

SISTEM EXPERT PENTRU PROIECTAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE A PIESELOR MECANICE DE ROTAȚIE

Laura Ciocoiu
email: ciocoiu@ici.ero

Liliana Constantinescu
lconst@ici.ro

Ion Câlțan
caltan@ici.ro

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Informatică - ICI, București

Rezumat: Lucrarea descrie un sistem expert, privind asistarea procesului de proiectare a tehnologiilor pentru piese mecanice de rotație, prelucrate prin așchiere. Acesta este constituit din module software, bazate pe conceptul generativ, de dezvoltare a tehnologiilor integrate într-un sistem software complex.

Sistemul expert pentru proiectarea tehnologiilor pieselor mecanice de rotație face parte din noua generație de sisteme software, care utilizează noile concepte și metode din tehnologia informației și a dezvoltării proceselor tehnologice moderne, introduce elemente de inteligență artificială, ce asigură reprezentarea și procesarea cunoștințelor experților din domeniu.

Sistemul expert pentru proiectarea tehnologiilor prin metoda generativă asigură elaborarea tehnologiilor pieselor mecanice de rotație, fiind realizat ca un software de aplicație performant, specializat, într-o concepție unitară, integrată și ierarhizată, cu facilități importante privind interactivitatea, posibilitatea de integrare și flexibilitatea, putând fi utilizat independent sau integrat, într-un sistem fabricație de tip CIM-I.

Introducerea informaticii în proiectarea tehnologiilor, necesitate necontestată, a impus dezvoltarea unui sistem expert (intelligent) de proiectare asistată de calculator a proceselor tehnologice de tipul Computer Aided Process Planning Intelligent - CAPP-I ce poate fi implementat atât independent, cât și inclus în cadrul sistemelor inteligente de fabricație integrată de calculator (Intelligent Computer Integrated Manufacturing - CIM-I). Astfel, se realizează trecerea de la nivelul tradițional de prelucrare a datelor, la nivelul procesării cunoștințelor, ca cerință de bază pentru realizarea unei proiectări asistate, inteligente, a proceselor tehnologice, cuprinzând automatizarea elaborării succesiunii operațiilor tehnologice, a fazelor de prelucrare, alocarea resurselor tehnico-materiale, determinarea parametrilor de lucru și elaborarea documentației tehnologice.

Cuvinte cheie: tehnologii în concept generativ, piese mecanice, prelucrări prin așchiere, inteligență artificială, sistem expert, tehnologia informației.

1. Introducere

Proiectarea proceselor tehnologice în concept generativ este o abordare relativ nouă, care a captat tot mai mult interesul specialiștilor, iar tehnologia informației o face din ce în ce mai accesibilă. Dezvoltarea tehnologiilor, în acest context, afectează întregul sistem al unei întreprinderi industriale. Zonele de investigare avute în vedere includ generarea și parametrizarea tehnologiilor, precum și proiectarea interfeței cu utilizatorul. Caracteristica esențială în proiectarea automată a procesului tehnologic în concept generativ, pentru piese mecanice, o constituie restructurarea acestuia, prin abordarea fiecărui desen de execuție, ca o entitate geometrică independentă, ce se descompune într-o structură arborescentă, alcătuită din suprafețe principale, care alcătuiesc conturul geometric (exterior și/sau interior) ce constituie suportul pe care se suprapun alte suprafețe numite suprafețe secundare.

Până nu de mult, cele mai ambițioase scopuri asumate de producătorii de software erau de a furniza soluții cu care beneficiarii să fie capabili să reprezinte digital orice formă (piesă) și de a închea ansambluri cât mai complexe. Astăzi, se dorește ca fiecare întreprindere, spre a fi mai eficientă și mai dinamică pe piață, să fie ajutată să-și valorifice capitalul intelectual, să poată să răspundă automat la probleme viitoare, ceea ce reprezintă o adevărată provocare dincolo de obișnuit.

Efectul capturării expertizei de proiectare/producție constă în rezolvarea problemelor curente, beneficiind de experiențe anterioare, din care s-au extras modele decizionale și soluții particulare. O dată capturate cunoștințele ingineresti, folosite la conceperea, analiza și fabricația unui produs, ele devin capabile să ghideze procese de proiectare ulterioare, beneficiarul acestei asistențe moștenind de la predecesori ceea ce a fost bun, astfel încât, se poate spune că o piesă nouă este o rafinare a celor anterioare.

2. Descrierea sistemului

Sistemul expert reprezintă un nou și performant instrument destinat proiectării tehnologiilor pieselor mecanice de rotație, bazat pe soluții moderne, ce au ca efect obținerea unui raport optim calitate/preț, pentru produsele industriale.

2.1. Etapele de proiectare a tehnologiilor pieselor mecanice de rotație în concept generativ

Sistemul are ca obiectiv principal asistarea utilizatorului, în procesul de generare automată a variantelor de procese tehnologice pentru piese mecanice prelucrate prin așchiere. În procesul de proiectare a tehnologiilor pieselor mecanice de rotație, sunt parcurse următoarele etape:

- a. *Descompunerea piesei* prezentată în desenul de execuție de către proiectantul constructor, sub formă de primitive care alcătuiesc un arbore geometric, ce constituie intrări în procesul de generare automată a

tehnologiilor. Caracteristicile generale ale piesei precum și caracteristicile geometrice și tehnice ale fiecărei primitive reprezintă cerințele funcționale și de prelucrare pentru fiecare suprafață ce alcătuiește conturul piesei.

Modelarea procesului tehnologic ia în considerare atât cunoștințele despre geometria pieselor, cât și cunoștințele funcționale, care reprezintă fie funcția (rolul) piesei, fie modul în care o anumită parte a acesteia trebuie să fie prelucrată. Caracteristicile geometrice sunt grupate după comportamentul funcțional, generând operații de prelucrare. Descompunerea geometrică și tehnică a piesei are la bază conceptul de elemente tipizate sau primitive, care ia în considerare acele elemente ce întrunesc caracteristici sau trăsături comune pentru a forma piesa din punct de vedere geometric și tehnologic, în vederea determinării ordinii de prelucrare precum și resursele necesare.

- b. *Achiziția și reprezentarea cunoștințelor generale, geometrice și tehnice* ale piesei, așa cum rezultă din etapa anterioară, constau în captarea acestora de la expert sau din literatura de specialitate și stocarea lor în baza de cunoștințe a sistemului. Cunoștințele sunt achiziționate și reprezentate explicit, sub forma unor structuri caracteristice, astfel încât sistemul realizează proiectarea, oferind informații privind generarea proceselor tehnologice, pe baza unui raționament similar celui folosit de un expert uman. Obiectele definite, ce conțin datele specifice achiziționate, sunt procesate și unificate cu variabile, în vederea generării de noi cunoștințe.

Reprezentarea cunoștințelor se face prin reguli, perechi „condiții - acțiune” („DACĂ - ATUNCI”), unde condițiile stabilesc contextul în care se aplică regula, iar acțiunea determină modul de rezolvare asociat. De exemplu:

DACĂ

(Suprafața este cilindrică) și (Exterioară) și ... și (Condiție-n)

ATUNCI

(Strunjire cilindrică exterioară de).

Regulile se stabilesc în comun de către expertul din domeniu și inginerul de cunoștințe, construindu-se iterativ, prin încercări și corecții, iar baza de cunoștințe care înmagazinează teoria domeniului (fapte și reguli de deducere a unor fapte noi) poate fi îmbogățită, la fiecare sesiune de lucru, cu informații specifice. În baza de cunoștințe, vor fi prezente, pe lângă regulile specifice domeniului, și reguli cu caracter general, de căutare euristică în spațiul problemei, reguli ce au scopul de a orienta și controla procesul de generare a unor cunoștințe noi din cele existente. Acestea alcătuiesc mecanismul (motorul) de inferențe („inference mechanism” sau „inference engine”). Reprezentarea cunoștințelor se va realiza de așa manieră încât să ofere suficiente informații despre structura și funcțiile privind proiectarea proceselor tehnologice, permițând un raționament similar celui folosit de expertul ce utilizează scheme și descrieri funcționale în analiza problemei. Cunoștințele vor fi reprezentate în baza de cunoștințe, sub forma descrierii realizate prin decompoziție ierarhică, prin fapte și reguli. În formalismul regulilor, proprietățile componentelor vor fi modelate ca simple propoziții, condițiile sau concluziile luând forma combinațiilor logice de propoziții.

Achiziția și reprezentarea cunoștințelor are ca scop stocarea specificațiilor (de formă, gabarit, toleranțe și rugozitate, tratamente termice și acoperiri metalo-chimice) prezentate în desenul de execuție de către proiectantul constructor. Elementele primitive sunt reprezentate simbolic în baza de cunoștințe prin domenii, subdomenii cu caracteristici specifice.

- c. *Generarea automată a operațiilor tehnologice și a fazelor de prelucrare* și determinarea succesiunii executării lor. Procesul de proiectare constă în generarea automată a unei soluții privind procesul tehnologic. Această etapă reprezintă o procedură tehnică de generare a operațiilor tehnologice, a fazelor de prelucrare și de furnizare a ordinii (succesiunii) necesare în realizarea obiectivelor din planul de prelucrare;
- d. *Alocarea resurselor tehnico-materiale* (semifabricat, mașini unelte, scule așchietoare, dispozitive de prindere, mijloace de control) pentru obținerea caracteristicilor piesei privind forma, dimensiunile, toleranțele, calitatea suprafețelor etc., impuse prin desenul de execuție, în vederea determinării eficiente a procesului tehnologic;
- e. *Determinarea parametrilor procesului tehnologic* (adaos de prelucrare, regim de lucru, normă de timp) pentru fiecare operație și fază a itinerarului tehnologic, generat automat, la o valoare optimă, astfel încât să se asigure obținerea calității prescrise a pieselor, realizarea preciziei, precum și a unor indicatori de productivitate și preț de cost cât mai favorabili;
- f. *Analiza rezultatelor și elaborarea documentației tehnologice* în urma procesării cunoștințelor. Proiectarea procesului tehnologic se încheie cu elaborarea unei documentații specifice, care servește la punerea în aplicare a procesului tehnologic, proiectat în funcție de caracterul producției, natura piesei prelucrate, dotarea tehnico-materială etc.

2.2. Arhitectura sistemului

În cadrul aplicațiilor off-line, sistemul poate fi utilizat ca asistent inteligent cu scopul de a facilita activitățile intelectuale ale proiectanților de tehnologii sau ale celor ce trebuie să ia decizii în conducerea proceselor, a fabricației sau a întreprinderii. Componenta IA realizează funcția de generare automată a soluției, înlocuind utilizatorul cu o „comportare bazată pe reguli” (rule-based behaviour). Sistemul utilizează cunoștințe directe și explicite (sub formă de reguli), într-o formă inteligibilă pentru utilizator, și rezolvă problemele generând soluții posibile, prin operații asupra regulilor pe baza unor tehnici de căutare. Sistemul se comportă adecvat scopurilor sale și adaptiv la cerințele mediului în care evoluează, fiind capabil de a achiziționa, treptat, cunoștințele specifice prin utilizarea și perfecționarea sa de către tehnolog, răspunzând flexibil oricăror modificări.

Sistemul expert are în vedere funcțiuni bazate pe schema de proiectare a informațiilor constructive, cunoștințele și regulile din baza de cunoștințe și strategia de control. Realizarea unui plan de proces tehnologic pentru o piesă prin încadrarea ei într-o familie de piese existente și modificarea procesului său standard într-un proces de planificare de grup, nu poate rezolva cu succes problema automatizării funcțiunii de planificare a procesului și, ca urmare, s-a ales ca soluție de proiectare aplicarea conceptului modern de elaborare generativă a procesului tehnologic. Sistemul expert pentru proiectarea automată a tehnologiilor permite stabilirea operațiilor și fazelor de prelucrare tehnologică, determinarea structurii și succesiunii acestora în vederea elaborării itinerarului optim, alocarea resurselor tehnico-materiale, calcularea valorilor optime pentru parametrii procesului tehnologic, analiza rezultatelor și elaborarea documentației tehnologice, necesară fabricației.

Sistemul expert, de proiectare a procesului tehnologic, este un sistem automat, integrat, flexibil și inteligent, care permite generarea soluțiilor privind planificarea procesului tehnologic, cu ajutorul unor instrumente și interfețe specializate pentru accesul la cunoștințe și ghidarea tehnologului în luarea deciziilor, permițând integrarea cu alte sisteme cu care vine în contact (proiectarea constructivă, fabricația etc.).

Sistemul expert are la bază conceptul generativ de proiectare asistată de calculator, conceptul de interactivitate, care asigură dialogul activ cu calculatorul, conceptul de reprezentare și achiziție a cunoștințelor expertului din domeniu și conceptul de raționament cu inferență. El abordează planificarea procesului tehnologic prin metode și tehnici moderne complexe, de analiză, sinteză și evaluare pe baza modelelor de simulare, optimizare și a grafurilor pentru asigurarea aspectului funcțional-comportamental al piesei, metode și tehnici care abordează sistemul într-o structură multinivel cu iterații succesive, cu recursivitate, având ca suport o bază de cunoștințe, precum și metode și tehnici specifice conceptului tehnologic generativ ce corespunde în cele mai bune condiții automatizării procesului tehnologic, în funcție de natura și caracteristicile geometrice și tehnice ale piesei de prelucrat. De asemenea, sunt implementate metode și tehnici de inteligență artificială pentru achiziția, reprezentarea și procesarea cunoștințelor.

Sistemul expert abordează conceptul generativ pentru planificarea procesului tehnologic și creează noi planuri, utilizând decizii logice, restricții tehnologice și informații bazate pe geometrie pentru a construi un sistem CAPP inteligent. În acest context, dacă intrările constructive (desenele de execuție) sunt disponibile și informațiile despre proces (resurse tehnico-materiale) sunt accesibile la o bază de cunoștințe, sistemul este capabil să ia decizii inteligente, rezonabile privind elaborarea procesului tehnologic. Sistemul realizează procesarea cunoștințelor printr-un raționament inferențial, ieșirile furnizate de un nivel constituie intrări pentru nivelul următor, iar rezultatele obținute în urma procesării datelor și cunoștințelor vehiculate sunt valorificate de componenta de analiză și editare a documentației tehnologice. Acesta are capacitatea de a furniza explicații atât în procesul achiziției cunoștințelor, cât și pe parcursul procesării lor în vederea generarea proceselor tehnologice.

Sistemul de proiectare asistată de calculator a tehnologiilor, bazat pe gestionarea și procesarea cunoștințelor, este alcătuit din: *baza de date tehnologice*, în care sunt stocate informații ce se referă la resursele necesare fabricării pieselor, *spațiul de lucru* care servește la elaborarea proceselor tehnologice, prin combinarea informațiilor cuprinse în baza de date tehnologice cu acelea create pe baza regulilor din baza de cunoștințe, *sistemul rezolutiv*, constituit din ansamblul programelor care inițiază și conduc dialogul cu utilizatorul, permițând achiziționarea cunoștințelor și ducând, în final, la elaborarea documentației tehnologice în care este descris procesul tehnologic generat automat, și *baza de cunoștințe a sistemului expert*, componenta principală ce permite achiziționarea și gestionarea cunoștințelor geometrice și tehnice din desenul de execuție, în vederea procesării lor de către motorul de inferență pentru a infera soluții privind procesele tehnologice. Aceasta permite construirea unor arborescențe suficient de complicate, explorarea dinamică și modificarea regulilor. Baza de cunoștințe este construită arborescent și conține entități de tip „if-then” („dacă – atunci”) care permit încărcarea dinamică a cunoștințelor.

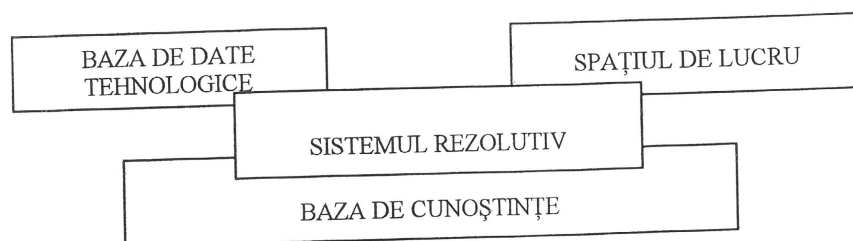


Figura 1.

Cunoștințele sunt reprezentate într-un limbaj explicit, propozițional, pe care un utilizator extern îl percepe ca „natural”, iar comportarea sistemului pe baza propozițiilor va fi în concordanță cu interpretarea utilizatorului.

Sistemul expert este un instrument software complex, bazat pe cunoștințe, specializat, ce rezolvă, la nivel de expert, probleme complexe ale domeniului abordat. Cunoștințele cu care operează acesta sunt preluate de la experții domeniului, se codifică sub o formă aplicabilă unei probleme și se procesează simbolic, cu ajutorul unui shell expert, conceput ca un mediu ce va suporta aplicații pe baza raționamentului inferențial. Procesarea cunoștințelor tehnologice se realizează prin asistarea utilizatorului cu ajutorul unei interfețe bazată pe meniuri ierarhizate și ferestre de dialog, care asigură ghidarea permanentă în procesul activării funcțiilor sistemului care permit generarea tehnologiilor prin extragerea cunoștințelor de la expert, introducerea în baza de cunoștințe și procesarea lor. După formularea abstractă a problemei, se va trece la transpunerea în fapte și reguli, iar apoi în programe dezvoltate ulterior ca rezultat al interacțiunii dintre utilizator și expertul în domeniu.

Sistemul expert dispune de funcțiuni privind proiectarea tehnologiilor pieselor mecanice de revoluție, cum sunt:

- achiziția și reprezentarea cunoștințelor privind descrierea constructivă a piesei;
- generarea automată a itinerarului tehnologic;
- alocarea resurselor tehnico-materiale;
- calculul parametrilor de lucru (parametrizarea itinerarului tehnologic);
- gestiunea cunoștințelor;
- elaborarea documentației tehnologice.

Arhitectura minimală a sistemului expert cuprinde următoarele componente:

- baza de cunoștințe, ce conține expertiza din domeniu, sub formă de informații transpuse în fapte și reguli;
- motorul de inferență, care conține inferența și strategiile de control, putând realiza raționamentul logic, de deducere de noi fapte, din cele cunoscute, aflate în baza de cunoștințe;
- componentele auxiliare, cu rol în explicarea raționamentului în procesul de inferență, procesarea incertitudinilor (dacă există), interfața de dialog între calculator și utilizator, expert și inginerul de cunoștințe, și interfața între baza de cunoștințe și motorul de inferență.

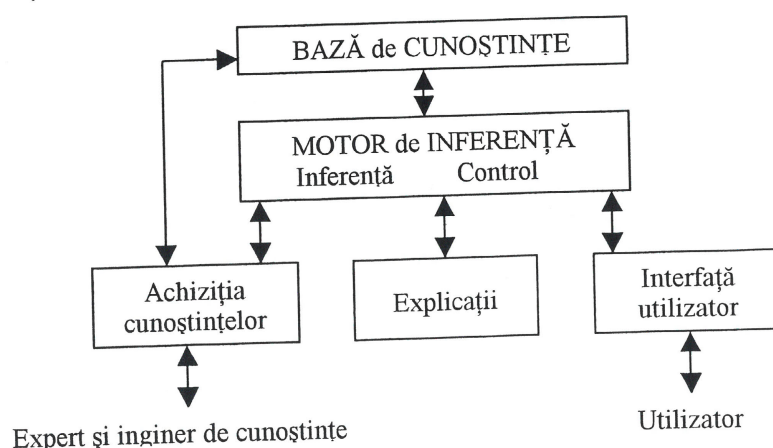


Figura 2.

3. Funcțiunile sistemului

Sistemul este un produs software dezvoltat modular, cu facilități în gestionarea cunoștințelor, putând să rezolve probleme de tipul proiectării și planificării proceselor tehnologice pentru piese mecanice de rotație. El constituie un instrument interactiv, un mediu de proiectare a tehnologiilor pieselor mecanice de revoluție.

Sistemul expert, de proiectarea procesului tehnologic pentru piese mecanice de rotație, preia cunoștințele rezultate din modelul structural sistemic al piesei, care se referă la geometria conturului acesteia, la dimensiunile și cerințele tehnice de calitate și precizie, informații generale, toate acestea în relație cu modelele de alocare a resurselor tehnico-materiale, tabele, norme și standarde tehnice specifice, precum și cunoștințe ce reflectă expertiza specialistului în domeniu. Astfel, baza de cunoștințe memorează toate informații geometrice și tehnice, necesare proiectării proceselor tehnologice pentru arborele prezentat. Plecând de la cunoștințele geometrice și tehnice ale arborelui geometric al piesei, prin mecanismul de procesare a acestora, se obțin informații privind succesiunea operațiilor tehnologice și a fazelor de prelucrare. Pentru operațiile tehnologice, generate în urma procesării cunoștințelor stocate în baza de cunoștințe, sunt alocate resursele tehnico-materiale, iar apoi sunt parametrizate cu valori aferente adaosului de prelucrare, regimului de lucru și normei de timp.

Componentele funcționale ale sistemului de proiectare automată a procesului tehnologic abordează planificarea acestuia prin metoda generativă, în vederea elaborării tehnologiilor plecând de la un model care descrie piesa, furnizat de proiectarea constructivă.

Subsistemul este construit pe baza unei arhitecturi care cuprinde module funcționale, ce asigură următoarele funcțiuni privind proiectarea tehnologiilor pentru piese mecanice:

- Achiziția cunoștințelor și generarea automată a itinerarului tehnologic:
 - achiziția cunoștințelor geometrice și tehnice din desenul de execuție;
 - generarea automată a operațiilor tehnologice, a fazelor de prelucrare și editarea itinerarului tehnologic;
 - gestiunea bazei de cunoștințe geometrice și tehnice.
- Alocarea resurselor tehnico-materiale;
- Calculul parametrilor de lucru;
- Servicii utilitare;
- Sfârșit sesiune de lucru și transferul controlului către sistemul de operare.

Sistemul face apel la cunoștințe specifice (cunoștințe geometrice și tehnice), algoritmi, date privind resursele tehnico-materiale, aflate în dotarea întreprinderii, tabele, standarde și normative tehnice specifice, iar prin procesul tehnologic proiectat intră în interacțiune cu gestiunea producției și fabricația, așa cum este prezentat în continuare:

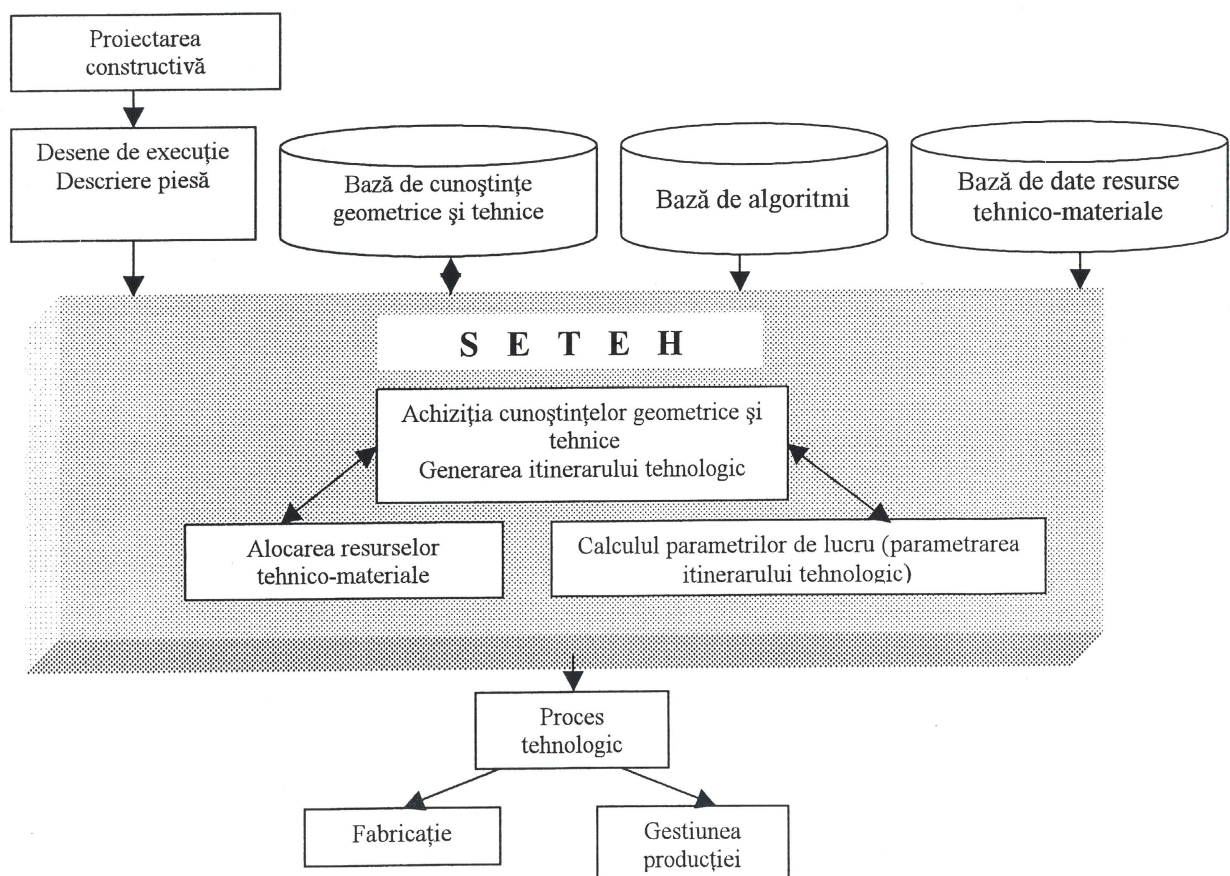


Figura 3.

Sistemul este constituit din ansamblul programelor care inițiază și conduc dialogul cu utilizatorul, permite achiziționarea cunoștințelor geometrice și tehnice din desenele de execuție, proiectează procesele tehnologice ducând, în final, la elaborarea documentației tehnologice, în care este descris procesul de prelucrare, generat automat. Este un sistem deschis, ce permite dezvoltări ulterioare, o dată cu evoluția realității pe care o modelează.

3.1. Achiziția cunoștințelor și generarea automată a itinerarului tehnologic

Procesul tehnologic optim, de prelucrare a pieselor, constă, conform conceptului generativ, în generarea (în funcție de suprafețele piesei care vor fi prelucrate) operațiilor și fazelor ce asigură obținerea formei constructive, din desenul de execuție, care reprezintă documentul de bază, necesar proiectantului și realizatorului tehnologiei de fabricație.

În desenul de execuție al piesei, sunt prescrise o serie de condiții tehnice, referitoare la dimensiuni și toleranțe dimensionale, condiții geometrice și toleranțe geometrice (formă, poziție reciprocă), rugozități etc. pentru fiecare suprafață ce alcătuiește conturul piesei.

Procesul tehnologic generat asigură realizarea condițiilor tehnice prescrise piesei, concretizate în precizia dimensională, de calitate și tehnică. Pentru preluarea tuturor caracteristicilor piesei prezentată în desenul de execuție și generarea automată a traseelor tehnologice, modulul realizează următoarelor funcțiuni:

- achiziția și gestionarea cunoștințelor geometrice și tehnice, captate din desenul de execuție în baza de cunoștințe;
- generarea automată a operațiilor tehnologice și a fazelor de prelucrare, prin procesarea cunoștințelor de către motorul inferențial.

Sistemul realizat pleacă de la specificațiile privind forma, toleranțele, rugozitatea și alte caracteristici ale piesei proiectate, care este descompusă sub formă de primitive geometrice, ca intrări ce o descriu, în vederea furnizării unui plan al procesului de prelucrare. Pentru achiziția cunoștințelor geometrice, fiecare arbore este descompus în suprafețe principale și suprafețe secundare, ce se suprapun peste cele principale. Astfel, baza de cunoștințe oferă toate informațiile geometrice și tehnice, necesare proiectării proceselor tehnologice, pentru piese mecanice.

Generarea automată a itinerarului tehnologic constă în procesarea cunoștințelor sub controlul permanent al unei interfețe între utilizator și componentele sistemului, prin folosirea sistemului de meniuri ierarhizate și a ferestrelor de dialog, care asigură ghidarea permanentă a utilizatorului în procesul activării funcțiunilor selectate. Itinerarul tehnologic este o succesiune ordonată, din punct de vedere tehnologic, a operațiilor de prelucrare, care se realizează pe capacități de producție, într-un interval de timp, impunând participarea resurselor tehnico-materiale într-o anumită combinație cantitativă și calitativă pentru a obține piesa conform desenului de execuție. Procesul tehnologic presupune parcurgerea unei anumite secvențe de operații și faze, prezentată în documentația tehnologică ce oferă executantului toate informațiile necesare prelucrării piesei, la parametrii de calitate și precizie impuși.

Generarea automată a tehnologiilor pentru piese mecanice de rotație, prin metoda generativă, asigură automatizarea secvențelor procesului tehnologic, procesarea cunoștințelor tehnice și geometrice și definirea automată a soluțiilor de traseu tehnologic, iar, la cererea utilizatorului, se poate selecta funcția de analiză a rezultatelor și elaborarea documentației tehnologice. Itinerarul tehnologic conține, deci, o succesiune ordonată de operații tehnologice și faze de prelucrare, care permit obținerea piesei cu precizia și calitatea cerute, conform desenului de execuție și la un cost minim.

3.2. Alocarea resurselor tehnico-materiale

Procesul tehnologic necesită alocarea unor resurse tehnico-materiale, în vederea obținerii caracteristicilor piesei, cum sunt: semifabricat, mașini unelte, scule așchietoare, dispozitive de prindere pentru scule și semifabricat, mijloace de control.

Alegerea corectă, rațională, a semifabricatului, reprezintă una din condițiile de bază, în vederea determinării eficiente a procesului tehnologic, și constă în stabilirea metodei optime de elaborare a formei, dimensiunilor și preciziei acestuia, precum și a adaosurilor de prelucrare totale. Sistemul asigură alocarea semifabricatului cu forma și dimensiunile cât mai apropiate de cele ale piesei. Dimensiunile, adaosurile totale de prelucrare și toleranțele semifabricatului sunt determinate astfel încât să asigure, prin prelucrările mecanice ulterioare, obținerea formei, dimensiunilor, toleranțelor, calității piesei, impusă prin desenul de execuție.

Factorii care determină alegerea metodei de elaborare a semifabricatului sunt: materialul piesei, forma și dimensiunile acesteia, tipul producției, precizia, volumul de muncă, costul prelucrărilor mecanice, utilajele disponibile.

Mașinile-unelte, necesare materializării procesului tehnologic, asigură realizarea prelucrărilor stabilite, cât și obținerea preciziei impuse suprafețelor. Alocarea acestora se face în funcție de criterii cum sunt: piesa de

prelucrat (masă, dimensiuni, material, cost), caracteristicile suprafeței de prelucrat (tip, calitate), tipul prelucrării (degroșare, semifinisare etc.), natura producției și productivitatea impusă, costul și gradul de complexitate al prelucrării, regimul de așchiere și, nu în ultimul rând, dotarea tehnico-materială (posibilități tehnologice, putere, turații, avansuri, accesorii, precizia realizabilă, gradul de uzură).

Dimensiunile mașinilor-unelte se aleg în funcție de dimensiunile semifabricatului de prelucrat. Precizia mașinilor-unelte este determinată de precizia impusă prelucrării piesei, acestea trebuind să asigure realizarea preciziei dimensionale, de formă și de poziție, rugozității suprafețelor din desenul de execuție.

În cadrul procesului tehnologic, o anumită prelucrare se realizează cu un regim optim de așchiere. Mașina-uneltă, prin gama de turații, avansuri, putere, trebuie să asigure realizarea optimului de așchiere.

Sculele așchietoare asigură obținerea performanțelor de precizie, rugozitate, productivitate și cost ale prelucrării. Alegerea sculelor așchietoare presupune stabilirea tipului, formei, dimensiunilor, materialului părții active, geometria părții active, cu prioritate pentru folosirea, pe cât posibil, a sculelor standardizate.

Tipul, forma și dimensiunile sculelor așchietoare sunt dependente de natura prelucrării, forma și dimensiunile suprafețelor de prelucrat și de dimensiunile mașinii-unelte (posibilitatea de prindere pe mașină, puterea acesteia etc.). Toleranțele de execuție a sculelor sunt precizate conform standardelor.

Stabilirea dispozitivelor de prindere depinde de caracterul producției și de tipul semifabricatului. La stabilirea dispozitivelor de prindere a sculelor așchietoare, s-au avut în vedere criterii ca: forma și dimensiunile părții active a sculei așchietoare, precizia de orientare și fixare necesară, forma și dimensiunile zonei de legătură cu mașina-uneltă, tipul mașinii-unelte.

Alocarea mijloacelor de control se realizează în funcție de: caracterul și precizia parametrilor măsurați sau controlați, precizia de citire a mijlocului de măsurare, eroarea limită de măsurare a mijlocului de măsurare, siguranță în funcționare, productivitatea controlului, corelată cu tipul producției, costul instrumentului sau a aparatului de control, gradul de complexitate a controlului și calificarea necesară controlorului.

3.3. Calculul parametrilor de lucru (parametrizarea itinerarului tehnologic)

Parametrii de lucru, ale căror valori sunt determinate de sistem, sunt: adaosul de prelucrare, regimul de lucru și norma de timp.

Modulul a fost elaborat cu o interfață prietenoasă cu utilizatorul, prin utilizarea casetelor de dialog, și nu necesită din partea utilizatorului cunoștințe deosebite în domeniul informaticii și calculatoarelor. Interfața grafică este prietenoasă, ceea ce face ca acesta să fie atractiv și ușor de utilizat, acoperind o varietate mare de procedee de prelucrări mecanice prin așchiere.

Modulul de parametrizare face apel la normele departamentale și republicane în vigoare din Industria Constructoare de Mașini.

Determinarea adaosurilor de prelucrare constă în stabilirea acelor valori care asigură desfășurarea optimă a procesului de transformare a semifabricatului în piesă finită, având ca scop final asigurarea calității acesteia. Sistemul transferă un volum mare de activități de rutină, de la om la calculator, în cadrul modulului software pentru calculul adaosurilor de prelucrare.

Modulul constituie o modalitate rapidă, modernă și atractivă de calcul a adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor intermediare, elimină subiectivismul uman, oferind aceleași condiții pentru toți utilizatorii.

O altă etapă a proiectării proceselor tehnologice constă în calcularea parametrilor regimului optim de așchiere pentru fiecare operație, iar prin consultarea gamei de turații și avansuri a mașinilor unelte se adoptă valorile reale cele mai apropiate de cele calculate ale acestor parametri.

Sistemul rezolvă problema calculului parametrilor regimului de așchiere, prin procesarea datelor specifice, și propune un regim de lucru, în funcție de tipul operației, material, scula așchietoare și mașina-uneltă, toate acestea conducând la reducerea timpului de calcul, creșterea preciziei rezultatului și eliminarea erorilor subiective datorate erorilor de calcul. Avantajele constau în modalitate rapidă, modernă și atractivă de calcul a parametrilor regimului de așchiere a mașinilor unelte, oferind aceleași condiții pentru toți utilizatorii.

O altă categorie de parametri o constituie timpul de bază și timpul efectiv pentru fiecare operație, precum și norma tehnică de timp.

Pentru realizarea, în condiții de producție tehnico-organizatorice predeterminate, a operațiilor procesului tehnologic, se consumă un timp cunoscut în literatura de specialitate normă de timp. Aceasta se stabilește pentru fiecare operație a itinerarului tehnologic.

3.4. Interfața cu utilizatorul

În vederea generării soluțiilor privind planificarea procesului tehnologic, sistemul are la bază instrumente și interfețe specializate, pentru accesul la cunoștințe și ghidarea tehnologului în luarea deciziilor, și este conceput astfel încât să permită integrarea cu alte sisteme cu care vine în contact ca: proiectarea constructivă, fabricația etc.

Asistarea utilizatorului în procesul de proiectare a tehnologiilor se realizează cu ajutorul unei interfețe, între acestea și componentele sistemului, prin folosirea sistemului de meniuri ierarhizate și a ferestrelor de dialog, care asigură ghidarea permanentă în procesul activării funcțiilor sistemului, prin utilizarea unui limbaj tehnologic specializat.

Sistemul dispune de o interfață cu utilizatorul, care permite accesul la cunoștințe și ghidarea tehnologului în luarea deciziilor, precum și controlul execuției. Aceasta asigură buna desfășurare a lucrărilor în cadrul procesului de proiectare tehnologică (activează și dă controlul programelor, permite înlănțuirea modulelor funcționale, realizează dialogul tehnolog-calculator și altele) și modul de lucru interactiv. Interfața este realizată într-o manieră ușor accesibilă utilizatorului, permițându-i să lucreze ușor, firesc și rapid cu produsul. În acest scop, ea dispune de ferestre de dialog, achiziție și utilizează tehnica meniurilor „pop-up”, fiind o componentă care asigură interacțiunea cu sistemul. Aceasta are rolul de a stabili o convenție de limbaj și o modalitate de comunicare între utilizator și sistem.

Interfața este transparentă, declarativă, apropiată de limbajul natural, compatibilă cu stilul de lucru și cu așteptările utilizatorului, cunoștințele fiind reprezentate și utilizate într-o manieră deductivă.

4. Concluzii

Lucrările de cercetare, care au avut ca obiectiv dezvoltarea sistemului expert prezentat, s-au realizat și au fost finanțate în cadrul programului național de cercetare RELANSIN și au fost finalizate prin elaborarea componentelor software, ce acoperă totalitatea funcțiilor privind asistarea proiectării proceselor tehnologice pentru piese mecanice de rotație. Acestea au fost integrate într-un sistem expert implementat la partenerul din cadrul programului RELANSIN, ca prim beneficiar al rezultatelor cercetării.

Implementarea sistemului a avut un impact tehnic și economic favorabil prin eliminarea consumului mărit de resurse tehnico-materiale, financiare și umane, necesare desfășurării procesului de proiectare a tehnologiilor, cât și a muncii prin care nu se adaugă valoare. Altfel spus, munca neproductivă, care există datorită granițelor din interiorul întreprinderii, este eliminată, ceea ce permite factorilor de execuție să realizeze o cantitate mai mare de muncă reală, a cărei valoare poate fi măsurată, persoanele de conducere fiind plasate mai aproape de munca reală.

Sistemul expert prezentat este un instrument software pentru proiectarea automată a procesului tehnologic cu mijloace moderne, prin procesarea cunoștințelor specifice și expertizei domeniului. Planificarea automată a procesului tehnologic presupune integrarea întregului proces de producție, integrare între proiectarea constructivă, asistată de calculator – CAD, și proiectarea fabricației asistată de calculator – CAM, printr-un sistem de proiectare a procesului tehnologic - CAPP. Sistemul constituie un mediu interactiv, modern și eficient, structurat pe componente funcționale, dispunând de o interfață cu utilizatorul în vederea proiectării tehnologiilor. Sistemul de planificare a procesului tehnologic permite procesarea rapidă a cunoștințelor, realizarea unui dialog simplu și eficient cu utilizatorul, controlul și gestiunea unei mari cantități de date și cunoștințe necesare, reprezentarea adecvată a informațiilor de tip geometric și tehnic.

Planificarea automată a procesului tehnologic pentru piese mecanice de rotație este un obiectiv important într-un sistem de fabricație și constă în translatarea informațiilor din proiectarea constructivă (din desenul de execuție), într-o secvență tehnologică fezabilă, de instrucțiuni de fabricație, cerute pentru a prelucra piesa din forma inițială (semifabricat), în forma finală (piesa finită). Pentru a atinge aceste obiective, se face apel la expertiza din domeniu, în vederea planificării procesului tehnologic, iar soluția de formulare a unor trasee tehnologice operaționale depinde foarte mult de cunoștințele despre proces și resursele disponibile.

Elaborarea sistemului software, care dispune de caracteristici performante, bazate pe concepte moderne din teoria proiectării tehnologiilor și a informaticii, constituie o cerință actuală și prioritară a economiei naționale, iar apariția sistemelor de acest tip a determinat o abordare complexă a problematicii. Sistemul permite elaborarea tehnologiilor pieselor mecanice prin metoda generativă și constituie un software de aplicație specializat, dezvoltat ca un produs - program integrat într-o concepție unitară, putând fi utilizat independent sau integrat într-un sistem de tip CIM.

Sistemul prezintă deschideri noi în domeniul industrial, prin furnizarea de noi soluții tehnice, în vederea modernizării produselor și a creșterii competitivității acestora, eficientizării utilizării resurselor unităților industriale și creșterii performanțelor.

Datorită globalizării economiei și a piețelor de desfacere, supraviețuirea și dezvoltarea întreprinderilor într-un climat concurențial devin tot mai dependente de aderarea la noile concepte moderne ale calității, de constrângerile provenind din evoluția reglementărilor privind protecția mediului înconjurător, dezvoltare durabilă, protecția consumatorilor, precum și acele rezultate din evoluția tehnologiilor, inclusiv a tehnologiei informației. În acest context, sistemul informatic constituie un suport pentru proiectarea proceselor tehnologice pentru piese mecanice de rotație, prelucrate prin așchiere, și reprezintă o soluție nouă, performantă în informatica industrială.

Bibliografie

1. **ALLADA, V., S. ANAND:** Feature-based Modelling Approaches for Integrated Manufacturing: State-of-Art Survey and Feature Research Directions. În: *International Journal of Computer Integrated manufacturing*, Vol. 8, No. 6, 1995, pp. 411-440.
2. **ANDERSON, D.C., T.C. CHANG:** Automated Process Planning Using Object-Oriented Feature Based Design. În: *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, North Holland, Amsterdam, 1990, pp. 247-260.
3. **ANSALDI, S., B. FALCIDIENO:** The Problem of Form Feature Classification and Recognition in CAD/CAM. În: *NATO ANSI Series, Vol. F40: Theoretical Foundation of Computer Graphics and CAD*, 1988.
4. **BRAGARU, A., C. PICOS, N. IVAN:** Optimizarea proceselor și echipamentelor tehnologice, E.D.P., București, 1996.
5. **BAILLY, C.:** Les langages orientés objets, Editura Cepadues, 1987.
6. **BARR A., E. A. FEIGENBAUM, P. R. COHEN:** Handbook of Artificial Intelligence; Editura Addison - Wesley, Massachusetts, 1982, Editura Eyrolles, Paris, 1986.
7. **BRIAND, R.:** Methode de developpement de systèmes experts, Editura Eyrolles, Paris, 1988.
8. * * *: CAM-I's Illustrated Glossary of Workpiece Form Features, May 1981.
9. **CIOCARDIA, C., ș.a.:** Bazele elaborării proceselor tehnologice în construcția de mașini, EDP, București, 1983.
10. **CUGINI, U.:** The Role of Different Levels of Modelling in CAD Systems. În: *NATO ASI Series, Vol. 40 - Theoretical Foundation of Computer Graphics and CAD*, 1988.
11. **CUNNINGHAM, J., J. DIXON:** Designing with Features: the Origin of Features. În: *Proc. of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, 1988, pp. 237-243.
12. **CHARNIAK E., D. McDERMOTT:** Introduction to Artificial Intelligence, Editura Addison - Wesley, Massachusetts, 1985.
13. **CIOCÂRDIA C., I. UNGUREANU:** Bazele cercetării experimentale în tehnologia construcțiilor de mașini, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
14. **DRĂGHICI, GH.:** Tehnologia construcției de mașini, București, E.D.P., 1992.
15. **ERMINE, J.L.:** *Systèmes experts - Théorie et pratique*. Technique et documentation – Editura Lavoisier, Cochan, 1989.
16. **FARRENY, H., M. GHALLAB:** *Elements d'Intelligence Artificielle*, Editura Hermes, 1988.
17. **FRECON, L.:** La représentation des connaissances, EUROVAV'91, Cambridge, iulie 1991.
18. **GAVRILAȘ, I., I. GHEORGHE, ș.a.:** Tehnologia construcției de mașini, Litografia I.P.B, 1988.
19. **HAYES - ROTH, F., D.A. WATERMAN, D. LENOT:** Building Expert Systems, Editura Addison - Wesley, 1986.
20. **HISAKADO, T.:** Contact mechanism between sliding surfaces, JJSLE, nr. 31 / 1986.
21. **KORDE, U.P.:** Computer-Aided Process Planning for Turned Parts Using Fundamental and Heuristic Principles. În: *Journal of Engineering for Industry*, February, 1992.
22. **KRAMER, T.R.:** Process Planning for a Milling Machine from a Feature-Based Design, AMRF, NIRST, 1987.
23. **LAURIERE, J.-L.:** Intelligence Artificielle; Editura Eyrolles, 1988.
24. **MARTIN MATTEI, C.:** Validation, Verification and Testing Procedures in the Life Cycle of Knowledge - Based Systems, EUROVAV '91; Cambridge, iulie, 1991.

25. **POMEROL, J.-C.**: Les systèmes experts, Editura Hermes, 1988.
26. **POPESCU, I., C. GHEORGHITA, E. LĂCĂTUȘ**: Bazele tehnologiei mecanice, vol. I, II, Litografia UPB, 1996.
27. **SAVU, T., A. SZUDER**: Model de simulare a procesului de abrazare, Tehnologii, Calitate, Mașini, Materiale, nr. 26, Editura Tehnică, București, 1998.
28. **SAVU, T., A. TUDOR, A. SZUDER**: An Expert System for Tribological Experiments, Russe, Bulgaria, 1994.
29. **SZUDER, A., T. SAVU**: Sistemele expert. Noțiuni introductive, Sesiunea jubiliară de comunicări științifice a Universității din Baia Mare; 11 - 13 octombrie 1991.
30. **TUDOR, A.**: Contactul real al suprafețelor de frecare, Editura Academiei Române, București, 1990.
31. **VLASE, A., ș.a.**: Regimuri de aşchiere, adaosuri de prelucrare si norme tehnice de timp, vol. I și II, E.T., București, 1983.
32. **VLASE, A., A. STURZU, ș. a.**: Tehnologii de prelucrare pe strunguri, E.T., București, 1989.
33. **VLASE, A.**: Tehnologia construcțiilor de mașini, E.T., București, 1996.
34. **VOICU M., V. GHEORGHE, A. PRIBOESCU**: Utilajul și tehnologia prelucrărilor prin aşchiere, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.