Miron ZAPCIU, Marius Daniel PARASCHIV

ELEMENTE DE BAZĂ ALE PROGRAMĂRII MAŞINILOR UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ

Editura Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România

2015

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
ZAPCIU, MIRON
Elemente de bază ale programării maşinilor-unelte cu comandă numerică / Miron Zapciu, Marius Daniel Paraschiv. - Bucureşti : Editura Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România, 2015
Conţine bibliografie
ISBN 978-606-8636-12-2

I. Paraschiv, Marius-Daniel

681.5:621.9

CUPRINS

CAPITOLUL 1 TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN AŞCHIERE ŞI STANDARDIZAREA AXELOR SPECIFICE MAŞINILOR-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ 5
1.1 Centre de prelucrare prin strunjire şi frezare 8
1.2 Caracteristici specifice maşinilor-unelte cu comandă numerică 15
1.3 Materiale şi scule utilizate 21
1.4 Categorii structurale de maşini-unelte cu comandă numerică 24
1.5 Definirea axelor şi mişcărilor la maşinile cu comandă numerică 26
1.5.1 Mişcări de rotaţie A, B, şi C comandate numeric 27

CAPITOLUL 2 ELEMENTE DE BAZĂ ALE PROGRAMĂRII MAŞINILOR-UNELTE: ORIGINI, GEOMETRIE, TEHNOLOGIE ŞI PROGRAMAREA CU INSTRUCŢIUNI ISO -G CODE 33
2.1 Origini 33
2.2 Geometrie 35
2.2.1 Sistemul de coordinate asociat piesei 35
2.2.2 Deplasările în coordonate absolute 36
2.2.3 Deplasările în coordonate incrementale 37
2.2.4 Deplasările în coordonate polare 38
2.3 Tehnologie 38
2.3.1 Turaţia arborelui principal 38
2.3.2 Viteza reală de aşchiere 39
2.3.3 Viteza de avans 39
2.3.4 Avansul pe dinte 40
2.4 Programarea cu instrucţiuni ISO 40
2.4.1 Structura programului CNC 40
2.4.2 Selectarea planului de lucru 42
2.4.3 Stabilirea originii pentru piesă (W) - Workpiece 43
2.4.4 Referinţele dimensiunilor 44
2.4.5 Comenzile F, S, T, D, M 45
2.4.6 Comenzi ISO –G-code 55

CAPITOLUL 3 . PANOUL DE OPERARE CNC 65
3.1 Elemente introductive 65
3.2 Descrierea operării cu echipamentul CNC Fanuc 0i 67

CAPITOLUL 4 . PROGRAMAREA CICLURILOR FIXE ŞI A FUNCŢIILOR SPECIFICE PENTRU PRELUCRAREA CU VITEZE MARI 87
4.1 Definirea ciclurilor fixe 87
4.2 Descrierea ciclurilor fixe 88
4.2.1 Ciclul de găurire cu viteză mare (G73) 88
4.2.2 Ciclul de filetare cu tarodul (G74) 89
4.2.3 Ciclul de alezare cu bară de alezat (G76) 90
4.2.4 Ciclu de găurire. Ciclu de centruire (G81) 91
4.2.5 Ciclu de găurire cu temporizare. Ciclu de lărgire (G82) 92
4.2.6 Ciclu de găurire pas cu pas (G83) (găurire adâncă) 93
4.2.7 Ciclu de găurire pentru orificii adânci (G83) 94

4.2.8 Ciclu de filetare cu tarodul (G84) - sens de rotaţie stânga (CCW)..... 95
4.2.9 Ciclu de alezare (G85)..... 96
4.2.10 Ciclu de alezare (G86)..... 97
4.2.11 Ciclu de alezare de mare precizie (G87) 98
4.2.12 Ciclu de alezare (G88)..... 99
4.2.13 Ciclu de alezare (G89)..... 100
4.2.14 Anulare ciclu (G80) 100
4.3 Exemple de utilizare a ciclurilor fixe..... 101
4.3.1 Funcţia de compensare a corecţiei de lungime a sculei..... 101
4.3.2 Utilizarea corecţiei de rază a sculei 102
4.3.3 Interpolare elicoidală 103
4.3.4 Corecţie de lungime a sculei şi cicluri fixe..... 104
4.3.5 Corecţie de rază a sculei 106
4.4 Funcţii de programare specifice maşinilor-unelte cu viteze mari de prelucrare 107
4.4.1 Micşorarea vitezei de avans la parcurgerea arcelor de cerc 107
4.3.1. Controlul în avans al traiectoriei (G08..... 108
4.4.2 Funcţia de control total pe contur 109

CAPITOLUL 1

TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN AŞCHIERE ŞI STANDARDIZAREA AXELOR SPECIFICE MAŞINILOR-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ

Obiectivele capitolului

La sfârşitul acestui capitol, vor fi dobândite următoarele cunoştinţe:

- Cunoaşterea definiţiilor privind maşina-unealtă şi centrele de prelucrare
- Tipuri de operaţii de prelucrare prin aşchiere
- Operaţiile reprezentative efectuate pe strunguri
- Principiile şi mişcările de generare în cazul frezării
- Recomandări tehnologice în cazul procesului de frezare
- Materialele pieselor prelucrate prin aşchiere
- Materialele sculelor şi recomandări de utilizare
- Categorii structurale de maşini-unelte cu comandă numerică
- Schema generală a unei axe comandate numeric
- Definirea standardizată a axelor comandate numeric
- Exemple de strunguri cu comandă numerică şi notarea axelor
- Exemple de maşini de frezat cu comandă numerică şi notarea axelor
- Identificarea axelor comandate numeric pentru orice configuraţie de maşină

Introducere

Maşina (conform DEX) reprezintă un sistem tehnic alcătuit din piese cu mişcări determinate, care transformă o formă de energie în altă formă de energie sau în lucru mecanic util.

Maşina-unealtă (conform DEX) reprezintă o maşină de lucru care prelucrează materiale prin operaţii mecanice.

Conform World Encyclopedia:

Maşina-unealtă reprezintă acea maşină ca ansamblu de dispozitive cu acţionare de la una sau mai multe surse de energie, utilizată în mod tipic pentru fabricarea componentelor de maşini, uzual prin îndepărtare de material.

Se specifică faptul că maşinile-unelte au apărut atunci când a dispărut efortul direct al operatorului uman pentru îndepărtarea surplusului de material. Primele tipuri de operaţii tehnologice efectuate cu ajutorul maşinilor au fost rabotarea (aşchierea utilizând o mişcare principală de translaţie a sculei) şi deformarea plastică (matriţarea).

Emil Botez, fondatorul şcolii româneşti de maşini-unelte dă următoarea definiţie în cadrul tezei de doctorat (1968): *Maşina – unealtă* reprezintă maşina de lucru, având ca scop generarea

suprafeţelor pieselor prin procesul de aşchiere, în anumite condiţii de productivitate, precizie dimensională şi calitate a suprafeţei.

O altă definiţie valabilă este aceea în care se înlocuieşte expresia “prin procesul de aşchiere” cu expresia “prin îndepărtarea sau redistribuirea unei părţi a materialului supus prelucrării”. În acest fel se include în categoria maşinilor-unelte şi maşinile de prelucrat prin deformare plastică şi o mare parte din categoria maşinilor ce prelucrează prin tehnologii neconvenţionale (EDM – maşini de prelucrat prin electroeroziune, prelucrare cu laser, jet de apa, fascicol de electroni, ultrasunete etc.)

Istoric

Primul strung - maşină-unealtă pentru obţinerea pieselor de revoluţie (o axă de simetrie), a fost inventat încă din 1751 de către Jacques de Vaucanson (acesta a montat o sculă aşchietoare pe un dispozitiv mecanic reglabil, mâinile nefiind utilizate în mod direct pentru aşchiere).

Începutul dezvoltării domeniului maşinilor-unelte este legat de descoperirea motorului cu aburi, odată cu Revoluţia Industrială (James Watt –1769)

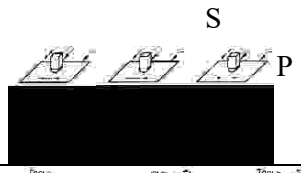
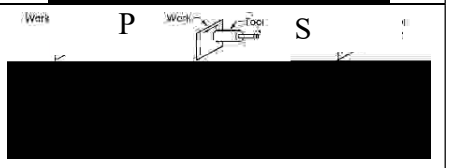
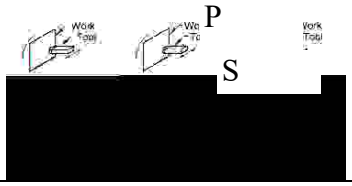
1818- Eli Whitney (USA) – *prima maşină de frezat*

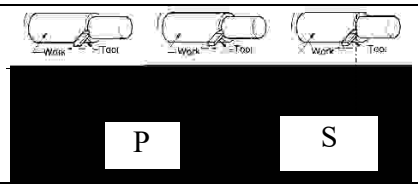
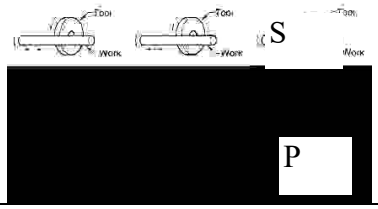
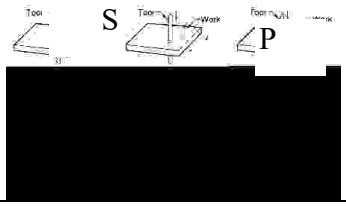
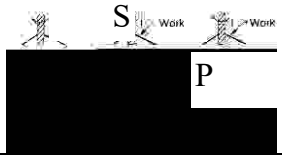
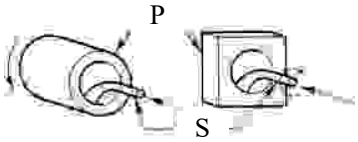
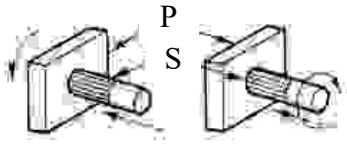
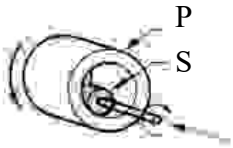
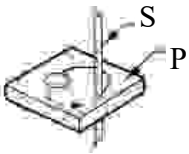
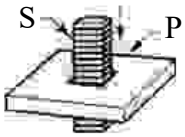
Se remarcă invenţiile şi inovaţiile lui *Henry Ford* (1863-1947) în ceea ce priveşte producţia de masă (ingineria secvenţială) şi obţinerea componentelor interschimbabile. Firma *Ford Motors* a fost întemeiată în 1903.

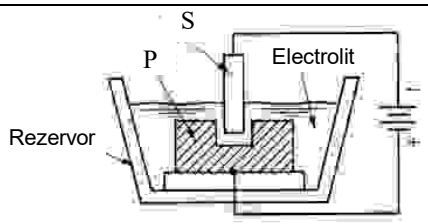
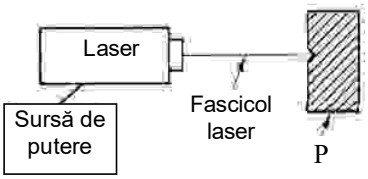
1866 – Descoperirea dinamului (Siemens)
1900 – Oţeluri rapide pentru sculele aşchietoare (Taylor)
1923 – Apariţia liniilor de transfer
1953 – Primul strung cu comanda numerica
1960 – Laserul
1976 – Apariţia microprocesorului
1990 – Sisteme de fabricaţie integrată cu ajutorul calculatorului (sisteme CIM)

Operaţiile care pot fi efectuate pe maşinile-unelte sunt detaliate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Principalele operaţii în cadrul proceselor de fabricaţie pe maşini-unelte

Nr. crt.	Operaţia	Schema de prelucrare	Maşina-unealtă
1.	Rabotare		Maşină de rabotat; şeping
2.	Frezare cilindrică		Maşină de frezat; strung cu accesorii speciale ataşate
3.	Frezare frontală		
4.	Strunjire frontală		Strung; maşină de alezat şi frezat cu accesorii speciale ataşate

5.	Strunjire cilindrică		Strung
6.	Rectificare cilindrică exterioară		Maşină de rectificat exterior; strung cu accesorii speciale ataşate
7.	Tăiere		Fierăstrău cu pânză; maşină de decupat
8.	Găurire		Maşină de găurit; maşină de frezat; strung
9.	Alezare		Maşină de frezat; maşină de alezat şi frezat
10.	Lărgire; filetare		Strung; maşină de frezat; maşină de alezat şi frezat
11.	Rectificare cilindrică interioară		Maşină de rectificat interior; strung cu accesorii speciale ataşate
12.	Tăiere după contur		Fierăstrău cu pânză
13.	Broşare		Maşină de broşat

14.	Prelucrare prin electroeroziune		Maşină de prelucrat prin electroeroziune
15.	Prelucrare cu laser		Laser CO_2; Laser cu gaz inert

Exemple de maşini-unelte:

- maşini de broşat (broaching machine);
- maşini de găurit (drill press);
- maşini de danturat (gear shaper or hobbing machine);
- maşini de honuit (hone machine);
- strunguri (lathe);
- maşini de frezat (milling machine tool);
- şepinguri (shaper);
- maşini de rabotat (planner);
- maşini de rectificat (grinder); aceste maşini utilizează pietre abrazive pentru finisarea suprafeţelor prelucrate;
- maşini de frezat cu structură paralelă (platforma Stewart);

Actualmente, în practica industrială modernă, şepingurile şi maşinile de rabotat au pierdut teren în favoarea maşinilor de frezat; Şepingurile se regăsesc mai mult în atelierele de reparaţii iar maşinile de rabotat, datorita slabei productivităţi au fost înlocuite cu maşini de frezat longitudinal (cu portal fix) sau maşini tip Gantry (cu portal deplasabil).

Maşinile-unelte sunt definite de japonezi ca fiind "maşini mamă" deoarece sunt singurele capabile să se reproducă (conceptul este de *self – replication*) prin obţinerea de piese componente. Aceasta este după unii autori funcţia primară a unei maşini-unelte.

Prin reunirea mai multor operaţii pe aceeaşi maşină-unealtă (cu sistem de comandă cu microprocesor încorporat - CNC), se obţin **centrele de prelucrare** – acestea fiind capabile să obţină piesa finită dintr-o singură prindere (fixare) a piesei. Pe aceste tipuri de maşini se pot obţine piese cu o configuraţie extrem de complexă, fiind dificil de stabilit o configuraţia unică a maşinii-unelte care a produs respectiva piesă.

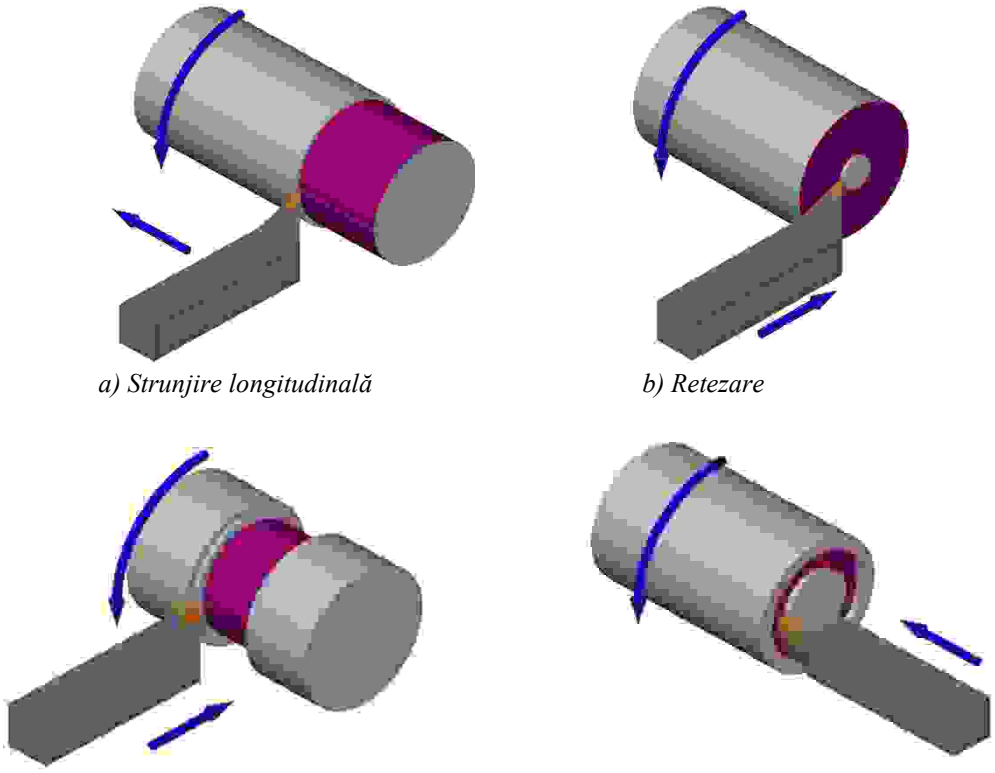
1.1 Centre de prelucrare prin strunjire şi frezare

Centrul de prelucrare este acea maşina-unealtă prevăzută cu echipament de comandă numerică CNC, cu posibilităţi de a efectua numeroase operaţii de prelucrare, sculele fiind schimbate în mod automat între arborele principal şi un magazin de scule.

Pentru aşchiere sunt necesare două mişcări: **mişcarea principală de aşchiere**, (mişcare de rotaţie aparţinând sculei) şi **mişcarea de avans**, mişcare rectilinie, circulară sau curbilinie, aparţinând piesei sau sculei.

În cazul **strungurilor** (Fig.1.1), piesele reprezentative sunt piese de revoluţie. Arborele principal al maşinii roteşte piesa prinsă în universal, iar scula (cuţitul de strung) este deplasată

de-a lungul a 1, 2, sau 3 axe de mişcare, pentru a produce diametre precise şi adâncimi. Pornirea mişcării poate să fie pe partea exterioară a cilindrului sau în interior (de asemenea, cunoscut sub numele de alezare cu cuţitul) pentru a produce componente tubulare la diferite geometrii.

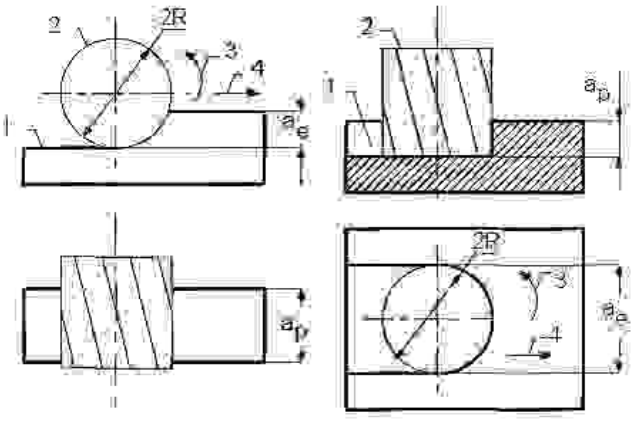


a) Strunjire longitudinală *b) Retezare*

c) Strunjire radială *d) Prelucrare frontală*

Fig. 1.1. *Operaţiile reprezentative efectuate pe strunguri.*

În cazul operaţiilor de **frezare** (efectuate pe maşinile de frezat), în timpul prelucrării, freza ocupă o asemenea poziţie încât axa sa de rotaţie poate să fie verticală sau orizontală. Există însă şi cazuri în care se prelucrează cu scule având axa de rotaţie înclinată (acest lucru fiind posibil cu accesorii suplimentare care se pot ataşa arborelui principal).



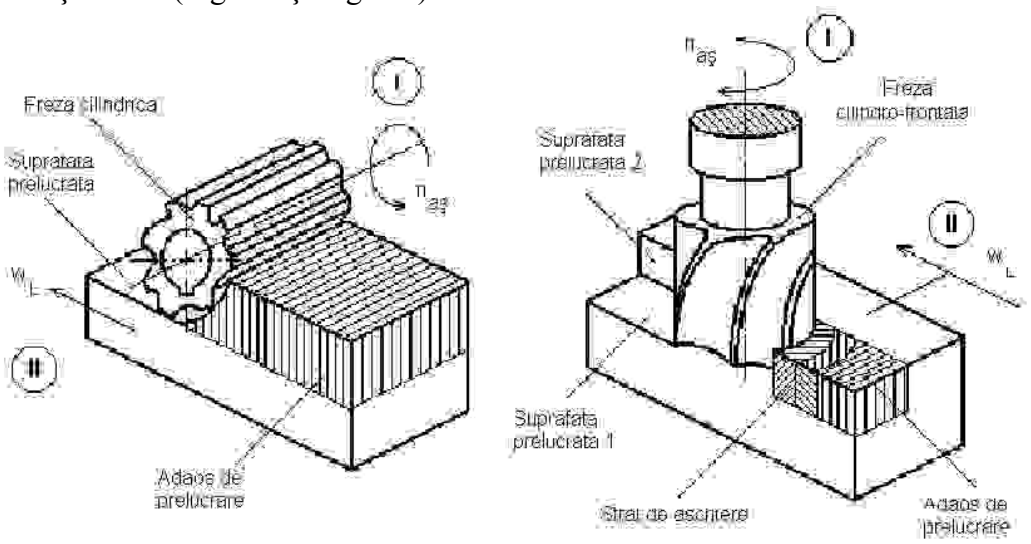
a) b)

1-suprafaţă prelucrată; 2-freza;3- mişcarea principală de rotaţie a frezei; 4=mişcare de avans;a_p-adâncimea de aşchiere (axială) ; a_e – adâncimea de aşchiere (radială).

Fig.1.2. *Adaosuri de prelucrare la frezarea cilindrică (a) şi la frezarea cilindro-frontală (b)*

Alături de strunjire, frezarea este procedeul de aşchiere cel mai des folosit. Maşinile de frezat au o productivitate ridicată, iar precizia şi calitatea suprafeţelor prelucrate sunt superioare

altor procedee de prelucrare, cum ar fi: găurirea, rabotarea, mortezarea. Datorită faptului că tăişurile frezei aşchiază intermitent, temperatura în zona de lucru este mai scăzută, ceea ce implică o durabilitate mărită a sculelor de frezare. La frezare există două tipuri de adâncimi de aşchiere: radială şi axială (Fig. 1.2 şi Fig. 1.3).

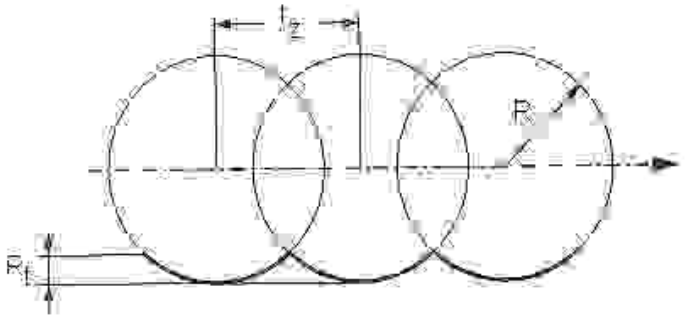


a) b)

Fig. 1.3. *Generarea suprafeţelor plane prin frezare*

Rugozitatea teoretică a suprafeţei prelucrate R_t se calculează ţinând cont de figura 1.4 şi rezultă relaţia:

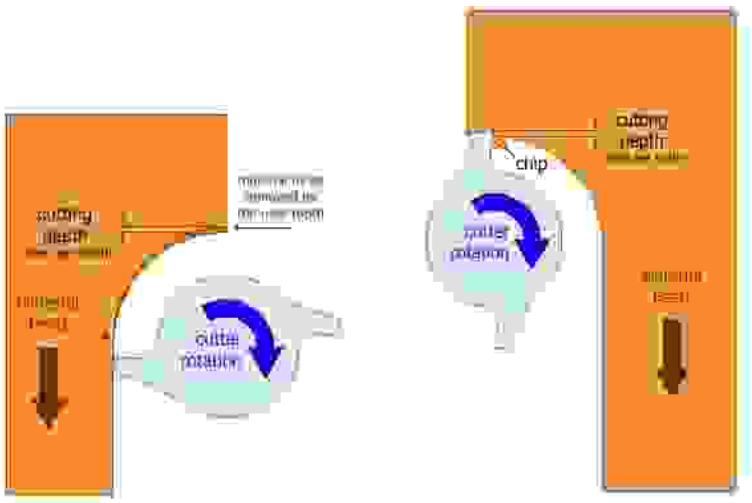
$$R_t = R - \sqrt{R^2 - (f_z / 2)^2} \qquad (1.1)$$



R_t-rugozitatea; f_z – avansul pe dinte; R – raza frezei

Fig. 1.4.*Rugozitatea teoretică în cazul frezării.*

Utilizând relaţia 1.1 se poate determina prin calcul rugozitatea suprafeţelor prelucrate prin frezare. Spre exemplu, dacă se utilizează o freză cu 4 dinţi, raza frezei fiind de 20 mm şi avansul pe dinte de 0,2 mm, rezultă R_t=20-19,9997 mm= 0,3 10^{-3} mm = 0,3 μm.



a) Frezare convenţională (frezarea contra avansului)

b) Frezare neconvenţională (frezarea în sensul avansului)

Fig. 1.5. *Frezarea contra sau în sensul avansului*

La frezarea contra avansului (Fig. 1.5a) se produce o creştere treptată a grosimii aşchiei, deci a apăsării de aşchiere si a solicitării dinţilor, ceea ce asigură o funcţionare mai silenţioasă a maşinii şi o calitate mai bună a suprafeţei prelucrate. Dacă suprafaţa de prelucrat a piesei prezintă crustă (de la turnare) sau oxizi (de la forjare), se produce o uzură mai mică a dintelui sculei, acesta pătrunzând în material pe dedesubtul acestor straturi. Se impune o bună fixare a piesei pe masa maşinii pentru a se evita desprinderea acesteia din dispozitivul de fixare în timpul aşchierii.

La frezarea în sensul avansului (Fig.1.5b) dintele atacă la început stratul superficial de material (care de obicei este mai dur) şi după aceea interiorul semifabricatului, uzându-se rapid. Se foloseşte la degroşare şi la frezarea rapidă, dar nu este indicată pentru prelucrarea pieselor turnate sau forjate. Forţa cu care scula acţionează asupra piesei ajută de data aceasta la fixarea piesei pe masa maşinii.

Turaţia arborelui principal (Spindle speed) se calculează cu relaţia:

$$n_{as} = (1000\ v_{as}) / (\pi d) \qquad (1.2)$$

în care

n_{as} = turaţia arborelui principal [rot/min];

v_{as} = viteza de aşchiere recomandată [m/min];

d = diametrul sculei [mm]

Conform acestei relaţii, sculele cu diametrul mare necesită viteze de aşchiere mai mici, în timp ce sculele de diametre mici trebuie să fie capabile să se rotească la viteze mari.

Viteza de avans (Feedrate) se calculează cu relaţia:

$$w = n_{as}\ f_z\ z_s \qquad (1.3)$$

în care

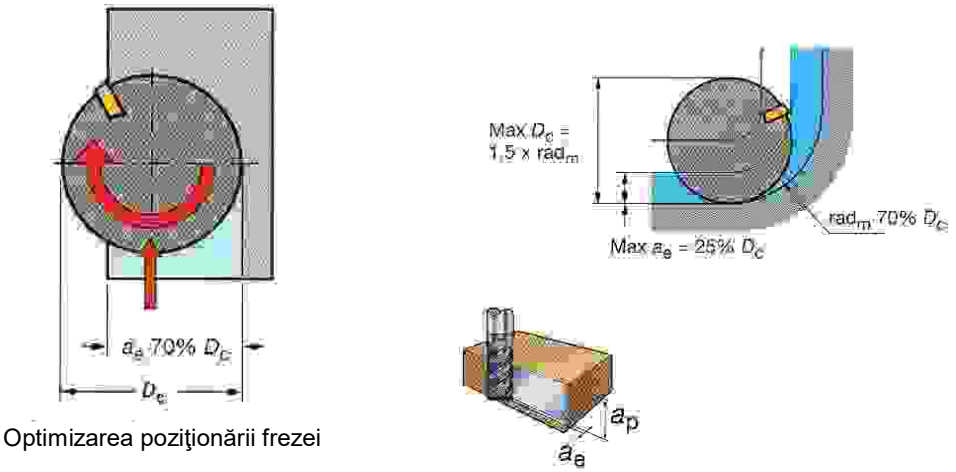
w = viteza de avans [mm/min];

f_z= avansul pe dinte [mm/dinte];

z_s = numărul de dinţi ai frezei.

Din formula vitezei de avans w, rezultă ca prin creşterea lui n_{as} sau z_s se obţine o viteză mare de avans. Avansul pe dinte este impus de tipul sculei utilizate şi de parametrii regimului de aşchiere.

Conform figurii 1.6, raza frezei se alege în funcţie de racordarea care trebuie executată şi poziţionarea frezei se face cu o angajare parţială a diametrului sculei în aşchiere.



Optimizarea poziţionării frezei

Fig. 1.6. *Optimizarea poziţionării frezei faţă de suprafaţa prelucrată.*

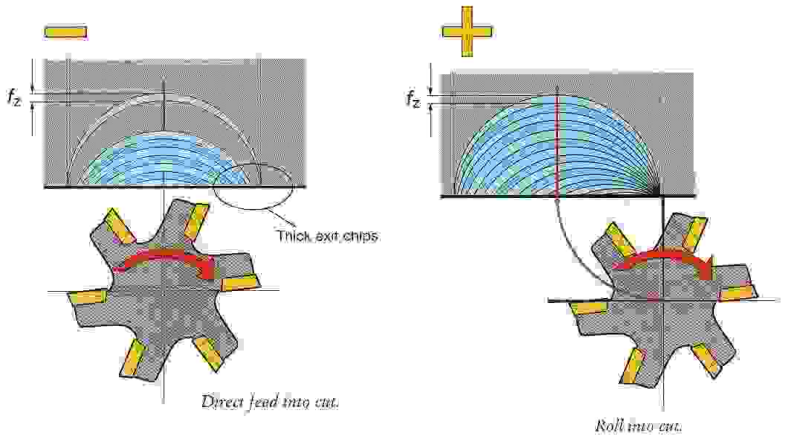


Fig. 1.7.*Intrarea frezei în material la frezarea suprafeţelor plane.*

Intrarea sculei în linie dreaptă este precedată de o traiectorie circulară în situaţia în care tot diametrul sculei va fi angajat în material (Fig. 1.7).

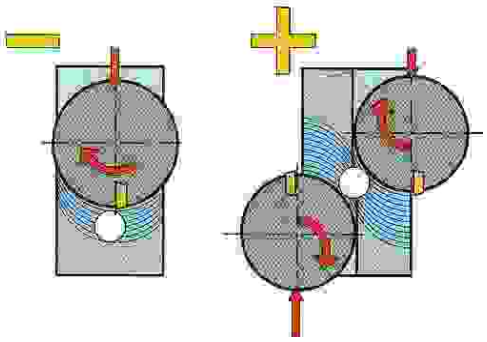


Fig.1.8. *Protejarea sculei la prelucrarea suprafeţelor plane cu freze cilindro-frontale.*

Se recomandă (Fig. 1.8) ca la ieşirea frezei din material grosimea aşchiei să fie cât mai mică (altfel se reduce durabilitatea sculei sau se poate sparge plăcuţa aşchietoare).

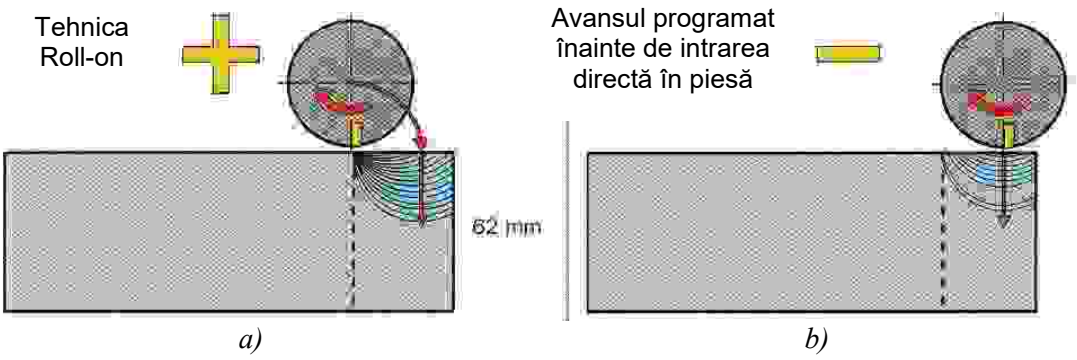
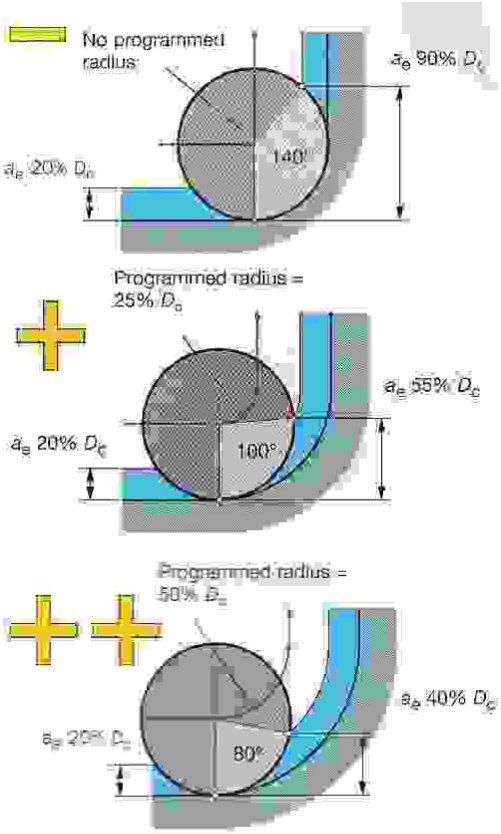


Fig. 1.9. *Programarea intrării frezei prin tehnica "Roll-on".*

Întotdeauna, la intrarea frezei în material şi pentru protejarea acesteia se recomandă tehnica din figura 1.9a. Există două metode utilizate la programarea intrării frezei în material:

1) - Programarea unui avans redus cu 50% până când centrul sculei depăşeşte intrarea în material;

2) – Programarea unui avans circular (interpolare circulară) până la angajarea completă a sculei în material (atenţie la sensul de rotaţie a sculei – sens orar)



Raza de racordare a piesei = 50% Dc
Dc = diametrul frezei

Raza de racordare a piesei = 75% Dc

Raza de racordare a piesei = 100% Dc

Fig. 1.10. *Prevenirea vibraţiilor – cazul racordărilor interioare.*

Se recomandă reducerea arcului de contact dintre sculă şi piesă, în cazul prelucrărilor cu viteze de aşchiere şi avansuri mari (Fig. 1.10).

Pentru degroşare, programarea unei traiectorii a sculei cu o rază = 50% Dc este optimă.

Pentru finisare, se recomandă Dc ≤ 1,5 x raza de racordare a piesei (raza de racordare a piesei ≥ 66%·Dc)

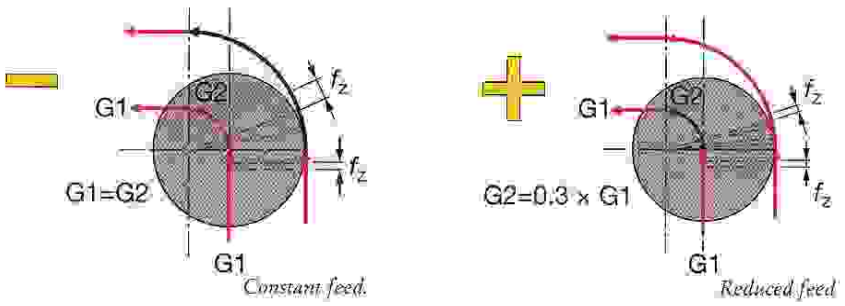


Fig. 1.11. *Reducerea vitezei de avans pentru racordări interioare.*

În cazul în care se prelucrează racordări interioare, se recomandă reducerea vitezei de avans atunci când se prelucrează racordarea, datorită faptului că avansul pe dinte este mai mare decât la traiectoria rectilinie (Fig. 1.11).

Productivitatea procesului de frezare

Productivitatea procesului de frezare Q_T se poate defini ca rată de îndepărtare a adaosului de material într-un minut (Q) cu păstrarea unei durabilităţi acceptabile a sculei (T), sau ca volum total de materialului îndepărtat pe durata T.

(5) $Q_T = Q \cdot T$

(4) $Q = w_f \cdot a_p \cdot a_e$

(3) $w_f = n_{aş} \cdot z_s \cdot f_z$

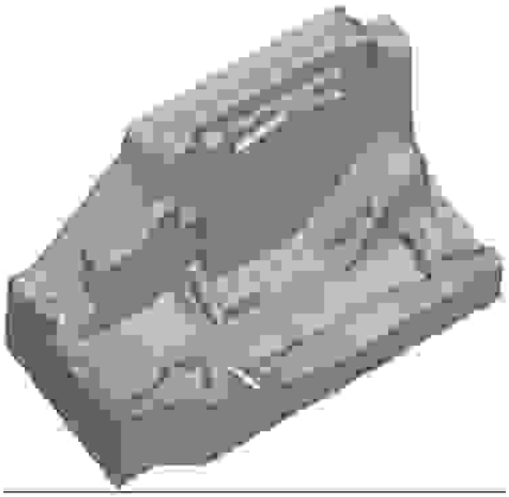
(2) $n_{aş} = 1000\ v_{aş} / (\pi \cdot D_c)$

(1) $f_z = h_{ex} / \sin \kappa_r$

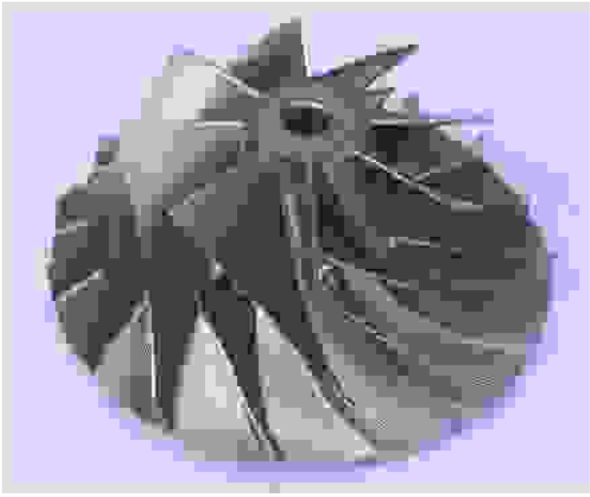
unde:

Q_T = volumul total de material îndepărtat pe durata T	[cm^3]
T = durabilitatea sculei	[min]
Q = rata de îndepărtare a adaosului de prelucrare	[cm^3/min]
w_f = viteza de avans	[mm/min]
a_p = adâncimea axială de aşchiere	[mm]
a_e = adâncimea radială de aşchiere	[mm]
$n_{aş}$ = turaţia arborelui principal (turaţia de aşchiere)	[rot/min]
$v_{aş}$ = viteza de aşchiere	[m/min]
D_c = diametrul sculei	[mm]
z_s = numărul de dinţi ai sculei	
f_z = avansul pe dinte	[mm]
κ_r= unghiul de atac al sculei	[grade]
h_{ex} = grosimea aşchiei	[mm]

În figura1.12 sunt date două exemple de piese ce pot fi obţinute pe centre de prelucrare prin frezare. Se pot obţine suprafeţe *plane sau cilindrice, elicoidale* – cu 1...3 axe CNC, sau oarecare (profilate, cu sau fără cunoaşterea ecuaţiilor matematice ce descriu suprafaţa teoretică) – cu 4...5 axe CNC; numărul maxim de axe comandate simultan pentru o maşină-unealtă este 5 (pentru prelucrarea cu o singură sculă).



a) matriţă (parte componentă)



b) rotor

Fig. 1.12. *Piese realizate prin frezare pe maşini-unelte cu 5 axe comandate numeric*

1.2 Caracteristici specifice maşinilor-unelte cu comandă numerică

Realizarea unei **maşini-unelte cu comandă numerică** nu presupune numai ataşarea la maşina-unealtă convenţională a echipamentului de comandă numerică, ci este necesar să se intervină cu unele soluţii constructive asupra acesteia, măsuri care să contribuie la creşterea performanţelor de precizie şi productivitate ale maşinii.

Maşina-unealtă cu comandă numerică trebuie sa răspundă următoarelor cerinţe:

- Reducerea la minimum posibil a forţelor de frecare între elementele cu mişcare relativă (lagăre, ghidaje, transmisie şurub-piuliţă), ceea ce conduce la reducerea uzurii acestor elemente şi, deci, a jocurilor dintre ele; aceasta determină păstrarea preciziei mişcării elementelor respective. Având în vedere necesitatea unor deplasări cu viteze mici a săniilor (la prelucrările de conturare), trebuie evitată apariţia fenomenului de mişcare sacadată.
- Precizie ridicată a mişcărilor de translaţie şi de rotaţie, ce se obţine prin eliminarea jocurilor de montaj şi realizarea unor prestrângeri.
- Deformaţii termice cât mai reduse, deformaţii ce determină modificarea poziţiei relative dintre sculă şi piesă şi, deci, eroare de prelucrare.
- Capacitate ridicată de amortizare a vibraţiilor, deci generarea de suprafeţe cu o calitate superioară.
- Rigiditate ridicată a sistemului portant al maşinii-unelte, deci deformaţii elastice reduse.

Pentru a răspunde acestor cerinţe, în construcţia maşinii-unelte cu comandă numerică sunt prevăzute o serie de soluţii ce nu se regăsesc la maşina-unealtă convenţională şi anume:

- ***Lăgăruirea arborilor principali*** cu lagăre de rostogolire, hidrostatice, aerostatice sau magnetice, ceea ce conduce la creşterea preciziei mişcării de rotaţie, la creşterea coeficientului de amortizare a vibraţiilor, la creşterea rigidităţii lagărului şi la reducerea încălzirii, deci reducerea deformaţiilor termice ale subansamblului, deformaţii ce au pondere deosebită în balanţa erorilor de prelucrare.

- ***Utilizarea unor ghidaje de rostogolire şi a unor ghidaje hidrostatice*** având efecte asupra preciziei mişcării de translaţie, asupra coeficientului de amortizare a vibraţiilor, asupra reducerii încălzirii (prin micşorarea coeficientului de frecare) şi asupra rigidităţii ghidajului.
- ***Utilizarea transmisiei şurub conducător-piuliţă cu bile cu recirculare, ori chiar a piuliţelor hidrostatice***, având ca efect principal transmiterea fără joc a mişcării la sănii, ceea ce este foarte important în cazul mişcărilor de generare prin conturare, atunci când, în funcţie de panta profilului piesei, au loc frecvente schimbări de sens ale mişcării de avans.
- ***Utilizarea unor motoare de acţionare cu turaţie reglabilă continuu***, în limite largi, reversibile (motoare de curent continuu, motoare asincrone comandate prin convertizoare de frecvenţă, motoare pas cu pas), ceea ce permite scurtarea lanţurilor cinematice de avans şi deci creşterea preciziei cinematice.
- ***Utilizarea unor sisteme de schimbare automată a unui număr mare de scule***, ceea ce face posibilă executarea unor procese tehnologice complexe, cu un număr mare de operaţii.

Echipamentele de comandă numerică de tip CNC (Computer Numerical Control), au microprocesor încorporat şi au o răspândire foarte largă după apariţia microprocesorului (1976-1980). După anii ″80 au apărut în special în ţările industriale avansate, cu dezvoltare puternică a industriei electronice şi, ulterior (după anii ″90) şi în celelalte ţări.

Această dezvoltare se datorează **avantajelor** deosebit de importante pe care le aduce utilizarea acestor maşini-unelte în sistemele de fabricaţie bazate pe prelucrări mecanice:

1. ***Se înlătură necesitatea unor şabloane ori modele*** utilizate în copierea clasică, ce se confecţionează foarte greu, la costuri ridicate şi executate într-un timp îndelungat, ceea ce face procedeul avantajos numai la producţia de serie foarte mare;
2. ***Programele în comandă numerică sunt stocate şi transmise direct de la calculator*** şi au o densitate mare a informaţiilor, ceea ce permite programarea numerică şi prelucrarea automată a unor piese bazate pe procese tehnologice complexe, cu multe operaţii, ce nu se pot prelucra pe alte tipuri de maşini-unelte decât într-un timp foarte lung şi cu un mare efort din partea operatorului maşinii;
3. ***Programele de comandă numerica se elaborează într-un timp scurt***, (de cele mai multe ori se editează în mod automat) ceea ce permite trecerea rapidă la prelucrarea unui alt tip de piesă. Aceasta a deschis calea pentru trecerea la un tip de producţie modernă, flexibilă, cu adaptare rapidă la diversificarea produselor cerute de o piaţă internaţională deosebit de dinamică;
4. ***Comanda numerică asigură o flexibilitate maximă*** a proceselor de fabricaţie în serii mici şi mijlocii, coroborată cu obţinerea unei productivităţi ridicate;
5. ***Programele în comandă numerică înlătură posibilitatea apariţiei unor erori de reglare***, determinate de oboseala operatorilor umani, crescând prin aceasta calitatea pieselor prelucrate; maşinile cu comandă numerică permit optimizarea programelor de prelucrare şi introducerea unor corecţii în scopul îmbunătăţirii preciziei de prelucrare;
6. ***Utilizarea maşinilor cu comandă numerică permite îmbunătăţirea organizării proceselor de fabricaţie***, putându-se realiza conducerea automată a întregului proces de fabricaţie, cu ajutorul unui calculator de proces;
7. Utilizarea unei ierarhii de calculatoare conduce la ***posibilitatea automatizării*** şi a activităţilor inginereşti de proiectare şi programare a prelucrării şi de planificare şi programare a fabricaţiei; se poate ajunge la sistemele CIM (Computer Integrated

Manufacturing), în care toate activităţile sunt automatizate, iar transmiterea informaţiilor se face direct, prin reţea de calculatoare, fără alt suport de informaţii;

8. Maşinile-unelte cu comandă numerică de tip CNC permit ***transferul muncii din zona aptitudinilor într-o zonă intelectuală***, personalul fiind implicat în activităţi de programare şi monitorizare a procesului.

Echipamentele de comandă numerică a maşinilor-unelte trebuie să asigure următoarele funcţii de bază:

• realizarea unei traiectorii impuse a punctului de interacţiune sculă-piesă, cu o precizie ridicată;

• realizarea unor parametri optimi ai regimului de aşchiere (viteza de aşchiere, viteza de avans, adâncimea de aşchiere);

• comanda şi supravegherea desfăşurării diferitelor etape tehnologice ale procesului de prelucrare;

• posibilitatea de introducere manuală a datelor sau de la alte echipamente periferice.

O structură generală a unui echipament de comandă numerică a maşinii-unelte, care realizează îndeplinirea acestor funcţii, este prezentată în figura 1.13.

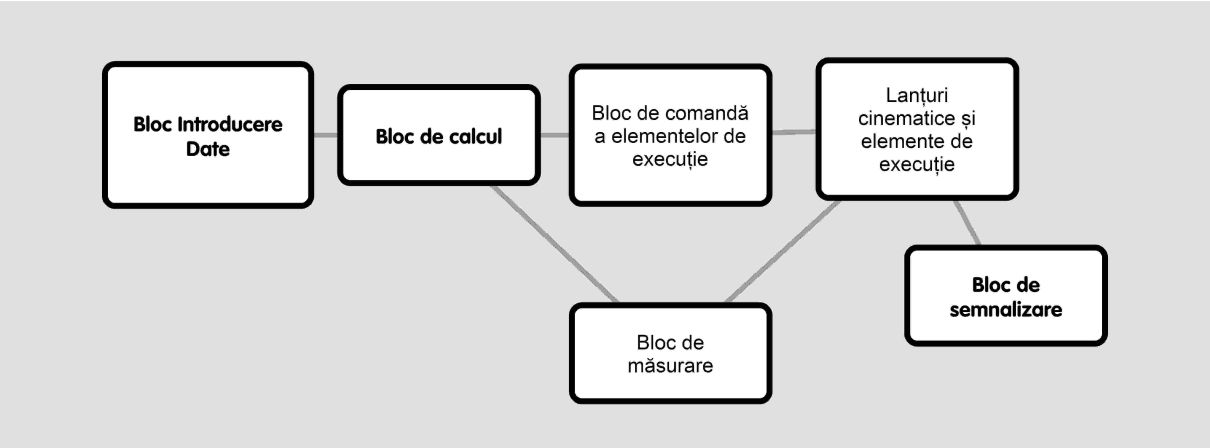


Fig. 1.13. *Schema bloc a unui echipament de comandă numerică.*

Principalele avantaje ale unei comenzi CNC în raport cu comanda CN convenţională:

 posibilitatea de a introduce noi funcţii CN fără modificări hardware, atât prin modificarea sau completarea software-ului ulterior instalării echipamentului CNC, cât şi prin integrarea interfeţei cu maşina în structura CNC; aceasta din urmă oferind posibilităţi de modificare software a interfeţei şi ca atare o flexibilitate mult sporită a întregii configuraţii.

 posibilitatea de a introduce un număr mare de funcţii speciale prin facilităţi operaţionale dependente de capacitatea memoriei fără creşterea complexităţii hardware (ex. stocare de subprograme pentru realizarea ciclurilor fixe; corecţii şi compensări de scule; calibrări de axe; capacitate mare de afişare - instrucţiuni/mesaje către operator; funcţii diverse de adaptare/optimizare).

Sistemul DNC *(Direct Numerical Control)* este folosit pentru conducerea directă prin calculator a unui sistem tehnologic cu comandă numerică. Comanda directă se referă atât la comanda propriu-zisă a maşinii, cât şi la realizarea altor funcţiuni cum ar fi: programarea automată a pieselor, supravegherea maşinilor, corecţia programelor-piesă, funcţii legate de organizarea şi planificarea procesului de fabricaţie ş.a.

Sistemul DNC poate să înglobeze întreaga pregătire de fabricaţie: programarea tehnologiei pieselor, comanda prelucrării, întreţinerea şi inventarierea sculelor, transportarea şi stocarea pieselor, etc.

Comenzile de deplasare - pentru realizarea mişcărilor de generare şi de poziţionare - sunt de trei categorii:

• *DE POZIŢIONARE* - realizează comanda mişcărilor auxiliare de apropiere şi retragere rapidă

• *DE PRELUCRARE LINIARĂ* - realizează comanda mişcărilor rectilinii de generare executate cu viteze de avans

• *DE CONTURARE* - realizează comanda mişcărilor de generare complexe realizate simultan după cel puţin doua axe comandate, între care există dependenţe cinematice riguroase.

Comenzile de poziţionare şi de prelucrare liniară se execută succesiv după direcţia axelor de coordonate iar cele de conturare se execută simultan pe axe.

Comenzi numerice de poziţionare

În cadrul acestor echipamente, axele maşinii sunt comandate succesiv, iar în timpul deplasării nu se execută mişcări de generare, acestea reprezentând primele echipamente cu comenzi programate (fig. 1.14 şi 1.15).

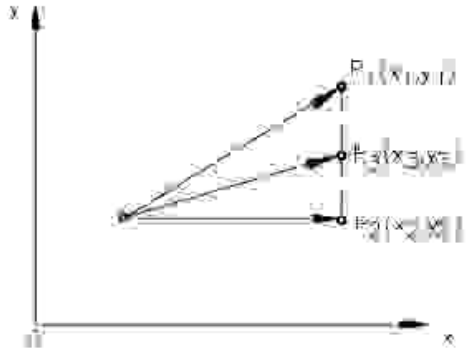
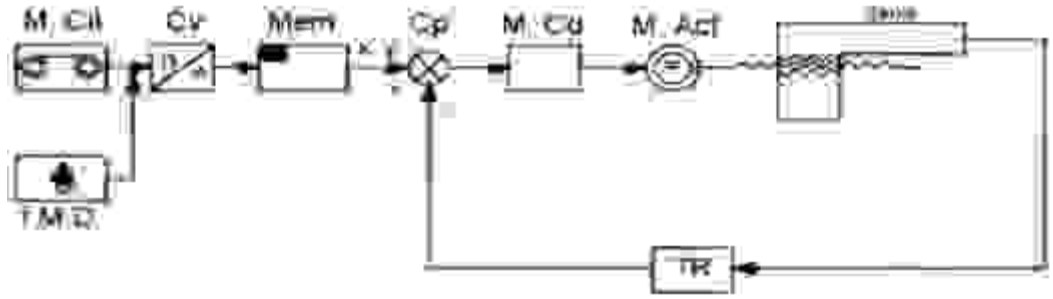


Fig.1.14. *Deplasarea pentru poziţionare.*

Aceste tipuri de echipamente servesc la poziţionarea unităţilor de lucru (exemplu: maşina de găurit în coordonate care, utilizând comanda numerică, poziţionează piesa la coordonatele găurii, etc.).



M. Cit. - mecanism de citire a programului; I.M.D. - introducere manuală a datelor; Cv. -convertor digital-analogic; Mem. - memorie, Cp. - comparator; M. Cd. - mecanism de comandă; M. Act. - mecanism de acţionare; TR. - Traductor de poziţie.

Fig.1.15. *Schema bloc a ECN de poziţionare.*

Echipamente de comandă numerică de prelucrare liniară

Aceste echipamente sunt caracterizate prin comanda succesivă a axelor de translaţie, sau printr-o corelaţie cu păstrarea unei traiectorii în linie dreaptă. În timpul deplasării poate avea loc prelucrarea prin aşchiere (Fig. 1.16 şi 1.17). Structura este asemănătoare cu cea a echipamentului de poziţionare, dar blocul de introducere de date şi cel de calcul trebuie să transmită şi să prelucreze un volum mărit de informaţii tehnologice cum ar fi: tipul de sculă, viteza de avans, turaţia arborelui etc.

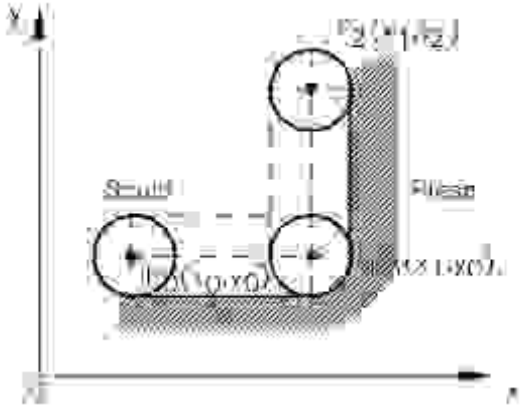


Fig.1.16. *Mişcări de deplasare liniară, paralele cu axele de coordonate.*

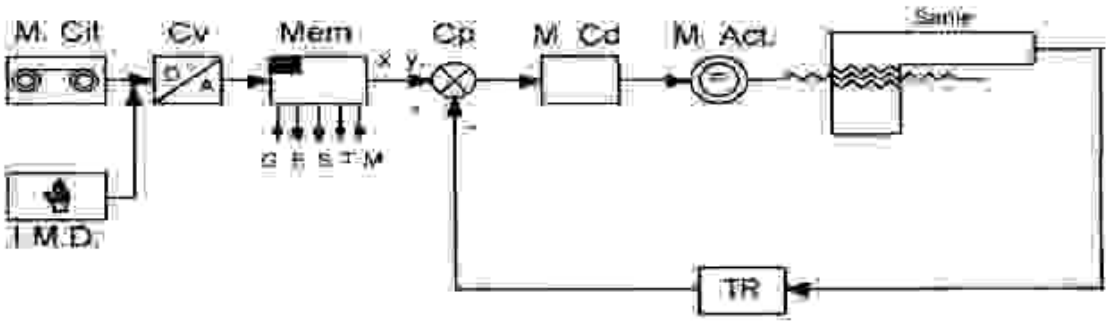


Fig.1.17. *Schema bloc a ECN de prelucrare liniară.*

Echipamente de comandă numerică de conturare

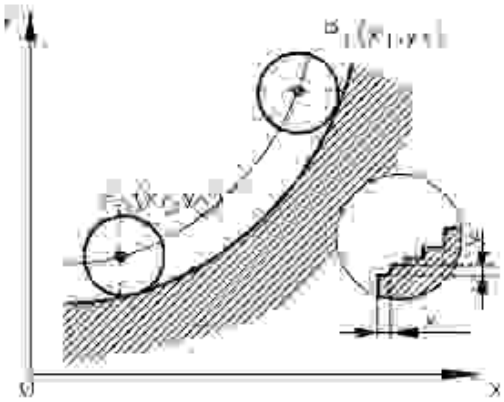


Fig. 1.18. *Traiectoria sculei în cazul comenzilor numerice de conturare.*

În cazul acestor echipamente, axele maşinii se pot deplasa simultan, dependenţa funcţională între deplasările pe diferite axe permite executarea unei traiectorii plane sau spaţiale a punctului de interacţiune sculă-piesă (Fig. 1.18).

Numărul minim de axe care permite descrierea de contururi este evident 2, dar rezolvarea problemei conturării plane este decisivă, pentru că în marea majoritate a aplicaţiilor conturarea spaţială se realizează în sistemul 2 şi 1/2 dimensiuni, unde deplasarea pe cea de a treia axă se face secvenţial, traiectoria sculei fiind situată întotdeauna într-un plan paralel cu planul format din două axe ale maşinii-unelte.

Informaţia de deplasare este predominantă şi blocul de calcul are de rezolvat probleme complexe, în timpul limitat de viteza de prelucrare tehnologică impusă.

Echipamentele de comandă numerică de conturare au în componenţa lor un bloc denumit **interpolator**, cu ajutorul căruia echipamentul poate coordona mişcările pe două axe pentru a efectua interpolarea liniară sau circulară.

Pentru strunguri interpolarea liniară permite generarea suprafeţelor conice, iar interpolarea circulară - generarea suprafeţelor sferice (a arcelor de cerc).

La frezare interpolarea liniară permite generarea unor canale înclinate faţa de direcţia de deplasare a uneia din sănii, iar interpolarea circulară generarea unor canale circulare, nu cu ajutorul mesei circulare, ci prin coordonarea mişcărilor celor două sănii suprapuse ce au deplasări perpendiculare una faţă de cealaltă.

La sistemele de conturare este caracteristic faptul că, diferitele deplasări după axele maşinii se execută simultan, între ele existând o dependenţă funcţională (Fig. 1.19).

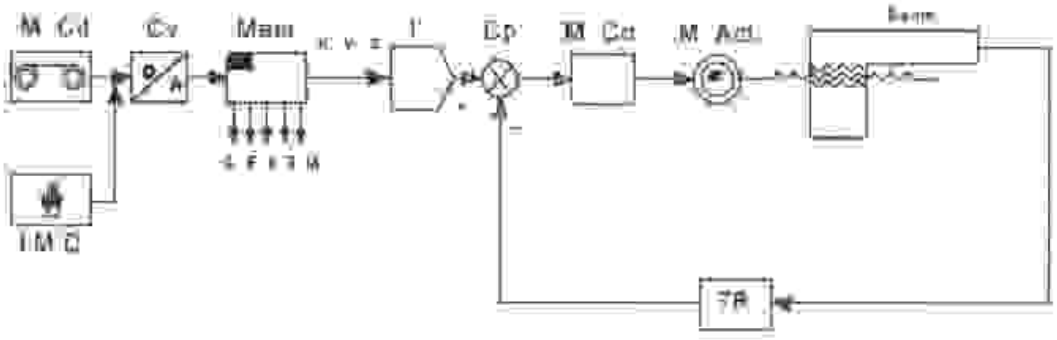


Fig. 1.19. *Schema bloc a ECN de conturare.*

Forma suprafeţelor prelucrate rezultă prin combinarea cantitativă a deplasărilor pe fiecare din axele maşinii. Scula se află în tot timpul deplasărilor în contact cu piesa, viteza de aşchiere $v_{aş}$ variază continuu, impunând ca maşina-unealtă să fie acţionată cu motoare cu turaţie reglabilă.

Pentru prelucrarea după curbe spaţiale echipamentele de conturare trebuie să aibă traductoare de deplasare după toate cele trei axe principale. Cu cât incrementul deplasării este mai mic cu atât prelucrarea este mai precisă adică aproximarea curbei în spaţiu este mai aproape de alura programată a curbei.

Închiderea buclelor de poziţie şi de reglare a vitezelor de avans (şi a vitezei principale de rotaţie pentru realizarea funcţiei de optimizare a regimului de aşchiere ce însoţeşte conturarea) implică răspuns al maşinii în timp real.

Observaţie

În practică, echipamentele de comanda numerică permit aceasta interpolare în plane definite de axele maşinii-unelte (X,Y), (Y,Z) et (Z,X).

Funcţiile ISO corespunzătoare sunt G17 (plan implicit XY), G18 şi G19.

1.3 Materiale şi scule utilizate

Materialele pentru piesele prelucrate se împart în dure sau tenace, conform clasificării efectuate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Clasificarea materialelor pieselor

Materiale dure	Materiale tenace
-Oţeluri aliate tratate termic (de ex. la o duritate de 30 – 60 HRC) -Fonte -Aliaje de titan -Superaliaje pe bază de nichel	- Aliaje speciale pentru lagăre de alunecare -Oţeluri carbon OL; OLC - Aluminiu sau aliaje pe bază de aluminiu - Materiale compozite - Bronz, (Cu-Sn); Alamă (Cu-Zn)

Materialele moi nu se pot prelucra prin aşchiere datorită imposibilităţii formării aşchiei.

Conform ISO, materialele se grupează astfel:

P – grupa materialelor de tip oţeluri

K - grupa materialelor casante (de ex: fonte)

M – pentru oţeluri inoxidabile

N – materiale neferoase

S - materiale speciale (de exemplu titan – material rezistent la temperaturi înalte)

H – materiale călite, oţeluri extradure

Alegerea sculelor

Alegerea sculelor se face din cataloagele producătorilor, în funcţie de operaţiile tehnologice ce trebuie efectuate şi funcţie de materialul piesei de prelucrat. Un exemplu de alegere a sculei şi operaţiile posibile cu aceasta (COROMILL 390) este redat în continuare (Fig. 1.20).

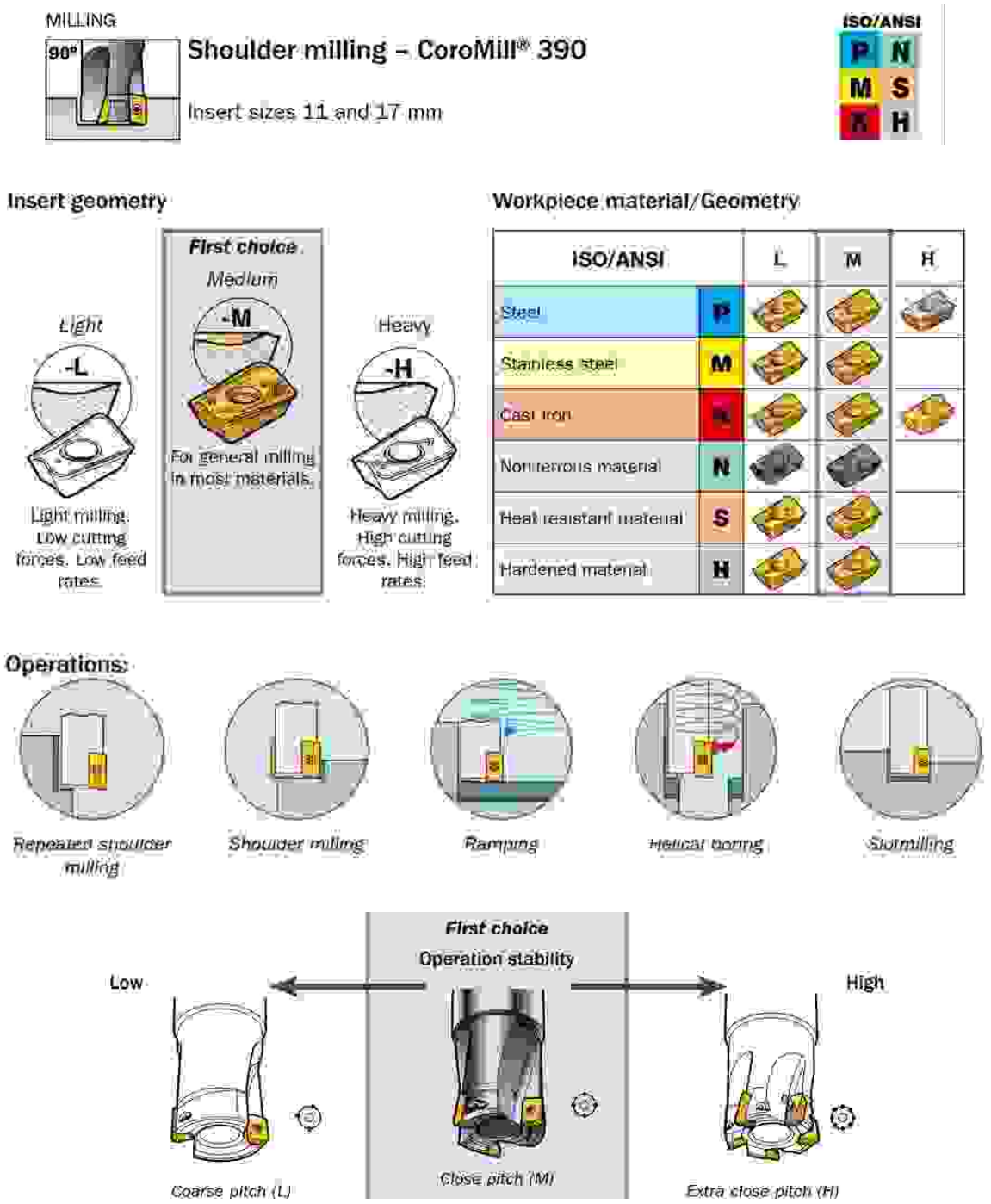


Fig. 1.20. *Utilizare a sculei Coromill 390 (conform catalog Sandvik – Coromant)*

În tabelul 1.3. se prezintă vitezele de aşchiere recomandate în cazul prelucrărilor convenţionale şi în cazul prelucrărilor cu viteze mari de aşchiere

Tabelul 1.3. Viteze de aşchiere recomandate

Materiale	**Vas** – convenţională [m/min]	**Vas** – HSC (UGV) în cazul vitezelor mari de aşchiere [m/min]
Materiale nemetalice		
Materiale plastice ranforsate cu fibre	100-300	2000 - 8000
Materiale compozite	100-300	800 - 4000
Aliaje neferoase		
Aluminiu sau aliaje de aluminiu	uzual peste 200-300	2000 - 9000
Aliaje de tip bronzuri sau alame	100 – 400	1000 - 4500
Fonte sau oţeluri		
Fonte	100 – 800	800-4000
Oţeluri (tratat. termic prin îmbunătăţire sau prin cementare)	80 – 700	700 - 3000
Oţeluri sau fonte foarte dure	Nu se pot prelucra cu scule din carburi	100-200
Oţeluri refractare		
Aliaje de titan	30-100	100-500
Superaliaje pe bază de nichel	20-90	90-2000

Tabelul 1.4. detaliază corespondenţa între materialele prelucrate, sculele utilizate şi operaţiile de aşchiere recomandate.

Tabelul 1.4. Corespondenţa scule-piese-operaţii

Materiale pentru scule	**Materiale pentru piese**	**Operaţii**
Carburi, scule tip P şi K	Oţeluri tratate termic şi oţeluri aliate	Frezare şi strunjire
Cermet (în general pe bază de carbonitrură de titan)	Oţeluri şi oţeluri inoxidabile	Frezare şi strunjire în cazul unor forme geometrice simple
Ceramice pe bază de alumină	Oţeluri aliate şi durificate Fonte nodulare tratate termic; Superaliaje pe bază de nichel (ex: Inconel)	Frezare şi strunjire
Ceramice pe bază de nitrură de siliciu	Fonte	Frezare şi strunjire
Ceramice ranforsate prin fibre	Aliaje refractare, aliaje foarte dure	Strunjire
Nitrură cubică de bor (CBN)	Oţeluri tratate termic Fonte	Strunjire
Diamant policristalin (PCD)	Aliaje de aluminiu Aliaje refractare Lemn; Bronz Materiale compozite cu matrice metalică Grafit, Titan,	Frezarea unor forme complexe Strunjire
Policristalin de tip nitrură cubică de bor (PCBN)	Oţeluri rapide, aliate, tratate; Fonte, aliaje speciale (stellite)	Frezarea unor forme complexe Strunjire

1.4 Categorii structurale de maşini-unelte cu comandă numerică

Structura elementară a unei maşini-unelte

În structura elementară a unei maşini-unelte, pentru realizarea sarcinilor de prelucrare, poziţionarea relativă dintre sculă şi piesă se realizează prin intermediul următoarelor elemente structurale :

- Dispozitive de prindere a piesei;
- Dispozitiv de prindere a sculelor;
- Lanţuri cinematice pentru deplasarea piesei sau a sculei

Elementele mobile pot avea mişcări de translaţie (T) sau de rotaţie (R), pot fi suprapuse şi sunt fixate pe un element de structură denumit batiu (B). În funcţie de poziţia elementelor mobile faţă de batiu, avem mai multe posibilităţi de a construi o maşină-unealtă, variantele posibile sunt detaliate în tabelul 1.5. Ordinea în care sunt considerate elementele mobile este cea care începe cu mobilitatea piesei şi ajunge să închidă fluxul mobilităţilor până la scula aşchietoare.

Tabelul 1.5. Configuraţii structurale de maşini-unelte

3 axes	4 axes	5 axes	3 axes	4 axes	5 axes	3 axes	4 axes	5 axes
BTTT	RBTTT	RRBTTT	BTTT	RBTTT	RRBTTT	BTTT	RBTTT	RRBTTT
TBTT	RTBTT	RRTBTT	TBTT	RTBTT	RRTBTT	TBTT	RTBTT	RRTBTT
TTBT	RTTBT	RRTTBT	TTBT	RTTBT	RRTTBT	TTBT	RTTBT	RRTTBT
TTTB	RTTTB	RRTTTB	TTTB	RTTTB	RRTTTB	TTTB	RTTTB	RRTTTB
	BTTTR	RBTTTR		BTTTR	RBTTTR		BTTTR	RBTTTR
	TBTTR	RTBTTR		TBTTR	RTBTTR		TBTTR	RTBTTR
	TTBTR	RTTBTR		TTBTR	RTTBTR		TTBTR	RTTBTR
	TTTBR	RTTTBR		TTTBR	RTTTBR		TTTBR	RTTTBR
		BTTTRR			BTTTRR			BTTTRR
		TBTTRR			TBTTRR			TBTTRR
		TTBTRR			TTBTRR			TTBTRR
		TTTBRR			TTTBRR			TTTBRR

[redacted]

B=batiu; T = axa de translaţie; R=axa de rotaţie

Spre exemplu, configuraţia structurală a maşinii-unelte din figura 1.21 este TTBT (3 axe comandate numeric).

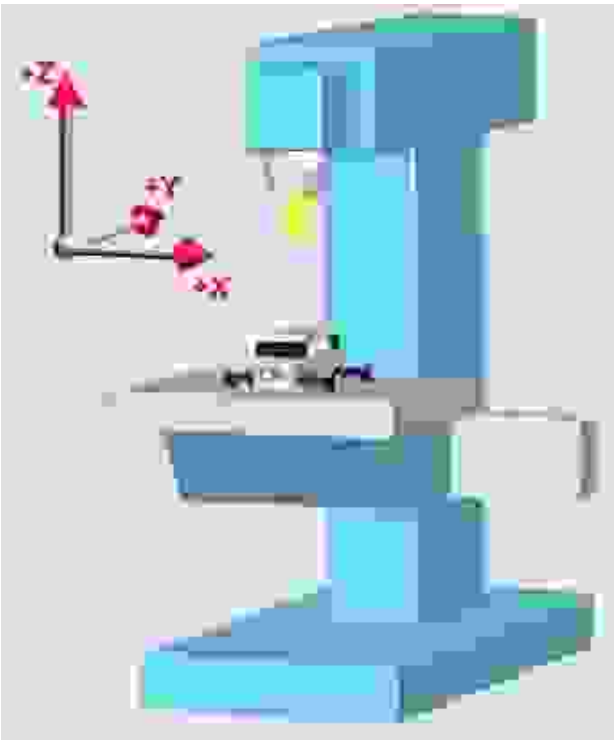
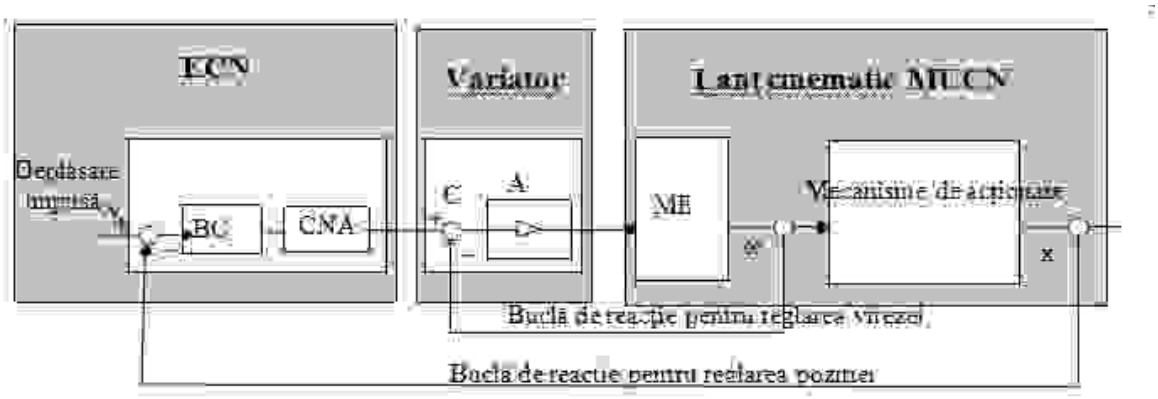


Fig. 1.21. *Maşină-unealtă în configuraţie structurală TTBT.*

Schema generală a unei axe comandate numeric este reprezentată în figura 1.22.



ECN = Echipament de comandă numerică; BC = Bloc de calcul
CNA=Convertor Numeric – Analogic; A = Bloc de amplificare
C = Bloc comparator; ME = Motor electric de acţionare

Fig. 1.22. *Schema structurală de comandă numerică a unei axe a maşinii-unelte.*

Fiecare axă comandată numeric are un lanţ cinematic de acţionare distinct. Pentru coordonarea a două axe între ele (exemplu: obţinerea unei traiectorii circulare prin combinarea a două mişcări de translaţie) este necesară existenţa unui bloc *interpolator* în echipamentul de comandă numerică. Interpolatoarele cele mai simple sunt cele care realizează coordonare de mişcare rectilinie (interpolatoare liniare) sau de mişcare pe traiectorie circulară (interpolatoare circulare).

Mai rar întâlnite sunt interpolatoarele utilizate pentru obţinerea unor curbe plane oarecare. Aceste traiectorii au ca bază curbe Polinomiale, curbe Bezier, Spline, NURBS etc.

1.5 Definirea axelor şi mişcărilor la maşinile cu comandă numerică

La maşinile-unelte cu comandă numerică axele comandate se definesc în mod unic în scopul asigurării interschimbabilităţii datelor de programare. Principiile stabilite pentru definirea axelor comandate numeric sunt valabile pentru toate maşinile cu comandă numerică (STAS 8902-83).

Principiul de bază al stabilirii axelor cu comandă numerică este acela de a impune un sistem de coordonate al piesei şi de a descrie mişcările ansamblurilor maşinii, astfel încât programatorul de comandă numerică să poată descrie operaţiile de prelucrare fără a ţine seama dacă scula se apropie de piesă sau invers. Se presupune faptul că scula se deplasează în raport cu sistemul de coordonate legat de piesa considerată fixă.

Sensul pozitiv al mişcării unui ansamblu sau element al maşinii este acela care corespunde direcţiei de îndepărtare a sculei faţă de piesa aşezată pe maşină. Axele de coordonate ale piesei se notează cu X, Y, Z. Axele comandate numeric se notează cu litere simple în cazul în care se deplasează scula faţă de piesă, iar literele cu semnul prim (′) se utilizează pentru notarea mişcării piesei.

Definirea axei Z a mişcării

Axa Z este prima axă definită, este axă de translaţie şi este paralelă cu axa arborelui principal sau se confundă cu aceasta. La maşinile de frezat, de găurit, de filetat, de alezat şi frezat, de rectificat, arborele principal antrenează scula. În cazul strungurilor, maşinilor de copiat, precum şi la alte maşini care generează suprafeţe de revoluţie, arborele principal antrenează piesa.

Dacă maşina nu are arbore principal, axa Z este perpendiculară pe suprafaţa de aşezare a piesei. În situaţiile în care maşina are mai mulţi arbori principali, pentru definirea axei Z, se alege un singur arbore principal, de preferinţă arborele principal cu axa perpendiculară pe suprafaţa de aşezare a piesei.

În cazurile în care axa arborelui principal poate să pivoteze şi să ocupe o poziţie paralelă numai cu o singură axă a triedrului de referinţă, această direcţie reprezintă axa Z. Dacă axa arborelui principal poate să ocupe poziţii paralele cu două sau trei axe ale triedrului de referinţă, se consideră ca axă Z axa care este perpendiculară pe suprafaţa de aşezare a mesei, fără a lua în seamă accesoriile sub formă de adaosuri drepte sau înclinate.

Sensul pozitiv al axei Z este acela care conduce mărirea distanţei dintre piesă şi sculă.

Definirea axei X a mişcării

Axa X este a doua axă definită. În majoritatea cazurilor este o axă orizontală şi paralelă cu suprafaţa de aşezare a piesei. Această axă reprezintă axa principală de mişcare în planul în care se realizează prinderea piesei sau a sculei. Pentru maşinile de rabotat, caz în care nu se rotesc nici piesa nici scula, axa X de mişcare este paralelă cu direcţia principală de aşchiere, iar sensul pozitiv corespunde cu sensul de aşchiere.

În cazul strungurilor, maşinilor de rectificat rotund, la care se roteşte piesa, axa X este radială şi paralelă cu ghidajele saniei transversale. Sensul pozitiv al mişcării X corespunde retragerii unei scule montate în capul revolver sau în suportul portscule montat pe sania transversală.

La maşinile de frezat se desprind două situaţii:

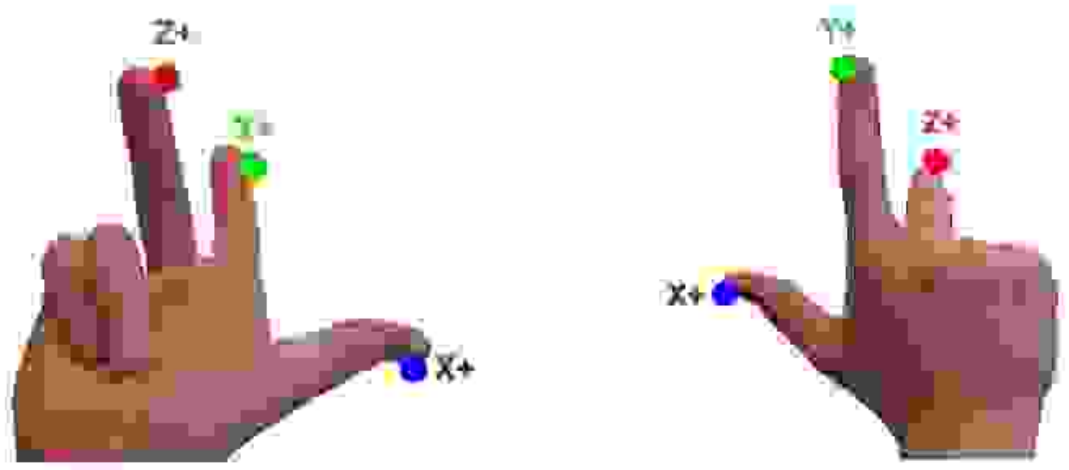
1 - pentru maşinile cu arbore principal orizontal (axa Z este orizontală), sensul pozitiv al axei X este spre dreapta , când se priveşte dinspre arborele principal către piesă;

2 - pentru maşinile cu arbore principal vertical (axa Z este verticală), sensul pozitiv al axei X este spre dreapta considerând următoarele aspecte:

- la maşinile cu un singur montant se priveşte dinspre arborele principal către montant;
- la maşinile cu portal se priveşte dinspre arborele principal către montantul din stânga al portalului.

Definirea axei Y a mişcării

Axa Y este perpendiculară pe axele X şi Z şi formează cu acestea un triedru de sens direct (Fig. 1.23).



a) *b)*

Fig. 1.23. *Definirea axei Y în cazul unei maşini-unelte cu arbore principal vertical (a) sau orizontal (b)*

1.5.1 Mişcări de rotaţie A, B, şi C comandate numeric

A, B şi C sunt primele axe de rotaţie comandate numeric şi reprezintă mişcările efectuate în jurul unor axe paralele cu X, respectiv cu Y şi cu Z.

Sensurile pozitive ale axelor de mişcare după A, B şi C corespund cu sensul de rotaţie al unui şurub dreapta, care determină deplasarea şurubului în direcţia +X, respectiv +Y şi +Z.

Originea sistemului normal de coordonate (X=0, Y=0, Z=0) se consideră arbitrară. Semidreptele originilor pentru unghiurile mişcărilor de rotaţie A, B şi C sunt arbitrare. Singura recomandare este ca semidreptele să fie paralele cu axele Y, respectiv Z şi X.

În figurile următoare (Fig. 1.24 ... Fig. 1.32) se prezintă diferite variante structurale de maşini-unelte şi este exemplificată notarea standardizată a axelor CNC.

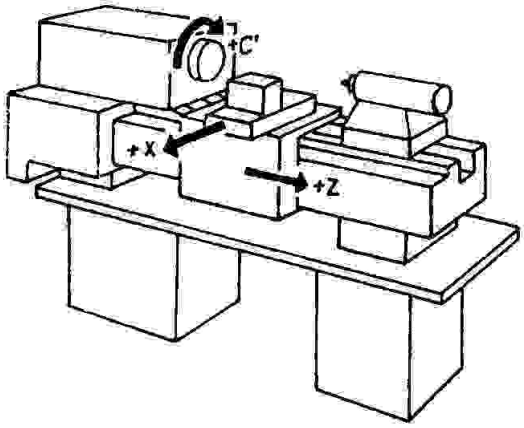


Fig. 1.24. *Strung normal cu comandă numerică.*

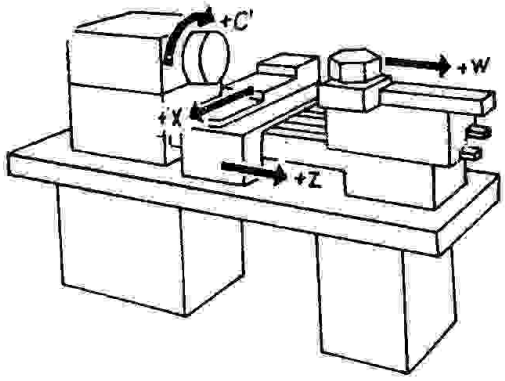


Fig. 1.25. *Strung revolver.*

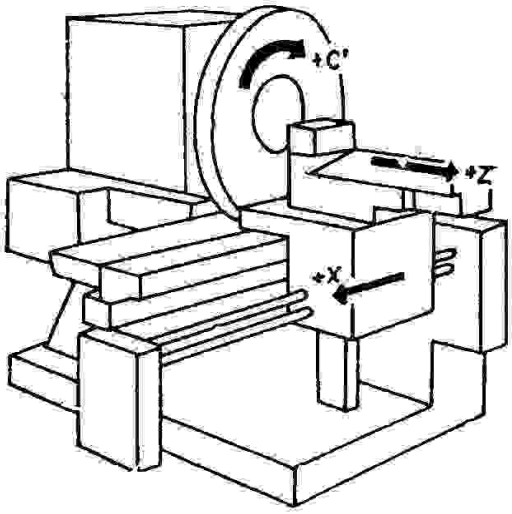


Fig. 1.26. *Strung frontal.*

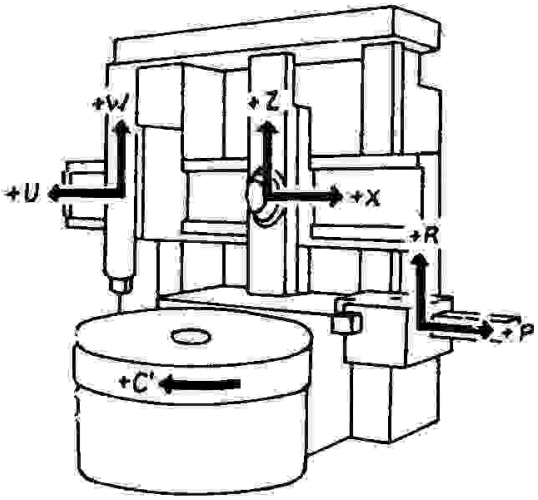


Fig. 1.27. *Strung carusel.*

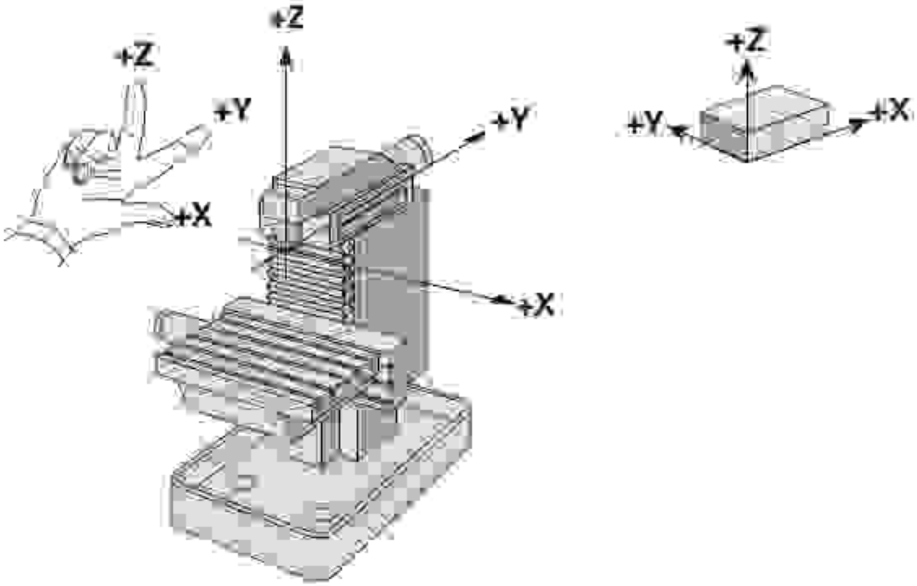


Fig. 1.28. *Maşină de frezat cu 3 axe CNC (X, Y, Z).*

Programatorul consideră întotdeauna faptul că deplasările aparţin numai sculei.

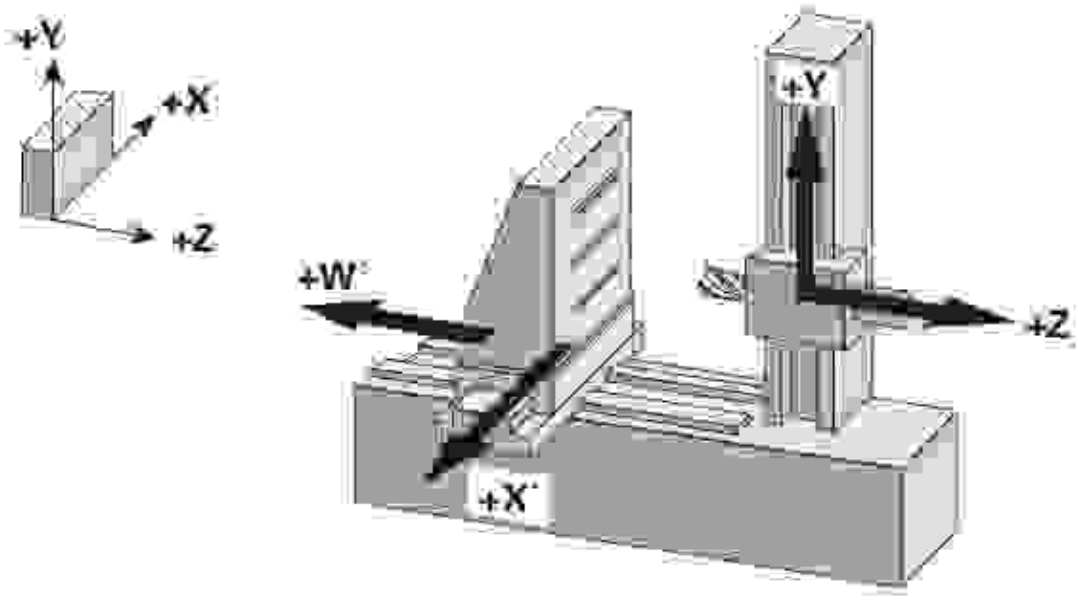


Fig. 1.29.*Maşină de alezat şi frezat cu 3+1 axe CNC (Z, X, Y +W).*

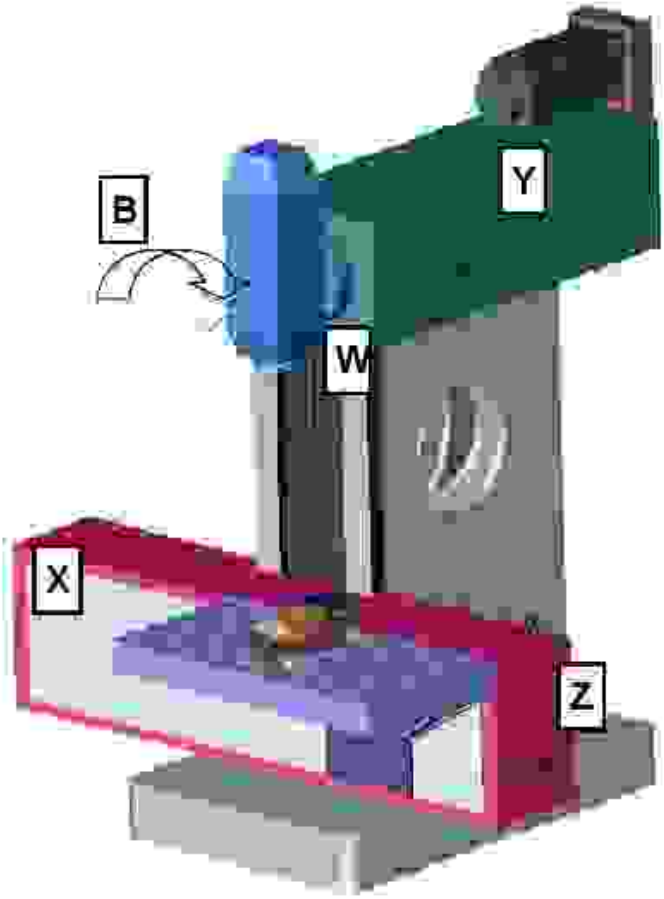


Fig. 1.30. *Maşină de frezat cu 4+1 axe CNC (Z, X, Y, B +W).*

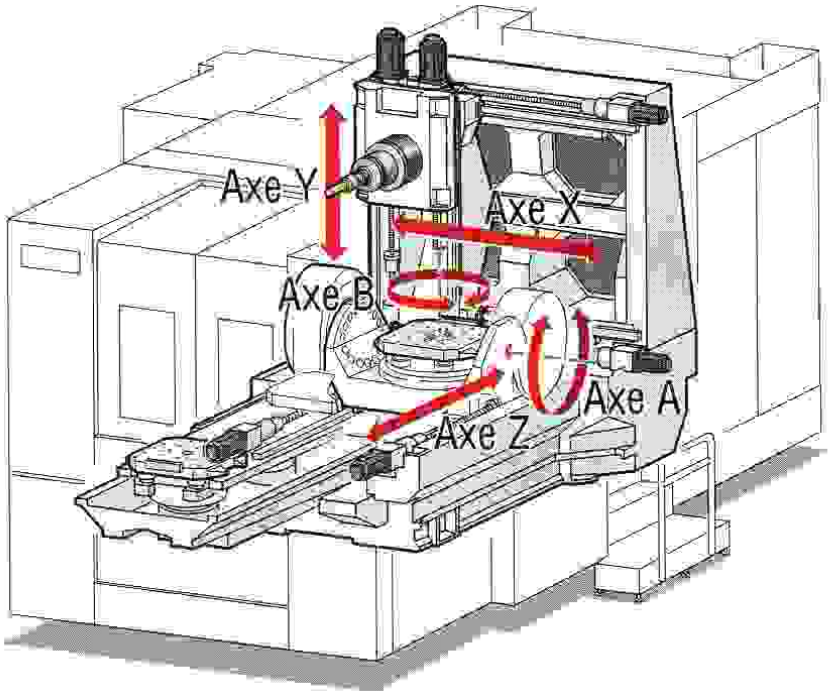
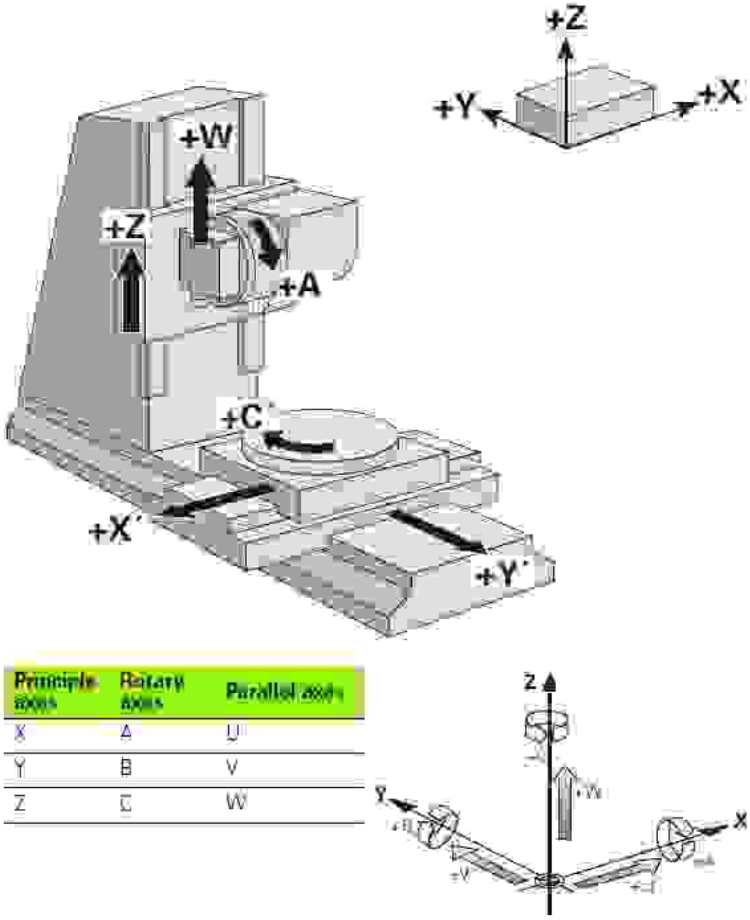


Fig. 1.31. *Maşină-unealtă (centru de prelucrare) Mori Seiki cu 5 axe CNC (Z, X, Y, A, B).*



Principle axes	Rotary axes	Parallel axes
X	A	U
Y	B	V
Z	C	W

Fig. 1.32. *Centru de prelucrare prin frezare cu 5 + 1 axe CNC (Z,X,Y,A,C + W)*

Sunt şi situaţii în care unii constructori de maşini-unelte se abat de la acest standard de notare a axelor, dar aceste situaţii sunt unele particulare şi extrem de rare.