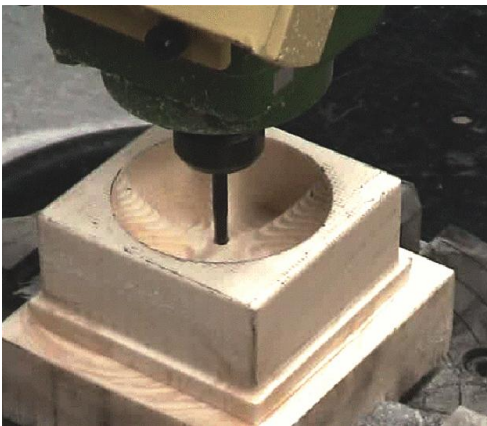


## Studiu de caz CIM

### Prelucrări de finisare robotizate

#### Premize ale tehnologiei de prelucrare de finisare a suprafețelor

În puține dintre procesele de deformare ale materialului se produc piese care nu mai necesită operații ulterioare de finisare. Cele mai multe procese necesită ulterior prelucrări de debavurare, teșire a muchiilor sau rotunjire a colțurilor pentru a preveni ruperi prin oboseală în zonele de concentrare a tensiunilor la solicitări. Suprafețele complexe, prelucrate prin frezare, necesită ulterior prelucrări de netezire și lustruire. Multe piese necesită prelucrări de finisare pe suprafețe înainte de operații de acoperire de protecție a acestora. Ștanțarea și forjarea pot lăsa bavuri pe conturul de tăiere/deformare care trebuie îndepărtate.



Exemple de operații tehnologice de robotizat:

- frezarea pieselor din materiale moi (lemn, plastic, Al)
- polizarea pieselor prelucrate
- acoperiri de suprafețe complexe.

#### Caracteristici ale componentelor celulei de prelucrare robotizată

##### Robotul de prelucrare

Prin comparație cu mașinile unelte de strunjit și frezat, un robot standard are rigiditate mult mai mică (de 20–50 ori), dar dexteritate mult mai

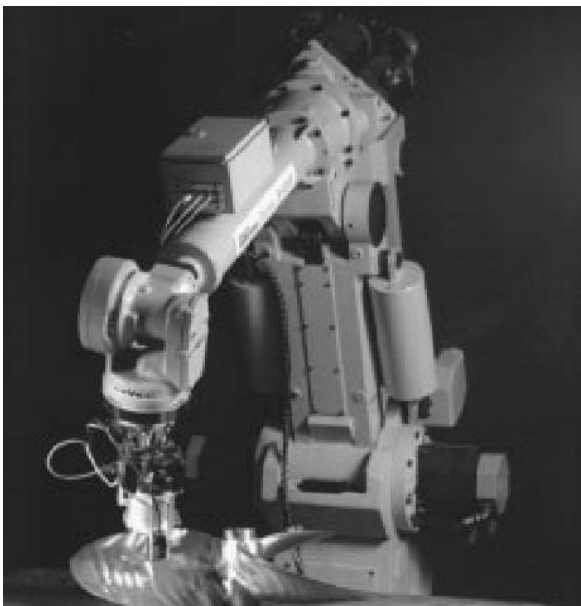
mare. Rigiditatea structurii mecanice a unui robot serial nu este aceeași în toate pozițiile spațiului său de lucru (un robot cu sarcină utilă mare are o rigiditate variabilă între 200–700N/mm). De aceea, roboții pot prelucra piese (prin rectificare, lustruire, polizare etc.) cu condiția ca forțele de la sculă să poată fi reduse la valori acceptabile pentru un anumit model de robot. Mișcările secvențiale ale robotului trebuie generate automat, ceea ce înseamnă corelarea cu geometria piesei. Nu este economic eficient să se realizeze programarea prin învățare a pozițiilor robotului.

Piesele mici sunt lustruite cu scule fixate pe sol sau cu bandă abrazivă pe role antrenate. Pentru piesele mari, scula este montată pe robot.

Pentru operația de finisare robotizată manipularea obiectului (piesă sau sculă) este o variabilă de control a procesului. Parametrii de proces controlați sunt:

- situarea piesei
- forța de apăsare a piesei față de sculă sau a sculei pe piesă
- viteza de mișcare relativă sculă-piesă
- traiectoria sculei.

Aplicația robotizată de finisare este pretențioasă pentru că necesită comanda pe traiectorie continuă, cu menținerea contactului între sculă și piesă.



Roboții utilizați sunt de dimensiuni medii sau mari, din cauza greutatei efectorului final și a reacțiunii din partea sculei, care se adaugă la sarcina utilă propriu-zisă. O parte din sarcina utilă se rezervă pentru a contracara efectul vibrațiilor și al încărcării ciclice din timpul procesului de prelucrare.

Figura 1. Robot echipat cu cap de forță de rectificare cu controlul forței

Precizia de poziționare a punctului caracteristic al robotului este mai puțin importantă decât orientarea și viteza relativă sculă-piesă. În general, suprafețele

complexe, cu raze de rotunjire mari, necesită o mai mare precizie de deplasare a robotului pe traiectorie. De multe ori sunt necesare 6 grade de mobilitate la robot. Traiectoriile din cazul debavurării sunt constrânse de geometria bavurii, caracteristicile sculei, cinematica efectorului final și a piesei. O singură piesă poate avea muchii în mai multe direcții și cu mai multe orientări.

Aplicația poate necesita schimbarea automată a sculei, pentru a înlătura toate bavurile. Dacă nu se poate asigura schimbarea automată a capului de forță, operația de debavurare se poate realiza în mai multe operații/în stații de lucru separate, cu mai mulți roboți. Multe din aplicații utilizează procese abrazive compliante. Controlul forței este necesar pentru a menține constantă presiunea sculei pe piesă.

Senzorii de forță sunt încorporați în efectorul final sau în standul sculei abrazive. Figura 1 prezintă un robot echipat cu un efector final cu control al forței, cu un actuator servo-pneumatic, capabil să aplice o presiune constantă a sculei. Unii producători de roboți montează sistemul de control al forței la brațul robotului, dar această variantă este limitată în cazul aplicațiilor cu viteze mici de mișcare relativă sculă-piesă, din cauza reacției lente mecanice de la nivelul brațului.

### **Probleme de programare a robotului**

Planificarea traiectoriei și programarea finisării muchiilor și suprafețelor pentru piese complexe poate fi dificilă și poate necesita mult timp. Atât poziția cât și orientarea sculei pot fi critice în obținerea unui contact corect sculă-piesă. Programarea prin învățare poate însemna sute de ore pentru învățarea unui număr mare de poziții. Problema este și mai mare când există o mare varietate de piese complexe. Un exemplu este lustruirea panourilor în aeronautică.

Cu atât mai dificil este cazul în care localizarea suprafețelor de lustruit nu este cunoscută înainte de instalarea piesei în dispozitivul de fixare. O soluție la această problemă ar fi digitizarea suprafețelor, obținerea modelului și generarea traiectoriilor în rutine dedicate

pe PC. Figura 2 prezintă digitizarea unei suprafețe de modelat pentru generarea automată a traiectoriei.



Figura 2. Suprafața piesei este digitizată și modelul este utilizat pentru generarea automată a traiectoriei sculei

Uzual, programarea robotului pentru prelucrarea unor piese de formă complexă, cu scule adecvate procesului, se face pe baza fișierelor importate din programe CAD, care conțin modelul geometric al suprafețelor de prelucrat. Fișierele cu extensia tap sunt generate de către sistemele CAM sau de către post-procesoare.

În PC-ul controlerului, modulele de program de conversie generează instrucțiuni de mișcare ale robotului pentru controler, pe baza informațiilor despre coordonatele punctelor de pe traiectoriile sculei și a configurării efective a robotului. În schema din figura 3 se prezintă procesul de conversie a informațiilor din CAD în fișier binar cu informații de mișcare a robotului.

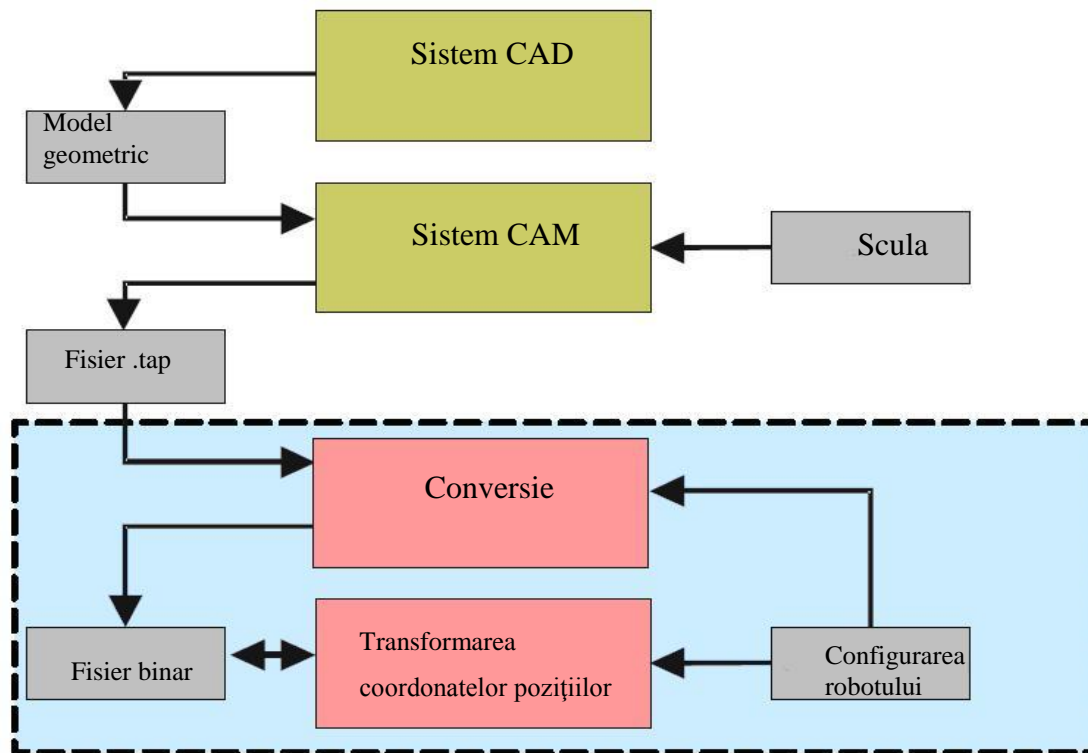
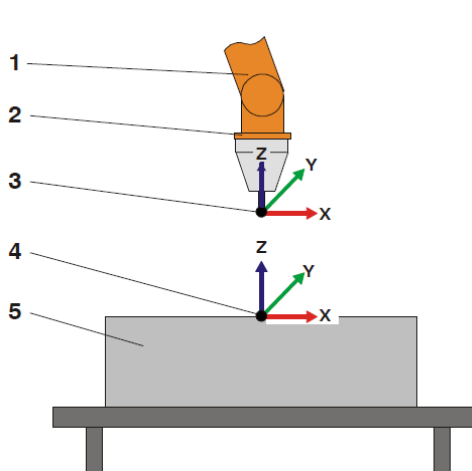


Figura 3. Fluxul de informații în cazul programării robotului pe baza informațiilor provenite din CAD



În figura 4 se prezintă schema de situare relativă sculă piesă la începutul operației de prelucrare și sistemele de referință aferente.

Figura 4. Situarea relativă a sistemelor de referință atașate sculei și piesei

- 1 Robot
- 2 Flanșă robotului
- 3 Sistem de referință atașat sculei cu TCP
- 4 Sistem de referință atașat piesei
- 5 Piesă

Poziția TCP-ului se determină prin utilizarea metodei de măsurare XYZ-4 puncte.

Determinarea orientării sistemului de referință atașat sculei trebuie făcută în așa fel ca orientarea acestui sistem și orientarea sistemului de referință atașat piesei să fie identice (rotațiile față de axele OZ, OY, OX respectiv  $A=B=C=0$ ). Pentru orientarea sculei se poate utiliza metoda de măsurare ABC-6D. Axa Z este axa de simetrie a sculei.

Programul robotului trebuie adaptat și optimizat în funcție de situarea piesei în dispozitivul de fixare și are ca puncte de început și de sfârșit punctele din programul CAM. Acest program conține 2 poziții ale robotului P1 și P2 prezentate în figura 5. Robotul se deplasează mai întâi din poziția de HOME în punctul P1, prin utilizarea blocului de mișcare "LIN {X 0.0, Y 0.0, Z 200.0}". Robotul se mișcă apoi în punctul de start a programului CAM, după execuția programului CAM (punctul de sfârșit), se întoarce în punctul P2 și apoi în HOME.

Un exemplu de proces de prelucrare nou introdus, care beneficiază de versatilitatea robotului în raport cu programarea, dexteritatea și costul acestuia este procesul de deformare incrementală a foilor de tablă. Fără utilizarea unei matrițe scumpe, foile de metal sunt fixate într-un dispozitiv rigid și robotul realizează conturul 3D prin ghidarea unei scule echipate cu cap cu oscilație de înaltă frecvență (amplitudine de 1mm la o frecvență de 50Hz) pe suprafața foi de tablă. Traiectoriile robotului sunt calculate din modelul CAD al piesei. Se generează programul robotului și acesta este transferat controlerului. Metoda de mai sus poate fi aplicată, cu eficiență economică, la prototipare sau la realizarea caroseriilor orientate spre client, în industria de automotive. Figura 6 prezintă secvența de acțiuni pentru generarea automată și executarea programului de deformare.

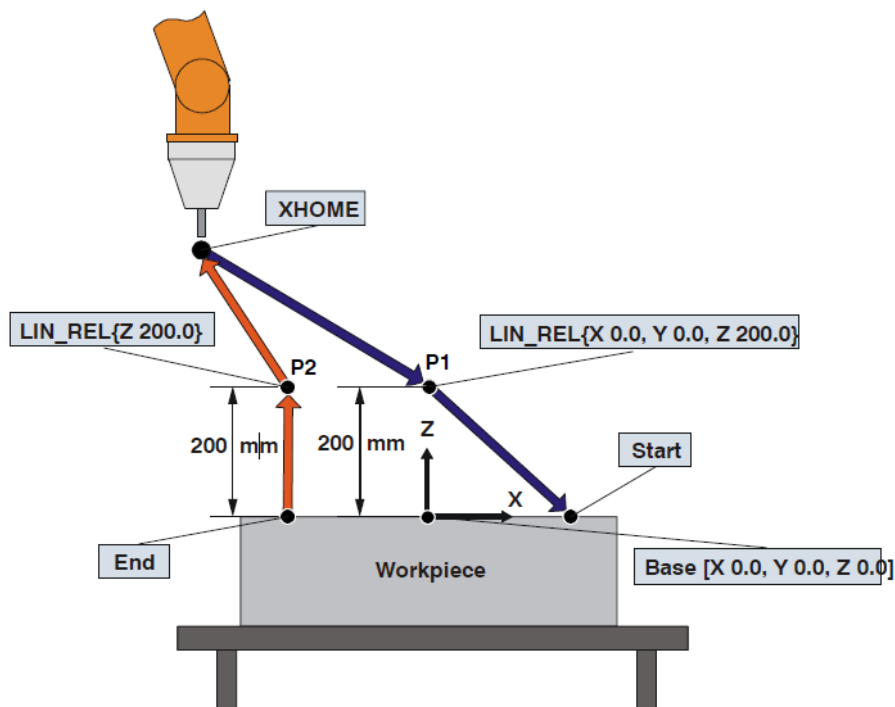


Figura 5.  
Puncte în  
spațiu în  
programul de  
prelucrare al  
robotului

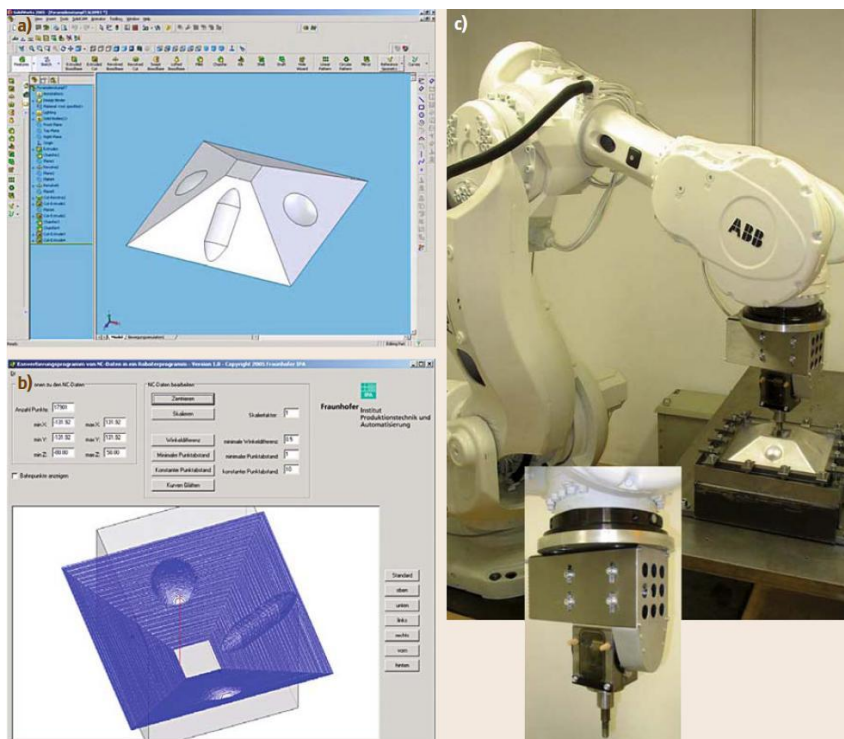


Figura 6a–c:  
Generarea  
trajectoriilor  
pentru procesul  
incremental de  
prelucrare. În  
acest exemplu,  
procesul de  
deformare a  
foilor de metal  
este executat cu  
un cap oscilant  
care plastifică  
local metalul în  
pași succesivi.  
De la modelul  
CAD (a),  
trajectoriile  
robotului sunt

calculate offline pe baza unui model specific (b). Fiecare linie reprezintă o parte din  
traectoria sculei. (c) O celulă robotizată de prelucrare a foilor de tablă demonstrativă.