

PROGRAM CEEEX Nr. 22-I03/10.10.2005 - INFOSOC

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

RAPORT DE CERCETARE

pentru perioada de desfasurare a programului
octombrie – decembrie 2005

ETAPA I

Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru conducerea adaptiv/inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

Institutie finantatoare

MINISTERUL EDUCATIEI SI CERCETARII
CENTRUL PENTRU MANAGEMENT PROGRAME

Consortiul programului

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

Decembrie 2005

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 o noua clasa de retele Petri

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

2.2. Extinderea modelelor Retelelor Petri 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

II. OBIECTIVELE ETAPEI I 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

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 matritelor cu pini reconfigurabili

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

4.1. Sinteza unei noi metode pentru modelarea infasurarii suprafetelor, aplicabile pe masini care genereaza vartejuri ordonate de suprafete

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. Metode de modelare reconfigurarii colective aplicabile pe masini de danturat

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

III REZUMATUL ETAPEI

In aceasta faza, s-au desfasurat lucrari de cercetare destinate atingerii primelor patru obiective generale ale proiectului. Aceste lucrari au constat in cercetari bibliografice, dezvoltari conceptuale si stabilirea ideilor principale care vor fi dezvoltate in continuare. Dezvoltarile conceptuale realizate in cadrul etapei s-au referit la urmatoarele aspecte:

- algoritmul de conducere optimala adaptiv/inteligenta a unui sistem de manufacturare reconfigurabil bazat pe tehnica modelului de referinta, reidentificarea sistemului pe baza functionarii sale in cursul prelucrării lotului de piese (folosirea exemplarului precedent drept referinta pentru exemplarul urmator) si pe distribuirea parametrilor de control astfel incat o parte a acestora sa fie utilizati pentru a asigura conducerea optimala iar o alta parte pentru asigurarea constrangerilor de natura tehnica(de ex. Precizia de prelucrare sau stabilitatea procesului de prelucrare).
- definirea retelelor Petri si introduce modelarea cu acestea in contextul sistemelor reconfigurabile. Se incepe prin definirea formala a retelelor Petri si a proprietatilor de interes pentru fabricatie. Acestea sunt urmate de un exemplu ce ilustreaza majoritatea acestor concepte. In continuare, a fost data o metodologie pentru proiectarea modelelor sistemelor de fabricatie impreuna cu un exemplu explicativ. Au fost clasificate pozitiile si tranzitiile retelelor Petri si s-au prezentat cateva concepte si prezumptii aditionale pentru facilitarea expunerii teoriei excluderii mutuale dezvoltate ulterior.
- s-a precizat noțiunea de sistem reconfigurabil, pentru procesele de deformare plastica a tablelor, in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto;
- pe baza definiției sistemului reconfigurabile, s-au identificat principalele tehnologii de deformare plastică care se pot încadra în această categorie;
- fiecare tehnologie de deformare plastică a fost analizată prin prisma gradului în care se poate încadra în categoria tehnologiilor reconfigurabile;
- s-a pus accent pe tehnologia de deformare cu matrițe reconfigurabile, ca domeniu al cercetărilor viitoare;
- s-a prezentat un algoritm de calcul al poziției pinilor în vederea reconfigurării, algoritm care urmează a fi dezvoltat printr-un soft;
- s-a prezentat o schemă de control al formei pieselor deformate în matrițe reconfigurabil, schemă care de asemenea urmează a fi materializată în cercetările ulterioare;
- s-a fundamentat geometric o noua metoda pentru infasurarea suprafetelor aplicabila pentru profilarea sculelor care genereaza vartejuri ordonate de suprafete;
- s-au sintetizat algoritmi specifici pentru modelarea generarii suprafetelor;

PROGRAM CEEEX Nr. 22-I03/10.10.2005 - INFOSOC

- s-a realizat un model analitic pentru modelarea suprafetelor generate prin procedee neconventionale reconfigurabile;
- s-au precizat premisele pentru fabricatia matitelor pentru injectie reconfigurabile utilizand facilitati ale sistemului CAM;
- in constructia matritelor reconfigurabile o problema aparte o constituie prelucarea suprafetelor complexe ale acestora, care presupune conducerea cu calculatorul in special pentru optimizarea tehnologiilor de frezare NC dupa 5 axe;
- de asemenea, s-a realizat o metoda pentru modelarea unor procese geometrice corective pentru diferite elemente ale proceselor de danturare.

De asemenea 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.

IV. 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, 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.

Etapetele 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 caroseriile auto si liniilor de gaurire a profilelor, (3) deformarea plastica virtuala a unor repere de caroserie auto cu matrite reconfigurabile si stabilirea fluxurilor tehnologice pentru schema de reconfigurabilitate a sistemului), (5) crearea interfetelor cu servere OLE Schneider Electric pentru comunicarea operator-masina.

Fundamentele teoretice pentru sistemele reconfigurabile includ bazele stiintifice ce stau la baza modelarii proceselor de prelucrare. Simularea sistemelor de prelucrare ar trebui sa se bazeze pe o taxonomie unificata (clasificare) pentru caracteristicile proceselor ce includ caracteristici umane in modelele proceselor. Alte arii de cercetare includ 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.

Sisteme de prelucrare noi sunt necesare pentru procese si sisteme de productie reconfigurabile care pot conduce la schimbarile impuse de piata.

IV.2 Premisele stiintifice si tehnice ale obiectivelor primei etape

Obiectivul 1 - Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

Activitatile 1.1. Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile
 1.2. Modelarea si simularea procesului de prelucrare

1. RMS-urile sunt destinate fabricatiei in serie in cazul in care durata de viata a produsului este mult mai mica decat durata de viata a sistemului de manufacturare folosit pentru realizarea acestuia. Prin aceasta se urmareste ca evolutia caracteristicilor produsului fabricat sa fie indeaproape urmata de evolutia constructiva si functionala a sistemului de manufacturare folosit.

2. Reconfigurabilitatea sistemului de reconfigurare trebuie asigurata sub 3 aspecte:

- sub aspectul *structurii constructiei mecanice* a sistemului (reconfigurabilitate hardware), in sensul ca respectiva constructie trebuie sa permita realizarea cinematicii modificate a procesului de prelucrare, prinderea-desprinderea sculelor si a semifabricatelor si deasemenea sustinerea solicitarilor mecanice ce apar in cursul procesului de fabricatie;

- sub aspectul *programului-piesa* (reconfigurabilitate software), in sensul permitterii realizarii functiilor in conformitate cu tipologia modificata a fazelor de prelucrare, ceea ce inseamna o reconfigurare flexibila a manualului de programare a sistemului;

- sub aspectul *conducerii* (reconfigurabilitatea controlului), in sensul ca unitatile de procesare reprezentate de controlere, care realizeaza reactia de reglare a diferitelor elemente ale masinii, detin proprietatea ca se pot configura pentru noi functii prin schimbarea intrarilor, iesirilor si a procesarii acestora.

In ceea ce priveste comunicatia partii senzoriale catre unitatea de procesare, trebuie luata in considerare o standardizare, pentru ca implementarea de viitoare parti componente ale RMS-lui sa fie posibila.

Deasemenea realizarea comunicatiei trebuie structurata in asa fel sa permita reconfigurarea.

3. Dupa reconfigurarea RMS-ului urmeaza a fi realizata remodelarea acestuia pe baza unui algoritm care, la randul lui, provine din restructurarea unui algoritm general.

Componentele algoritmului general includ modele ale componentelor sistemului reconfigurabil de manufacturare. Aceste modele rezulta din identificarea fiecarui component pe baza unui algoritm specific.

Modelul general al unui sistem reconfigurabil se va obtine in urma unui program experimental, ale carui rezultate vor servi pentru determinarea parametrilor modelului general, in timp ce forma modelului general va rezulta prin reconfigurarea bazata pe modelele componentelor.

4. Identificarea sistemului de manufacturare se va realiza on-line.

Programul experimental va consta in prelucrarea de proba a unui exemplar (pentru determinarea parametrilor de natura dinamica ale modelului) si in simularea unor procese de prelucrare virtuale (pentru determinarea parametrilor de natura geometrica a modelului).

5. Pentru validarea experimentală a tehnicilor de conducere se va folosi sistem de prelucrare prin electroeroziune convențional, ce va fi reconstruit în sensul că:

- motoarele de acționare vor fi dintre acelea care au control de turatie, control de moment și control al poziției;
- sistemul va fi echipat cu comandă numerică, capabilă să interacționeze cu sistemul de conducere adaptiv/ inteligent al procesului de prelucrare;
- actualele subansamble ale sistemului vor fi tratate drept componente ale RMS-lui;
- strungul va fi dotat cu un bloc senzorial care să permită descrierea câmpurilor termice sau mecanice, care se instalează în construcția sistemului în timpul funcționării acestuia.

Conceptual, modelul sistemului de manufacturare va avea la intrare semnalele furnizate de sistemul senzorial iar la ieșire corecțiile (de poziție sau viteză) prin care se realizează conducerea sistemului.

Sistemul de conducere numerică a sistemului, va oferi facilitatea de a recepta corecțiile furnizate prin exploatarea modelului RMS-lui.

Sistemului experimental i se va asigura conducerea dimensională într-o manieră adaptiv/ inteligentă bazată pe schema din figura 1.

Algoritmul de conducere dimensională are 4 intrări și anume:

- suprafața considerată ca fiind ținta procesului de prelucrare,
- suprafața reală obținută în urma prelucrării,
- suprafața inițială a semifabricatului,
- semnalele transmise de sistemul senzorial.

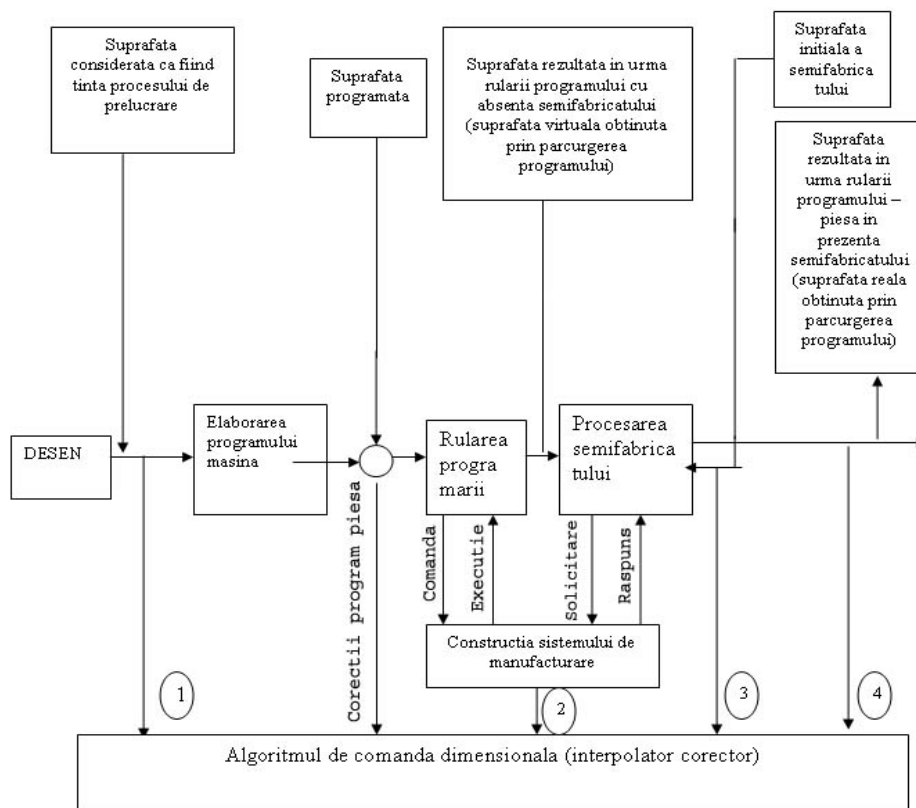


Figura 1

Observatii:

Este posibil sa se constate ca intre suprafata initiala a semifabricatului si semnalele transmise de sistemul sensorial exista o corelatie cu un coeficient ce depaseste 0,8 , caz in care intrarea denumita suprafata initiala a semifabricatului sa fie eliminata. La iesire algoritmul de comanda dimensionala furnizeaza corectii ale programului piesa. Este posibil ca modelul RMS-ului sa fie unul relativ, in sensul ca referinta in raport cu care se determina corectiile programului-piesa sa fie constituita din datele corespunzatoare procesului de prelucrare a piesei precedente. Ca urmare, intrarile in algoritmul de conducere sa nu fie valorile absolute ale semnalelor oferite de sistemul senzorial, ci variatia acestor semnale cand se trecere la prelucrarea exemplarului urmator.

Premisa de la care se pleaca in acest caz este aceea ca *variatia in timp si spatiu a comportarii RMS-ului este suficient de lenta.*

Obiectivul 2 - Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri

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

Metodologia sintezei controlerelor folosind modelarea cu *rețele Petri dezvoltate*

Pentru sistemele liniare, continue sau sincron discrete, există metodologii pentru modelarea și proiectarea controlului sistemului, care, aplicate corect, oferă proprietăți performante sistemului. Pentru sistemele dinamice cu evenimente discrete, care descriu procesele tehnologice nu există metodologii de proiectare efectivă pentru implementarea aplicațiilor în timp real. *Rețelele Petri dezvoltate (RP-D)* stau la baza acestei metodologii.

Acest tip de rețele dă posibilitatea de validare, simulare printr-un program software și instrumente de analiză performante, astfel încât modelele cu ajutorul cărora se implementează controlerile logice pentru conducerea proceselor tehnologice au proprietăți de comportament corespunzătoare.

În general, probleme apar când complexitatea sistemelor în timp real conduce la rețele Petri mari, care au multe poziții și tranziții. Folosind metode invariante în [25] se arată că pentru o celulă reconfigurabilă al cărei model are 92 poziții, 59 tranziții, și 174 arcuri, matricea de incidență are 58 linii și 42 coloane. Pentru obținerea invariantilor de tip p este nevoie de 40 de ecuații, iar pentru obținerea invariantilor de tip t, 61 de ecuații. Se poate observa cât de complexă este problema de analiza a viabilității și mărginirii pe baza acestei metode. Pentru acest sistem nu a fost folosită nici o metodă de rafinare ceea ce a determinat explodarea problemei de stare.

O eroare de concepere poate conduce la un model de rețea greșită ale cărui proprietăți nu pot fi verificate. Este foarte dificil de a găsi o astfel de eroare, iar după găsirea erorii, modificarea structurii și reanalizarea modelului poate necesita un volum de muncă foarte mare.

Au fost dezvoltate rețele Petri de nivel înalt cum ar fi rețelele Petri colorate sau rețele Petri extinse [27], pentru rezolvarea problemelor de complexitate grafică. Oricum, acestea folosesc în analiză metodele și instrumentele software care sunt valabile și pentru rețele Petri obișnuite.

Perfecționarea mașinilor-unelte cu comandă numerică și a centrelor de prelucrare a dat posibilitatea dezvoltării tehnologiilor reconfigurabile de prelucrare. Pentru

implementarea controlerelor acestor tehnologii reconfigurabile de prelucrare este necesar un model al cărui evoluție să se adapteze optim în funcție de posibilitățile de evoluție a acestor tehnologii reconfigurabile.

Toate modelele dezvoltate până acum impun condiții ce dau o evoluție fixă a procesului tehnologic.

Toate acestea au dus la necesitatea dezvoltării rețelelor Petri pentru sinteza controlerelor sistemelor de prelucrare reconfigurabile, prezentată în această lucrare.

Conceperea modelului ce stă la baza implementării controlerului este divizată în doua mari etape:

- a. într-o manieră *top-down*, conceperea începe cu descrierea unui model rețea Petri de referință și apoi, utilizarea rafinării în trepte a pozițiilor și/sau tranzițiilor pentru a include mai multe detalii, până când nivelul dorit este atins;
- a. resursele sunt adăugate rețelei într-un mod *bottom-up*.

Dacă este necesar, (a) și (b) pot fi utilizate alternativ. Astfel, complexitatea problemelor amintite poate fi ameliorată.

Astfel, o problemă generală pentru modelarea unui sistem de prelucrare reconfigurabil, folosind o *rețea Petri dezvoltată* (RP-D) poate fi descrisă succint prin:

- analiza caracteristicilor sistemului de fabricație,
- modelarea sistemului ca rețea Petri,
- marcare inițială astfel încât rețeaua să fie mărginită, viabilă și reversibilă.

Obiectivul 3 - Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității sistemelor flexibile de fabricație a carseriilor auto

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

În domeniul prelucrărilor prin deformare plastică la rece, aplicarea reconfigurabilității este limitată datorită caracteristicilor producției de piese ștanțate și deformate:

- varietatea mare de forme și dimensiuni;
- cantitatea mare de piese;
- fiecare piesă se obține pe echipamente specifice, modificarea unui reper presupunând o altă structură a echipamentului;
- flexibilitate redusă în comparație cu prelucrările prin așchiere, unde cu aceeași sculă și mașină unealtă se poate obține o mare diversitate de piese.

Întotdeauna prelucrarea pieselor prin deformare plastică la rece este asociată cu noțiunea de producție de serie mare și masă, deoarece dispozitivele de presare la rece au complexitate ridicată și necesită costuri mari pentru proiectare și execuție, iar timpul necesar echipării și reglării preselor în vederea prelucrării unui reper nou este relativ mare. Chiar în condițiile în care proiectarea asistată de calculator a tehnologiilor și dispozitivelor de presare la rece și utilizarea unor procedee de mare eficiență pentru prelucrarea sculelor (execuția modulată ș.a.) conduc la scăderea sensibilă a costurilor de proiectare și execuție, totuși dispozitivele de presare la rece rămân scumpe, iar folosirea acestora este eficientă numai la producția de serie mare și masă.

Procedeele clasice de presare la rece (decupare, perforare, îndoirea, ambutisarea etc.) reprezintă tehnologii de prelucrare dependente de forma sculelor de deformare lipsite de flexibilitate.

Pentru ca sistemele de fabricație prin presare la rece să devină eficiente în cazul producției de serie mică și mijlocie a unor produse diversificate a fost

necesară elaborarea unor procedee noi de prelucrare. Cercetările specialiștilor în domeniu au fost orientate pe două direcții principale:

- *elaborarea unor procedee de prelucrare prin generare*, la care forma sculelor de deformare este independentă de forma suprafeței care trebuie realizată sau materializează numai parțial forma acesteia. Prelucrarea prin generare are la bază conducerea numerică a mașinilor de deformare.

O diferențiere între conducerea numerică a mașinilor unelte pentru deformare și a celor pentru prelucrările prin așchiere va fi făcută în continuare.

Conducerea numerică a mașinilor-unelte este recomandată în cazul prelucrărilor prin generare, unde profilul piesei se realizează prin deplasarea relativă a sculei în raport cu semifabricatul după o anumită traiectorie.

La elaborarea programelor de conducere numerică a mașinilor de prelucrare prin așchiere, de bază sunt parametrii geometrici ai pieselor, parametrii tehnologici fiind apelați cu ușurință din normative. Programul de conducere numerică se elaborează în afara locului de prelucrare, într-un compartiment special pentru concepție. Pentru astfel de programe mai sunt necesare operații de corectare sau optimizare a unor parametri, care sunt efectuate de către personalul de deservire a mașinii. Introducerea conducerii adaptive a mașinilor-unelte, a permis optimizarea proceselor tehnologice prin prelucrarea datelor cu ajutorul calculatorului. Factorii perturbatori sunt identificați cu ajutorul unor senzori și efectul acestora este anulat prin echipamentul de conducere numerică a mașinii, pe baza unui program dinainte stabilit.

La prelucrările prin presare la rece, în cele mai multe cazuri, o astfel de abordare, prin utilizarea unor programe dinainte stabilite, nu este posibilă. Acest lucru se datorează comportării diferite a materialului în procesul de deformare, ca urmare a ecruisării acestuia și a numeroșilor factori perturbatori care acționează în fiecare fază a deformării.

Proiectarea și monitorizarea proceselor de deformare plastică depinde de gradul de cunoaștere a caracteristicilor materialului de prelucrat, condițiile ce apar la interfața dintre sculă și semifabricat, mecanica deformării plastice, echipamentul tehnologic utilizat și condițiile impuse piesei finite. Acești factori influențează alegerea geometriei sculei și a materialului semifabricatului, precum și condițiile de deformare (viteza, temperatura dezvoltată în piesă și în scule, lubrifierea etc.).

Programele de conducere numerică a mașinilor de prelucrat prin deformare, în majoritatea cazurilor, se definitivează în ateliere de producție, direct pe mașină la realizarea primelor piese din lot. Programatorul în colaborare cu reglorul mașinii urmăresc efectul comenzilor introduse și realizează corecțiile necesare când se constată abateri de la desfășurarea normală a procesului de prelucrare. Spre deosebire de așchiere, în cazul presării la rece, la prelucrarea unui reper nou, rolul reglorului rămâne încă de mare importanță la stabilirea reglajului mașini și apoi la definitivarea programului de conducere numerică a acesteia.

- *utilizarea unor scule flexibile de deformare, reconfigurabile geometric*, care își modifică forma părții active în funcție de forma și dimensiunile piesei de prelucrat. Acest lucru duce la importante economii de manoperă. De obicei, reconfigurarea pentru o nou tip de piesă se face în mod automat, prin folosirea unor comenzi asistate de calculator, observațiile făcute la paragraful anterior rămânând valabile. Deși folosite, deocamdată, pe scară limitată, tehnologiile reconfigurabile pot contribui substanțial la obținerea unor piese de calitate, de forme complexe și dimensiuni variate.

Dintre tehnologiile care se pot încadra în cadrul tehnologiilor reconfigurabile de deformare se pot enumera:

- *deformarea incrementală;*

- deformarea rotativă cu poanson reconfigurabil;
- deformarea hidraulică cu poanson reconfigurabil;
- deformarea cu placă de reținere elastică.
- deformarea cu matrițe reconfigurabile;

Obiectivul 4 - Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității sistemelor flexibile de fabricație a carseriilor auto

- Activitatea**
- 4.1. Sinteza unei noi metode pentru modelarea înfășurării suprafețelor, aplicabile pe mașini care generează vartejuri ordonate de suprafețe
 - 4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurabile
 - 4.4. Metode de modelare reconfigurării colective aplicabile pe mașini de danturat

În geometria analitică, este cunoscută o teoremă pentru determinarea unei familii de curbe plane depinzând de un parametru.

Enunțul teoremei presupune acceptarea definițiilor:

Se numește înfășurătoare a familiei de curbe $(C_{\Sigma})_{\varphi}$ o curbă C_S care satisface condițiile:

a. pentru fiecare punct al curbei C_S , se poate indica o curbă unică a familiei care să conțină acel punct, ca punct ordinar și care să aibă, în acel punct, un contact de ordin 1 cu C_S ;

b. pentru fiecare curbă a familiei $(C_{\Sigma})_{\varphi}$, se poate indica un punct ordinar care să aparțină curbei C_S . În acest punct, cele două curbe au contact de ordin 1;

c. nici o curbă a familiei $(C_{\Sigma})_{\varphi}$ să nu aibă un arc comun cu curba C_S , figura 2.

Se enunță, în legătură cu definițiile prezentate:

Teoremă. Fie, în planul $Z=0$, o familie de curbe $(C_{\Sigma})_{\varphi}$ reprezentată analitic de ecuația

$$f(X, Y, \varphi) = 0, \quad (4.1)$$

în care $f(X, Y, \varphi)$ este o funcție regulată de ordin, cel puțin 1, în raport cu toate argumentele. În aceste condiții, coordonatele punctelor înfășurătoarei C_S ale familiei satisfac ecuațiile:

$$\begin{aligned} f(X, Y, \varphi) &= 0; \\ f'(X, Y, \varphi) &= 0, \end{aligned} \quad (4.2)$$

în sensul că, pentru fiecare punct (X, Y) al înfășurătoarei C_S , se poate găsi un număr α , astfel încât, (X, Y, α) să fie o soluție a sistemului $f(X, Y, \varphi) = 0$ (4.2).

În mod similar, pentru o exprimare parametrică a familiei de curbe, în forma:

$$(C_{\Sigma})_{\varphi} \quad \begin{cases} X = X(u, \varphi); \\ Y = Y(u, \varphi), \end{cases} \quad (4.3)$$

coordonatele punctelor înfășurătoarei C_S , a familiei $(C_{\Sigma})_{\varphi}$, satisfac ecuațiile sistemului:

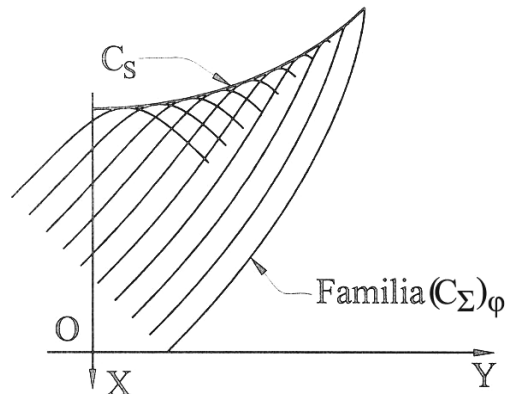


Fig. 2 Înfășurătoarea familiei de curbe plane

$$C_S \left\{ \begin{array}{l} X = X(u, \varphi); \\ Y = Y(u, \varphi); \\ \frac{X'_u}{X'_\varphi} = \frac{Y'_u}{Y'_\varphi}. \end{array} \right. \quad (4.4)$$

În baza relațiilor (4.4), se poate imagina o algoritmică care să permită abordarea unei multitudini de probleme, de natură tehnică, privind determinarea profilurilor active ale sculelor care generează prin înfășurare: generarea suprafețelor asociate unui cuplu de axoide în rulare (scula-cremalieră, cuțitul-roată, cuțitul rotativ); profilarea sculelor mărginite de suprafețe periferice primare de revoluție pentru generarea suprafețelor elicoidale (scula-disc; scula cilindro-frontală, ș.a.); profilarea sculelor pentru generarea suprafețelor cu directoare spirală.

Astfel, se imaginează o metodică în care familiile de curbe de tipul $(C_\Sigma)_\varphi$, reprezintă traiectorii ale punctelor de pe profilurile semifabricatelor sau poziții succesive ale unei curbe plane aparținând semifabricatelor, în mișcarea relativă față de sculă.

În mod similar, problema spațială a suprafețelor în înfășurare - problema de speța a II - a (generarea vârtejurilor de suprafețe cu scula-melc) va primi o soluție, în baza aceluiași principiu al înfășurătoarei unei familii de curbe plane.

Generarea prin înfășurare este însoțită de erori:

- erori datorate lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte;
- erori datorate formei necorespunzătoare a muchiei așchietoare a sculei generatoare;
- erori de așchiere.

Erorile muchiei de așchiere pot fi datorate, atât erorilor de generare ale sculei cât și erorilor "teoretice", determinate de modalitățile de calcul ale profilului sculei așchietoare. Rezolvarea unei problematice legată de precizia generării suprafețelor impune, în baza teoremelor specifice ale înfășurării suprafețelor, și rezolvarea unei "probleme inverse" și anume: cunoscând forma sculei sau a muchiilor așchietoare efective ale sculelor, să se determine suprafața de pe semifabricat *efectiv generată*.

Convenim a numi o astfel de problematică *modelarea generării suprafețelor*. Facem observația că suprafața periferică primară a sculelor, în toate situațiile reale, este dificil a fi exprimată analitic, datorită complexității ecuațiilor care le-ar descrie (ecuații transcendente, a căror rezolvare nu poate fi făcută decât numeric).

Din această cauză, formele suprafețelor periferice primare ale sculelor – a secțiunilor axiale (transversale) ale acestora sunt, în aproape toate cazurile, descrise în formă discretă, prin coordonatele punctelor profilurilor.

Această formă de exprimare a secțiunilor caracteristice ale suprafețelor periferice primare ale sculelor va impune, în procesul *modelării generării suprafețelor*, utilizarea metodei exprimării în formă discretă a suprafețelor, ca singura soluție aplicabilă într-o astfel de situație.

Creșterea numărului de puncte în lungul generatoarelor suprafețelor permite o cunoaștere a acestora, la un nivel care poate satisface din punct de vedere tehnic.

În cele ce urmează, se prezintă algoritmi de modelare a generării suprafețelor, pentru sculele asociate unor axoide în rulare precum și, de asemenea, pentru sculele specifice prelucrării suprafețelor elicoidale.

V.1. Flexibilitatea sistemelor de manufacturare

Globalizarea economiei a generat o cerere pentru manufacturieri pentru a produce o gama larga de produse care trebuie sa indeplineasca conditii de calitate deosebita si pret scazut, si toate acestea intr-un timp de fabricatie cat mai scurt.

Din acest motiv a aparut necesitatea unor noi sisteme de manufacturare cum ar fi cele flexibile sau a cele reconfigurabile.

Exista in lume mai multe sisteme de manufacturare industriale cum ar fi sistemele de manufacturare dedicate, sistemele de manufacturare flexibile, sistemele de manufacturare celulare, sistemul de manufacturare reconfigurabile, sistemele de manufacturare multitask. Fiecare dintre aceste sisteme corespund unei etape de dezvoltare si prezinta diverse avantaje.

Sistemele de manufacturare dedicate

Istoria sistemelor de manufacturare dedicate incepe odata cu implementarea productiei in masa cand era necesara producerea unor piese identice intr-un numar foarte mare. Astfel, fiecare dintre masinile industriale componente ale unei manufacturi prelucra o operatie specifica sau producea o singura piesa. Sistemul acesta de manufacturare nu era unul flexibil si nu permitea introducerea unei alte piese spre productie decat cea proiectata initial. In momentul in care era necesara introducerea altui produs, masinile trebuiau schimbate ceea ce inseamna costuri mari pentru noile masini si timp de inlocuire considerabil care se traduce prin costuri importante.

Sistemele de manufacturare flexibile

Un sistem de manufacturare flexibil este reprezentat, in general, de un numar de masini comandate numeric si de un sistem de conducere asistat de unul sau mai multe calculatoare. Un sistem flexibil de fabricatie este capabil sa produca una sau mai multe familii de piese, in mod continuu, fara interventia umana.

Sistemul este astfel flexibil pentru a schimba productia fara a cumpara alt echipament.

Sistemele de manufacturare celulare

Sisteme de manufacturare celulare sunt acele sisteme care isi propun sa imbunatateasca productivitatea, prin intermediul unei grupari a masinilor si a personalului, pentru a produce o clasa specifica de piese. Avantajele acestor sisteme sunt varietatea deosebita a produselor care sunt manufacturate in serie mica.

Sistemele de manufacturare reconfigurabile

Centrul de cercetari ingineresti "Ann Arbor" de la Universitatea din Michigan, impreuna cu mai mult de 30 de parteneri din industrie, lucreaza la dezvoltarea unui nou sistem de manufacturare, care va satisface cererile consumatorilor prin reconfigurarea sistemului de manufacturare insusi. Sistemele de manufacturare

configurabile (Reconfigurable Machining System – RMS) sunt proiectate pentru a indeplini urmatoarele cerinte [14] :

- sa reduca timpul de start al productiei pentru o noua piesa sau familie de piese;
- sa fie suficient de flexibil pentru adaptarea la schimbarile de pe piata;
- sa permita reconfigurabilitatea sistemului de manufacturare in acord cu produsul ce trebuie executat;
- sa permita noilor tehnologii software sa fie implementate in sistemele existente.

Potentialul acestui sistem poate fi exploatat la maxim in conditiile in care controlul prin intermediul CNC este combinat cu productivitatea mare a sistemelor dedicate, folosind o metoda de exploatare sistematica.

Sarcinile cercetarilor in domeniul RMS-urilor includ tehnologii de dezvoltare pentru[29]:

- Proiectarea asistata de calculator (Computer-aided design – CAD) pentru familiile de piese;
- Proiectarea de noi generatii de masini unelte dotate cu controlere cu arhitectura reconfigurabila (open – architecture). Masinile au in componenta module interschimbabile, care sunt utilizate in functie de produsul care se manufactureaza;
- Costul de start a productiei pentru un nou produs sa fie scazut. Timpul de start al unei nou familii de piese sa fie cat mai scurt;

Reconfigurabilitatea se poate defini ca fiind abilitatea de a acorda capacitatea de productie la noi circumstante prin rearanjarea sau schimbarea componentelor din sistem. Componentele pot fi componente mecanice, senzori sau controlere[14].

Deosebim doua clase de masini si anume Adjustable Capacity RMT –masina reconfigurabila cu capacitate de ajustare- si Adjustable Functionality RMT, care permite realizarea unor familii diverse de piese.

Sistemele reconfigurabile vor avea o arhitectura “open ended” in asa fel incat sa fie imbunatatite prin upgrade in loc sa fie schimbate. Vor fi flexibile atat din punctul de vedere al producerii pieselor dar si a sistemului in sine. Ideea de baza este ca este necesar ca aceste sisteme sa fie proiectate ca reconfigurabile de la inceput si sa fie realizate din module mecanice, electronice si software, care pot fi inlocuite intr-un timp scurt.

RMS-urile trebuie sa contina urmatoarele elemente [29]:

- un planificator de organizare a sistemului care, odata date produsele de realizat, volumul si combinatia de realizare a produselor, sa sugereze sistemul de manufacturare si sa decida cea mai buna folosire a componentelor interschimbabile din sistem;
- o metodologie de modelare economica a unui ciclu de productie pentru recomandarea unui sistem profitabil ;
- un sistem masina de manufacturare reconfigurabil, reprezentat de mai multe module care pot fi inlocuite pentru a indeplini o sarcina specifica;
- un sistem de control ;

V.2. Upgrade-ul sistemelor de manufacturare

In ceea ce priveste upgrade-ul sistemelor de manufacturare, se ia in considerare urmatoarea clasificare:

Sisteme de manufacturare retrofite sunt acele sisteme care nu sunt de fabricatie recenta si la care se inlocuieste partea de comanda, senzori, electrica.. Masinile in conditie buna sunt cele mai bune candidate pentru a deveni retrofite.. Componentele care pot fi schimbate sunt reprezentate de :

- servomotoare;
- partile electrice;
- senzorii de limitatoare de cursa;
- alti senzori.

Sisteme de manufacturare reconstruite (rebuild) sunt sistemele pe care se opereaza schimbările pentru cele retrofite, cat si o schimbare in ceea ce priveste mecanica, dar nu intr-o proportie considerabila. Aceasta operatie se poate realiza atat la locatia de manufacturare cat si la producatorul echipamentului.

Sisteme remanufacturate sunt sistemele care sunt modificate si imbunatatite fundamental. Aceasta operatie se realizeaza la locatia producatorului si dureaza de la 3 la 6 luni.

Avantajele masinilor upgrdate

- cresterea capacitatii de productie;
- diminuarea costurilor de reparatie;
- reducerea deseurilor;
- cresterea increderii angajatilor.

V.3. Ideea de sistem reconfigurabil de manufacturare

Conceptul de sistem reconfigurabil de manufacturare este un curent in domeniul masinilor unelte ce a atras atentia producatorilor, care au nevoie de un sistem ce este mai flexibil decat o linie dedicata de productie si mai rapid decat un complex de masini CNC.

Masinile folosite se numesc reconfigurabile datorita faptului ca sunt compuse din module care, odata programate, pot realiza piese diferite, dar din aceeasi familie de piese.

Masinile reconfigurabile fac astfel legatura intre sistemele de masini dedicate, care pot realiza pe scara mare un singur produs, si sistemele de masini comandate numeric (CNC), care permit o relativa flexibilitate, dar care au dezavantajul ca schimbarea necesara pentru producerea unei noi piese necesita timp considerabil.

RMS-urile au fost dezvoltate in mod deosebit pentru industria de automobile, deoarece s-a impus o reducere a costurilor. Confruntati cu un mediu concurential deosebit, manufacturierii vad in noua tehnologie de fabricatie o oportunitate in sensul unei mai mari flexibilitati a productiei. Sistemele de manufacturare reconfigurabile pot fi implementate in mod gradual, pentru a sustine productia si noile cereri impuse de piata. Avantajele sistemelor dedicate este acela ca sunt optimizate pentru producerea unui tip de produs pe o scara larga, dar dezavantajele fac ca acest tip de sistem sa fie inlocuit cu RMS-ul.

Sistemele reconfigurabile poate fi compuse din mai multe masini cu comanda numerica (CNC) si sunt capabile de operatii diverse permitand astfel producerea de mai multe piese sau produse din aceeași familie.

Intr-un studiu condus de ERC[19] pentru sisteme reconfigurabile au fost comparate operatiile pentru un piston de motor prin aprindere V6. Studiul face analiza investitiilor necesare pentru o masina CNC cu trei posibile sisteme reconfigurabile, cu trei volume de productie diferite, si anume 600, 1200 si 1800 de seturi motor pe zi. De asemenea a fost inclus si studiul asupra costurilor unei masini dedicate, cu un volum de 1200 de bucati pe zi.

Conform celor afirmate de J. Patrick Spicer, care a fost implicat in acest proiect, sistemul de manufacturare reconfigurabil a produs economii importante.. Sistemul reconfigurabil produce o economie de 10% in comparatie cu sistemul CNC la un volum de 600 de unitati pe zi si 25% la un volum de 1200.

Sistemele reconfigurabile (fig 3 si fig 4) incorporeaza atat elementele din sistemele dedicate cat si elemente din sistemele flexibile. Sistemele de masini reconfigurabile au suficienta flexibilitate sa produca diferite piese din aceeași familie, permitand producatorilor sa raspunda rapid la schimbarile de pe piata.



Figura 3

Conceptul de sistem reconfigurabil a fost introdus pentru a satisface noile provocari in sistemele moderne de manufacturare. Un sistem de acest tip poate sa se reintegreze la o noua productie intr-un timp foarte scurt folosind module hardware si software. Reconfigurabilitatea permite adaugarea, excluderea sau modificarea unor unitati de productie specifice, control, software, sau modificarea structurii masinii pentru o adaptare optima la cerintele pietei. Pentru ca sistemul sa detina calitatea de reconfigurabilitate trebuie sa indeplineasca anumite conditii. Acestea includ: modularitatea pentru componentele hardware cat si pentru componentele software, integrabilitatea (proiectarea sistemului si a componentelor atat pentru integrarea rapida cat si pentru introducerea noilor tehnologii), diagnosticabilitate (capacitatea de identificare rapida a problemelor de calitate si defectare din sistem) si personalizare (proiectarea pentru adaptarea la productia unui anumit produs prin intermediul componentelor hardware si software)

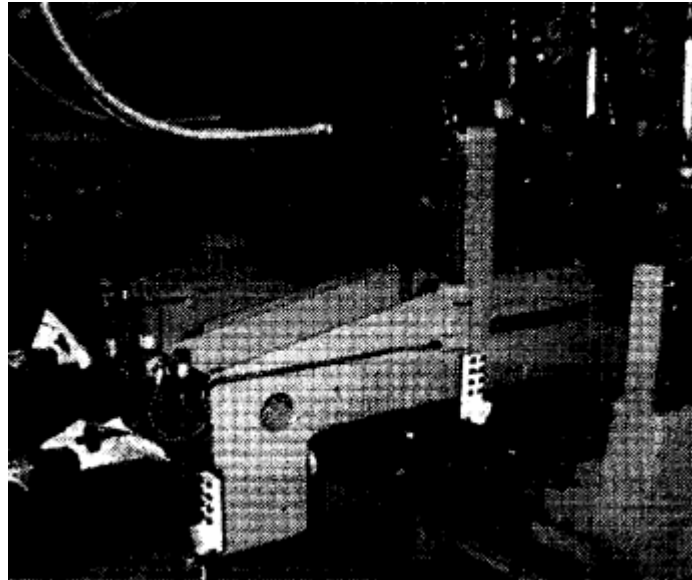


Figura 4

V.4 Evolutia RMS-urilor

Istoria manufacturarii se poate imparti in trei etape dupa Mehrabi, Ulsoy si Koren [29] [14] :

- 1) epoca dinaintea controlului numeric;
- 2) epoca controlului numeric;
- 3) epoca cunoasterii.

In epoca pre-controlului numeric, s-a pus accentul pe cresterea productivitate; cererea nu era foarte mare in ceea ce priveste pentru diversitatea produselor si piata era caracterizata prin competitie locala. In epoca CNC, obiectivele tinta erau costul redus de productie si calitatea imbunatatita, deoarece masinile CNC permiteau o varietate relativ mare a produselor si un mai bun control. In epoca cunoasterii (incepand cu anii 1990) s-a pus accentul pe capacitatea de schimbare rapida a productiei. Aceasta perioada este caracterizata de o competitie acerba, cauzata de globalizarea economiei. Au avut loc progrese deosebite in sistemele de management informatic. De aici putem concluziona ca globalizarea si dezvoltarea domeniului informatic a dus la aceasta etapa. Aceste conditii necesitau o maniera de raspuns la schimbare a productiei deosebita, capabila sa converteasca intr-un termen foarte scurt productia pentru noi modele, sa dimensioneze productia, sa integreze noi tehnologii si sa realizeze o diversitate de produse in cantitati necunoscute initial, adaptate la cerintele pietei.

Asa cum afirma G.H Lee, Garro si Martin [18] [19], elementele componente si structura sistemului afecteaza in mod sensibil capacitatea de a fi reconfigurabil pentru o productie cu un cost redus . In studiul lor se arata ca proiectarea modulara a masinilor unelte reprezinta principalul obiectiv in reconfigurarea sistemelor deja existente. Deasemenea, pe langa reconfigurabilitatea realizata prin module interchimbabile este necesara realizarea de componente hardware si software care sa indeplineasca conditia de reconfigurabilitate.

Aceleasi idei se desprind si din mai multe studii din SUA si Japonia care studiaza sistemele de manufacturare (J. Lee, Ulsoy si Heytler, Mehrabi -1998) [29]. Rezultatele studiilor arata ca interesul producatorilor pentru sisteme de manufacturare de tip flexibil (FMS - Flexible Manufacturing System) a sczut datorita complexitatii software, costurilor de investitie si costurilor de intretinere.

V.5 Caracteristicile RMS-urilor

Asa cum se arata in figura 5 sunt mai multe aspecte cu privire la reconfigurare si anume: reconfigurabilitatea software, reconfigurabilitatea sistemului si reconfigurabilitatea controlului.

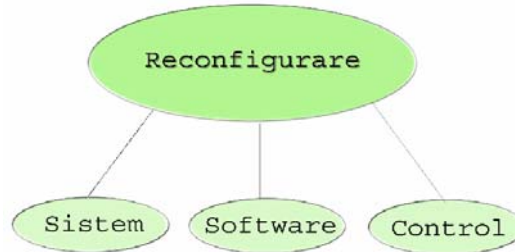


Figura 5

La nivel de sistem, pot sa se proiecteze mai multe configuratii pentru o masina reconfigurabila capabila sa produca o piesa sau o familie de piese. Este necesara prin urmare dezvoltarea unor metodologii si unelte software pentru evaluarea diferitelor posibile configuratii si alegerea uneia care corespunde diferitelor criterii ce se impun in respectivul caz particular (calitate, pret, etc).

In ceea ce priveste arhitectura soft/hardware necesara pentru implementare, aceasta trebuie sa indeplineasca mai multe conditii de baza. Trebuie sa indeplineasca conditia de modularitate si sa aiba calitatea de "open architecture", in asa fel incat, upgradarea sau personalizarea sa fie posibile. Controlul RMS-urilor este deasemenea important. Pe baza faptului ca sistemul se schimba (bazat pe cererile pietei) parametrii masinii, cum ar fi masa ori inertia, se schimba in concordanta. De aceea controlerul trebuie sa aiba capacitatea de a se adapta la noile conditii impuse.

Dezvoltarea unei strategii comune de dezvoltare pentru masini unelte reconfigurabile este o provocare deosebita. Ca orice alta problema de proiectare, este necesar un compromis intre mai multe variabile ale sistemului. Mai mult decat atat, intr-un sistem reconfigurabil numarul de variabile care il descriu este foarte mare.

Restructurarea rapida a unui sistem necesita proiectarea avand in vedere reutilizarea si integrarea rapida. Pentru usurinta in upgradare este nevoie ca sistemul sa fie proiectat pentru integrarea noilor tehnologii si a unor noi functionalitati.

Aspectele de configurare a RMS-urilor este o problema ce se pune inca din faza de proiectarea a sistemului. Exista un anumit numar de pasi in ceea ce priveste manufacturarea unei piese, de la conceptualizare pana la productie, incluzand proiectarea produsului, planificarea proceselor, proiectarea sistemului de productie si controlul procesului. Toate aceste etape includ folosirea calculatorului pentru un rezultat deosebit intr-un timp foarte scurt. Prin urmare exista diverse unelte software care realizeaza diferitele etape mentionate mai sus. In ciuda acestor dezvoltari nu exista o abordare sistematica pentru integrare si implementare, fiecare dintre aceste etape se face izolat de celelalte si astfel nu se iau in considerare diferitele variabile care ar putea imbunatati rezultatul. Deasemenea un astfel de sistem ia in considerare o singura configuratie (Cho,1994).

Studiile din literatura de specialitate sugereaza ca este nevoie de o dezvoltare a noilor teorii in abordarea si adoptarea unor idei de proiectare

sistematica si optimizare a productiei. Evaluarea configuratiilor unei masini ar trebui sa se bazeze pe preferintele producatorilor si sa aiba in vedere factori cum ar fi calitate, cost, timp etc.

Inginerii de la Universitatea Michigan au realizat prima masina din lume, cu proprietatea de reconfigurabilitate la toata scara, fiind facut astfel un pas important pentru proiectarea unei fabrici mai flexibile pe viitor. Aceasta masina sustine conceptul de flexibilitate la nivelul masinii.

Masina de tip "arc" este prima masina unealta care demonstreaza adaptabilitatea si care poate fi realizata intr-o unitate de productie la nivelul masinii. Proiectata pentru a oferi cea mai buna versatilitate cu un grad scazut de complexitate, masina unealta este capabila sa prelucreze orice tip de piston pentru orice autovehicul. Teoretic, o astfel de masina poate sa isi schimbe productia de pistoane, fiind capabila sa fabrice orice tip de piston pentru diferite tipuri de automobile. O astfel de perspectiva ar permite fabricantilor de automobile sa isi gestioneze mai bine productia, cat si o viteza sporita in a introduce noi modele.

Directorul centrului de cercetari pentru RMS de la Universitatea din Michigan, si in acelasi timp initiatorul conceptului de RMS, Yoram Koren, afirma [29]: "Urmatoarea generatie de fabrici construite pe baza conceptului de RMT va fi mai unitara. In loc sa construim fabrici ori de cate ori se trece la o noua tehnologie, vom construi fabrici pentru o familie de produse si sa upgradam si sa reconfiguram fabricile existente"

De asemenea, A.Gallip Ulsoy, directorul adjunct al centrului de cercetari mai sus mentionat, vine in sprijinul acestor idei: "Fabricile reconfigurabile vor schimba afacerile in productia de masa. Cu un timp redus pentru dezvoltarea unui produs si abilitatea de a schimba productia, manufacturierii vor fi capabili sa ofere consumatorilor o multime de posibilitati intr-un timp scurt pentru mai putini bani".

Centrul de cercetari pentru sisteme reconfigurabile de la Universitatea Michigan este unul dintre cele 20 de centre sponsorizate de National Science Foundation (Fundatia Nationala pentru Stiinta). Avand ca obiectiv dezvoltarea diferitelor noi tehnologii, centrul este pionier in domeniul "stiintei reconfigurabilitatii", cu rezultate deosebite in acest domeniu. Astazi, centrul colaboreaza cu peste 20 de parteneri din industrie si reprezinta cea mai mare initiativa pentru dezvoltarea sistemelor reconfigurabile din SUA.

V.6 Reconfigurabilitate hardware

Un RMS trebuie sa ofere alternative utilizatorului, sa fie un sistem multi-funcional. Aceasta inseamna ca sistemul de manufacturare trebuie sa fie capabil sa produca diferite piese prin intermediul unor functii diferite si cu diferite configuratii.

O masina unealta reconfigurabila ar trebui sa ofere posibilitatea configurarii prin utilizarea a cat mai putine componente. In proiectarea unei astfel de unelte se au in vedere configuratii cinematice de tip paralel si serial.

Structura cinematica trebuie sa permita diverse configuratii si este necesara alcatuirea unei biblioteci de subansamble ale masinii, care sa permita reconfigurarea. In tabelul ce urmeaza se arata cerintele conceptuale pentru un RMS.

Cerintele ce se impun unui RMS

Tipul de productie	Productie de masa
Tiraj de piese	1500-300 unitati pe zi, depinde de complexitatea produsului
Durata de viata a produsului	2-8 ani
Durata de viata a sistemului	20 de ani sau mai mult
Marimea lotului	Productia neintrerupta ar trebui sa dureze minim un schimb
Disponibilitatea sistemului	>95%
Toleranta	Depinde de produsul realizat $\pm 5 \mu m$
Cost per unitate produsa	Similar cu un sistem conventional
Pretul de achizitionare a masinii	Similar cu un sistem conventional
Timpul pentru reconfigurare	<2 ore
Rezerva de module din biblioteca	Numar minimizat pentru modulele neutilizate
Disponibilitatea la module noi	In cateva ore, de-a lungul a peste 10 ani
Modularitate	Control si motoare integrate
Interfata	Conexiuni mecanice, periferice, controlere
Control	Distribuit
Mentenanata	Usoara si ieftina

Este absolut necesar ca masina unealta reconfigurabila sa aiba cel putin o interfata pentru a conecta piesele componente din biblioteca. Din acest motiv trebuie sa indeplineasca urmatoarele conditii:

- stabilitate;
- standardizare;
- proprietati dinamice si termice optime.

Un set de interfete standardizate se prezinta in figura 6 .

Setul de piese a fost realizat de catre Universitatea din Stuttgart, Germania si este bazat pe standardul pentru unitati modulare pentru masini ciclice longitudinale. Sisteme periferice pentru masini unelte conform standardelor sunt disponibile pe piata.

Interfata pentru inlocuirea capurilor trebuie sa fie universala pentru a putea permite integrarea componentelor reconfigurabile rapid si usor. Este deasemenea usor sa se execute operatii de mentenanata cu componentele detasabile scoase de pe masina.

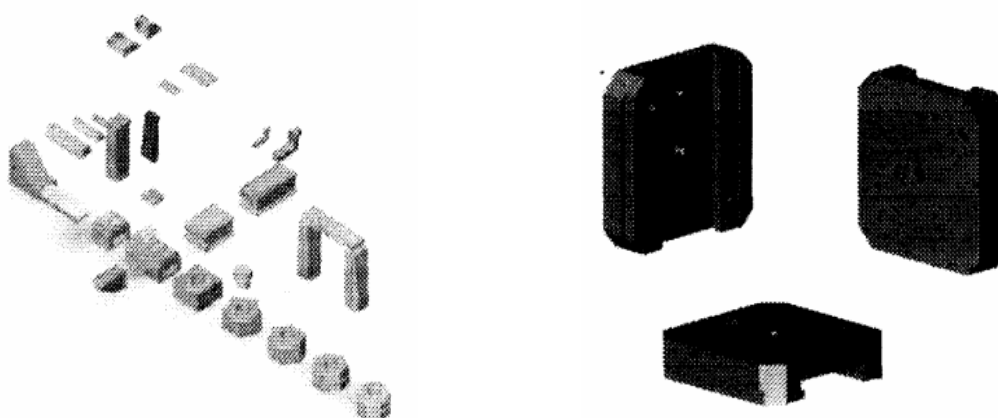


Figura 6 Elemente de interfata si librarie de componente

V.7 Reconfigurabilitate software

Pentru a satisface cererile proiectantilor de RMS-uri este necesar ca, parte din concept, sa se introduca modalitati de reconfigurabilitate software. Un model RMS de productie virtuala este absolut necesar pentru a gestiona un astfel de sistem si pentru a evita problemele inerente datorate diversitatii de variabile ce apar in sistem. Este nevoie de a analiza si studia interactiunea si cooperarea dintre urmatoarele unitati constituinte:

- baza de date;
- unitatea de inspectie;
- unitatea de supervizare;
- unitatea de senzori;
- unitatea de inventar.

Baza de date este centrul de informatii pentru un RMS. Este constituita la randul ei din *baza de date cu comenzi*, care inmagazineaza informatii cum ar fi cantitatea sau tipul de produs; *o baza de date cu secventele de procesare* pentru diferitele produse; si *o baza de date de resurse* care stocheaza informatii despre masinile, operatorii umani disponibili cat si despre capabilitatile masinilor.

Unitatea de inspectie este acea parte de simulare care proceseaza posibilele configuratii in functie de cererile de fabricatie si de disponibilitatea masinilor.

Unitatea de supervizare consta din controlerile masinilor RMS si un controller dedicat pentru verificarea masinilor din sistem prin comunicatia cu cele ale RMS-urilor .

Unitatea de senzori monitorizeaza statusul masinilor si genereaza informatia de reactie pentru unitatea de supervizare, poarta un rol important in luarea deciziilor prin colectarea de date in timp real .

Unitatea de inventar este impartita in mai multe locatii de stocare pentru a pastra produsele spre a fi expediate.

Conceptul de linie de productie virtuala (VPL- Virtual Production Lines) a fost folosit pentru a optimiza ciclul de productie si pentru a elimina eventualele pierderi datorate erorilor de proiectare. Exista la momentul actual diverse unelte soft care realizeaza simularea productiei virtuale, se are in vedere alcatuirea unui algoritm care urmareste drumul de la material, trecand prin fabricatie pana la trimiterea catre furnizor. In ceea ce priveste RMS este absolut necesara realizarea unui soft pentru optimizarea gestiunii componentelor interschimbabile ale procesului de fabricatie optim, luand in considerare complexitatea combinatiilor posibile.

De asemenea, ciclurile de productie mici si conditia de timp de start pentru productie, pe care trebuie sa o indeplineasca RMS-ul, impun optimizarea si simularea acestui stadiu.

In literatura de specialitate, s-a introdus ideea de a imparti unitatea de productie in mai multe subunitati ierarhice, care interactioneaza intre ele pentru a crea un rezultat optim la simulare.

V.8 Reconfigurabilitatea conducerii

5.8.1. Identificarea sistemelor

a) Metode neuro-fuzzy pentru identificare

Majoritatea proceselor din industrie sunt caracterizate prin comportament variabil in timp neliniar. Identificarea sistemelor neliniare a devenit o unealta importanta care poate fi folosita pentru a imbunatati performanta controlului si

pentru a indeplini conditii de siguranta. Dintre diferitele tehnici de identificare neliniara, metodele bazate pe modele neuro-fuzzy devin din ce in ce mai utilizate, nu numai la nivel academic cat si in implementarile practice din industrie. Odata cu noul concept de sisteme reconfigurabile se impune utilizarea acestor metode de identificare pentru proiectarea sistemelor. Unelele pentru construirea modelelor neuro-fuzzy se bazeaza pe combinatii din domeniul retelelor neuronale, recunoasterea dupa un model (pattern) si analiza regresiva.

Proiectarea controlului sistemelor este pusa in practica luand in considerare o multitudine de cerinte impuse de mediul competition, cerintele de mediu, costurile de energie si material. Aceste consideratii impun nevoia unor tehnici de modelare complexa.

Modelarea neuro-fuzzy este recunoscuta ca o unealta puternica ce permite dezvoltarea de unelte soft care faciliteaza dezvoltarea modelelor prin combinatia informatiei din diferite surse, cum ar fi modele empirice, euristice si date test. Modelele neuro-fuzzy descriu sistemele prin intermediul unor reguli de tip "daca-conditie", "atunci actiune", reprezentate intr-o structura de tip retea la care algoritmi de invatare cunoscuti din domeniul retelelor neuronale artificiale se pot aplica. Datorita structurii sale, modelul neuro-fuzzy are un grad inalt de interpretare si analiza pentru a explica fenomene care nu se pot reprezenta printr-un model matematic.

Atat retele neuronale cat si sistemele fuzzy sunt motivate de procesele de gandire umana. In cazul sistemelor fuzzy conexiunile intre diferitele informatii sunt explicitate prin intermediul regulilor de conditie. In acelasi timp retelele neuronale explicita relatiile intre informatiile din retea prin intermediul unor valori neexplicitate. Sistemele neuro-fuzzy combina transparenta semantica a regulilor cu capacitatea de invatare a retelelor neuronale.

In continuare se prezinta cateva concepte de baza pentru intelegerea algoritmilor neuro-fuzzy. O clasa dinamica neliniara avand ca intrare u si iesire y poate sa fie discretizata in functie de timp intr-un model de tip $y(k+1)=f(x(k))$, unde $y(k+1)$ reprezinta iesirea rezultata la timpul $(k+1)$, iar $x(k)$ este un vector regresor constand intr-un numar finit de intrari si iesiri din trecut, asa cum se arata in relatia (5.1):

$$x(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y(k - n_y + 1) \\ u(k) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u(k - n_u + 1) \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Ordinea dinamica a sistemului este reprezentata de n_y si n_u , desi pentru simplitate am afirmat ca iesiri si intrari doar o variabila, modelul NARX (Nonlinear AutoRegressive with Exogenous input) permite utilizarea pentru un sistem cu variabile de intrare multiple. In acest caz numarul de variabile regresor de obicei devine foarte mare si se prefera descrierea spatiului neliniara:

$$\xi(k+1) = g(\xi(k), u(k)), \quad y(k) = h(\xi(k)) \quad (5.2)$$

Problema identificării unui sistem neliniar este de a găsi funcția necunoscută f sau funcțiile g și h din secvențele de date $u(k)$, $y(k)$. Aceste funcții sunt aproximare de niste funcții de aproximare generale cum ar fi cele implementate în rețelele neuronale, sisteme neuro-fuzzy, tabele de interpolare. Dacă scopul modelării este doar obținerea unui rezultat de predicție corect pentru y , nu există o diferență majoră între aceste modele deoarece toate aproximează destul de fidel sisteme neliniare de acest tip.

Deseori, pe lângă rezultatul de predicție cât mai corect se dorește să cream un model care poate fi folosit pentru învățare ulterioară și analizarea proprietăților.

Un model matematic care folosește seturi fuzzy de date se numește un model fuzzy. În identificarea sistemelor modelele bazate pe tehnica fuzzy se folosesc frecvent. În aceste modele, relațiile dintre variabile sunt reprezentate de condiții cu predicat imprecis, cum ar fi: dacă "caldura este prea mare", atunci "creșterea temperaturii este rapidă". Această regulă definește de o manieră calitativă relația dintre temperatura și gradul de creștere.

Pentru a face acest model operational, definirea termenilor "mare" și "rapid" trebuie să fie mai precisă. Aceasta este realizată prin intermediul seturilor de date, unde apartenența la o clasificare se face gradual în loc de una abruptă, notată cu μ , care măsoară elementele al intervalului considerat. Valorile extreme 0 și 1 denotă apartenența sau neapartenența la o clasificare, pe când un grad între 0 și 1 arată o apartenență parțială. În funcție de structura regulilor de condiție două modele principale de tip fuzzy se pot distinge: modelul Mamdani și modelul Tagaki-Sugeno.

În modelul Mamdani, informația anterioară (partea "dacă" din condiție) și consecința (partea "atunci" din condiție) sunt propoziții fuzzy.

Dacă x este A_i atunci y este B_i ,

A_i și B_i sunt informația anterioară și cea de consecință reprezentată de logica fuzzy. Modelul fuzzy lingvistic este folositor pentru a reprezenta cunoștințe calitative.

Semnificația termenilor lingvistici (mic, bine, mare) este definită de funcțiile membre. Funcțiile membre pot fi definite de dezvoltatorul modelului bazat pe experiența trecută sau folosind setul de date. Bineînțeles semnificația termenilor nu este universală, de exemplu definiția fuzzy pentru bine poate diferi de la un caz la altul.

Modelul Tagaki-Sugeno este de obicei folosit în sisteme expert, în identificarea datelor modelul propus de Tagaki-Sugeno a devenit popular. În acest model informația anterioară este definită în același fel ca modelul reprezentat mai sus dar consecința este o funcție liniară de variabile de intrare.

Dacă x este A_i atunci $y_i = a_i^t + b_i$, unde A_i este vectorul parametru al consecinței, B_i este o valoare scalară. Acest model combină și descrie o combinație de afirmații lingvistice cu regresie funcțională standard: informația anterioară descrie regiuni fuzzy în spațiul de intrare în care funcția consecință este validă. Ieșirea y este calculată, considerând media contribuției regulilor individuale.

Seturile de date antecedente sunt de obicei definite pentru a descrie regiuni clar definite din spațial de intrari.

Parametrul A_i este o aproximatie locala liniara al sistemului neliniar considerat. Modelul TS poate de aici sa fie privit ca o aproximare liniara a unei functii neliniare sau ca un model de programare a veridicitatii a unui parametru. In sistemele fuzzy cu intari multiple propozitia antecedenta este de obicei reprezentata de o combinatie de termeni cu functii membre univariate folosind operatori logici "si", "sau", "nu".

In teoria fuzzy s-au introdus diferiti operatori pentru conectivitate logica, precizam aici operatorii Zadeh si Probabilistic.

Modelele fuzzy dinamice sunt folosite pentru a parametriza functii neliniare, avantajul folosirii modelarii conditiilor este aceea ca structura modelului poate fi relationata cu structura fizica si deaceia parametrii modelului pot fi dedusi corect, in majoritatea cazurilor.

O problemă importantă a rețelelor neuronale este legată de ajustarea ponderile legăturilor astfel încât să se obțină ieșirea dorită de sistem. Această modificare se bazează de cele mai multe ori pe regula *Hebbian*.

Forma generală a acestei reguli este

$$\Delta w_{ij} = g(a_j(t), t_j)h(o_i(t), w_{ij}) \quad (5.3)$$

in care:

w_{ij} este ponderea legăturii de la unitatea i la j ;

$a_j(t)$ – activarea unității j în pasul t ;

t_j – ieșirea dorită a unității j ;

o_i – ieșirea unității i în pasul t ;

$g(\dots)$ – funcție care depinde de activarea și de ieșirea dorită a unității j ;

$h(\dots)$ – funcție care depinde de ieșirea elementului unității predecesoare

și ponderea curentă a legăturii.

Învățarea unei rețele "feed-forward" constă din următoarele etape:

- un model de intrare este prezentat rețelei. Intrările sunt propagate înainte în rețea până când se ajunge la stratul de ieșire (format din unitățile de ieșire). Aceasta reprezintă așa numita fază de propagare înainte;
- ieșirea stratului de ieșire este comparată cu ieșirea dorită. Eroarea, de exemplu δ_j , diferența dintre ieșirea o_j și ieșirea dorită, t_j a unei unități țintă j este folosită apoi împreună cu ieșirea o_i a unei unități sursă i pentru calculul modificării ponderii legăturii w_{ij} ;
- eroarea δ_j este propagată înapoi. Această etapă este numită faza de propagare înapoi.

În învățarea "online" modificările ponderilor Δw_{ij} sunt aplicate rețelei după fiecare model de antrenament.

În învățarea "offline" și în învățarea "batch" modificările sunt cumulate pentru toate modelele și suma tuturor acestor modificări este aplicată după un ciclu complet.

Cel mai răspândit algoritm care funcționează în maniera prezentată este *backpropagation*.

Regula *backpropagation* pentru modificarea ponderilor, numită și *regula delta generalizată* este următoarea:

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j o_i$$

$$\delta_j = \begin{cases} f'_j(\text{net}_j)(t_j - o_j), & \text{daca } j \text{ este o unitate de iesire} \\ f'_j(\text{net}_j) \sum_k \delta_k w_{jk}, & \text{daca } j \text{ este o unitate ascunsa} \end{cases} \quad (5.4)$$

unde:

η este factorul de învățare (constant);

δ_j – eroarea, $\delta_j = t_j - o_j$;

t_j – ieșirea dorită a unității j ;

o_i – ieșirea unității precedente, i ;

i – indexul unității predecesoare unității curente j ;

j – indexul unității curente;

k – succesoarea unității j ;

b) Metoda vectoriala autoregresiva

Un nou model reprezentat de un vector autoregresiv (VAR) este dezvoltat pentru indentificarea in bucla inchisa. Aceasta abordare de tip VAR este o extensiune a noului algoritm dezvoltat recent numit cautarea parametrului optim sau modelul descriptorului de lungime minima. Cu modelul bazat pe sistemul buclei deschise, acuratetea estimarii parametrului nu este aceeași cu a celei a unui model cu bucla inchisa.

Determinarea modelului bazat pe aceasta teorie da rezultate foarte bune pentru un semnal clasificat ca fiind fara erori dar acuratetea scade considerabil daca semnalul este corupt de zgomot.

Mai mult decat atat, datorita faptului ca acest model ofera un model al ordinii maximele, estimarea patratica tinde sa foloseasca rezultatele acestui model indiferent daca lipsesc date din model corespunzatoare zgomotului din datele semnal. Cea mai buna metoda de folosire a unui algoritm pentru sisteme de tip bucla deschisa este cautarea rapida ortogonala (FOS-Fast Orthogonal Search) si noul algoritm de cautare a parametrului optim (OPS). Aceste doua algoritme sunt foarte robuste in extragerea parametrilor semnificativi in ciuda coruperii semnalului. Capacitatea de a procesa mai multe sisteme pentru algoritmul FOS a fost dezvoltat de Bagarinao si Sato. Mai mult decat atat Adeney si Korenberg au combinat algoritmul FOS cu alte algoritme pentru a obtine o estimare a parametrului mai corecta pentru sisteme cu iesiri multiple.

Cu toate avantajele mai sus mentionate ale OPS-ului, extensii ale OPS-ului nu au fost dezvoltate.

Din acest motiv mai multe lucrari explica introducerea unui model de identificare a unui sistem bazat pe modelul vectorului autoregresiv prin folosirea unui algoritm de identificare in bucla inchisa care este mult mai fidel decat metodele disponibile la momentul actual. S-a demonstrat ca modelele VAR pot fi folosite pentru identificarea in bucla inchisa, astfel s-a extins ideea algoritmului OPS univariant la algoritmul folosind vectori. OPS este capabil sa ofere un rezultat al parametrului estimat corect deoarece este apt sa discearna numai acei termeni care sunt corecti. In completare pentru sistemele in bucla deschisa, in majoritatea cazurilor OPS poate sa ofere o estimare a parametrului mai buna decat algoritmul FOS. Pentru a demonstra eficacitatea noului OPS, folosind vectori s-a comparat performanta acestuia cu sistemul FOS.

Deasemenea s-a determinat daca modelele bazate pe identificarea buclei deschise sunt sigure pentru estimarea parametrilor. In cele mai recente lucrari s-a

estimat ca identificarea prin algoritm de bucla deschisa a fost corect in peste 30% din rezultate. Descrierea algoritmului de identificare VAR este prezentata mai jos. O bucla inchisa cu doua canale cu zgomot dinamic este decria in relatia (5.5):

$$\begin{aligned} x(n) &= \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) + \sum_{j=1}^q b_j y(n-j) + \varepsilon_x(n), \\ x'(n) &= x(n) + \eta_x(n) \\ y(n) &= \sum_{i=1}^p c_i x(n-i) + \sum_{j=1}^q d_j y(n-j) + \varepsilon_y(n) \end{aligned} \quad (5.5)$$

unde p si q sunt indici maximi ai modelului si $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \eta_x, \eta_y$ sunt sursele de zgomot. Sistemul cu doua canale poate fi decria intr-o varianta matriciala astfel :

$$\begin{bmatrix} x(n) \\ y(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(n-1) \\ y(n-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(n-2) \\ y(n-2) \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} a_M & b_M \\ c_M & d_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(n-M) \\ y(n-M) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_x(n) \\ \varepsilon_y(n) \end{bmatrix}, \quad (5.6)$$

$$\begin{bmatrix} x'(n) \\ y'(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(n) \\ y(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_x(n) \\ \eta_y(n) \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

unde, M reprezinta modelul maximal in functie de p si q din ecuatia (5.5). Sistemul bucla inchisa cu acest model poate fi decria de urmatorul model VAR:

$$Y(n) = \sum_{k=1}^M A(k)Y(n-k) + W(n) \quad (5.8)$$

$$Y'(n) = Y(n) + \eta(n)$$

$$Y(n) = \begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_d(n) \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

$$A(k) = \begin{bmatrix} a_{11}(k) & a_{12}(k) & \dots & a_{1d}(k) \\ a_{21}(k) & a_{22}(k) & \dots & a_{2d}(k) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{d1}(k) & a_{d2}(k) & \dots & a_{dd}(k) \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$$W(n) = \begin{bmatrix} \varepsilon_1(n) \\ \varepsilon_2(n) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_d(n) \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$$Y'(n) = \begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_d(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1(n) \\ \eta_2(n) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_d(n) \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Deaceea modelul VAR folosit pentru predicție se descrie astfel:

$$Y_{N \times d} = H_{N \times dM} \theta_{dM \times d} \quad (5.13)$$

$$\theta = (H^T H)^{-1} H^T Y$$

unde,

$$Y_{N \times d} = [Y(M+1) \ Y(M+2) \ \dots Y(N+M)]^T \quad (5.14)$$

și

$$H_{N \times dM} = \begin{bmatrix} Y(M) \ Y(M+1) \ \dots Y(N+M-1) \\ Y(M-1) \ Y(M) \ \dots Y(N+M-2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y(1) \ Y(2) \ \dots Y(N) \end{bmatrix}^T \quad (5.15)$$

$$\theta_{dM \times d} = [A(1) \ A(2) \ \dots A(M)]^T \quad (5.16)$$

În cazul unui sistem univariat ieșirea prezisă este:

$$Y_{N \times 1} = H_{N \times M} \theta_{M \times 1} \quad (5.17)$$

$$\theta = (H^T H)^{-1} H^T Y$$

În cazul în care zgomotul nu există, $\mu = 0$, atunci parametrul matricii reprezentat de θ este neinfluențat. În cazul în care există zgomot în semnal, vectorul ieșire

poate fi scris ca $Y = Y' - \eta$, unde Y' este vectorul corupt de catre zgomot reprezentat de μ , de aici rezulta ca matricea H va include termenii zgomot.

Pentru a gasi coeficientii matricei se poate rescrie folosind o functie ortogonala, cum ar fi:

$$Y_n = \sum_{m=1}^M \Phi_m B_m + \varepsilon_n, \quad (5.18)$$

unde Y_n este matricea $N \times d$, B_m este noul coefficient al matricei si Φ_m este functia ortogonala care satisface conditia:

$$E[\Phi_m^T \Phi_n] = I \delta_{mn}, \quad (5.19)$$

unde $I = d \times d$ este matricea indentica, $\delta_{mn} = \text{delta Kronecker}$.

Functia ortogonala poate fi obtinuta folosind o procedura de ortogonalizare Gram-Schmidt:

$$Z_m = Y_m + \sum_{r=1}^{m-1} \Phi_r \alpha_{rm}, \quad (5.20)$$

$$\Phi_m = Z_m (N_m^{-1})^T \quad (5.21)$$

Alte variante ale OPS-ului sunt: *Constrained OPS (COPS)* si *Constrained FOS (CFOS)*.

Aceasta abordare incearca sa gaseasca modelul aproximat initial al sistemului de tip bucla inchisa. Bazat pe ordinea modelului obtinut FOS-ul si OPS-ul sunt apoi utilizate pentru a determina numai termenii importanti din candidatii la sistem. Datorita faptului ca s-a determinat ordinea aproximativa a sistemului, eliminandu-se coeficientii nesemnificativi prin intermediul algoritmului FOS univariat sau OPS univariat numim aceasta abordare *Constrained FOS* sau *Constrained OPS*.

5.8.3. Tehnici de control

In ceea ce priveste controlul sistemelor neliniare exista mai multe posibilitati. Controlul utilizand informatii probabilistice pentru sisteme neliniare reprezinta o abordare temeinica, deoarece aceasta sarcina este deosebit de dificila. Baza pentru fiecare dintre abordarile pentru rezolvarea acestui tip de problema este de a construi un model care sa fie aproape de realitate dar nu foarte complex pentru ca sa fie rezolvabil prin metode analitice.

Modelul combinat probabilistic poate sa fie interpretat ca o inversare a modelelor liniare regresive. Estimarea unor astfel de parametri dintr-un model este o sarcina dificila. Cu modelul estimat, aproximarea probabilistica a parametrului este calculata. Poate fi interpretat acest lucru ca o construire a unui controler ideal pentru fiecare model liniar regresiv urmata apoi de inversarea controlerelor. Modelul combinat ca si rezultatul calculului poate sa fie updatat in timpul controlului procesului, deaceea afirmam ca am realizat un control adaptiv.

Cantitatile in legatura cu sistemul se numesc *canale*. Canalele care nu pot fi influentate direct se numesc *inovatii*, pe cand celelate se numesc *actiuni*.

Sa notam valorile canalelor in timp dt , atunci $dt = (\text{inovatii}, \text{actiuni})$. Modelul probabilistic general al sistemului se bazeaza pe traiectoriile acestuia de la timpul 1 pana la maximul de timp t . Functia $f(d(t))$ poate fi calculata cu urmatoarea formula:

$$f(d(t)) = \prod_{t \in t^*} f(d_t | d(t-1)) \quad (5.22)$$

Este dovedit ca sistemul nu este influenat de date prea vechi. Cu toate acestea functia $f(d(t))$ trebuie sa fie conditionata de datele precedente (istorice) dar cu un vector finit dimensional. Folosind aceasta presupunere modelul ia forma:

$$f(d(t)) = \prod_{t \in t^*} f(d_t | \phi_t - 1) \quad (5.23)$$

Conform proiectarii probabilistice sarcina de control este rezolvata prin gasirea unor functii care aproximeaza functia dorita de iesire .

Primul pas din controlul sistemului este identificarea modelului de control al procesului. Datele folosite pentru determinarea modelului provin din experiente anterioare ("istorice") *Al doilea pas* este specificarea functiei tinta,

$$[U] \Theta = [\mu_1, \mu_2] \quad \text{si} \quad [U]r = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} \\ r_{2,1} & r_{2,2} \end{pmatrix}$$

VI. MATERIAL SI METODE SPECIFICE OBIECTIVELOR PROIECTULUI

Obiectivul 1 - Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile

- Activitatile
- 1.1. Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile
 - 1.2. Modelarea si simularea procesului de prelucrare

Automatizarea masinilor a inceput cu introducerea masinilor cu comanda numerica, bazata pe controlere, care conduceau sistemele de manufacturare in conformitate cu programul-piesa. O dezvoltare semnificativa a constat in introducerea controlului numeric computerizat, unde un computer dedicat a inlocuit o mare parte a echipamentelor electronice, precum si suportul program-piesa (benzi sau cartele perforate).

Urmatorul nivel de dezvoltare al automatizarii in cadrul sistemelor de manufacturare este automatizarea la nivel de proces, care se refera la fenomenele ce apar ca urmare a actiunii sculei asupra piesei. Monitorizarea procesului consta in masurarea variabilelor procesului folosind un spectru larg de senzori on-line. Procesarea semnalelor si schemele de analiza in diferite domenii (timp, frecventa, etc.), precum si calcule bazate pe diferite modele au fost folosite pentru punerea in evidenta a unor informatii relevante privind modul de desfasurare a procesului.

Controlul sistemului de manufacturare a fost abordat la trei nivele in functie de scopul urmarit: bucla de control a servomecanismelor, bucla de interpolare si bucla de control adaptiv.

Bucla de control a servomecanismului are drept obiectiv sa regleze pozitia si viteza diferitelor subansamble ale masinii, astfel incat sa faca fata perturbatiilor generate de frecare, alunecare, joc, forta din proces, etc. Obiectivul buclei de

interpolare este sa coordoneze miscarea dupa mai multe axe in scopul de a realiza traiectoria programata a sculei.

Bucla de control a procesului, care nu este in prezent integrata in controlul sistemului de manufacturare, are drept obiectiv ajustarea automata a parametrilor procesului (viteza avans, etc.) cu scopul de a creste productivitatea si calitatea produsului. La acest nivel elementele critice sunt modelul dinamicii procesului si algoritmul de control software bazat pe arhitectura "open".

In prezent, cercetarile in aria generala a monitorizarii si controlul procesului de manufacturare nu indeplinesc conditiile impuse de implementarea rezultatelor in practica industriala. Realizarile comerciale la aceste tehnologii sunt inca limitate, desi preocupari stiintifice exista de aproape 30 de ani. Schema generala a monitorizarii si conducerii unui sistem de manufacturare asa cum este acesta propus de catre diferiti cercetatori, este cea din figura 7.

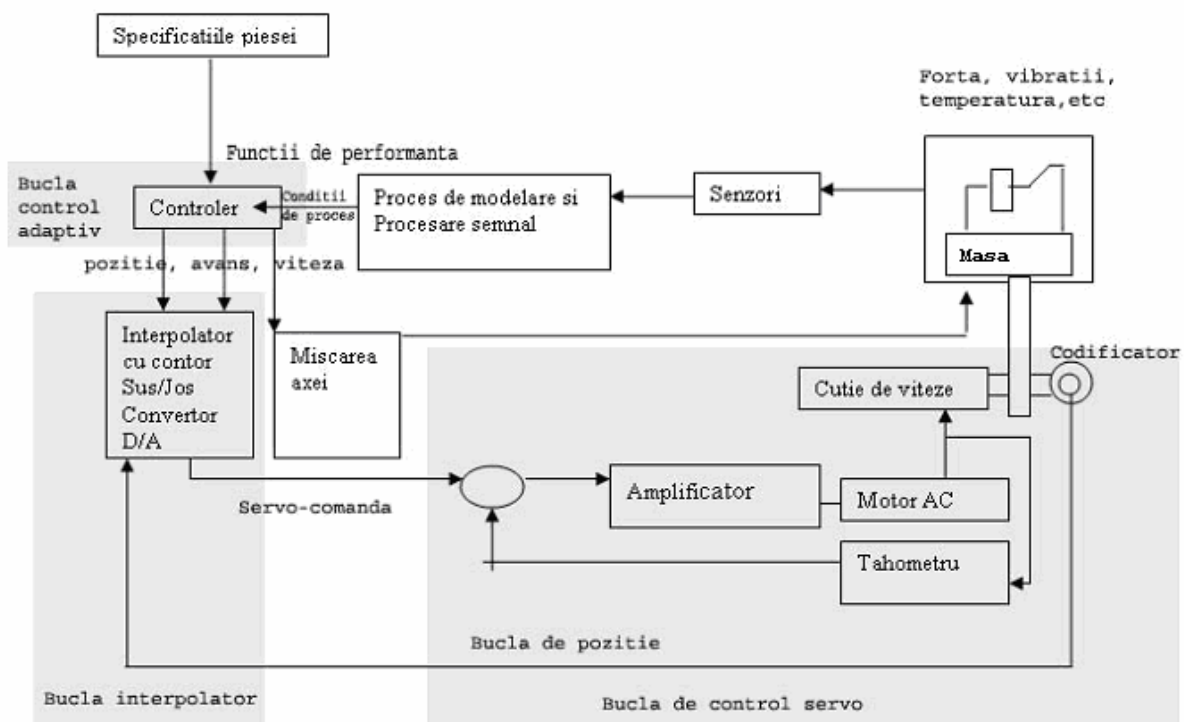


Figura 7 Schema generala a monitorizarii si conducerii unui sistem de manufacturare

Controlerele masinilor unelte constau in Programmable Logic Controller (PLC), care se ocupa cu procesarea si interfata cu operatorul, si sunt reprezentate de un microprocesor care coordoneaza in timp real functiile de control. Arhitectura microprocesorului poate fi impartita la nivel general in trei categorii:

- bucla de control a servomecanismului, bucla de interpolator si bucla de control a procesului asa cum se arata in figura 7. Controlerele servomecanismului regleaza viteza si pozitia axelor iar interpolatoarele genereaza pozitia de referinta pentru axe. Aceste functii se gasesc in toate CNC-urile moderne. Bucla de control a procesului cunoscuta ca si control adaptiv nu este o caracteristica disponibila pentru acestea.

Controlul procesului de prelucrare este numit in urmatoarele variante: control adaptiv cu constrangeri (Adaptive Control with Constrains- ACC), control adaptiv cu

optimizare (Adaptive Control with Optimization- ACO) sau control adaptiv geometric.(GCO-Geometric Control Optimiziation) Parametrii procesului sunt manipulasi in timp real prin sisteme ACC pentru a mentine o variabila de proces intr-o valoare limita cum ar fi forta sau puterea. In sistemele ACO setarile masinii sunt selectate pentru a optimiza performanta (timpul de productie, costul pe unitate). Sistemele GAC incearca sa maximizeze in ceea ce priveste defectiunea structurala si uzura sculei. Majoritatea acestor sisteme raporteaza succese in laboratoare si in urma testarilor.

In prezent, nu se poate atinge un nivel de robustete a senzorilor pentru aplicatiile industriale. De asemenea, masuratorile indirecte realizate prin intermediul euristicii sau modele analitice, de obicei nu reusesc sa elimine perturbatiile datorate naturii stocastice ale proceselor de taiere. Se poate afirma ca utilizarea controlului realizata prin intermediul senzorilor nu a ajuns la potentialul maxim. Conexiunea dintre controlul procesului industrial si senzor nu a fost urmarita pentru implementare pe scara larga. Exista mai multe initiative pe plan international, atat din partea domeniului privat cat si din partea diferitelor colective de cercetare pentru acest domeniu, dar coordonarea la nivel international este slaba. Lipsa standardizarii in pachetele de senzori, algoritmi de procesare a semnalului si controlul sistemelor a fost victima flexibilitatii. La momentul actual nu exista coduri sau protocoale pentru controlere, in ceea ce priveste arhitectura open similara sistemelor CNC. Sensorii trebuie configurati pentru a indeplini o anumita sarcina, in timp ce controlerele de proces trebuie programate pentru a da o performanta maxima.

Insuccesele din acest domeniu au facut pe multi dintre fabricanti sceptici la beneficiile controlului procesului si monitorizarea procesului. Pentru a avea succes, sistemele viitoare trebuie sa fie incluse si integrate cu sistemele de manufacturare existente.

In urmatorii ani tehnologia automatizarii procesului este posibil sa tina cont de urmatoarele aspecte:

- senzori si actuatori integrati. Exista o nevoie deosebita pentru dezvoltarea de senzori, controlere si actuatori care sa fie integrati in structura masinii-unelte;
- miniaturizarea componentelor sistemului. Odata cu introducerea tehnologiei MEMS (Micro Electro Mechanical System) senzorii si controlerii sistemului au toate sansele sa devina din ce in ce mai mici. Avantajele acestor sisteme miniaturizate este precizia marita;
- procesarea si controlul sistemului cu ajutorul telecomunicatiei wireless. Odata cu cresterea importantei aplicatiilor de tip internet si marirea benzii de transmitere prin tehnologie wireless, este posibila implementarea unor comunicatii in sistemul de fabricatie cu ajutorul acestor tehnologii. In sistemele de manufacturare viitoare, codurile inregistrate si structura modulelor pentru senzori si controlere vor putea fi downloadate de pe un server de catre masina- uneltea, in timp de procesarea informatiei poate fi transmisa catre un computer central pentru luarea deciziilor. De asemenea, sistemul de transmitere wireless prezinta avantajele de reducere a costurilor, a cablurilor si a celor de pornire a productiei.

5.8.5. Argumente pro si contra reconfigurabilitatii

Expertii internationali afirma ca la nivelul anilor 2020 procesele reconfigurabile vor reprezenta cea mai importanta tehnologie cu privire la

manufacturare. Astazi utilizatorii sistemelor nededicate, si anume a sistemelor de fabricatie flexibila, sunt cei care asigura productia mondiala a diferitelor produse. Flexibilitatea se refera inainte de toate la convertirea la productia unei noi piese dintr-un spectru larg pe care il poate produce. Avantajele sistemului modular sunt reducerea costurilor de productie prin diminuarea cheltuielilor pentru planificare si schimbare a productiei, care duce la costuri reduse pentru conversie si retrofizare.

Argumente impotriva reconfigurabilitatii

De cand a fost introdus conceptul de reconfigurabilitate, oamenii de stiinta au afirmat nevoia de reconfigurabilitate. La momentul actual o parte din producatori sunt multumiti cu procedurile de retrofizare care dureaza saptamani sau luni. Cele mai dese argumente impotriva reconfigurabilitatii sunt:

-Costurile sunt prea mari

Combatere: Componentele hardware sunt mai ieftine in comparative cu sistemele dedicate datorita interfetei si standardizarii.

- Spatiul de lucru este prea mic

Combatere: Reconfigurabilitatea este o tehnologie pentru productie seriala.

- Nimeni nu stie daca va fi necesar sa se utilizeze capacitatea de reconfigurabilitate

Combatere: cererea de noi modele pe piata este o caracteristica a pietei actuale, astfel incat ciclul de viata pentru modelul de fabricatie pentru un singur produs este mic.

-Un sistem de manufacturare flexibil poate sa faca fata cu succes cerintelor de piata

Combatere: Un sistem de manufacturare flexibil (FMS) este conceput pentru conditii fixe si actualizarea unui sistem retrofit poate sa dureze cateva saptamani sau luni. Majoritatea FMS-urilor sunt configurabile, dar nu reconfigurabile dupa cativa ani.

- Rigiditatea conexiunilor pentru componentele detasabile este insuficienta si poate duce la defectare prematura

Combatere: Toate masinile folosesc conexiuni pentru partile componente. Este o problema de proiectare a acestor conexiuni, nu un principiu.

-Reconfigurabilitatea este de fapt retrofizare

Combatere: Retrofizarea este modernizarea rulmentilor, cailor de rulare si a controlului, nu este o procedura pe termen scurt, care permite multiple configuratii.

-RMS-urile sunt FMS-uri cu module nefolosite care asteapta o noua configurare

Combatere: Posibilitatile de reconfigurare sunt mai mari la un RMS, fata de un FMS

-Conceptul de reconfigurare nu e nou. Se foloseste demult timp standardizarea si piese pentru operatii diverse

Combatere: Numai dimensiunile pieselor de baza sunt standardizate, interfețele si detaliile difera.

Exista trei puncte de vedere cu privire la conceptul de RMS. Din punctul de vedere al producatorului de masina reconfigurabila, in prezent configurarea masinilor este personalizata in functie de consumator neoferind posibilitatea de reconfigurare.

Din punctual de vedere al utilizatorului, reconfigurabilitatea inseamna posibilitatea folosirii un anumit produs pentru o noua cerinta.

Ciclurile de viata al produselor sunt doar fractiuni din ciclul de viata al RMS-ului. Este atat neeconomic cat si nefavorabil ecologic sa cumperi un nou sistem de manufacturare cand sistemul existent nu este deposit tehnologic, sau nu este uzat.

Vazuta din punctul de vedere al sistemului, reconfigurabilitatea este indeplinita prin recombinarea sau schimbarea diferitelor parti componente in noi arhitecturi.

5.8.6. Tendinte si perspective in sistemele de manufacturare flexibile/reconfigurabile

Pentru o mai buna intelegere a avantajelor RMS-urilor s-au realizat diferite studii [27]. Se are in vedere experienta la momentul actual al utilizarii FMS, in vederea trecerea la nivelului urmator de tehnologie si anume reconfigurabilitatea.

Rezultatele au aratat ca doua treimi dintre producatorii chestionati au afirmat ca FMS-urile nu ajung sa fie utilizate la potentialul lor. Deasemenea au identificat o multitudine de probleme cu privire la training, reconfigurabilitate, siguranta si mentenanta, software si comunicatii, si costul de start. Solutia pentru aceste probleme se afla in dezvoltarea unor tehnologii RMS care pot oferi exact capacitatea de productie necesare, si cand este nevoie de acestea. Tehnologiile care ar permite dezvoltarea acestui domeniu nou au fost identificate in masinile modulare si controlul masinii in arhitectura de tip "open".

Obiectivele studiului au fost:

- sa aprecieze FSM-urile;
- sa identifice beneficiile si elementele care sa permita implementarea RMS-urilor. Studiul realizat a inclus si un chestionar adresat diferitilor producatori.

In legatura cu marimea parcului de sisteme de manufacturare, producatorii tind sa detina intre 2 si 10 masini-unelte flexibile ca medie. Se considera de catre fabricanti ca un optim este atins la 10 sau mai putine sisteme de manufacturare flexibile. De aici, se deduce o importanta concluzie: fabricantii nu au o experienta mare in legatura cu folosirea de mai mult de 10 FMS-uri. De asemenea nu se poate deduce nici o legatura intre numarul de masini si un tip de industrie.

In ceea ce priveste productia anuala, rezultatele arata ca mai mult de 60% din fabricantii chestionati au afirmat ca FMS-rile utilizate produc intre 25 000 si 500 000 de unitati.

Toleranta caracteristica pentru FMS este intre un minim de +/- 0.0025 mm si un maxim de +/- 2 mm. Nu s-a gasit deasemenea nici cu privire la aceasta chestiune o legatura intre nivelul de toleranta si tipurile de industrie.

Majoritatea celor chestionati (80%) au raspuns ca FMS au fost cumparate pentru a fabrica produse deja existente, in timp ce 63% spun ca sistemele vor fi folosite pentru linii de productie viitoare. De asemenea 20% au afirmat ca sistemele vor fi folosite si pentru realizarea prototipurilor, desi nimeni nu foloseste FMS numai pentru acest lucru.

Doar 20% folosesc FMS pentru realizarea unei game relativ variate de produse si aproape 50% pentru realizarea unei game de 5 sau mai putine produse, utilizandu-se aceeasi linie. Din momentul in care piata a cerut o gama diversa de produse, sistemele FMS si-au dovedit superioritatea fata de sisteme de manufacturare dedicate asa cum se arata in Figura 8.

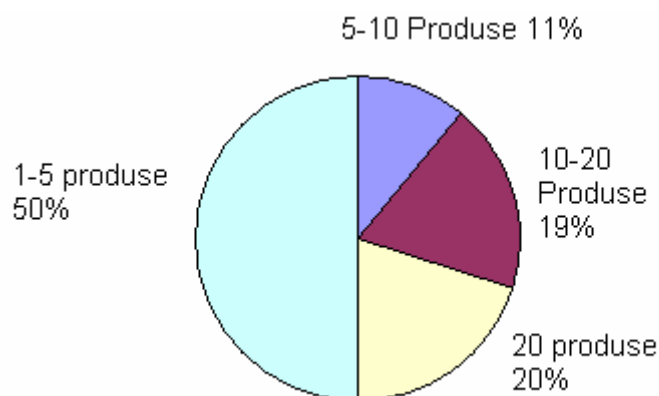


Figura 8 Distributia FMS-urilor pe numar de produse

Cu privire la durata de utilizare a FMS-urilor, s-a ajuns la concluzii favorabile introducerii RMS-urilor. Asa cum se arata in figura 9 exista variatii in distributia duratei de utilizare in functie de numarul existent in unitatea de manufacturiere. Exista un maxim la intervalul 2-3 ani, si un al doilea pentru 10 ani. Intre aceste maxime se observa o variatie negativa. Aceasta reflecta in mod fidel situatia existenta pe piata si anume ca aceasta cere o varietate mare de produse si manufacturierii cumpara FMS-uri. Se pune intrebarea daca FMS-urile pot sa faca fata acestor cerinte tot mai mari din partea pietei.

Motivul pentru care exista un maxim pentru valoarea de 10 ani este ca, desi FMS-urile au fost introduce in deceniul VII, ele au devenit larg raspandite in industrie in anii '80.

Cand au fost cerute de manufacturieri si implementate in anii '80, piata cerea o relativa diversitate de piese pentru aceeasi familie.

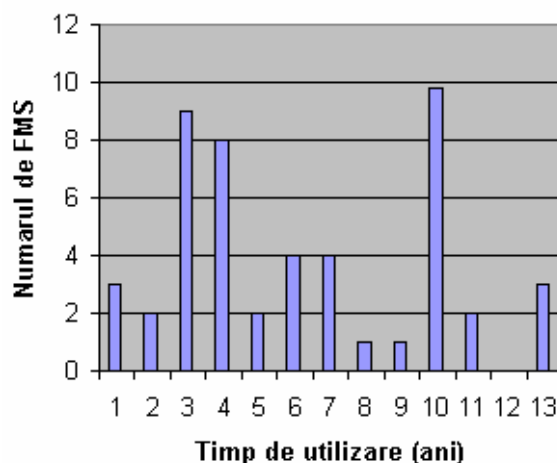


Figura 9 Distributia FMS in functie de durata de utilizare

In legatura cu partea din studiu care analizeaza cum afecteaza introducerea produselor noi capacitatea de productie, aceasta a indicat ca 63% din cei chestionati au achizitionat FMS-urile avand in vedere productia viitoare. Deasemenea 61% au cumparat mai mult echipament decat aveau nevoie la momentul respectiv, pentru dezvoltari ulterioare asa cum arata tabelul de mai jos.

Este o indicatie clara ca producatorii lasa nefolosite o parte din sistemele achizitionate, astfel o parte din capital este pierduta prin investitii neamortizate.

lese in evidenta rolul vital al RMS-urilor, care se bucura de proprietatea ca pot raspunde rapid la schimbarile de piata, prin reconfigurabilitate.

Motive pt achizitionarea FMS-urilor	Nr de raspunsuri Da	Procent de raspunsuri Da
Manufacturarea produselor existente	45	80
Manufacturarea produselor care sunt planificate, dar care nu sunt in productie	35	63
Manufacturarea prototipurilor	11	20
Ati cumparat mai multe capacitati de productie decat aveti nevoie pentru dezvoltare ulterioara?	33	61

Studiul a mai luat in considerare rata de satisfactie in utilizarea FMS-urilor.

In cadrul chestionarului s-a oferit posibilitatea analizei cum ar clasifica producatorii echipamentele utilizate la momentul actual cu cele utilizate inaintea acestora pe baza a 16 diverse criterii (costul de investitie, timpul de start al manufacturarii pentru un nou produs etc). In toate cazurile, apareau clasificari medii cu privire la criteriile chestionate sau neutre. Criteriile care au primit clasificarea "medie" includ: cresterea varietatii de produse, timpul necesar implementarii unui nou produs, timpul de start al productiei unui nou produs, calitatea produselor, repetabilitate, usurinta implementarii unor noi tehnologii. Clasificarea "neutra" a fost data: costul de investitie, durata de viata, spatiu utilizat, dezvoltarea prototipului si reglarea capacitatii de productie.

La setul de intrebari daca producatorii folosesc FMS-urile pentru scopul propus la capacitate maxima, 47% au fost de acord cu aceasta. Jumatate, au spus ca sistemele sunt folosite sub 65% din potential, 17% dintre chestionati afirmand ca sunt utilizate sub 50%.

Un alt set de intrebari chestiona performanta masurata prin intermediul a 11 criterii. Apoi au fost intrebati de experienta imediata dupa instalarea noului echipament, dupa doi ani, atunci cand de obicei majoritatea problemelor sau inconvenientelor sunt cunoscute. Printre criteriile examinate au fost timpul de start al productiei pentru un nou produs.

In legatura cu posibilitatea implementarii RMS-urilor ca o tehnologie noua si pas urmator pentru dezvoltarea de noi tehnologii, cei chestionati au raspuns cu note medii la ideea de "promisiune" pentru viitor cu privire la schimbarile in productie, cresterea varietatii produselor, reducerea timpului de schimbare de productie, si costuri de intretinere pentru ciclul de utilizare asa cum arata tabelul de mai jos.

De asemenea, tot clasificari medii au fost date pentru "promisiune moderata" cu privire la o serie de criterii: reducerea costului de investitie si costuri de intretinere. In schimb, nivelul "promisiune moderata" a fost asociate cu mentenanta redusa, cresterea calitatii produselor si dezvoltare rapida a prototipurilor.

Doar reducerea spatiului a fost indicata la clasificarea de "promisiune slaba". Alta intrebare a fost ce asteapta producatorii de la acest nou concept.

Diferite tehnologii, procese si alti factori pot fi afirmati pentru a dezvolta RMS-urile. S-a afirmat ca raspuns cu privire la cele mai importante domenii, 5 arii de studiu si anume: masini de viteza inalta, tehnologia masinilor modulare, arhitecturi de tip "open", si educarea inginerilor pentru utilizarea noii tehnologii.

Cincisprezece factori au fost clasificati ca “moderat de importanti”, incluzand componentele mecanice, imbunatatirile hardware si software si procesele de manufacturare.

Factori de cost	Valorea medie(nota)
Reducerea costului de investie	3.1
Durata de viata a sistemului	3.6
Produsul final	3.2
Mentenanata redusa	2.8
Reducerea spatiului ocupat	2.8
Alti factori	
Cresterea calitatii produsului	3.0
Cresterea varietatii produselor	3.9
Timp redus pentru schimbarea produsului	3.8
Timp redus pentru pornirea productiei	3.7
Usurinta dezvoltarii prototipurilor	3.0

In legatura cu problemele legate de software, cei chestionati au fost foarte preocupati de posibilele probleme in legatura cu aceasta in implementarea RMS-urilor. Pentru a evidentia probleme legate de software, cei chestionati au fost intrebati care sunt componentele cele mai importante in implementarea unui RMS. S-au avut in vedere diferite unelte software: procesare, selectia masinii, planificarea procesului, software pentru controlere si software de comunicatie intre componentele unei unitati de productie. Din pacate, la cererea de a da o nota importantei acestor chestiuni, nu s-a putut deduce un rezultat clar.

Concluziile care au fost deduse se pot enumera mai jos:

-FMS-urile joaca un rol important in industrie si vor continua sa faca parte din planurile de investitie pentru dezvoltare. In acelasi timp, majoritatea utilizatorilor sunt nemultumiti de aceste sisteme de manufacturare in ceea ce priveste diverse motive, dar cel mai des afirmat este lipsa de reconfigurabilitate.

-RMS-urile sunt vazute ca o tehnologie promitatoare cu caracteristici specifice, avand capacitatea de reglare a productiei, varietate a produselor si timp de schimbare a acesteia rapida.

-RMS-urile au nevoie de o abordare in rezolvarea unor puncte cheie reprezentate de diferite tehnologii (masini modulare, training, control de tip “open architecture”).

Obiectivul 2 - Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri

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

Obiectivul acestui capitol este de a defini rețelele Petri și de a introduce modelarea cu rețele Petri în contextul sistemelor de prelucrare reconfigurabile. Capitolul începe cu definiția formală a rețelelor Petri și a proprietăților de interes pentru fabricație. Acestea sunt urmate de un exemplu ce ilustrează majoritatea acestor concepte. În continuare, a fost data o metodologie pentru proiectarea modelelor sistemelor de fabricație împreună cu un exemplu explicativ. Au fost clasificate pozițiile și tranzițiile rețelelor Petri și s-a prezentat câteva concepte și

prezumții adiționale pentru facilitarea expunerii teoriei excluderii mutuale dezvoltate ulterior.

2.1 Definițiile și proprietățile RP de referință

În cadrul dezvoltării RP pentru modelarea sistemelor de prelucrare, am plecat de la o rețea Petri marcată: $Z = (P, T, I, O, m_0)$, unde:

P este un set de poziții, reprezentate grafic prin cercuri;

T este un set de tranziții, reprezentate grafic prin dreptunghiuri,

cu $P \cup T \neq \Phi$ și $P \cap T = \Phi$;

I : $P \times T - \{0, 1\}$ este **funcția de intrare** ce gestionează arcele direcționate dinspre poziții către **tranziții**;

O : $P \times T - \{0, 1\}$ este **funcția de ieșire** ce gestionează arcele direcționate dinspre tranziții către poziții;

C : $P \times T - \{-1, 0, 1\}$ este **funcția de incidență** ce generează matricea de incidență a rețelei $C = O - I$;

m : $P \rightarrow N$ este o marcărie al cărei *i* membru este numărul de jetoane, reprezentate grafic prin numere înscrise, în poziția *i*. m_0 este o marcărie inițială $N = \{0, 1, 2, \dots\}$.

Comportarea rețelei Petri este determinată de **regulile de admisibilitate și execuție** a tranzițiilor.

O tranziție $t \in T$ este **admisibilă** dacă $m(p) > 0$ când $I(p, t) = 1, \forall p \in P$.

O tranziție admisibilă **t** ce se poate **executa** de la marcăria m' , va produce o nouă marcărie $m(p_i) = m'(p_i) + O(p_i, t) - I(p_i, t)$ pentru $i = 1, 2, \dots, |P|$, unde $|P|$ este numărul de locuri al rețelei; Din acest motiv marcăria **m** se spune că este accesibilă pornind de la m' .

Setul de accesibilitate este setul tuturor marcărilor accesibile din m_0 și este notat prin $R(Z, m_0)$.

- O poziție **p** este **k-mărginită** dacă $\exists k \in N$, a.î. $m(p) \leq k, \forall m \in R(Z, m_0)$.
- **Z este k-mărginită** dacă **p** este k-mărginită, $\forall p \in Z$. Z este **sigură** dacă este 1-mărginită.
- Z este **viabilă** dacă există o secvență executabilă **g**, a.î. $m[g >$ activează **t**, $\forall t \in T$ și $m \in R(Z, m_0)$, unde $m[g >$ reprezintă marcajul obținut din marcajul **m** prin executarea secvenței de tranziții **g**.
- Z este **reversibilă** dacă $m_0 \in R(Z, m), \forall m \in R(Z, m_0)$.
- O rețea Petri este **consistentă** dacă există m_0 și o secvență executabilă **g** din m_0 către m_0 astfel încât orice tranziție este executată cel puțin o dată în **g**.

Consistența unei rețele Petri implică existența unei secvențe executabile ce readuce o marcărie către ea însăși prin executarea tuturor tranzițiilor din rețea. În modelarea proceselor de prelucrare aceasta înseamnă existența unei activități ciclice. Oricum, consistența nu implică în mod necesar reversibilitatea, în timp ce reversibilitatea implică consistență.

Z este conservativă dacă există un vector pondere $\omega > 0$, astfel încât

$$\sum_{p \in P} \omega(p)m(p) = K \in N, \forall m \in R(Z, m_0).$$

O rețea Petri marcată este numită strict conservativă dacă $\omega = (1, 1, \dots, 1)^T$. Dacă o rețea este strict conservativă, atunci suma tuturor jetoanelor va rămâne neschimbată pentru toate marcăriile accesibile. Astfel de rețele Petri permit modele pentru sisteme cu un număr constant de transportoare, palete, sau procese de prelucrare. Conservativitatea implică mărginirea.

Z este persistentă dacă $\forall m \in R(Z, m_0)$, o tranziție admisibilă poate fi dezactivată doar prin propria sa execuție.

Persistența unei rețele implică inexistența unui conflict în rețea. Din acest moment se poate afirma că, într-o alocare de *resursă partajată* un model de rețea persistent implică inexistența conflictelor între procese. Non-persistența unei rețele poate implica anumite grade de disproporție în alocarea resurselor într-un mediu de fabricație.

Distanța sincronă,

$$\sigma(t, t') = \max_{g \in \sum(Z)} \{ \#(g, t) - \#(g, t') \}$$

unde $\sum(Z)$ reprezintă toate secvențele executabile posibile dintr-o rețea Petri **Z** sigură și reversibilă, dată de orice marcare inițială binară și $\#(g, t)$ reprezintă numărul de execuții al tranziției **t** în secvența de execuții **g**.

$\sigma(t, t')$ este o măsură a dependenței sincrone dintre două tranziții **t** și **t'**. Dacă $\sigma(t, t') = \infty$, aceasta presupune existența disproporției din moment ce o tranziție se poate executa infinit mai mult decât cealaltă. Distanțele sincrone pot de asemenea fi folosite la obținerea informațiilor cantitative despre comportarea dinamică a unui sistem fără introducerea contorizării timpului și pot fi văzute ca ceasuri sau controlere locale într-un sistem distribuit.

Sistemul de prelucrare poate fi privit ca un set de activități ce interacționează cu un set de resurse ce se concretizează într-un produs. Activitățile sunt procesele de fabricație incluzând prelucrarea, manipularea materialelor, și procesarea informației, aferente producției. Resursele sunt personalul, mașinile, semifabricatele ș.a.m.d., ce sunt necesare pentru îndeplinirea acestor activități.

Planul procesului de producție specifică activitățile și resursele în detaliu. Acesta include relațiile de precedență și paralelism dintre activități, furnizând resursele necesare. Planul procesului tehnologic poate preciza câteva resurse alternative pentru orice activitate și poate furniza câteva priorități oricărei resurse preferate.

Rețelele Petri definite în format grafic sau matematic nu au nici un înțeles fizic. Pentru utilizarea aplicativă modelatorul trebuie să dezvolte o interpretare de domeniu prin etichetarea pozițiilor și a tranzițiilor, așa cum am prezentat în subcapitolul 1.32. În general, în modelarea cu rețele Petri, pozițiile (cercurile) reprezintă condiții iar tranzițiile (dreptunghiurile) reprezintă evenimente.

În modelarea sistemelor de prelucrare cu rețele Petri, am întrebuițat următoarele interpretări pentru poziții, tranziții și jetoane.

O poziție reprezintă o stare a unei resurse sau o operație; când este reprezentat ca o resursă, numărul inițial de jetoane poate fi ori o constantă, de exemplu, numărul mașinilor, sau o variabilă, de exemplu, numărul de jetoane reprezintă numărul paletelor existente în sistem.

Dacă o poziție reprezintă starea unei resurse, unul sau mai multe jetoane din poziție indică faptul că resursa este disponibilă iar absența acestora indică indisponibilitatea acesteia. Dacă o poziție reprezintă o operație, prezența unui jeton arată o operație în execuție, iar lipsa acestuia indică neexecutarea operației.

O tranziție reprezintă ori începutul ori sfârșitul unui eveniment sau proces de execuție.

Următorul exemplu este prezentat pentru a ilustra definițiile și interpretarea RP utilizate.

Exemplul 2.1: Se consideră o stație de transfer ilustrată în figura 10. Aceasta constă într-un AGV (vehicul ghidat automat), ce transferă două tipuri de piese (**1** și **2**) produse de două centre de prelucrare. AGV-ul transferă la depozitul de ieșire o piesă de la centrul 1 sau centrul 2. Din moment ce pornește transferul nu mai

poate fi întrerupt. De îndată ce un transfer este terminat și o altă piesă este disponibilă pentru a fi transportată, AGV-ul începe acțiunea de transport.

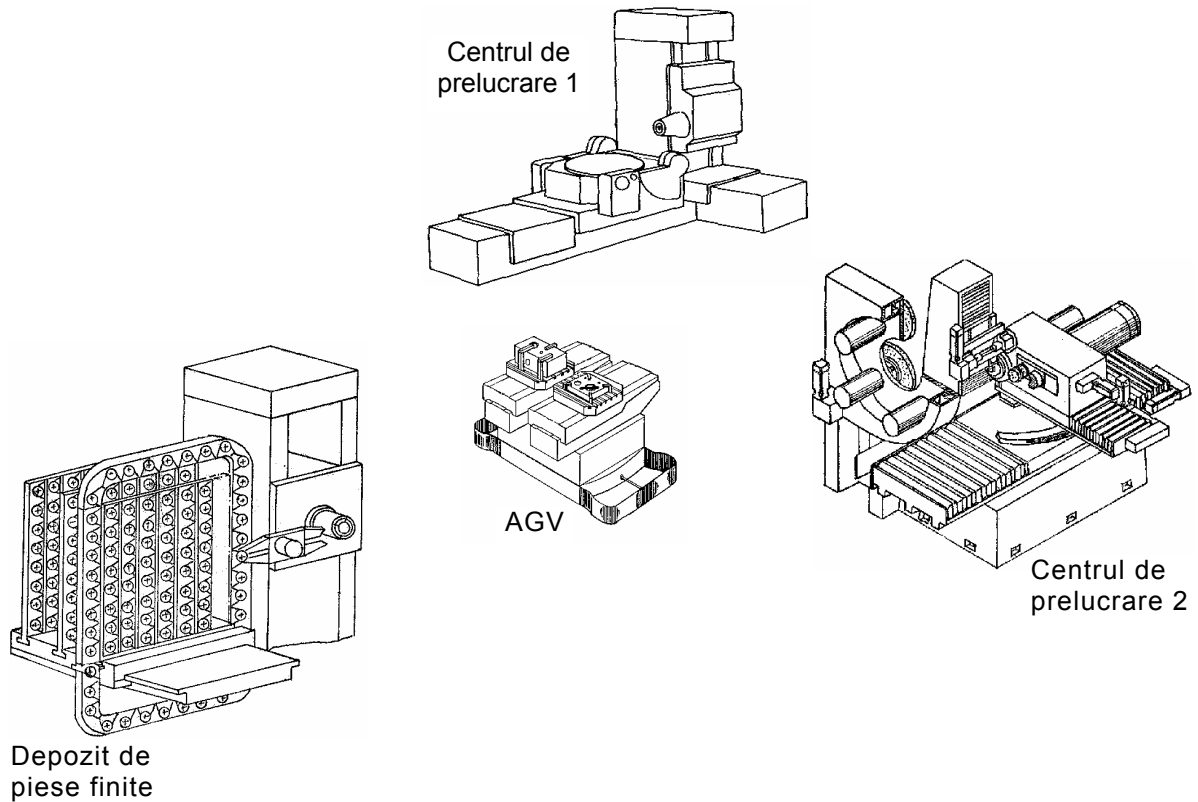


Figura 10 Celulă reconfigurabilă cu stație de transfer piese

Rețeaua Petri ce modelează funcționarea acestei stații de transfer este dată în figura 11.

Pozițiile și tranzițiile au următoarea interpretare:

- p_{v01} indică faptul că o piesă de tip **1** este disponibilă când poziția este marcată cu un jeton (nefiind disponibilă când p_{v01} nu este marcată).
- p_{v02} , în cazul marcării, indică disponibilitatea unei piese **2**, numărul jetoanelor reprezentând numărul pieselor, iar în cazul nemarcării, indică faptul lipsei disponibilității pieselor.
- p_{r01} , când este marcată, indică disponibilitatea AGV-ului de a transfera o piesă.
- Marcarea pozițiilor p_{v01} și p_{r01} reprezintă condițiile obligatorii ce trebuie să fie satisfăcute înainte de inițierea activității de transfer a AGV-ului pentru o piesă **1**.
- Aceleași cerințe trebuie respectate și în cazul pozițiilor p_{v02} și p_{r01} în raport cu condițiile pentru activitatea de transfer a unei piese **2** de către AGV.
- p_{o01} și p_{o02} modelează starea activităților de transfer, când sunt marcate indică producerea activității de transfer a pieselor **1**, respectiv **2**, de către AGV.
- t_{o01} și t_{o03} , reprezintă evenimentele de pornire/oprire pentru activitatea de transfer a piesei **1**, în timp ce t_{o02} și t_{o04} reprezintă aceleași evenimente pentru activitatea de transfer a piesei **2**.

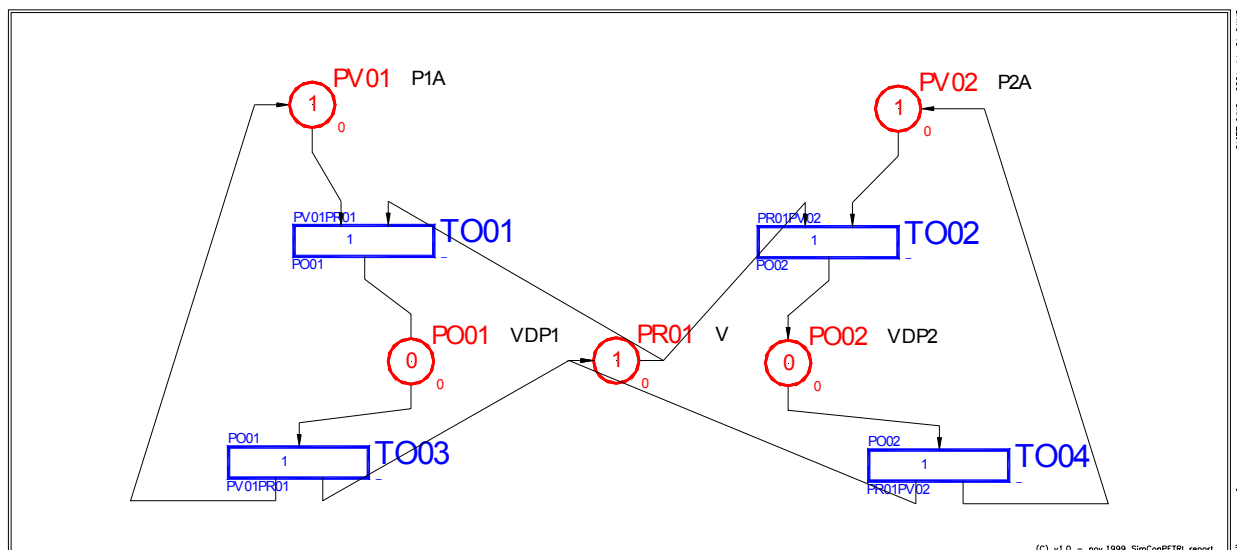


Figura 11: Model de rețea Petri pentru o stație de transfer piese (P1A/P2A = piesă de tip 1/2 disponibilă; VD1P/UDP2 = AGV deplasează piesa de tip 1/2; V 0 AGV)

Pentru această rețea Petri, $P = \{p_{v01}, p_{v02}, p_{o01}, p_{o02}, p_{r01}\}$, $T = \{t_{o01}, t_{o02}, t_{o03}, t_{o04}\}$, funcția de intrare și ieșire fiind:

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad O = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Rețea Petri din figura 11 are marcarea inițială :

$$m_0 = (1, 1, 0, 0, 1)^T$$

unde exponentul T denotă operația transpusă.

Cu această marcarea, ambele tranziții t_{o01} și t_{o02} sunt admisibile. Dacă t_{o01} se execută, marcarea $m_1 = (0, 1, 1, 0, 0)^T$ este atinsă. Dacă t_{o02} se execută, marcarea $m_2 = (1, 0, 0, 1, 0)^T$ este atinsă.

Rețeaua nu este strict conservativă din moment ce:

$$\sum_{p \in P} m_0(p) = 3 \neq 2 = \sum_{p \in P} m_1(p).$$

Cu $\omega = (1, 1, 2, 2, 1)^T$, rețeaua este conservativă.

Rețeaua nu este persistentă din moment ce execuția lui t_{o01} poate dezactiva admisibilitatea tranziției t_{o02} . Este evident faptul că secvența $t_{o01}t_{o03}$ se poate executa la infinit fără execuția oricăror altor tranziții. Deci, distanța sincronă dintre t_{o01} și t_{o02} este:

$$\sigma(t_{o01}, t_{o02}) = \infty.$$

Similar, avem

$$\sigma(t_{o02}, t_{o01}) = \infty$$

și

$$\sigma(t_{001}, t_{003}) = 1$$

ceea ce implică faptul că t_{001} nu se poate executa mai mult decât o dată fără execuția lui t_{003} .

Distanța infinită dintre t_{001} și t_{002} implică faptul că rețeaua poate întotdeauna executa t_{001} fără execuția lui t_{002} . Aceasta înseamnă că resursa partajată, de exemplu AGV-ul, poate întotdeauna fi folosit pentru a transfera numai piesele de tip 1 din exemplul dat.

2.2. Metodologia de proiectare a modelului

Metodologia de modelare este foarte importantă în aplicațiile de modelare cu rețele Petri în cadrul sistemelor de fabricație. Așa cum am prezentat anterior, specificația pentru un sistem de prelucrare poate fi considerată ca un set de resurse, de operații, și respectivele lor relații/legături de precedență și paralelism. Următoarea metodă folosește această specificație pentru a crea un model cu rețea Petri al sistemului.

1. Identificarea activităților și resurselor necesare prelucrării unui produs.
2. Ordonarea activităților după legăturile de precedență și paralelism, descrise în planurile de proces.
3. Pentru fiecare activitate în ordine:
 - se creează și se etichetează o poziție pentru reprezentarea stărilor acelei activități;
 - se adaugă o tranziție care modelează începutul activității(lor) cu arc(e) de ieșire către poziția(ile) activităților;
 - se adaugă o tranziție care modelează sfârșitul activității(lor) cu arc(e) de intrare dinspre poziția(ile) activităților.

În general, tranziția de oprire pentru o activitate va fi aceeași cu cea pentru începerea activității următoare.

Când rețeaua este executată, un jeton din poziția care modelează activitatea va indica faptul că activitatea este în curs de desfășurare. Multiple jetoane vor indica multitudinea de activități în desfășurare, de exemplu, într-o poziție buffer, două jetoane ar putea reprezenta două piese stocate în același timp. Execuția tranziției de start reprezintă începerea activității sau a procesului, iar execuția tranziției finale reprezintă încheierea activității curente și poate de asemenea reprezenta demararea activității următoare.

Pentru fiecare activitate, în ordine, se creează și denumește o poziție corespunzătoare fiecărei resurse ce trebuie să fie disponibilă pentru lansarea activității, dacă o astfel de poziție nu a fost deja creată. Conectează toate pozițiile ce modelează condițiile de disponibilitate partajate cu arce astfel încât fiecare să intre în tranziția de start a activității respective. Se creează arce de ieșire pentru conectarea tranzițiilor de oprire/stop urmărind activitatea oricăror poziții de resurse reprezentând resurse ce vor deveni disponibile după finalizarea activității.

5. Se specifică marcarea inițială pentru sistem.

Exemplul 2.2: Pentru ilustrarea metodologiei de modelare, se consideră un sistem simplu de prelucrare prezentat în figura 12.a.

Acesta constă din două mașini M_1 și M_2 , un robot partajat, R , pentru operația de descărcare a centrelor de prelucrare și un buffer, B , pentru stocarea pieselor intermediare.

Planul proceselor de prelucrare pentru fiecare piesă este următorul: piesa trebuie prelucrată de M_1 , și apoi de către M_2 . Fiecare piesă introdusă în sistem și M_1 este în mod automat fixată pe o paletă și încărcată în mașină. După prelucrare, robotul descarcă piesa intermediară de pe M_1 în buffer-ul **B**. La mașina M_2 piesele intermediare sunt încărcate automat pe aceasta și apoi sunt prelucrate. Când M_2 încheie prelucrarea piesei, robotul **R** descarcă produsul final la centrul de fixare/defixare a pieselor pe/de pe palete.

Se presupune faptul că piesele de intrare sunt disponibile întotdeauna pentru a fi fixate iar produsele finite sunt defixate de pe palete.

Urmând metodologia:

1. Activitățile cerute sunt prelucrarea (încărcarea și prelucrarea), stocarea (depozitarea) și descărcarea. Resursele sunt M_1 , M_2 , **R**, **B**, paletele și piesele.
2. Ordinea activităților este următoarea:
 - P_{001} – M_1L : M_1 încarcă și prelucrează o piesă brută.
 - P_{002} – $RUPM1$: **R** descarcă o piesă intermediară de pe centrul de prelucrare către buffer.
 - P_{101} - **BS**: Buffer-ul stochează o piesă intermediară.
 - P_{003} – M_2L : M_2 încarcă și prelucrează o piesă intermediară.
 - P_{004} – $RUPM2$: **R** descarcă un produs finit din M_2 .

Conform prezentării din figura 12, pozițiile p_{001} – M_1L , p_{002} – $RUPM1$, p_{101} - **BS**, p_{003} – M_2L , și p_{004} – $RUPM2$ sunt create pentru a modela secvența de

activități în cazul unei piese. Tranziția t_{001} modelează începutul activității p_{001} – M_1L ; t_{002} modelează încetarea activității p_{001} – M_1L și demararea activității p_{002} – $RUPM1$; t_{003} , modelează oprirea p_{002} – $RUPM1$ și startul activității de stocare p_{101} - **BS**; t_{004} , modelează oprirea p_{101} - **BS** și startul activității p_{003} – M_2L . Similar, t_{005} modelează sfârșitul activității p_{003} – M_2L și startul p_{004} – $RUPM2$ iar t_{006} , oprirea p_{004} – $RUPM2$.

Pentru activitatea p_{001} – M_1L se cere o paletă și disponibilitatea mașinii M_1 . Figura 2.3 prezintă modelul de rețea Petri cu poziția p_{V01} - **PA** reprezentând disponibilitatea paletelor, poziția p_{R01} – M_1A reprezentând disponibilitatea mașinii 1. Fiecare are un arc de intrare către tranziția t_{001} . În continuare se consideră t_{002} ca tranziție de stop pentru activitatea p_{001} – M_1L . Când activitatea de prelucrare s-a terminat, nici o resursă nu poate fi eliberată din moment ce mașina trebuie descărcată înainte de a deveni disponibilă.

Considerând t_{002} ca fiind începutul activității robotului de descărcare a mașinii 1, p_{002} - $RUPM1$, singura resursă adițională cerută este robotul **R**. Aceasta este modelată de poziția p_{R03} - **RA** reprezentând robotul disponibil și arcul de intrare dinspre p_{R03} - **RA** către t_{002} . Având t_{003} ca tranziție de sfârșit a activității p_{002} – $RUPM1$ eliberarea lui M_1 poate fi modelată ca un arc de ieșire din t_{003} către p_{R01} – M_1A iar eliberarea lui **R** cu un arc de ieșire din t_{003} către p_{R03} - **RA**.

În continuare, se consideră activitatea p_{101} - **BS** a buffer-ului. Pentru posibilitatea stocării pieselor intermediare în buffer, trebuie să existe în buffer spații libere pentru aceasta. Cazul este modelat de poziția p_{V02} - **BA** unde numărul jetoanelor indică numărul spațiilor goale iar arcul dintre p_{V02} - **BA** și t_{003} considerată tranziția de start a p_{101} - **BS**. Finalizarea activității buffer-ului pentru o

piesă și eliberarea unui spațiu gol este reprezentată de tranziția t_{004} și de arcul dintre t_{004} și p_{v02} - BA.

Activitățile și resursele pentru p_{003} - M2L și p_{004} - RUPM2 sunt modelate în mod asemănător cu cele pentru p_{001} - M1L și p_{002} - RUPM1 cu excepția arcului de ieșire din t_{006} către poziția p_{v01} - PA.

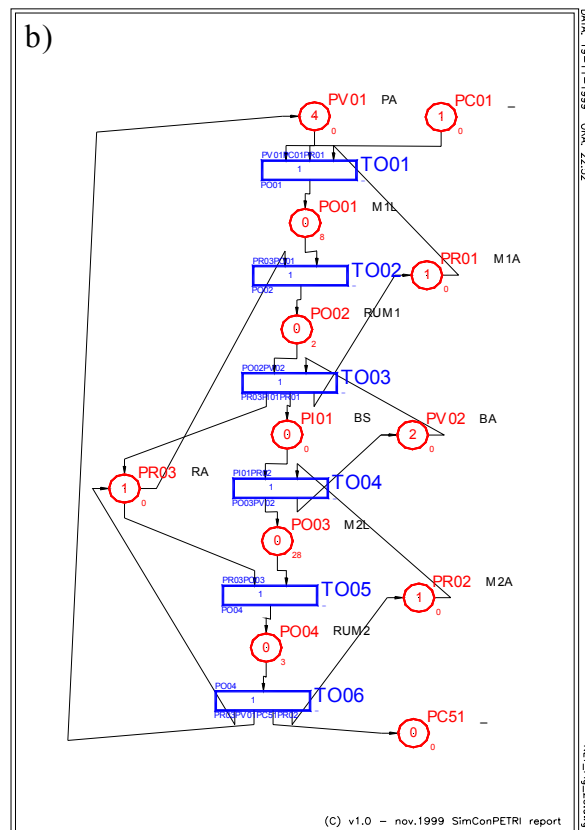
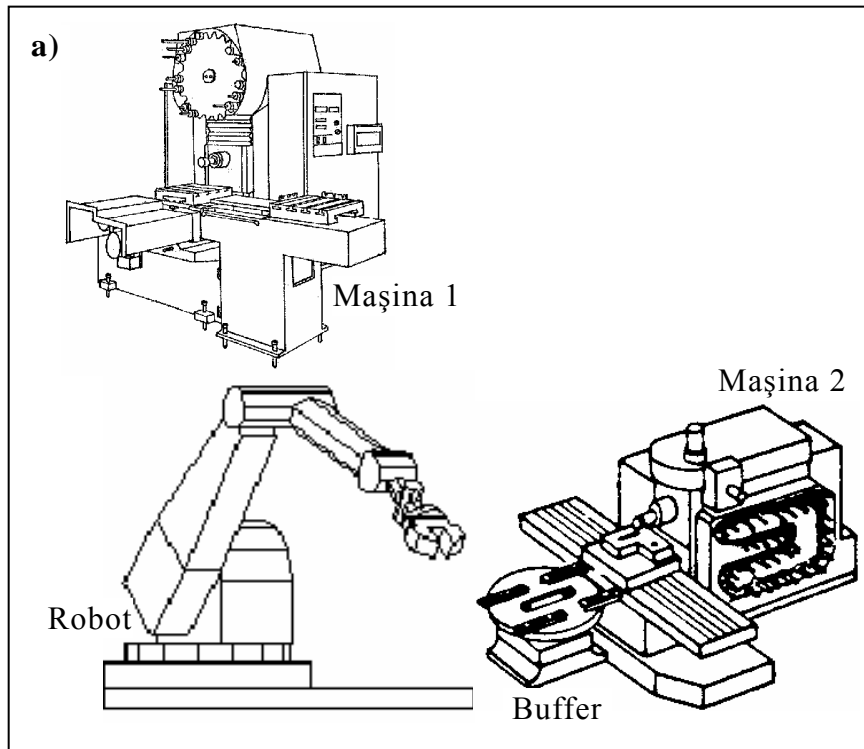


Figura 12: Sistem reconfigurabil cu două centre, un buffer și un robot:
 a) Structura organizatorică;
 b) Rețeaua Petri asociată sistemului.

Aceasta reprezintă revenirea unei palete goale după descărcarea lui M_2 și defixarea produsului.

Marcarea inițială este impusă pentru startarea sistemului. Există patru palete disponibile pentru piese, indicate de jetoanele din poziția p_{V01} - PA în figura 12; resursele (mașinile de prelucrare împreună cu robotul) au disponibilitatea confirmată de prezența a câte un jeton în pozițiile p_{R01} - M_1A , p_{R02} - M_2A , și p_{R03} - RA, respectiv. Există două locuri libere în buffer pentru stocarea pieselor intermediare deci marcajul poziției p_{V02} - BA este 2. De notat faptul că pentru această marcăre inițială doar tranziția t_{001} este admisibilă.

Este interesant de observat comportarea sistemului modelat în această manieră. Dacă secvența $t_{001}, t_{002}, t_{003}, t_{004}, t_{001}, t_{002}, t_{003}, t_{001}, t_{002}, t_{003}, t_{001}, t_{002}$ este executată sistemul se va bloca. În această situație, o piesă se află în timpul prelucrării pe M_2 , două piese se află în buffer-ul intermediar iar robotul a preluat o piesă prelucrată de pe M_1 . Robotul nu are unde depune piesa prelucrată pe M_1 , deoarece buffer-ul este ocupat iar M_2 nu poate fi descărcată pentru că robotul este ocupat. Desigur, cu un astfel de sistem simplu, este ușor de identificat posibilitatea blocării și prevenirea ei prin schimbarea structurii sistemului sau a marcării inițiale a rețelei. Acest exemplu oferă o motivație pentru a găsi proceduri de sinteză sistematică ce vor conserva proprietățile sistemelor ca viabilitatea, mărginirea și reversibilitatea.

2.3. Interpretarea proprietăților rețelelor Petri în modelarea sistemelor de fabricație

Unul din avantajele majore ale rețelelor Petri este abilitatea de analizare a lor cu implicații asupra proprietăților corespunzătoare controlului sistemelor de prelucrare. Aceste proprietăți includ mărginirea sau siguranța, viabilitatea, și reversibilitatea. Semnificația acestora pentru sistemele de fabricație este următoarea:

1. **Mărginirea sau siguranța** implică absența posibilității de supraîncărcare. De exemplu, ar putea fi buffere sau dispozitive de stocare ce au capacitate limitată. Mărginirea unei poziții care modelează un buffer sau depozit asigură faptul de a nu fi supraîncărcate. Siguranța este un caz special de 1-mărginire. De exemplu, siguranța unei poziții operaționale garantează inexistența unei alte cereri de execuție a unui proces aflat în derulare. Siguranța unei poziții resursă indică disponibilitatea resursei pentru o singură operație la un anumit moment și este folosită adesea pentru a garanta siguranța unor poziții operaționale corespunzătoare.
2. Pentru ilustrare, poziția p_{R01} - M_1A din figura 12 reprezintă disponibilitatea mașinii 1 în timp ce marcarea sa inițială garantează faptul că pozițiile p_{001} - $M1L$ și p_{002} - RUPM1 sunt sigure, adică, nu vom avea mai mult de un jeton, ceea ce înseamnă că mașina nu va avea mai mult de o piesă, la fiecare prelucrare. Similar, marcarea poziției p_{002} - BA indică numărul spațiilor buffer disponibile iar marcarea sa inițială indică faptul ca poziția p_{I01} - BS este mărginită, adică buffer-ul nu va avea niciodată mai mult de două piese.
3. **Viabilitatea** implică absența blocărilor. Această proprietate garantează funcționarea producției sistemului în condiții optime. În plus, aceasta asigură faptul că toate procesele modelate se pot derula. Pentru exemplul anterior, marcarea anterioară poate cauza o interblocare așa cum s-a discutat anterior. Totuși, dacă marcarea inițială este schimbată pentru a avea trei

jetoane în poziția p_{V01} - PA , atunci sistemul este viabil. După executarea secvenței de tranziții t_{001} , t_{002} , t_{003} , t_{004} , t_{001} , t_{002} , t_{003} , t_{001} , t_{002} , t_{003} , o piesă paletată se află în prelucrare pe M_2 , două piese paletată se află stocate în buffer, tranziția t_{001} nu va fi accesibilă pentru că nu mai sunt palete disponibile ($m(p_{V01}) = 0$), tranziția t_{002} nu se va mai putea executa, robotul rămânând disponibil pentru a descărca M_2 când termină de prelucrat.

4. **Reversibilitatea** implică o comportare ciclică a sistemului. Aceasta înseamnă că sistemul poate fi inițializat, obținându-se marcajul inițial, din orice stare posibilă. Reversibilitatea are de asemenea implicații pentru redresarea erorii în cadrul sistemelor de prelucrare.

2.4. Clasificarea pozițiilor și tranzițiilor

După cum s-a prezentat, o poziție poate modela operații (de prelucrare, transport, manipulare, etc.), resurse fixe (centre de prelucrare, AGV-uri, roboți), resurse variabile (palete, piese, buffere) sau condiții impuse desfășurării operațiilor. Pentru sistematizarea tuturor cazurilor întâlnite în funcționarea sistemelor de prelucrare, se face următoarea clasificare.

O operație poate fi divizată în diferite suboperații, iar poziția ce modelează operația respectivă poate fi înlocuită de o sub rețea în modelul de rețea Petri. Un jeton în poziția operației implică faptul că operația din poziție este executată. Fiecare poziție a unei operații ar trebui să fie sigură în modelul de rețea Petri deoarece aceeași operație nu va putea niciodată fi executată mai mult de o dată la același moment de timp pe aceeași mașină. În această lucrare, pozițiile operațiilor sunt denumite **O-poziii** (P_O).

Una sau mai multe jetoane într-o poziție resursă semnifică faptul că resursa corespunzătoare este disponibilă, numărul jetoanelor indicând cantitatea. Conform discuției anterioare, resursele pot fi divizate în două clase. Prima reprezintă resursele al căror număr este fixat în planificarea proiectării, cum ar fi roboții, mașinile și transportoarele. Aceste poziții resursă sunt denumite **R-poziii** (P_R), în cadrul acestei lucrări.

A doua clasă de resurse se constituie într-un număr variabil, de exemplu, palete, armări, și piese sau sarcini pentru a fi prelucrate.

Fiecare operație în general necesită ambele tipuri de resurse. A doua clasă de resurse joacă un rol special în cadrul mediului partajării resurselor. În această lucrare acestea sunt denumite **V-poziii** (P_V). Numărul acestora trebuie determinat astfel încât sistemul să nu poată deveni nici blocat și nici să funcționeze în gol (subcapacitare).

Exemplul 2.3: Pentru sistemul discutat în exemplul 10 și rețeaua Petri prezentată în figura 2.2, pozițiile pot fi divizate în trei grupe conform celor prezentate anterior.

1. O-poziii:

$$P_O = \{p_{001} - VDPF, p_{002} - VDP6\}.$$

2. R-poziii:

$$P_R = \{p_{R01} - V\}.$$

3. V-poziii:

$$P_V = \{p_{V01} - PFA, p_{V02} - P6A\}.$$

Un alt tip sunt pozițiile intermediare, denumite **I-poziii** ce pot modela operații ce implică un număr variabil de resurse, cum ar fi operațiile de stocare în buffere sau depozite, ori pentru a ușura menținerea unor proprietăți de

comportament a modelelor sistemelor de prelucrare. Nu trebuie confundate **I-pozitiile** care sunt un tip de modelare a evenimentelor din sistemul de prelucrare cu mulțimea de poziții de intrare în tranziții determinată de funcția I.

Așa cum s-a prezentat în Capitolul 1, sistemul de prelucrare modelat la un moment dat poate face parte dintr-un sistem de ordin superior, el devenind în acest caz subsistem de prelucrare. Pentru a se da posibilitatea ordonanțării activităților subsistemelor se introduce un alt tip de poziții, denumite **C-poziii**, care modelează informația de control necesară ordonanțării. De obicei se introduce o poziție de control la intrarea primei tranziții a subsistemului pentru comanda începerii activității acestuia și contorizarea numărului de cicluri comandate și o poziție de control la ieșirea tranziției de sfârșit al ultimei operații pentru a controla și contoriza ciclurile de activități ale subsistemului corespunzătoare fiecărui tip de piesă prelucrată în sistem.

Exemplul 2.4: Pentru sistemul discutat în secțiunile anterioare și rețeaua Petri prezentată în figura 12, pozițiile pot fi divizate în următoarele grupe.

1. O-poziii:

$$P_O = \{p_{o01} - M1L, p_{o02} - RUM1, p_{o03} - M2L, p_{o04} - RUM2\}.$$

2. R-poziii:

$$P_R = \{p_{R03} - RA, p_{R01} - M_1A, p_{R02} - M_2A\}.$$

3. V-poziii:

$$P_V = \{p_{V01} - PA, p_{V02} - BA\}.$$

4. I-poziii:

$$P_I = \{p_{I01} - BS\}.$$

5. C-poziii

$$P_C = \{p_{C01}, p_{C51}\}.$$

În implementarea unui controler ce are la bază modelul de rețea Petri (controler RP) pentru un sistem de prelucrare în timp real, necesitățile de timp trebuie satisfăcute. Așadar, este necesar a se introduce o variabilă de timp într-o rețea Petri. Timpul este cerut în pozițiile de operare care reprezintă procesele sau operațiile.

Pentru a redresa stările anormale, care pot apare în timpul funcționării sistemului folosind controler RP Petri, definesc următoarele:

$\varepsilon : P_0 \rightarrow N = \{0,1,\dots\}$ este numită **funcția de informare a erorii** (numită și funcția ε);

$\tau : P_0 \rightarrow R^+ = \{x, x \text{ este un număr real non-negativ}\}$ și $\tau(p)$ (numită **funcția τ**) este timpul scurs într-o poziție p din P_0 (durata operației modelată de poziția p);

$\tau_{\max} : P_0 \rightarrow R^+$, funcția de referință a timpului maxim de execuție, $\tau_{\max}(p)$ este timpul maxim admisibil pentru operația modelată de locul p .

Acestea sunt explicate după cum urmează.

Dacă timpul scurs $\tau(p)$ depășește $\tau_{\max}(p)$, $p \in P_0$ unde $\tau_{\max}(p)$ este timpul maxim în care un jeton poate sta într-o poziție p , $\tau(p) > \tau_{\max}(p)$, implică faptul că o eroare se poate să fi apărut în sistem, așa că, mecanismul de diagnosticare a erorilor va fi declanșat.

Funcția de informare a erorii $\varepsilon(p) \forall p \in P_0$ va avea valorile:

$\varepsilon(p) = 0$: procesul sau starea ce reprezintă poziția p este în execuție, dacă $\tau(p) \leq \tau_{\max}(p)$; altfel, nu; (aceasta implică posibilitatea apariției unei erori).

$\varepsilon(p) = 1$: determină evoluția normală a rețelei Petri are loc, dacă există cel puțin un jeton în poziția p ; inițial, $\varepsilon(p) = 1, \forall p$, în controlerul Petri.

$\varepsilon(p) = 2$: determină declanșarea mecanismului de diagnosticare a erorilor pentru că s-a depășit timpul maxim admisibil de execuție a operației modelate de poziția p ($\tau(p) \geq \tau_{\max}$).

$\varepsilon(p) \geq 3$: eroarea este corectată prin execuția unei părți speciale a controlerului Petri.

Clasificarea tranzițiilor

Tranzițiile ce reprezintă începutul sau sfârșitul unei operații se denumesc **O-tranziții** (T_O).

Tranzițiile ce declanșează subrețelele pentru tratarea erorilor se denumesc **E-tranziții** (T_E).

Se definește funcția $\varepsilon_0 : T \rightarrow N$ funcția de referință a erorii; $\varepsilon_0(t) = 1$ dacă $T_O \cup T_I$; $\varepsilon_t \geq 3$ dacă $t \in T_E$ denumită și funcția de referință a erorii de declanșare – se asociază fiecărei tranziții un tip de eroare; atunci când funcția de eroare a poziției de intrare este egală cu tipul de eroare se declanșează executarea tranziției.

Pentru a ușura menținerea unor proprietăți de comportament a modelelor sistemelor de prelucrare se introduce și tipul **I-tranziții** (tranziții intermediare = T_I).

1. O tranziție este admisibilă, dacă și numai dacă $m(p) > 1$ și, se respectă condițiile impuse de $\varepsilon(p)$ și $\tau(p)$, pentru fiecare p – poziție de intrare în tranziție ($p \in I$).
2. Dacă o tranziție $t \in T'$ este executată atunci: $m'(p) = m(p) + O(p,t) - I(p,t)$, pentru fiecare poziție de ieșire a tranziției t și $\varepsilon(p) = 0, \tau(p) = 0$, pentru fiecare poziție operațională de ieșire a tranziției t . $\tau(p) = 0$ are semnificația declanșării contorizării timpului aferent operației modelate de poziția p . $\varepsilon'(p) = 0$ reprezintă inițializarea funcției de informare a erorii.

Unde $m'(p)$ este marcajul poziției p obținut în urma executării tranziției t ; $m(p)$ este marcajul poziției p înaintea executării tranziției t .

2.5. Alte definiții și prezumții corespunzătoare

În conformitate cu definițiile și proprietățile rețelelor Petri prezentate anterior, următoarele concepte și prezumții sunt utile pentru abordările ce vor urma a fi prezentate.

Fiind dată o rețea Petri $Z = (P, T, I, O, m_0)$ se definesc:

- **un nod** este ori o poziție aparținând mulțimii P ori o tranziție aparținând mulțimii T .

- **un drum elementar** notat cu $DE(x_1, x_n)$ este o secvență de noduri $x_1 x_2 \dots x_n$, $n > 1$, astfel încât:

- există un arc (x_i, x_{i+1}) pentru $i \in N_{n-1}$;
- și când $x_i = x_j$ implică $i = j, \forall i, j \in N_n$.

- **un circuit elementar** notat cu $CE(x)$ este o secvență de noduri $x_1 x_2 \dots x_n$, $n > 1$ astfel încât dacă $x_i = x_j, 1 \leq i < j \leq n$, implică $i = 1, j = 1$.

- **un O-drum** între x și y este definit ca un drum elementar dintre x și y , ale cărui noduri cu excepția lui x și y sunt O-poziii, I- poziii sau O- tranziții ($P = P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I$; $T = T_O \cup T_I$)

Pentru conveniență, $DE(x_1, x_n)$ este considerat un set de noduri, adică, $\{x_1x_2\dots x_n\}$. $CE(x)$ este de asemeni tratat ca un set. Din acest motiv, $x \in DE(x_1, x_n)$ înseamnă că x este un nod pe un drum elementar între x_1 și x_n . Sunt date $x, y \in P \cup T$, $DE(x, y)$ poate reprezenta orice drum elementar sau un set de drumuri elementare între x și y în contexte particulare și pot fi utilizate ca set. Dacă nu există nici un astfel de drum între x și y , atunci se poate spune că $DE(x, y) = \emptyset$. De asemenea, $DE(x, y) = \{x' : \exists y \in Y, DE(x, y), \text{ a.î. } x' \in DE(x, y)\}$ dacă $Y \subset P \cup T$, adică, $DE(x, y)$ este setul tuturor nodurilor drumurilor elementare dintre nodul x și setul y .

Un O-drum începând și sfârșind cu tranziții conține doar poziții de tip **O** (O-poziii) nemarcate inițial. În sistemului de prelucrare, acesta poate reprezenta o serie de operații ce pot fi necesare pentru realizarea anumitor tipuri de sarcini.

Exemplul 2.5: Pentru rețeaua Petri descrisă în figura 11, avem următoarele drumuri elementare și circuite:

$$DE(p_{V01}, t_{003}) = p_{V01}t_{001}p_{001}t_{003} \text{ sau } \{p_{V01}, t_{001}, p_{001}, t_{003}\}$$

$$DE(t_{001}, t_{002}) = t_{001}p_{001}t_{003}p_{V01}t_{002} \text{ sau } \{t_{001}, p_{001}, t_{003}, p_{R01}, t_{002}\}$$

$$\begin{aligned} DE(\{p_{V01}, p_{V02}\}, t_{003}) &= DE(p_{V01}, t_{003}) \cup DE(p_{V02}, t_{003}) \\ &= \{p_{V01}, t_{001}, p_{001}, t_{003}\} \cup \{p_{V02}, t_{002}, p_{002}, t_{004}, p_{R01}, t_{001}, p_{001}, t_{003}\} \\ &= \{p_{V01}, t_{001}, p_{001}, t_{003}, p_{V02}, t_{002}, p_{002}, t_{004}, p_{R01}\}. \end{aligned}$$

Sunt două circuite elementare ce încep și sfârșesc cu t_{001} , adică,

$$CE(t_{001}) = \{t_{001}p_{001}t_{003}p_{V01}t_{001}, t_{001}p_{001}t_{003}p_{R01}t_{001}\} \text{ sau } \{t_{001}, p_{001}, t_{003}, p_{V01}, p_{R01}\}.$$

De asemenea, sunt două circuite elementare în jurul lui p_{R01} , adică,

$$CE(p_{R01}) = \{p_{R01}t_{001}p_{001}t_{003}p_{R01}, p_{R01}t_{002}p_{002}t_{004}p_{R01}\} \text{ sau, } \\ \{p_{R01}, t_{001}, p_{001}, t_{003}, t_{002}, p_{002}, t_{004}\}.$$

Se presupune că pozițiile sunt clasificate în O, R, V și I-poziii potrivit exemplului 2.3. Conform definiției unui O-drum, $DE(p_{V01}, t_{003})$ este de asemenea un O-drum. Nu există nici un O-drum între t_{001} și t_{002} , dar există un drum elementar.

R-poziiiile și V-poziiiile modelează disponibilitatea resurselor necesare pentru începerea anumitor operații. Pentru a nu se putea uita introducerea unei astfel de poziție în rețea, în timpul proiectării, următoarea prezumție este făcută pentru clasificarea pozițiilor.

Prezumția 2.1 Fiind dată o rețea Petri $Z = (P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I, T, I, O, m_0)$, unde $P_O, P_R,$ și P_V sunt seturile mutual separate de O-poziii, R-poziii, V-poziii și respectiv I-poziii, tranzițiile de ieșire ale poziției p' ce aparține mulțimii $P_R \cup$

P_V sunt permanent inadmisibile, $\forall p' \in P_R \cup P_V$ și $\forall m \in R(Z, m_0)$ dacă marcarea inițială $m_0(p') = 0$ și

$$m_0(p) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } p \in P_O \\ \geq 1 & \text{dacă } p \in P_R \cup P_V - \{p'\} \end{cases}$$

Prezumția este necesară pentru formularea conceptelor excluderii mutuale prezentate în următoarele două capitole.

Introduc următorul exemplu cu rol de comentariu asupra prezumției 2.1.

Exemplul 2.6: Se consideră stația de transfer descrisă în figura 10 și modelul de rețea Petri corespunzător acesteia, din figura 11. Avem setul pozițiilor de operații $P_O = \{p_{001}, p_{002}\}$, setul pozițiilor resursă fixate $P_R = \{p_{R01}\}$, și setul pozițiilor resursă variabile $P_V = \{p_{V01}, p_{V02}\}$, conform celor indicate în exemplul 2.1. P_R și P_V satisfac în mod evident prezumția anterioară. De observat faptul că rețeaua este mărginită, viabilă, și reversibilă oricând există inițial jetoane în pozițiile p_{V01} , p_{V02} , și p_{R01} . Se observă ușor faptul că p_{001} nu poate fi o R-poziție pentru că nu îndeplinește prezumția 2.1.

Marcările inițiale vor avea următoarele valori:

$$m_0(p) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } p \in P_O \text{ sau } P_I \\ \text{constantă} (\geq 1) & \text{dacă } p \in P_R \\ \text{variabilă} (\geq 1) & \text{dacă } p \in P_V \end{cases}$$

Doar V-pozițiile au permisiunea de a avea un număr variabil de jetoane inițiale.

Spunem că o marcarea inițială m_0 este realizabilă dacă și numai dacă rețeaua Petri marcată $Z = (P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I, T, I, O, m_0)$ este mărginită, viabilă, și reversibilă. Din acest motiv găsirea unei marcare inițiale posibile a unei structuri de rețea Petri cu $(P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I, T, I, O)$ este echivalent cu găsirea $m_0(p) \in \mathbb{N}^+$, $p \in P_V$ astfel încât $(P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I, T, I, O, m_0)$ este mărginită, viabilă, și reversibilă unde $\mathbb{N}^+ = \{1, 2, 3, \dots\}$.

În continuare, se presupune faptul că jetoanele oricăror două sau mai multor poziții resursă, adică, R și V-poziții se pot deplasa într-o poziție comună prin intermediul aceleiași tranziții. Această situație este adevărată în cazul sistemelor de fabricație deoarece fiecare poziție resursă este folosită pentru modelarea disponibilității mașinilor, roboților, semifabricatelor, sau paletelor, și dacă două jetoane reprezintă două lucruri diferite în diferite poziții, acestea nu pot fi combinate în aceeași poziție ce ar putea reprezenta o anumită operație. Jetoanele pot reprezenta diferite conținuturi, deplasarea lor către o poziție identică se poate face prin intermediul unei tranziții comune, adică, prin sincronizarea operațiilor. O astfel de sincronizare poate demara o operație, de exemplu, fixarea semifabricatului și prelucrarea unei piese. Pentru acest motiv, se va formula următoarea prezumție.

Prezumția 2.2 Fiind dată o rețea Petri Z , $p_1, p_2 \in P_R \cup P_V$, $t \in T$, dacă $p_1 \neq p_2$, și dacă $\exists DE(p_1, t)$ și $DE(p_2, t)$ ce sunt O-drumuri, atunci prima lor intersecție se realizează într-o tranziție.

De notat faptul că prima intersecție a două drumuri $a_1a_2..a_n$ și $b_1b_2..b_m$ are loc la $a_i = b_j$, $i \leq n$, $j \leq m$ dacă $a_u \neq b_v$, $0 < u < i$ și $0 < v < j$. În plus se pot găsi cu ușurință exemple pentru ilustrarea faptului că prezumția 2.1 nu implică prezumția 2.2 și viceversa.

Pentru două V-poziii p_{V01} și p_{V02} din rețeaua Petri discutată în figura 11, există o tranziție să spunem t_{003} , astfel încât $DE(p_{V01}, t_{003})$ și $DE(p_{V02}, t_{003})$ să existe. Prima lor intersecție are loc la tranziția t_{001} . De notat faptul că $DE(p_{V02}, t_{003})$ nu este un O-drum. În mod evident, p_{V01} , p_{V02} , și p_{R01} satisfac prezumția 2.2 din moment ce O-drumurile corespunzătoare acestora ori se intersectează la poziția resursă, adică, $p_{R01}t_{001}$ $p_{R01}t_3$ și $p_{R01}t_{002}p_{002}t_4$, ori nu se intersectează niciodată, adică, $p_{V01}t_1$ $p_{R01}t_{003}$ și $p_{V02}t_{002}$ $p_{002}t_{004}$.

În reprezentarea grafică a pozițiilor și tranzițiilor s-au adăugat câmpuri suplimentare cu informații aceste câmpuri sunt arătate în figura 13 ce reprezintă o porțiune din rețeaua din figura 12,b.

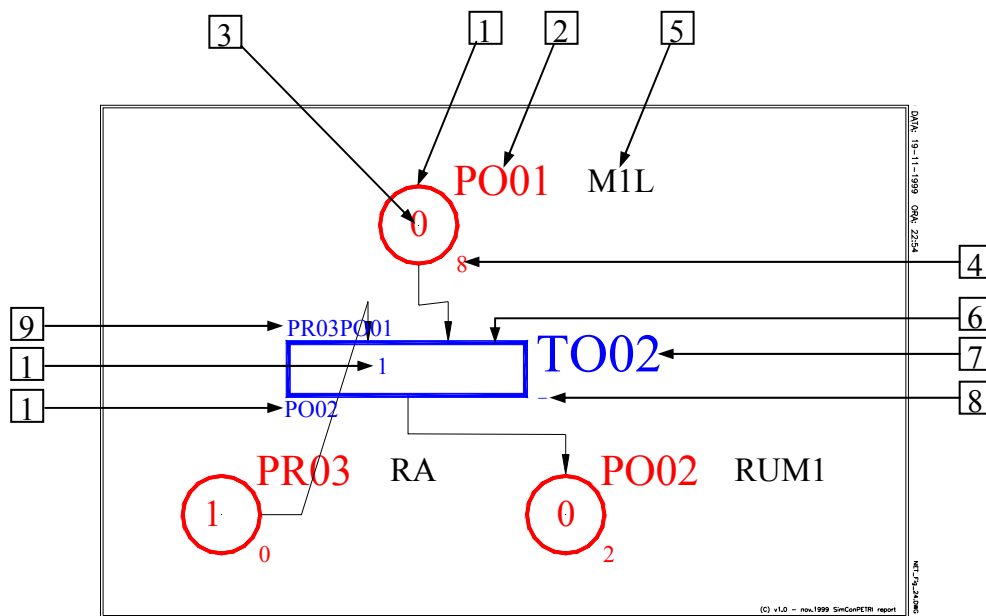


Figura 13. Semnificația câmpurilor reprezentării grafice a pozițiilor și tranzițiilor

Explicitarea figurii 13 este următoarea:

- 1 - reprezentarea grafică a poziției = cerc;
- 2 - denumirea poziției (identificatorul poziției);
- 3 - marcajul inițial al poziției;
- 4 – timpul maxim admisibil executării operației modelate de poziție (τ_{max});
- 5 – interpretarea poziției – am adoptat următoarea formă gramaticală în definirea interpretărilor:

a) poziții operaționale (P_O): subiect, predicat [complement 1], [complement 2], ... unde [complement 1], [complement 2] sunt opționale în funcție de context.

- în exemplul 2.2 M1L are semnificația că operația ce este modelată de P_{001} este „mașina 1 prelucrează”;

- se poate întâlni în modelare următoarea interpretare: R1DP2M3 – având semnificația „robotul 1 deplasează piesa 2 la mașina”;
- b) poziții de resursă (fixe R_P sau variabile P_V) subiect adjectiv
- se pot întâlni în modelare următoarele interpretări: M1A 0 mașina 1 este disponibilă; R2A 0 robotul 2 este disponibil; P3A 0 piesa de tip 3 este disponibilă.

Semantica literelor folosite în interpretarea pozițiilor este:

- A – disponibil, accesibil; B – buffer; C – centru de prelucrare;
- D – deplasează; E – eroare; F – fixează; G – ghidează, orientează;
- H – cap (head); I – încarcă; J – oprire; K – conveyor, transportor;
- L – prelucrează, lucrează; M – mașină; N – numără;
- O – prioritate, ordine; P – piesă; R – robot; S – stochează;
- T – sculă; U – descarcă, evacuează (unload);
- V – vehicul AGV; W – palete.

6 – reprezentarea grafică a tranziției = dreptunghi;

7 – denumirea tranziției;

8 – interpretarea tranziției;

a) tranziții operaționale T_O ; în general acest tip de tranziții nu au interpretare deoarece ele reprezintă începutul sau/și sfârșitul operațiilor modelate prin pozițiile operaționale cu interpretare bine definită;

b) tranziții de eroare T_E ; aceste tranziții au interpretarea corespunzătoare erorii pe care o tratează.

9/11 – enumerarea pozițiilor de intrare/ieșire în tranziție

- această enumerare este necesară pentru:

- detectarea erorilor de introducere a datelor în momentul editării rețele cu sistemul software integrat SimComPetri;

- la proiectarea structurată pe module funcționale modelate cu subrețele trebuie făcută corelația între aceste module.

10 – eroarea de referință a tranziției $\varepsilon_O(t)$.

În acest capitol, au fost definite terminologiile **rețelelor Petri dezvoltate** necesare pentru a expune teoriile și o multitudine de concepte pentru sinteza modelelor cu rețele Petri a sistemelor de prelucrare reconfigurabile. S-au prezentat de asemenea metodele de sinteză ce pot conduce la o rețea Petri ce nu conține proprietăți nedorite. Experiența motivează prezentarea metodei de sinteză abordate. În rezumat, o problemă generală în modelarea sistemelor de prelucrare reconfigurabile folosind o rețea Petri poate fi formulată astfel:

Fiind date specificațiile unui sistem sau subsistem de prelucrare reconfigurabil, să se modeleze sistemul precum o rețea Petri astfel încât prin structura și marcările inițiale ale acestuia să devină mărginit, viabil, și reversibil.

Ulterior, modelul de rețea Petri rezultat poate fi tradus într-o secvență de control de supervizare.

SINTEZA CONTROLERELOR FOLOSIND MODELAREA CU REȚELE PETRI DEZVOLTATE

5.1. Metodologia sintezei controlerelor folosind modelarea cu rețele Petri dezvoltate

Pentru sistemele lineare, continue sau sincron discrete, există metodologii pentru modelarea și proiectarea controlului sistemului, care, aplicate corect, oferă

proprietăți performante sistemului. Pentru sistemele dinamice cu evenimente discrete, care descriu procesele tehnologice nu există metodologii de proiectare efectivă pentru implementarea aplicațiilor în timp real. *Rețelele Petri dezvoltate* (RP-D), prezentate în capitolul anterior, pot sta la baza acestor metodologii.

Acest tip de rețele dă posibilitatea de validare, simulare printr-un program software și instrumente de analiză performante, astfel încât modelele cu ajutorul cărora se implementează controlerele logice pentru conducerea proceselor tehnologice au proprietăți de comportament corespunzătoare.

În general, probleme apar când complexitatea sistemelor în timp real conduce la rețele Petri mari, care au multe poziții și tranziții. Folosind metode invariante în [25] se arată că pentru o celulă reconfigurabilă a cărei model are 92 poziții, 59 tranziții, și 174 arcuri, matricea de incidență are 58 linii și 42 coloane. Pentru obținerea invarianților de tip p este nevoie de 40 de ecuații, iar pentru obținerea invarianților de tip t , 61 de ecuații. Se poate observa cât de complexă este problema de analiza a viabilității și mărginirii pe baza acestei metode. Pentru acest sistem nu a fost folosită nici o metodă de rafinare ceea ce a determinat explozia problemei de stare.

O eroare de concepere poate conduce la un model de rețea greșită ale cărei proprietăți nu pot fi verificate. Este foarte dificil de a găsi o astfel de eroare, iar după găsirea erorii, modificarea structurii și reanalizarea modelului poate necesita un volum de muncă foarte mare.

Au fost dezvoltate rețele Petri de nivel înalt cum ar fi rețelele Petri colorate sau rețele Petri extinse [27], pentru rezolvarea problemelor de complexitate grafică. Oricum, acestea folosesc în analiză metodele și instrumentele software care sunt valabile și pentru rețele Petri obișnuite.

Perfecționarea mașinilor-unelte cu comandă numerică și a centrelor de prelucrare a dat posibilitatea dezvoltării tehnologiilor reconfigurabile de prelucrare. Pentru implementarea controlerelor acestor tehnologii reconfigurabile de prelucrare este necesar un model al cărui evoluție să se adapteze optim în funcție de posibilitățile de evoluție a acestor tehnologii reconfigurabile.

Toate modelele dezvoltate până acum impun condiții ce dau o evoluție fixă a procesului tehnologic.

Toate acestea au dus la necesitatea dezvoltării rețelelor Petri pentru sinteza controlerelor sistemelor de prelucrare reconfigurabile, prezentată în această lucrare.

Conceperea modelului ce stă la baza implementării controlerului este divizată în două mari etape:

- a. într-o manieră top-down, conceperea începe cu descrierea unui model rețea Petri de referință și apoi, utilizarea rafinării în trepte a pozițiilor și/sau tranzițiilor pentru a include mai multe detalii, până când nivelul dorit este atins;
- b. resursele sunt adăugate rețelei într-un mod bottom-up.

Dacă este necesar, (a) și (b) pot fi utilizate alternativ. Astfel complexitatea problemelor amintite poate fi ameliorată.

Astfel, o problemă generală pentru modelarea unui sistem de prelucrare, folosind o *rețea Petri dezvoltată* (RP-D) poate fi descrisă succint astfel:

- analiza caracteristicilor sistemului de fabricație ;
- modelarea sistemului ca rețea Petri ;
- marcarea inițială astfel încât rețeaua să fie mărginită, viabilă și reversibilă.

5.1.1. Sinteza modelelor proceselor tehnologice

a) Conceperea modelelor rețelelor Petri de prim-nivel

Conceperea modelelor de prim-nivel cu rețele Petri pentru procesele tehnologice se face pe baza grafului procesual al familiei de piese, analizei resurselor necesare și este reprezentată succint în figura 14(a). Procesul tehnologic se execută atunci când resursele sunt disponibile și se dă comanda executării lui de la un sistem ierarhic superior. După executarea procesului tehnologic sunt eliberate resursele și se confirmă la sistemul ierarhic superior executarea. În figura 14(a) procesul tehnologic este modelat de poziția p_{001} , resursele de p_{V01} , iar comanda de către p_{C01} ; p_{C51} modelează confirmarea executării procesului; t_{001} și t_{002} modelează începutul, respectiv sfârșitul executării procesului.

Dacă marcajul poziției de comandă p_{C01} este m , atunci procesul se va executa de m ori, rezultând un marcaj al poziției de confirmare p_{C51} , egal cu m .

b) Rețele Petri ce modelează procese sincronizate

În figura 14.(b) este extins modelul de la figura 14.(a) pentru a modela procese tehnologice care încep sincron executarea (moment dat de executarea tranziției t_{001}). Începerea executării este condiționată de disponibilitatea resurselor p_{V01}, \dots, p_{V0n} .

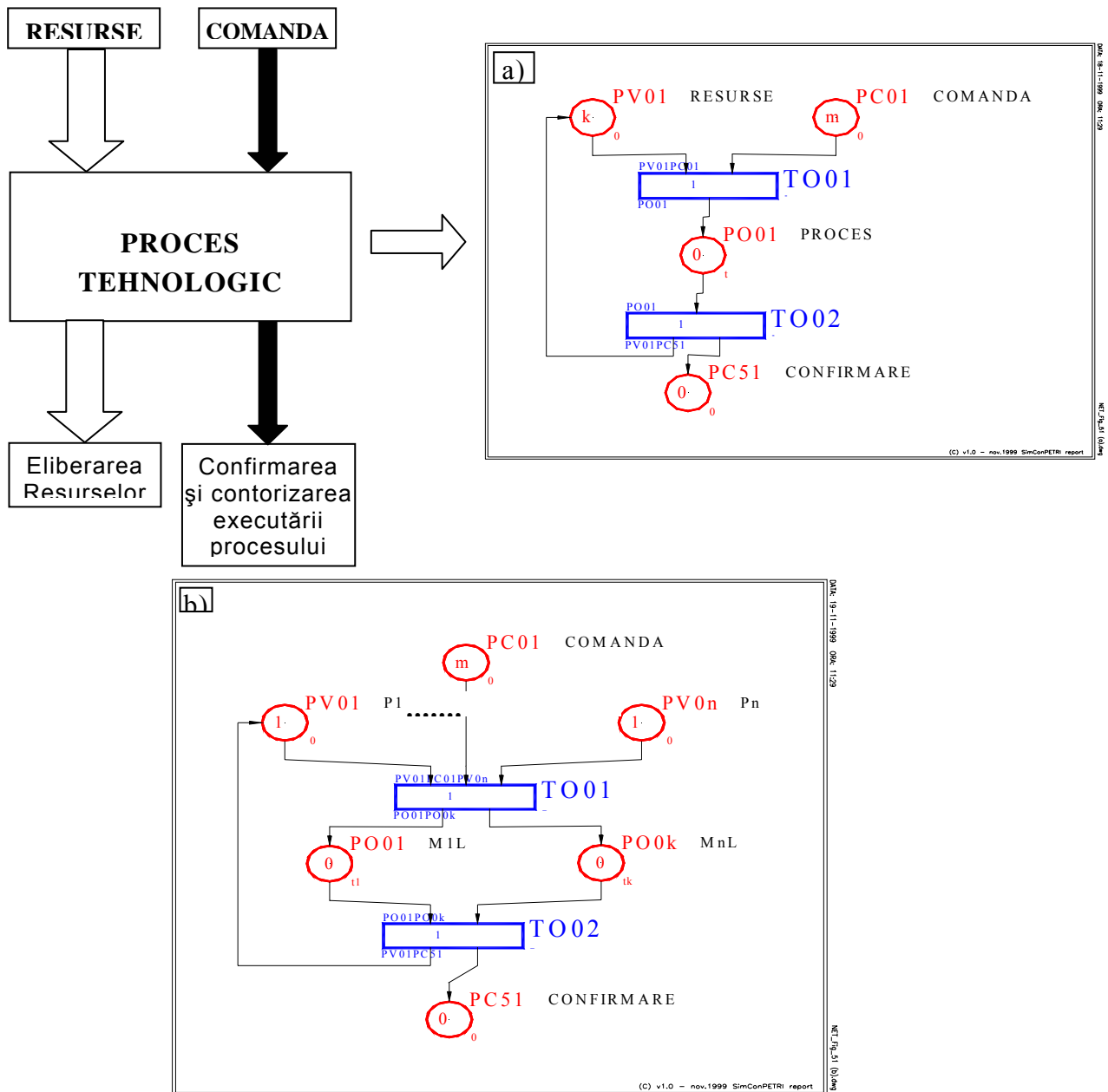


Figura 14. Model de prim-nivel pentru procesul tehnologic:
 a) – general b) – cu operații sincronizate

Structura rețelei este dată de :

$$Z = (P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I \cup P_C, T, I, O, m_0); T = T_O \cup T_E \cup T_I \text{ unde:}$$

$$P_O = \{p_{o01}, \dots, p_{o0n}\}$$

$$P_R = \emptyset$$

$$P_V = \{p_{V01}, \dots, p_{V0n}\}$$

$$P_C = \{p_{C01}, \dots, p_{C51}\}$$

$$T = \{t_{o01}, t_{o02}\}$$

$$I = \begin{pmatrix} 1_n & 0_n \\ 0_k & 1_k \end{pmatrix}$$

și

$$O = \begin{pmatrix} 0_n & 1_n \\ 1_k & 0_k \end{pmatrix}.$$

Aici 0_k este un vector zero k -dimensional și 1_k este un vector k -dimensional cu fiecare element fiind 1.

Această rețea poate fi ușor de demonstrat că este mărginită la j , viabilă, și reversibilă, cu respectarea marcării inițiale : $m_{0(p_i)} > 0$ pentru $1 \leq i \leq n$, unde $j = \max\{m_{0(p_{V0i})}, 1 \leq i \leq n\}$. Rețeaua poate fi interpretată ca proces, unde k operații paralele vor porni când n resurse sunt disponibile și s-a primit comanda de execuție.

c) Rețele Petri ce modelează procese alternativ-sincronizate

Implementarea unui sistem reconfigurabil de prelucrare impune proiectarea unor tehnologii reconfigurabile de prelucrare. Tehnologia reconfigurabilă de prelucrare presupune existența unor alternanțe între operațiile ce se pot executa într-un anumit moment de timp, astfel încât, folosindu-se distributivitatea sistemului reconfigurabil, să ducă la executarea în paralel a cât mai multor operații și având drept efect mărirea productivității. În figura 15, este prezentată o structură de prelucrare alternativă a pieselor disponibile din poziția p_{V01} pe mașina 1 sau pe mașina 2. După această prelucrare, pot urma alte operații din procesul de prelucrare modelate de p_{I01} . Alegerea mașinii pe care se prelucrează se poate comanda cu ajutorul pozițiilor de comandă p_{C01} și p_{C02} . Dacă se dorește ca mai întâi să prelucreze mașina 1 și apoi mașina 2, într-un mod alternativ sincronizat, se folosește modelul din figura 15.(b). Inițial, este marcată numai poziția p_{C01} , ceea ce dă posibilitatea executării operației numai pe mașina 1. După începerea prelucrării pe mașina 1 (executarea tranziției t_{o01}) se poate începe și prelucrarea pe mașina 2 (poziția de comandă p_{C02} este marcată în urma execuției tranziției t_{o01}). De remarcat faptul că trebuie să existe cel puțin două piese disponibile, astfel încât să se execute și operația pe mașina 1 cât și operația pe mașina 2 și apoi să se treacă la operațiile următoare. Atunci când operațiile de prelucrare pe mașina 1 și pe mașina 2 sunt diferite, vor rezulta piese diferite, ceea ce determină că operația următoare este ori o operație de asamblare ori o operație pe o mașină ce poate prelucra două piese concomitent. $m_0 = (m_{0(p_{V01})}, 0, 0, 1, 0)$ cu $m_{0(p_{V01})} \geq 2$.

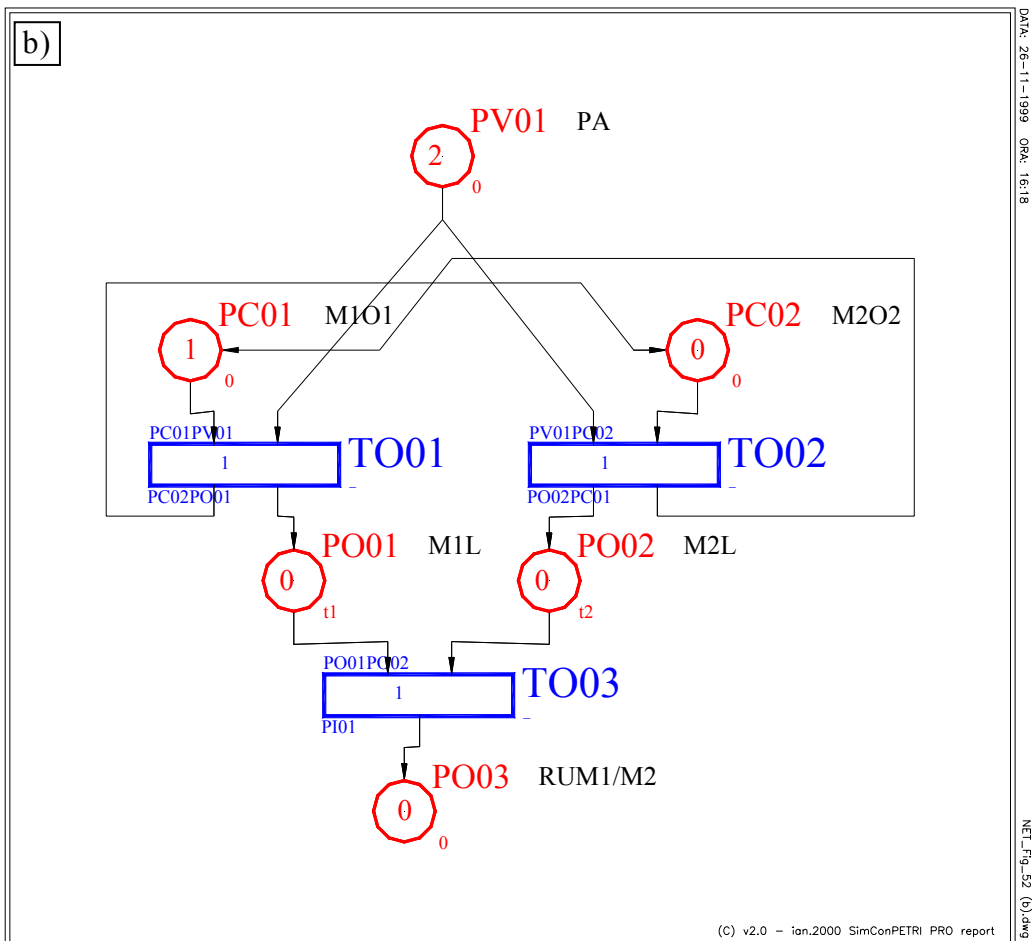
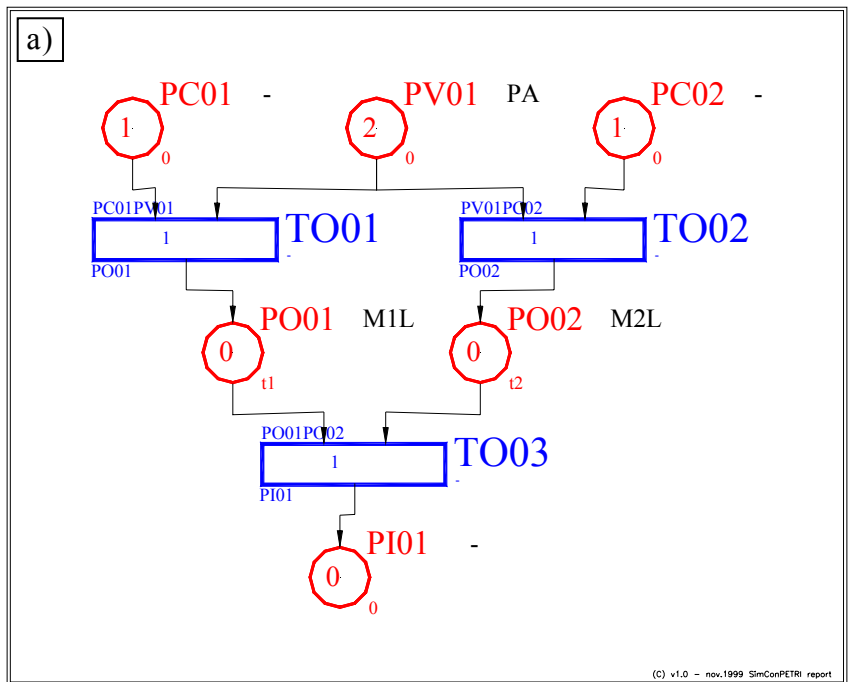


Figura 15. Model de prim-nivel pentru procesul tehnologic cu operații alternative:
a) sincronizate funcție de comandă

b) sincronizate alternant cu prioritate

Structura rețelei descrise în figura 15.(b) este dată după cum urmează :

$$Z = (P_O \cup P_R \cup P_V \cup P_I \cup P_C, T, I, O, m_0)$$

unde:

$$P_O = \{p_{o01}, p_{o02}, p_{o03}\}$$

$$P_R = \emptyset$$

$$P_V = \{p_{v01}\}$$

$$P_C = \{p_{c01}, p_{c02}\}$$

$$T = \{t_{o01}, t_{o02}, t_{o03}\}$$

În figura 16, se prezintă un model de proces alternativ sincronizat cu recircularea resurselor. Remarcăm aici importanța introducerii pozițiilor intermediare (P_I) pentru păstrarea proprietăților de comportament. Având în vedere că singurele poziții operaționale sunt p_{o01} și p_{o02} , suntem tentați să introducem arcul de recirculare imediat după tranziția t_{o03} . Dar numărul resurselor ce trebuie recirculate este egal cu 2. Din definiția *rețelelor Petri dezvoltate* (RP-D) am considerat că ponderea arcelor este egală cu 1 și de aici nu putem da arcului de la t_{o03} la p_{v01} o pondere egală cu 2. Se introduce o poziție intermediară și o tranziție intermediară astfel încât să putem crea două arce pentru recircularea resurselor. Semnificația poziției p_{c51} este: confirmarea prelucrării a unei perechi de piese în care prima este prelucrată pe mașina 1, iar a doua este prelucrată pe mașina 2.

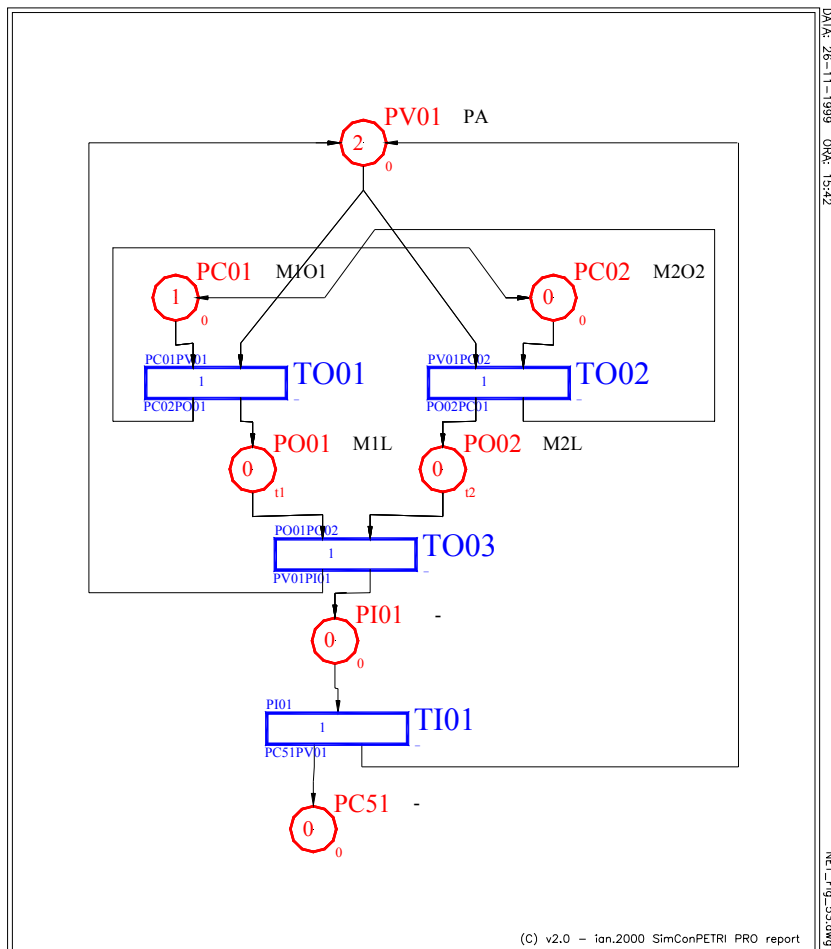


Figura 16. Model de proces alternativ sincronizat cu recircularea resurselor.
Structura modulelor de bază

Introducem patru structuri de modele de bază pentru a ajuta în sinteza modelelor pentru procesele tehnologice. Avantajul acestor module este evident: sunt specifice, generale și ușor de abordat, când este întâlnită o problemă practică de sinteză.

Definițiile structurilor modulelor de bază

Fie $S_P = (P, T, I, O, m_{s0})$, unde $P = \{p_{in}, p_{out}\} \cup P_S$, iar p_{in} și p_{out} sunt două poziții de comandă diferite. S_P este numită bloc_poziție (BP). $S_T = (P, T, I, O, m_{s0})$ este numită bloc_tranziție (BT) dacă $T = \{t_{in}, t_{out}\} \cup T$, unde t_{in} și t_{out} sunt două tranziții distincte.

Definiția 5.1 O secvența tehnologică serială este modelată cu un BPS sau BTS. Un BPS (bloc_poziție_serial) este definit ca rețea Petri (figura. 5.4) care constă în $n+1$ poziții și n tranziții ($n > 0$) cu marcare inițială zero. BPS are structura:

$$S_P = (\{p_1, p_2, \dots, p_{n+1}\}, \{t_1, \dots, t_n\}, I, O, 0_{n+1})$$

unde: 0_{n+1} este un vector zero ($n+1$) dimensional;

$$p_{in} = p_1 = p_{c01}; p_{out} = p_{n+1} = p_{c51}; p_1, \dots, p_n \in P_O; t_1, \dots, t_n \in T_O.$$

$$I = \begin{pmatrix} I_n \\ 0_n^T \end{pmatrix};$$

$$O = \begin{pmatrix} 0_n^T \\ I_n \end{pmatrix}$$

unde I_n este matricea unitate $n \times n$.

Un BTS (bloc_tranziție_serial) are structura:

$$S_T = (\{p_2, \dots, p_n\}, \{t_1, \dots, t_n\}, I, O, 0_{n-1}) \text{ cu } t_{in} = t_1 = t_{o01}, t_{out} = t_n = t_{o0n}, n > 1$$

$$I = (0_{n-1} \ I_{n-1}) \quad O = (I_{n-1} \ 0_{n-1})$$

În contextul sistemelor de prelucrare, secvențele tehnologice BTS sau BPS reprezintă o serie de operații succesive. De exemplu, încărcarea piesei 1 pe mașina 1, prelucrarea piesei 1 la mașina 1 și descărcarea piesei 1 din mașina 1 este o astfel de secvență.

O operație poate fi descompusă în secvențe de suboperații, de exemplu, prelucrarea pe mașina 1 se poate rafina în suboperațiile: schimbare sculă 1; lansare program piesă 1; schimbare sculă 2; lansare program piesă 2 etc. Rafinarea la acest nivel este necesară doar dacă alimentarea cu scule se face dintr-un depozit automat de scule partajat și de alte mașini-unelte.

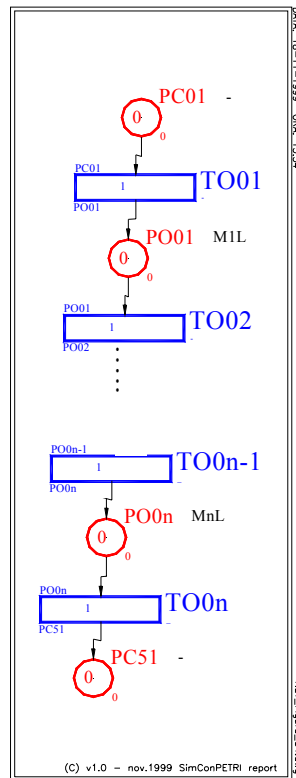


Figura 17. Bloc serial

Definiția 5.2. O secvență tehnologică paralelă este modelată cu un bloc_poziție_paralel (BPP) sau bloc_tranziție_paralel (BTP). BPP este definit ca rețea Petri (figura. 5.5) care constă în două tranziții, $n+2$ poziții cu n poziții paralele ($n>1$) și cu o marcare inițială la zero. BPP are structura:

$$S_p = (\{p_1, p_2, \dots, p_{n+2}\}, \{t_1, t_2\}, I, O, 0_{n+2}) \text{ cu}$$

$$p_{in} = p_{n+1} = p_{C01}; p_{out} = p_{n+2} = p_{C51}; p_2, \dots, p_n \in P_O; t_1, t_2 \in T_O$$

$$I = \begin{pmatrix} 0_n & 1_n \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ și } O = \begin{pmatrix} 1_n & 0_n \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

unde: 1_n este un vector n dimensional cu fiecare element 1.

BTP are structura:

$$S_T = (\{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \{t_1, t_2\}, I, O, 0_n) \text{ cu } t_{in} = t_1 = p_{C01}, t_{out} = t_2 = p_{C51}, n > 1$$

$$I = (0_n \ 1_n) \text{ și } O = (1_n \ 0_n).$$

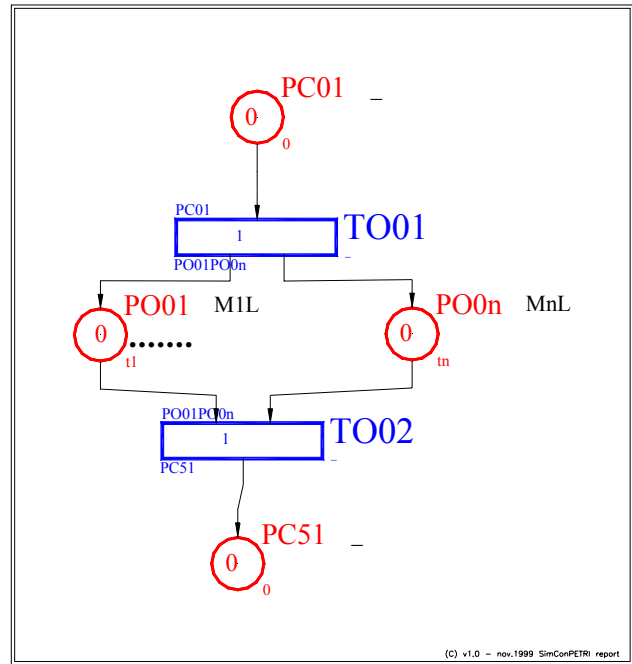


Figura 18. Bloc paralel

Un BPP sau BTP reprezintă n operații care sunt executate la același timp. După terminarea acestor n operații, alte operații pot începe. Aceste n operații se pot termina la momente de timp diferite, comanda următoarei secvențe tehnologice efectuându-se după ce toate s-au executat.

Definiția 5.3. O secvență tehnologică la alegere este modelată de un bloc_poziție__alegere (BPA) sau bloc_tranziție__alegere (BTA). Un BPA este definit ca rețea Petri (figura. 5.6) care constă în 2(n+1) tranziții și n+2 poziții cu n căi paralele (n>1), și cu marcarea inițială la zero.

BPA are structura: $S_p = (\{p_1, p_2, \dots, p_{n+1}\}, \{t_1, \dots, t_{2n}\}, I, O, 0_{n+2})$ cu $p_{in} = p_{n+1} = p_{t01}$; $p_{out} = p_{n+2} = p_{t02}$; $p_1, \dots, p_n \in P_O$; $t_1, \dots, t_{2n} \in T_O$

$$I = \begin{pmatrix} 0_{n \times n} & I_n \\ 1_n^T & 0_n^T \\ 0_n^T & 0_n^T \end{pmatrix} \text{ și } O = \begin{pmatrix} I_n & 0_{n \times n} \\ 0_n^T & 0_n^T \\ 0_n^T & 1_n^T \end{pmatrix}$$

unde $0_{n \times n}$ este matricea zero $n \times n$.

BTA are structura:

$S_t = (\{p_1, p_2, \dots, p_{n+2}\}, \{t_1, t_2, \dots, t_{2n+2}\}, I, O, 0_{n+2})$ cu $t_{in} = t_{2n+1} = t_{t01}$, $t_{out} = t_{2n+2} = t_{t02}$, $n > 1$; $p_1, \dots, p_n \in P_O$; $t_1, \dots, t_{2n} \in T_O$

$$I = \begin{pmatrix} 0_{n \times n} & I_n & 0_n^T & 0_n^T \\ 1_n^T & 0_n^T & 0 & 0 \\ 0_n^T & 1_n^T & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ și } O = \begin{pmatrix} I_n & 0_{n \times n} & 0_n & 0_n^T \\ 0_n^T & 0_n^T & 1 & 0 \\ 0_n^T & 1_n^T & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Un BPA sau BTA reprezintă n operații la alegere, alegerea efectuându-se între tipul de operații sau mașina pe care se execută operația. Alegerea este determinată de activarea pozițiilor de comandă, aceste activări pot valida execuția mai multor tranziții deodată și implicit executarea pozițiilor asociate, sau alegerea, în funcție de secvența de intrare a pieselor, a tipului de operații ce trebuie să fie executat.

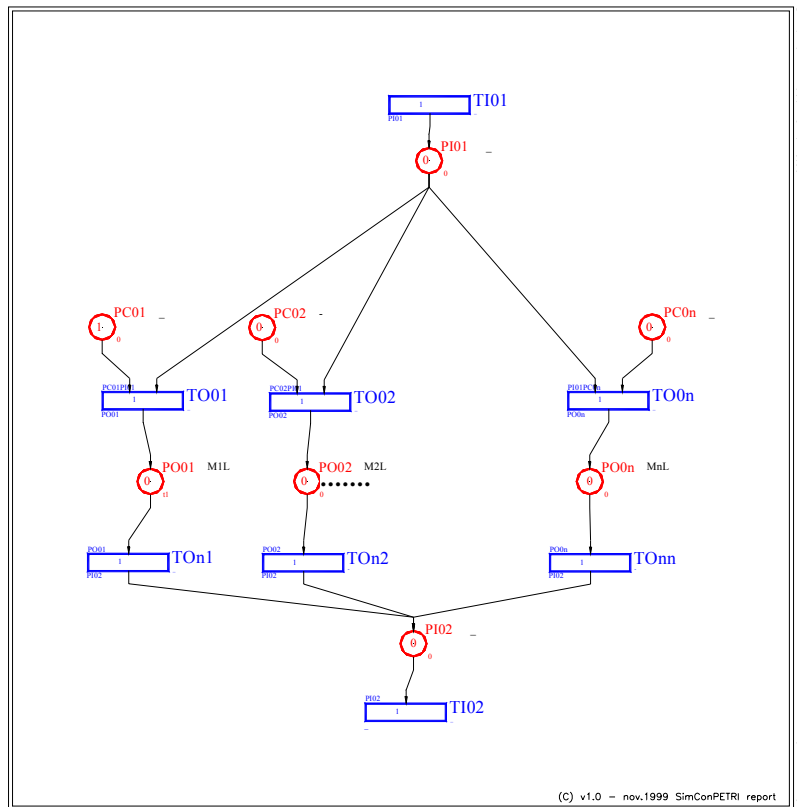


Figura 19. Modelul secvenței tehnologice la alegere comandată (BPA – BTA)

Definiția 5.4. O secvență tehnologică la alegere ordonată este modelată de un bloc_poziție_alegere_ordonată (BPAO) sau bloc_tranziție_alegere-ordonată (BTAO) este definit ca rețea Petri (figura 19) care constă în $2(n+1)$ tranziții și $2(n+1)$ poziții cu n drumuri paralele ($n > 1$) și cu marcare inițială $m_0 = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)^T$ unde fie al- $(n+3)$ -lea element p_{C01} este egal cu unu.

Un BPAO este definit:

$$S_p = (\{p_1, p_2, \dots, p_{2n+2}\}, \{t_1, \dots, t_{2n}\}, I, O, \begin{pmatrix} 0_{n+2} \\ 1 \\ 0_{n-1} \end{pmatrix}) \text{ cu } p_{in} = p_{2n+1} = p_{I01}, p_{out} = p_{2n+2} =$$

$p_{I02}; p_1, \dots, p_n \in P_O; p_{n+1}, \dots, p_{2n} \in P_C; t_1, \dots, t_{2n} \in T_O$

$$I = \begin{pmatrix} 0_{n \times n} & I_n \\ 1_n^T & 0_n^T \\ 0_n^T & 0_n^T \\ I_n^T & 0_{n \times n} \end{pmatrix} \quad \text{și} \quad O = \begin{pmatrix} I_n & 0_{n \times n} \\ 0_n^T & 0_n^T \\ 0_n^T & 1_n^T \\ J_n^T & 0_{n \times n} \end{pmatrix}$$

unde $J = \begin{pmatrix} 0_{n-1}^T & 1 \\ I_{n-1} & 0_{n-1} \end{pmatrix}$ și I_n este matricea unitate $n \times n$.

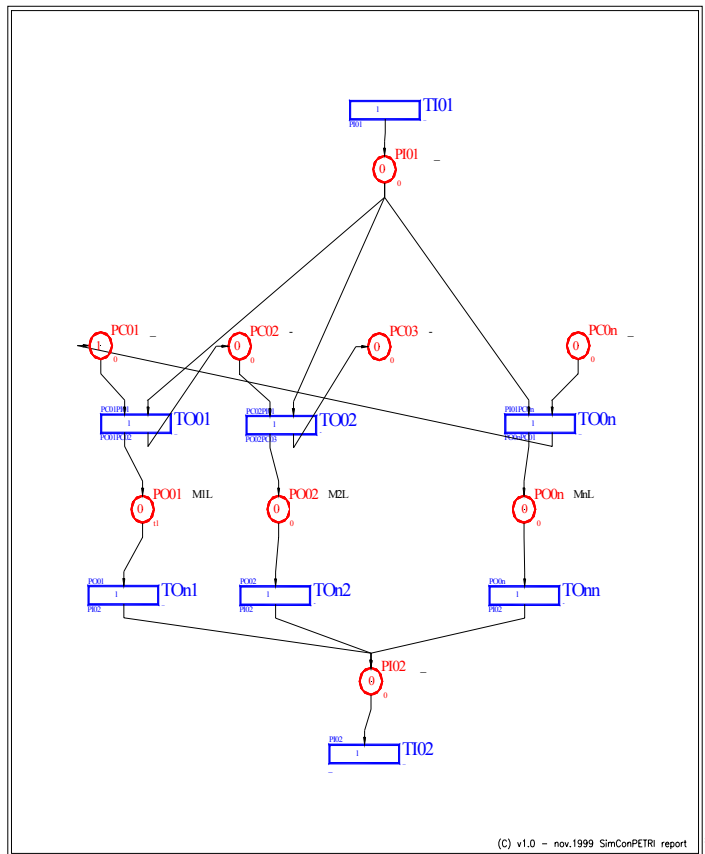


Figura 20. Modelul secvenței tehnologice la alegere ordonată (BPAO – BTAO)

BTAO are structura:

$$S_p = (\{p_1, p_2, \dots, p_{2n+2}\}, \{t_1, \dots, t_{2n}\}, I, O, \begin{pmatrix} 0_{n+2} \\ 1 \\ 0_{n-1} \end{pmatrix}) \quad p_1, \dots, p_n \in P_O; p_{n+1}, \dots, p_{2n} \in P_C; t_1, \dots,$$

$t_{2n} \in T_O$
cu

$$t_{in} = t_{2n+1} = t_{I01}, \quad t_{out} = t_{2n+2} = t_{I02},$$

$$I = \begin{pmatrix} 0_{n \times n} & I_n & 0_n & 0_n \\ 1_n^T & 0_n^T & 0 & 0 \\ 0_n^T & 0_n^T & 0 & 1 \\ I_n & 0_{n \times n} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{și} \quad O = \begin{pmatrix} I_n & 0_{n \times n} & 0_n & 0_n \\ 0_n^T & 0_n^T & 1 & 0 \\ 0_n^T & 1_n^T & 0 & 1 \\ J_n & 0_{n \times n} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

BPAO sau BTAO modelează n operații alternative succesive cu ordine strictă depinzând de marcarea inițială a pozițiilor de comandă. Când marcarea inițială este ca cea reprezentată în Figura 20, atunci blocul activează numai t_{01} când p_{I01} are un jeton. După ce este executat t_{I01} și p_{I01} obține un jeton, atunci numai t_{02} este executabilă ș.a.m.d. După n execuții p_{C01} primește un jeton, dând o nouă posibilitate de executare a tranziției t_{01} . O astfel de ordine poate fi repetată la nesfârșit dacă p_{n+1} poate obține mereu un jeton.

Acest model se folosește atunci când există n operații posibile alternative. Modelul presupune că semifabricatele intră în sistem în ordine fixă 1, 2, ..., n (la a k piesă se execută a k operație $1 < k < n$ dând o nouă posibilitate de executare a tranziției t_{01} după executarea celor n operații modelate de p_{001}, \dots, p_{00n} .

e) Metodologia de rafinare

Vom prezenta metodologia de rafinare prin înlocuirea unei poziții sau a unei tranziții în rețeaua Petri printr-o subrețea care mai întâi va fi definită.

Definiția 5.5 Înlocuirea unei poziții p' în $Z = (P \cup \{p'\}, T, I, O, m_0)$ cu un bloc-poziție BP $S_p = (\{p_{in}, p_{out}\} \cup P_S, T_S, I_S, O_S, m_{S0})$ rezultă o rețea Petri rafinată $Z' = (P', T', I', O', m'_0)$ unde:

$$P' = \{p_{in}, p_{out}\} \cup P_S \cup P, T' = T_S \cup T,$$

$$m'_0(p) = \begin{cases} m_0(p) & \text{daca } p \in P \\ m_{S0}(p) & \text{daca } p \in \{p_{out}\} \cup P_S \\ m_0(p') + m(p_{in}) & \text{daca } p = p_{in} \end{cases}$$

$$I'(p, t) = \begin{cases} I(p, t) & \text{daca } p \in P \text{ si } t \in T \\ I_S(p, t) & \text{daca } p \in P_S \text{ si } t \in T_S \\ 1 & \text{daca } p = p_{out} \text{ si } I(p', t) = 1 \\ 0 & \text{alte situatii} \end{cases}$$

$$O'(p, t) = \begin{cases} O(p, t) & \text{daca } p \in P \text{ si } t \in T \\ O_S(p, t) & \text{daca } p \in P_S \text{ si } t \in T \\ 1 & \text{daca } p = p_{out} \text{ si } O(p', t) = 1 \\ 0 & \text{alte situatii} \end{cases}$$

Rafinarea pozițiilor se face cu ajutorul pozițiilor de comandă cu semnificația că subrețeaua rezultată în urma rafinării are ca nivel ierarhic superior modelul care se rafinează.

Similar, o înlocuire a tranziției t' în $Z = (P \cup \{p'\}, T, I, O, m_0)$ cu o bloc- tranziție BT $S_p = (\{p_{in}, p_{out}\} \cup P_S, T_S, I_S, O_S, m_{S0})$ rezultă o rețea Petri rafinată $Z' = (P', T', O', m'_0)$ unde:

$$P' = \{p_{in}, p_{out}\} \cup P_S \cup P, T' = T_S \cup T,$$

$$m'_0(p) = \begin{cases} m_0(p) & \text{daca } p \in P \\ m_{S0}(p) & \text{daca } p \in P_S \end{cases}$$

$$I'(p, t) = \begin{cases} I(p, t) & \text{daca } p \in P \text{ si } t \in T \\ I_S(p, t) & \text{daca } p \in P_S \text{ si } t \in T_S \\ 1 & \text{daca } t = t_{in} \text{ si } I(p, t') = 1 \\ 0 & \text{alte situatii} \end{cases}$$

$$O'(p,t) = \begin{cases} O(p,t) & \text{daca } p \in P \text{ si } t \in T \\ O_S(p,t) & \text{daca } p \in P_S \text{ si } t \in T \\ 1 & \text{daca } t = t_{out} \text{ si } O(p,t') = 1 \\ 0 & \text{alte situatii} \end{cases}$$

Teorema 5.1. *Presupunem că o poziție sau o tranziție în Z este înlocuită printr-o structură bloc de bază și Z' este rețeaua rafinată, atunci :*

1. *Z' este mărginită (sigură) dacă și numai dacă Z este mărginită (sigură);*
2. *Z' este viabilă dacă și numai dacă Z este viabilă ;*
3. *Z' este reversibilă dacă și numai dacă Z este reversibilă.*

În această teoremă, o structură bloc de bază reprezintă o secvență tehnologică serială sau paralelă, cu alegere comandată sau cu alegere ordonată.

Demonstrarea acestei teoreme este similară celor referitoare la inserarea excluderilor mutuale paralele sau secvențiale.

Obiectivul 3 - Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității sistemelor flexibile de fabricație a carseriilor auto

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

a) DEFORMAREA INCREMENTALĂ

Deformarea incrementală asigură obținerea unei mari diversități de piese prin utilizarea unui poanson care prin treceri de deformare, succesive, asupra semifabricatului asigură deformarea acestuia. Marele avantaj al procedurii este lipsa elementelor active rigide specifice procedurilor de deformare ca și posibilitatea utilizării unor mașini universale (de frezare, de găurire) sau a roboților pentru realizarea prelucrării.

Metoda poate fi încadrată în cadrul tehnologiilor reconfigurabile datorită atât ajustării rapide a capacității de producție și de funcționare, prin rearanjarea și schimbarea componentelor ei, ca răspuns la noi circumstanțe.

Există două metode de deformare incrementală: deformare negativă și deformare pozitivă.

La deformarea incrementală negativă, un poanson cu cap semisferic, deformează semifabricatul sub formă de tablă, după un traseu stabilit (figura 21). Tabla este poziționată pe un cadru și reținută cu o placă.

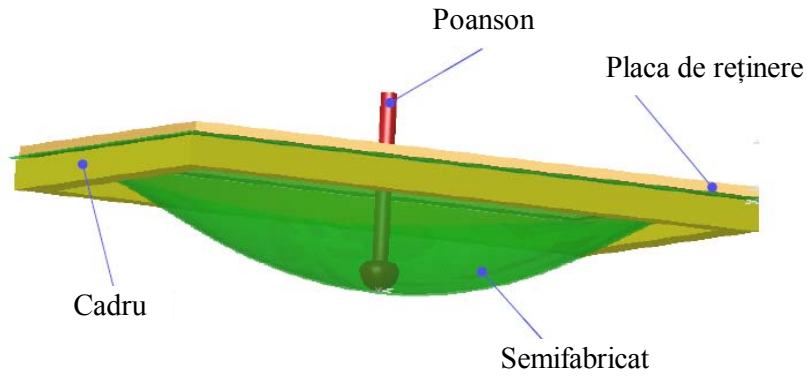


Figura 21. Deformarea incrementală negativă

La deformarea incrementală pozitivă, partea centrală a semifabricatului 2, se sprijină sau este prinsă de un contrapoanson fix 4. Tabla poate fi fixată la periferie (figura 22) printr-o placa de prindere 5, sau poate fi lăsată liber (figura 23).

În figura 22, semifabricatul se sprijină pe placa 3. Prin acțiunea poansonului 1, de la centrul semifabricatului se periferie, are loc deformarea materialului. Pe măsură ce poansonul deformează semifabricatul, placa 3, acționată prin tijele 6, se deplasează în jos, pe coloanele 7. La final se obține o piesă de tipul celei prezentate în figura 22.

În figura 23, se prezintă cea de-a doua variantă de deformare. Acest caz este asemănător cu deformarea rotativă.

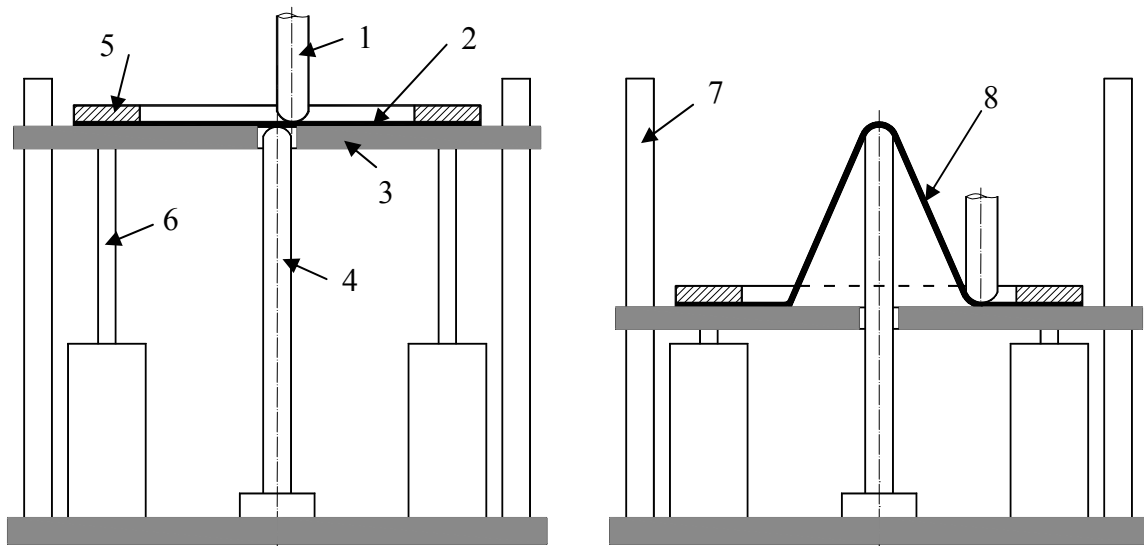


Figura 21. Deformarea incrementală pozitivă cu fixarea semifabricatului

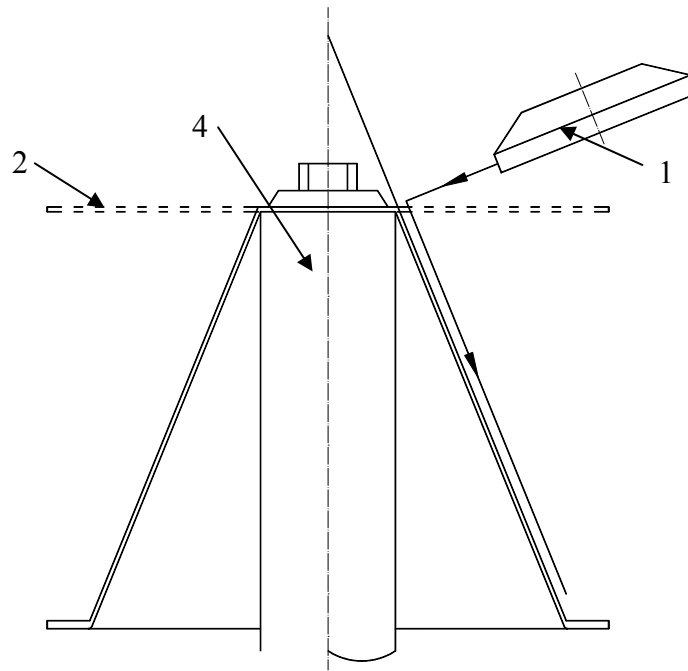


Figura 22. Deformarea incrementală pozitivă fără fixarea semifabricatului

Cu observația că metoda este încă în faza de cercetare, trebuie reliefat, că tehnologia se încadrează în cadrul tehnologiilor reconfigurabile datorită flexibilității în comanda și în multitudinea de piese ce se pot obține. Utilizarea unui control inteligent ca și elaborarea unor software-uri performante de generare a traiectoriilor poansonului constituie direcții importante de dezvoltare.

Domeniul este abordat de partenerul de la Universitatea Lucian Blaga din Sibiu.

b) DEFORMAREA ROTATIVĂ CU POANSON RECONFIGURABIL

Deformarea rotativă oferă posibilități multiple pentru prelucrarea pieselor cave de rotație asigurând o flexibilitate ridicată a fabricației.

Ținând seama de definiția termenului de reconfigurabilitate, la deformarea rotativă această abordare se realizează prin conducerea numerică adaptivă a procesului de deformare și prin utilizarea unor elemente active reconfigurabile.

Adaptarea mașinilor pentru prelucrarea unui produs nou, se realizează cu ușurință prin instalarea programului de conducere numerică.

Determinarea traiectoriei de deplasare a rolei este elementul principal în stabilirea tehnologiei de deformare. Această traiectorie ca și numărul de treceri are în vedere elementele legate de forma piesei, materialul semifabricatului, procesul de deformare etc.

De exemplu pentru piesele conice, la prelucrarea dintr-o trecere a pieselor conice, cursa de lucru a rolei de deformare fără flanșă se poate realiza în două moduri:

a. rola se deplasează în prima fază pe traiectoria 1-2, paralelă cu axa de rotație (figura 23), până când semifabricatul ajunge în contact cu dornul pe suprafața conică a acestuia (punctul 2), după care se continuă deplasarea pe traiectoria 2-3, paralelă cu generatoarea dornului de deformare până la finalul deformării.

Coordonatele punctului 1 de unde începe cursa activă a rolei sunt date relațiile:

$$x_{r1} = d/2 + R ; \quad (5.24)$$

$$z_{r1} = R + a_1 . \quad (5.25)$$

Coordonatele punctului 2 unde se modifică direcția de deplasare a rolei, se pot calcula cu relațiile:

$$x_{r2} = d/2 + R ; \quad (5.26)$$

$$z_{r2} = (g (1 - \sin\alpha) + R (1 - \cos\alpha))/\sin\alpha . \quad (5.27)$$

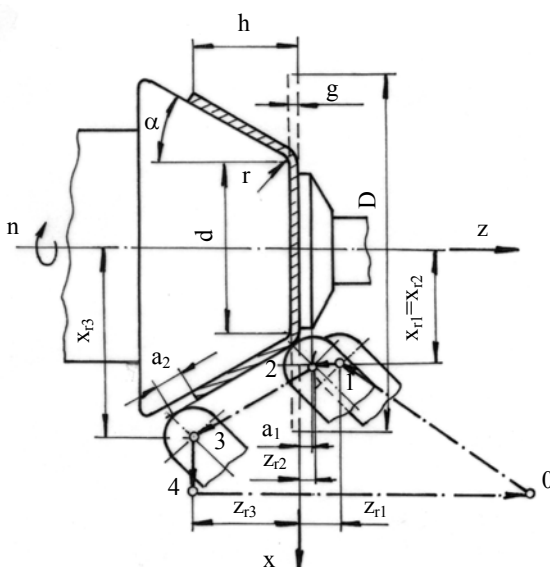


Figura 23. Schema de calcul a traiectoriei de deplasare a rolei la ambutisarea rotativă a pieselor conice dintr-o trecere

Coordonatele punctului 3, unde se termină cursa activă a rolei se pot determina cu relațiile:

$$x_{r3} = h \operatorname{tg}\alpha + (g + R) \cos\alpha + a_1 \sin\alpha ; \quad (5.28)$$

$$z_{r3} = - (h - R \sin\alpha) + g (1 - \sin\alpha) + a_1 \cos\alpha . \quad (5.29)$$

b. rola se deplasează în prima fază pe o traiectorie paralelă cu generatoarea dornului de deformare. Această metodă nu poate fi folosită la conicități mari datorită riscului interferenței dintre rolă și placa de fixare.

Detalii despre calculul coordonatelor traiectoriei, în acest caz ca și în cazul deformării materialului din mai multe treceri, se găsesc în literatura de specialitate.

Cel de-al doilea spect al reconfigurabilității este dat de utilizarea dornului de deformare reconfigurabile.

Dornurile de deformare reglabile, reconfigurabile geometric sunt alcătuite din mai multe bușe telescopice deplasabile în direcție axială, înlăturându-se astfel

necesitatea utilizării, pentru fiecare tip de piesă a unui dorn de deformare specific având forma și dimensiunile interioare ale acesteia.

CONSTRUCȚIA ȘI REGLAREA DORNULUI DE DEFORMARE RECONFIGURABIL GEOMETRIC

Dornul de deformare reconfigurabil geometric (figura 24) este alcătuit dintr-o tijă centrală 1, pe care sunt asamblate mai multe bucșe 2 care formează între ele ajustaje alunecătoare. Acestea pot fi deplasate independent una de cealaltă în direcție axială, fiind posibilă astfel realizarea unor configurații diverse ale părții active a dornului de deformare. Bucșele 2 sunt prevăzute cu niște canale C de tipul celor folosite la bucșele elastice. După reglarea dornului într-o anumită configurație, bucșele se fixează în poziția corespunzătoare prin strângerea piulițelor 3.

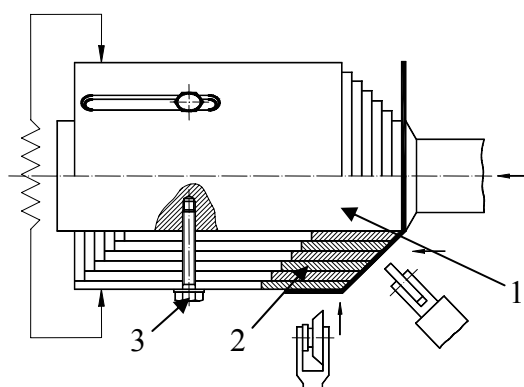


Figura 24. Deformarea rotativă cu poanson reconfigurabil

Reglarea dornului într-o anumită configurație se realizează în afara mașinii cu ajutorul unui dispozitiv special (figura 25) alcătuit din placa 1 în care sunt înșurubate tijele filetate 2, pe diferite distanțe z , în funcție de forma și dimensiunile pieselor de prelucrat.

Dornul se introduce în dispozitivul de reglare și se centrează prin intermediul bucșei 3. Se deșurubează apoi piulițele 5 (vezi figura 24), bucșele dornului devin libere în direcție axială și fiecare dintre acestea se va sprijini pe câte o tijă filetată, materializând astfel configurația proiectată a părții active a dornului de deformare. Se strâng apoi piulițele de fixare, după care dornul poate fi instalat în mașina de deformare.

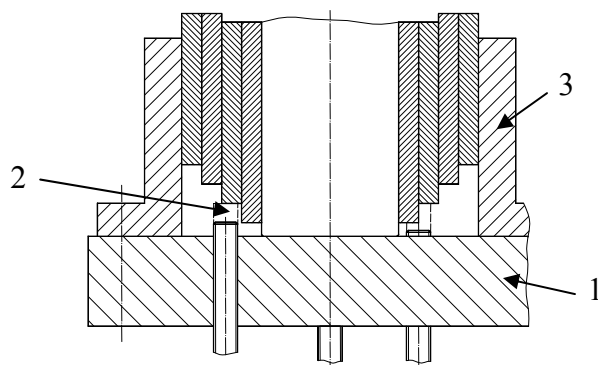


Figura 25. Schema unui echipament pentru reglarea dornului de deformare

În literatura de specialitate sunt semnalate instalații speciale cu conducere numerică în coordonate XYZ care pot fi utilizate pentru înșurubarea după program a tijelor filetate ale dispozitivului de reglare. Aceste instalații sunt similare cu cele utilizate la găurirea sau frezarea în coordonate, cu deosebirea că mișcarea de rotație este folosită pentru înșurubarea tijelor și se realizează prin conducere numerică. Cele patru axe de reglare ale dispozitivului (X, Y, Z și axa de rotație a unității de înșurubare) sunt acționate prin intermediul unor motoare pas cu pas.

c) DEFORMAREA HIDRAULICĂ CU POANSON RECONFIGURABIL

Metoda a fost experimentată la Universitatea din Dortmund la ambutisarea pieselor cave de diferite forme. Matrița de ambutisare hidromecanică (figura 26) este prevăzută cu un poanson 4, constituit dintr-o matrice de tije cilindrice cu cap semisferic. Prin deplasarea tijelor în direcție axială se pot realiza diferite configurații ale părții active a poansonului. Partea activă a poansonului se acoperă cu un strat subțire de elastomeri 3, care să prevină imprimarea capului tijelor în materialul piesei 2. Poansonul este asamblat într-o ramă 7 prin intermediul unui sistem de pene 5. Arcurile disc 6 au rolul de a menține tijele în contact atunci când cadrul 7 este demontat de pe presă, iar sistemul de pene 5 este destins.

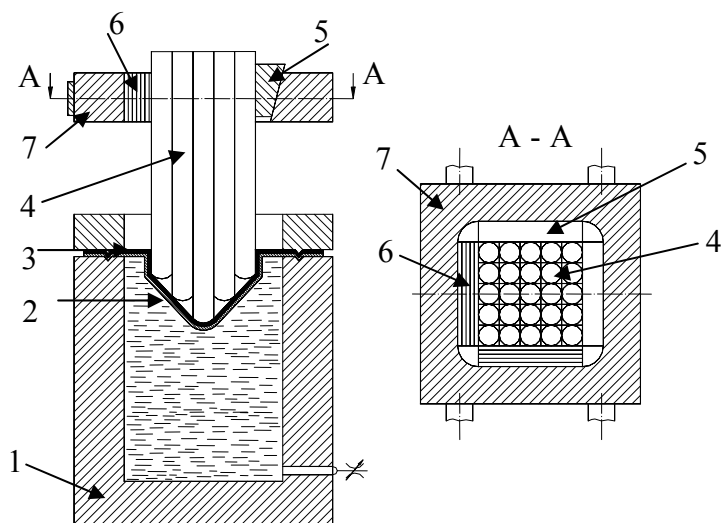


Figura 26. Echipament de deformare hidraulică cu pini

Reglarea poansonului într-o anumită configurație se realizează în afara presei, într-un dispozitiv special de reglare. Acesta este alcătuit dintr-o placă prevăzută cu o matrice de găuri filetate, identică cu cea a poansonului, în care se înșurubează niște tije filetate. Tijele sunt înșurubate în placă pe anumite distanțe, într-o instalație specială cu conducere numerică, astfel încât acestea să materializeze forma părții active a poansonului. După aceea, poansonul se așează în dispozitivul de reglare, se comprimă arcurile disc 6, tijele poansonului devin libere în direcție axială și fiecare dintre acestea va ocupa o anumită poziție în contact cu tijele filetate ale dispozitivului de reglare. Apoi arcurile disc 6 se destind realizând fixarea tijelor, iar poansonul poate fi asamblat în culisoul mașinii.

Software-ul sistemului de comandă al dispozitivului de reglare preia datele geometrice ale piesei de prelucrat de la un sistem CAD, le prelucrează și determină poziția corespunzătoare pentru fiecare tijă filetată în parte, ținând seama de grosimea stratului de elastomeri.

d) DEFORMAREA CU PLACĂ DE REȚINERE ELASTICĂ

Prin intermediul plăcilor de reținere se transmite forța necesară uniformizării stării de tensiuni din flanșa semifabricatului ce urmează a fi deformat.

Deformarea cu placă de reținere elastică poate fi încadrată doar parțial în cadrul tehnologiilor reconfigurabile, deoarece deși asigură flexibilitatea asupra controlului presiunii de reținere asupra semifabricatului totuși nu asigură flexibilitate asupra familiei de piese ce poate fi obținută și nici modularitatea specifică.

În continuare se vor face câteva referiri legate de modul de acționare a plăcilor de reținere elastice și despre rolul și construcția elementelor speciale de reținere în acest caz:

- *plăci de reținere elastice acționate prin comandă numerică.* Aceste plăci sunt acționate prin intermediul unor cilindri pneumatici sau hidraulici, în strânsă corelație cu deplasarea poansonului, și sunt comandate cu controlere logice programabile (PLC). Ele permit creșterea sau descreșterea presiunii, în funcție de materialul care urmează a fi deformat. Schema unui astfel de sistem se prezintă în figura 27 ;
- *plăci de reținere elastice asistate de vibrații.* Acest mod de acționare duce la îmbunătățirea sistemelor prezentate anterior. Frecvența vibrațiilor este cuprinsă între 5 și 15 Hz. Avantajele suplimentare ale acestei soluții sunt creșterea adâncimii de deformare și reducerea necesarului de lubrifiant.

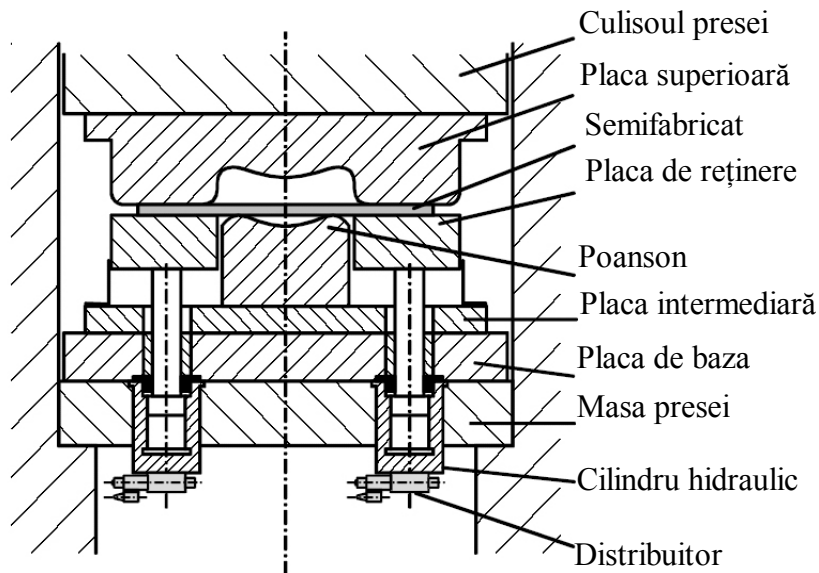


Figura 27. Schema acționării hidraulice a plăcii de reținere

- *plăci de reținere flexibile*. Aceste plăci prezintă o construcție elastică tip figure (figura 28 și 29). Fiecare pin, care transmite presiunea prin nodul rețelei, este acționat hidraulic sau pneumatic și este comandat numeric.

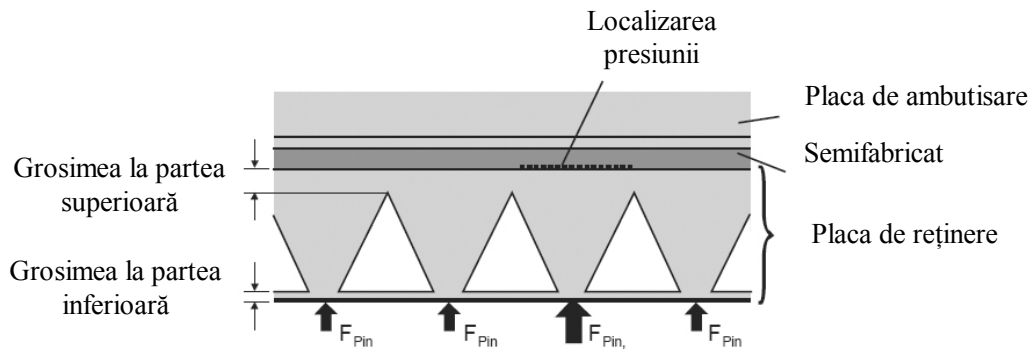


Figura 28. Schema unei plăcii de reținere flexibile

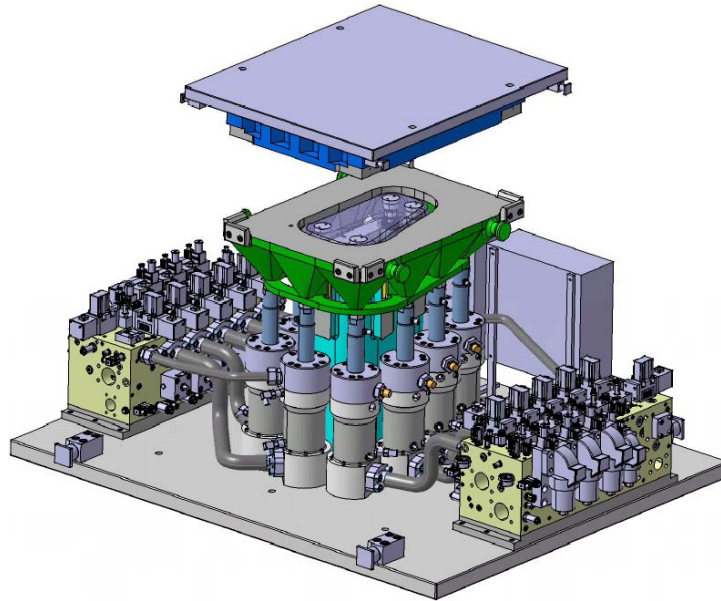


Figura 29. Matriță de ambutisare cu placă de reținere flexibile

Presiunea transmisă pe fiecare din acești pini asigură modificarea caracterului curgerii materialului în matriță. Între forța aplicată pe fiecare pin și suprafața corespunzătoare din placa de reținere există o strânsă corelație.

Sistemul de control în buclă închisă (figura 30), asigură ca fiecare din acești pini să poată fi controlat proporțional prin servo-supape, permițând adaptarea și controlul individual a forței din placa de reținere, în tot timpul cursei de lucru.

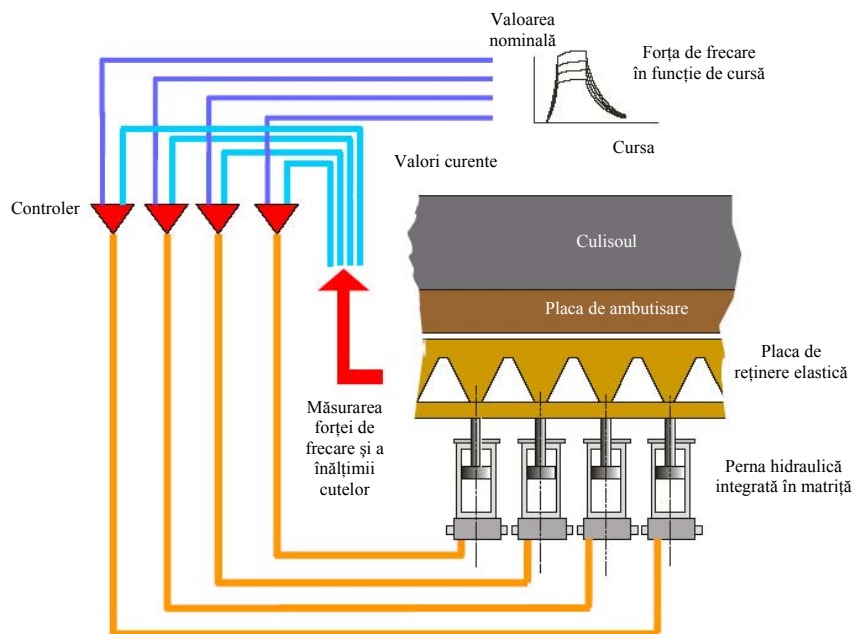


Figura 30. Controlul adaptiv al procesului de ambutisare cu placă de reținere flexibile

Sistemul va reacționa la orice perturbație a procesului de deformare cauzată de variația forței de frecare, de proprietățile eterogene ale materialului, de variațiile de grosime ale tablei, de problemele de centrare a elementelor matriței, de uzura matrițelor, de poziționarea semifabricatului și de deformarea elastică a mesei preseii.

Un exemplu de piesă obținută prin ambutisarea cu placă de reținere flexibilă se prezintă în figura 31.

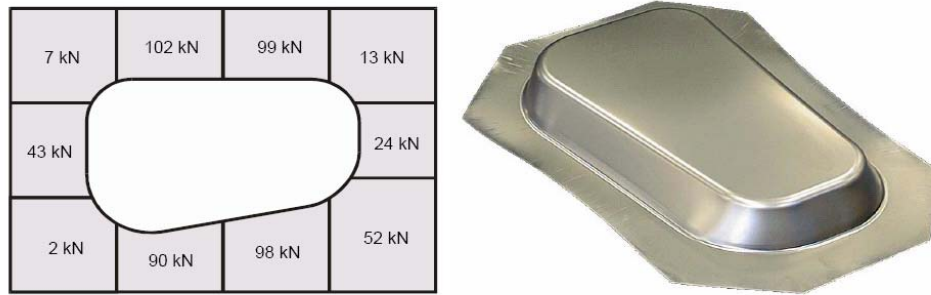


Figura 31. Valori ale presiunilor aplicate pe pini și piesă rezultată la ambutisarea cu placă de reținere flexibile

Se pot considera câteva strategii pentru controlul optim al procesului și anume:

- utilizarea metodei elementului finit pentru obținerea unei raport frecare/curgere de material optim;
- măsurarea în proces a raportului frecare/curgere de material optim;
- controlul mișcării plăcii de ambutisare pentru asigurarea raportului frecare/curgere de material.

Obiectivul 4 - Proiectarea funcțiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor în vederea reconfigurabilității sistemelor flexibile de fabricație a carseriilor auto

- Activitatea*
- 4.1. Sinteza unei noi metode pentru modelarea infasurării suprafețelor, aplicabile pe mașini care generează vârtajuri ordonate de suprafețe
 - 4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconvenționale reconfigurabile
 - 4.4. Metode de modelare reconfigurării colective aplicabile pe mașini de danturat

4.1

a) GENERAREA PROFILURILOR ASOCIATE UNUI CUPLU DE CENTROIDE ÎN RULARE

Fie cunoscut un ansamblu de centroide în rulare (C_1, C_2), figura 32, și profilul de generat (reprezentând o secțiune transversală a suprafeței vârtejului de suprafețe), asociat uneia din centroide, fie C_Σ acesta.

Dacă sunt cunoscute ecuațiile de principiu ale curbei C_Σ , de forma:

$$C_\Sigma \begin{cases} X = X(u); \\ Y = Y(u), \end{cases} \quad (5.30)$$

cu u - parametru variabil, atunci, în mișcarea relativă determinată de parametrii unghiulari de mișcare a centroidelor, φ_1 și φ_2 , și, deci, și a sistemelor de referință XY față de $\xi\eta$ (acesta din urmă este sistemul de referință în care se definește înfășurătoarea), se determină o familie de profiluri exprimată prin:

$$(C_\Sigma)_{\varphi_1, \varphi_2} \begin{cases} \xi = \xi(u, \varphi_1, \varphi_2); \\ \eta = \eta(u, \varphi_1, \varphi_2). \end{cases} \quad (5.31)$$

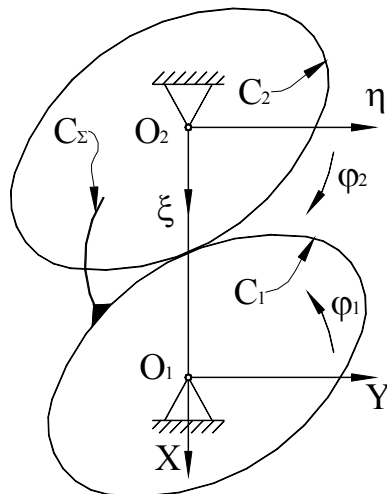


Figura 32. Profil asociat unui cuplu

Centroidele C_1 și C_2 aflându-se în rulare, între parametrii de mișcare se stabilește o legătură de forma

$$\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1) \quad (5.32)$$

care, cel mai adesea, cel puțin pentru procedeele uzuale de generare (cremaliera, cuțitul-roată, cuțitul rotativ) reprezintă o dependență liniară, de forma

$$\varphi_2 = i\varphi_1 \quad (5.33)$$

„ i ” purtând denumirea de raport de transmitere (așa cum este cunoscut).

Raportul de transmitere „ i ” este de regulă o mărime constantă.

Familia de profiluri plane (5.31) poate fi privită ca familia traiectoriilor punctelor aparținând profilului C_Σ , în mișcarea relativă a acestora față de sistemul de referință solidar centroidei asociate, figura 33.

Astfel, se poate enunța:

Teorema I. *Înfășurătoarea unei curbe plane, asociată unui cuplu de centroide în rulare, este înfășurătoarea familiei traiectoriilor plane generate de punctele aparținând curbei date în mișcarea relativă a celor două centroide.*

În acest fel, ecuațiile (5.31) pot fi interpretate ca fiind traiectoriile punctelor aparținând profilului C_Σ (cu u -variabil), generate în mișcarea relativă a celor două centroide.

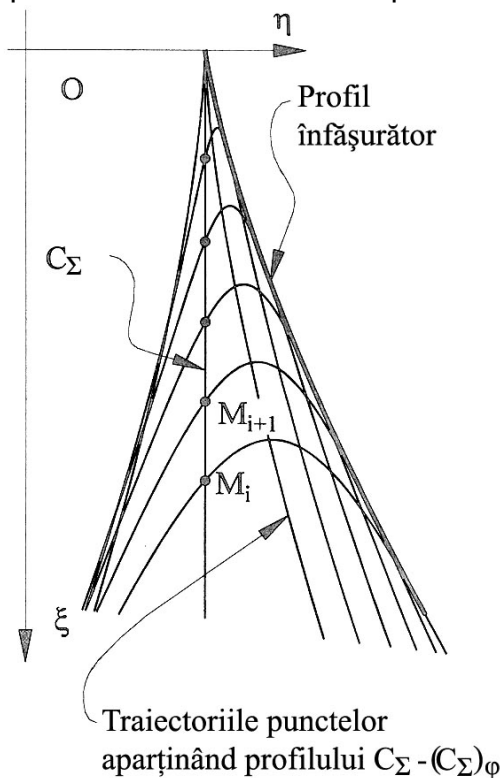


Figura 33. Familia traiectoriilor punctelor aparținând profilului C_Σ

Familia de traiectorii:

$$(C_{\Sigma})_{\varphi_1} \begin{cases} \xi = \xi(u, \varphi_1); \\ \eta = \eta(u, \varphi_1). \end{cases} \quad (5.34)$$

permite determinarea înfășurătoarei, dacă ecuațiilor (5.34) li se asociază condiția

$$\frac{\xi'_u}{\xi'_{\varphi_1}} = \frac{\eta'_u}{\eta'_{\varphi_1}}. \quad (5.35)$$

Ansamblul ecuațiilor (5.34) și (5.35) reprezintă profilul înfășurătoarei C_S , ca fiind curba înfășurătoare a traiectoriilor plane ale punctelor aparținând curbei C_{Σ} , în mișcarea relativă, de rulare, a celor două centroide - C_1 și C_2 , vezi și figura 33.

b) GENERAREA CU SCULA-CREMALIERĂ

În figura 34, sunt prezentate ansamblul de centroide în rulare, sistemele de referință asociate acestora precum și profilul de generat:

XY este sistemul mobil, solidar centroidei semifabricatului (C_1) - cerc de rază R_{rp} ;

$\xi\eta$ - sistem mobil, solidar centroidei sculei (C_2) - dreaptă, aici axa η ;

xy - sistem fix.

Este cunoscută mișcarea relativă între cele două sisteme de referință mobile, exprimată în formă matriceală,

$$\xi = \omega_3^T(\varphi)X - a, \quad (5.36)$$

cu:
$$a = \begin{bmatrix} -R_{rp} \\ -R_{rp}\varphi \end{bmatrix} \quad (5.37)$$

φ - parametru unghiular variabil;

R_{rp} - raza de rulare a piesei.

Dacă se presupun cunoscute ecuațiile profilului de generat C_{Σ} , în sistemul XY ,

$$C_{\Sigma} : \begin{cases} X = X(u); \\ Y = Y(u), \end{cases} \quad (5.38)$$

cu u parametrul variabil, atunci, ansamblul de ecuații (5.36), (5.37) și (5.38) se retranscrie în forma

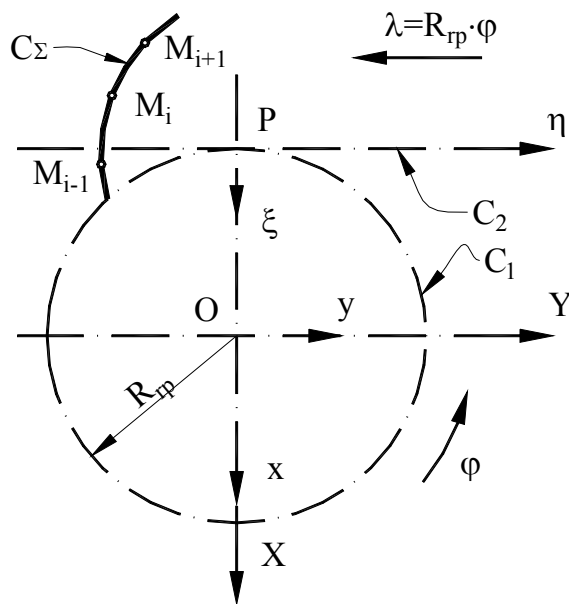


Figura 34. Generarea cu scula-cremalieră

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(u) \\ Y(u) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{rp} \\ R_{rp}\varphi \end{bmatrix} \quad (5.39)$$

sau, după dezvoltare,

$$(C_{\Sigma})_{\varphi} \begin{cases} \xi = X(u)\cos \varphi - Y(u)\sin \varphi + R_{rp}; \\ \eta = X(u)\sin \varphi + Y(u)\cos \varphi + R_{rp}\varphi. \end{cases} \quad (5.40)$$

Ecuțiile (5.40) reprezintă familia de traiectorii a punctelor M_i , aparținând profilului de generat, în mișcarea relativă față de sistemul de referință asociat sculei-cremalieră.

Conform teoremei I, înfășurătoarea acestei familii de traiectorii plane este profilul sculei-cremalieră.

Condiția de înfășurare are, în acest caz, forma

$$\frac{X'_u \cos \varphi - Y'_u \sin \varphi}{-X(u) \sin \varphi - Y(u) \cos \varphi} = \frac{X'_u \sin \varphi + Y'_u \cos \varphi}{X(u) \cos \varphi - Y(u) \sin \varphi + R_{rp}} \quad (5.41)$$

• **Linia de angrenare**

Conform definiției, linia de angrenare, ca loc geometric al punctelor de contact între cele două profile conjugate, în sistemul de referință fix, este dată de

$$x = \omega_3^T(\varphi)X \quad (5.42)$$

împreună cu condiția (5.41), care, în principiu, este o funcție de tipul

$$q(u, \varphi) = 0 \quad (5.43)$$

În acest caz, traiectoriile punctelor aparținând profilului de generat, ecuațiile (5.41), sunt curbe de tip cicloidal.

c) GENERAREA CU CUȚITE-ROATĂ

Se prezintă, în cele ce urmează, aplicarea teoremei I a metodei traiectoriilor plane de generare la profilarea sculei de tip cuțit-roată, a unui vârtej de profile C_Σ , figura 4.9.

Sunt definite sistemele de referință cunoscute:

xy și x_0y_0 sunt sisteme fixe;

XY - sistem mobil, solidar centroidei C_1 ;

$\xi\eta$ - sistem mobil, solidar centroidei C_2 .

Mișcarea relativă între sistemele de referință mobile este

$$\xi = \omega_3(-\varphi_2)[\omega_3^T(\varphi_1)X - a] \quad (5.44)$$

cu

$$a = \begin{pmatrix} -A_{12} \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (5.45)$$

φ_1 și φ_2 - parametri unghiulari variabili;

$\varphi_2 = i \cdot \varphi_1$, i raport de transmitere,

$$i = \frac{R_{rp}}{R_{rs}} = \text{const.} \quad (5.46)$$

Pentru profilul de generat de ecuații:

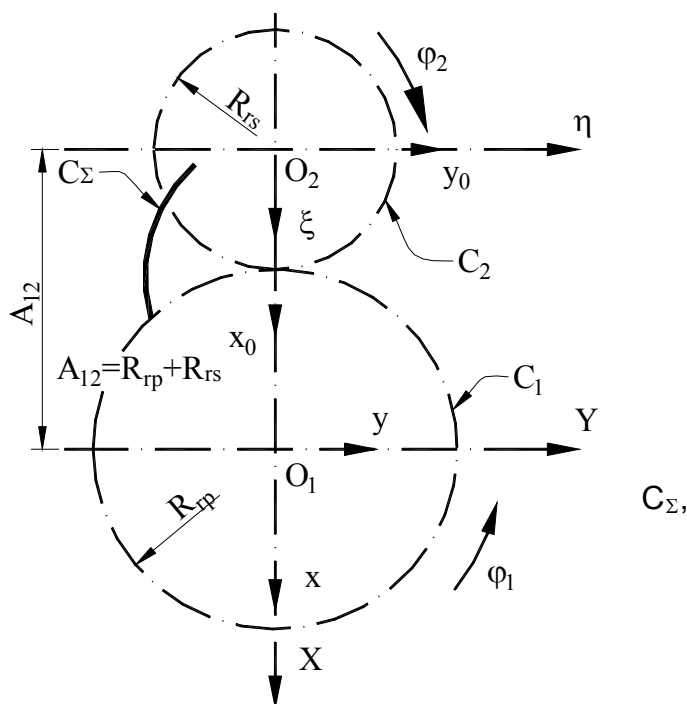


Figura 35. Generarea cu cuțite-roată.

$$C_{\Sigma} = \begin{cases} X = X(u); \\ Y = Y(u), \end{cases} \quad (5.47)$$

cu u variabil, transformarea (5.44) permite explicitarea familiei de traiectorii (în acest caz, epicloide) $(C_{\Sigma})_{\varphi_1}$,

$$(C_{\Sigma})_{\varphi_1} \begin{vmatrix} \xi \\ \eta \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \end{vmatrix} \cdot \left[\begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X(u) \\ Y(u) \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -A_{12} \\ 0 \end{vmatrix} \right] \quad (5.48)$$

După dezvoltare, se ajunge la forma:

$$(C_{\Sigma})_{\varphi} \begin{cases} \xi = X(u)\cos(\varphi_1 \pm \varphi_2) - \\ - Y(u)\sin(\varphi_1 \pm \varphi_2) + A_{12} \cos \varphi_2; \\ \eta = X(u)\sin(\varphi_1 \pm \varphi_2) + \\ + Y(u)\cos(\varphi_1 \pm \varphi_2) \pm A_{12} \sin \varphi_2; \end{cases} \quad (5.49)$$

(semnul de jos, pentru cazul rulării interioare, figura 36).

Familia de traiectorii $(C_{\Sigma})_{\varphi_1}$ (5.48) înfășoară profilul sculei de tip cuțit-roată.

Pentru acest caz specific, condiția de înfășurare are forma

$$\frac{X'_u \cos(1 \pm i)\varphi_1 - Y'_u \sin(1 \pm i)\varphi_1}{-X(u)(1 \pm i)\sin(1 \pm i)\varphi_1 - Y(u)(1 \pm i)\cos(1 \pm i)\varphi_1 - iA_{12} \sin i\varphi_1} = \quad (5.50)$$

$$= \frac{X'_u \sin(1 \pm i)\varphi_1 + Y'_u \cos(1 \pm i)\varphi_1}{X(u)(1 \pm i)\cos(1 \pm i)\varphi_1 - Y(u)(1 \pm i)\sin(1 \pm i)\varphi_1 \pm iA_{12} \cos i\varphi_1}.$$

Condiția (4.33) reprezintă o funcție de tipul

$$q_1(u, \varphi_1) = 0. \quad (5.51)$$

Ansamblul familiei de traiectorii $(C_{\Sigma})_{\varphi_1}$ (5.49) și condiția de tipul (5.50), reprezintă profilul înfășurător al familiei $(C_{\Sigma})_{\varphi_1}$ - profilul cuțitului-roată.

• Linia de angrenare

Linia de angrenare este definită ca loc geometric al punctelor de contact între profilurile în înfășurare, în sistemul de referință fix.

Linia de angrenare este definită de ansamblul de ecuații:

$$\text{L.A.} \quad \begin{cases} \mathbf{x} = \omega_3^T(\varphi_1)\mathbf{X}; \\ q_1(u, \varphi_1) = 0. \end{cases} \quad (5.52)$$

d) GENERAREA CU CUȚITE ROTATIVE

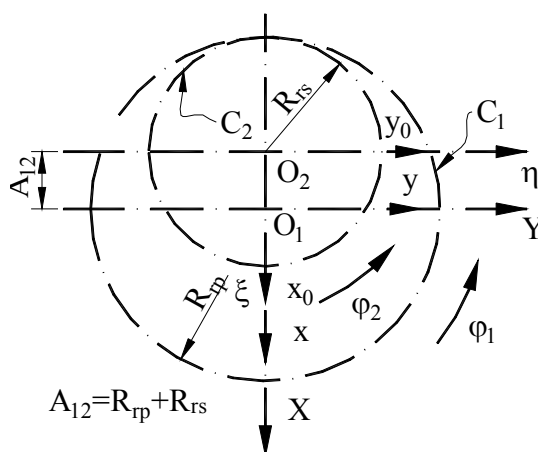


Figura. 36. Cuțit-roată pentru interior

În figura 37, sunt prezentate centroidele în rulare și profilul C_Σ de generat.

Păstrând convenția sistemelor de referință (XY - sistem asociat profilului de generat), cinematica procesului permite determinarea mișcării relative

$$\xi = \omega_3(\varphi)[X + a] \quad (5.53)$$

cu

$$a = \begin{vmatrix} -R_{rs} \\ -R_{rs}\varphi \end{vmatrix}.$$

(5.54)

Astfel, fiind definit profilul de generat C_Σ (de regulă, secțiunea axială filetului prelucrat):

$$C_\Sigma \begin{cases} X = X(u); \\ Y = Y(u), \end{cases}$$

(5.55)

cu u – variabil. Din (5.53) și (5.54), se determină familia de traiectorii:

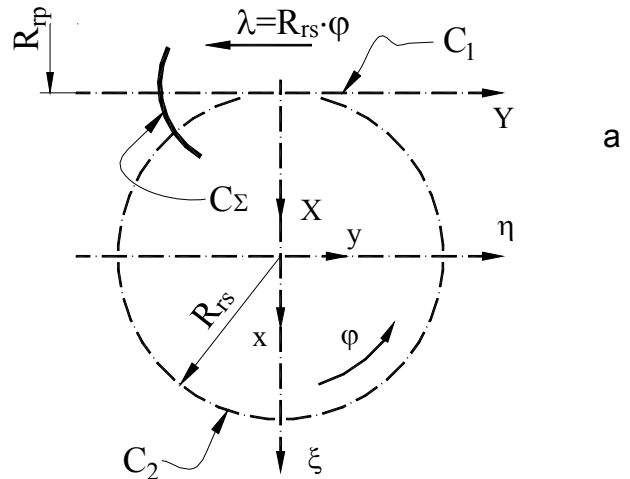


Figura 37. Cuțitul rotativ.
Profilul de generat - C_Σ

$$(C_\Sigma)_\varphi \begin{cases} \xi = [X(u) - R_{rs}] \cos \varphi + [Y(u) - R_{rs}\varphi] \sin \varphi; \\ \eta = -[X(u) - R_{rs}] \sin \varphi + [Y(u) - R_{rs}\varphi] \cos \varphi, \end{cases} \quad (5.56)$$

căreia, asociindu-i condiția de înfășurare, aici în forma

$$\begin{aligned} & \frac{X'_u \cos \varphi - Y'_u \sin \varphi}{- [X(u) - R_{rs}] \sin \varphi + [Y(u) - R_{rs}\varphi] \cos \varphi - R_{rs} \sin \varphi} = \\ & = \frac{- X'_u \sin \varphi + Y'_u \cos \varphi}{- [X(u) - R_{rs}] \cos \varphi - [Y(u) - R_{rs}\varphi] \sin \varphi - R_{rs} \cos \varphi} \end{aligned} \quad (5.57)$$

care reprezintă o dependență algebrică, între parametrii u și φ ,

$$q_2(u, \varphi) = 0. \quad (5.58)$$

Ansamblul ecuațiilor (5.56) și (5.57) reprezintă înfășurătoarea familiei de traiectorii $(C_\Sigma)_\varphi$ - o familie de curbe echidistante a evolventei cercului de rază R_{rs} , adică, profilul cuțitului rotativ.

- **Linia de angrenare**

Linia de angrenare este definită de ansamblul de ecuații:

$$\begin{aligned}
 \text{L.A.} \quad & \left\{ \begin{array}{l} x = X + a; \\ q_2(u, \varphi) = 0; \end{array} \right. \\
 a = & \left\| \begin{array}{l} -R_{rs} \\ -R_{rs} \varphi \end{array} \right\|.
 \end{aligned} \tag{5.59}$$

NOTĂ:

Metoda traiectoriilor plane de generare, va fi extinsă, în etapele viitoare și pentru modele de profilare a sculelor generatoare și pentru alte tipuri de suprafețe în înfășurare:

- suprafețe elicoidale înfășurate cu suprafețe de revoluție (scula-disc; scula cilindro-frontală);
- suprafețe elicoidale cu suprafețe cilindrice;
- modelarea unor suprafețe cu evoluție continuă, generate prin înfășurarea cu corpuri de revoluție.

De asemenea, metoda, în forma unei exprimări numerice a profilurilor, va fi extinsă și pentru modelarea unor procese geometrice corective pentru diferite elemente ale proceselor de danturare.

4.3.

Aplicații ale metodelor de generare la procedeele econventionale de prelucrare, și anume, la a) modelarea erorii de generare la electrodul pentru prelucrarea electroerozivă cu electrod masiv și b) la proiectarea flexibilă a matritelor de injecție.

a) Modelarea generării suprafețelor în procesul de electroeroziune

Generarea cu directoare spațială este o metodă modernă de prelucrare prin electroeroziune a suprafețelor complexe, folosind electrozi cu geometrie simplă.

Această metodă este aplicabilă pe sisteme de prelucrare computerizate reconfigurabile pentru prelucrarea suprafețelor elicoidale și de revoluție.

Pentru modelarea generării 3D a acestor suprafețe sunt analizate două variante principale de generare, diferențiate prin construcția electrodului:

- * generarea cu electrozi succesivi;
- * generarea cu electrozi disc.

În cazul prelucrării prin generare cinematică a suprafețelor pe mașini cu comandă numerică, integrate în sisteme de prelucrare computerizate reconfigurabile, se definesc trei sisteme de coordonate, atasate fiecărui subsistem din componenta sistemului de generare (figura 38).

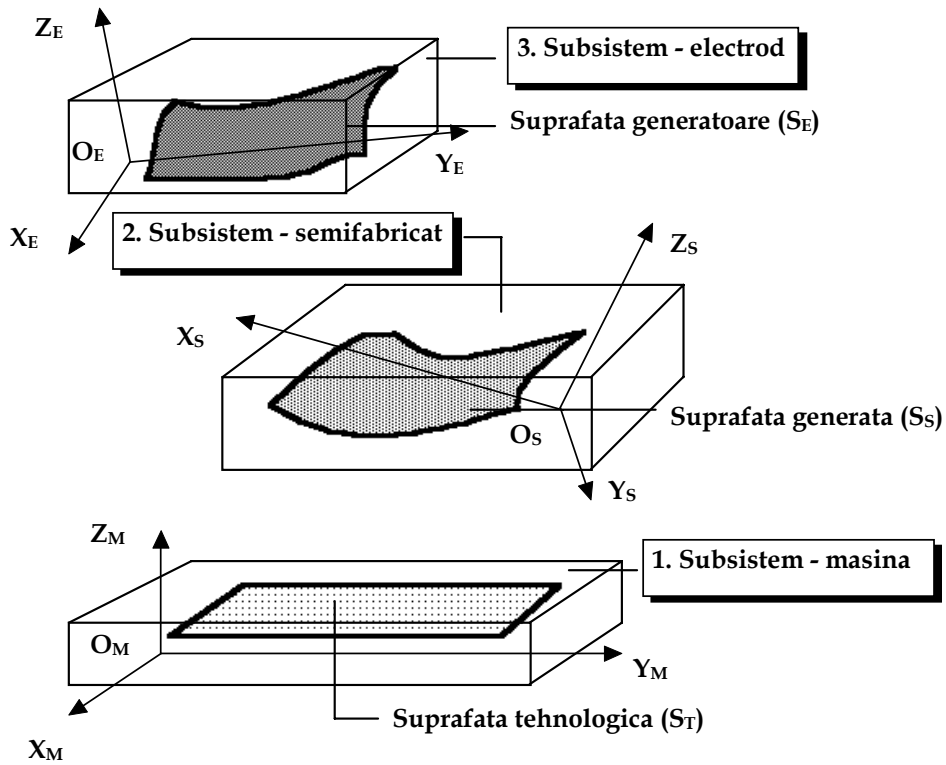


Figura 38. Componentele sistemului de generare

Sistemul (OXYZ) $_M$ este fix, solidar cu suprafata tehnologica S_T , iar sistemele (OXYZ) $_E$ si (OXYZ) $_S$ sunt mobile, solidare cu suprafata generatoare S_E , respectiv cu suprafata generata S_S .

Pentru determinarea formei si dimensiunilor suprafetei de prelucrat pe semifabricat se aplica principiul general al modelarii generarii suprafetelor, descris in figura 39 si prin ecuatiile generale (5.60).

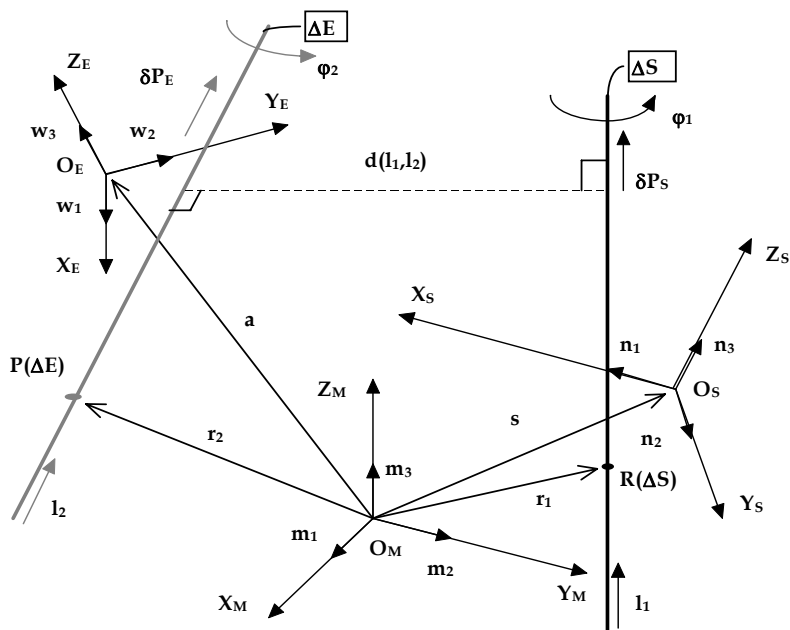


Figura 39. Elementele modelului de generare cinematica

$$((S_{EF})_v)_{k_e, \delta} \begin{cases} X_S = X_S(v, k_e, \varphi_1, \varphi_2, \delta); \\ Y_S = Y_S(v, k_e, \varphi_1, \varphi_2, \delta); \\ Z_S = Z_S(v, k_e, \varphi_1, \varphi_2, \delta). \end{cases} \quad (5.60)$$

Din analiza modelului general al generarii suprafetelor prin electroeroziune pot fi puse in evidenta urmatoarele cazuri particulare, specifice generarii pe sisteme de prelucrare prin electroeroziune computerizate reconfigurabile:

4.3.1. Generarea cu directoare spatiaza – 3D

Axele miscarilor elicoidale ΔE si ΔS sunt paralele, fiind realizate urmatoarele conditii (figura 40):

$$- \vec{l}_1 = \vec{l}_2 = \vec{k};$$

$$- s = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, r_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ deci sistemul mobil (OXYZ)S se afla in pozitie initiala}$$

suprapus peste sistemul fix (OXYZ)M;

$$- e = r_2 = \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$- \varepsilon = \eta = I^*, \text{ cu } I^* = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$- \Omega(\dot{l}_1, \varphi_1) = \omega_3(-\varphi_1);$$

$$- \Omega(\dot{l}_2, \varphi_2) = \omega_3(\varphi_2);$$

- planul in care este definita generatoarea are forma:

$$(PGE) \quad AXM + CZM + D = 0, \text{ cu } YM = 0.$$

Inlocuind conditiile de mai sus in ecuatiile (5.60) se obtine:

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \omega_3(-\varphi_1) \cdot \left\{ \begin{pmatrix} X_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta) \\ Y_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta) \\ Z_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p_1 \varphi_1 \end{pmatrix} \right\}, \quad (5.61)$$

in care $\omega_3(-\varphi_1)$ este matricea de rotatie de unghi de rotatie $(-\varphi_1)$ si axa \vec{k} ,

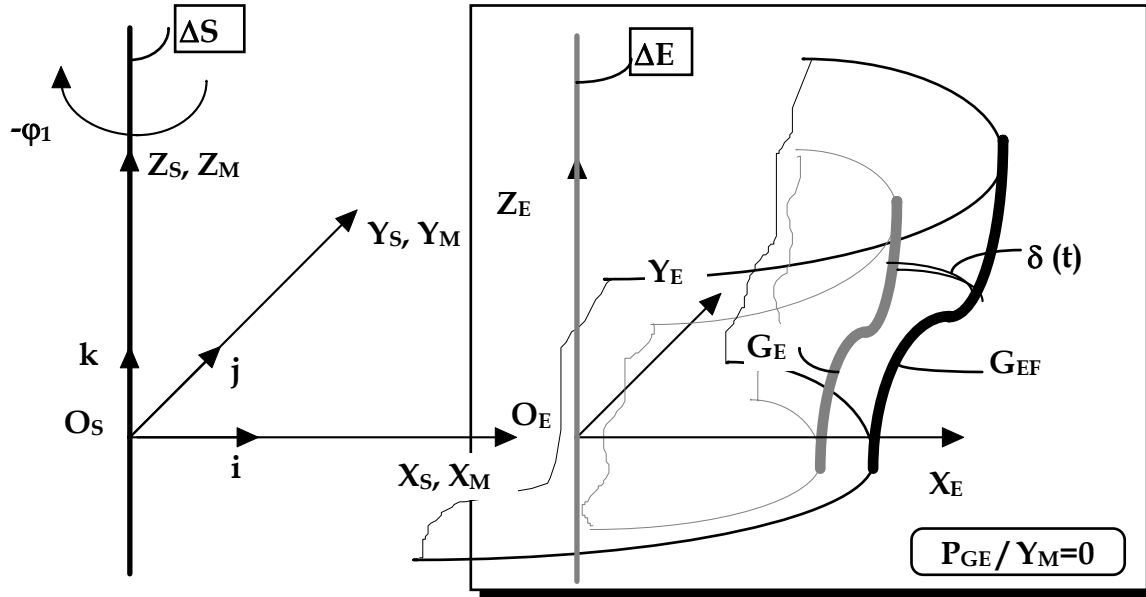


Figura 41. Modelarea generarii suprafetelor cu directoare plana - 2D

Ecuatiile (5.63) devin:

$$((S_{EF})_v)_{k_e, \delta} \begin{cases} X_S = X_{MF}(v, k_e, \delta) \cdot \cos \varphi_1 - Y_{MF}(v, k_e, \delta) \cdot \sin \varphi_1; \\ Y_S = X_{MF}(v, k_e, \delta) \cdot \sin \varphi_1 + Y_{MF}(v, k_e, \delta) \cdot \cos \varphi_1; \\ Z_S = Z_{MF}(v, k_e, \delta). \end{cases} \quad (5.64)$$

La generarea cu directoare plana (2D), punctul curent, aparținând generatoarei (GE), descrie o curbă plană.

4.3.3. Generarea cu directoare rectilinie – 1D

Axele ΔE și ΔS sunt suprapuse, fiind realizate, suplimentar față de cazul 1, următoarele condiții (figura 42):

- $\varphi_1 = 0$;
- $\omega_3 (-\varphi_1) = I^*$.

Înlocuind în ecuațiile (5.64) se obține:

$$((S_{EF})_v)_{k_e, \delta} \begin{cases} X_S = X_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta); \\ Y_S = Y_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta); \\ Z_S = Z_{MF}(v, k_e, \varphi_2, \delta). \end{cases} \quad (5.65)$$

În cazul generării cu directoare rectilinie (1D), punctul curent de pe generatoarea electrodului real, descrie o dreaptă, care coincide cu axa electrodului.

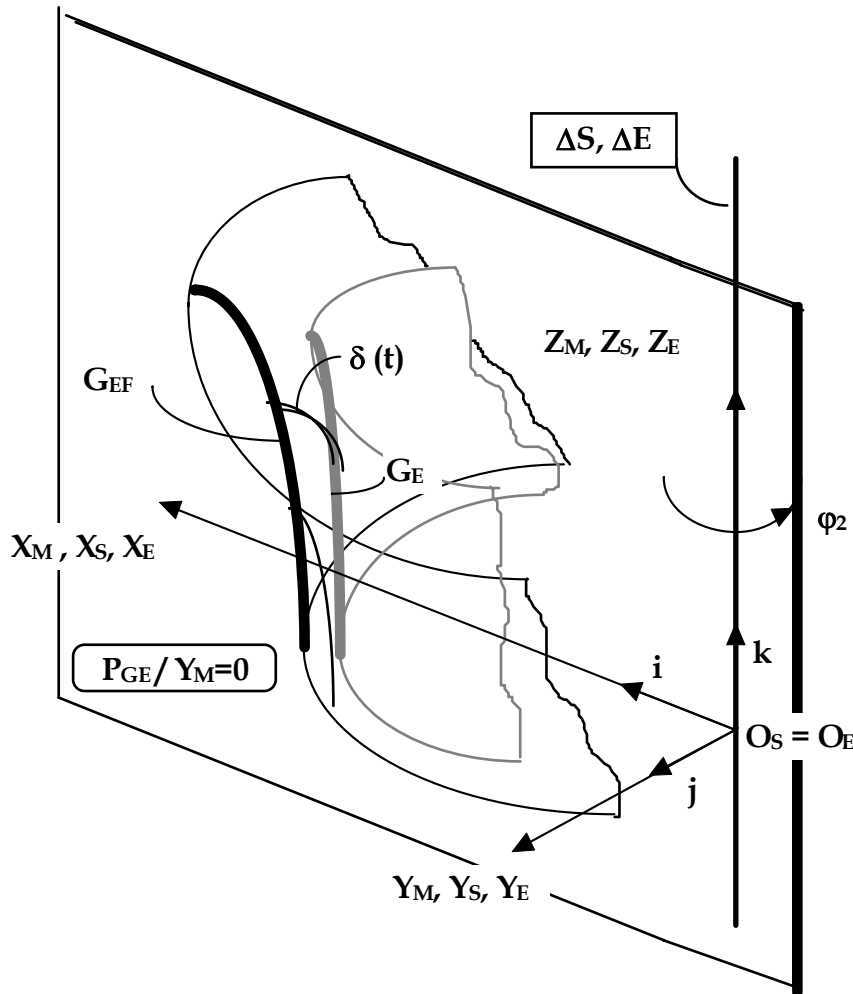


Figura 42. Modelarea generarii suprafetelor cu directoare rectilinie - 1D

Din analiza cazurilor particulare de generare rezulta ca pentru determinarea ecuatiilor de generare trebuiesc facute urmatoarele consideratii preliminare:

- traiectoria programata a sistemului de axe mobil, solitar cu electrodul, este elicoidala;
- generatoarea electrodului real este o curba definita analitic sau prin puncte in planul de generare, care contine axa principala a electrodului;
- viteza de avans a electrodului este egala cu viteza de eroziune a materialului de pe suprafata semifabricatului;
- uzura electrodului este uniforma pe suprafata generatoare;
- viteza de uzare a electrodului este dependenta de parametrii de proces si de timpul de eroziune;
- eroarea de prelucrare a suprafetii semifabricatului depinde de legea de variatie a uzurii electrodului si a interstitiului lateral;
- prelucrarea completa, finala, a suprafetii semifabricatului se realizeaza folosind regimuri de prelucrare succesive;

Suprafata generatoare a electrodului real este definita prin generatoarea G_E , (figura 43) descrisa in sistemul mobil $(OXYZ)_E$ prin ecuatiile:

$$(G_E) \begin{cases} X_E = R_E + q \cdot \cos \alpha; \\ Y_E = 0; \\ Z_E = q \cdot \sin \alpha, \end{cases} \quad (5.66)$$

in care: q este parametrul de pozitie al punctului curent M ;
 α - unghiul de pozitie al generatoarei,

$$\alpha = \alpha_0 + k_{e1} (pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t); \quad (5.67)$$

α_0 - unghiul pozitiei initiale;
 R_E - dimensiunea transversala a electrodului in sectiunea $(OXZ)_E$

$$R_E = R_{0E} - k_{e2} (pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t), \quad (5.68)$$

R_{0E} - dimensiunea initiala a electrodului;
 k_{e1}, k_{e2} - parametri de modificare a pozitiei generatoarei.

Axele ΔE si ΔS sunt paralele si sunt axe ale miscarii elicoidale; ecuatiile suprafetii generatoare a electrodului real sunt determinate de miscarea elicoidala de axa ΔS .

Inlocuind expresiile (5.67) si (5.68) in ecuatiile (5.66), vor rezulta ecuatiile generatoarei electrodului real de forma:

$$(G_E) \begin{cases} X_E = R_{0E} - k_{e2}(pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t) + \\ \quad + q \cdot \cos[\alpha_0 + k_{e1}(pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t)]; \\ Y_E = 0; \\ Z_E = q \cdot \sin[\alpha_0 + k_{e1}(pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t)]. \end{cases} \quad (5.69)$$

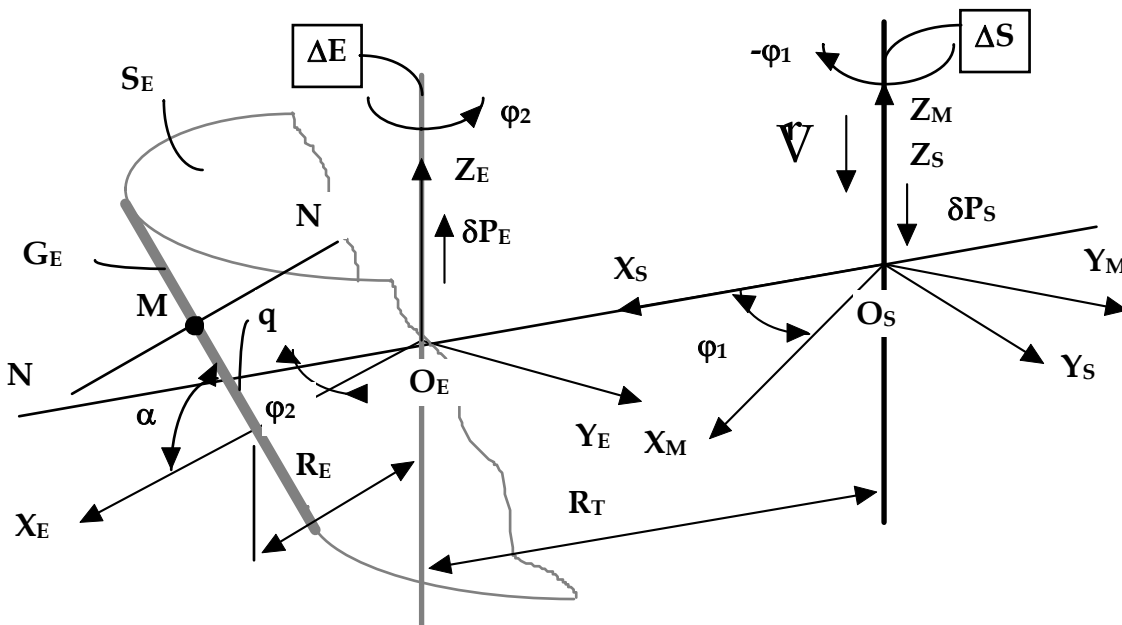


Figura 43. Generarea 3D a suprafetelor profilate de revolutie

Familia de suprafețe generatoare, atasată electrozului real, este descrisă în sistemul mobil (OXYZ)E prin ecuațiile mișcării de rotație de unghi φ_2 :

$$\begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = \omega_3^T(\varphi_2) \cdot \begin{pmatrix} X_E(q, k_{e1}, k_{e2}) \\ 0 \\ Z_E(q, k_{e1}, k_{e2}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p_2 \cdot \varphi_2 \end{pmatrix}, \quad (5.70)$$

sau desfasurat:

$$(S_{EF})_{ke} \begin{cases} X_E = [R_{0E} - k_{e2} + q \cdot \cos(\alpha_0 + k_{e1})] \cos \varphi_2; \\ Y_E = [R_{0E} - k_{e2} + q \cdot \cos(\alpha_0 + k_{e1})] \sin \varphi_2; \\ Z_E = q \cdot \sin(\alpha_0 + k_{e1}) + p_2 \cdot \varphi_2, \end{cases} \quad (5.71)$$

in care: p_2 este parametrul elicoidal,

$$p_2 = \frac{P_E}{2\pi}; \quad (5.72)$$

PE - pasul elicoidului - electrod.

Familia de suprafețe generatoare de pe electrozului fictiv este descrisă de ecuațiile de mai jos:

$$(S_{EF})_{ke,\delta} \begin{cases} X_{EF} = R_{0E} + [\delta_1(q) + \delta_2(p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}, t)] \sin(\alpha_0 + k_{e1}); \\ Y_{EF} = Y_E; \\ Z_{EF} = Z_E + [\delta_1(q) + \delta_2(p_{t1}, p_{t2}, \dots, p_{tn}, t)] \cos(\alpha_0 + k_{e1}). \end{cases} \quad (5.73)$$

Ecuațiile aceleiași familii de suprafețe sunt descrise în sistemul fix (OXYZ)M prin introducerea ecuațiilor (5.72) în ecuațiile transformării în coordonate din (OXYZ)M în (OXYZ)E :

$$\begin{pmatrix} X_{MF} \\ Y_{MF} \\ Z_{MF} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{EF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2) \\ Y_{EF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2) \\ Z_{EF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -R_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (5.74)$$

sau desfasurat:

$$(S_{EF})_{ke,\delta} \begin{cases} X_{MF} = X_{EF} + R_T; \\ Y_{MF} = Y_{EF}; \\ Z_{MF} = Z_{EF}, \end{cases} \quad (5.75)$$

in care: R este parametrul traiectoriei programate a axei electrozului (axa ΔE),

$$RT = R0T - w \cdot \varphi_1, \quad (5.76)$$

R0T - distanta initiala intre axele ΔE si ΔS ;

w - constanta de traiectorie.

Miscarea elicoidala relativa a sistemului fix (OXYZ)M in raport cu sistemul mobil (OXYZ)S este descrisa prin ecuatiile:

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \omega_3(-\varphi_1) \cdot \left\{ \begin{pmatrix} X_{MF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2, \varphi_2) \\ Y_{MF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2, \varphi_2) \\ Z_{MF}(q, k_{e1}, k_{e2}, \delta_1, \delta_2, \varphi_2) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p_1 \cdot \varphi_1 \end{pmatrix} \right\}, \quad (5.77)$$

in care: $\omega_3(-\varphi_1)$ este matricea transformarii de rotatie de axa \hat{k} si unghi $(-\varphi_1)$,

$$\omega_3(-\varphi_1) = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (5.78)$$

p_1 este parametrul elicoidal,

$$p_1 = \frac{P_S}{2\pi}; \quad (5.79)$$

P_S - pasul elicoidului - semifabricat.

Inlocuind ecuatiile (5.79) in (5.77) se obtin ecuatiile familiei de suprafete generatoare, atasate electrozudului fictiv, descrise in sistemul (OXYZ)S, solidar cu semifabricatul:

$$(S_{EF})_{ke,\delta} \begin{cases} X_S = X_{MF} \cdot \cos \varphi_1 - Y_{MF} \cdot \sin \varphi_1; \\ Y_S = X_{MF} \cdot \sin \varphi_1 + Y_{MF} \cdot \cos \varphi_1; \\ Z_S = Z_{MF} - p_1 \cdot \varphi_1. \end{cases} \quad (5.80)$$

In planul (PGE), care contine axele ΔE si ΔS , generatoarea electrozudului fictiv poate fi identificata cu pozitia instantanee a curbei de pe suprafata generata pe semifabricat.

Pozitiile succesive, la diferite intervale de timp ale acestor curbe sunt descrise de ecuatiile urmatoare:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 X_S &= \{[R_{0E} - k_{e2} + q \cos(\alpha_0 + k_{e1})] \cos \varphi_2 + [\delta_1 + \delta_2] \sin(\alpha_0 + k_{e1}) \\
 &+ R_{0T} - w \cdot \varphi_1\} \cos \varphi_1 - \{[R_{0E} - k_{e2} + \\
 &+ q \cdot \cos(\alpha_0 + k_{e1})] \sin \varphi_2\} \sin \varphi_1; \\
 Y_S &= 0; \\
 Z_S &= q \cdot \sin(\alpha_0 + k_{e1}) + (\delta_1 + \delta_2) \cos(\alpha_0 + k_{e1}) + \frac{P_E}{2\pi} \varphi_2 - \frac{P_S}{2\pi} \varphi_1,
 \end{aligned} \right| \\
 & \hspace{15em} (5.81)
 \end{aligned}$$

in care: $\varphi = k\varphi \cdot t$,

$k\varphi$ - constanta de transformare;

$k_e = k_e (pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t)$;

$\delta = \delta (pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t)$;

R_{0E}, α_0, P_E - constante ale formei geometrice a electrodului real (kg)

R_{0T}, w, P_S - constante ale traiectoriei programate a electrodului real

(kTP).

Rezulta ca pozitiile curbelor generate pe suprafata semifabricatului sunt dependente de parametrii tehnologici ai regimului de prelucrare si de timp prin relatii generale:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 X_S &= X_S(k_g, k_{TP}, pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t); \\
 Y_S &= 0; \\
 Z_S &= Z_S(k_g, k_{TP}, pt_1, pt_2, \dots, pt_n, t).
 \end{aligned} \right| \\
 & \hspace{15em} (5.82)
 \end{aligned}$$

- b) Modelarea generarii suprafetelor aplicata in flexibilizarea proiectarii asistate de calculator a matritelor de injectie

Proiectarea matritelor cu ajutorul modelarii cu element finit folosind elemente tipizate

Folosirea elementelor normalizate în construirea unei matrițe prin sistem CAD a fost posibilă ca urmare a preocupării firmelor producătoare de a prezenta norme cât mai complete de elemente de matrițe.

Firmele Hasco, Strack și DME sunt singurii fabricanți a căror cataloage propun norme de matriță sub formă de programe compatibile cu o serie de sisteme CAD diferite.

Programul logic al firmei Strack este caracterizat printr-un timp de acces scurt deși baza de date conține 20.000 matrițe complete și 30.000 de piese distincte. Datorită unei gestionări speciale a datelor este necesară o memorie puțin importantă de aproximativ 3,8 MB. O caracteristică specifică a acestui program este că permite accesul la ansamble complete de matrițe. Dacă utilizatorul schimbă grosimea plăcii programul schimbă automat piesele accesorii care se utilizează. Aceasta se aplică de asemenea când diferite grosimi de plăci cuprinse în catalog sunt specificate de operator.

Norma Hasco folosește deja la a patra versiune de programe catalog de norme. Cu acest sistem funcționarea desenului este simplificată și prezentată interactiv direct, plecând de la sistemul CAD folosit.

Alte norme produse de diferite firme sunt astăzi compatibile numai parțial cu diferite sisteme de proiectare (CATIA, Procad, Meduza, etc.).

Alte firme propun elemente normalizate în domeniul sistemelor de injectare cu canale încălzite. Astfel firma Ewikon propune sistemele cu canale calde sub formă de programe de normalizare. Proiectantul este sprijinit în munca de concepție atunci când introduce un sistem de injectare cu canal încălzit.

Mold-Masters Ltd. furnizează sistemele cu canale încălzite sub forma unor programe catalog de norme sub numele de Ecat (Electronic Catalog). Catalogul este compatibil cu toate sistemele CAD care pot folosi interfața IGES.

Fabricația matriței cu ajutorul calculatorului în vederea reconfigurării

Sistemul CAM include toate activitățile legate de executarea și supravegherea procesului de fabricație a matriței de injectat. Sistemul CAM în fabricația de matrițe se referă la:

- automatizarea fabricației;
- controlul fabricației;
- manevrarea și deplasarea sculelor și materialelor;
- supravegherea fabricației.

Construcția cu ajutorul calculatorului. Dorința de simplificare și flexibilitate în domeniul construcției de matrițe necesită prelucrarea de proceduri standard și rutine automate în sistemul CAD [37].

Construcția și prelucrarea suprafețelor neregulate de matriță sunt greu de realizat fără intervenția calculatorului. Prin folosirea unor software moderne, construcția tridimensională a devenit accesibilă. Produse speciale complexe pot fi privite din unghiul dorit, rotite, reflectate și secționare, în plus apar numeroase facilități de construcție, de exemplu: legarea suprafețelor prin punți tangențiale, obținerea suprafețelor prin funcții matematice, rotunjiri cu rază constantă sau variabilă. Printr-o definiție geometrică exactă constructorul își face o imagine clară asupra construcției matriței încă din faza de început.

Utilizarea normelor standard a elementelor de matriță simplifică considerabil construcția matriței (*Hasco, DME, Strack*).

Modul de deservire și confortul sistemului CAD sunt diferențiate: creionul luminos, mouse-ul, tastatura, joystick-ul, precum și combinațiile acestora.

Modul de lucru în domeniul CAM solicită la programarea NC un înalt nivel de cunoștințe de fabricație. Oricare ar fi nivelul automatizării nici un modul CAM nu exprimă situația tehnică a fabricației.

Cantitățile limită ca: materiale, situația prinderii, alegerea sculelor, toleranțele de fabricație, parametrii de așchiere sunt date care premerg programării. Programatorul NC trebuie să definească fiecare pas de lucru și să stabilească prelucrarea eficientă a geometriei, făcând legătura dintre tehnica de fabricație practică și programarea NC.

Pentru a nu fi nevoie să se renunțe la valorile practicate proprii, majoritatea modulelor CAM permit înființarea unui fișier propriu de date tehnologice. Unele sisteme oferă facilități pentru cicluri automate, de exemplu: strunjirea de degroșare sau optimizarea sculei și a cursei sculei. Simulările grafice oferă posibilitatea controlului drumurilor parcurse și a coliziunilor.

Sisteme de programare JVC. Alături de sistemele integrate CAD/CAM există o serie de sisteme de programare NC de sine stătătoare. Ele permit atât obținerea noilor geometrii de piese, cât și prelucrarea datelor geometrice din sistemele CAD. Pentru utilizări simple, aceste sisteme pot genera, în dialog sprijinit grafic, un program de prelucrare NC.

Sistemul de programare *21/2 D-NC Maho Form* conține o bancă de date de scule și date tehnologice. Lucrul de programare se sprijină pe funcții pentru presare, strunjire de degroșare și găurire, precum și pentru realizarea optimizării curselor sculelor și a schimbării sculelor. Ca opțiuni sunt posibile programele 3D, precum și programarea operațiilor de strunjire, electroeroziune cu fir și gravare.

Pentru obținerea conturului și generarea de programe NC se folosesc blocurile funcționale tipizate CIM ale firmei Hahn & Kolb. Prin folosirea unor interfețe specifice pot fi prelucrate și date geometrice ale unor sisteme CAD străine.

Pentru a accelera lucrul utilizatorul însuși poate realiza reprezentări CAD ale celor mai utilizate elemente constructive și variante de program pentru familii de piese. Succesiunea cursei sculei și divizarea prin pași spre exemplu la freze mici se poate obține automat.

Sistemele CAM au structuri modulare. Alături de modulele de bază există și module de aplicație dependente de procedeu: frezare, rectificare în coordonate și rectificare profile, strunjire și tăiere laser. Actualmente sunt disponibile sute de postprocesoare care îndeplinesc toate comenzile curente. Prin modulul orbit DNC pot fi aprovizionate prin programe NC, în pași, câte 32 de mașini unelte din rețeaua de fabricație.

Programul *Software Microcam* este un sistem de programare NC și un sistem DNC pe bază de PC prin care pot fi obținute atât construcții noi cât și date CAD prin normele IGES sau DXF sau direct prin formatul binar. Acest echipament, potrivit pentru întreprinderile mici și mijlocii poate executa comenzile numerice curente.

Fabricația prin folosirea calculatorului. Câteva cercetări în domeniul sculelor de prelucrat tablă au arătat cum pot fi modificate sistemele CAD/CAM pentru cazuri speciale.

Dezvoltări speciale similare sunt posibile și la fabricarea matrițelor pentru injectarea materialelor plastice care se realizează în sisteme CAD/CAE cu programe de expunere reologică a matrițelor. Dorința de a folosi subansamble tipizate nu numai la mașini dar și la matrițe a stat în preocuparea multor firme.

În construcția de matrițe, datorită infuziei de noi tehnologii, se utilizează în permanență optimizarea. Un exemplu în acest sens este frezare NC după 5 axe. Pe lângă timpul de prelucrare mai redus a unei matrițe, se obține prin aceasta și o precizie mai ridicată. Comparativ cu frezarea NC după 3 axe, prelucrarea după 5 axe a suprafețelor de formă neregulată se face cu un număr mai mic de treceri de frezare, la o calitate mai bună a suprafețelor. Programele NC pentru 5 axe pretind, datorită aparatului matematic complex, un volum mare de calcul, la viteza de prelucrare corespunzătoare. Acest lucru nu poate fi rezolvat mulțumitor decât cu ajutorul unor calculatoare mari. Programele de frezare complicate și de durată pot fi rulate cu ajutorul acestor calculatoare și în cursul nopții.

Programele productive calculează alături de traiectoria de frezare, coliziunea și unghiul de înclinare a frezei. Pentru fiecare punct al traiectoriei este calculat unghiul de basculare necesar, astfel încât unghiul de așezare a frezei să se adapteze profilului suprafețelor. Aceasta certifică faptul că nici un punct de pe suprafața frezei nu se ciocnește cu suprafața presei, în plus, se înlătură o finisare de suprafața în direcția de frezare. Durata de calcul pentru aceste operații se poate reduce simțitor cu programe la care procesorul, care prelucrează direct definițiile matematice ale suprafețelor, calculează doar atâtea puncte și vectori cât sunt necesari pentru fiecare caz de prelucrare în parte.

Datorită volumului mare de date este indicată transpunerea datelor pentru mașinile de frezat după 5 axe în sistemul de funcționare DNC. Acest sistem

asigură o transpunere de date rapidă și sigură, în funcție de situația de prelucrare se alege varianta cea mai favorabilă între prelucrarea după 3 axe și cea după 5 axe. De regulă însă acestea sunt combinate.

Alegerea frezării după 5 axe este dependentă de eforturile de programare și geometria de prelucrat. Tehnica de fabricație este un factor hotărâtor pentru micșorarea duratei de rulare. La matrițele cu geometrie simplă a cavității frazarea după 5 axe este neeconomică, în timp ce pentru suprafețele neregulate este recomandabilă. Avantajul principal al frezării după 5 axe este adaptarea bună la controlul suprafețelor. Acest lucru are drept urmare faptul că la degrosare și finisare se poate prelucra cu diametre mari ale capetelor portfreză și lățimi mai mari ale curselor de prelucrare. De asemenea, volumul prelucrărilor ulterioare este mult mai mic.

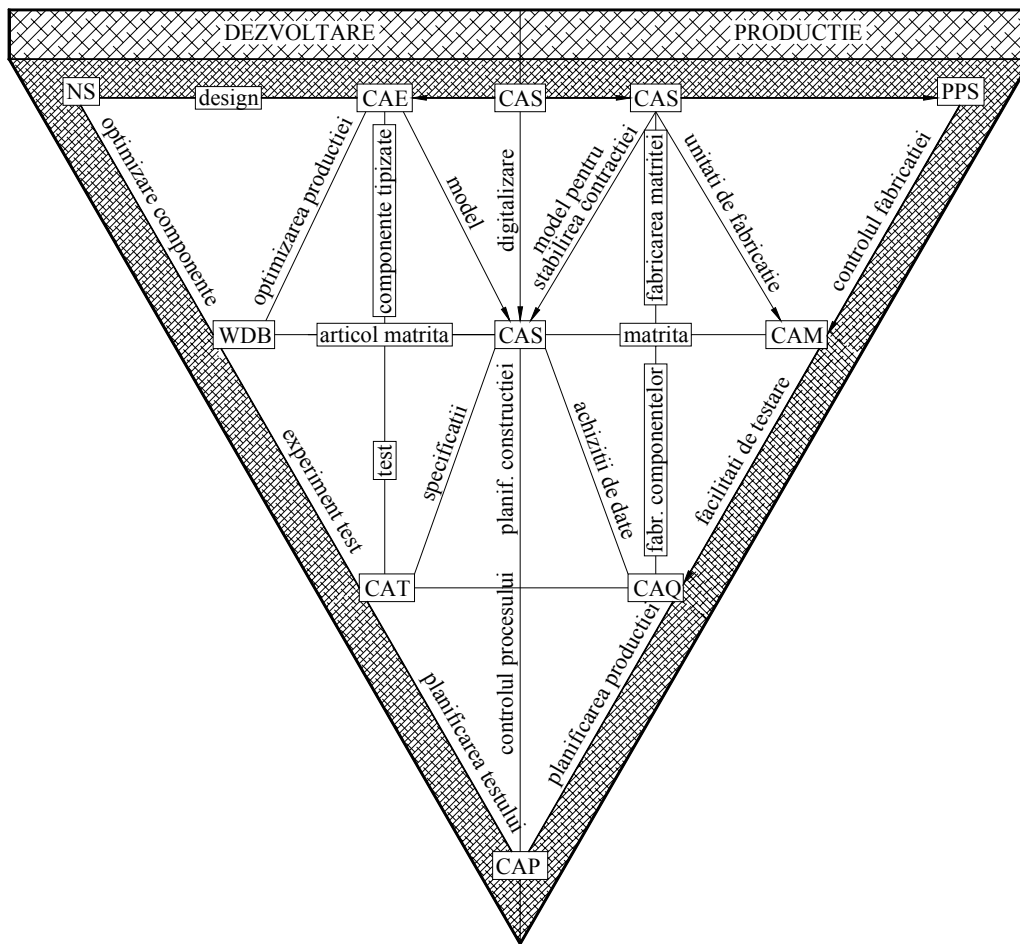


Figura 44. Aplicarea conducerii cu calculatorul și cuplarea sa cu ingineria materialelor plastice în vederea reconfigurării procesului de injectare

Stilizarea, proiectarea și reconfigurarea cu ajutorul calculatorului precum și sistemul de fabricație asistată cu calculatorul se pot interconecta în procesul de realizare a matriței.

Sistemele de conducere cu calculatorul pot fi complexe cuprinzând întregul sistem de inginerie în domeniul injectării (fig. 44).

4.4. Metode de modelare a reconfigurării corective

Generarea prin înfășurare este însoțită de erori:

- erori datorate lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte;
- erori datorate formei necorespunzătoare a muchiei așchietoare a sculei generatoare;
- erori de așchiere.

Erorile muchiei de așchiere pot fi datorate, atât erorilor de generare ale sculei cât și erorilor “teoretice”, determinate de modalitățile de calcul ale profilului sculei așchietoare. Rezolvarea unei problematici legată de precizia generării suprafețelor impune, în baza teoremelor specifice ale înfășurării suprafețelor, și rezolvarea unei “probleme inverse” și anume: cunoscând forma sculei sau a muchiilor așchietoare efective ale sculelor, să se determine suprafața de pe semifabricat *efectiv generată*.

Convenim a numi o astfel de problematică *modelarea generării suprafețelor*. Facem observația că suprafața periferică primară a sculelor, în toate situațiile reale, este dificil a fi exprimată analitic, datorită complexității ecuațiilor care le-ar descrie (ecuații transcendente, a căror rezolvare nu poate fi făcută decât numeric).

Din această cauză, formele suprafețelor periferice primare ale sculelor – a secțiunilor axiale (transversale) ale acestora sunt, în aproape toate cazurile, descrise în formă discretă, prin coordonatele punctelor profilurilor.

Această formă de exprimare a secțiunilor caracteristice ale suprafețelor periferice primare ale sculelor va impune, în procesul *modelării generării suprafețelor*, utilizarea metodei exprimării în formă discretă a suprafețelor, ca singura soluție aplicabilă într-o astfel de situație.

Creșterea numărului de puncte în lungul generatoarelor suprafețelor permite o cunoaștere a acestora, la un nivel care poate satisface din punct de vedere tehnic.

În perioada urmatoare se vor concepe algoritmi de generare a suprafețelor prin tehnici corective astfel incat erorile sa fie compensate prin algoritmul de generare.

VI REZULTATELE ETAPEI SI GRADUL DE REALIZARE A OBIECTIVELOR

Obiectivul I

Activitatea I 1

In aceasta etapa, a fost stabilit la nivel conceptual algoritmul de identificare on-line a sistemului reconfigurabil (bazat pe schema din figura 1). In perioada urmatoare se va elabora schema de identificare on-line la nivel operational aplicabila sistemului de prelucrare prin electroziune , reconstruit in vederea conducerii dimensionale a acestuia care sa includa doua cazuri:

- cazul suprafetelor riglate;
- cazul suprafetelor complexe;

Pana in acest moment, activitatea s-a derulat conform planului de realizare a proiectului.

Activitatea I 2

A fost stabilita forma modelului RMS, bazata pe schema din figura 45.

Modelul general al RMS-ului se bazeaza pe schema conceptuala a acestuia prezentata in figura 45 din care rezulta ca :

1. sistemul este considerat a fi compus din trei elemente interdependente:
 - procesul de manufacturare,
 - constructia sistemului,
 - intarzierea cu care raspunsul constructiei la solicitarea din proces este transmisa la intrarea in proces.
2. modelul sistemului va rezulta din compunerea modelelor celor trei componente.
3. pentru conducerea sistemului trebuie introduse corectii la intrarea in proces , ceea ce inseamna ca respectivele corectii vor conduce la modificarea parametrilor procesului.

Pana in acest moment activitatea s-a derulat conform planului de realizare a proiectului.

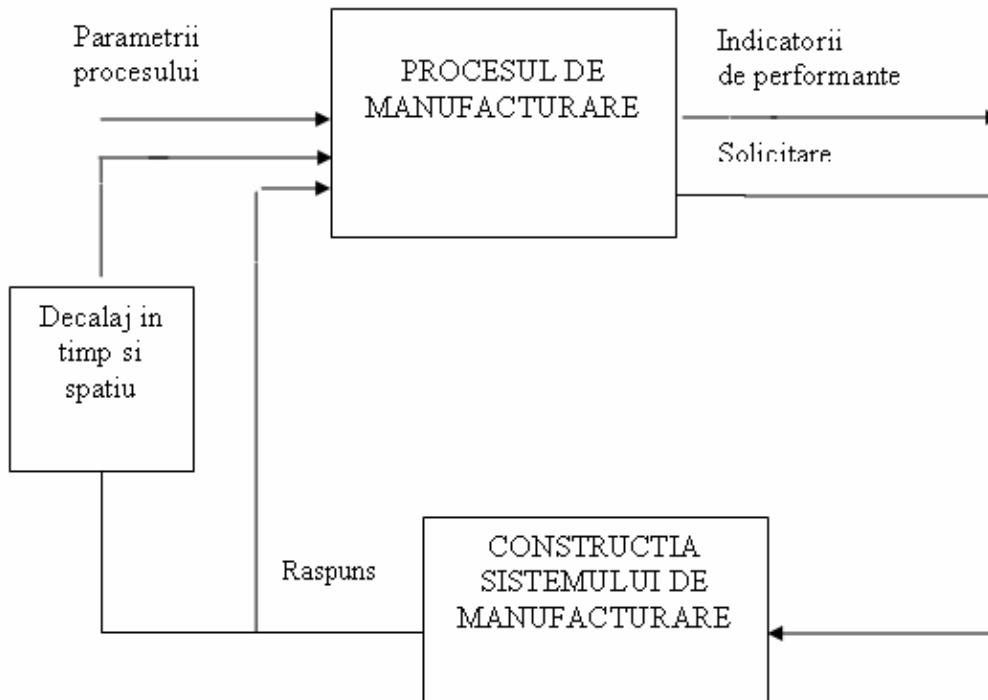


Figura 45

Obiectivul 2

Rezultate – S-a elaborat conceptul de rețea Petri dezvoltată care poate fi aplicat în cazul modelării fluxurilor de operații ce se pot realiza pe un sistem reconfigurabil multi-tasking.

S-a făcut o simulare a optimizării fluxurilor de fabricație a unor prelucrări mecanice pe mașini-unelte clasice, și folosind rețelele Petri clasice pentru a vedea interferențele ce apar în planificarea fluxurilor tehnologice.

Obiectivul 3

Rezultate - s-a făcut o clarificare a noțiunii de sistem reconfigurabil, prezentându-se caracteristicile acestuia;

- pe baza definiției sistemului reconfigurabil, s-au identificat principalele tehnologii de deformare plastică care se pot încadra în această categorie;
- fiecare tehnologie de deformare plastică a fost analizată prin prisma gradului în care se poate încadra în categoria tehnologiilor reconfigurabile;
- s-a pus accent pe tehnologia de deformare cu matrițe reconfigurabile, ca domeniu al cercetărilor viitoare;
- s-a prezentat un algoritm de calcul al poziției pinilor în vederea reconfigurării, algoritm care urmează a fi dezvoltat printr-un soft;
- s-a prezentat o schemă de control al formei pieselor deformate în matrițe reconfigurabile, schemă care de asemenea urmează a fi materializată în cercetările ulterioare.

TEHNOLOGII DE DEFORMARE CU MATRIȚE RECONFIGURABILE- Algoritmi si scheme de control

Unele piese din tablă de dimensiuni mari și foarte mari din construcția corpului aeronavelor, al navelor maritime și fluviale și al vagoanelor și locomotivelor, se pot obține prin procedeul de deformare prin tragere pe poanson.

O prezentare a acestei tehnologii este necesară pentru dezvoltarea problematicii.

Deformarea prin tragere pe poanson este procedeul prin care un semifabricat prin la capete, este deformat de un poanson rigid.. Fixarea se poate face fie cu elemente rigide, fie cu dispozitive cu fălci de strângere.

Prin această metodă pot fi deformatate în afară de aluminiu, magneziu și aliajele lui, toate materialele ductile – începând de la oțelurile carbon, titan și aliajele lor și terminând cu niobiul și beriliul.

Deformarea prin tragere pe poanson este utilizată la obținerea unor forme de semifabricate convexe, cu raze mari de curbură. Câteva din geometriile care pot fi obținute prin această deformare se prezintă în figura 46.

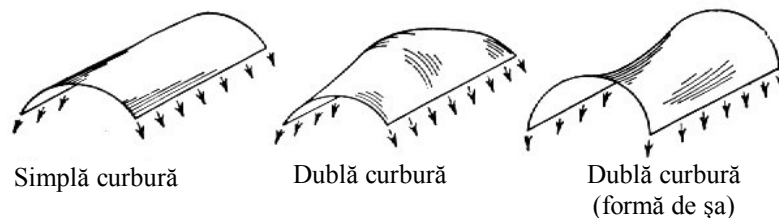


Figura 46. Geometrii de piese obținute prin deformare prin tragere pe poanson

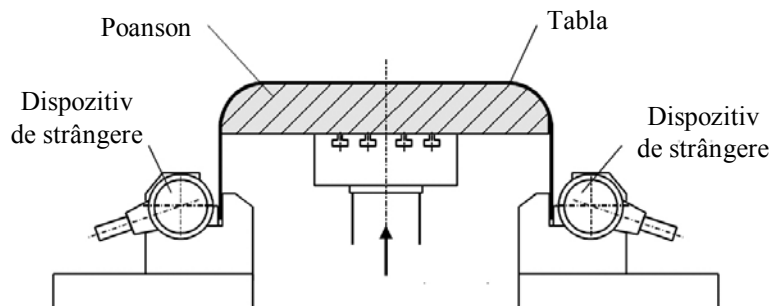


Figura 47. Schița deformării prin tragere pe poanson convențională

Există mai multe procedee tehnologice de deformare prin tragere pe poanson. Câteva vor fi prezentate în continuare:

- deformarea prin tragere pe poanson convențională. În această metodă (figura 47), semifabricatul este fixat la capetele opuse de două dispozitive cu fălci de strângere și este deformat de un poanson monolitic care avansează perpendicular pe planul tablei.

Datorită contactului mare dintre poanson și semifabricat, zona de mijloc a acestuia se deformează foarte puțin, în comparație cu zonele de capăt. Ca urmare, starea de deformații este urmare neuniformă. Acest lucru duce la o revenire elastică mare a semifabricatului după deformare, care afectează precizia și calitatea. De asemenea, gradul de ecruisare a materialului este mic.

- deformarea prin tragere pe poanson cu solicitarea materialului. Față de cazul precedent, cele două dispozitive de prindere au posibilitatea de mișcare în plan vertical

(figura 48). Ca urmare, semifabricatul va fi solicitat suplimentar, rezultând o uniformizare a deformațiilor în material și reducerea, aproape completă, a revenirii elastice.

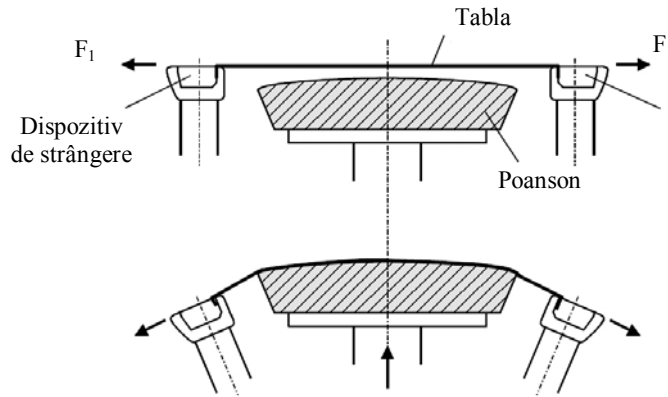


Figura 48. Schița deformării prin tragere pe poanson cu solicitarea materialului

În acest caz, procedeul de deformare prin tragere pe poanson se bazează pe aplicarea a două solicitări: a) întinderea semifabricatului până la curgerea materialului; b) deformarea pe poanson a acestuia. Cele două solicitări, de întindere și de încovoiere, pot fi aplicate în următoarele secvențe:

- întindere urmată de deformare pe poanson (figura 49, a);
- deformare pe poanson urmată de tragere (figura 49, b);
- întindere, deformare pe poanson și tragere (figura 49, c).

În primul caz, semifabricatul este întins cu o forță F_1 , până la atingerea tensiunii de curgere R_c și apoi este deformat pe poanson de momentul M , continuându-se și tragerea cu forța F_1 .

În al doilea caz, semifabricatul este deformat pe poanson de momentul M și apoi este tras cu o forță F_2 , completând deformarea.

În cel de-al treilea caz, semifabricatul este întins cu o forță F_1 , până la atingerea tensiunii de curgere, R_c , este deformat pe poanson de momentul M și apoi este tras cu o forță F_2 ($F_2 > F_1$) – care permite obținerea unei forme conforme cu geometria poansonului. Această metodă este folosită la obținerea unor repere complexe, cum ar fi profilurile Z.

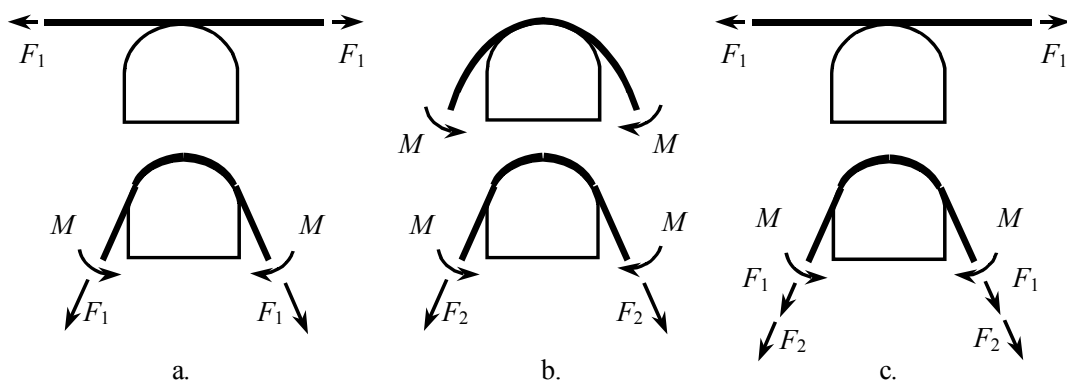


Figura 49. Metode de solicitare a materialului la deformarea prin tragere pe poanson

- deformarea prin tragere pe poanson cu solicitarea multiaxială a materialului. Față de procedul de mai sus, în această metodă (figura 50), se

utilizează un număr mai mare de dispozitive de prindere care sunt amplasate de jur împrejurul conturului semifabricatului. Rezultă o îmbunătățire a modului de aplicare a forțelor, cu efect benefic asupra stării de tensiuni și deformații induse în material.

- *deformare prin tragere pe poanson cu solicitarea multiaxială a materialului utilizând suprafețe discrete.* Un dezavantaj al procedeelor de deformare prezentate mai sus este faptul că geometria poansonului este fixă. Ca urmare, pentru fiecare tip de piesă trebuie realizat un alt poanson, de altă geometrie. Rezultă un consum mare de manoperă, dar mai ales de material, având în vedere dimensiunile pieselor ce se realizează prin această deformare. O modalitate de fabricație flexibilă, deja utilizată în producția de serie, este aceea a folosirii deformării cu suprafețe discrete. În această metodă, suprafața continuă a poansonului este materializată de o serie de suprafețe discrete, așa cum se prezintă în figura 51 și 52.

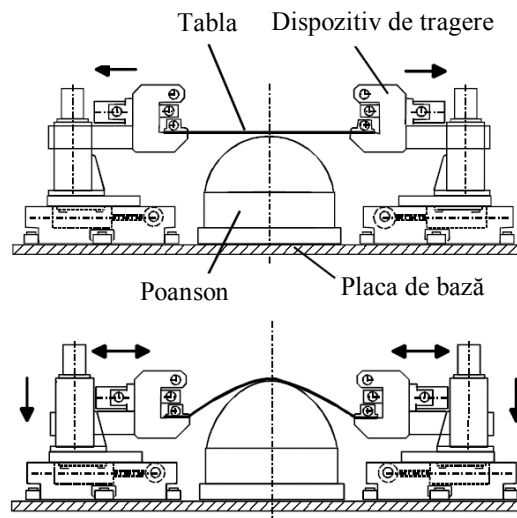


Fig. 50. Schița deformării prin tragere pe poanson cu solicitarea multiaxială a materialului

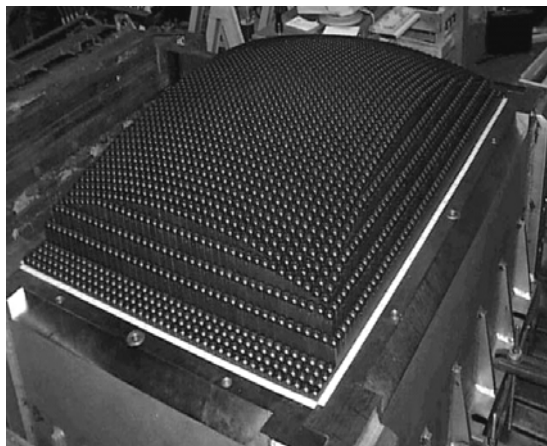


Fig. 51. Instalație de deformare prin tragere pe poanson cu suprafețe discrete

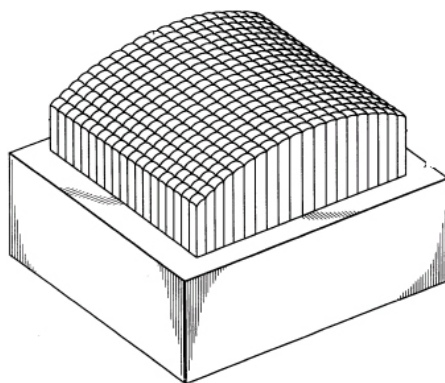


Fig. 52. Schema instalației de deformare prin tragere pe poanson cu suprafețe discrete

Suprafața activă de contact cu tabla este alcătuită din capetele pinilor de fasonare de diferite secțiuni, fixați într-o casetă de prindere.

Există mai multe tipuri de aranjare a pinilor în rețea (figura 53).

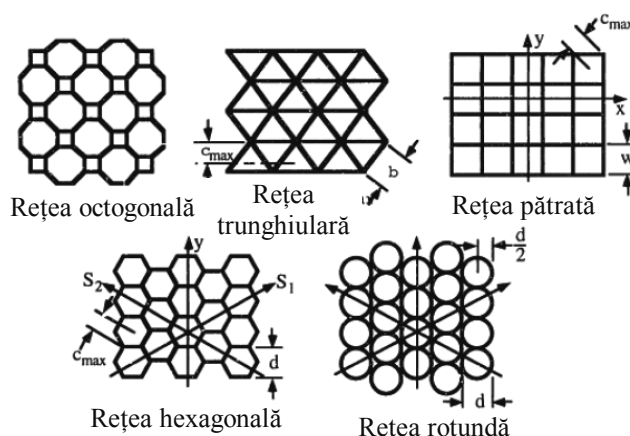


Figura 53. Tipuri de rețele de pini

Cum ideea este ca suprafața de contact dintre pini să fie cea mai mare, rezultă că este de preferat o aranjare a pinilor de tip triunghiular, patrat sau hexagonal. Rețeaua rotundă, deși este cel mai ușor de realizat din punct de vedere practic, nu asigură decât un contact liniar între pini.

Capetele active ale pinilor sunt semisferice, cu un diametru egal cu diagonala secțiunii transversale prin pin (figura 54), având dimensiunile cuprinse între 44 și 28 mm. Cu cât diametrul lor este mai mic cu atât calitatea suprafeței tablei deformate va fi mai bună.

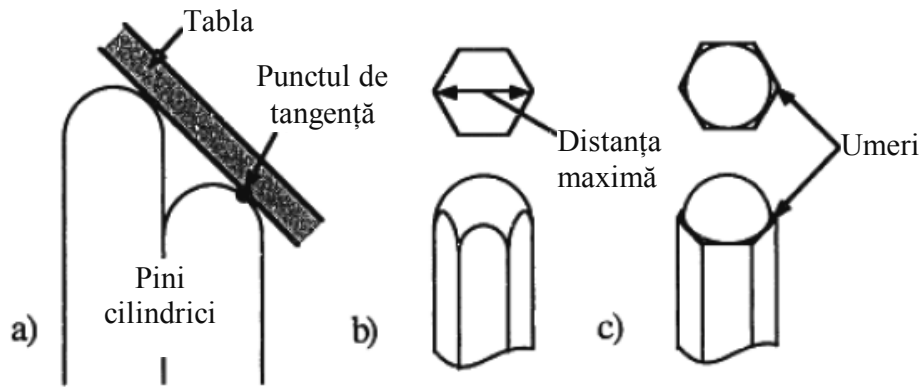


Figura. 54. Forma capetelor active ale pinilor

Corpul pinilor poate fi solid sau poate fi de formă tubulară (figura 55).

Fiecare pin este "fixat" de pinii vecini, astfel încât sarcinile rezultate din presare vor fi transferate casetei de prindere, pinii neavând nevoie de rigidizări suplimentare (figura 56).

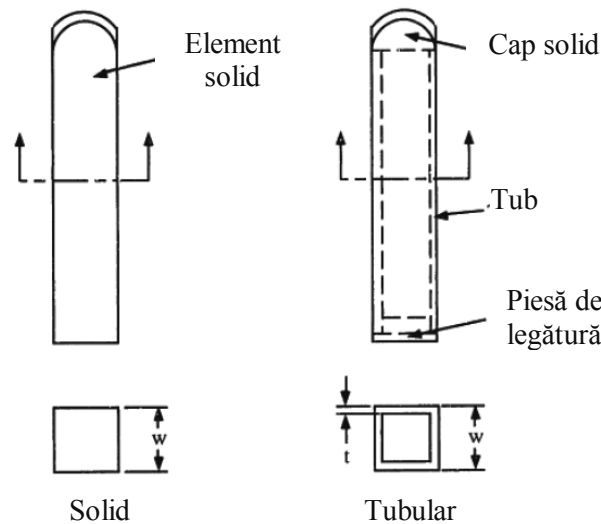


Figura 55. Soluții constructive ale corpului pinilor

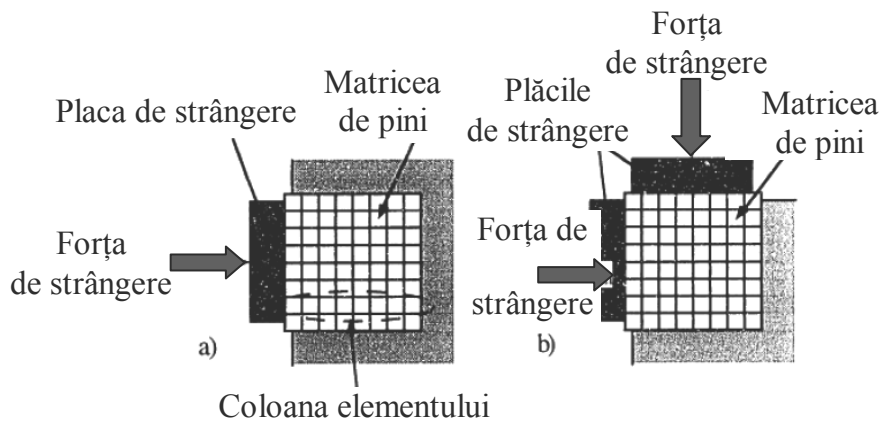


Fig. 56. Modalități de fixare a pinilor: a. fixare pe o direcție; b. fixare pe două direcții

În vederea obținerii unei forme corecte a tablei și a reducerii abaterilor de formă care rezultă în urma deformării, în special în zonele dintre pini, este necesar să se introducă între suprafețele active, a poansonului și suprafața tablei, o membrană (interpolator) de cauciuc (figura 57). Grosimea acestui interpolator și modulul lui de compresiune au rol important în reducerea ondulațiilor materialului dintre pini.

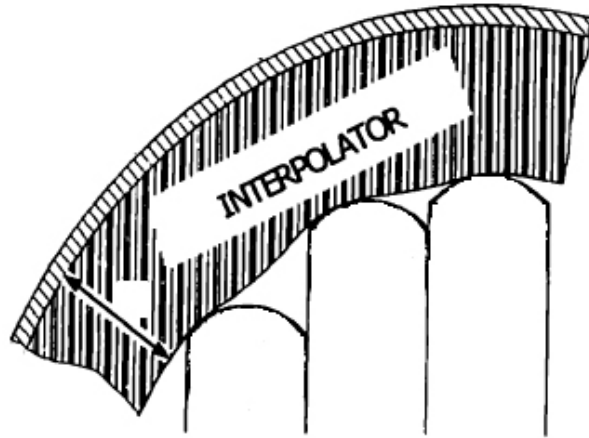


Figura 57. Schema deformării cu pini folosind o membrană de cauciuc

Reglajul înălțimii pinilor poate fi făcut mecanic sau hidraulic. Piniile sunt așezați în module, și în fiecare modul, se poate face reglarea independentă a înălțimii pinilor. În figura 58, reglajul înălțimii pinilor se face mecanic, folosind pentru aceasta mișcarea de translație a pinilor 1, ca urmare a rotație șuruburilor 2 din interiorul acestora. Șuruburile se rotesc ca urmare a acțiunii unui motor (care nu este reprezentat) ce este cuplat la axul 3 al modulului. De la axul 3 mișcare se transmite prin intermediul unor cuplaje la șuruburi. Mărimea deplasării pe z este comandată numeric, prin controler.

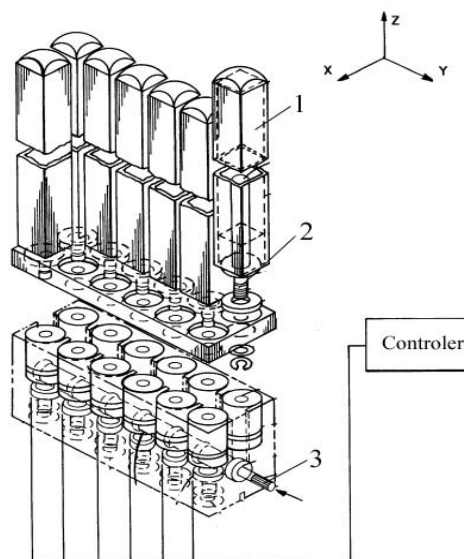


Figura 58. Acțiunea mecanică a pinilor

În figura 59 se prezintă o soluție de acționare hidraulică a pinilor.

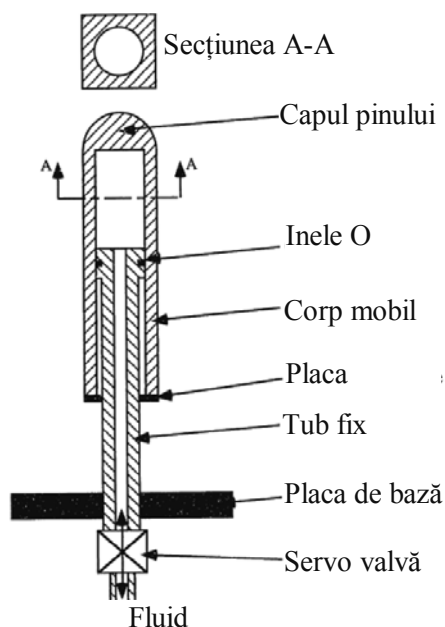


Figura 59. Acționarea hidraulică a pinilor

Conform figurii, înălțimea fiecărui pin este reglată printr-un circuit hidraulic care comandă mișcarea pe axa z.

În figura 60 se prezintă schema de reglare a ansamblului de pini din construcția matriței.

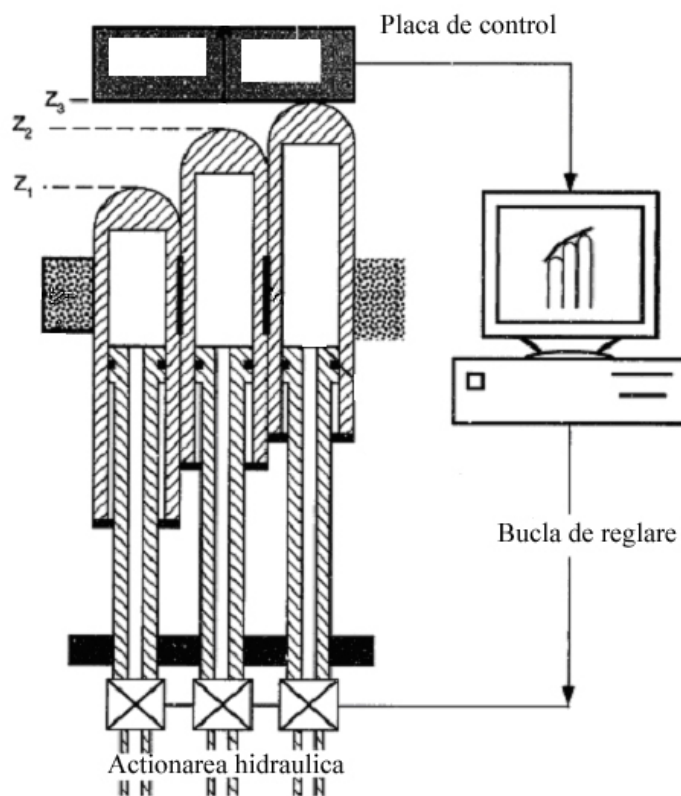


Figura 60. Schema de reglare a poziției pinilor

Utilizând comanda numerică, reconfigurarea matriței pentru o nouă piesă nu durează mai mult de 15 min. 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.

DETERMINAREA POZIȚIEI PINILOR ÎN VEDEREA RECONFUGURĂRII

Una din problemele importante în acest proces de deformare este stabilirea punctului 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 61), indiferent de soluția constructivă aleasă pentru partea de contact a pinilor cu tabla, se face pe baza unor programe de calcul.

Walczyk, propune o metodă analitică pentru determinarea poziției pinilor pe direcție z , considerând cunoscută forma suprafeței care urmează a fi obținută. Suprafața poate fi descrisă parametric, prin asamblarea unor suprafețe elementare definite cu ajutorul a doi parametri (u și v). Așa cum rezultă din figura 62, coordonatele x, y, z ale punctelor de pe o suprafață elementară $S(u,v)$ este o funcție de acești parametri: $0 \leq u \leq 1$ și $0 \leq v \leq 1$.

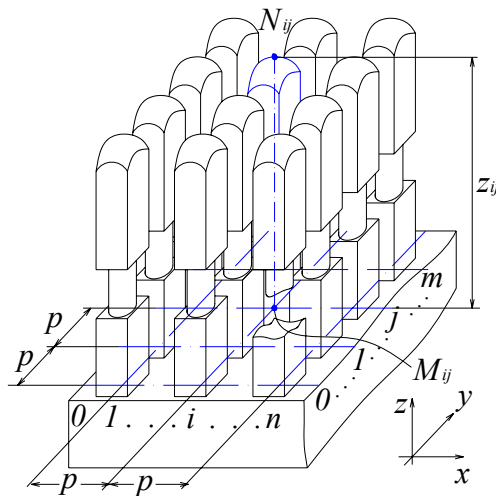


Figura 61. Schema de distribuție a pinilor în rețea

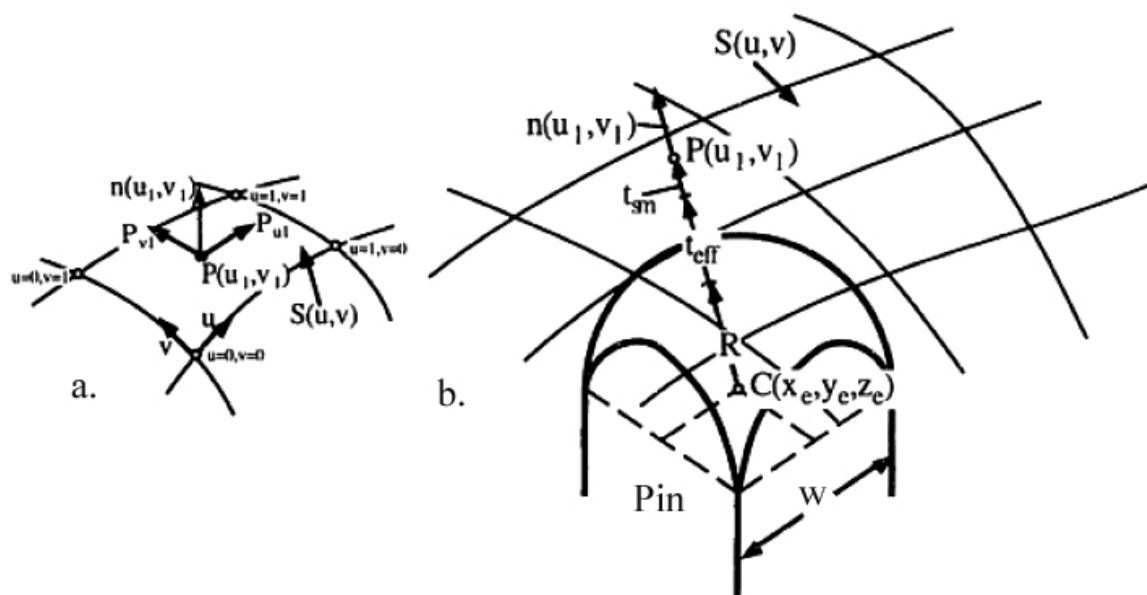


Figura 62. Schema de calcul a poziției pinilor cînd suprafața este definită analitic

Pentru un punct $P(u_1, v_1)$ de pe suprafața $S(u, v)$ vectorul unitar normal $n(u_1, v_1)$ este definit de relația:

$$n(u_1, v_1) = \frac{P_{u_1} \times P_{v_1}}{|P_{u_1} \times P_{v_1}|} \quad (6.1)$$

unde: $P_{u_1} = \frac{\partial S(u_1, v_1)}{\partial u}$ și $P_{v_1} = \frac{\partial S(u_1, v_1)}{\partial v}$

Cum se poate vedea din figura, centrul zonei sferice a pinului, $C(x_e, y_e, z_e)$, va fi dat de mărimea unui vector T care contactează suprafața de mijloc $S(u, v)$ în punctul $P(u_1, v_1)$.

Lungimea vectorului T este definită de relația:

$$|\vec{T}| = \frac{\sqrt{2} w}{2} + t_{\text{eff}} + \frac{t_{\text{sm}}}{2} \quad (6.2)$$

unde: w este lățimea pinului; t_{eff} - grosimea interpolatorului; t_{sm} - grosimea tablei.

Punctul P este punctul de tangență corect pentru determinarea distanței pe axa z , dacă orientarea vectorului T este aceeași cu aceea a vectorului unitate $n(u_1, v_1)$.

Algoritmul pentru determinarea punctului P va fi prezentat, pe scurt, în continuare. Vectorul T se află undeva pe o linie paralelă cu axa z și trece prin punctul de coordonate (x_e, y_e) . Vectorul va intersecta suprafața S într-un punct arbitrar P . Câteva iterații sunt necesare pentru determinarea punctului $P(u_1, v_1)$. În cazul în care suprafața are o reprezentare parametrică, se utilizează o serie de metode pentru determinarea punctului de tangență,

La determinarea pozițiilor pinilor prin această metodă, nu se iau în considerare proprietățile de material.

O altă metodă de determinare a poziției pinilor a fost propusă de Păunoiu și Oancea, considerând suprafața ca fiind definită în formă discretă. Acesta este cazul general, când de exemplu suprafața respectivă este rezultatul unor măsurători punctuale.

În figura 63, se prezintă forma discretizată a suprafeței. Această suprafață are ca expresie următoarea formă numerică:

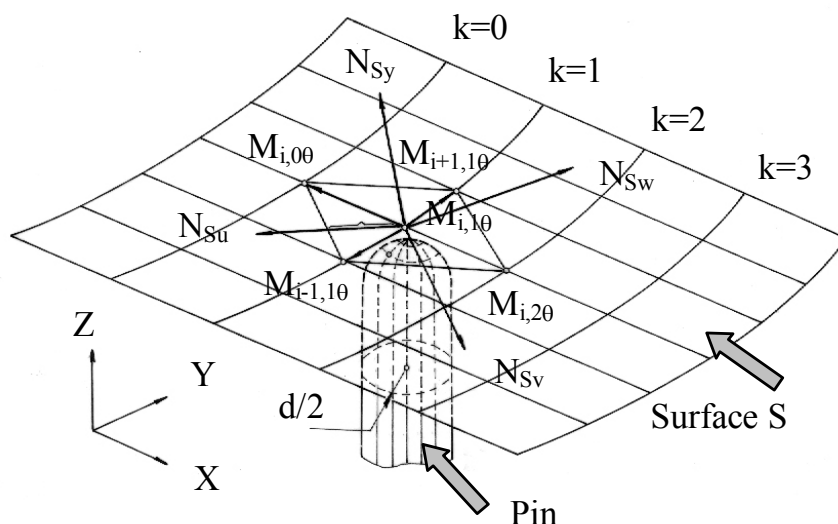


Figura 63. Discretizarea suprafeței deformate, suprafața este definită discret

$$S = \left\{ \left\| \begin{array}{l} X_{1,k\theta} \dots X_{i,k\theta} \dots X_{n,k\theta} \\ Y_{1,k\theta} \dots Y_{i,k\theta} \dots Y_{n,k\theta} \\ Z_{1,k\theta} \dots Z_{i,k\theta} \dots Z_{n,k\theta} \end{array} \right\|_{k\theta} \right\} \quad (6.3)$$

unde θ este incrementul și $k = 0, \dots, n$.

Ca urmare, într-un punct oarecare al suprafeței, fie $M_{i,1\theta}$, se poate defini un poliedru, substitutiv suprafeței S , în jurul acestui punct.

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

Se pot defini vectorii următori:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i-1,\theta})} \times \overrightarrow{(M_{i,0\theta} M_{i,1\theta})} &= \vec{N}_{Su}; \\ \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i-1,\theta})} \times \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i,2\theta})} &= \vec{N}_{Sv}; \\ \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i,2\theta})} \times \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i+1,1\theta})} &= \vec{N}_{Sw}; \\ \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i+1,1\theta})} \times \overrightarrow{(M_{i,1\theta} M_{i,0\theta})} &= \vec{N}_{Sy}, \end{aligned} \quad (6.4)$$

unde:

$$\begin{aligned} \vec{N}_{Su} &= \vec{N}_{S_{M_{[i,0\theta;i,1\theta;(i-1),1\theta]}}}, \\ \vec{N}_{Sv} &= \vec{N}_{S_{M_{[(i-1),1\theta;i,1\theta;i,2\theta]}}}, \end{aligned} \quad (6.5)$$

$$\vec{N}_{S_w} = \vec{N}_{S_{M_{[i,2\theta;i,10;(i+1),10]}}}$$

$$\vec{N}_{S_y} = \vec{N}_{S_{M_{[i,0\theta;i,10;(i+1),10]}}}$$

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

$$N_{S_v} = N_{S_{v_x}} \vec{i} + N_{S_{v_y}} \vec{j} + N_{S_{v_z}} \vec{k} \quad (6.6)$$

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.

Axa pinului este definită prin ecuațiile:

$$A_i \begin{cases} X = X_i; \\ Y = Y_i; \\ Z = t_i. \end{cases} \quad (6.7)$$

O primă condiție de intersecție, q_1 , se poate exprima sub forma:

$$q_1 = \left| \begin{array}{l} [X_i - X_{i-1,10}]N_{S_{v_x}} + [Y_i - Y_{i-1,10}]N_{S_{v_y}} + \\ + [t_i - Z_{i-1,10}]N_{S_{v_z}} \end{array} \right| \quad (6.8)$$

Dacă se impune raza pinului, rezultă o a doua condiție, q_2 , de tangență la suprafața:

$$\left| \begin{array}{cccc} X_i & Y_i & t_i & 1 \\ X_{i-1,10} & Y_{i-1,10} & Z_{i-1,10} & 1 \\ X_{i,10} & Y_{i,10} & Z_{i,10} & 1 \\ X_{i,2\theta} & Y_{i,2\theta} & Y_{i,2\theta} & 1 \end{array} \right| - \frac{d}{2} = q_2 \quad (6.9)$$

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.

Cele două metode de mai sus pot fi folosite cu succes la determinarea suprafeței de referință (teoretice) a piesei.

Procesul de deformare este afectat de o serie de factori legat de material, echipament, parametric de deformare și utilajul de deformare. Se poate considera următoarea schemă de control al formei piesei în procesul de deformare cu matrițe reconfigurabile (figura 64).

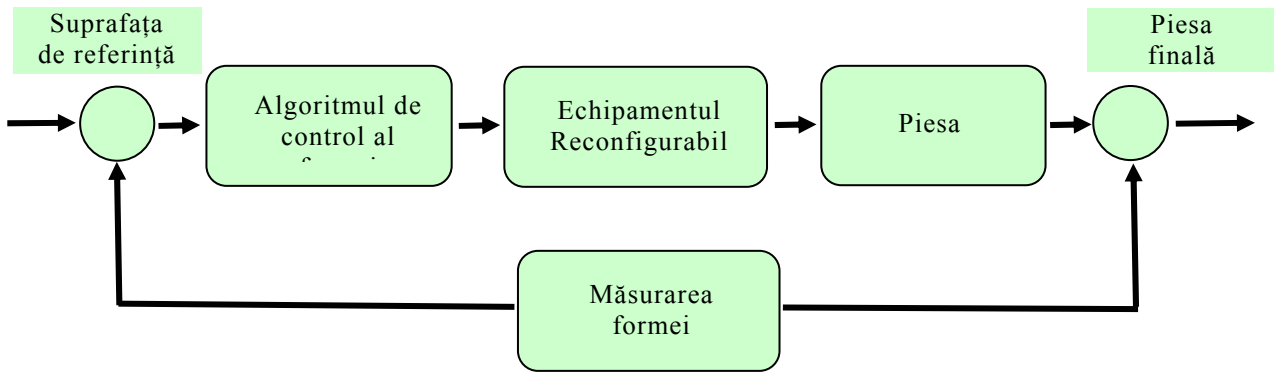


Figura 64. Schema de control a formei piesei la deformarea cu matrițe reconfigurabile

4.3. Modelarea suprafețelor generabile prin procedee neconventionale reconfigurabile

Modelarea suprafețelor generabile prin injectarea materialelor plastice și simularea umplerii cuiburilor în urma reprezentării reologice, termice sau mecanice permite reconfigurarea zonelor active ale matrițelor în condițiile utilizării aceluiași: sisteme de injectare; aruncare; centrare și conducere; temperare precum și a sistemelor de măsurare, control și reglare (fig. 65).

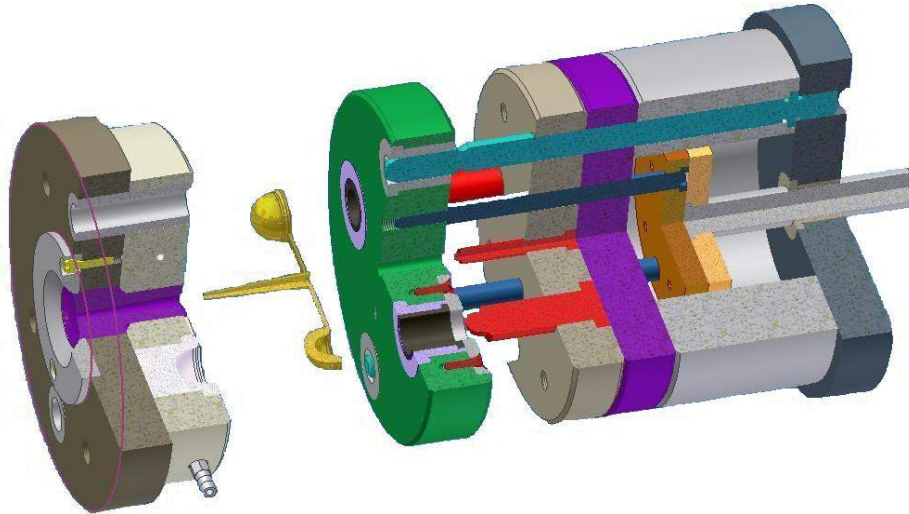


Fig. 65. Matriță pentru injectarea reperului "cupă cotiloidă"

Obiectivul 4

4.4. Rezultat: Algoritmi pentru modelarea generării suprafețelor cu scule asociate unor cupluri de axoide în rulare

Modelarea generării cu scula–cremalieră

Sunt reprezentate, în figura 66, sistemele de referință la generarea cu scula-cremalieră.

Se definesc:

$\xi\eta\zeta$ este sistemul de referință mobil, solidar sculei-cremalieră;

XYZ - sistemul mobil, solidar semifabricatului;

xyz - sistem de referință fix.

În sistemul de referință $\xi\eta\zeta$, este definit, în formă discretă, profilul transversal al sculei-cremalieră, prin matricea

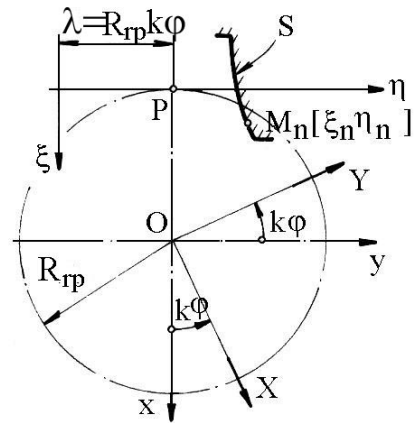


Figura 66. Sisteme de referință

$$S = \begin{bmatrix} \xi_1 & \eta_1 \\ \xi_2 & \eta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \xi_n & \eta_n \end{bmatrix}, \quad (6.10)$$

în care $(\xi_1, \eta_1) \dots (\xi_n, \eta_n)$ sunt coordonate ale punctelor de pe secțiunea transversală a cremalierii, determinate conform metodelor cunoscute (vezi volumele I și II).

Mișcările de generare executate de profilurile în înfășurare - S, reprezentând secțiunea transversală a cremalierii și Σ - profilul în planul XY al suprafeței de generat, nereprezentat în figură, sunt:

$$x = \omega_3^T(k\varphi)X, \quad (6.11)$$

rotația sistemului XYZ;

$$\xi = x - a; \quad a = \begin{bmatrix} -R_{rp} \\ -R_{rp}k\varphi \\ 0 \end{bmatrix} \quad (k=1, 2, \dots, m), \quad (6.12)$$

translația sistemului $\xi\eta\zeta$; precum și mișcarea relativă

$$X = \omega_3(k\varphi)(\xi + a) \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (6.13)$$

cu φ increment unghiular.

Dacă, acum, în (6.13) prin matricea ξ se înțelege matricea formată cu coordonatele secțiunii transversale a sculei-cremalieră - S (6.10), transformarea (6.43) conduce, pentru variația incrementală $(k\varphi)$, la masivul

$$(S)_\varphi = \left[\begin{array}{cccccc} X_1 & X_2 & \dots & X_{n-1} & X_n \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_{n-1} & Y_n \end{array} \right]_{k\varphi} \quad (k=1, 2, \dots, m). \quad (6.14)$$

Masivul $(S)_\varphi$ reprezintă familia de profiluri S generată în mișcarea relativă față de sistemul de referință al semifabricatului - Σ (vezi obiectivul IV.1).

Înfășurătoarea familiei de profiluri $(S)_\varphi$ este formată din totalitatea punctelor aparținând profilului S, în diferitele poziții de rulare, determinate de variația parametrului $(k\varphi)$, pentru care distanța la polul angrenării,

$$d = \sqrt{[X_i + R_{rp} \cos(k\varphi)]^2 + [Y_i - R_{rp} \sin(k\varphi)]^2} \quad (i=1,2, \dots, n), (6.15)$$

este minimă.

Se propune următorul algoritm pentru determinarea punctelor aparținând profilului Σ generat de scula-cremalieră, S (6.10):

Variabila (kφ)	S		(S)_φ			
0						
φ	{	$\xi_1 \eta_1$	$\xrightarrow{\text{din (1.4)}}$	$X_1 Y_1$	$\xrightarrow{\text{din (1.6)}}$	d_1
.		$\xi_2 \eta_2$		$X_2 Y_2$		d_2
kφ		.		.		
.		$\xi_i \eta_i$		$X_i Y_i$		$(d_i)_{\min}$
.						
.						
mφ						

Există posibilitatea exprimării și într-un alt mod a condiției de înfășurare (6.14), pornind de la traiectoriile punctelor ξ_i, η_i , aparținând matricei S , în raport cu semifabricatul.

Înfășurătoarea familiei de profiluri $(S)_\varphi$ este formată din totalitatea punctelor aparținând traiectoriilor punctelor $\xi_i \eta_i$, în raport cu sistemul de referință al semifabricatului, pentru care distanța “d” (6.14) este minimă.

Astfel, algoritmul (6.15) se transformă în forma dată de (6.16).

S		Traectoria punctului $\xi_i \eta_i$		Condiția (6.16)	
$\xi_1 \eta_1$					
$\xi_2 \eta_2$	{	$0 \dashrightarrow (X_i Y_i)$	\dashrightarrow	d_1	
$\xi_3 \eta_3$		$\varphi \dashrightarrow (X_i Y_i)_\varphi$	\dashrightarrow	d_2	
.		\vdots			
$\xi_i \eta_i$		$i\varphi \dashrightarrow (X_i Y_i)_{i\varphi}$	\dashrightarrow	d_{\min}	
.		\vdots			
.		$k\varphi \dashrightarrow (X_i Y_i)_{k\varphi}$	\dashrightarrow	d_n	
.					
$\xi_n \eta_n$					

Așa cum este cunoscut, traiectoria punctului $M_n(\xi_n \eta_n)$, definit ca punct singular pe profilul sculei, reprezintă curba de interferență la baza profilului Σ (interferență primară).

Se determină linia de angrenare (LA) ca fiind definită de ansamblul format din ecuația matriceală (6.11) și condiția (6.15) în forma

$$LA = \begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & \dots & y_n \end{Bmatrix}. \quad (6.18)$$

Modelarea generării cu cuțitul-roată

În figura 67, se prezintă sistemele de referință la generarea cu scula cuțit-roată.

Se definesc:

xyz și $x_0y_0z_0$ sunt sisteme de referință fixe;

$\xi\eta\zeta$ - sistem mobil, solidar cuțitului - roată;

XYZ - sistem mobil, solidar semifabricatului.

În sistemul de referință mobil $\xi\eta\zeta$, profilul sculei S este determinat de o matrice de tipul (6.19),

$$S = \begin{Bmatrix} \xi_1 & \eta_1 \\ \xi_2 & \eta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \xi_n & \eta_n \end{Bmatrix}.$$

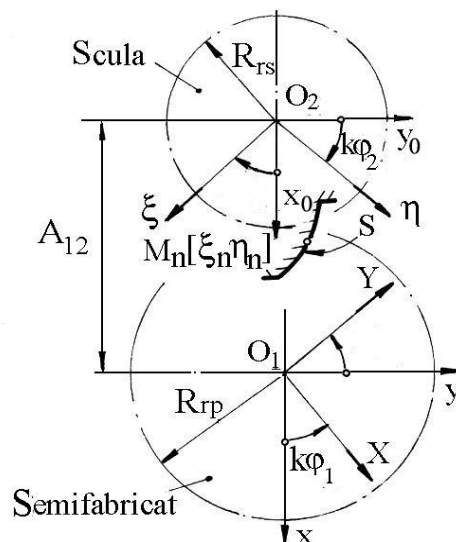


Figura 67. Sistemele de referință

Se definesc mișcările de generare:

$$x = \omega_3^T(k\varphi_1)X \quad (k=1, 2, \dots, m), \quad (6.19)$$

mișcarea absolută a semifabricatului;

$$x_0 = \omega_3^T(-k\varphi_2)\xi, \quad (6.20)$$

mișcarea absolută a sculei.

Din transformarea ce reprezintă poziția relativă a sistemelor de referință fixe

$$x_0 = x - a, \quad (6.21)$$

$$a = \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (6.22)$$

și

$$\varphi_2 = \frac{R_{rp}}{R_{rs}} \varphi_1, \quad (6.23)$$

reprezentând corelația între parametrii unghiulari ai mișcărilor de rotație, se determină mișcarea relativă

$$X = \omega_3(k\varphi_1)[\omega_3^T(-k\varphi_2)\xi + a], \quad (6.24)$$

cu φ_1 increment al mișcării de rotație.

Se poate determina, ținând seama de (6.19) și de (6.24), masivul de tipul (6.14) care semnifică familia $(S)_{\varphi_1}$, în mișcarea relativă a sculei față de sistemul de referință al semifabricatului Σ , nereprezentat în figură.

În conformitate cu metoda *distanței minime*, înfășurătoarea – profilul Σ al semifabricatului – se obține asociind masivului (6.14) condiția (6.15).

De asemenea, pentru determinarea punctelor profilului Σ , se pot utiliza algoritmi prezențați, vezi (6.16) sau (6.17).

Linia de angrenare, în sistemul $x_0y_0z_0$, se determină ca locul geometric determinat de:

$$x_0 = \omega_3^T (-k\varphi_2) \xi \quad (k=1, 2, \dots, m); \quad (6.25)$$

- condiția (6.15), ($i=1, 2, \dots, n$),

în final, reprezentată în forma discretă de matricea

$$LA = \begin{Bmatrix} x_{0_1} & x_{0_2} & \dots & x_{0_n} \\ y_{0_1} & y_{0_2} & \dots & y_{0_n} \end{Bmatrix}. \quad (6.26)$$

Modelarea generării cu cuțit rotativ

În figura 68, sunt prezentate sistemele de referință:

XYZ este un sistem mobil, solidar semifabricatului - Σ ;

$\xi\eta\zeta$ - sistemul mobil, solidar sculei - S;

xzy - sistemul fix.

Mișcările de generare sunt:

$$x = \omega_3^T (k\varphi) \xi, \quad (6.27)$$

reprezentând mișcarea absolută a cuțitului rotativ;

$$x = X + a; \quad (6.28)$$

$$a = \begin{Bmatrix} -R_{rs} \\ -R_{rs}k\varphi \end{Bmatrix},$$

(6.29)

reprezentând mișcarea absolută a semifabricatului.

Rezultă mișcarea relativă a sculei față de semifabricat

$$X = \omega_3^T (k\varphi) \xi - a$$

(6.30)

cu φ increment.

Similar cu cele prezentate anterior, la modelarea generării cu sculele-cremalieră și cuțit-roată, pornind de la curba S (6.10), se determină masivul de tipul (6.14) la care, asociind condiția de minim a distanței "d",

$$d = \left| \sqrt{X_i^2 + [Y_i - R_{rs}k\varphi]^2} \right|, \quad (6.31)$$

se determină curba Σ - profilul semifabricatului.

Algoritmii (6.16) și (6.17) sunt utilizabili și în acest caz.

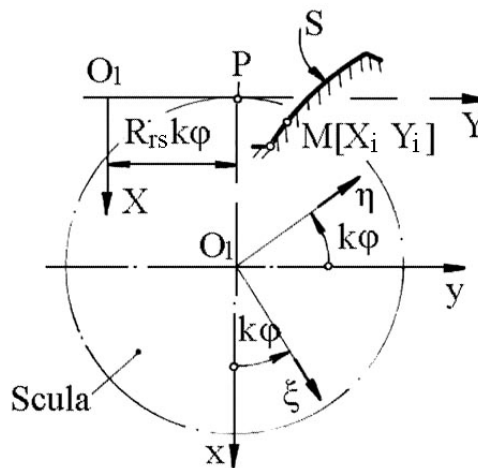


Figura 68. Sistemele de referință

Bibliografie – Obiectiv 1

- [1] Abdul-Hamid, Y. T., Kochhar, A. K. and Khan, M. K., 1999, An analytic hierarchy process approach to the choice of manufacturing plant layout. *Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, Part B*, 213, 397–406.
- [2] Alvi, A. U. and Labib, A. W., 2001, Selecting next-generation manufacturing paradigms– an analytic hierarchy process based criticality analysis. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part B*, 215, 1773–1785.
- [3] Benjaafar, S., 1995, Machine sharing in cellular manufacturing systems. In A. K. Kamrani, H. R. Parasei and D. H. Liles (eds) *Planning, Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems* (Elsevier Science).
- [4] Borenstein, D., 1998, ExpertFlex: a knowledge-based system for flexible manufacturing system design. *Production Planning and Control*, 9(6), 598–610.
- [5] Chick, S. E., Olsen, T. L., Sethuraman, K., Stecke, K. E. and White, C. C., 2000, A descriptive multi-attribute model for reconfigurable machining system selection examining buyer-supplier relationships. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(1), 33–48.
- [6] Chrin, J. L. and McFarlane, D. C., 1999, A migration strategy for the introduction of holonic production control. *IFAC Multi-Agent-Systems in Production*, Vienna.
- [7] DeVor, R., Graves, R. and Mills, J. J., 1997, Agile manufacturing research: accomplishments and opportunities. *IIE Transactions*, 29, 813–823. Expert Choice, 1999, Expert Choice Software (Pittsburgh, PA: Expert Choice Inc).
- [8] Flynn, B.B. and Jacobs, F. R., 1986, A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing. *International Journal of Production Research*, 24(5), 1171–1192.
- [9] Gindy, N. N. and Saad, S. M., 1998, Flexibility and responsiveness of machining environments. *Journal of Integrated Manufacturing Systems*, 9(4), 218–227.
- [10] Gunasekaran, A., 1998, Agile manufacturing: enablers and an implementation framework. *International Journal of Production Research*, 36(5), 1223–1247.
- [11] Hill, T., 1985, *Manufacturing Strategy: the Strategic Management of the Manufacturing Function* (Basingstoke: Macmillan Education).
- [12] Jung, M., Chung, M. K. and Cho, H., 1996, Architectural requirements for rapid development of agile manufacturing systems. *Computers and Industrial Engineering*, 31(3/4), 551–554.
- [13] Kengpol, A. and O'Brien, C., 2001, The development of a decision support tool for the selection of advanced technology to achieve rapid product development. *International Journal of Production Economics*, 69, 177–191.
- [14] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G. and VanBrussel, H., 1999, Reconfigurable manufacturing systems. *Annals of the CIRP*, 48, 1–14.
- [15] Labib, A. W., Williams, G. and O'Connor, R., 1996, Formulation of an appropriate productive maintenance strategy using multiple criteria decision making. *Maintenance Journal*, 11(11), 14–21.
- [16] Labib, A. W. and Shah, J., 2001, Management decisions for a continuous improvement process in industry using analytical hierarchy process. *WorkStudy a Journal of Productivity Science*, 50(4–5), 189–193.
- [17] Lee, G. H., 1997, Reconfigurability consideration design of components and manufacturing systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13(5), 376–386. 2298 M. R. Abdi and A. W. Labib
- [18] Lee, G. H., 1998, Design of components and manufacturing systems for agile manufacturing. *International Journal of Production Research*, 36(4), 1023–1043.
- [19] Mehrabi, M. G., Ulsoy, A.G. and Koren, Y., 2000, Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11, 413–419.
- [20] Oeltjenbruns, H., Lolarik, W. J. and Schandi-Kirschner, R., 1995, Strategic planning in manufacturing systems –AHP application to an equipment replacement decision. *International Journal of Production Economics*, 38, 189–197.
- [21] Radunovic, B., 1999, An overview of advances in reconfigurable computing systems. *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE, pp. 1–10.
- [22] Ratchev, S. M., 1999, Dynamic formation of extended manufacturing cells for increased system responsiveness. *Proceedings of the 9th International Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM) Conference*, pp. 501–511.
- [23] Rheault, M., Drolet, J. R. and Abdulnour, G., 1996, Dynamic cellular manufacturing

- system (DCMS). *Computers & Industrial Engineering*, 31(1–2), 143–146.
- [24] Saaty, T. L., 1980, *The Analytical Hierarchical Process* (New York: McGraw Hill).
- Saaty, T. L. and Kearns, K. P., 1991, *Analytical Planning: The Organisation of Systems* (Pittsburgh, USA: RWS Publications).
- [25] Saaty, T. L., 1994, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytical Hierarchy Process* (Pittsburgh, USA: RWS Publications).
- [26] Saaty, T. L., 1996, *Decision Making with Dependence and Feedback – The Analytic Network Process* (Pittsburgh, USA: RWS Publications).
- [27] Son, S.-Y., Olsen, T. L. and Yip-Hoi, D., 2000, Economic benefits of reconfigurable manufacturing systems. *Proceedings of the 2000 Japan–USA Flexible Automation Conference*, Michigan, pp. 871–878.
- [28] Xiaobo, Z., Jiancai, W. and Zhenbi, L., 2000, A stochastic model of a reconfigurable manufacturing system, Part 1: a framework. *International Journal of Production Research*, 38(10), 2273–2285.
- [29] Yigit, A. S. and Usloy, A. G., 2002, Dynamic stiffness evaluation for reconfigurable machine tools including weakly non-linear joint characteristics. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, Part B, 216, 87–100.
- [30] Yusuf, R. M., Yee, P.K. and Hashmi, M. S. J., 2001, A preliminary study on the potential use of the analytical hierarchical process (AHP) to predict advanced manufacturing technology (AMT) implementation. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17, 421–427.
- [31] Zolfaghari, S. and Liang, M., 1998, Machine cell/part family formation considering processing times and machine capacities: a simulated annealing approach. *Computers and Industrial Engineering*, 34(4), 813–823.
- 2299 Design strategy for reconfigurable manufacturing systems

Bibliografie Obiectiv 2

Bibliografie Obiectiv 3

1. Rzepniewski, A.K., Hardt, D.E., *Gaussian Distribution Approximation for Localized Effects of Input Parameters*. Second Annual SMA Symposium, Singapore, Jan. 2003.
2. Hardt, D.E., Siu, T.-S., *Cycle to Cycle Manufacturing Process Control*. First Annual SMA Symposium, Singapore, Jan. 2002.
3. 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.
4. Kuo, B. C., *Automatic Control Systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
5. Kosut, R. L., de Roover, D., Emami-Naeini, A., Ebert, J. L., *Run-to-Run Control of Static Systems*. Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control, 1998, pp.695-700.
6. Sachs, E., Hu, A., Ingolfsson, A., *Run by Run Process Control: Combining SPC and Feedback Control*. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 1995, vol. 8, no. 1, pp. 26-43.
7. Rzepniewski, A.K., Hardt, D.E., *Multiple Input-Multiple Output Cycle-to-Cycle Control for Manufacturing Processes*. Second Annual SMA Symposium, Singapore, Jan. 2003.
8. Dore, S., Goussard, Y., *Experimental Determination of CT Point Spread Function Anisotropy and Shift-Variance*. Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE, 1997, vol. 2, pp. 788 -791.
9. Hebert, T., Murphy, P., Moore, W., Dhekne, R., Wendt, R., Blust, M., *Experimentally determining a parametric model for the point source response of a gamma camera*. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1993, vol. 40, issue 4, part. 1-2 , pp. 967 -971.
10. Webb, R.D., Hardt, D.E., *A Transfer Function Description of Sheet Metal Forming for Process Control*. ASME Journal of Engineering for Industry, 1990.
11. Papazian, J., *Tools of Change*. Mechanical Engineering, Feb. 2002, pp. 31-40
12. 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, octombrie 2001
13. 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.
14. 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. 2000.

15. Hardt, D. E., Boyce, M. C., Ousterhout, K. B., Karafillis, A., and Eigen, G. M., *A CAD Driven Flexible Forming System for Three-Dimensional Sheet Metal Parts*, Sheet Metal and Stamping Symposium, Int. Cong. and Exp., Detroit, MI, SAE Technical Paper Series 930282, pp. 69–76, 1993
16. Karafillis, A. P., and Boyce, M. C., *Tooling Design in Sheet Metal Forming using Springback Calculations*, Int. J. Mech. Sci., 34, pp. 113–131, 1992
17. 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, pp. 503–526, 1996
18. 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, pp. 354–365, 1997
19. Webb, R. D. and Hardt, D. E., *A Transfer Function Description of Sheet Metal Forming for Process Control*, ASME J. Eng. Ind., 113, pp. 44–54, 1991
20. Siegert, K., *CNC hydraulic multipoint blank holder system for sheet metal forming presses*, Annals of the CIRP, Vol. 42/1/1993, pp. 310-322.
21. Siegert, K. et al, *Multipoint cushion systems for sheet metal forming presses*, The FABRICATOR, February 1999, pp. 82-86.
22. Păunoiu, 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
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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.
27. Papazian, J. M., Anagnostou, E.L., Christ, R. J., Hoitsma Jr.D., Ogilvie, P., and 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.
28. Hirt, G., Ames, J., Bambach, M. and Kopp, R., *Forming strategies and Process modelling for CNC Incremental sheet forming*, Annals of the CIRP, 53, 1, 2004, 203-206.
29. Leach, D., Green, A.J. and Bramley, A.N., *Sheet production without dies or special punches*. Metallurgia, 68, 2, 2001, pFT12.
30. Ambrogio, G., De Napoli, Filice, L. and Muzzupappa, M., *Improvement Geometrical Precision In Sheet Incremental Forming Processes*. Proc. of ESDA04, 7th Biennial conf. on Engrg Systems Design and Analysis, July 19-22, 2004 Manchester, United Kingdom.

Bibliografie Obiectiv 4

1. 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.
2. Baicu, I., Oancea, N., Profilarea sculelor prin modelare solidă. Ed. TEHNICA INFO, Chișinău 2002.
3. Bair, B. W., Computer Aided Design of Non Standard Elliptical Gear Drives. În: Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 216, Part C, 2002, pag. 473 483
4. Chang, S. L., Tsay, C. B., Wu, L. I., Mathematical Model and Undercutting Analysis of Elliptical Gears Generated by Rack Cutters. În: Mech. Mach. Theory, Vol. 31, No. 7, 1996, pag. 879 890
5. Chen, C. K., Lai, H. Y., Wu, C. T., Li, T. J., A High Precision Tool Model for Helical Pinion Cutters. În: Journal of Mechanical Engineering, Proc. Inst. Mech. Engrs., Vol. 216, Part B, 2001, pag. 161 168
6. Darlington, M. J., Culley, S. J., Current Research in the Engineering Design Requirement. În: Journal of Engineering Manufacture, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 216, Part B, 2002, pag. 375 388.
7. Davidson, J. K., Shah, J. J., Geometric Tolerances: A New Application for Line Geometry and Screws. În: Journal Mechanical Engineering Science, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 216, Part C, 2002, pag. 95 104.

8. Dingguo, C., Yang, J., Fuzzy Neural Network Control of Ukonon onlinear Systems. În: The 3rd International Conference on Computing, Communications and Control Technologies, ISBN 980 6560 45 0, ISBN: 980 6560 47 7, 2005, Electronic Proceedings.
9. Ghiță, E., Teoria și tehnologia suprafețelor poliforme. Editura Bren, București, 2001.
10. Ishibashi, A., Yoshino, H., Design and Manufacture of Gear Cutting Tools and Gears with an Arbitrary Profile, În: JSME International Journal, vol. 30, 1987, pag. 1159-1166.
11. Joppolo, C.M., I compressorii recenti sviluppi tecnologici ed applicativi. În: Macchine frigorifere per la climatizzazione, Padova, n.7 – 1997, pag. 2 15.
12. Lay, H Y., Wu, D S., An Enhanced DFM Model for Shaper Cutters. În: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, pag. 482 491.
13. Litvin, F. L., Fuentes, A., Demengo, A., Vecchiato, D., Fan, Q., New Developments in the Design and Generation of Gear Drives. În: Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs., vol. 215, Part C, 2001, pag. 747 757.
14. Litvin, F. L., Fuentes, A., Gonzales Perez, I., Carvenali, L., Kawasaki, K., Handschuh, R. F., Modified Involute Helical Gears: Computerized Design, Simulation of Meshing and Stress Analysis. www.elsevier.com/locate/cma
15. Litvin, F. L., Fan, Q., Vecchiato, D., Demenego, A., Computerized Generation and Simulation of Meshing of Modified Spur and Helical Gears Manufactured by Shaving. NASA CR-2001-210893 ARL-CR-468, 2001.
16. Litvin, F.L., Fan, Q., Fuentes, A., Computerized Design, Generation, and Simulation of Meshing and Contact of Face-Milled Formate Cut Spiral Bevel Gears. NASA CR-2001-210894 ARL-CR-467, 2001.
17. Minciu, C., Bombiță, A., Constantin, G., Bălan., E., Probleme specifice de proiectare a sculelor așchietoare pentru generarea prin rulare plană a profilurilor neevolventice. T.C.M.M., 15, 1996.
18. Minciu, C., Bombiță, A., Constantin, G., Bălan., E., Probleme specifice de proiectare a sculelor așchietoare pentru generarea prin rulare spațială a profilurilor neevolventice. T.C.M.M., 15, 1996.
19. Minciu, C., Croitoru, S., Bălan, E., Proiectarea sculelor așchietoare. Ed. Bren, București, 1999.
20. Montoya, F. M., Fundamentos de la geometria de los engranajes. Universidad da Valladolid, ISBN 84-7762-367-8, 1998.
21. Oancea, N., Baicu, I., O noua metodă pentru studiul suprafețelor reciproc înfășurătoare – Metoda grafică a traiectoriilor. În: Acta Universitatis Cibiniensis, Vol. XLIV-Seria tehnica A. Știința și Tehnologia Materialelor, ale Universității “Lucian Blaga” din Sibiu, 2001, pag. 37-42.
22. Oancea, N., Dima, M., Teodor, V., Similitudini între metodele utilizate în studiul suprafețelor în înfășurare. I. Profiluri asociate unor centroide în rulare. În: Analele Universității “Dunărea de Jos” din Galați, Fasciula V, anul XIX (XXIV), ISSN 1221 4566, 2001, pag. 40 45.
23. Oancea, N., Teodor, V., Algorithms for Rack Gear Engendering of the Compound Profiles. În: Proceedings of the International Conference on Manufacturing systems ICMaS, București, Ed. Academiei Române, ISBN 973 27 0932 4, 2002, pag. 241 244.
24. Raikhman, G. N., Theory of Conjugated Surfaces Formation by Generating Lines. În: Mechanism and Machine Theory, No. 37, 2002, pag. 999 1005.
25. Rao, S. 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.
26. Won Soo, Y., Jeong., H. K., Dong Woo., C., Ehman, K. F., Development of a Virtual Machining System, Part 2: Prediction and Analysis of a Machined Surface Error. În: International Journal of Machine Tool & Manufacture 42, 2002, pag. 1607 1615.
27. Yang, S. C., Mathematical Model of a Ring Involute Teeth Spherical Gear with a Double Degree of Freedom. În: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, pag. 865 870.
28. Yang, S. C., Mathematical Model of the Rotor Profile of the Single Screw Compressor. În: Journal of Mechanical Engineering, Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol. 216, Part C, 2002, pag. 343 351
29. Agassant, E. B. - La mise en forme de matieres plastiques. Technique et documentation, Paris, 1989.
30. Beaumont, J. P. and Young, J. H. - Mold filling imbalances in geometrically balanced runner system. Journal of Injection Molding Technology, 1(3): 1-11, (1997).
31. Beaumont, J., Ralston, J., Shittleworth, J. and Carnovale, M. - Troubleshooting cavity to cavity variations in multi-cavity injection molds. Journal of Injection Molding Technology, 3(2): 1-11 (1999).
32. Beaumont, J. P., Nagel, R. and Sherman, R. - Successful Injection Molding. Process, Design and Simulation. Hanser, 2002.
33. Behle, U., Mermans, B. - Polyphenylensulfid (PPS). Kunststoffe, Nr. 10, 1996.
34. Bichler, M., Mai, A. - Formteil bezogen optimierte Schlesskraft. Kunststoffe, Nr. 1, 1996.

35. Boazu, D., Fetecău, C. - Aspecte asupra dimensionării zonei active a matrițelor monocuib pentru injectarea maselor plastice folosind modele cu elemente finite. Revista "Construcția de mașini", nr. 11-12, București, Anul 55, pag.55-58, 2003.
36. Creemers, H. - Thermoplastische Elastomere (TPE). Kunststoffe, Nr. 12, 1996.
37. Dietrich, H. I., Zander, K., Lehnert, G. - Polybutylenterephtalat (PBT). Kunststoffe, Nr. 10, 1996.
38. Drăgan, V., Hanganu, D., Constantinescu, S., Balint, L., Bordei, M. - Researches Regarding Behavior of the Ni-Alloyed Steel at Low Temperatures Modelling and Optimisation in Materials Science MOC'40, Odessa April, 26-27, 2001 pag. 158.
39. Erhard, G. - Konstruieren mit Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1999.
40. Fetecău, C., Dima, M. - Experimental Research on Fatigue Testing of Plastic Materials. XI International Science and Engineering Conference MACHINE-BUILDING AND TECHNSPHERE OF THE XXI CENTURY, September 13-18, 2004, Sevastopol. "Mașinostroenie i tehnologia XXI Beka", Tom 4, Doneț, 2004, pag. 88-90, 2004.
41. Fetecău, C., Stan, F., Popa, C., - 2005, Simularea injectării unei cupe cotiloide folosind analiza cu elemente finite. În: Revista Materiale Plastice, București, ISSN 0025-5289, vol.42, nr.3, 2005, p.245-247.
42. Fetecău, C. - 2005, Aspecte reologice la prelucrarea materialelor plastice prin injectare. Faza de umplere. În: Revista Materiale Plastice, București, ISSN 0025-5289, vol.42, nr.4, 2005, p.291-293.
43. Fetecău, C. - Controlul calității proceselor de prelucrare a maselor plastice. Experimente de laborator. Editura OIDICM, București, 2003.
44. Filz, P. F., Genoske, H. - Simulieren statt Probieren. Kunststoffe, nr. 7, 1998.
45. Ghiță, E. - Asigurarea și certificarea calității. Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați, 2003
46. Langkamp, U. - Sensoren für Druck und Temperatur. Kunststoffe nr. 12, 1996.
47. Leissler, K., Rösh, G. - Farbmittel. Kunststoffe, Nr. 7, 1996.
48. Losch, K. - Thinwall molding: demanding bul rewarding. Modern Plastics International, October, 1997.
49. Malloy, R., A. - Plastic Part Design for Injection Molding. Hanser Publischers. München, Vienna, New York, 1994.
50. Mallory, R. A. - Plastic part design for injection molding, Hanser, 1994, pag. 152.
51. Mapleston, D. - CAE products are better, but suppliers are becoming fewer. Modern Plastics International, October, 1998.
52. Mennig, G. - Werkzeuge für die Kunststoff-Verarbeitung. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1995.
53. Mohr, W. D., Saxton, R. L. și Jepson, C. H. - Industrial Engineering Chemistry, pag.1855, 1995.
54. Nishioka, T., Stan, F. - A hybrid experimental-numerical study on the mechanism of three-dimensional dynamic fracture, Computer Modelling in Engineering & Science (CMES), Vol. 4, No. 1, pag. 119-139, 2003.
55. Popa, V. - Cooling options for superconducting magnets used for high performance detectors. The 34nd International Scientific Symposium of the Defence Research Agency, Section Radioelectronics, Lasers and Optoelectronocs Systems, Bucharest, May 29-30, 2003, pag. 209-214.
56. Reimer, W., Widig, R. - Polyetheretherketon (PEEK). Kunststoffe, Nr. 10, 1996.
57. Roerdink, E., Havenith, H. - Polyamid 46, ein Werkstoff für High-Performance-Anwendungen. Kunststoffe, Nr. 9, 1997.
58. Siegel, R. - Technologie und Anwendung des funkenerosiven Schneidens. Maschinenbau, nr. 5, 1995.
59. Sherman, R. - Carbon fiber reinforced polycarbonate characterization for aerospace applications of injection molding, in Proceedings of the Society of Plastics Engineering 47th Annual Technical Conference, SPE, Brookfield Center, CT, 1988, pag. 538.
60. Speckenheuer, G., P., Stracke, A. - Wärmleitrohre für gleichmässige Werkzeugtemperatur. Kunststoffe, nr. 3, 1993.
61. Speckenheuer, G., P., Stracke, A. - Wärmleitrohre in Spritzgiesswerkzeugen. Plastverarbeiter, nr. 10, 1993.
62. Stahl, P., O., Sederel, W., L. - Polymer blends. Kunststoffe, Nr. 10, 1996.
63. Stan, F. - Computational Studies on Three-Dimensional Dynamic Fracture Mechanics, Ph.D. Thesis – Kobe University, Faculty of Maritime Sciences, Japan, 2003.
64. Șereș I. - Matrițe de injectat. Editura Imprimeriei de Vest, Oradea, 1999.
65. Șereș, I. - Matrițe de injectat în exemple. Editura imprimeriei de Vest, Oradea, 1998.

PROGRAM CEEEX Nr. 22-I03/10.10.2005 - INFOSOC

66. Ticktin, A. - Polysulfone (PSU). Kunststoffe, Nr. 10, 1996.
67. VanderLelij, A., J. - 3 D ist genauer als 2D. Kunststoffe, nr. 1, 1997.
68. Zubli, M. de Clerc., Verhooren, P. - ABS/PA Blends. Kunststoffe, Nr. 12, 1997.
69. Wakker, A., Kormelink, H., G., Verbeke, P., Jordean, J., C., M. - Robust und leistungs föhig. Kunststoffe, Nr. 8, 1995.
70. Wolf, H., J., Mennig, G. - Formfülberechnung bei Bindenähten. Kunststoffe, nr.4, 1995.
71. Wuttke, B., Hindrichsen, G. - Jutefaser verstärktes Polypropylen-ein Alternative zur Glasfaserverstärkung. Kunststoffe, Nr. 11, 1994.
72. ***. Engineering Plastics for new concepts. Prospectul firmei Hüls, 10, 1990.
73. ***. Injection Molding Industries, Orion, MI, USA.
74. ***. Inedit: Les regles de construction d'un moule. Plastiques Modernes et Elastomeres, avril, 1979.
75. ***. Jetform. Heisskanal-Systeme. Normă de tipizare.
76. ***. Kunststoffe Hoechst. Spritzgiessen von Thermoplasten, August 1971.
77. ***. Lexan, Norly, Valox. Aguide to succesfull injection moulding. Broşura firmei General Electric Plastics Europe.
78. ***. Patent Fr. Nr. 2079694, 18 octombrie 1971.
79. ***. Patent RFG Nr. 2152644, 12 octombrie 1972.
80. ***. Victrex, PEEK, Eigenschaften. Prospectul firmei ICI, 9, 1998.
81. ***. Zenite LCP. Product quide and properties. Prospectul firmei DuPont, 09, 1998.

Bibliografie generala

1. *Constantin, V. Marinescu, A. Epureanu* – Using OLE for process control for implementing computer integrated manufacturing systems, Susținută: Conferința Științifică Internațională TCMR 2005, Chișinău, Moldova, mai, 2005, Tehnologii Moderne. Calitate, Restructurare, vol.4, Editura UTM, ISBN 9975-9975-8-3, p. 347-351, 2005.
2. *Banu M., Naidim O., Epureanu A.*, Artificial Neural Network for Springback Prediction, International Conference TMCR 05, Chisinau, , ISBN 9975-9875-3-2, p. 22, 2005.
3. *Panoiu, V., Dimache, A* – Cylindrical Thick Plate Forming with Reconfigurable Die-Punch Tool, TMCR, Chișinău, ISBN 9975-9975-3-2, p. 400-404, 2005.
4. *Gavan, E., Paunoiu, V., Dimache, A.* – Comparative Study for Single-Curved Plates Forming with Continuous and Reconfigurable Die-Punch Assembly, Analele Universitatii Dunarea de Jos din Galati, fasc. V, p. 81-85, ISSN 1221-4566, 2004.
5. *Paunoiu, V., Oancea, N., Nicoara, D.* – Simulation of Plate's Deformation Using Discrete Surfaces, Materials Processing and Design: Simulation and Application, NUMIFORM, OHIO State University, American Institute of Physics 0-7354-0188-8, p. 1007-1010, 2004.
6. *V. Marinescu, M. Banu, A. Epureanu* - Application of Petri Nets in modeling a chrome plating technology, In 4-th International Conference, The Coatings in Manufacturing Engineering, ISBN 3-87525-201-2, Erlangen, Germany, pag. 415-423, 2004.

I. OBIECTIVELE GENERALE ALE PROGRAMULUI	2
1. Dezvoltarea unei tehnici bazate pe ICT pentru producerea adaptiv/inteligenta a sistemelor de fabricatie reconfigurabile	2
2. Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri	2
3. Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a caroseriilor auto	2
4. Sinteza unor noi tehnici de modelare a cinematicii sistemelor de profilare a sculelor generatoare	2
5. Realizarea unui demonstrativ de functionare virtuala a unui sistem de fabricatie reconfigurabil	2
II. OBIECTIVELE ETAPEI I CONFORM PLANULUI DE REALIZARE	3
III. REZUMATUL ETAPEI	4
IV. PREMISE STIINTIFICE SI TEHNICE	6
IV.1 Premisele stiintifice generale ale proiectului	6
IV.2 Premisele stiintifice si tehnice ale obiectivelor primei etape	7
Obiectivul 1 - Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile	7
Obiectivul 2 - Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri	9
Obiectivul 3 - Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a carseriilor auto	10
Obiectivul 4 - Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a carseriilor auto	12
V. MATERIAL SI METODE	14
V.1. Flexibilitatea sistemelor de manufacturare	14
V.2. Upgrade-ul sistemelor de manufacturare	16
V.3. Ideea de sistem reconfigurabil de manufacturare	16
V.4 Evolutia RMS-urilor	18
V.5 Caracteristicile RMS-urilor	19
V.6 Reconfigurabilitate hardware	20
V.7 Reconfigurabilitate software	22
V.8 Reconfigurabilitatea conducerii	22
Obiectivul 1 - Dezvoltarea unui algoritm de identificare on-line a sistemelor de fabricatie reconfigurabile	30
Obiectivul 2 - Dezvoltarea unei tehnici de conducere a sistemelor reconfigurabile bazate pe o noua clasa de retele Petri	37
2.1 Definițiile și proprietățile RP de referință	37
2.2. Metodologia de proiectare a modelului	42
2.3. Interpretarea proprietăților rețelelor Petri în modelarea sistemelor de fabricație	45
2.4. Clasificarea pozițiilor și tranzițiilor	46
2.5. Alte definiții și prezumții corespunzătoare	48
Obiectivul 3 - Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a carseriilor auto	64
Obiectivul 4 - Proiectarea functiilor tehnologice ale proceselor de deformare a tablelor in vederea reconfigurabilitatii sistemelor flexibile de fabricatie a carseriilor auto	73
4.1 Generarea profilurilor asociate unui cuplu de centroide în rulare	73

4.2. Aplicatii ale meodelor de generare la procedeele econventionale de prelucrare, si anume, la a) modelarea erorii de generare la electrodul pentru prelucrarea electroeroziva cu electrod masiv si b) la proiectarea flexibila a matritelor de injectie.	79
4.3. Metode de modelare a reconfigurării corective	92
VI REZULTATELE ETAPEI SI GRADUL DE REALIZARE A OBIECTIVELOR	93