET Tchange;RESET Tchanged;END_IF;

Acțiunea continua a pasului 4 este:

!IF Bm[Ibp]:X14 THEN SET Errm00;END_IF;
IF NOT Errm00 THEN RESET Bm[Ibp]:X14;END_IF;
IF Bm[Ibp]:X8 AND Tchanged THEN RESET Bm[Ibp]:X8;END_IF;

Dacă este activă funcția M00 se activează bitul Errm00. Acest bit poate fi resetat din secțiune „Erori” prin apăsarea butonului „Continuare” ucur care determină și finalizarea funcției prin ștergerea ei din bufferul circular. Tot în această declarație după executarea ciclului de rotire al capului revolver se resetează comanda M06.

Tranziția de la pasul 4 la pasul 1 se face atunci când s-au finalizat de executat funcțiile post și nu este activă funcția M02.

!NOT In_auto OR NOT(Cm3 XOR Cm4)AND C_nomotion AND NOT(Bm[Ibp]:X14 OR Bm[Ibp]:X15)AND NOT Bm[Ibp]:X8 OR(Cm3 XOR Cm4)

Tranziția la pasul 0 se face atunci când este programată funcția M02 sau PC-ul a determinat abandonul programului prin resetarea bitului PCautoamat

!(In_auto AND Bm[Ibp]:X15)OR NOT Pcautomat

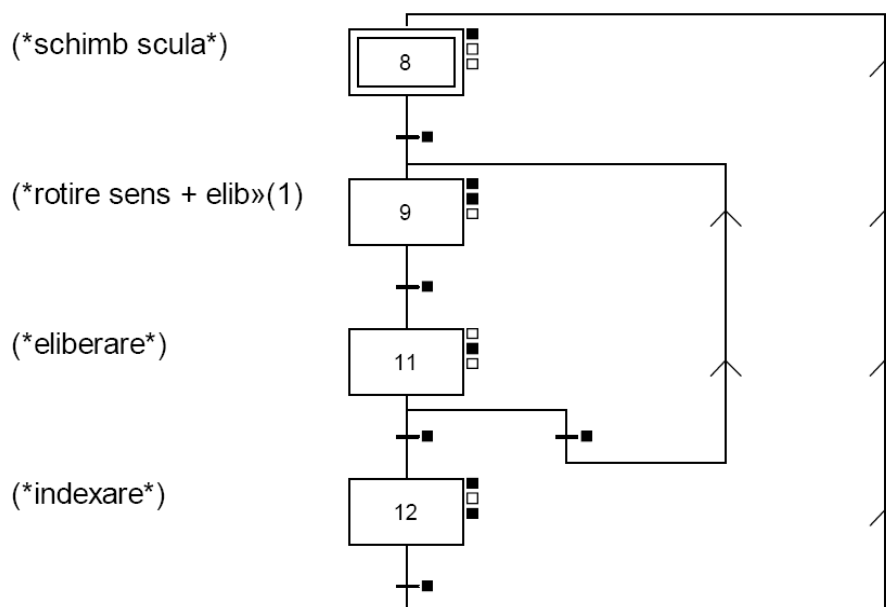


Fig. 5.43. Diagrama Grafcet pentru comanda turelei

Pasul 8 este folosit ca etapă de așteptare a activării ciclului de rotire turelă. Condiția de activare a ciclului este atașată tranziției de la pasul 8 la pasul 9:

!Tcond

La dezactivarea pasului 8 pornește rotirea capului revolver prin activarea ieșirii corespunzătoare:

***!SET Rott;
RESET Indext;
RESET Tindex;***

Se resetează ieșirea de indexare și se resetează bitul care preciza faptul că turela este indexată. Acțiunea continuă este folosită pentru a semnala eroare în cazul în care timpul de activitatea al pasului 9 este mai mare decât o valoare limită.

!IF %X9.T>30 THEN SET Errttimp;END_IF;

Tranziția de la pasul 9 la pasul 11 implică ca să se fi găsit cel puțin o camă sau să nu mai existe condiții pentru rotire a capului revolver:

!RE Gasit OR NOT Tcond

Acțiunea pasului 11 este folosită pentru generarea erorii prin care se specifică faptul că succesiunea posturilor de lucru nu este respectată:

***!IF Tn<>Tc AND Tn<>-1 AND Tcond AND %X11.T>3 THEN
SET Errtsc
;END_IF;***

Tranziția la pasul 12 se realizează atunci când postul de lucru curent este cel impus sau atunci când nu mai sunt îndeplinite condițiile de rotire a capului revolver.

!NOT Tcond OR(Tn=Tc AND Tc=Ti)

Traziția la pasul 9 se realizează dacă postul selectat nu este cel impus adică camele au fost eliberate de senzori.

!Tcond AND Liber AND((Tn=Tc)OR Tn=-1)

La activarea pasului 12 se setează ieșirea pentru indexarea turelei resetându-se ieșirea de rotire a turelei.

***!RESET Rott;
SET Indext;***

La dezactivarea pasului 12 se resetează ieșirea pentru indexarea capului revolverului. Dacă la sfârșitul ciclului mai există condiții înseamnă ca turela a fost indexată corect.

***!IF Tcond THEN SET Tindex;SET Tchanged;END_IF;
RESET Indext;***

Tranziția la pasul 8 se realizează la sfârșitul ciclului de indexare a turelei după expirarea unui timp de întârziere sau atunci când nu mai sunt condiții pentru rotirea turelei.

La activarea pasului 8 pentru a evita reluarea ciclului de rotire al capului revolver se vor reseta biții de comandă a execuției ciclului.

5.2.2.5. Secțiunea Grafcet- Postprocesarea

Postprocesarea este folosită pentru procesarea asociată modului de lucru manual și pentru a asigura realizarea interblocajelor specifice mașinii.

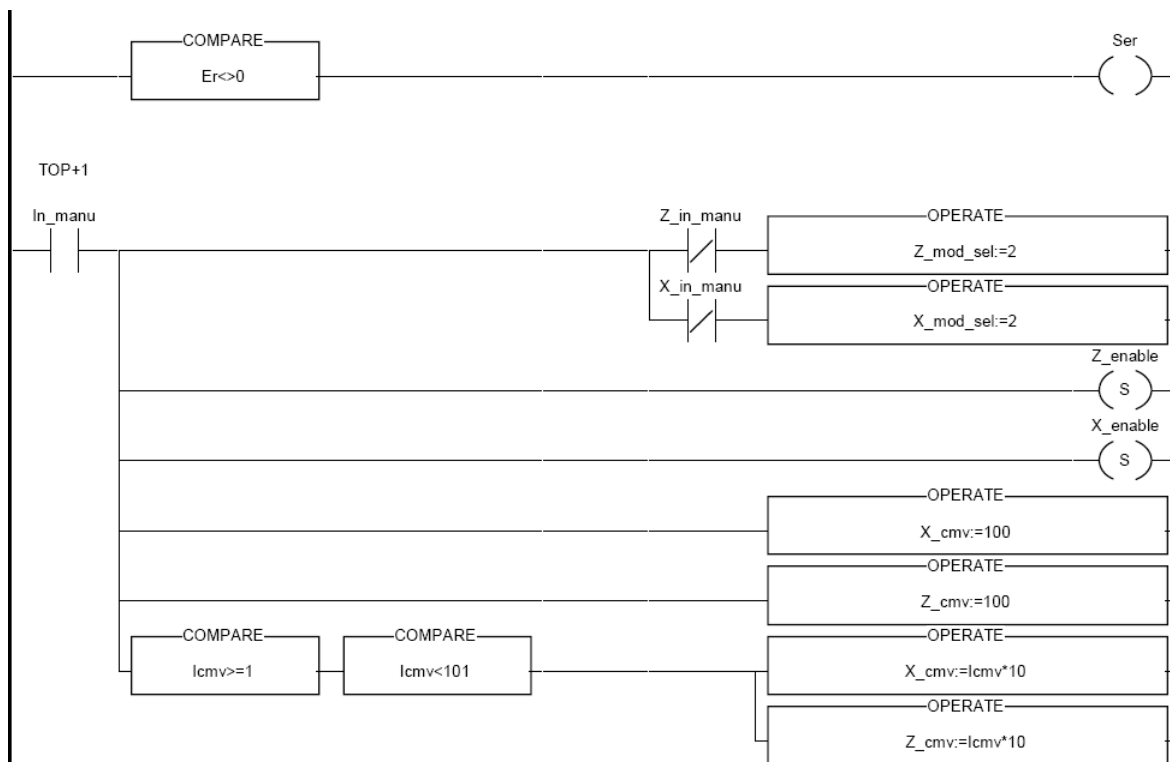


Fig. 5.44. Postprocesare. Mod de lucru manual, gestionare parametri canale axe

În primul rang din postprocesare se gestionează lămpile care semnalizează funcționarea incorectă a mașini prin intermediul ieșirii Ser. Atunci când modul de lucru manual este activ se comandă trecerea canalelor axelor Z și X în modul de lucru autoamat prin atribuirea valorii 2 cuvintelor Mod_Sel. Se setează de asemenea coeficienții de corecție a vitezei axelor X_cmv și Z_cmv. Dacă coeficientul pentru comanda avansului transmis de PC Icmv are valoare cuprinsă între 1 și 100 valoare coeficienților X_cmv și Z_cmv se obține prin înmulțirea cu 10 a coeficientului Icmv.

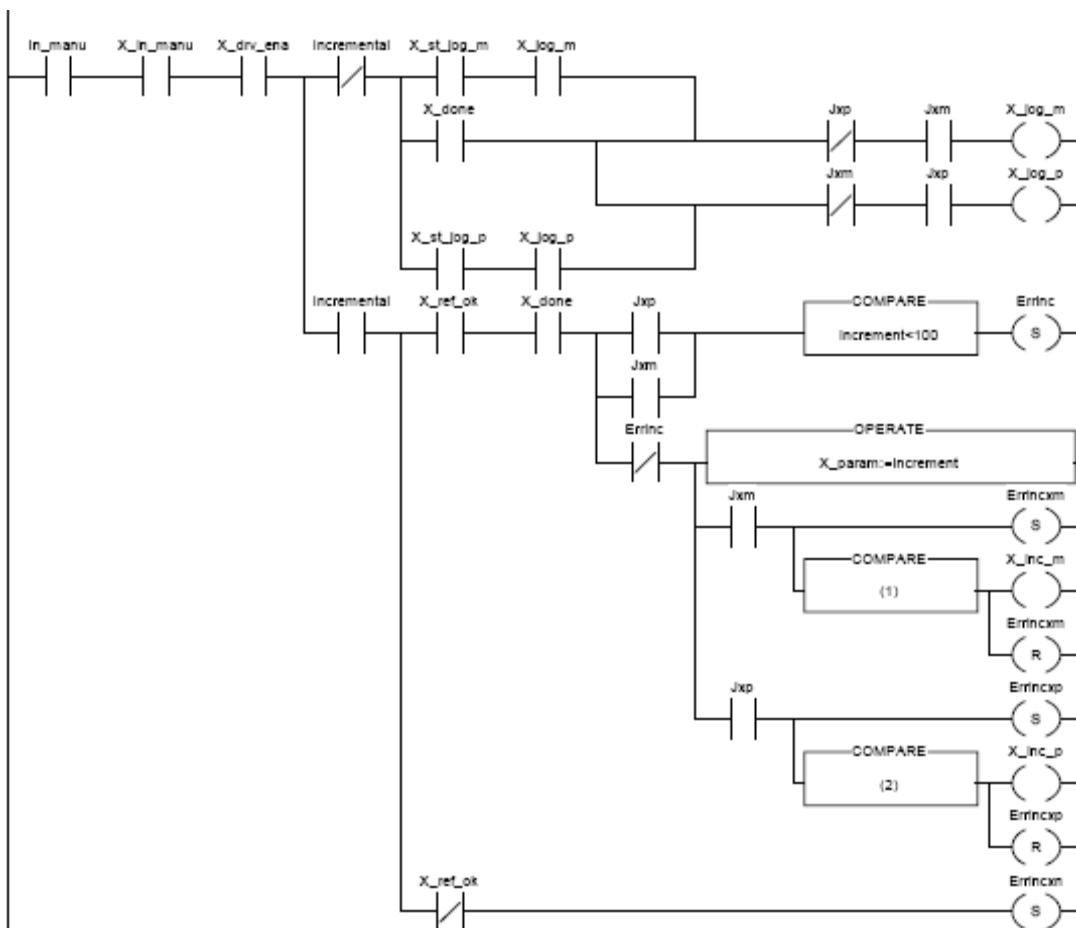


Fig. 5.45. Postprocesare. Mod de lucru manual, deplasări axa X

(1): $X_x_pos - Increment > X_sl_min + Z_tw$

(2): $X_x_pos + Increment < X_sl_max - Z_tw$

Pentru ambele axe există două moduri în care pot fi realizate deplasările manuale:

- Deplăsări de tip Jog în care mișcările sunt oprite după acțiunea operatorului. În cazul axei X aceste deplăsări se efectuează prin activarea biților X_Jog_M și X_Jog_P
- Deplăsări de tip Incremental în care mișcarea încetează după ce partea mobilă se deplasează cu o valoare increment. Deplasările se efectuează activând biții X_inc_m și X_inc_p

Pentru deplasările Jog condițiile necesare sunt:

- La inițierea deplasării la nivelul canalului nu trebuie să fie activă o altă comandă de mișcare (bitul X_done setat).
- Variatorul axei să fie activat
- Pentru canalul axei să fie selectat modul de lucru manual.

Pentru deplasările incrementale se testează dacă:

- Variatorul axei să fie activat
- Pentru canalul axei este selectat modul de lucru manual,
- Valoarea incrementului este corespunzătoare adică nu este prea mică (<10 micro metri) sau nu determină depășirea limitelor axei.

- Sistemul de măsură al axei a fost sincronizat (X_ref_ok activat)
Rangul este folosit și pentru a semnaliza situațiile în care valoarea incrementului transmis de Pc nu este corespunzătoare prin scrierea biților Errincxp, Errincxm și pentru a preciza faptul că axa nu are efectuat ciclul de sincronizare prin activarea bitului Errincxn.

Pentru axa Z tratarea se face în același mod.

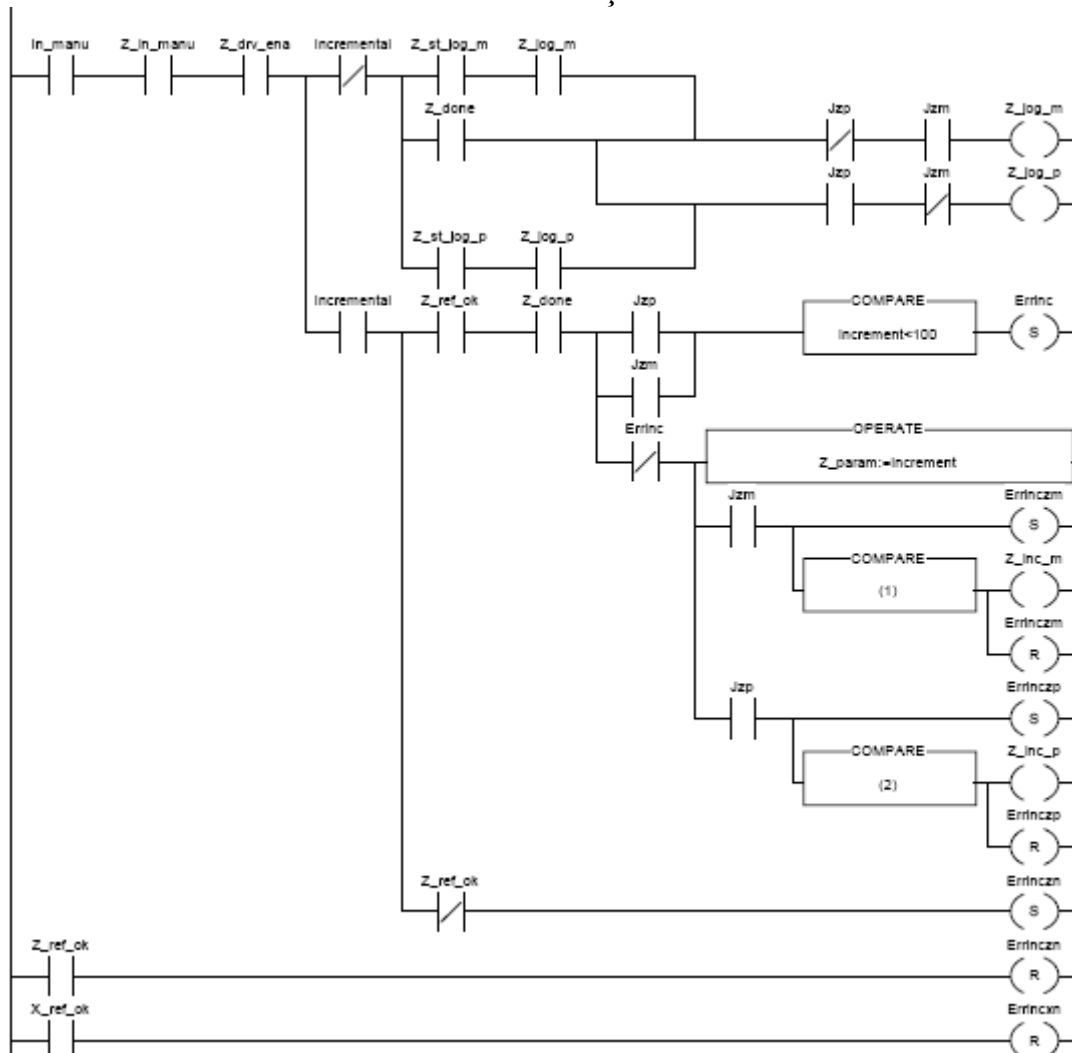


Fig. 5.46. Postprocesare. Mod de lucru manual, deplasări axa Z

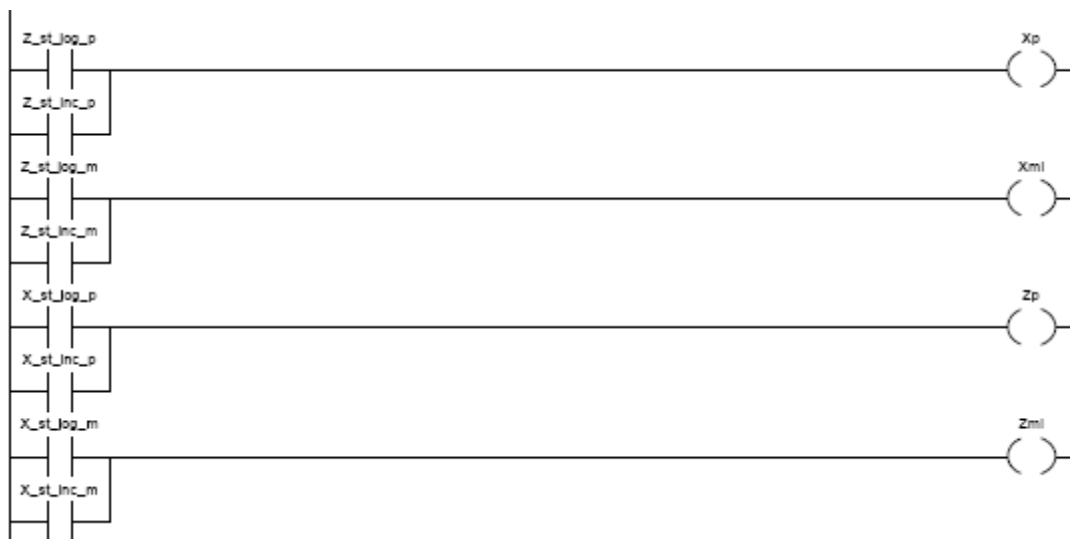


Fig. 5.47. Postprocesare. Semnalizare deplasări manuale

Pentru a indica executarea unei deplasări manuale CLP scrie biții Xp, Xmi, Zp, Zmi din cuvântul Manax (%Mw13).

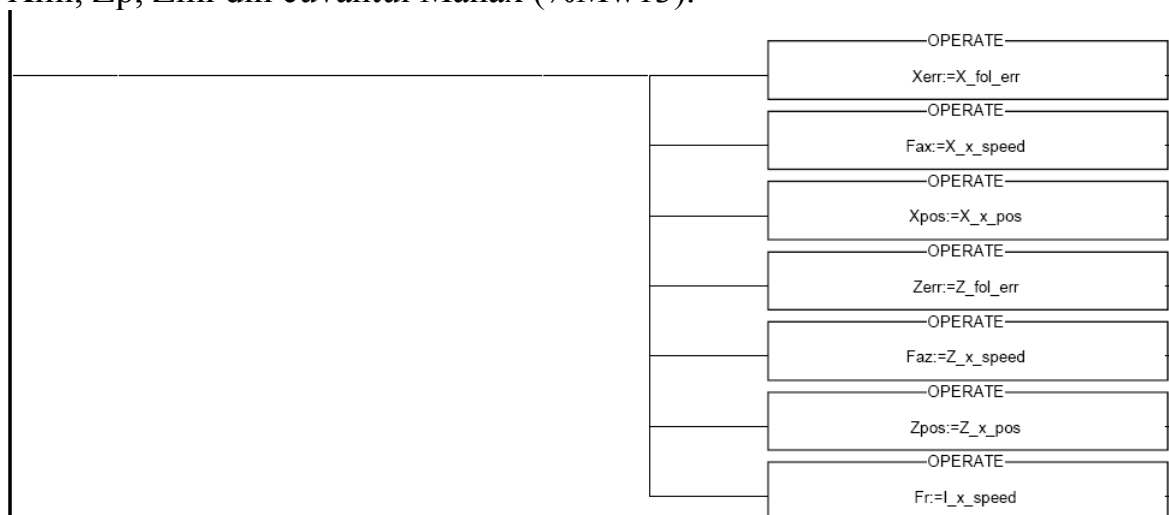


Fig. 5.48. Postprocesare. Cote, viteză de avans axe

Rangul prezentat în figura este utilizat pentru scrierea cuvintelor referitoare la poziția părții mobile, erorile de poziționare și proiecțiile vitezei de avans pe axele de lucru precum și viteza pe direcția mișcării.

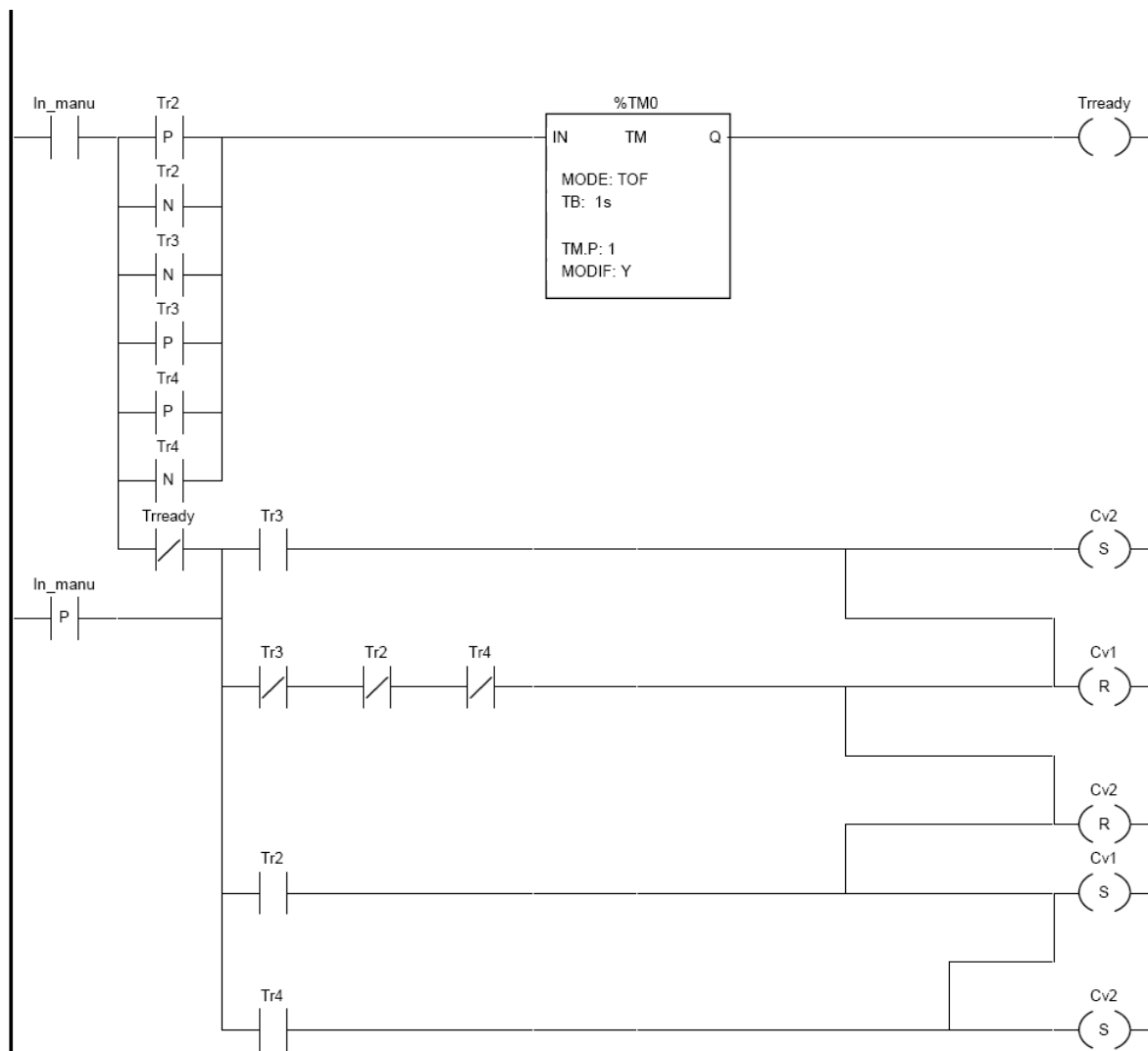


Fig. 5.49. Postprocesare. Comanda cutiei de viteze

Comutatorul de selecție al treptei de vitezei are următoarea diagrama:

Poz	Tr2	Tr3	Tr4
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	1
Intermediar	0	0	0

Din diagrama comutatorului se observă faptul că configurația comutatorului este identică atât pentru poziția 1 cât și pentru poziția intermediară. Pentru a evita distrugerea releelor care comandă cuplajelor la detectarea schimbării poziției comutatorului se inițializează o temporizare la revenire. Rezultatul blocului de temporizare se materializează prin starea bitului Tready. Acțiunea asupra ieșirilor ce comandă cuplajele se face doar atunci când bitul Tready este 0 adică doar atunci când operatorul a finalizat selecția treptei de turație.

Ieșirile sunt activate în funcție de treapta de turație selectată astfel:

	Poz	Cv1	Cv2
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	1
4	1	1	1

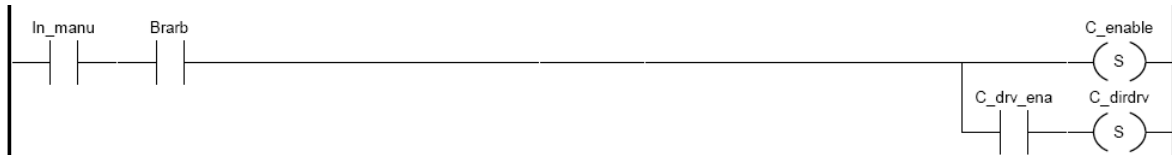


Fig. 5.50. Postprocesare. Comanda arborelui principal

Prin apăsarea butonului Barb (Rotire arbore) se activează variatorul axei după care se da comanda de activare a ieșirii analogice C_dirdrv. În continuare se aplică același algoritm ca cel descris pentru comutatorul de comandă a cutiei de viteze pornindu-se o temporizare după ce se detectează acțiunea operatorului asupra comutatorului Ei folosit pentru funcțiile de eliberare, frânare și cuplare arbore principal. Diagrama comutatorului Ei este:

	Poz	Ei1	Ei2
Frânat	0	1	0
Cuplat	0	0	1
Eliberat	1	0	0

Pentru frânarea arborelui principal se comandă variatorul cu referința 0. Pentru eliberare arbore se resetează ieșirea care activează cuplajele cutiei de viteze. În condițiile în care arborele este „cuplat” se generează valoarea tensiunii de referință a variatorului folosind cuvântul Ccmv transmis de PC cuplajele cutiei de viteză fiind alimentate. Tot în rangul din figura se scriu în cuvântul Comtr elementele referitoare la funcționarea arborelui principal.

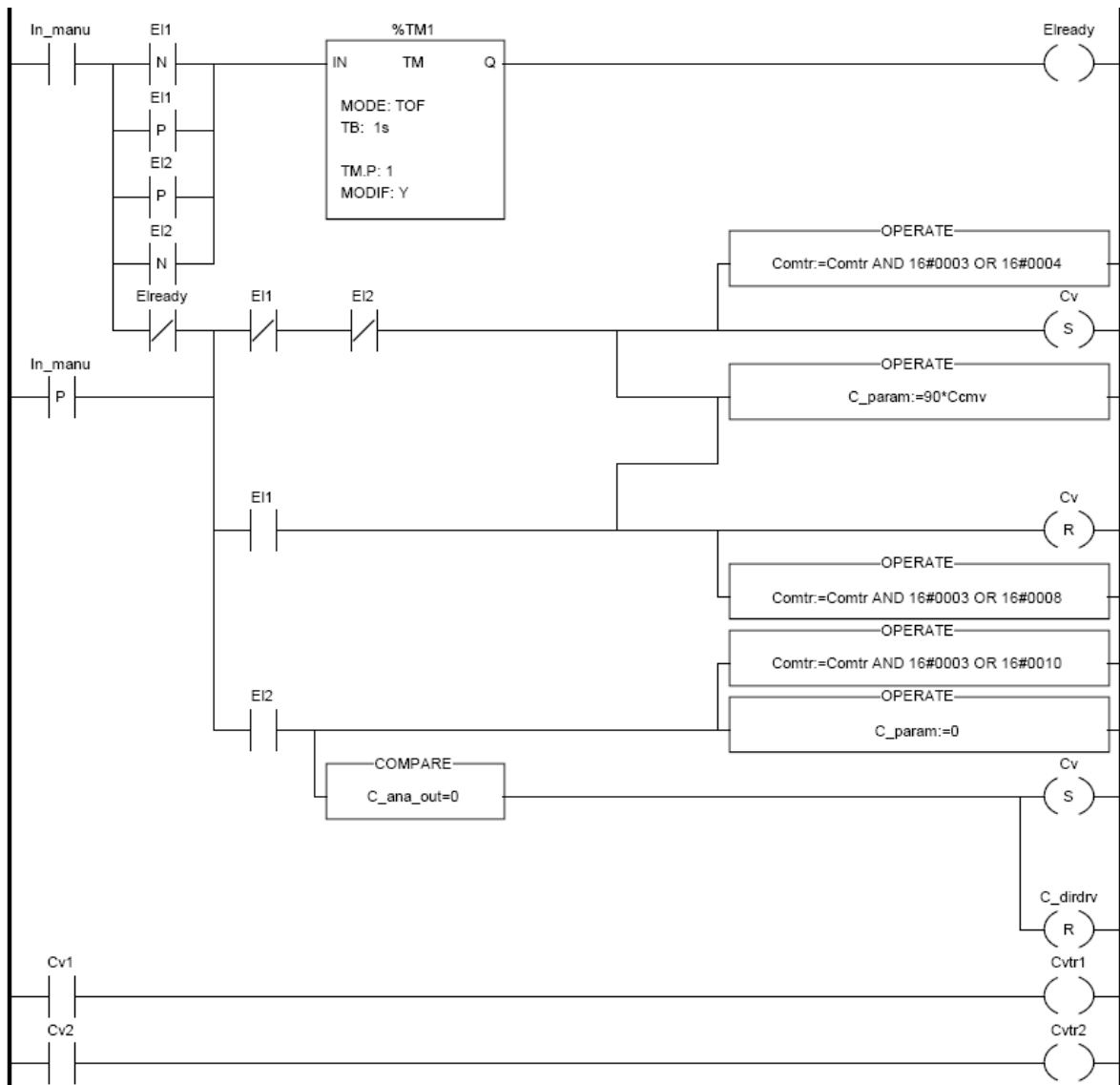


Fig. 5.51. Postprocesare. Comanda arborelui principal

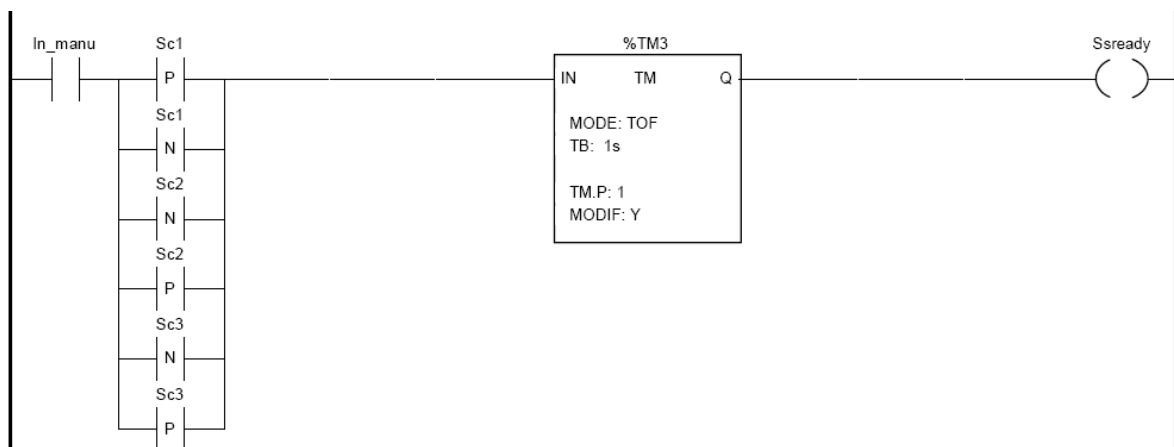


Fig. 5.52. Postprocesare. Supravegherea acțiunii operatorului asupra comutatorului de selectare a posturilor de lucru

Din motivele descrise anterior starea comutatorului de selecție a posturilor de lucru este monitorizată folosind blocul de temporizare %TM3. În cazul în care acțiunea operatorului asupra comutatorului a încetat se scrie valoarea impusă T_i pentru postul de lucru iar dacă se apasă butonul de inițiere a ciclului de lucru se scrie bitul Tchange.

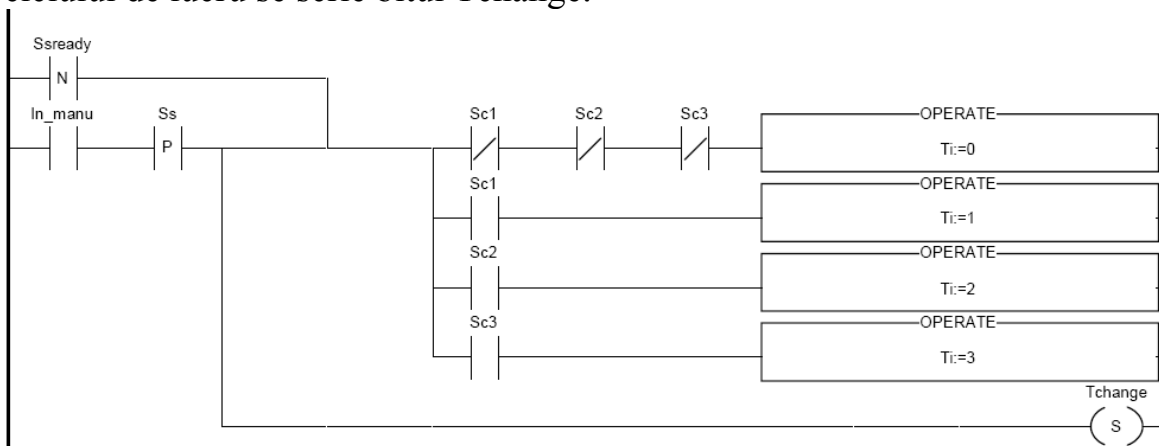


Fig. 5.53. Postprocesare. Comanda schimbării posturilor de lucru a capului revolver.

Indiferent de regimul de lucru numărul de ordine a postului următor se va calcula la detectarea unui front negativ pe bitul Liber (generat în preprocesare la eliberarea camelor de către senzori). În funcție de comandă de mișcare activă T_n va fi:

- $(T_c+1)/\text{Rem } 4$ adică postul de lucru următor atunci când ultima mișcare activă era cea de rotire ($I_{rot.q}$ – ieșirea blocului de temporizare I_{rot})
- T_c dacă ultima mișcare efectuată de turelă a fost cea de indexare. De asemenea se resetează biții I_{ss1} , I_{ss2} , I_{ss3} pentru a putea „înregistra” o altă configurație a camelor de lucru.

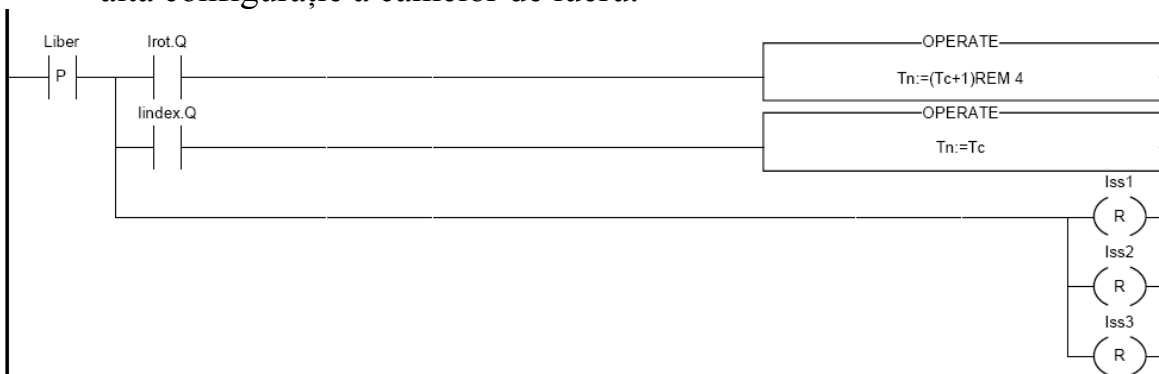


Fig. 5.54. Postprocesare. Calculul numărului de ordine al postului de lucru următor



Fig. 5.55. Postprocesare. Interblocajele aplicației

La apariția unei defecțiuni a sistemului de comandă, semnalizată prin faptul că bitul Se este 1 sau la schimbarea modurilor de lucru ale instalației se vor reseta ieșirile de activare a variatoarelor axelor și a arborelui principal și ieșirile pentru controlul capului revolver. Se va reseta de asemenea bitul C_dirdrv care activează controlul direct al ieșirii analogice a canalului atașat arborelui principal.

BIBLIOGRAFIE

- [1] R. David and H. Alla. Petri Nets & Grafcet. Prentice Hall, 1992
- [2] International Electrotechnical Commission, Technical Committee No. 65. Programmable Controllers – Programming Languages, IEC 61131-3, second edition, November 1998. Committee draft.
- [3] N. Bauer, R. Huuck, and B. Lukoschus. A parameterized semantics for sequential function charts. Institute of Computer Science and Applied Mathematics, University of Kiel, 2001.
- [4] SCHNEIDER ELECTRIC, PL7 Micro/Junior/Pro Detailed description of Instructions and Functions. 2001.
- [5] V. Marinescu, Conducerea sistemelor flexibile de prelucrare, Ed. Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați.
- [6] V. Marinescu - Sisteme și Echipamente de Comandă Numerică - Volumul 1 -Controlere Logice Programabile, Editura Cartea Universitară, București, ISBN 973-7956-14-1, 2004
- [7] V. Marinescu - Sisteme și Echipamente de Comandă Numerică - Volumul 2 -Comanda mașinilor de prelucrat prin ștanțare, Editura Cartea Universitară, București, ISBN 973-7956-15-x, 2004
- [8] M. Uzam , A. H. Jones. Discrete Event Control System Design Using Automation Petri Nets and their Ladder Diagram Implementation Advanced Manufacturing Technology, Springer-Verlag London Limited, 1998
- [9] A. Ramirez Serrano, S.C. ZHU, S.K.H. Chan A hybrid PC/PLC architecture for manufacturing system control- theory and implementation, Journal of Intelligent Manufacturing,13, 261-281, Kluwer Academic Publisher, 2002

CUPRINS

REZUMAT	277
PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE	277
METODE SI REZULTATE	278
5.2.1. Configurarea structurii CLP	278
5.2.2. Programul CLP. Proiectare soft pentru structura reconfigurabila de fabricatie	293
5.2.2.1. Structura aplicatiei	293
5.2.2.2. Sectiunea autodiagnostic „erori-sectiune”	294
5.2.2.3. Sectiunea Grafcet - Preprocesor	304
5.2.2.4. Procesarea secventiala	310
5.2.2.5. Sectiunea Grafcet - Postprocesarea	329
BIBLIOGRAFIE	339