

Miron ZAPCIU, Marius Daniel PARASCHIV

ELEMENTE DE BAZĂ ALE PROGRAMĂRII MAȘINILOR UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

2015

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
ZAPCIU, MIRON

Elemente de bază ale programării mașinilor-unelte cu comandă numerică / Miron Zapciu, Marius Daniel Paraschiv. - București : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2015

Conține bibliografie

ISBN 978-606-8636-12-2

I. Paraschiv, Marius-Daniel

681.5:621.9

CUPRINS

CAPITOLUL 1 TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN AȘCHIERE ȘI STANDARDIZAREA AXELOR SPECIFICE MAȘINILOR-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ.....	5
1.1 Centre de prelucrare prin strunjire și frezare.....	8
1.2 Caracteristici specifice mașinilor-unelte cu comandă numerică.....	15
1.3 Materiale și scule utilizate.....	21
1.4 Categoriile structurale de mașini-unelte cu comandă numerică	24
1.5 Definirea axelor și mișcărilor la mașinile cu comandă numerică	26
1.5.1 Mișcări de rotație A, B, și C comandate numeric	27
CAPITOLUL 2 ELEMENTE DE BAZĂ ALE PROGRAMĂRII MAȘINILOR-UNELTE: ORIGINI, GEOMETRIE, TEHNOLOGIE ȘI PROGRAMAREA CU INSTRUCȚIUNI ISO -G CODE	33
2.1 Origini.....	33
2.2 Geometrie	35
2.2.1 Sistemul de coordonate 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 Turația arborelui principal	38
2.3.2 Viteza reală de așchiere	39
2.3.3 Viteza de avans	39
2.3.4 Avansul pe dinte	40
2.4 Programarea cu instrucțiuni 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 Referințele 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 ȘI A FUNCȚIILOR 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 rotație 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 Funcția de compensare a corecției de lungime a sculei.....	101
4.3.2 Utilizarea corecției de rază a sculei	102
4.3.3 Interpolare elicoidală	103
4.3.4 Corecție de lungime a sculei și cicluri fixe.....	104
4.3.5 Corecție de rază a sculei	106
4.4 Funcții de programare specifice mașinilor-unelte cu viteze mari de prelucrare	107
4.4.1 Micșorarea vitezei de avans la parcurgerea arcelor de cerc	107
4.3.1. Controlul în avans al traiectoriei (G08).....	108
4.4.2 Funcția de control total pe contur	109

CAPITOLUL 1

TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN AȘCHIERE ȘI STANDARDIZAREA AXELOR SPECIFICE MAȘINILOR-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ

Obiectivele capitolului

La sfârșitul acestui capitol, vor fi dobândite următoarele cunoștințe:

- Cunoașterea definițiilor privind mașina-unealtă și centrele de prelucrare
- Tipuri de operații de prelucrare prin așchiere
- Operațiile reprezentative efectuate pe strunguri
- Principiile și mișcările de generare în cazul frezării
- Recomandări tehnologice în cazul procesului de frezare
- Materialele pieselor prelucrate prin așchiere
- Materialele sculelor și recomandări de utilizare
- Categorii structurale de mașini-unelte cu comandă numerică
- Schema generală a unei axe comandate numeric
- Definirea standardizată a axelor comandate numeric
- Exemple de strunguri cu comandă numerică și notarea axelor
- Exemple de mașini de frezat cu comandă numerică și notarea axelor
- Identificarea axelor comandate numeric pentru orice configurație de mașină

Introducere

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

Mașina-unealtă (conform DEX) reprezintă o mașină de lucru care prelucrează materiale prin operații mecanice.

Conform World Encyclopedia:

Mașina-unealtă reprezintă acea mașină ca ansamblu de dispozitive cu acționare de la una sau mai multe surse de energie, utilizată în mod tipic pentru fabricarea componentelor de mașini, uzual prin îndepărtare de material.

Se specifică faptul că mașinile-unelte au apărut atunci când a dispărut efortul direct al operatorului uman pentru îndepărtarea surplusului de material. Primele tipuri de operații tehnologice efectuate cu ajutorul mașinilor au fost rabotarea (așchieria utilizând o mișcare principală de translație a sculei) și deformarea plastică (matrițarea).

Emil Botez, fondatorul școlii românești de mașini-unelte dă următoarea definiție în cadrul tezei de doctorat (1968): *Mașina – unealtă* reprezintă mașina de lucru, având ca scop generarea

suprafețelor pieselor prin procesul de aşchiere, în anumite condiții de productivitate, precizie dimensională și calitate a suprafeței.

O altă definiție valabilă este aceea în care se înlocuiește expresia “prin procesul de aşchiere” cu expresia “prin îndepărtarea sau redistribuirea unei părți a materialului supus prelucrării”. În acest fel se include în categoria mașinilor-unelte și mașinile de prelucrat prin deformare plastică și o mare parte din categoria mașinilor ce prelucreză prin tehnologii neconvenționale (EDM – mașini de prelucrat prin electroeroziune, prelucrare cu laser, jet de apă, fascicol de electroni, ultrasunete etc.)

Istoric

Primul strung - mașină-unealtă pentru obținerea pieselor de revoluție (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 mașinilor-unelte este legat de descoperirea motorului cu aburi, odată cu Revoluția Industrială (James Watt –1769)

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

Se remarcă invențiile și inovațiile lui *Henry Ford* (1863-1947) în ceea ce privește producția de masă (ingineria secvențială) și obținerea componentelor interschimbabile. Firma *Ford Motors* a fost întemeiată în 1903.

1866 – Descoperirea dinamului (Siemens)

1900 – Oțeluri rapide pentru sculele aşchietoare (Taylor)

1923 – Apariția liniilor de transfer

1953 – Primul strung cu comanda numerică

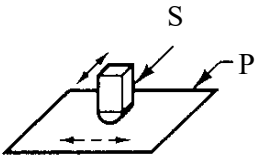
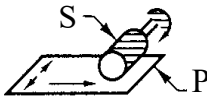
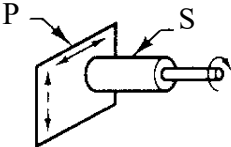
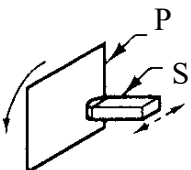
1960 – Laserul

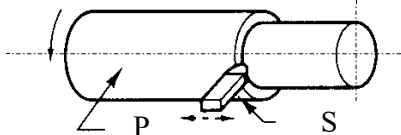
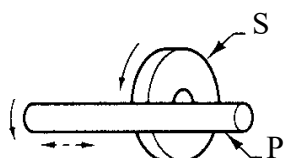
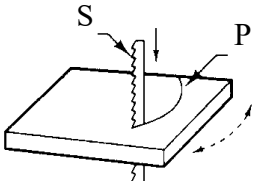
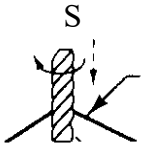
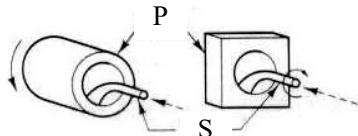
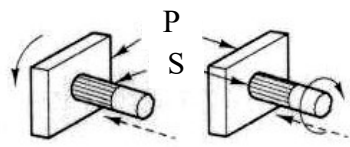
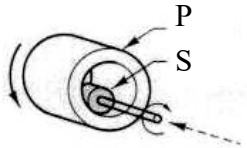
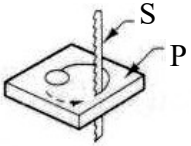
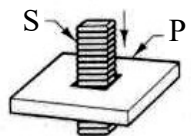
1976 – Apariția microprocesorului

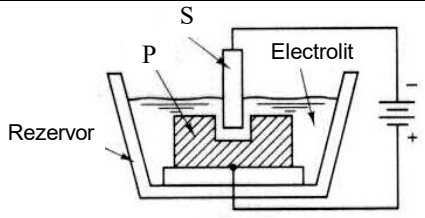
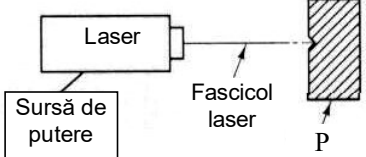
1990 – Sisteme de fabricație integrată cu ajutorul calculatorului (sisteme CIM)

Operațiile care pot fi efectuate pe mașinile-unelte sunt detaliate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Principalele operații în cadrul proceselor de fabricație pe mașini-unelte

Nr. crt.	Operația	Schema de prelucrare	Mașina-unealtă
1.	Rabotare		Mașină de rabotat; șeping
2.	Frezare cilindrică		Mașină de frezat; strung cu accesorii speciale atașate
3.	Frezare frontală		
4.	Strunjire frontală		Strung; mașină de alezat și frezat cu accesorii speciale atașate

5.	Strunjire cilindrică		Strung
6.	Rectificare cilindrică exterioară		Mașină de rectificat exterior; strung cu accesorii speciale atașate
7.	Tăiere		Fierăstrău cu pânză; mașină de decupat
8.	Găurire		Mașină de găurit; mașină de frezat; strung
9.	Alezare		Mașină de frezat; mașină de alezat și frezat
10.	Lărgire; filetare		Strung; mașină de frezat; mașină de alezat și frezat
11.	Rectificare cilindrică interioară		Mașină de rectificat interior; strung cu accesorii speciale atașate
12.	Tăiere după contur		Fierăstrău cu pânză
13.	Broșare		Mașină de broșat

14.	Prelucrare prin electroeroziune		Mașină de prelucrat prin electroeroziune
15.	Prelucrare cu laser		Laser CO ₂ ; Laser cu gaz inert

Exemple de mașini-unelte:

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

Actualmente, în practica industrială modernă, șepingurile și mașinile de rabotat au pierdut teren în favoarea mașinilor de frezat; Șepingurile se regăsesc mai mult în atelierele de reparații iar mașinile de rabotat, datorita slabei productivități au fost înlocuite cu mașini de frezat longitudinal (cu portal fix) sau mașini tip Gantry (cu portal deplasabil).

Mașinile-unelte sunt definite de japonezi ca fiind “mașini mamă” deoarece sunt singurele capabile să se reproducă (conceptul este de *self – replication*) prin obținerea de piese componente. Aceasta este după unii autori funcția primară a unei mașini-unelte.

Prin reunirea mai multor operații pe aceeași mașină-unealtă (cu sistem de comandă cu microprocesor încorporat - CNC), se obțin **centrele de prelucrare** – acestea fiind capabile să obțină piesa finită dintr-o singură prindere (fixare) a piesei. Pe aceste tipuri de mașini se pot obține piese cu o configurație extrem de complexă, fiind dificil de stabilit o configurația unică a mașinii-unelte care a produs respectiva piesă.

1.1 Centre de prelucrare prin strunjire și frezare

Centrul de prelucrare este acea mașina-unealtă prevăzută cu echipament de comandă numerică CNC, cu posibilități de a efectua numeroase operații de prelucrare, sculele fiind schimbate în mod automat între arborele principal și un magazin de scule.

Pentru așchiere sunt necesare două mișcări: **mișcarea principală de așchiere**, (mișcare de rotație aparținând sculei) și **mișcarea de avans**, mișcare rectilinie, circulară sau curbilinie, aparținând piesei sau sculei.

În cazul **strungurilor** (Fig.1.1), piesele reprezentative sunt piese de revoluție. Arborele principal al mașinii rotește piesa prinsă în universal, iar scula (cuțitul de strung) este deplasată

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

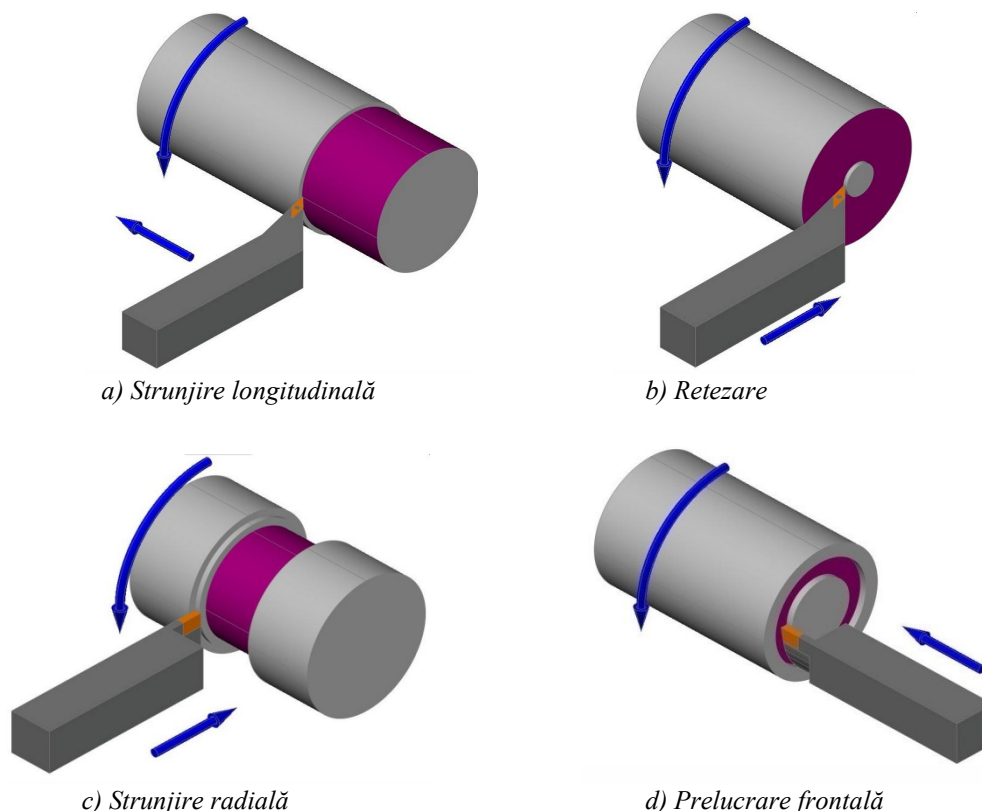
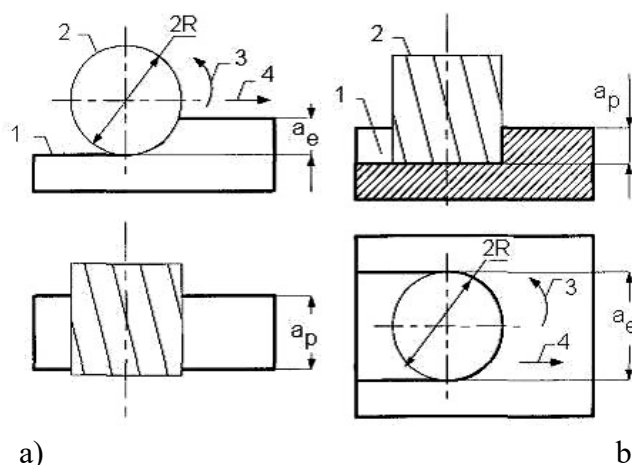


Fig. 1.1. Operațiile reprezentative efectuate pe strunguri.

În cazul operațiilor de **frezare** (efectuate pe mașinile de frezat), în timpul prelucrării, freza ocupă o asemenea poziție încât axa sa de rotație poate să fie verticală sau orizontală. Există însă și cazuri în care se prelucreează cu scule având axa de rotație înclinată (acest lucru fiind posibil cu accesorii suplimentare care se pot atașa arborelui principal).



1-suprafață prelucrată; 2-freza; 3- mișcarea principală de rotație a frezei; 4=mișcare de avans; a_p -adâncimea de așchiere (axială) ; a_e – adâncimea de așchiere (radială).

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

Alături de strunjire, frezarea este procedeul de așchiere cel mai des folosit. Mașinile de frezat au o productivitate ridicată, iar precizia și calitatea suprafețelor prelucrate sunt superioare

altor procedee de prelucrare, cum ar fi: găurirea, rabotarea, mortezarea. Datorită faptului că tășurile 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).

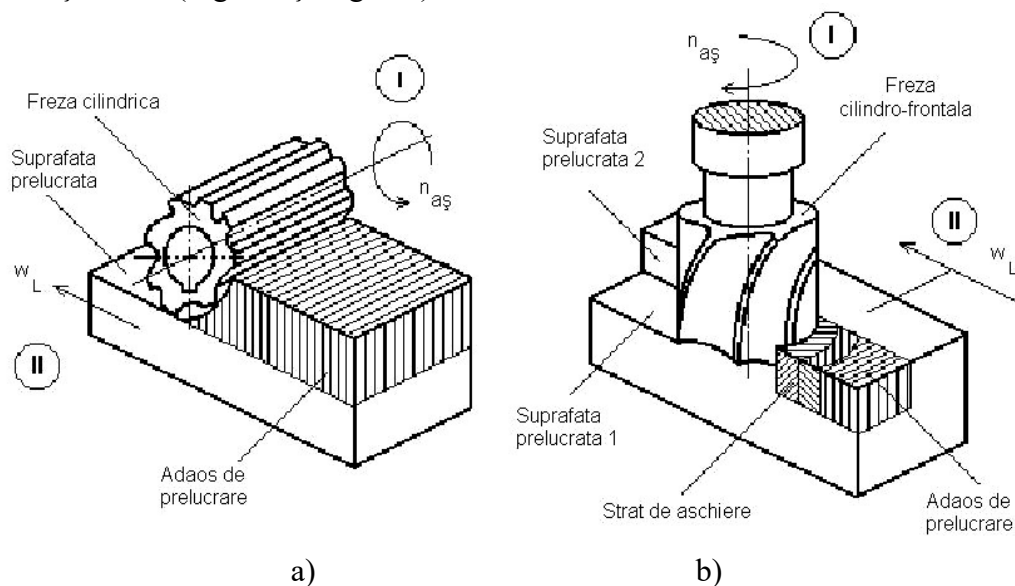
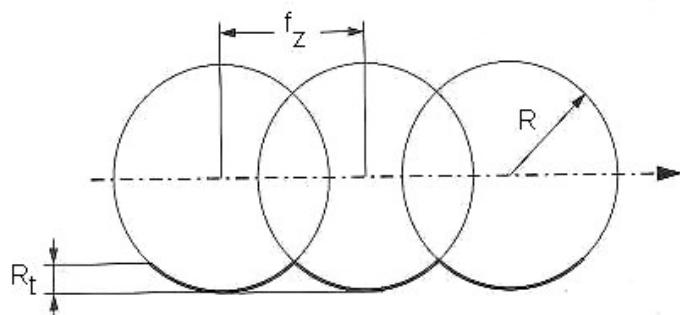


Fig. 1.3. Generarea suprafețelor plane prin frezare

Rugozitatea teoretică a suprafeței prelucrate R_t se calculează ținând cont de figura 1.4 și rezultă relația:

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



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

Fig. 1.4. Rugozitatea teoretică în cazul frezării.

Utilizând relația 1.1 se poate determina prin calcul rugozitatea suprafețelor prelucrate prin frezare. Spre exemplu, dacă se utilizează o freză cu 4 dinți, raza frezei fiind de 20 mm și avansul pe dinte de 0,2 mm, rezultă $R_t = 20 - 19,9997 \text{ mm} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 0,3 \text{ }\mu\text{m}$.

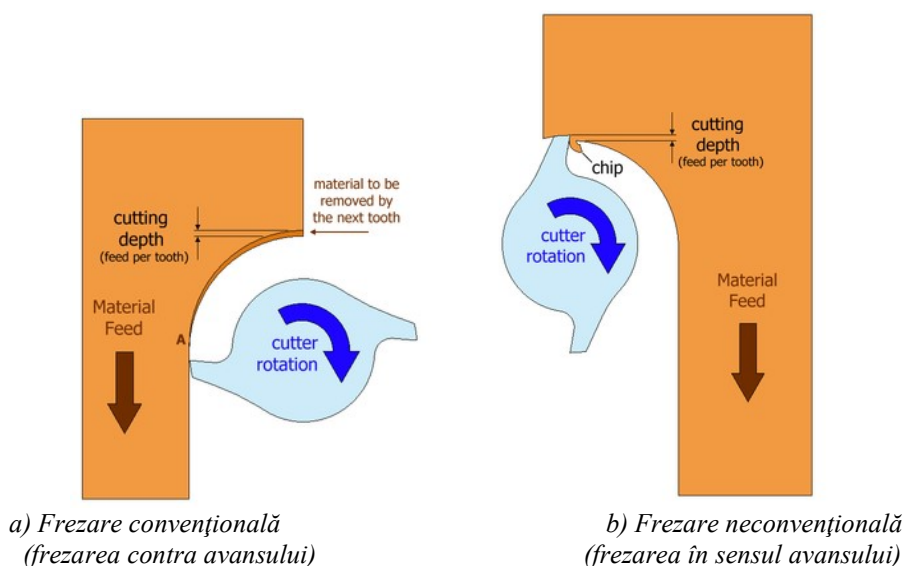


Fig. 1.5. Frezarea contra sau în sensul avansului

La frezarea contra avansului (Fig. 1.5a) se produce o creștere treptată a grosimii așchiei, deci a apăsării de așchiere și a solicitării dinților, ceea ce asigură o funcționare mai silențioasă a mașinii și o calitate mai bună a suprafeței prelucrate. Dacă suprafața 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 mașinii pentru a se evita desprinderea acesteia din dispozitivul de fixare în timpul așchierii.

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

Turația arborelui principal (Spindle speed) se calculează cu relația:

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

în care

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

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

d = diametrul sculei [mm]

Conform acestei relații, sculele cu diametrul mare necesită viteze de așchiere 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 relația:

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

în care

w = viteza de avans [mm/min];

f_z = avansul pe dinte [mm/dinte];

z_s = numărul de dinți ai frezei.

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

Conform figurii 1.6, raza frezei se alege în funcție de racordarea care trebuie executată și poziționarea frezei se face cu o angajare parțială a diametrului sculei în așchiere.

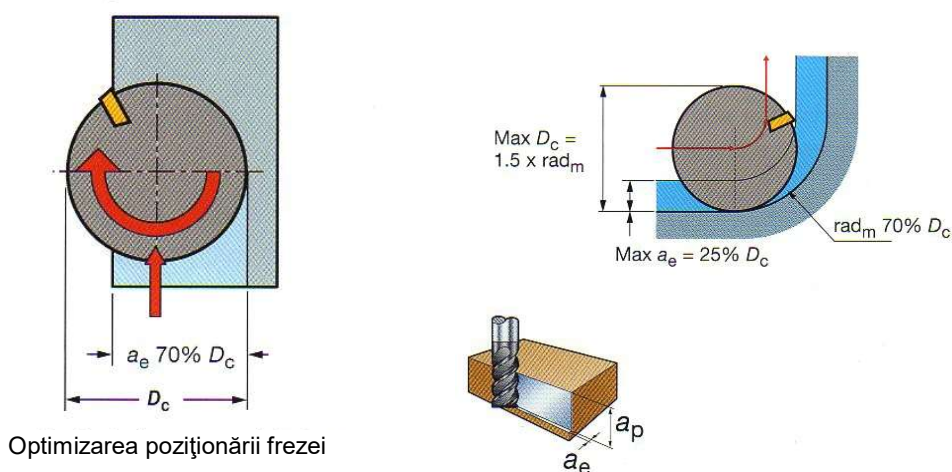


Fig. 1.6. Optimizarea poziționării frezei față de suprafața prelucrată.

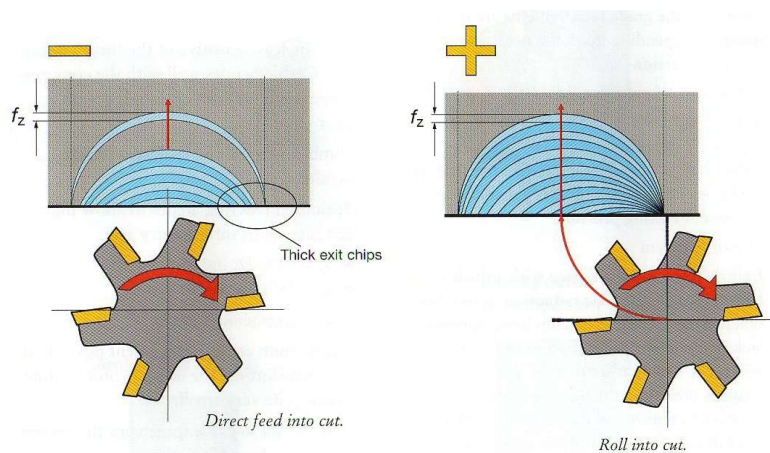


Fig. 1.7. Intrarea frezei în material la frezarea suprafețelor plane.

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

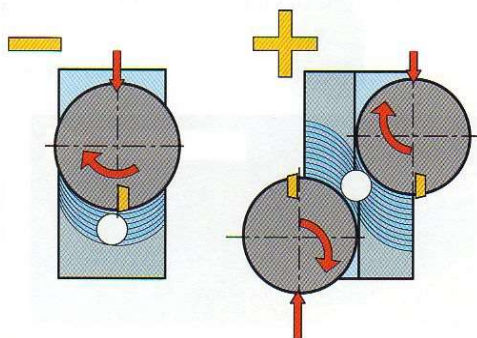


Fig. 1.8. Protejarea sculei la prelucrarea suprafețelor plane cu freze cilindro-frontale.

Se recomandă (Fig. 1.8) ca la ieșirea frezei din material grosimea așchiei să fie cât mai mică (altfel se reduce durabilitatea sculei sau se poate sparge plăcuța așchietoare).

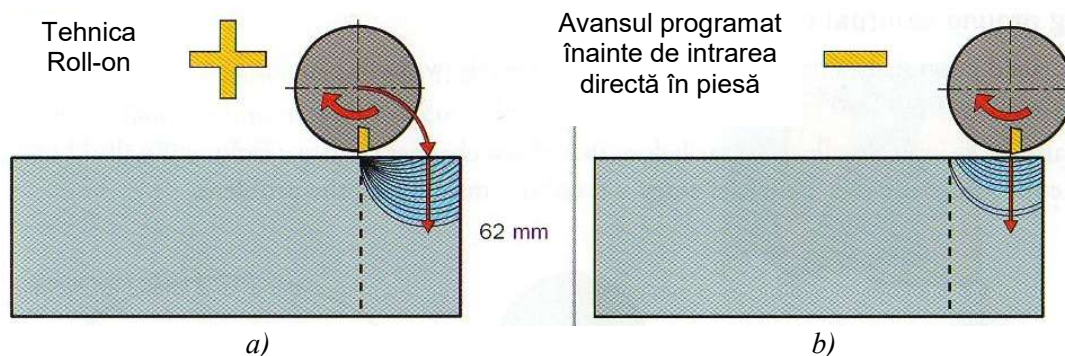
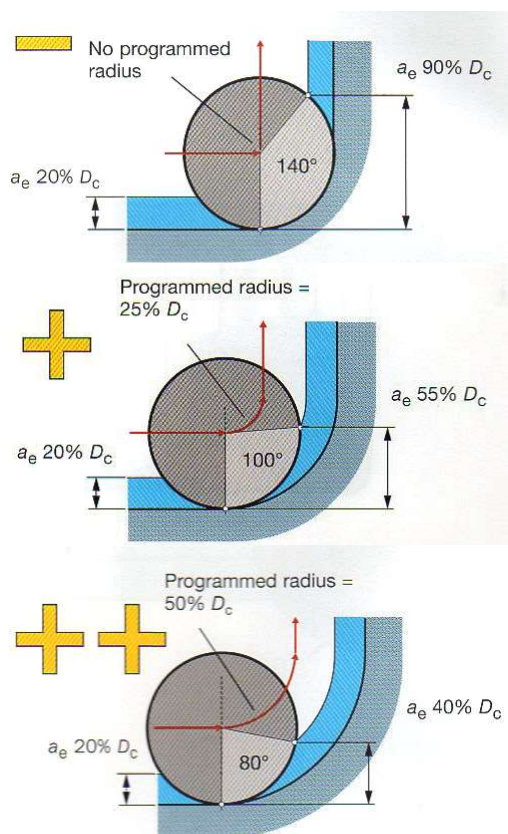


Fig. 1.9. Programarea intrării frezei prin tehnica "Roll-on".

Întotdeauna, la intrarea frezei în material și 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 depășește intrarea în material;
- 2) – Programarea unui avans circular (interpolare circulară) până la angajarea completă a sculei în material (atenție la sensul de rotație 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 vibrațiilor – cazul racordărilor interioare.

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

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

Pentru finisare, se recomandă $D_c \leq 1,5 \times \text{raza de racordare a piesei}$ (raza de racordare a piesei $\geq 66\% \cdot D_c$)

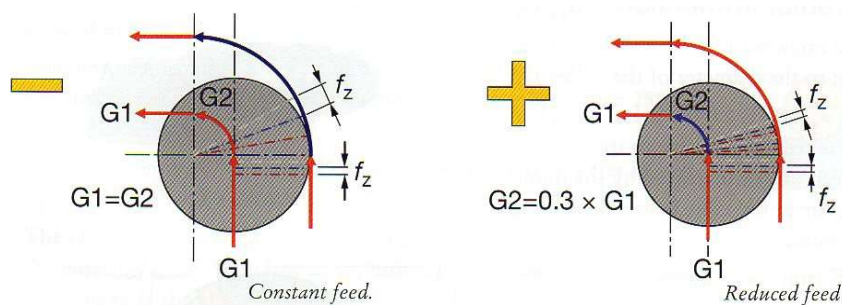


Fig. 1.11. Reducerea vitezei de avans pentru racordări interioare.

În cazul în care se prelucurează racordări interioare, se recomandă reducerea vitezei de avans atunci când se prelucurează 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 durabilități acceptabile a sculei (T), sau ca volum total de materialului îndepărtat pe durata T .

$$(5) Q_T = Q \cdot T$$

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

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

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

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

unde:

Q_T = volumul total de material îndepărtat pe durata T

[cm³]

T = durabilitatea sculei

[min]

Q = rata de îndepărtare a adaosului de prelucrare

[cm³/min]

w_f = viteza de avans

[mm/min]

a_p = adâncimea axială de așchiere

[mm]

a_e = adâncimea radială de așchiere

[mm]

$n_{aș}$ = turația arborelui principal (turația de așchiere)

[rot/min]

$v_{aș}$ = viteza de așchiere

[m/min]

D_c = diametrul sculei

[mm]

z_s = numărul de dinți ai sculei

f_z = avansul pe dinte

[mm]

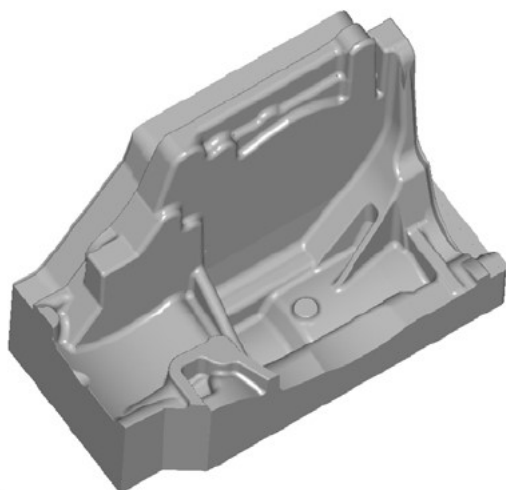
κ_r = unghiul de atac al sculei

[grade]

h_{ex} = grosimea așchiei

[mm]

În figura 1.12 sunt date două exemple de piese ce pot fi obținute pe centre de prelucrare prin frezare. Se pot obține suprafețe *plane sau cilindrice, elicoidale* – cu 1...3 axe CNC, sau oarecare (profilate, cu sau fără cunoașterea ecuațiilor matematice ce descriu suprafața teoretică) – cu 4...5 axe CNC; numărul maxim de axe comandate simultan pentru o mașină-unealtă este 5 (pentru prelucrarea cu o singură sculă).



a) matriță (parte componentă)



b) rotor

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

1.2 Caracteristici specifice mașinilor-unelte cu comandă numerică

Realizarea unei **mașini-unelte cu comandă numerică** nu presupune numai atașarea la mașina-unelte convențională a echipamentului de comandă numerică, ci este necesar să se intervină cu unele soluții constructive asupra acesteia, măsuri care să contribuie la creșterea performanțelor de precizie și productivitate ale mașinii.

Mașina-unelte cu comandă numerică trebuie să răspundă următoarelor cerințe:

- Reducerea la minimum posibil a forțelor de frecare între elementele cu mișcare relativă (lagăre, ghidaje, transmisie șurub-piuliță), ceea ce conduce la reducerea uzurii acestor elemente și, deci, a jocurilor dintre ele; aceasta determină păstrarea preciziei mișcării elementelor respective. Având în vedere necesitatea unor deplasări cu viteze mici a săniilor (la prelucrările de conturare), trebuie evitată apariția fenomenului de mișcare sacadată.
- Precizie ridicată a mișcărilor de translație și de rotație, ce se obține prin eliminarea jocurilor de montaj și realizarea unor prestrângeri.
- Deformații termice cât mai reduse, deformații ce determină modificarea poziției relative dintre sculă și piesă și, deci, eroare de prelucrare.
- Capacitate ridicată de amortizare a vibrațiilor, deci generarea de suprafețe cu o calitate superioară.
- Rigiditate ridicată a sistemului portant al mașinii-unelte, deci deformații elastice reduse.

Pentru a răspunde acestor cerințe, în construcția mașinii-unelte cu comandă numerică sunt prevăzute o serie de soluții ce nu se regăsesc la mașina-unelte convențională și anume:

- **Lăgăruirea arborilor principali** cu lagăre de rostogolire, hidrostactice, aerostactice sau magnetice, ceea ce conduce la creșterea preciziei mișcării de rotație, la creșterea coeficientului de amortizare a vibrațiilor, la creșterea rigidității lagărului și la reducerea încălzirii, deci reducerea deformațiilor termice ale subansamblului, deformații ce au pondere deosebită în balanța erorilor de prelucrare.

- **Utilizarea unor ghidaje de rostogolire și a unor ghidaje hidrostatice** având efecte asupra preciziei mișcării de translație, asupra coeficientului de amortizare a vibrațiilor, asupra reducerii încălzirii (prin micșorarea coeficientului de frecare) și asupra rigidității ghidajului.
- **Utilizarea transmisiei șurub conducător-piuliță cu bile cu recirculare, ori chiar a piulițelor hidrostatice**, având ca efect principal transmiterea fără joc a mișcării la sănii, ceea ce este foarte important în cazul mișcărilor de generare prin conturare, atunci când, în funcție de panta profilului piesei, au loc frecvente schimbări de sens ale mișcării de avans.
- **Utilizarea unor motoare de acționare cu turație reglabilă continuu**, în limite largi, reversibile (motoare de curent continuu, motoare asincrone comandate prin convertizoare de frecvență, motoare pas cu pas), ceea ce permite scurtarea lanțurilor cinematice de avans și deci creșterea 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 operații.

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

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

1. **Se înlătură necesitatea unor șabloane ori modele** utilizate în copierea clasică, ce se confecționează foarte greu, la costuri ridicate și executate într-un timp îndelungat, ceea ce face procedeul avantajos numai la producția de serie foarte mare;
2. **Programele în comandă numerică sunt stocate și transmise direct de la calculator** și au o densitate mare a informațiilor, ceea ce permite programarea numerică și prelucrarea automată a unor piese bazate pe procese tehnologice complexe, cu multe operații, ce nu se pot prelucra pe alte tipuri de mașini-unelte decât într-un timp foarte lung și cu un mare efort din partea operatorului mașinii;
3. **Programele de comandă numerică 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 producție modernă, flexibilă, cu adaptare rapidă la diversificarea produselor cerute de o piață internațională deosebit de dinamică;
4. **Comanda numerică asigură o flexibilitate maximă** a proceselor de fabricație în serii mici și mijlocii, coroborată cu obținerea unei productivități ridicate;
5. **Programele în comandă numerică înlătură posibilitatea apariției unor erori de reglare**, determinate de oboseala operatorilor umani, crescând prin aceasta calitatea pieselor prelucrate; mașinile cu comandă numerică permit optimizarea programelor de prelucrare și introducerea unor corecții în scopul îmbunătățirii preciziei de prelucrare;
6. **Utilizarea mașinilor cu comandă numerică permite îmbunătățirea organizării proceselor de fabricație**, putându-se realiza conducerea automată a întregului proces de fabricație, cu ajutorul unui calculator de proces;
7. Utilizarea unei ierarhii de calculatoare conduce la **posibilitatea automatizării** și a activităților ingineresti de proiectare și programare a prelucrării și de planificare și programare a fabricației; se poate ajunge la sistemele CIM (Computer Integrated

Manufacturing), în care toate activitățile sunt automatizate, iar transmiterea informațiilor se face direct, prin rețea de calculatoare, fără alt suport de informații;

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

Echipamentele de comandă numerică a mașinilor-unelte trebuie să asigure următoarele funcții de bază:

- realizarea unei traiectorii impuse a punctului de interacțiune sculă-piesă, cu o precizie ridicată;
- realizarea unor parametri optimi ai regimului de așchiere (viteza de așchiere, viteza de avans, adâncimea de așchiere);
- comanda și supravegherea desfășurării 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 mașinii-unelte, care realizează îndeplinirea acestor funcții, este prezentată în figura 1.13.

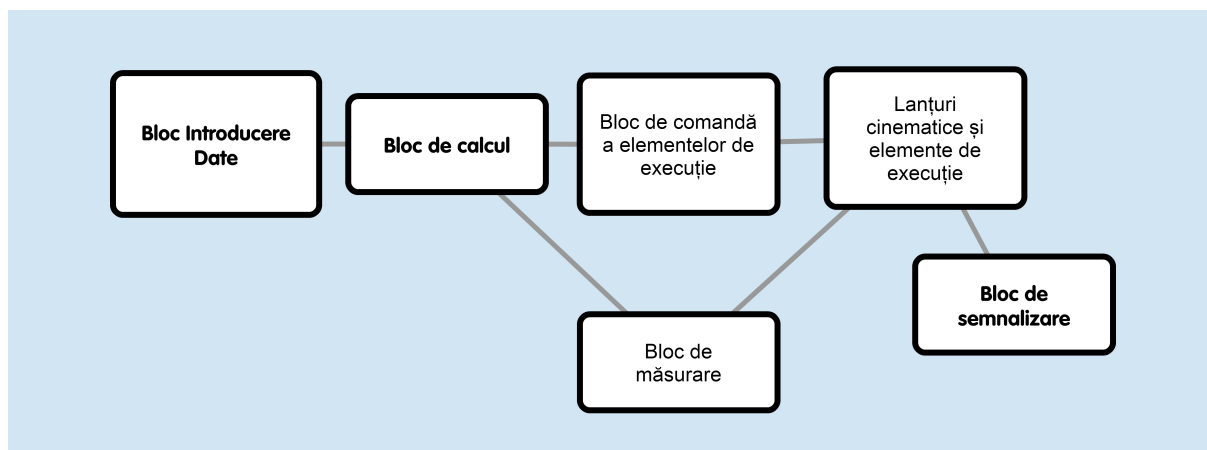


Fig. 1.13. Schema bloc a unui echipament de comandă numerică.

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

□ **posibilitatea de a introduce noi funcții CN fără modificări hardware**, atât prin modificarea sau completarea software-ului ulterior instalării echipamentului CNC, cât și prin integrarea interfeței cu mașina în structura CNC; aceasta din urmă oferind posibilități de modificare software a interfeței și ca atare o flexibilitate mult sporită a întregii configurații.

□ **posibilitatea de a introduce un număr mare de funcții speciale** prin facilități operaționale dependente de capacitatea memoriei fără creșterea complexității hardware (ex. stocare de subprograme pentru realizarea ciclurilor fixe; corecții și compensări de scule; calibrări de axe; capacitate mare de afișare - instrucțiuni/mesaje către operator; funcții 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 mașinii, cât și la realizarea altor funcțiuni cum ar fi: programarea automată a pieselor, supravegherea mașinilor, corecția programelor-piesă, funcții legate de organizarea și planificarea procesului de fabricație ș.a.

Sistemul DNC poate să înglobeze întreaga pregătire de fabricație: programarea tehnologiei pieselor, comanda prelucrării, întreținerea și inventarierea sculelor, transportarea și stocarea pieselor, etc.

Comenzile de deplasare - pentru realizarea mișcărilor de generare și de poziționare - sunt de trei categorii:

- *DE POZIȚIONARE* - realizează comanda mișcărilor auxiliare de apropiere și retragere rapidă

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

- *DE CONTURARE* - realizează comanda mișcărilor de generare complexe realizate simultan după cel puțin doua axe comandate, între care există dependențe cinematice riguroase.

Comenzile de poziționare și de prelucrare liniară se execută succesiv după direcția axelor de coordonate iar cele de conturare se execută simultan pe axe.

Comenzi numerice de poziționare

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

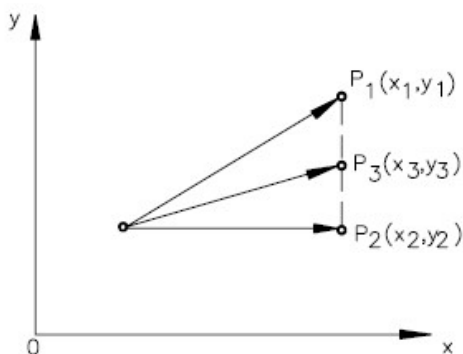
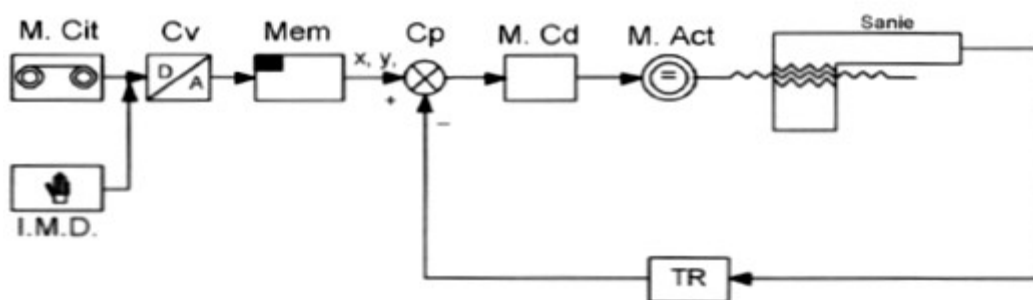


Fig.1.14. Deplasarea pentru poziționare.

Aceste tipuri de echipamente servesc la poziționarea unităților de lucru (exemplu: mașina de găurit în coordonate care, utilizând comanda numerică, poziționează 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 acționare; TR. - Traductor de poziție.

Fig.1.15. Schema bloc a ECN de poziționare.

Echipamente de comandă numerică de prelucrare liniară

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

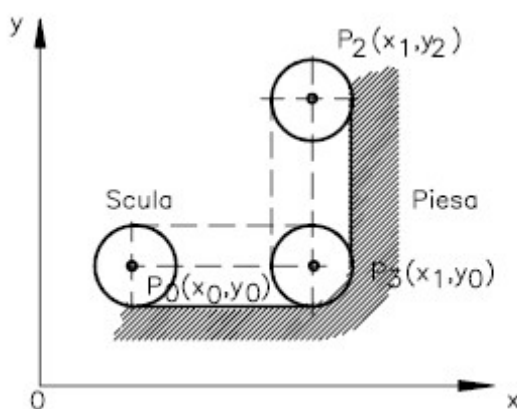


Fig.1.16. Mișcări de deplasare liniară, paralele cu axele de coordonate.

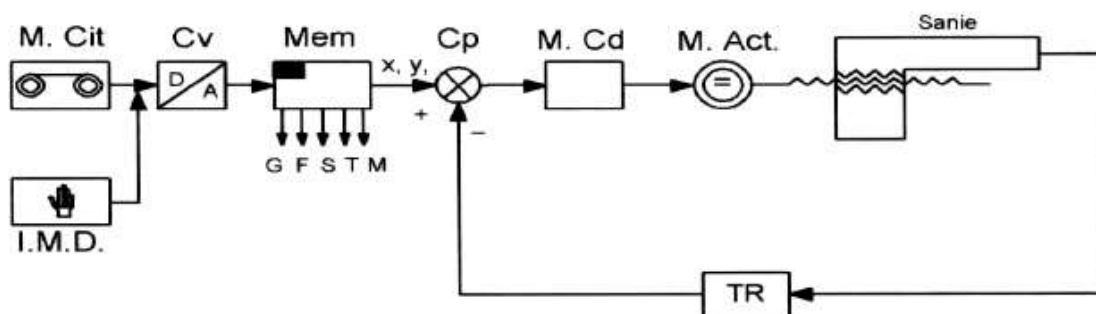


Fig.1.17. Schema bloc a ECN de prelucrare liniară.

Echipamente de comandă numerică de conturare

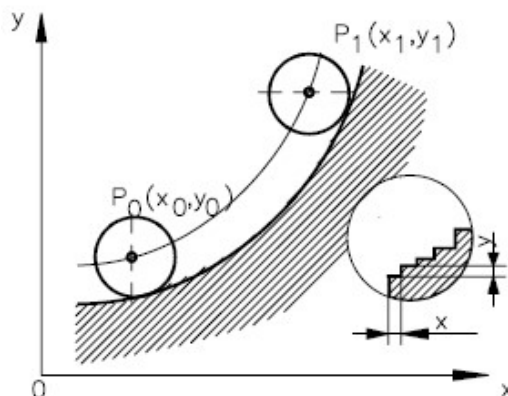


Fig. 1.18. Traiectoria sculei în cazul comenzilor numerice de conturare.

În cazul acestor echipamente, axele mașinii se pot deplasa simultan, dependența funcțională între deplasările pe diferite axe permite executarea unei traiectorii plane sau spațiale a punctului de interacțiune 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 aplicațiilor conturarea spațială se realizează în sistemul 2 și 1/2 dimensiuni, unde deplasarea pe cea de a treia axă se face secvențial, traiectoria sculei fiind situată întotdeauna într-un plan paralel cu planul format din două axe ale mașinii-unelte.

Informația de deplasare este predominantă și 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 componența lor un bloc denumit **interpolator**, cu ajutorul căruia echipamentul poate coordona mișcările pe două axe pentru a efectua interpolarea liniară sau circulară.

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

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

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

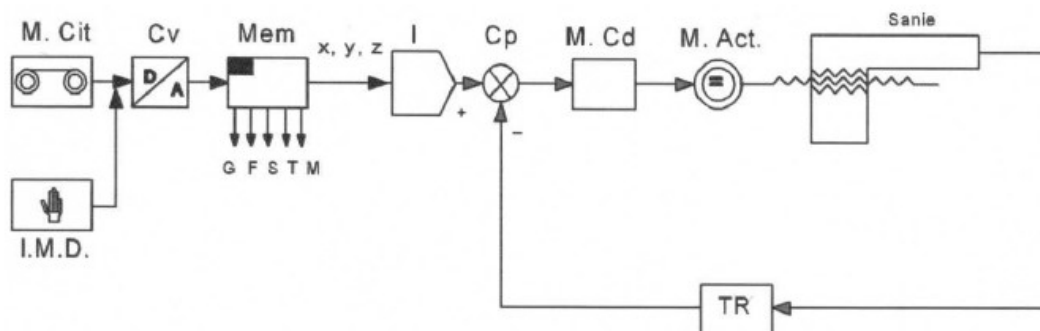


Fig. 1.19. Schema bloc a ECN de conturare.

Forma suprafețelor prelucrate rezultă prin combinarea cantitativă a deplasărilor pe fiecare din axele mașinii. Scula se află în tot timpul deplasărilor în contact cu piesa, viteza de așchiere $v_{aș}$ variază continuu, impunând ca mașina-unealtă să fie acționată cu motoare cu turație reglabilă.

Pentru prelucrarea după curbe spațiale 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 spațiu este mai aproape de alura programată a curbei.

Închiderea buclelor de poziție și de reglare a vitezelor de avans (și a vitezei principale de rotație pentru realizarea funcției de optimizare a regimului de așchiere ce însoțește conturarea) implică răspuns al mașinii în timp real.

Observație

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

Funcțiile ISO corespunzătoare sunt G17 (plan implicit XY), G18 și G19.

1.3 Materiale și 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
-Oțeluri 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 -Oțeluri carbon OL; OLC - Aluminii sau aliaje pe bază de aluminiu - Materiale compozite - Bronz, (Cu-Sn); Alamă (Cu-Zn)

Materialele moi nu se pot prelucra prin așchiere datorită imposibilității formării așchiei. Conform ISO, materialele se grupează astfel:

P – grupa materialelor de tip oțeluri

K - grupa materialelor casante (de ex: fonte)

M – pentru oțeluri inoxidabile

N – materiale neferoase

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

H – materiale călite, oțeluri extradure

Alegerea sculelor

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

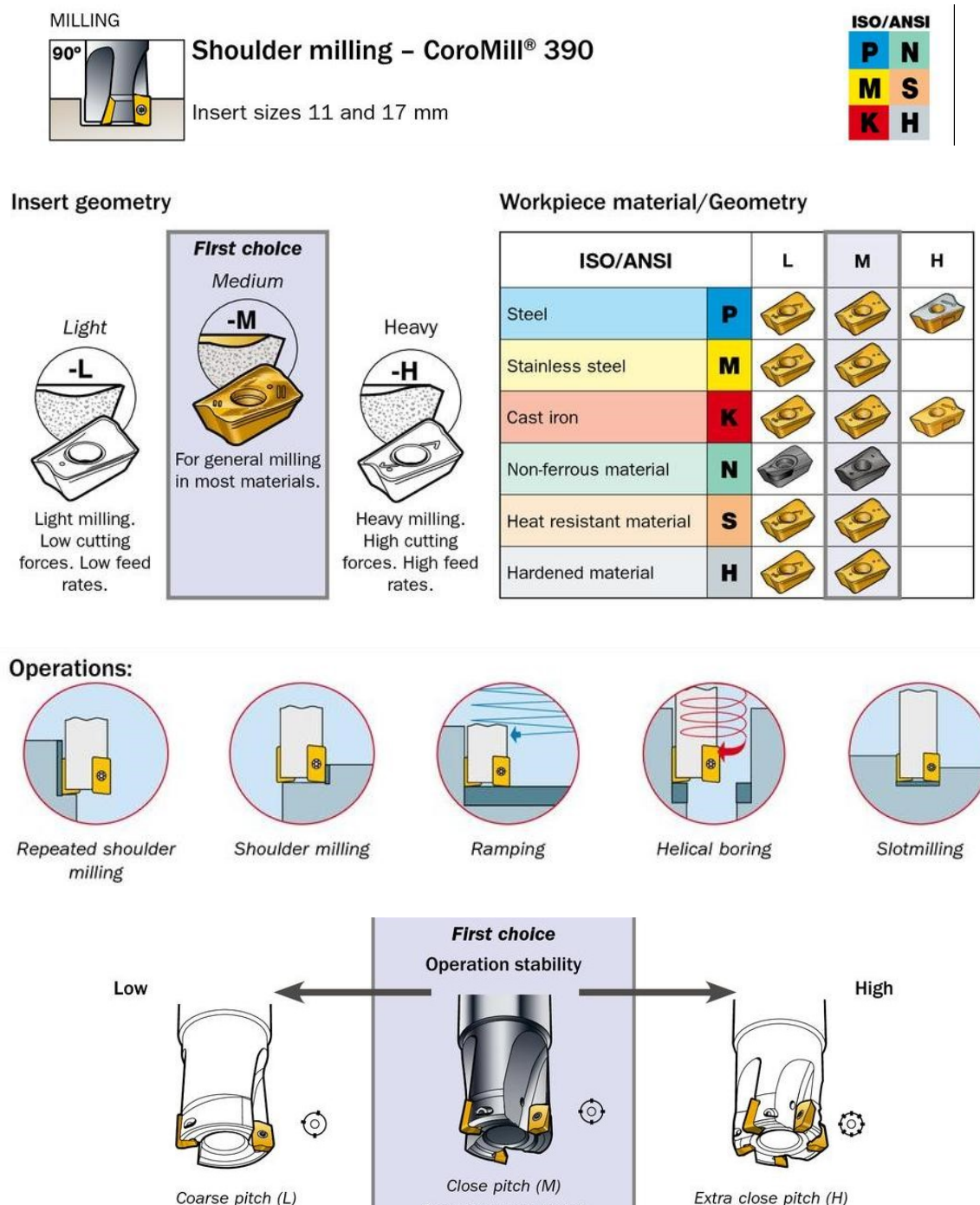


Fig. 1.20. Utilizare a sculei Coromill 390 (conform catalog Sandvik – Coromant)

În tabelul 1.3. se prezintă vitezele de aşchiere recomandate în cazul prelucrărilor convenționale și 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 (trat. 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 alumina	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 mașini-unelte cu comandă numerică

Structura elementară a unei mașini-unelte

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

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

Elementele mobile pot avea mișcări de translație (T) sau de rotație (R), pot fi suprapuse și sunt fixate pe un element de structură denumit batiu (B). În funcție de poziția elementelor mobile față de batiu, avem mai multe posibilități de a construi o mașină-unelte, variantele posibile sunt detaliate în tabelul 1.5. Ordinea în care sunt considerate elementele mobile este cea care începe cu mobilitatea piesei și ajunge să închidă fluxul mobilităților până la scula așchietoare.

Tabelul 1.5. Configurații structurale de mașini-unelte

3 axes	4 axes	5 axes
B T T T	R B T T T	R R B T T T
T B T T	R T B T T	R R T B T T
T T B T	R T T B T	R R T T B T
T T T B	R T T T B	R R T T T B
	B T T T R	R B T T T R
	T B T T R	R T B T T R
	T T B T R	R T T B T R
	T T T B R	R T T T B R
		B T T T R R
		T B T T R R
		T T B T R R
		T T T B R R

B=batiu; T = axa de translație; R=axa de rotație

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

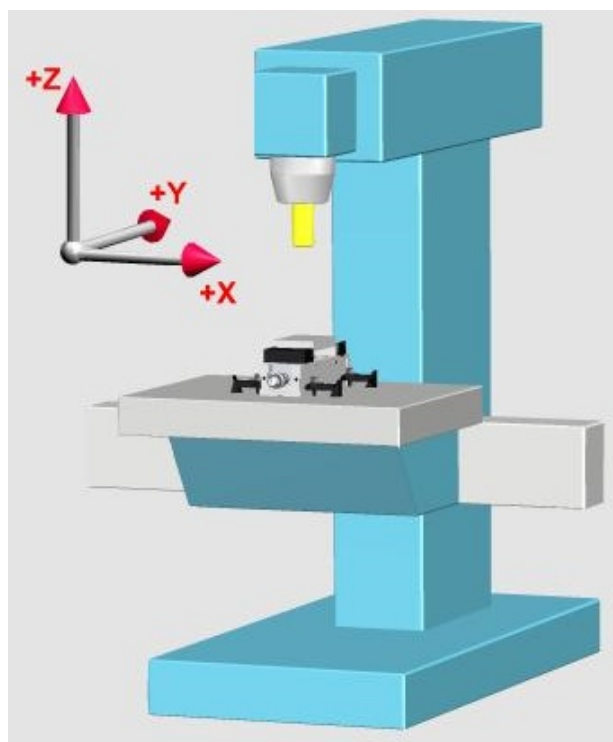
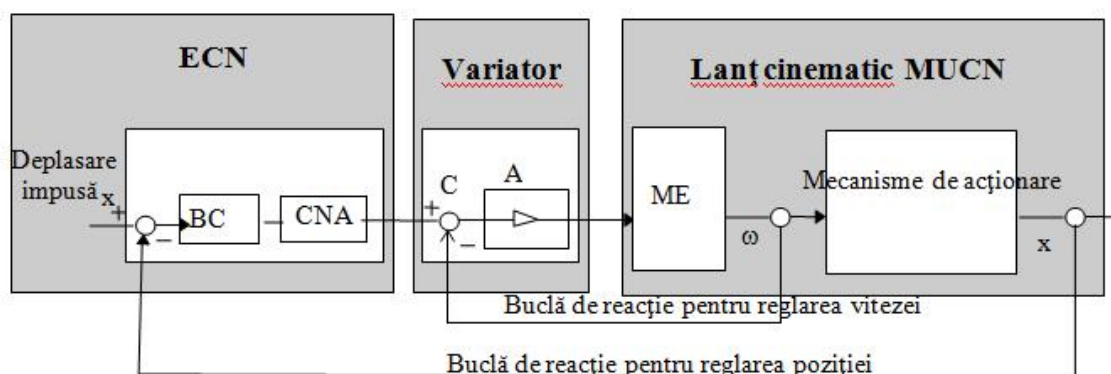


Fig. 1.21. Mașină-unealtă în configurație structurală TTBT.

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



ECN = Echipament de comandă numerică;
CNA=Convertor Numeric – Analogic;
C = Bloc comparator;

BC = Bloc de calcul
A = Bloc de amplificare
ME = Motor electric de acționare

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

Fiecare axă comandată numeric are un lanț cinematic de acționare distinct. Pentru coordonarea a două axe între ele (exemplu: obținerea unei traiectorii circulare prin combinarea a două mișcări de translație) este necesară existența unui bloc *interpolator* în echipamentul de comandă numerică. Interpolatoarele cele mai simple sunt cele care realizează coordonare de mișcare rectilinie (interpolatoare liniare) sau de mișcare pe traiectorie circulară (interpolatoare circulare).

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

1.5 Definirea axelor și mișcărilor la mașinile cu comandă numerică

La mașinile-unelte cu comandă numerică axele comandate se definesc în mod unic în scopul asigurării interschimbabilității datelor de programare. Principiile stabilite pentru definirea axelor comandate numeric sunt valabile pentru toate mașinile 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 și de a descrie mișcările ansamblurilor mașinii, astfel încât programatorul de comandă numerică să poată descrie operațiile de prelucrare fără a ține 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 mișcării unui ansamblu sau element al mașinii este acela care corespunde direcției de îndepărtare a sculei față de piesa așezată pe mașină. 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 față de piesă, iar literele cu semnul prim (') se utilizează pentru notarea mișcării piesei.

Definirea axei Z a mișcării

Axa Z este prima axă definită, este axă de translație și este paralelă cu axa arborelui principal sau se confundă cu aceasta. La mașinile de frezat, de găurit, de filetat, de alezat și frezat, de rectificat, arborele principal antrenează scula. În cazul strungurilor, mașinilor de copiat, precum și la alte mașini care generează suprafețe de revoluție, arborele principal antrenează piesa.

Dacă mașina nu are arbore principal, axa Z este perpendiculară pe suprafața de așezare a piesei. În situațiile în care mașina are mai mulți arbori principali, pentru definirea axei Z, se alege un singur arbore principal, de preferință arborele principal cu axa perpendiculară pe suprafața de așezare a piesei.

În cazurile în care axa arborelui principal poate să pivoteze și să ocupe o poziție paralelă numai cu o singură axă a triedrului de referință, această direcție reprezintă axa Z. Dacă axa arborelui principal poate să ocupe poziții paralele cu două sau trei axe ale triedrului de referință, se consideră ca axă Z axa care este perpendiculară pe suprafața de așezare 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 distanței dintre piesă și sculă.

Definirea axei X a mișcării

Axa X este a doua axă definită. În majoritatea cazurilor este o axă orizontală și paralelă cu suprafața de așezare a piesei. Această axă reprezintă axa principală de mișcare în planul în care se realizează prinderea piesei sau a sculei. Pentru mașinile de rabotat, caz în care nu se rotesc nici piesa nici scula, axa X de mișcare este paralelă cu direcția principală de așchiere, iar sensul pozitiv corespunde cu sensul de așchiere.

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

La mașinile de frezat se desprind două situații:

- 1 - pentru mașinile cu arbore principal orizontal (axa Z este orizontală), sensul pozitiv al axei X este spre dreapta, când se privește dinspre arborele principal către piesă;
- 2 - pentru mașinile cu arbore principal vertical (axa Z este verticală), sensul pozitiv al axei X este spre dreapta considerând următoarele aspecte:
 - la mașinile cu un singur montant se privește dinspre arborele principal către montant;
 - la mașinile cu portal se privește dinspre arborele principal către montantul din stânga al portalului.

Definirea axei Y a mișcării

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

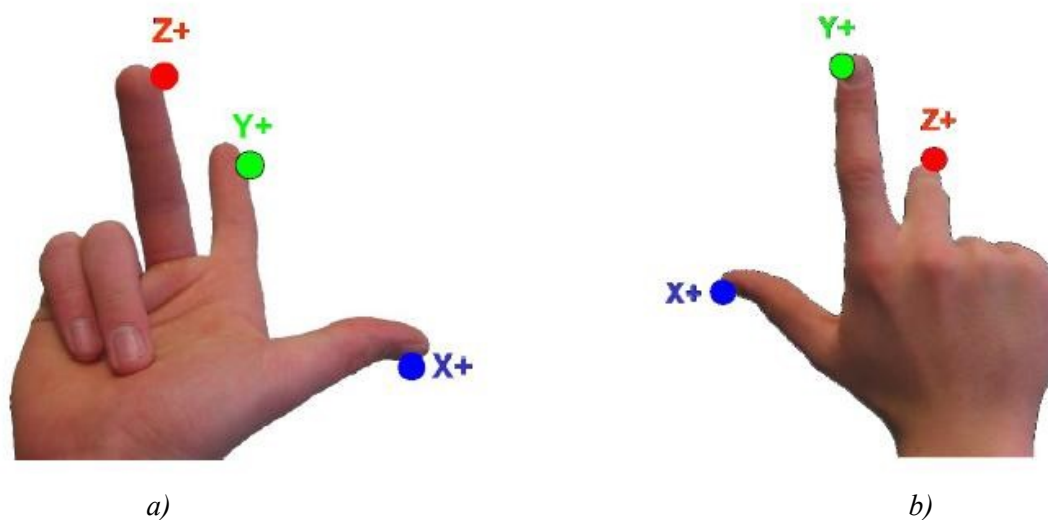


Fig. 1.23. Definirea axei Y în cazul unei mașini-unelte cu arbore principal vertical (a) sau orizontal (b)

1.5.1 Mișcări de rotație A, B, și C comandate numeric

A, B și C sunt primele axe de rotație comandate numeric și reprezintă mișcările efectuate în jurul unor axe paralele cu X, respectiv cu Y și cu Z.

Sensurile pozitive ale axelor de mișcare după A, B și C corespund cu sensul de rotație al unui șurub dreapta, care determină deplasarea șurubului în direcția +X, respectiv +Y și +Z.

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

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

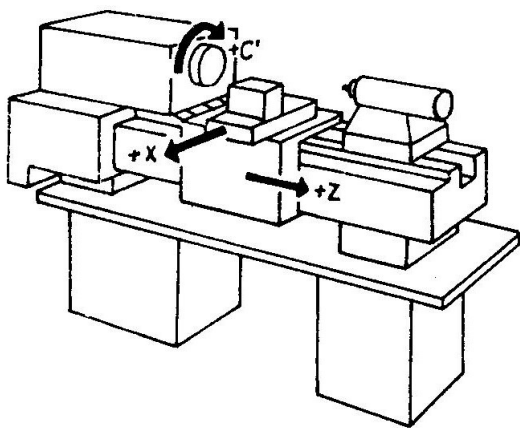


Fig. 1.24. Strung normal cu comandă numerică.

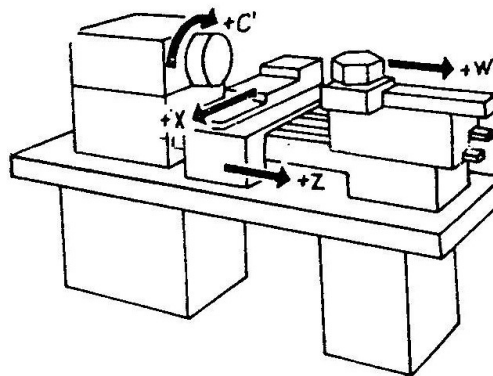


Fig. 1.25. Strung revolver.

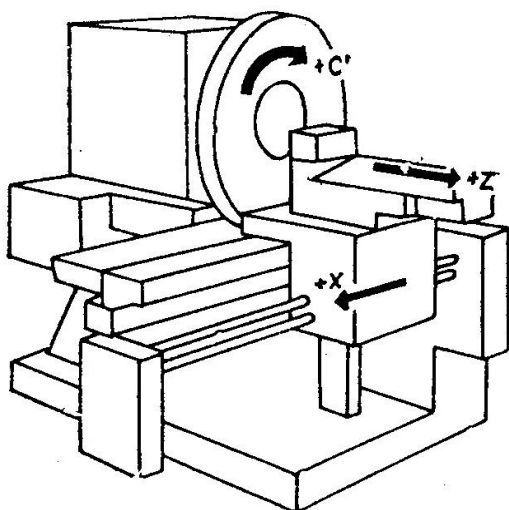


Fig. 1.26. Strung frontal.

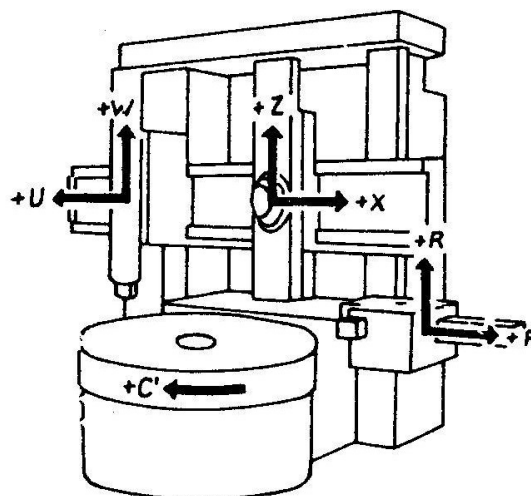


Fig. 1.27. Strung carusel.

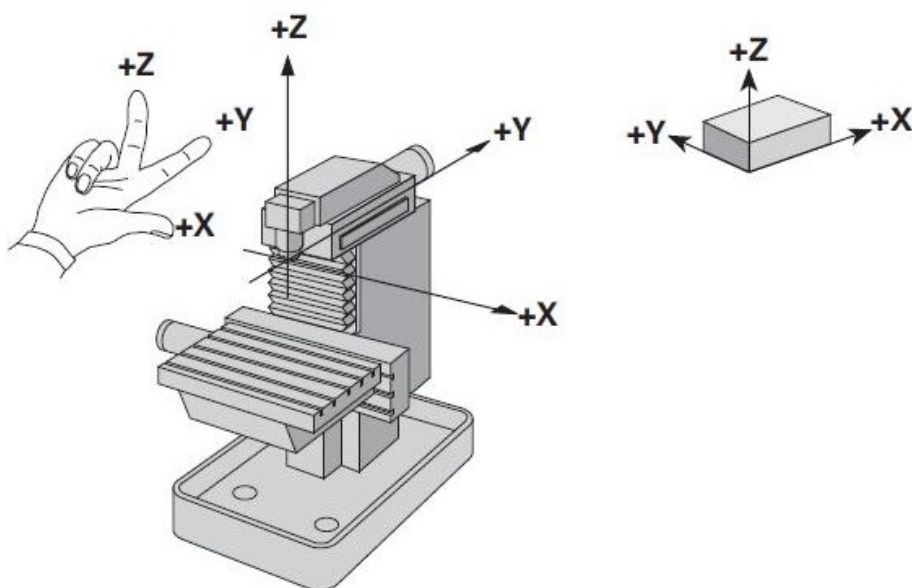


Fig. 1.28. Mașină de frezat cu 3 axe CNC (X, Y, Z).

Programatorul consideră întotdeauna faptul că deplasările aparțin numai sculei.

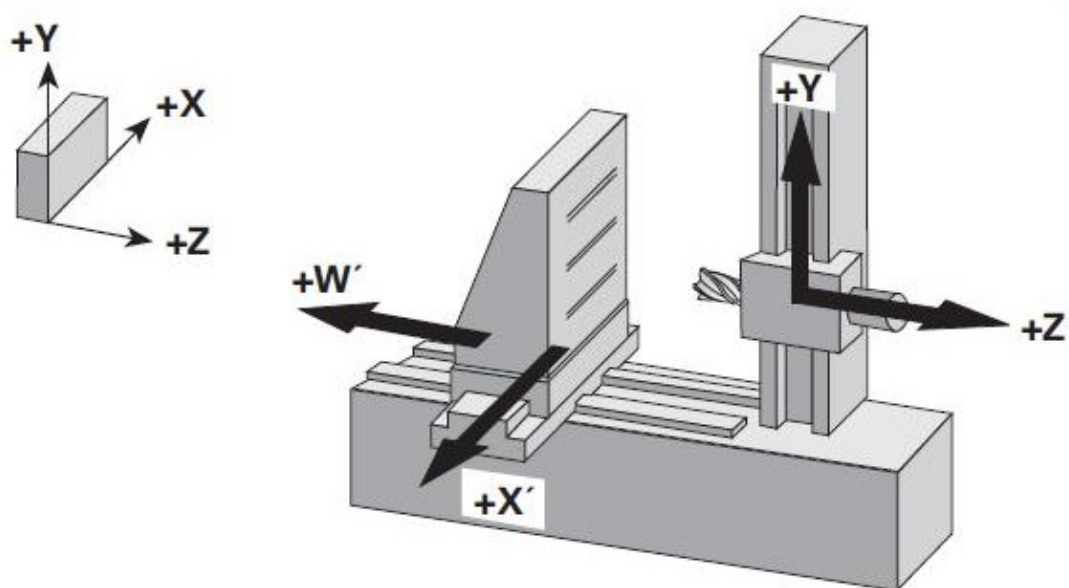


Fig. 1.29. Mașină de alezat și frezat cu 3+1 axe CNC ($Z, X, Y+W$).

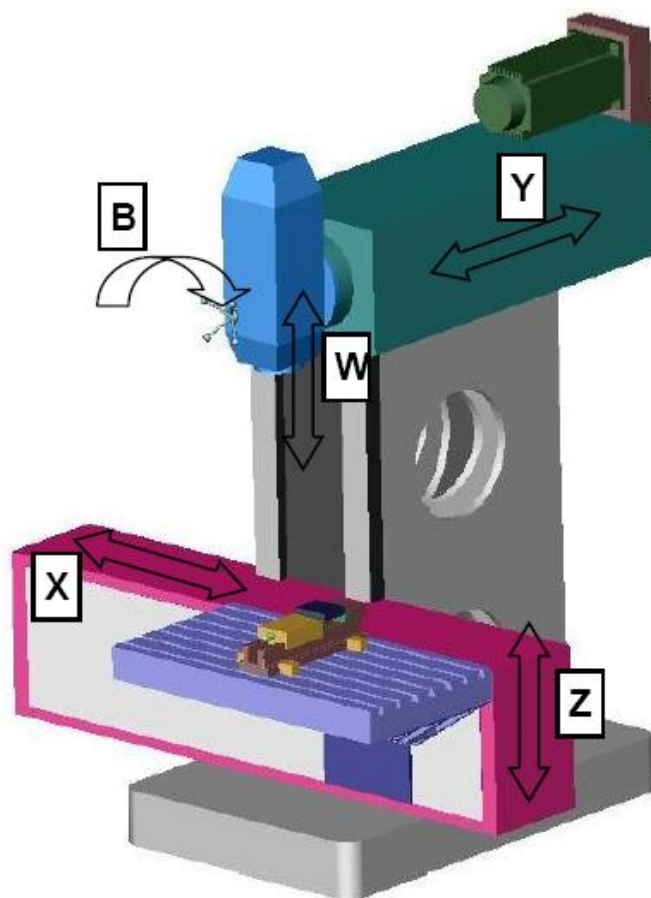


Fig. 1.30. Mașină de frezat cu 4+1 axe CNC ($Z, X, Y, B+W$).

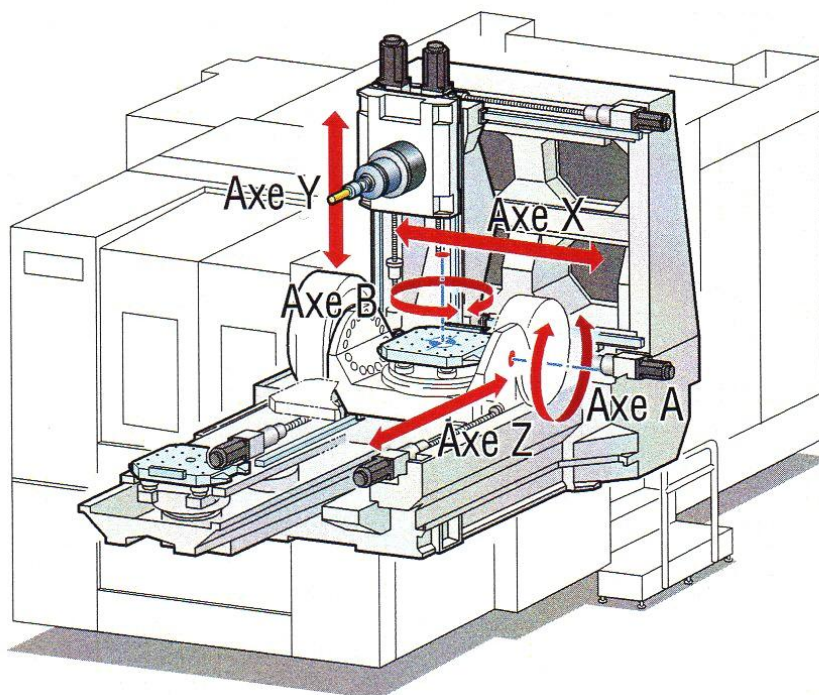
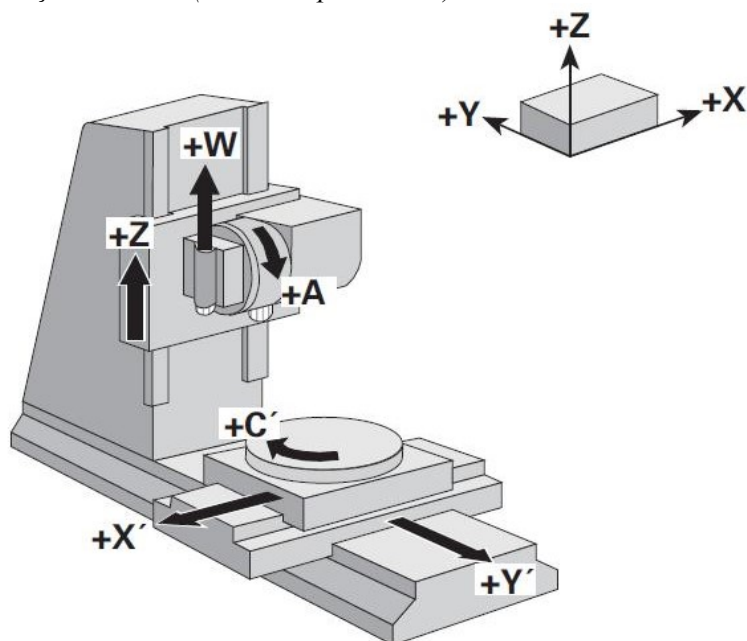


Fig. 1.31. Mașină-unelte (centru de prelucrare) Mori Seiki cu 5 axe CNC (Z, X, Y, A, B).



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

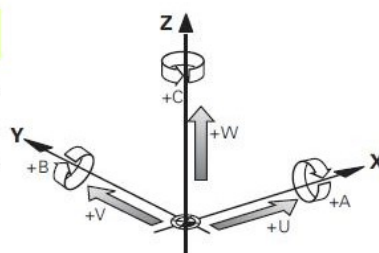


Fig. 1.32. Centru de prelucrare prin frezare cu 5 + 1 axe CNC (Z,X,Y,A,C + W)

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