

Sever-Adrian RADU

Suport de curs

TEHNOLOGII DE FABRICAȚIE II

UTPRESS

Cluj-Napoca, 2019

ISBN 978-606-737-369-1



Editura U.T.PRESS
Str.Observatorului nr. 34
C.P.42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof. Dr. Ing. Mircea Ancău
Conf. Dr. Ing. Domnița Frățilă

Copyright © 2019 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-369-1



CUPRINS

Cap. 1 Procese tehnologice de prelucrare mecanică

1.1 Procesul tehnologic de strunjire;

1.1.1 Dispozitive de fixare a pieselor folosite la strunjire;

1.1.2 Dispozitive de fixare a cuțitelor de strung;

1.1.3 Productivitatea operației de strunjire;

1.2 Procesul tehnologic de frezare;

1.2.1 Dispozitive de fixare a pieselor folosite la frezare;

1.2.2 Dispozitive de fixare a frezelor;

1.2.3 Productivitatea operației de frezare;

1.2.4 Tipuri de freze;

1.3 Procesul tehnologic de broșare;

1.3.1 Materiale folosite la executarea broșelor;

1.3.2 Productivitatea operației de broșare;



1.4 Procesul tehnologic de rabotare;

1.4.1 Fixarea pieselor folosite la rabotare;

1.4.2 Fixarea cuțitelor pe mașina de rabotat;

1.4.3 Materialele din care se confecționează cuțitele de rabotat;

1.4.4 Productivitatea operației de rabotare;

1.5 Procesul tehnologic de prelucrare a alezajelor;

1.5.1 Clasificarea burghiilor;

1.5.2 Productivitatea operației de burghiere;

1.5.3 Alezarea;

1.5.4 Lărgirea alezajelor;

1.5.5 Adâncirea găurilor;

1.5.6 Lamarea;



1.6 Procesul tehnologic de rectificare;

1.6.1 Rectificarea cilindrică interioară cu avans longitudinal din mai multe treceri;

1.6.2. Rectificarea cilindrică interioară cu avans transversal;

1.6.3 Rectificarea cilindrică interioară planetară;

1.6.4 Rectificarea cilindrică interioară fără centre;

1.6.5 Dispozitive de prindere a pieselor la rectificarea cilindrică interioară;

1.6.6 Rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal din mai multe treceri;

1.6.7 Rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal dintr-o trecere;

1.6.8 Rectificarea cilindrică exterioară cu avans transversal;

1.6.9 Rectificarea pragurilor;

1.6.10 Rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal fără centre;

1.6.11 Scule abrazive folosite la rectificare;



1.6.12 Montarea pietrelor abrazive;

1.6.13 Lepuirea;

1.6.14 Honuirea;

Cap. 2 Prelucrarea roților dințate

2.1 Degroșarea roților dințate;

2.2 Danturarea prin copiere cu freză disc-modul și freză deget-modul;

2.3 Frezarea danturilor cilindrice prin rulare;

2.4 Finisarea roților dințate;

2.5 Procedeeul Orcutt;


2.6. Procedeeul Sfedr;

2.7 Procedeeul Shaudt;

2.8 Procedeeul Nilles – varianta standard;


2.9 Procedeeul Pratt;

2.10 Procedeeul Kolb;

- 
- 2.11 Schema de rectificare MAAG 15° ;
 - 2.12 Schema de rectificare MAAG 0° ;
 - 2.13 Procedeul Reishauer;
 - 2.14 Procedeul Less Bradner;
 - 2.15 Șeveruirea roților dințate;

Cap. 3 Tehnologii neconvenționale

- 3.1 Eroziunea electrică EDM;
- 3.2 Tăierea prin electro-eroziune cu fir (EDWC);
- 3.3 Tehnologii de prelucrare cu ultrasunete (USM);
- 3.4 Prelucrarea electro-chimică (ECM);
- 3.5 Debavurarea electro-chimică (ECD);
- 3.6 Rectificarea electro-chimică (ECG);
- 3.7 Prelucrări cu laser (LBM);

- 
- 3.8 Prelucrări cu fascicol de electroni (EBM);
 - 3.9 Prelucrarea cu jet de apă (WJC);
 - 3.10 Prelucrarea cu jet abraziv (AJM);
 - 3.11 Stereolitografia (SLA);
 - 3.12 Stereolitografia strat cu strat (SGC);
 - 3.13 Fabricarea pieselor stratificate (LOM);
 - 3.14 Fabricarea prin depunere de material topit (FDM);
 - 3.15 Tipărirea tridimensională (3D Printing);
 - 3.16 Sinterizarea selectiva cu laser (SLS);
 - 3.17 Topirea selectiva cu laser (SLM).



Cap. 4 Tehnologii de sudare

- 4.1 Clasificarea procedeeelor de sudare;
- 4.2 Sudarea cu arc electric și electrod metalic învelit;
- 4.3 Sudarea cu arc electric sub strat de flux;
- 4.4 Sudarea în mediu de gaz protector;
- 4.5 Sudarea cu electrod de wolfram (WIG);
- 4.6 Sudarea MIG/MAG cu sârmă electrod fuzibilă;
- 4.7 Sudarea cu plasmă;
- 4.8 Sudarea prin puncte;
- 4.9 Sudarea cu flacără oxiacetilenică.



Cap. 1 Procese tehnologice de prelucrare mecanică

1.1 Procesul tehnologic de strunjire

Strunjirea – este operația tehnologică de aşchiere utilizată la realizarea suprafețelor cilindrice, conice sau profilate, interioare sau exterioare.

D.p.d.v constructiv la strungul universal distingem următoarele părți principale:

- ❖ Păpușa fixă;
- ❖ Batiul;
- ❖ Păpușa mobilă;
- ❖ Sania longitudinală.

Elementele geometrice ale cuțitului:

A – partea activă a cuțitului cu care se realizează detașarea așchiilor;

B – partea de prindere a cuțitului în dispozitivul portcuțit;

1 – fața de degajare, pe care alunecă așchiile în timpul procesului de prelucrare;

2 – tăișul secundar;

3 – fața de așezare secundară;

4 – vârful cuțitului;

5 – fața de așezare principală;

6 – tăișul principal;

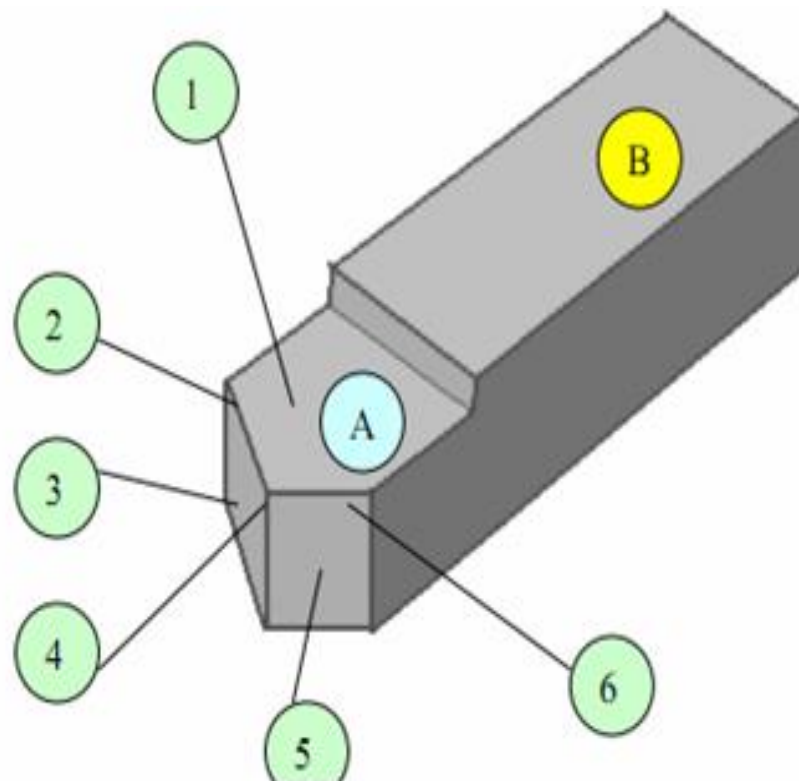


Fig. 1. Elementele geometrice ale cuțitului de strung[www.sli]

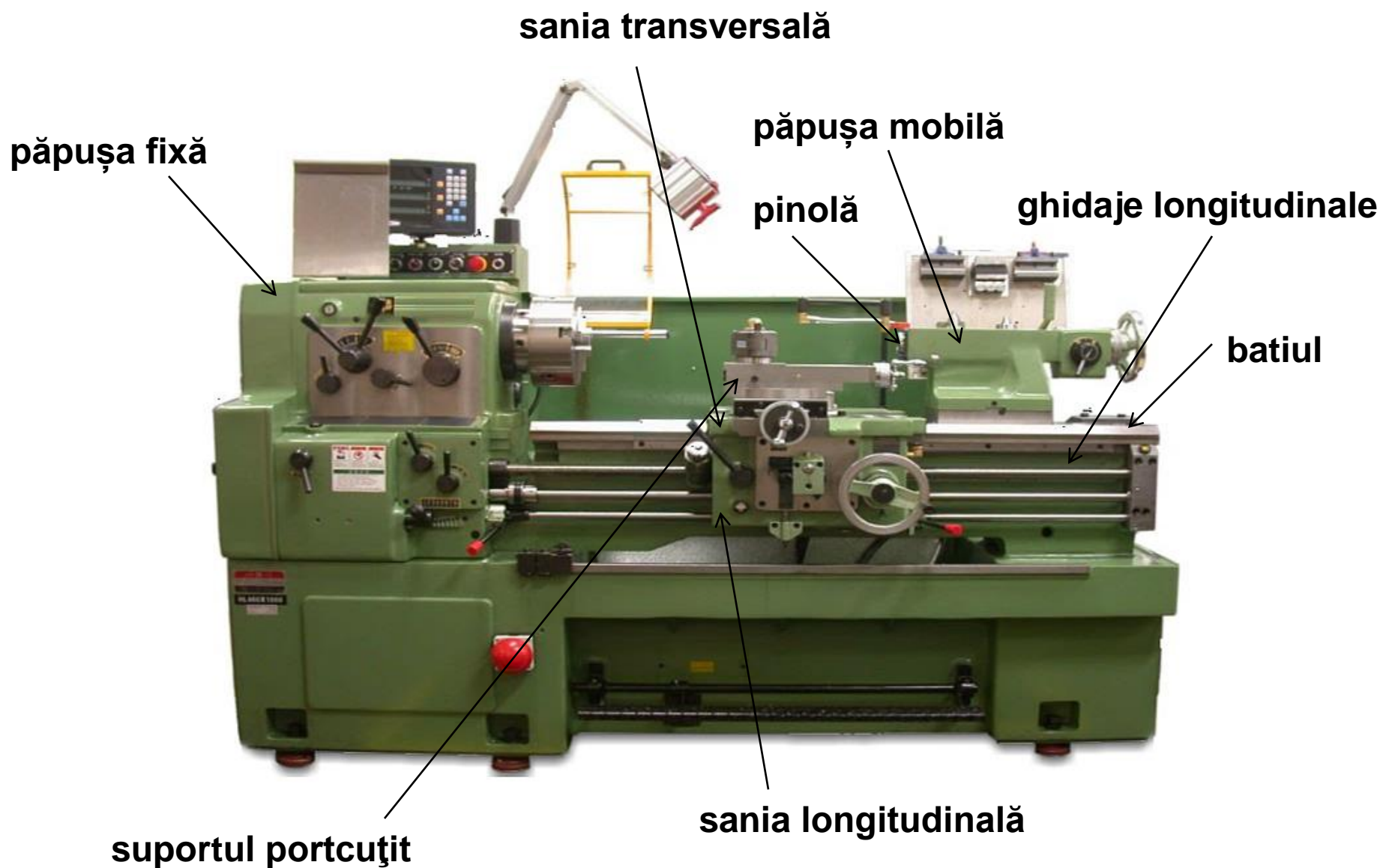


Fig. 2. Strungul universal [FRA 11]

1.1.1 Dispozitive de fixare a pieselor folosite la strunjire

Piesa ce urmează a se prelucra se fixează într-un dispozitiv, ținând seama de forma și de dimensiunile ei. Cel mai des se folosește sistemul de fixare al pieselor în mandrina universală.

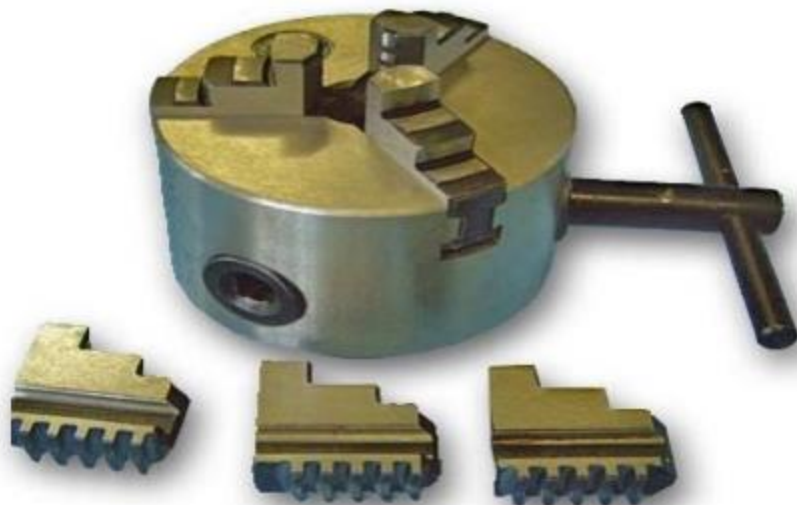


Fig. 3. Dispozitivul universal [TAN 12]

Universalul este un dispozitiv de fixare prevăzut, de obicei, cu trei bacuri, care realizează simultan centrarea și strângerea pieselor, având diametre într-o gamă relativ largă. Cele trei bacuri se deplasează în canalele din corpul universalului, fiind antrenate de filetul plan de pe fața frontală a roții dințate care, la rândul ei, este antrenată de pinionul conic.

Universalul poate realiza centrarea și strângerea piesei cu bacurile așezate în poziție normală pentru piese de diametru mic sau întoarsă pentru piese scurte, cu diametrul mare. Universalul este montat pe capătul arborelui principal prin înșurubare, avînd un sistem de asigurare.



Fig. 4. Tipuri de universal: cu 3 bacuri, cu 4 bacuri și cu 2 bacuri [TAN 12]

Pentru prinderea pieselor cu secțiune pătrată se utilizează universale cu patru bacuri, acționate simultan.

Piesele cu lungime relativ mare se prelucrează între vârfuri. Așezarea și centrarea piesei se execută cu ajutorul vârfurilor, fixate în arborele principal, și respectiv păpușa mobilă. Strângerea pe cele două conuri se realizează prin deplasarea spre stânga a pinolei. Antrenarea în mișcare de rotație se face cu ajutorul unei flanșe, montată pe capătul filetat al arborelui principal. Flanșa este prevăzută cu un bolț de antrenare cu ajutorul căruia pune în mișcare inima de antrenare fixată cu un șurub pe piesa. În alte cazuri, flanșa este prevăzută cu un canal în care intră capătul încovoiat al inimii de antrenare .



Fig. 5. Vârf de centrare și fixare [TAN 12]



Fig. 6. Inima de antrenare [TAN 12]

Pentru piesele tubulare, care urmează a fi prelucrate la exterior, pentru prindere se utilizează dornurile. Dornul de construcție rigidă servește la centrarea și strângerea piesei cu ajutorul șaibei și a piuliței. Dornul astfel montat se prinde în universal sau se așează între vârfuri, în funcție de lungimea piesei de prelucrat. Pentru prelucrările de finisare la care centrarea piesei trebuie făcută cu precizie degajării interioare a dornului sau se utilizează bucșe elastice crestate pe generatoare.



Fig. 7. Fixarea piesei pe dorn [TAN 12]



Fig. 8. Bucșă elastic [TAN 12]

1.1.2 Dispozitive de fixare a cuțitelor de strung

Dintre dispozitivele de prindere a sculelor pe strung, cele mai răspândite sunt suporturile portcuțit, de diferite construcții: cu placă sau cu patru poziții. Portcuțitul cu patru poziții intră în dotarea strungului normal și permite fixarea a patru scule. Aducerea și fixarea sculei în poziția de lucru se realizează prin rotirea suportului portcuțit cu ajutorul manetei 1.

Dacă rigiditatea pieselor este prea mică, acestea se pot sprijini în timpul prelucrării cu ajutorul lunetelor mobile, care se fixează pe căruciorul strungului, sau cu ajutorul lunetelor fixe, care se fixează pe batiu.

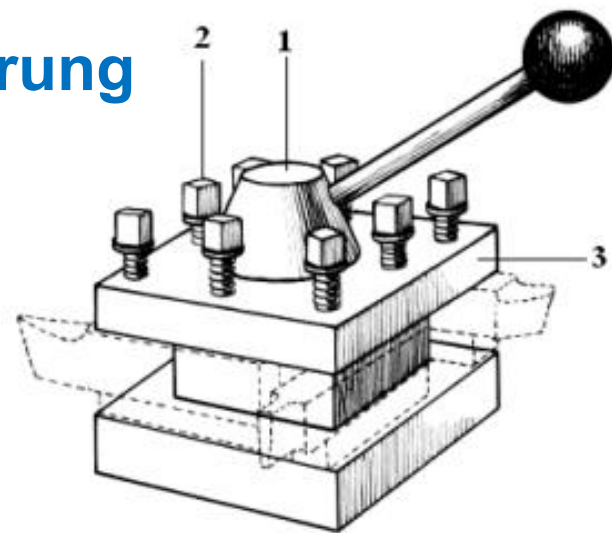
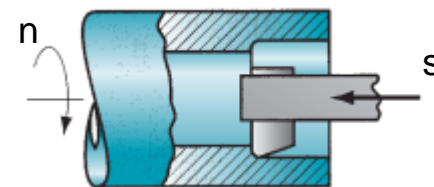
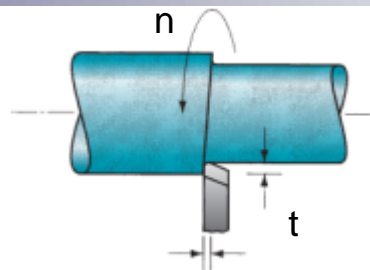


Fig. 9. Dispozitivul portcuțit [TAN 12]

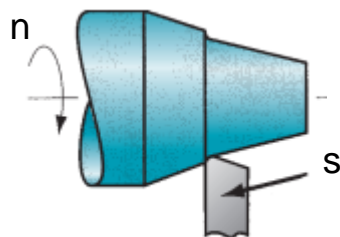


Fig. 10. Lunete [TAN 12]

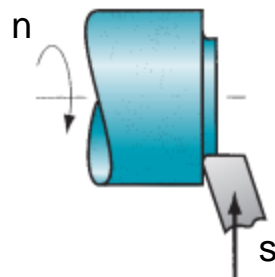
**Strunjirea longitudinală
exterioară și interioară**



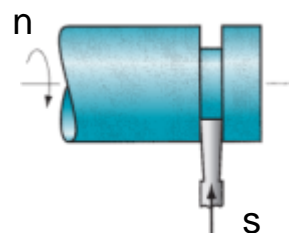
Strunjirea conică



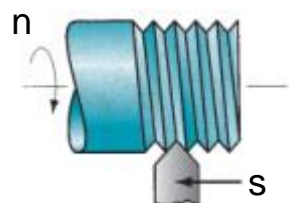
Strunjirea frontală



Strunjirea de degajare



Strunjirea filetelor



Randarea

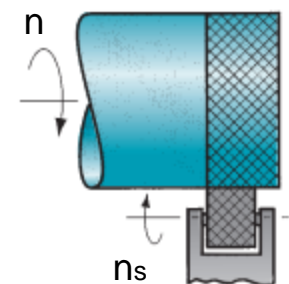


Fig. 11. Tipuri de prelucrări realizate pe strung [GRO 10]

1.1.3 Productivitatea operației de strunjire este notată cu Q și se exprimă ca raportul dintre volumul de material îndepărtat sub formă de așchii și timpul de bază.

$$Q = \frac{V_a}{t_b} \quad (mm^3/min) \quad (1.1)$$

În cazul strunjirii cilindrice exterioare, timpul de bază se exprimă cu relația:

$$t_b = \frac{L}{s \cdot n} \quad (min) \quad (1.2)$$

Viteza de așchiere se calculează cu relația:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (m/min) \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (rot/min) \quad (1.3)$$

Volumul de aşchii îndepărtat în timpul operaţiei de strunjire pe lungimea L este:

$$V_a = \frac{(\pi \cdot D^2 - \pi \cdot d^2) \cdot L}{4} \quad (1.4)$$

Pe baza rel. 1.1, 1.3 si 1.4 se obtine:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot L}{4} \cdot \frac{s \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \frac{1000 \cdot s \cdot v}{D} \quad (1.5)$$

Dacă desfacem

$$\frac{(D^2 - d^2)}{4} = \frac{D + d}{2} \cdot \frac{D - d}{2} \quad (1.6)$$

Şi considerăm

$$t = \frac{D - d}{2} \quad \text{aproximăm} \quad \frac{D + d}{2} \approx \frac{2 \cdot D}{2} = D \quad (1.7)$$

Relația productivității în cazul strunjirii longitudinale este:

$$Q = t \cdot D \cdot \frac{1000 \cdot v \cdot s}{D} = 1000 \cdot v \cdot s \cdot t \quad (1.8)$$

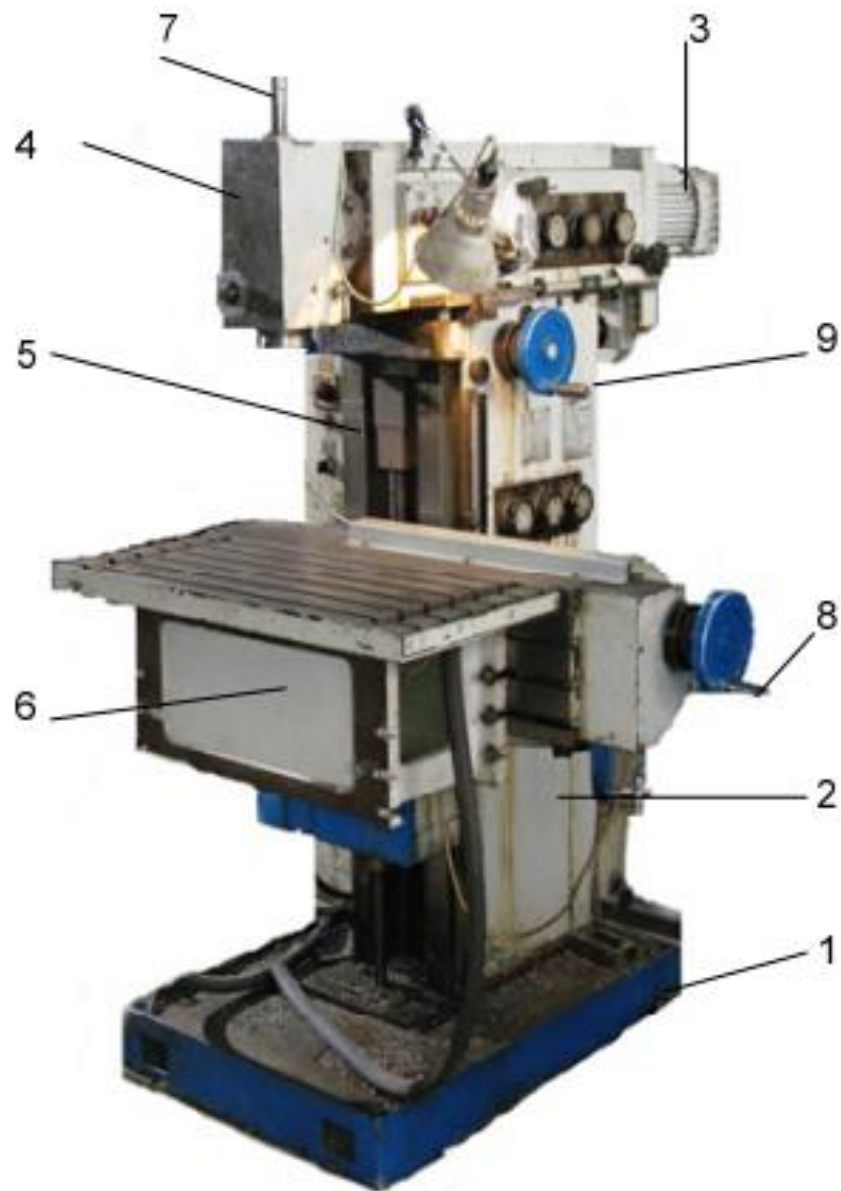
Relația productivității în cazul strunjirii frontale este, relație la care am ajuns ținând cont de faptul că lungimea $L=D/2$:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t}{4} \cdot \frac{2 \cdot s \cdot n}{D} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \cdot \frac{1000 \cdot s \cdot t}{2} = 500 \cdot v \cdot s \cdot t \quad (1.9)$$

1.2 Procesul tehnologic de frezare

Frezarea: este un procedeu de prelucrare prin aşchiere în care suprafaţa piesei este generată progresiv, prin înlăturarea surplusului de material sub forma de aşchii. Freza este o sculă aşchietoare cu mai multe tăişuri, pentru prelucrarea suprafeţelor plane şi profilate, a canalelor de diferite forme etc. În cazul frezării, mişcarea principală de aşchiere este executată de sculă, iar mişcarea de avans de piesa de prelucrat (mai rar de sculă). Regimul de aşchiere la frezare este caracterizat de:

- ❖ adâncimea de aşchiere(t);
- ❖ avansul de aşchiere(s);
- ❖ viteza de aşchiere(v).



- 1 – placă de bază
- 2 – batiu
- 3 – motor
- 4 – cap de frezat
- 5 – ghidaje frontale
- 6 – masa verticală
- 7 – arbore principal
- 8, 9 - manete

Fig. 12. Mașină de frezat FUS [FRA 11]

Mișcarea principală de așchiere se realizează cu viteza de așchiere v . Mărimea vitezei de așchiere se poate determina cu ajutorul unor relații experimentale sau se alege din normative în funcție de:

- ❖ schema de lucru adoptată;
- ❖ natura și materialul sculei;
- ❖ materialul de prelucrat .

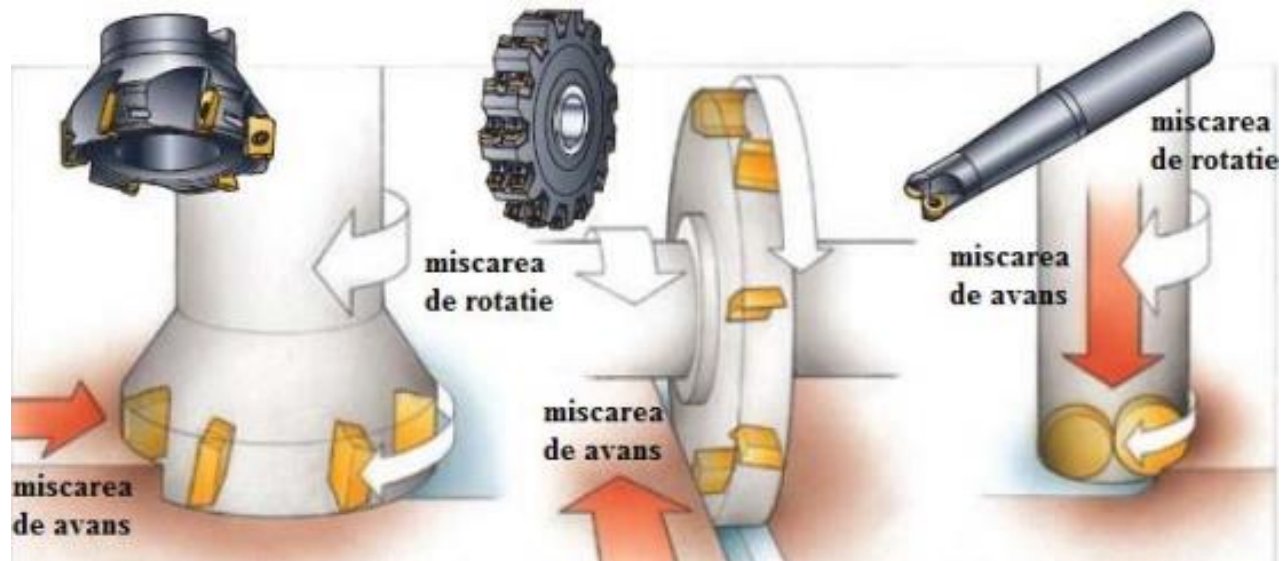
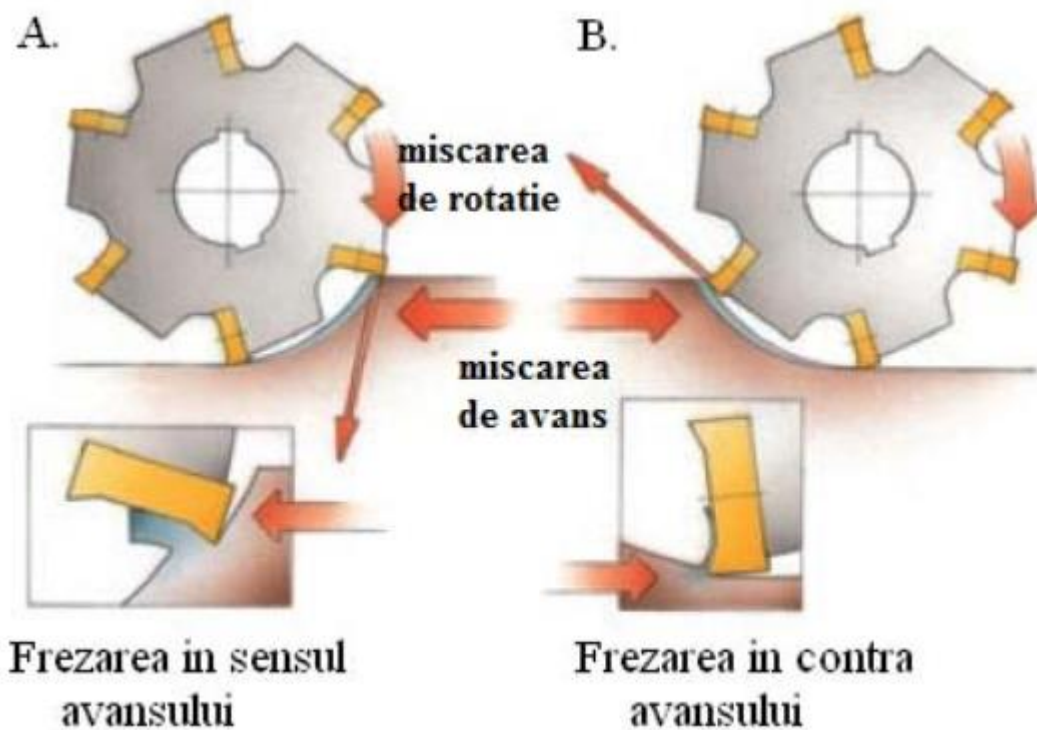


Fig. 13. Mișcările necesare în procesul de așchiere [TAN 12]



**Fig. 14. Frezare cilindrică [TAN 12]:
a) în sensul avansului, b) în sens invers avansului**

La frezarea în sensul avansului :

- ❖ așchia este atacată de tăiș în partea sa cea mai groasă, forța de așchiere la angajare fiind maximă \implies șocuri;
- ❖ componenta verticală F_v apasă semifabricatul pe masa mașinii, eliminând vibrațiile pe verticală, masa mașinii este mai încărcată, trebuie să fie bine susținută în consolă;
- ❖ componenta orizontală F_H este dirijată, în acest caz, în sensul avansului și tinde să tragă materialul sub sculă;
- ❖ frezarea în sensul avansului se aplică mai ales la operațiile de finisare sau de frezare. rapidă.

La frezarea în sens invers avansului :

- ❖ angajarea dintelui se face de la grosime mică de așchiere \implies șocuri mai mici;
- ❖ jocul dintre flancurile filetului șurubului conducător și piuliței din lanțul cinematic al mișcării de avans este preluat de componenta orizontală F_H , care este îndreptată în sens contrar avansului \implies vibrații 0 pe orizontală;
- ❖ componenta verticală F_V , fiind îndreptată în sus, tinde să ridice semifabricatul de pe masa mașinii, provocă vibrații pe verticală \implies calitatea suprafeței prelucrate influențată negativ;
- ❖ uzura sculei este mai puțin intensă ca urmare a faptului că tăișurile lucrează totdeauna pe suprafața prelucrată a piesei.

1.2.1 Dispozitive de fixare a pieselor folosite la frezare

Piesele se pot fixa pe masa mașinii de frezat în diferite feluri, folosindu-se sisteme de fixare simple, dispozitive universale și speciale.



Fig. 15. Menghină rotativă [TAN 12]



Fig. 16. Menghină înclinabilă [TAN 12]

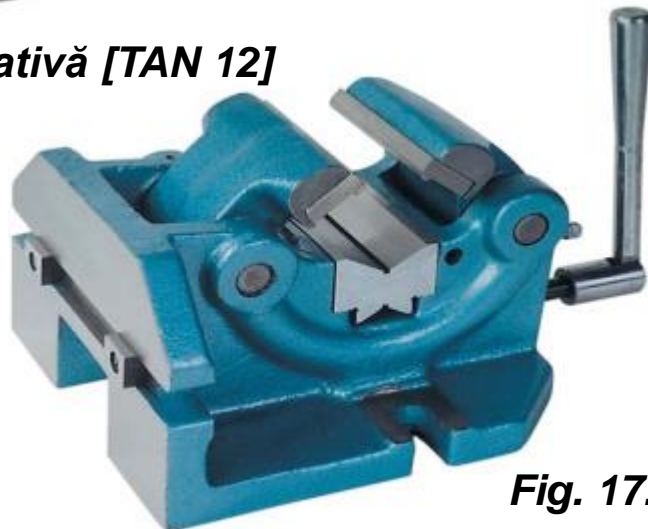
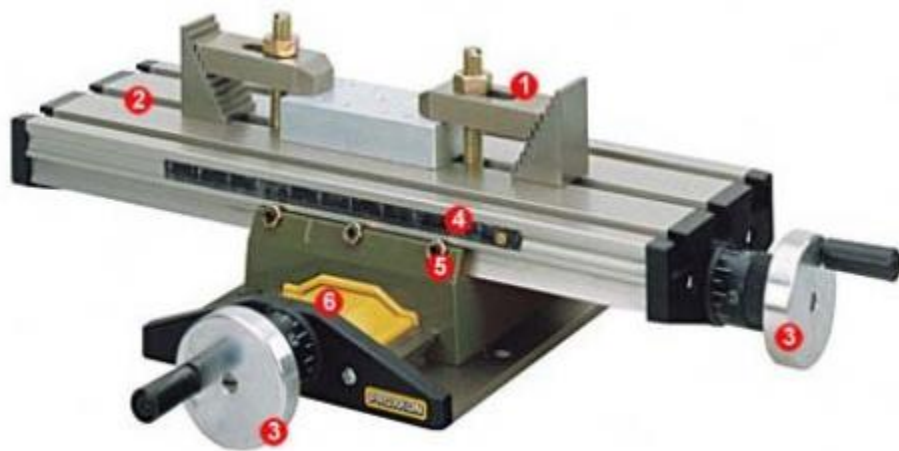


Fig. 17. Menghină articulată [TAN 12]



Fig. 18. Cap divizor [TAN 12]

Capul divizor se poate fixa într-o poziție înclinată față de axa verticală. Piesa se fixează între vârfuri, în mandrina universal sau în mandrina universal și vârf.



La producția individuală, piesele se pot fixa direct pe masa mașinii, folosindu-se bride, șuruburi, menghine simple, rotative și înclinabile.

Fig. 19. Fixarea pieselor cu bride [TAN 12]

1.2.2 Dispozitive de fixare a frezelor



Fig. 20. Fixare pe dorn [TAN 12]

Frezele se fixează cu ajutorul unui dorn care se introduce în alezajul conic al arborelui principal. Alezajul conic de la capătul arborelui este standardizat în sistemele Morse sau ISO.

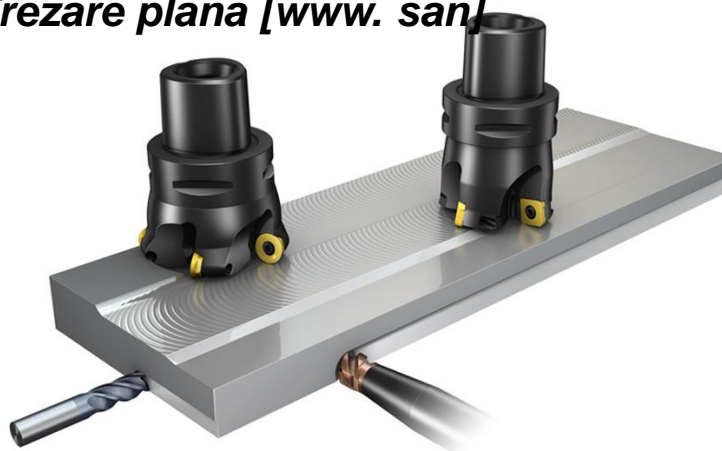


Fig. 21. Fixare cu bucșe elastice [TAN 12]

Poziția pe dorn a frezei se asigură cu ajutorul unor bucșe.

Fig. 22. Frezare plană [www. san]

➤ **frezarea plană
generală**



➤ **ex. prelucrarea
blocului motor**

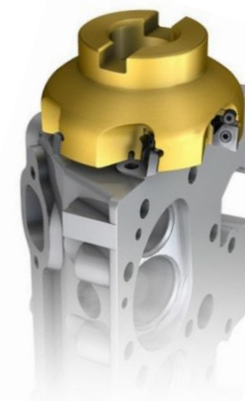
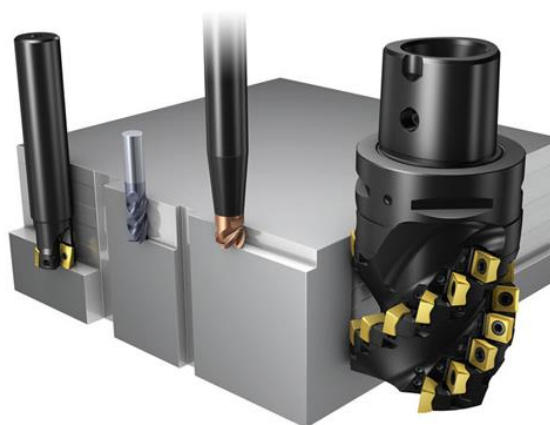


Fig. 23. Frezare cilindrică (periferică) [www. san]

➤ **frezarea plană
și cilindrică**



➤ **frezarea cilindrică**

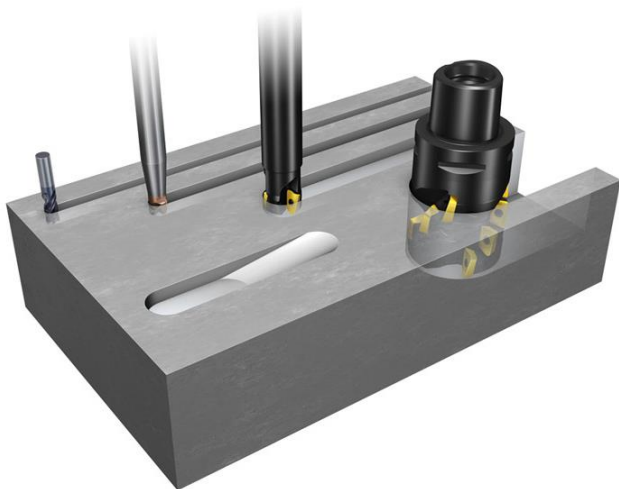


➤ **frezarea cilindrică
de mare adâncime**



Fig. 24. Frezarea de canelare [www. san]

➤ frezarea canalelor închise și deschise



➤ frezarea degajărilor și a capetelor

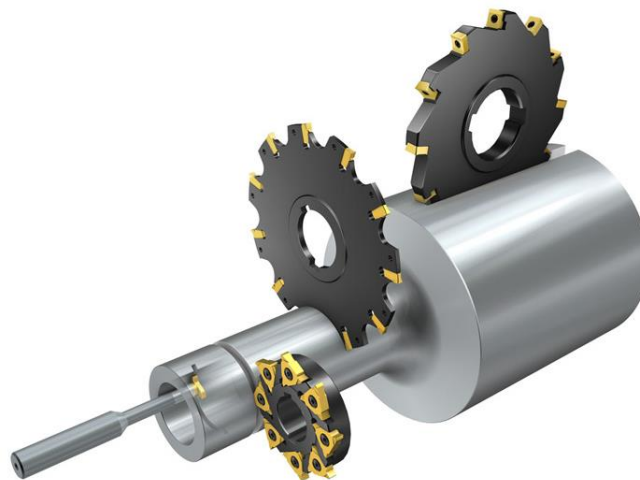
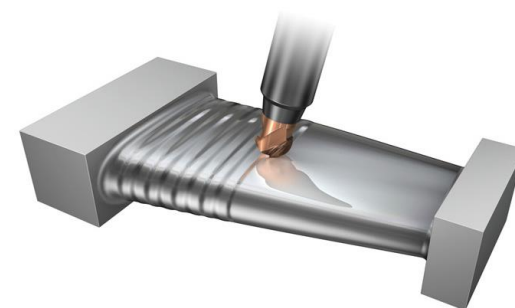
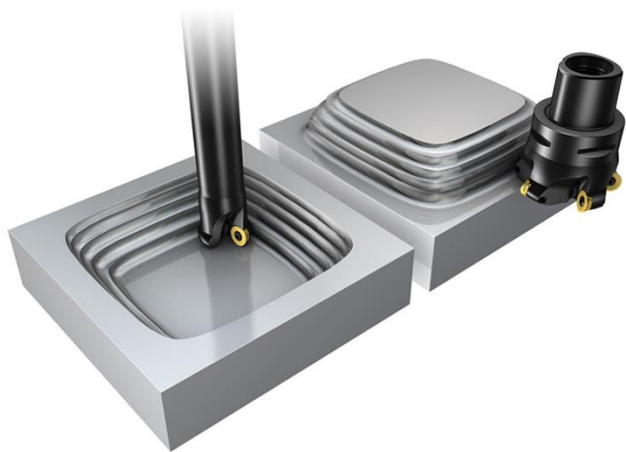


Fig. 25. Frezarea profilată [www. san]

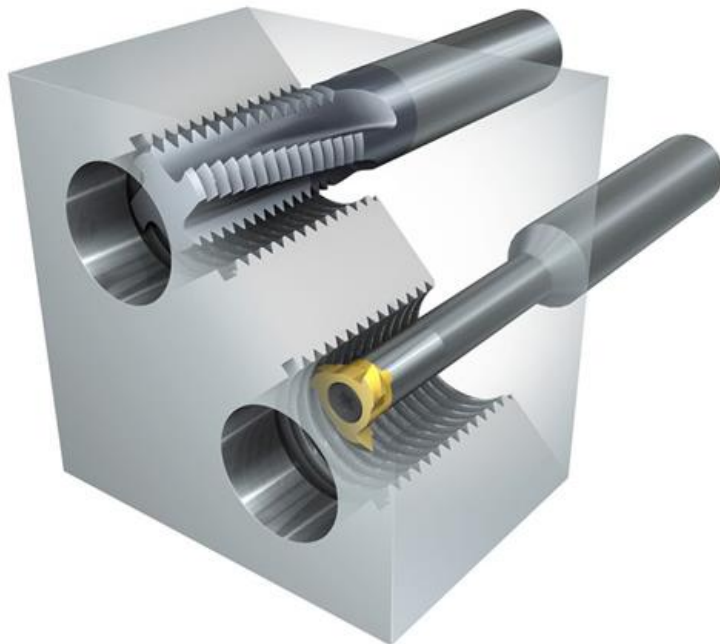
➤ frezarea profilată 2D – degroșare

➤ frezarea profilată 2D – finisare

➤ frezarea profilată 3D – semi-finisare



➤ frezarea filetelor interioare



➤ frezarea filetelor exterioare

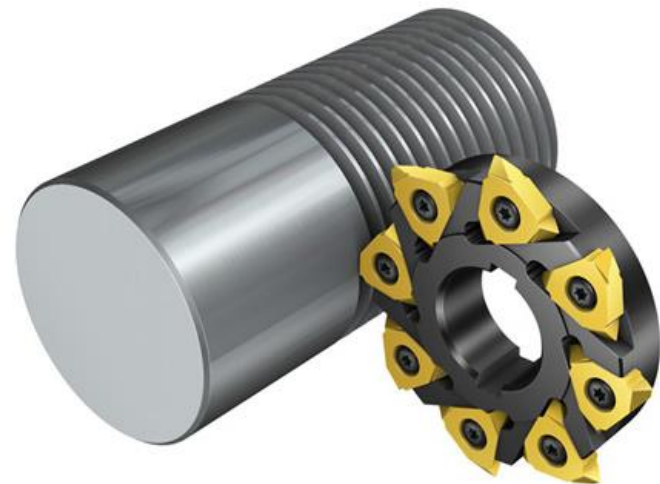


Fig. 26. Frezări speciale [www. san]

Viteza de aşchiere corespunde muchiilor aşchietoare aflate pe circumferinţa frezei de diametru D şi cu ajutorul acesteia se calculează turaţia:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \text{rot/min} \quad (2.1)$$

Adâncimea de aşchiere notată cu t (mm) este echivalentă cu distanţa dintre suprafaţa iniţială a piesei şi suprafaţa prelucrată a acesteia. Lăţimea de aşchiere w (mm) este aleasă de către tehnolog şi nu poate fi mai mare decât lungimea activă a frezei la o singură trecere. Avansul s (mm/rot) corespunde unei rotaţii complete a frezei. Ținând cont de nr. de dinţi ai frezei şi de valoarea avansului pe dinte, calculăm avansul frezei:

$$s = s_d \cdot Z \quad \text{mm/rot} \quad (2.2)$$

Viteza de avans a piesei este:

$$v_f = s \cdot n = s_d \cdot z \cdot n \quad [\text{mm/min}] \quad (2.3)$$

Timpul de baza al operatiei de frezare cilindrica este dat de expresia:

$$t_b = \frac{L}{v_f} \quad [\text{min}] \quad (2.4)$$

1.2.3 Productivitatea operației de frezare

Neglijand lungimea de intrare si de iesire a frezei din semifabricat, productivitatea operatiei de frezare cilindrica are urmatoarea relatie:

$$Q = \frac{V_a}{t_b} = \frac{L \cdot w \cdot t}{\frac{L}{v_f}} = w \cdot t \cdot v_f \quad [\text{mm}^3/\text{min}] \quad (2.5)$$

1.2.4 Tipuri de freze:

- D.p.d.v constructiv deosebim: freze monobloc și freze asamblate cu plăcuțe din carburi metalice;



Fig. 27. Freză monobloc [TAN 12]



Fig. 28. Freză cu dinți montați [TAN 12]

- După modul de executare a dinților pe suprafața de așezare, frezele pot fi: cu dinți frezați și cu dinți detalonați



Fig. 29. Freză cu dinți detalonați [TAN 12]



Fig. 30. Freză cu dinți frezați [TAN 12]

Frezele cilindrice se folosesc pentru prelucrarea suprafețelor plane pe mașinile de frezat orizontale. Ele pot avea dinți drepți sau înclinați. Cele cu dinți înclinați lucrează în condiții mai bune, deoarece așchiera decurge mai liniștit.



Fig. 31. Freză monobloc [TAN



Fig. 32. Freză melc-modul [TAN 12]



Fig. 33. Freză cilindro-frontală [TAN 12]

Frezele disc se folosesc pentru prelucrarea canalelor pe mașinile de frezat orizontale. Aceste freze sunt prevăzute pe suprafața cilindrică exterioară și pe cele două suprafețe frontale cu dinți așchietori.

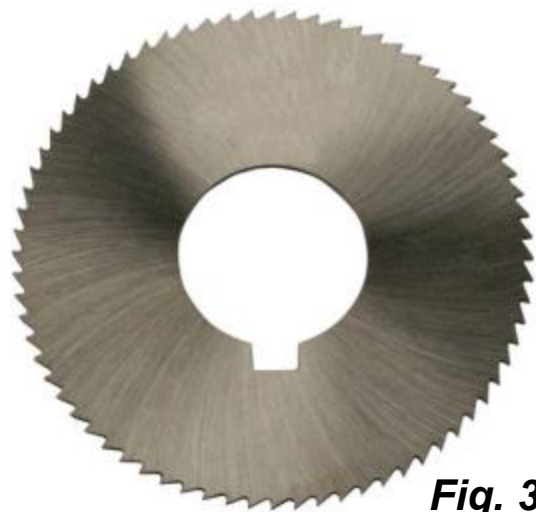


Fig. 34. a și b - Freze disc [TAN 12]

Frezele deget se folosesc pentru prelucrarea canalelor pe mașini de frezat verticale. Aceste freze au dinți așchietori pe suprafața frontală și pe suprafața cilindrică.



Fig. 35. Freză deget [TAN 12]

La frezele profilate, suprafața activă are un anumit profil pentru prelucrarea unor suprafețe complexe. Din categoria frezelor profilate fac parte și frezele modul ,care se folosesc pentru tăierea dinților roților dințate.



Fig. 36. Freză profilată [TAN 12]



Fig. 37. Freză disc-modul [TAN 12]

1.3 Procesul tehnologic de broșare

Broșarea este procedeul tehnologic de obținere a suprafețelor interioare sau exterioare la care mișcarea principală, rectilinie sau circulară, este efectuată de scula așchietoare iar avansul este materializat pe scula așchietoare numită broșă.

Caracteristici:

- ❖ productivitate și precizie ridicată;
- ❖ broșa este scumpă și se justifică doar la prelucrarea pieselor în serie mare de fabricație;
- ❖ broșa este prevăzută cu mai mulți dinți dispuși liniar sau pe circumferință, fiecare dinte având o supraînălțare mai mare față de dintele anterior;
- ❖ la broșarea interioară precizia de prelucrare corespunde IT 7, iar la broșarea exterioară precizia de prelucrare corespunde IT 8 și IT 9.

1.3.1 Materiale folosite la executarea broșelor

Broșarea este o operație însoțită de fenomene fizice, care impun câteva proprietăți specifice materialelor din care se confecționează partea activă:

- ❖ rezistență mecanică la solicitări de întindere, compresiune și încovoiere suficientă pentru a suporta eforturile de așchiere;
- ❖ duritate ridicată (cel puțin 62...64 HRC);
- ❖ păstrarea proprietăților fizice și la temperaturi ce apar în așchiere.

Aceste materiale mai trebuie sa aiba si urmatoarele calitati :

- ❖ cost scăzut;
- ❖ prelucrare prin așchiere bună;
- ❖ conductibilitate termică bună pentru a elimina rapid căldura acumulată în timpul așchierii.

Broșa cilindrică de tracțiune pentru prelucrarea alezajelor

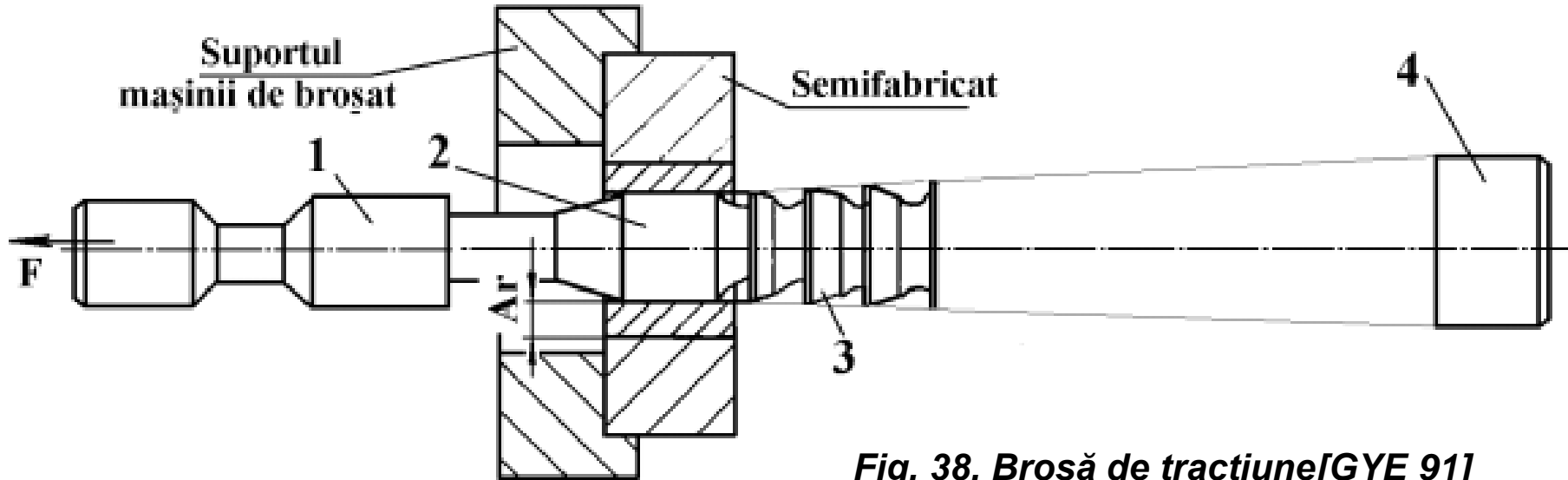


Fig. 38. Broșă de tracțiune[GYE 91]

- 1 – partea de fixare a broșei;
- 2 – partea de ghidare din față a broșei;
- 3 – partea de așchiere a broșei;
- 4 - partea de ghidare a broșei din spate.

Fixarea cozilor în mașina de broșat se realizează prin bucușe cu schimbare rapidă.

Operatia se caracterizeaza prin faptul ca o singura scula realizeaza intreaga succesiune de faze: degrosarea, semifinisarea si finisarea. Broșarea se poate realiza în două moduri:

- Cu brosa plana (slide 35);
- Cu brosa in spirala (slide 36).

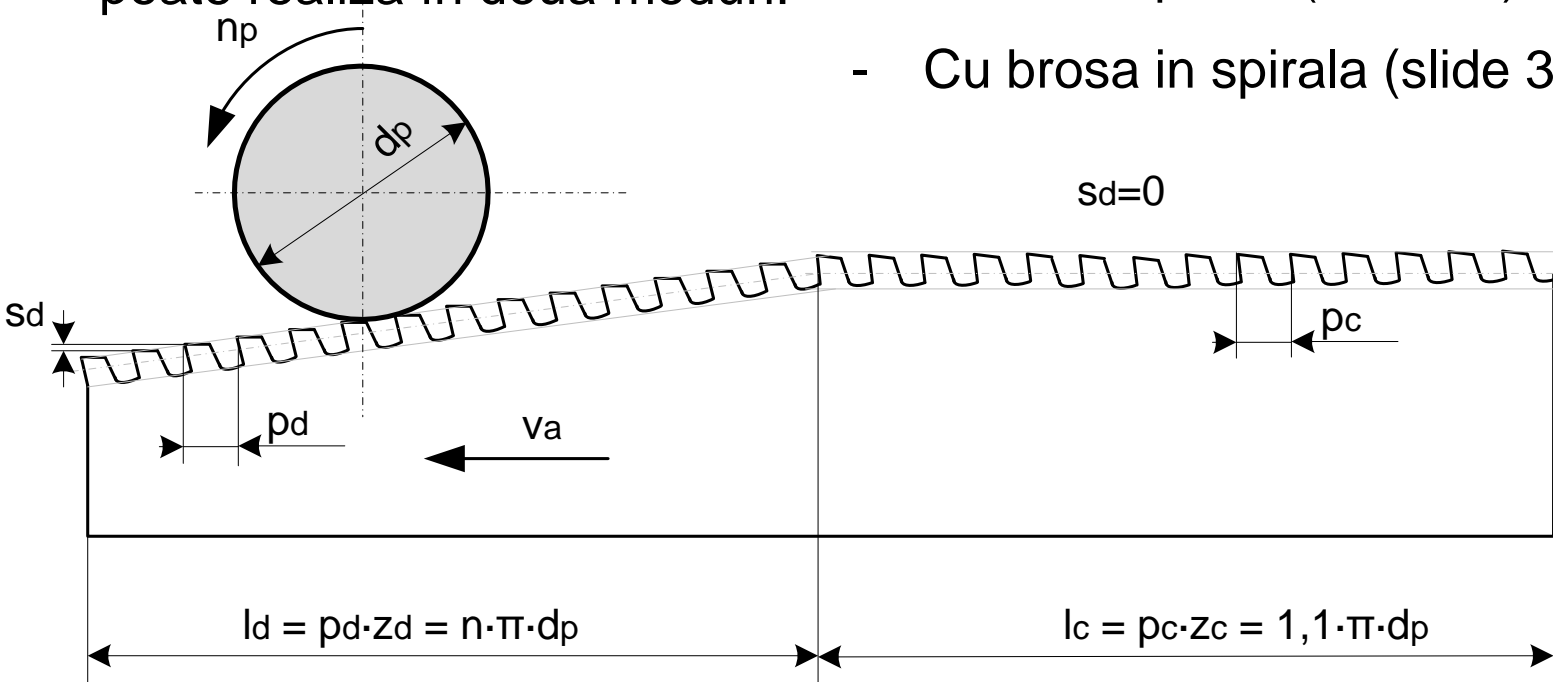


Fig. 39. Broșarea cilindrică exterioară cu broșa plană [GYE 91]

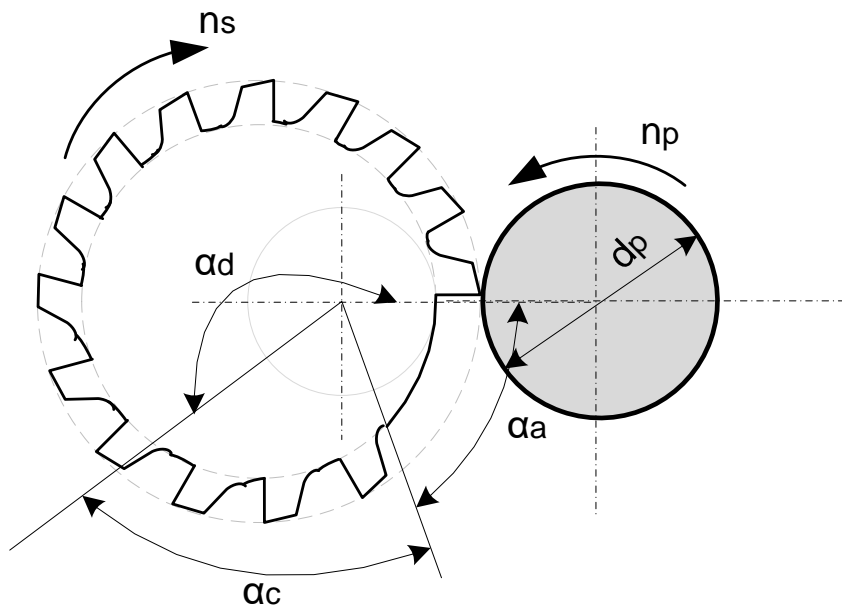
Piesa execută o mișcare de rotație în jurul axei sale de simetrie, iar broșa o mișcare rectilinie continuă sau circulară. Pentru ca arborii să rezulte cilindrici este necesar ca pe lungimea de calibrare a broșei piesa să realizeze cel puțin o rotație completă.

La broșarea plană, dacă se stabilește avansul pe dinte s_d și se cunoaște adaosul de material ce trebuie înlăturat se poate stabili numărul de dinți z_d de degroșare.

Lungimea de degroșare a broșei: $l_d = p_d \cdot z_d$

Lungimea de calibrare ($s_d=0$): $l_c = 1.1 \cdot \pi \cdot d_p$

Numărul de dinți de calibrare: $z_c = \frac{l_c}{p_c}$



La broșarea spirală între turația broșei n_s și turația piesei n_p trebuie să existe o corelație în funcție de unele date constructive ale broșei.

Fig. 40. Broșarea spirală [GYE 91]

În funcție de poziția relativă a suprafețelor prelucrate prin broșare se deosebesc două procedee de prelucrare: broșare liberă și coordonată

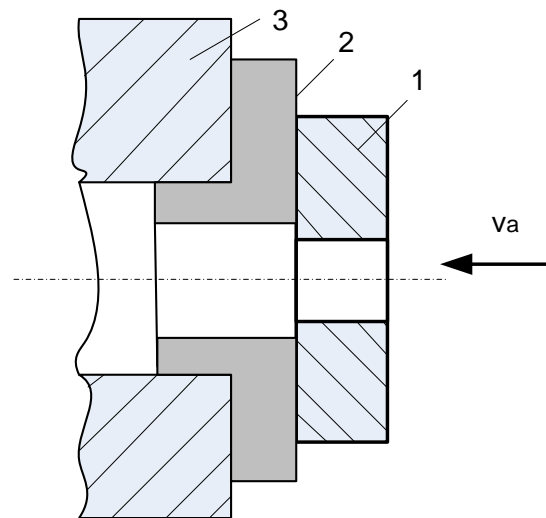


Fig. 41. Broșarea liberă [GYE 91]

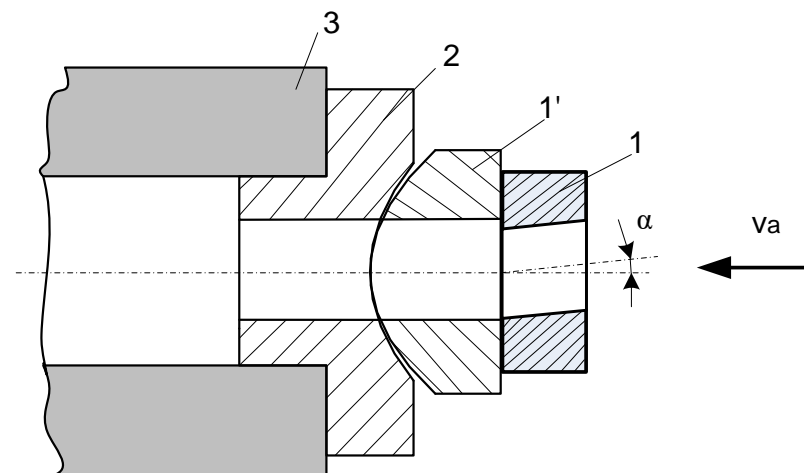


Fig. 42. Broșarea coordonată [GYE 91]

În figura din stânga așezarea se face pe un suport rigid și se folosește atunci când suprafața frontală a piesei este prelucrată și are o precizie ridicată de perpendicularitate pe axa alezajului. În figura din dreapta piesa se va broșa așezată fiind pe un suport sferic autocentrant și se folosește dacă suprafața frontală nu este prelucrată sau este prelucrată imprecis.

La broșarea liberă nu este necesară fixarea piesei și nici ghidarea sculei, fiind suficientă ghidarea pe suprafețele generate de dinții broșei. Folosim broșarea liberă atunci când alezajul broșat este folosit ca și bază tehnologică. La broșarea coordonată trebuie să se obțină și precizia poziției relative a găurii față de alte suprafețe ale piesei.

1.3.2 Productivitatea operației de broșare

Productivitatea maximă a operației de broșare corespunde momentului în care broșa are un număr maxim de dinți în contact cu piesa, adică:

$$Q = v \cdot w \cdot t_d \cdot n \quad (\text{mm}^3/\text{min}) \quad (3.1)$$

t_d – adâncimea de așchiere corespunzătoare unui dinte de degroșare

w – lățimea broșei

v – viteza de broșare

n – turația

1.4 Procesul tehnologic de rabotare

Rabotarea: este unul dintre cele mai vechi procedee de prelucrare prin aşchiere. Mişcarea principală de aşchiere este rectilinie alternativă folosindu-se o singură muchie aşchietoare pentru a genera o suprafaţă plană.

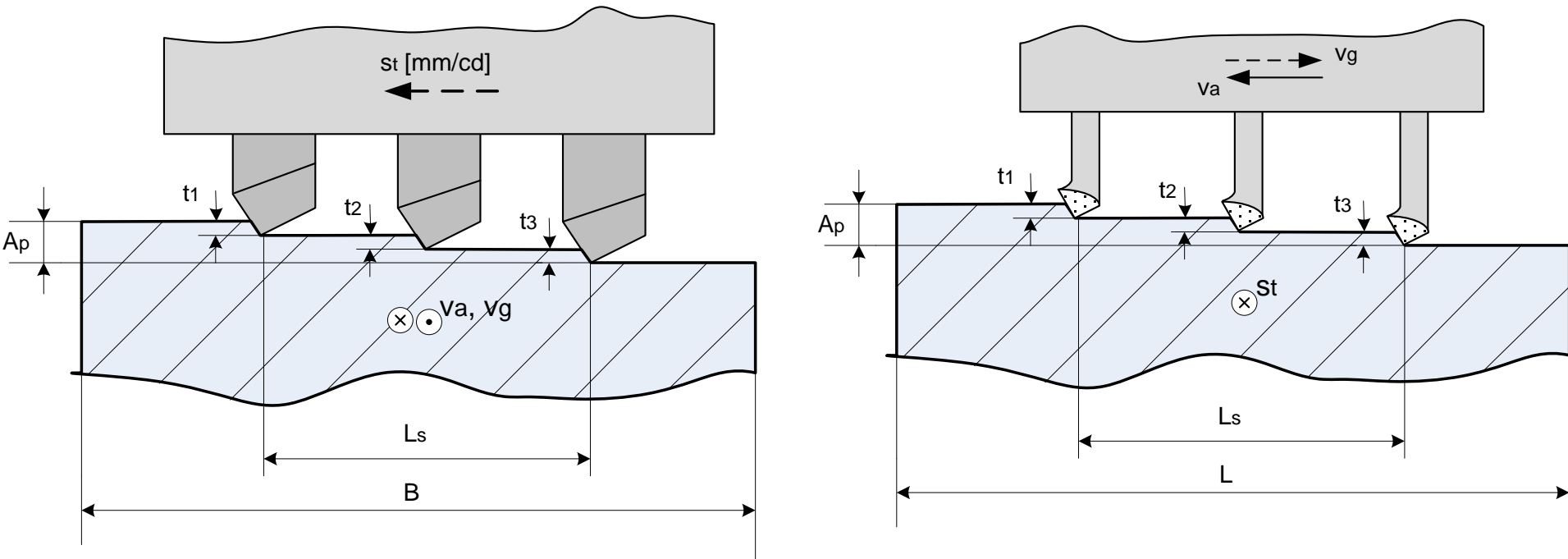


Fig. 43. Divizarea adaosului de prelucrare pe adâncime – rabotare [GYE 91]

Pentru piese cu lăţimi mari şi lungimi mici adaosul de prelucrare total este împărţit între cele 3 cuţite, fixate în acelaşi suport.

Divizarea lății de așchiere se aplică în cazul prelucrării suprafețelor de lungime mare și lățime relativ mică. Prin utilizarea acestei metode timpul de bază necesar prelucrării prezentate se reduce la jumătate. Pentru a măări și mai mult productivitatea, atunci când se permite, se pot așeza mai multe piese în serie pe masa mașinii și prelucrarea acestora simultan.

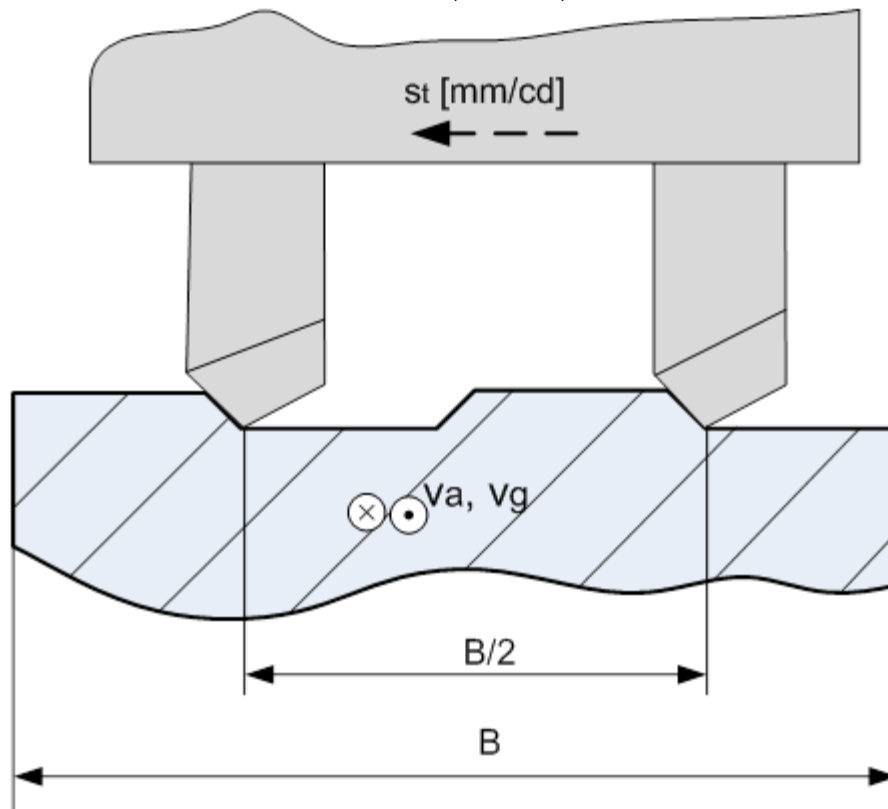


Fig. 44. Divizarea adaosului pe lățime - rabotare [GYE 91]

Avantajele prelucrării simultane cu mai multe cuțite de așchiat

- ❖ procedeul este foarte productiv;
- ❖ precizie bună datorită poziției relative între suprafețele prelucrate simultan.

Dezavantaj: sculele așchietoare necesită un timp mai mare de reglare.

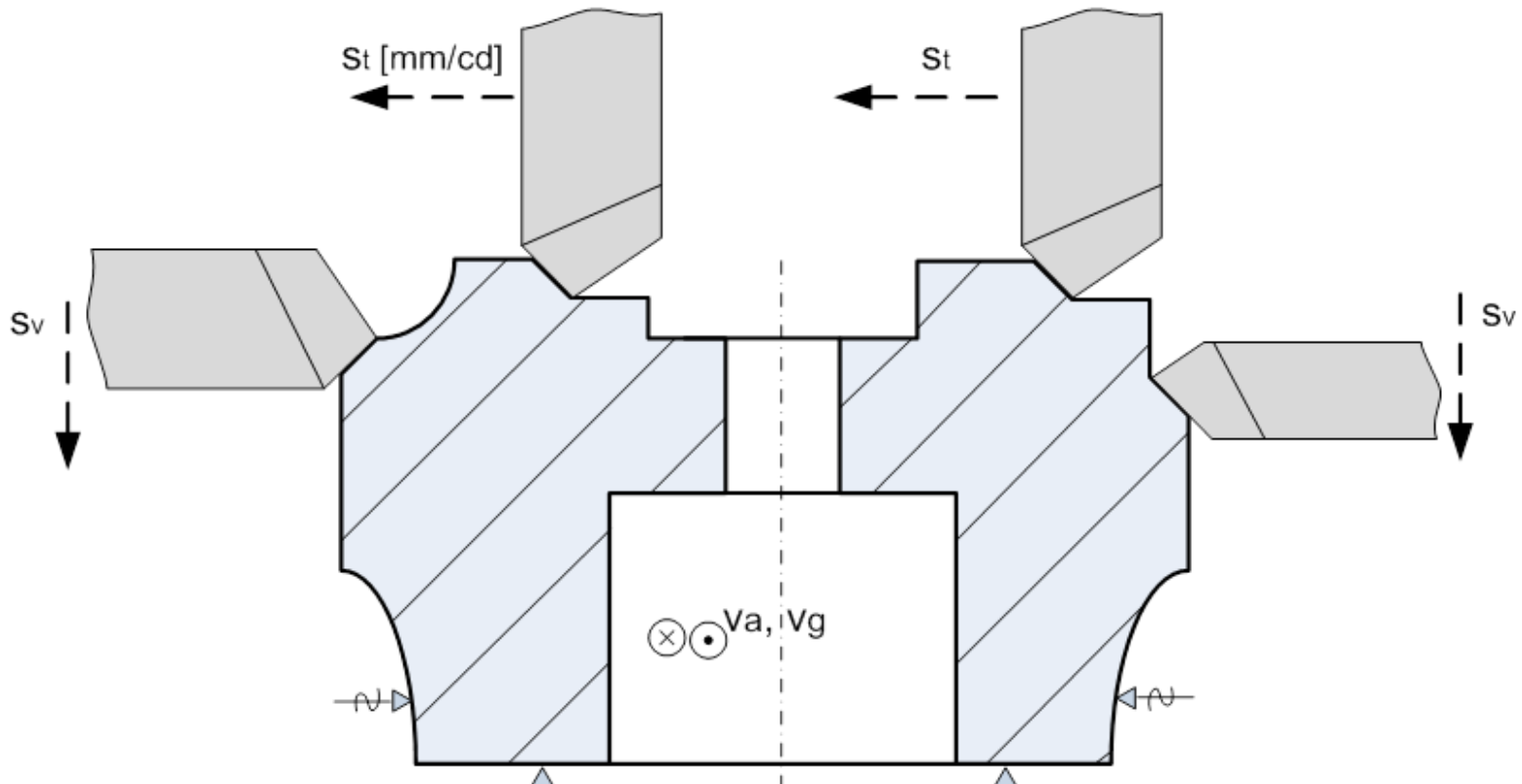
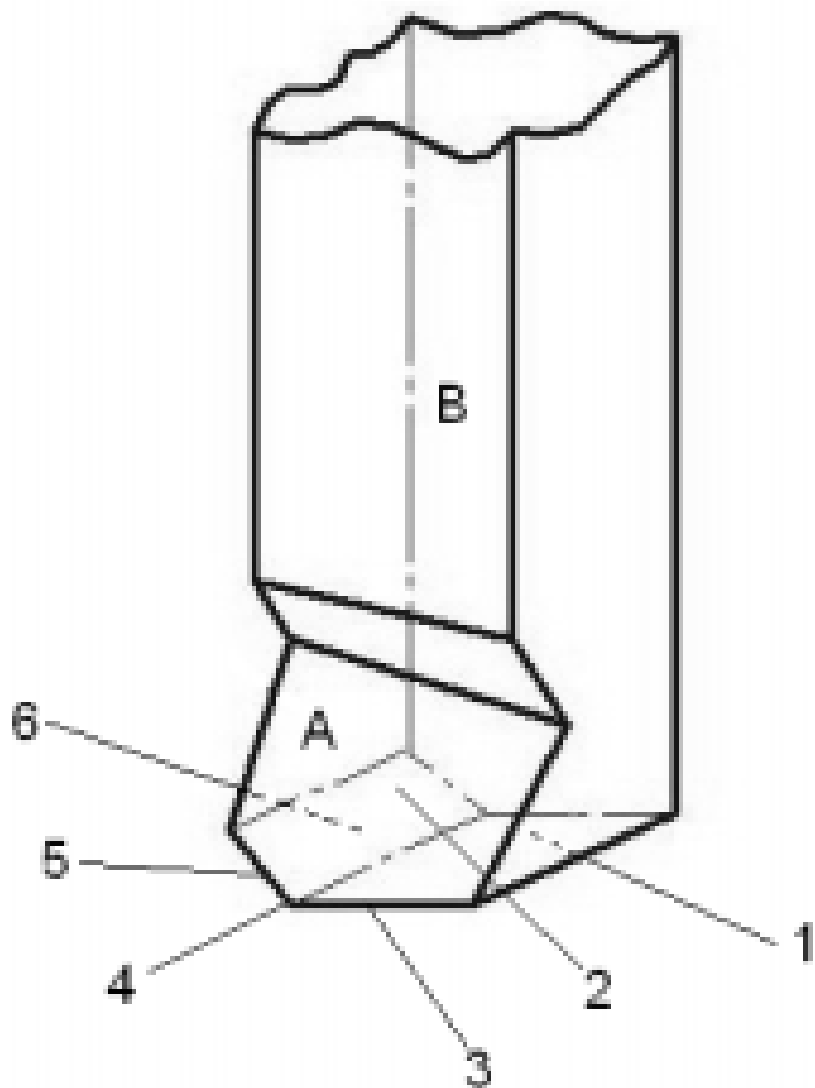


Fig. 45. Prelucrarea simultană cu mai multe cuțite [GYE 91]

Elementele constructive ale cuțitului de rabotat



A – partea activă

B – coada cuțitului

1 – fața de așezare principală

2 – fața de degajare

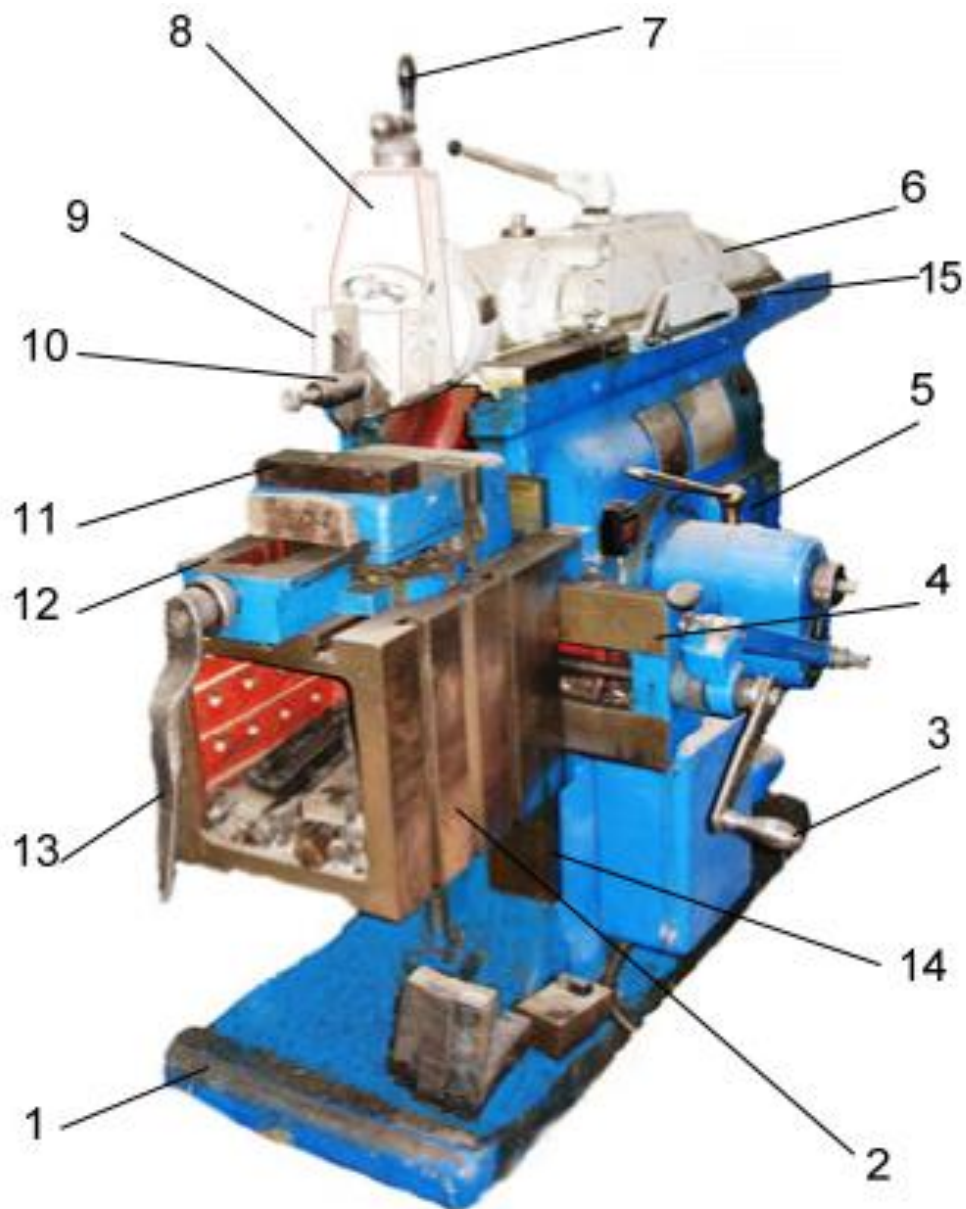
3 – tăișul principal

4 – vârful cuțitului

5 – tăișul principal

6 – fața de așezare secundară

Fig. 46. Elementele constructive ale cuțitului de rabotat [MIH 13]



- 1 – placa de bază
- 2 – masa mașinii
- 3, 7, 13 – manete
- 4, 15 – ghidaje orizontale
- 5 – batiu
- 6 – berbec
- 8 – cap rotativ
- 9 – suport portcuțit
- 10 – cuțit
- 11 – semifabricat
- 12 – menhină
- 14 – ghidaje verticale

Fig. 47. Mașină de frezat FUS [FRA 11]

1.4.1 Fixarea pieselor pe mașina de rabotat

- ❖ direct pe masa mașinii de rabotat în cazul pieselor de dimensiuni mari;
- ❖ cu adaosuri de rezemare dacă baza de așezare este neprelucrată pentru a asigura paralelism sau perpendicularitate suprafețelor prelucrate în raport cu planele sistemului de referință a mașinii de rabotat;
- ❖ în dispozitive universale sau speciale se face la prelucrarea pieselor de dimensiuni mici și mijlocii, a pieselor de formă neregulată, la prelucrarea suprafețelor înclinate și profilate.

1.4.2 Fixarea cuțitelor pe mașina de rabotat

Fixarea cutitului în suportul mașinii se face în așa fel încât, la cursa în gol, acesta să se poată roti în jurul unei axe perpendiculare pe direcția mișcării principale \implies frecări și uzuri mai mici pe fața de așezare.

1.4.3 Materialele din care se confecționează cuțitele de rabotat

- ❖ Oțeluri carbon pentru scule (OSC 10, OSC 12, OSC 13 - pentru prelucrarea materialelor moi, cu viteze mici sau a materialelor neferoase);
- ❖ Oțeluri aliate pentru scule (RK 100, RK 50, RW 180 - pentru prelucrarea pieselor din oțel sau fontă); plăcuțe metalo-ceramice (pentru cuțite cu durabilitate mare).

Exemple de suprafețe care se pot prelucra prin rabotare



- Canale în formă de V



- Caneluri exterioare



- Canale în formă de T



- Canale profilate

1.4.4 Productivitatea la rabotare: $Q = \frac{L \cdot w \cdot t}{t_b}$, unde:

w – lățimea semifabricatului prelucrat [mm]

L – lungimea semifabricatului prelucrat [mm]

t_b – timpul de bază [min]

t – adâncime de așchiere [mm]

Timpul de bază: $t_b = \frac{w}{v_f} = \frac{N_{cd}}{N_v}$, unde:

$v_f = N_v \cdot s_t$ – viteza de avans [mm/min]

s_t – avans transversal [mm]

N_v – turația volantului

Viteza de așchiere: $v = \frac{\pi \cdot D_v \cdot N_v}{1000}$, unde:

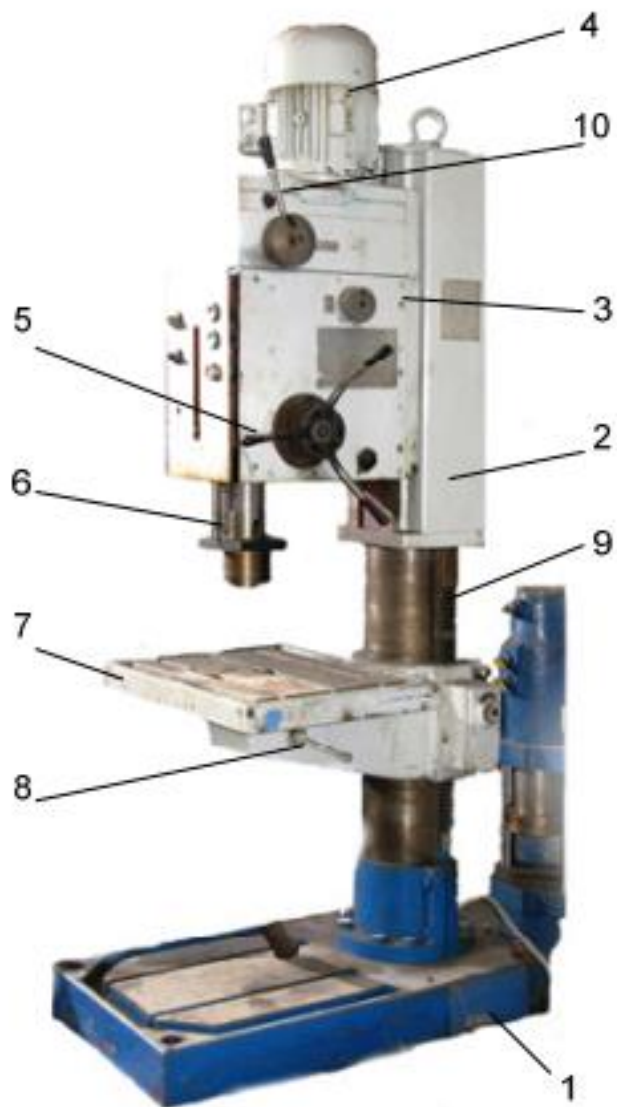
D_v – diametrul volantului [mm]

1.5 Procesul tehnologic de prelucrare a alezajelor

Burghierea - procedeul de prelucrare prin aşchiere cu ajutorul căruia se obţin alezaje din plin cu ajutorul unei scule aşchietoare numite burghiu.

Mişcarea principală este de rotaţie, efectuată fie de scula aşchietoare fie de piesă, iar avansul de aşchiere, efectuat în lungul axei de rotaţie, este făcut fie de scula aşchietoare fie de piesă

Precizia şi calitatea suprafeţelor obţinute la burghiere este redusă, astfel că la prelucrarea fără conducere a sculei se obţin precizii de IT12 – IT13 şi rugozităţi de 25 - 50 μm , iar la prelucrarea cu conducere a sculei rezultă precizii de IT10 – IT11 şi rugozităţi de 12.5 - 25 μm .



- 1 – placă de bază
- 2 – coloană
- 3 – carcasă
- 4 – motor electric
- 5, 8 și 10 – manete
- 6 – arbore principal
- 7 – masa mașinii
- 9 – ghidaj cremalier

Fig. 48. Mașină de găurit cu coloana G16 [FRA 11]

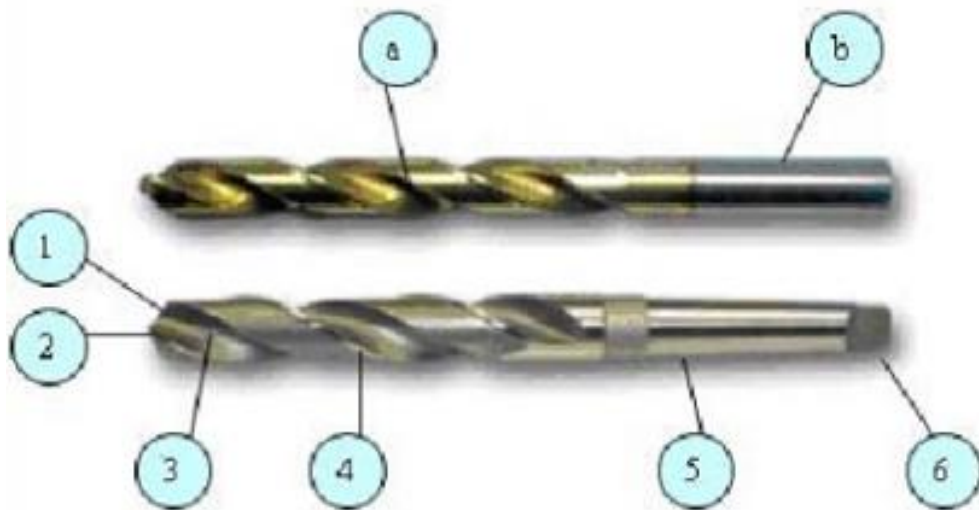


Fig. 49. Părțile componente ale unui burghiu
 [www.guh]

a – partea activă (așchietoare)

b – partea pasivă (fixare)

1 – tăișuri principale

2 – tăiș transversal

3 – canale de evacuare a așchiilor

4 – Fațete

5 – Coadă

6 – Antrenor

Dispozitive utilizate la găurire

- ❖ Mandrinele sunt dispozitive utilizate pentru prinderea și fixarea sculelor așchietoare cu coadă (burghie, tarozi, alezoare, lărgitoare, teșitoare, etc.).
- ❖ Bucșa elastică permite fixarea burghiilor cu coadă cilindrică. Bucșa de reducere (con Morse) permite fixarea burghiilor cu coadă conică.

- ❖ Pentru fixarea pieselor în vederea prelucrării se utilizează menghina paralelă, menghina rotativă, sisteme de fixare cu bride.



Fig. 50. Dispozitive folosite la burghiere

1.5.1 Clasificarea burghiilor

- ❖ după forma suprafeței de înfășurare: burghie cilindrice, burghie late.
- ❖ după lungime: scurte, normale, lungi.
- ❖ după forma cozii: cu coadă cilindrică, cu coadă conică.



Fig. 51. Burghie cu coadă conică [www.guh]



Fig. 52. Burghie de centruit [www.guh]



Fig. 53. Burghie cu coadă cilindrică [www.guh]

Mișcarea principală de rotație și viteza de avans sunt executate de burghiu. În această situație sub acțiunea forței de avans burghiul flambează iar alezajul obținut deviază de la direcția verticală. Această eroare este în funcție de diametrul burghiului dar și de mărimea forțelor. Această eroare mai poate apărea și datorită inegalității unghiurilor de la vârful sculei și lungimilor neuniforme ale muchiilor așchietoare.

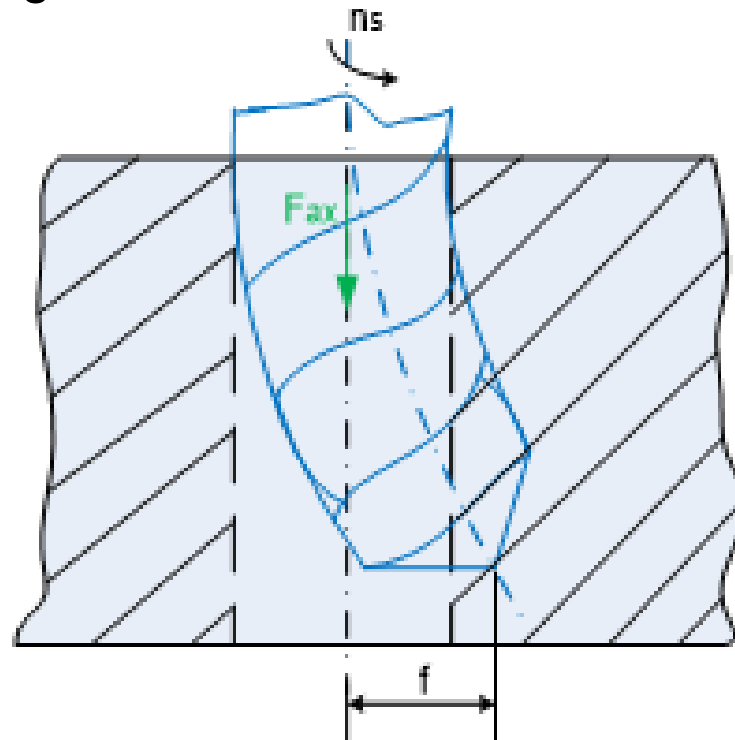


Fig. 54. Realizarea alezajului din plin cu rotirea sculei [GYE 91]

În figura 55 mișcarea principală de rotație este executată de către piesă, iar mișcarea de avans de către burghiu. În această variantă tăișurile principale ale burghiului se comportă ca două cuțite de strunjit și ca urmare rezultă un alezaj cu axa paralelă cu direcția de avans, care se lărgeste pe măsură ce burghiul avansează.

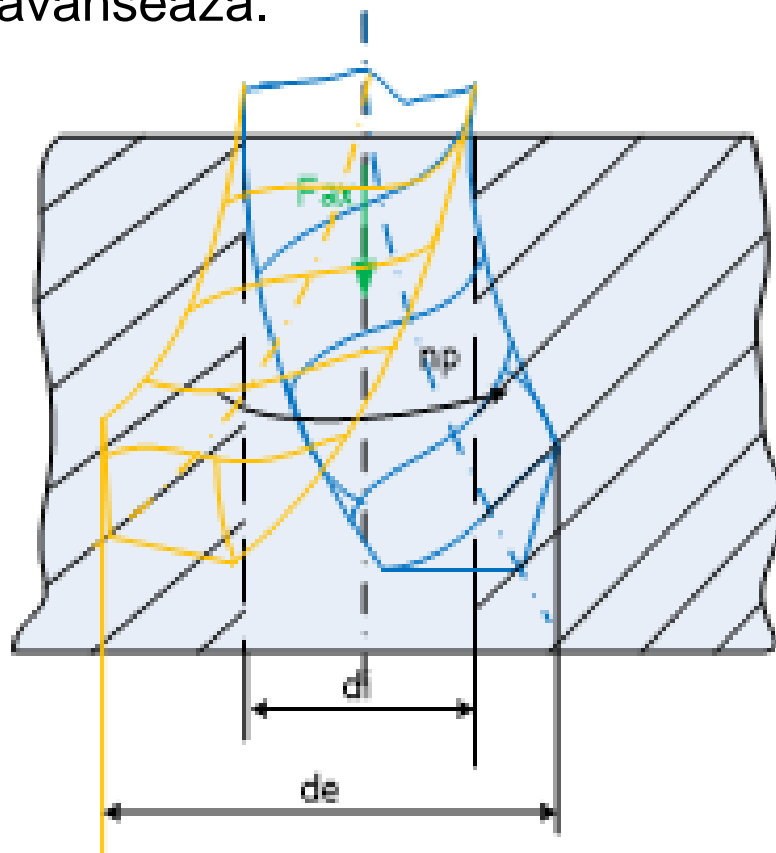


Fig. 55. Realizarea alezajului din plin cu rotirea piesei [GYE 91]

1.5.2 Productivitatea la burghiere

$$Q = \frac{V_a}{t_b} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot s \cdot n}{4 \cdot L} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{s \cdot v \cdot 1000}{\pi \cdot D} = 250 \cdot s \cdot v \cdot D, \quad \text{unde:}$$

$$\text{Timpul de bază} \quad t_b = \frac{L+l_1}{s \cdot n} \text{ [min]}$$

s – avansul;

n – turația;

D - diametrul găurii;

L - lungimea găurii.

$$\text{Viteza de avans:} \quad v_f = s \cdot n \text{ [mm/min]}$$

1.5.3 Alezarea - este o operație de finisare a alezajelor prin care se obține o formă geometrică mai precisă decât la adâncire. Alezorul este o sculă cu autocentrare, la care poziția găurii nu se poate realiza în mod normal. Sunt de evitat adaosuri de prelucrare mari deoarece aceste adaosuri solicită alezorul, în timp ce un adaos de prelucrare mic nu asigură precizie și calitate suprafeței. Schema alezării este ilustrată în figura 56 și poate fi efectuată manual sau mecanic.

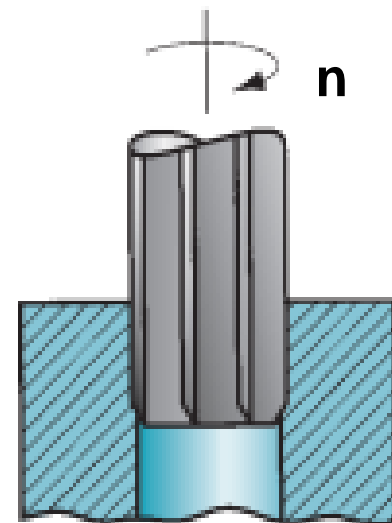
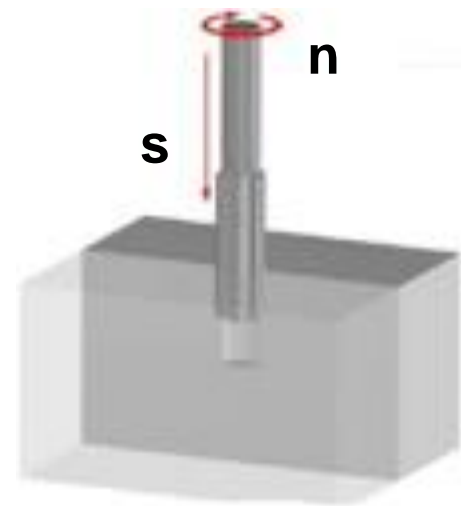


Fig. 57. Alezarea [GRO 10]

Fig. 56. Alezarea – mișcările prelucrării [www.san]

1.5.4 Lărgirea alezajelor - este operația de mărire a diametrului unei găuri. Lărgirea se poate executa pe întreaga lungime a găurii sau numai la o extremitate și poate fi cilindrică sau conică. Lărgirea cu burghie → precizii de IT10 – IT11 și rugozități de 12.5 – 25 μm . Lărgirea cu adâncitoare → precizii de IT9 și IT10, iar rugozitatea între 6.3 și 12.5 μm . Pentru prelucrarea suprafețelor frontale, plane sau conice se folosesc lărgitoare de forme geom. corespunzătoare și cu cepuri de conducere.

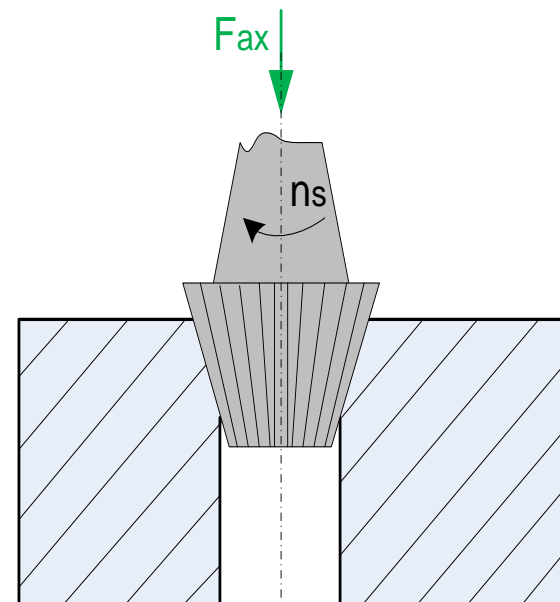
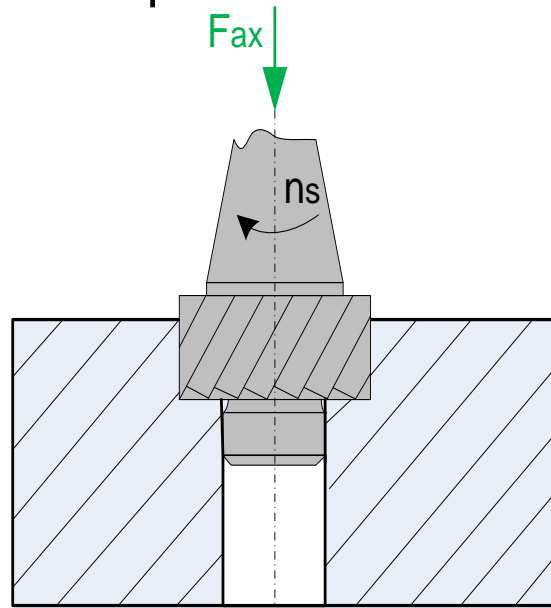



Fig. 58. Lărgirea cilindrică [GYE 91] Fig. 59. Lărgirea conică [GYE 91]



1.5.5 Adâncirea găurilor

- este operația de prelucrare prin care se obține un locaș cilindric la extremitatea unei găuri față de care este coaxial.

- ❖ Scopul principal al adâncirii este obținerea fundului plan al locașului, însă inevitabil are loc și o lărgire a diametrului;
- ❖ Se aplică la executarea locașurilor pentru capul șuruburilor cu cap cilindric sau a degajărilor pentru șaibe, inele elastice, garnituri;
- ❖ Scula folosită este un adâncitor cilindric cu 2, 4 sau 6 dinți, prevăzut cu cep de ghidare;
- ❖ Cepul ghidează în gaura inițială de diametru mai mic, obținându-se astfel o concentricitate suficientă a adâncirii cu gaura care rămâne la dimensiunile inițiale.



Fig. 58. Adâncirea găurilor

Pentru obținerea perpendicularității suprafeței plane pe axa găurii, scula este prevăzută cu cep de ghidare demontabil, care poate fi schimbat în funcție de diametrul găurii. Scula așchietoare are o mișcare de rotație și o mișcare de avans axial, iar avansul trebuie să fie oprit înainte de a înceta mișcarea de rotație a sculei, care trebuie să-și continue rotirea câteva ture pentru a se obține o suprafață plană și nu elicoidală.

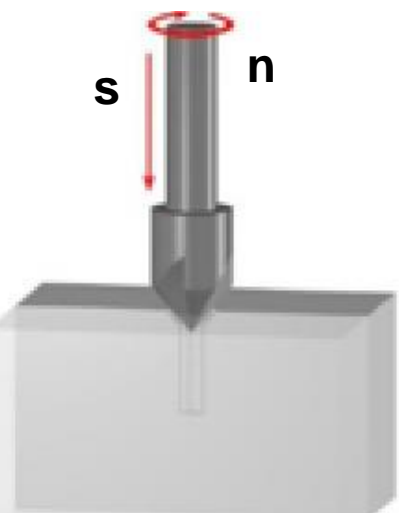


Fig. 59. Teșirea găurilor[www.san]



Fig. 60. Teșitoare [www.san]

1.5.6 Lamarea constă în prelucrarea plană a unei suprafețe frontale circulare a bosajului găurii, pentru obținerea condiției de perpendicularitate pe axa găurii executate în prealabil sau în vederea angajării corecte a burghiului.



Pentru obținerea perpendicularității suprafeței plane pe axa găurii, scula este prevăzută cu cep de ghidare demontabil, care poate fi schimbat în funcție de diametrul găurii. Scula așchietoare are o mișcare de rotație și o mișcare de avans axial, iar avansul trebuie să fie oprit înainte de a înceta mișcarea de rotație a sculei, care trebuie să-și continue rotirea câteva ture pentru a se obține o suprafață plană și nu elicoidală.

Fig. 61. Lamator [TAN 12]

1.6 Procesul tehnologic de rectificare

1.6.1 Rectificare cilindrică interioară (cu avans longitudinal, mai multe treceri)

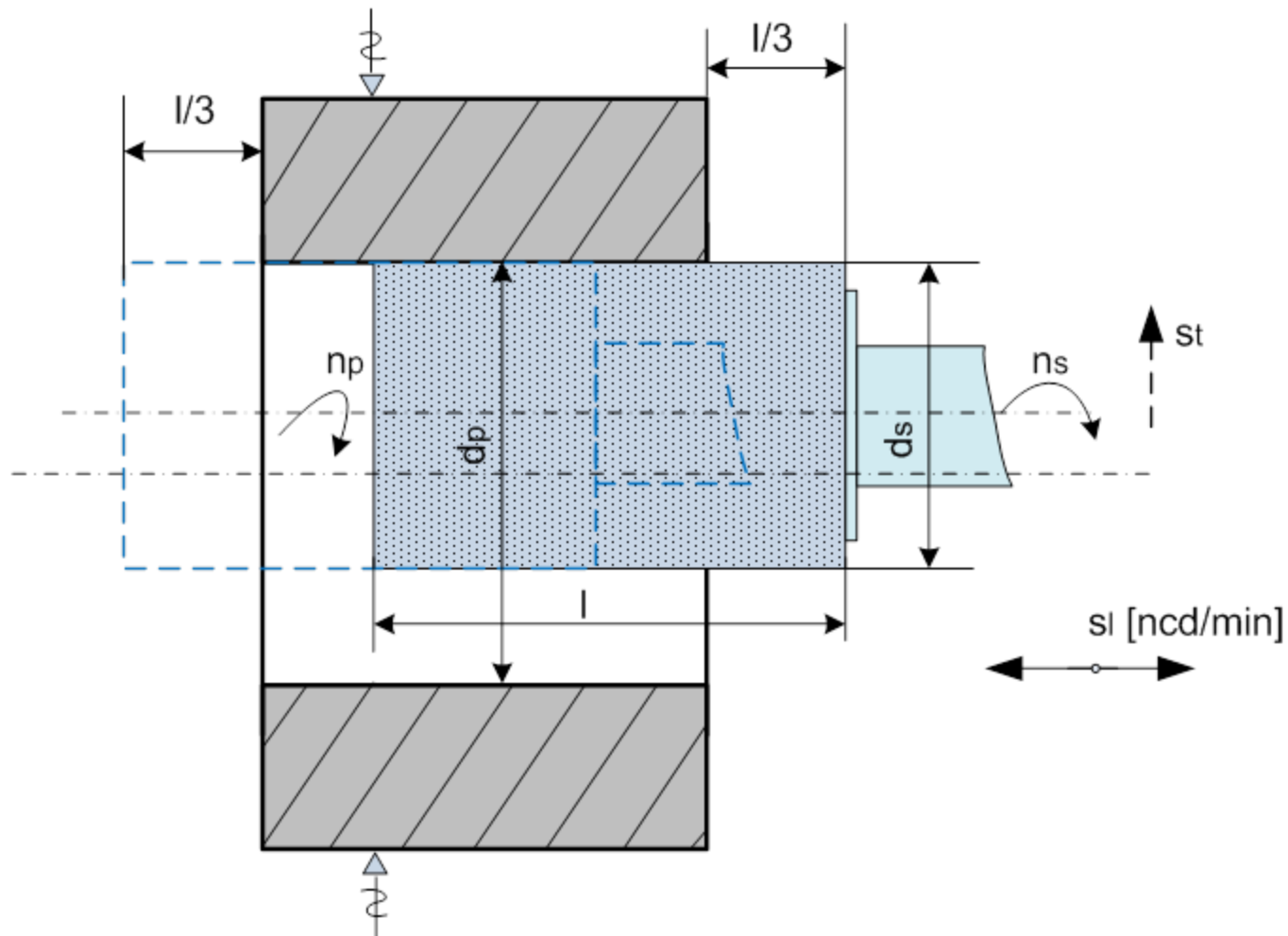



Fig. 62. Rectificarea cilindrică cu avans longitudinal din mai multe treceri [GYE 91]



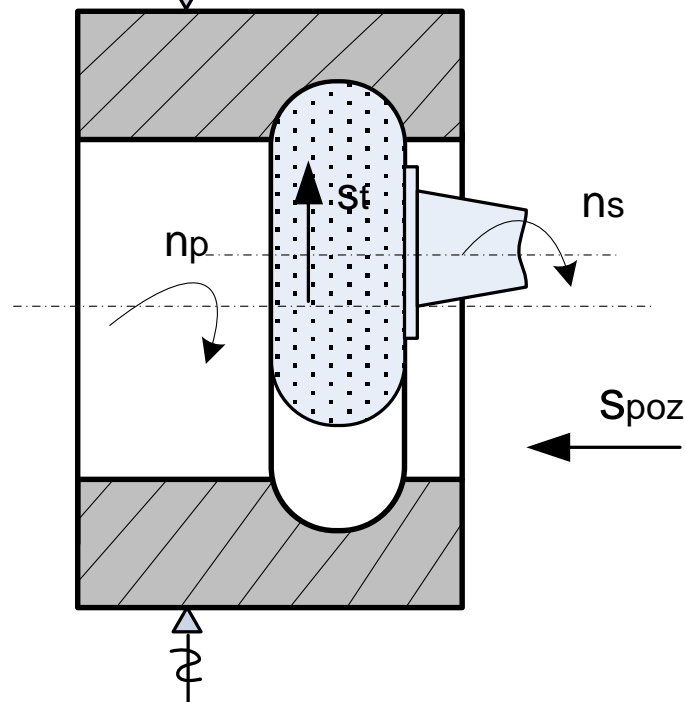
Rectificarea cilindrică interioară este metoda folosită pentru piese cu duritate mai mare de 35 HRC. Una din condițiile necesare la rectificarea interioară este fixarea discului abraziv într-un sistem cât mai rigid.

Rectificarea cilindrică interioară cu avans longitudinal este cel mai răspândit procedeu de rectificare interioară a pieselor de dimensiuni mici, cum ar fi: discurile, bucșele, roțile dințate. Piesa de rectificat este fixată în mandrină sau universal și execută mișcarea de rotație n_p în sens invers turației corpului abraziv n_s . La rândul său corpul abraziv execută un avans longitudinal cu un număr de curse duble pe minut. La capătul fiecărei curse duble se realizează un avans transversal pentru înlăturarea întregului adaos de prelucrare. Ultimele curse se execută fără avans pentru a obține calități și precizii dimensionale bune. Procedeu are o productivitate redusă, datorită rigidității scăzute a sistemului.

1.6.2 Rectificare cilindrică interioară (cu avans transversal)

Rectificarea interioară cu avans transversal se utilizează la rectificarea suprafețelor interioare scurte sau profilate. Procedul necesită un disc abraziv profilat la forma și dimensiunile ce urmează a fi rectificate. Este mai productiv decât procedeul prezentat anterior, însă prezintă dificultăți la reascutirea discului abraziv. Calitatea suprafeței obținute este mai scăzută decât la rectificarea cu avans longitudinal.

Fig. 63. Rectificarea cilindrică interioară cu avans transversal [GYE 91]



1.6.3 Rectificarea interioară planetară (fig. 64) se aplică la rectificarea unor alezaje în piese cu dimensiuni mari ce nu pot fi puse în mișcare de rotație. La acest procedeu discul abraziv execută două mișcări de rotație în timp ce piesa este fixă. Una din mișcărilor de rotație executate este n_{s1} în jurul lui O_1 și o altă mișcare de rotație n_{s2} în jurul centrului O_2 . La aceste două mișcări de rotație se mai adaugă și alte două deplasări, una longitudinală și una transversală, ambele ale suportului discului abraziv. Este o prelucrare a cărei productivități este mică de aceea, când este posibil prelucrarea se înlocuiește cu alezarea fină sau chiar cu honuirea.

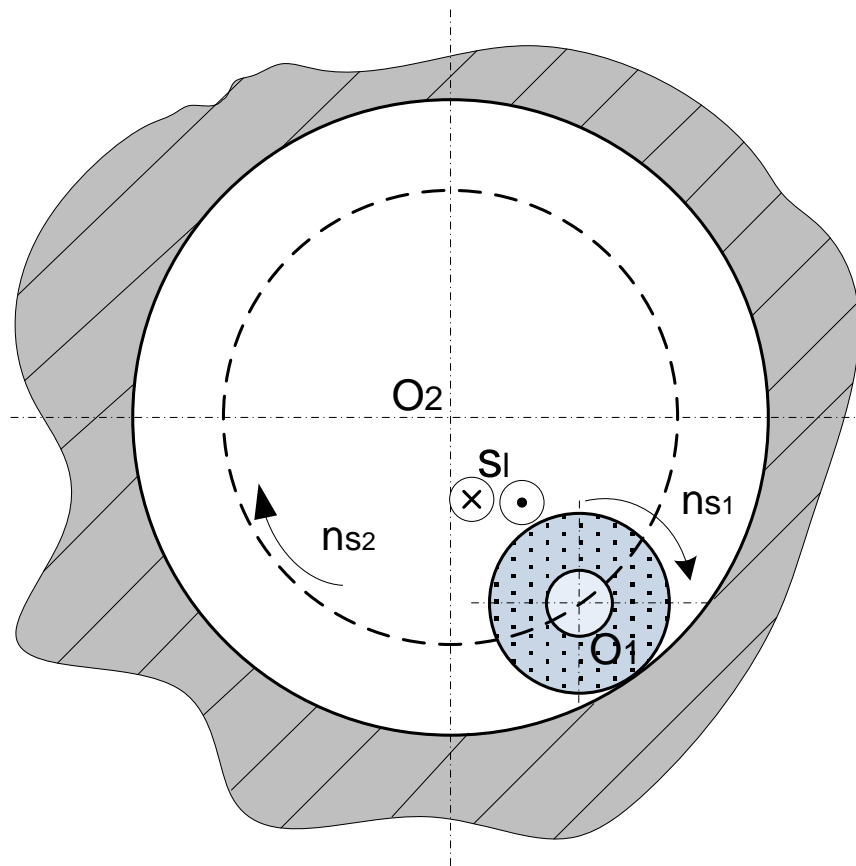


Fig. 64. Rectificarea planetară [GYE 91]

1.6.4 Rectificarea cilindrică interioară fără centre (fig. 65)

se utilizează la prelucrarea unor reperi ce permit bazarea lor pe suprafața exterioară și sunt realizate în producția de serie mare și masă. Această metodă este cea mai productivă și asigură o coaxialitate foarte bună între suprafețele interioare și exterioare a piesei rectificate. La acest procedeu piesa de rectificat 1 este sprijinită în rolele 2. Rectificarea este realizată de discul 3 care pe lângă mișcarea de rotație mai execută și două mișcări de avans longitudinal și transversal. Discul conducător 4 are rolul de a imprima mișcare de rotație piesei de rectificat.

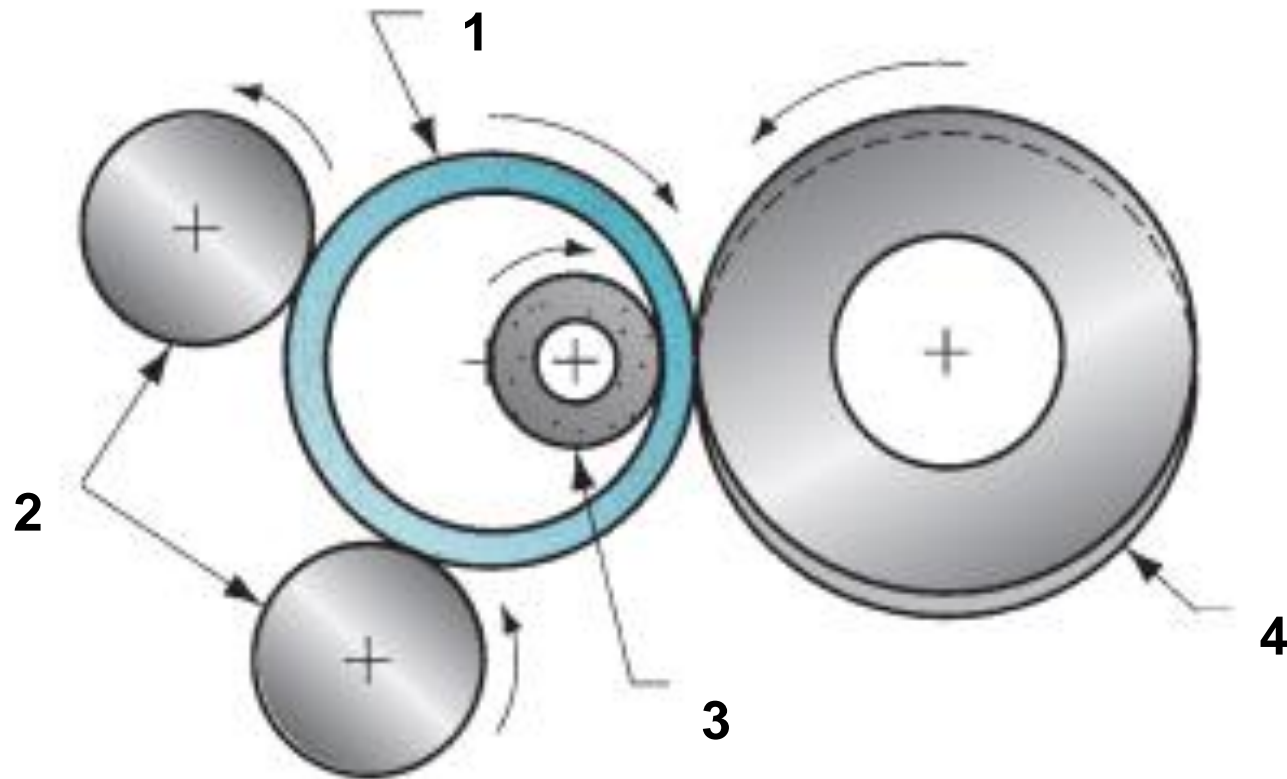


Fig. 65. Rectificarea cilindrică interioară fără centre [GRO 10]

1 – piesa de rectificat

4 – disc conducător

2 – role

3 – discul abraziv

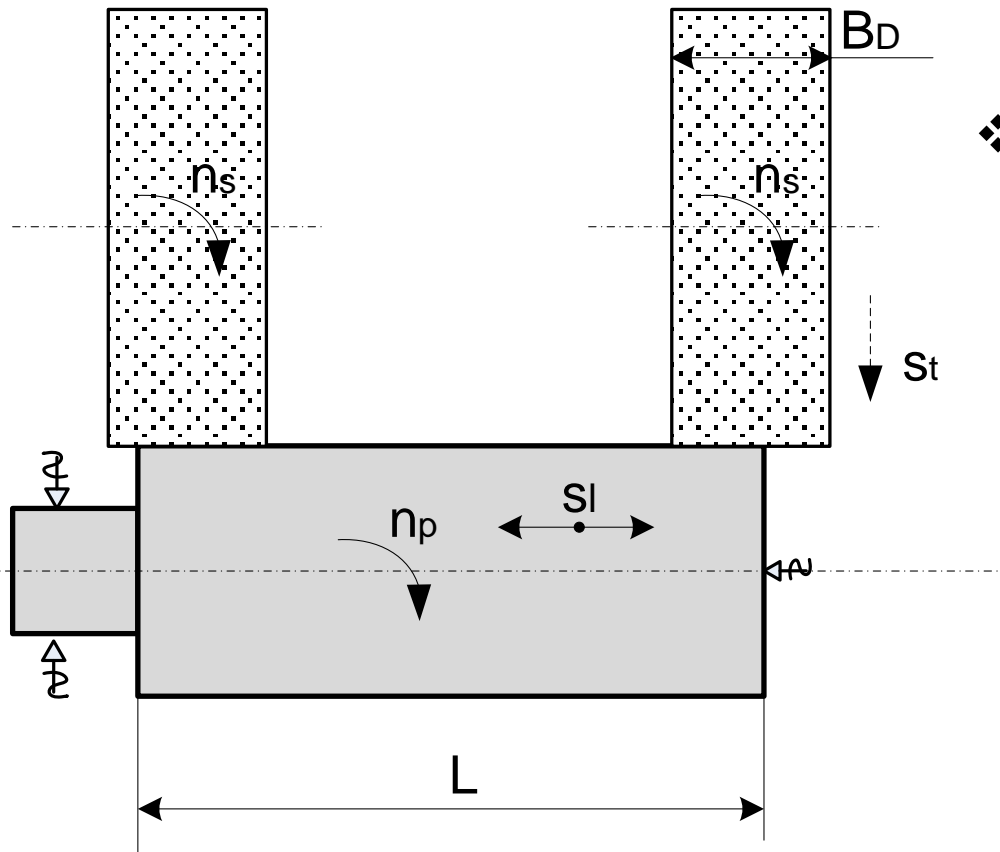
1.6.5 Dispozitive de prindere a pieselor la rectificarea rotunda interioară

Pentru prinderea și fixarea pieselor la rectificarea rotundă se folosesc: universale acționate mecanic sau pneumatic, dispozitive cu bucșa elastică, dispozitive cu membrană.

Aceste dispozitive trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- ❖ să asigure o prindere rigidă fără a deforma piesa;
- ❖ să asigure o bună centrare a suprafețelor interioare față de cele exterioare;
- ❖ să asigure o manipulare simplă la prinderea și desprinderea piesei;
- ❖ să asigure echilibrarea perfectă a meselor aflate în mișcare, pentru a nu solicita arborele principal al mașinii în timpul lucrului.

1.6.6 Rectificare cilindrică exterioară cu avans longitudinal (mai multe treceri)



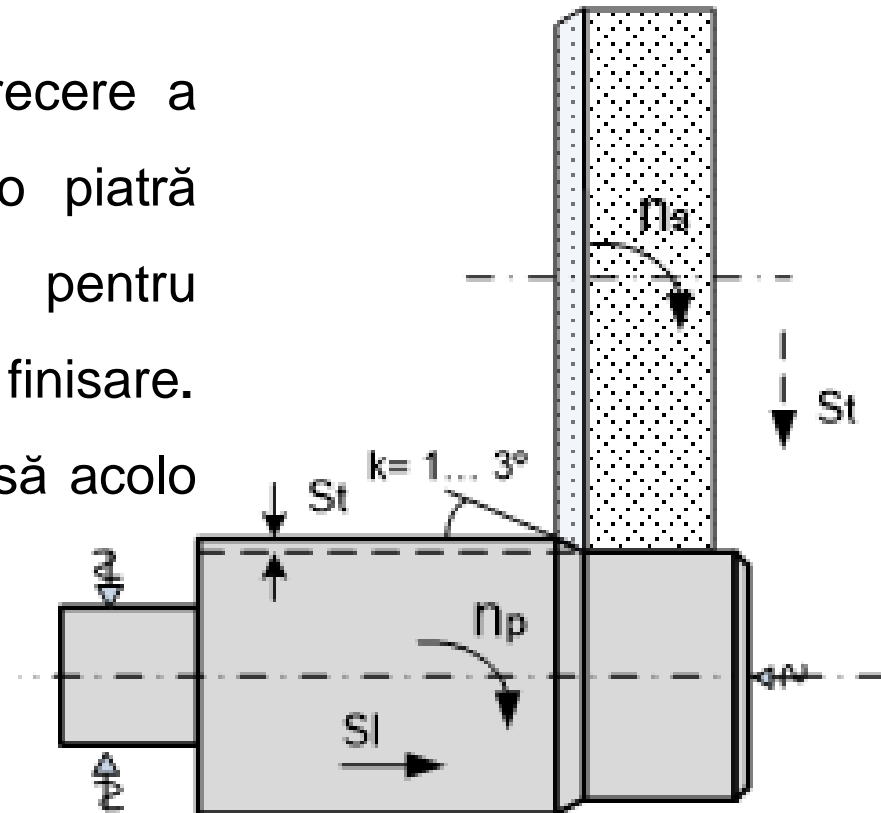
- ❖ Se folosește la rectificarea arborilor cu rigiditate mică.
- ❖ Mișcarea de așchiere de rotație, cu turația n_s și avansul de pătrundere transversal intermitent s_t sunt efectuate de către discul abraziv de lățime B_d , semifabricatul execută mișcarea de avans circular cu turația n_p și avansul longitudinal rectiliniu alternativ s_l .

Fig. 66. Rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal (mai multe treceri) [ANC 03]

1.6.7 Rectificare cilindrică exterioară cu avans longitudinal (o trecere)

- ❖ utilizată la rectificarea la o singură trecere a semifabricatelor scurte și rigide cu o piatră prevăzută cu o porțiune tronconică pentru degroșare și o porțiune cilindrică pentru finisare.
- ❖ se recomandă pentru producția de masă acolo unde nu sunt necesare precizii ridicate.

Fig. 67. Rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal (o trecere) [ANC 03]



Deoarece discul se uzează foarte intens pe muchia din stânga el se ascute de la început sub un unghi $k=1-3$ grade pe o lungime de 6-12mm. Pentru obținerea unei dimensiuni precise se recomandă ca după rectificarea dintr-o singura trecere să se facă câteva treceri de finisare.

1.6.8 Rectificare exterioară cu avans transversal

Se caracterizează prin aceea că discul abraziv are o lăţime mai mare decât lungimea treptei și că el execută un singur avans, cel de pătrundere. Procedul se foloseşte la rectificarea suprafeţelor scurte, cilindrice, conice sau profilate realizate în producţia de serie sau de masă. Avansul transversal s_t are valori cuprinse între 0.001-0.005 mm/rot.

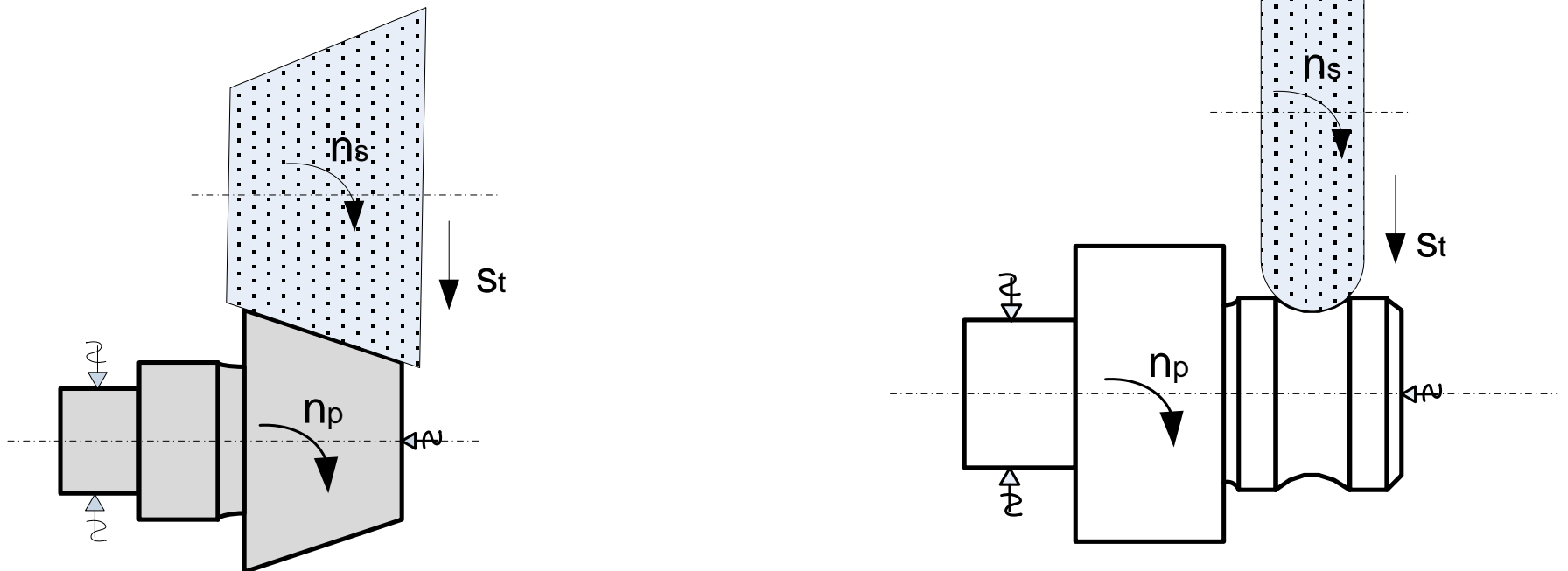


Fig. 68. Rectificarea cilindrică cu avans transversal [GYE 91]

1.6.9 Rectificarea pragurilor

În cazul în care suprafața frontală a unui arbore este și bază funcțională trebuie să realizăm perpendicularitate între aceste suprafețe frontale. Acest lucru se poate realiza prelucrând din aceeași prindere atât suprafața frontală cât și suprafața cilindrică. În figura 70 avem o rectificare cu axe paralele și în figura 71 o rectificare cu axe înclinate.

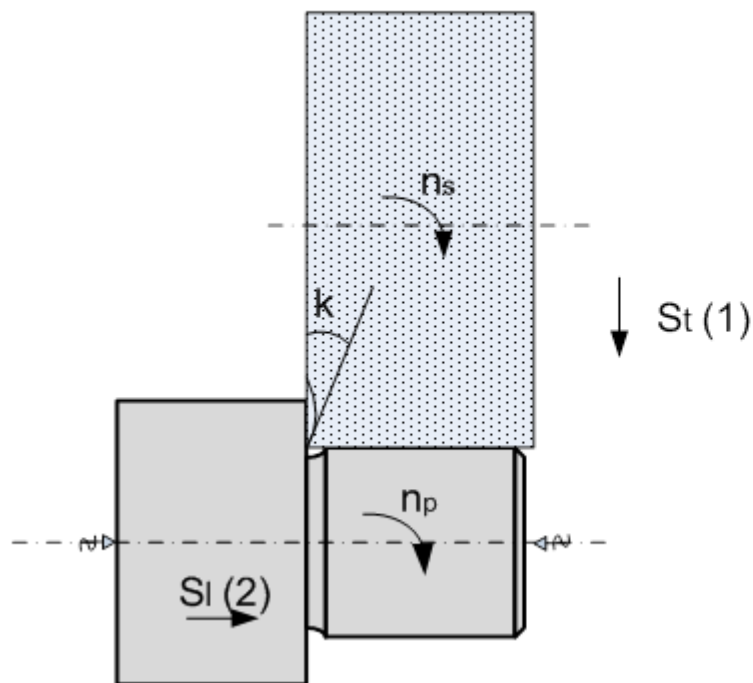


Fig. 70. Rectificarea cilindrică exterioară
[GYE 91]

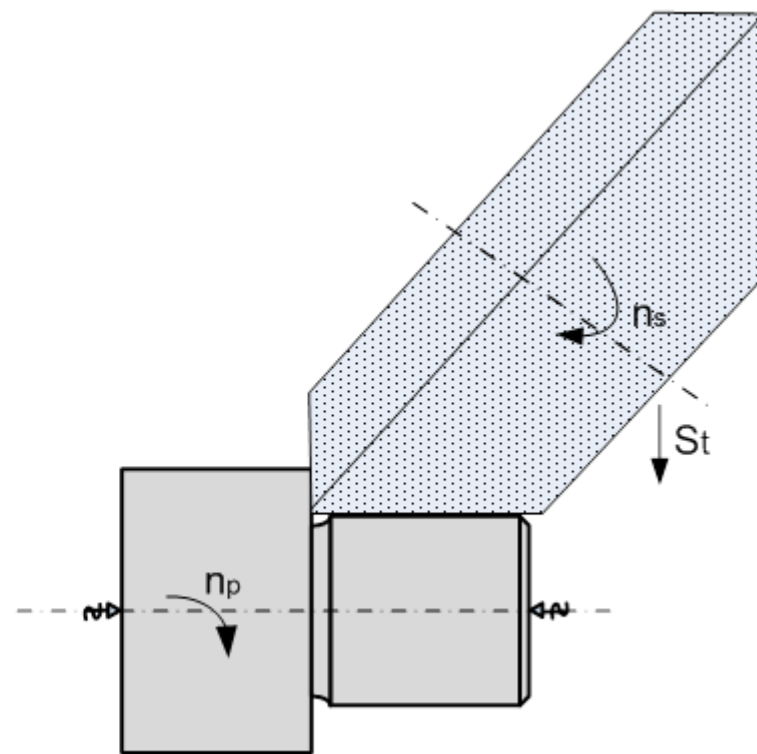


Fig. 71. Rectificarea cilindrică exterioară
[GYE 91]

1.6.10 Rectificare cilindrică exterioară cu avans

longitudinal fără centre

- piesa se introduce liber între discul de aşchiere și discul de antrenare;
- discul de antrenare cu liant de cauciuc are rolul de a imprima mişcarea de rotaţie piesei.

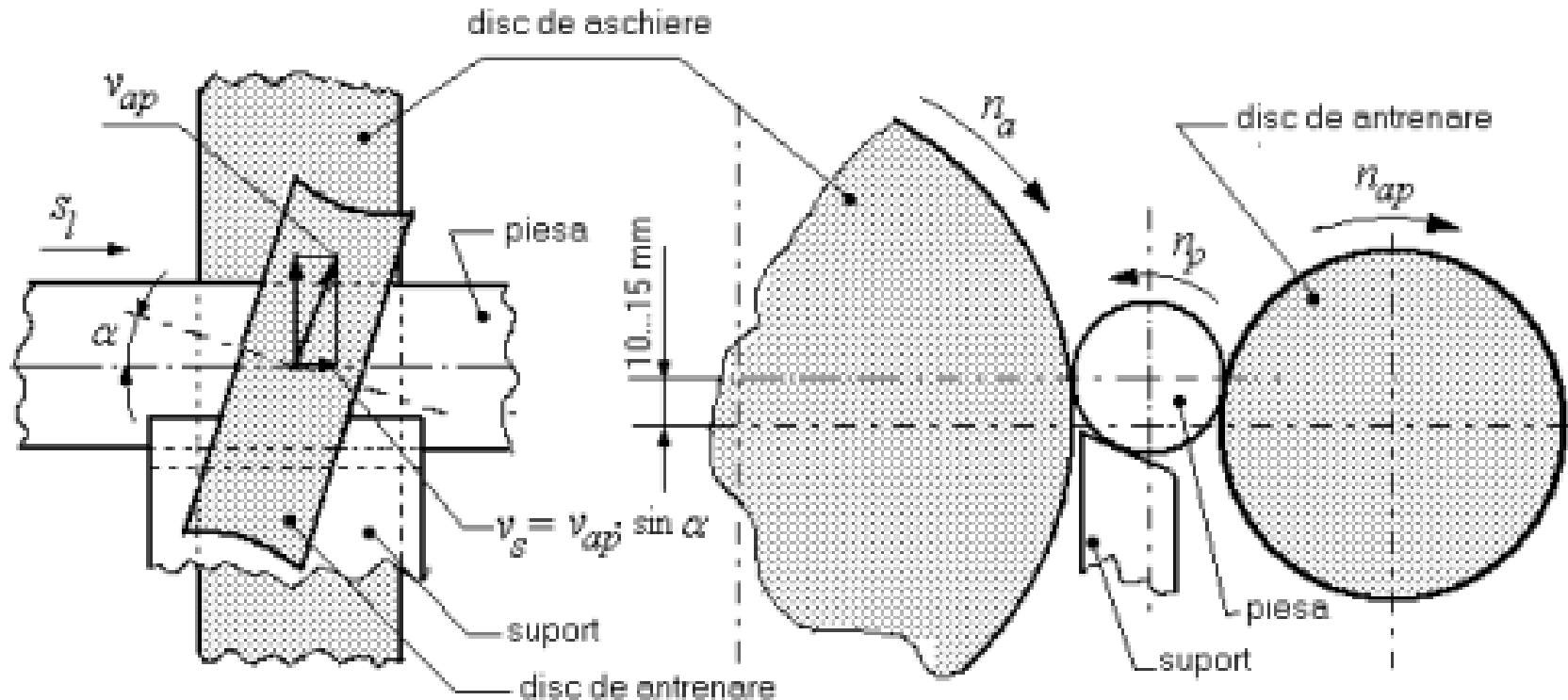


Fig. 72. Rectificarea fără centre cu avans longitudinal [GYE 91]

Rectificarea fără centre are următoarele avantaje:

- ❖ se elimină operația de centruire;
- ❖ uzarea discului de antrenare este mai redusă;
- ❖ erorile la dimensiuni se reduc la jumătate deoarece uzarea discului de aşchiere provoacă abateri la diametru și nu la rază ca în cazul rectificării între vârfuri;
- ❖ mașina-unealtă este rigidă, precisă și simplă;
- ❖ nu sunt necesare dispozitive speciale în cazul prelucrării pieselor subțiri și lungi;
- ❖ operația se desfășoară rapid și continuu;
- ❖ nu apar deformații ale piesei și de aici o precizie ridicată procedului.

1.6.10 Rectificare exterioară cu avans transversal fără centre

Se recomandă la prelucrarea porțiunilor profilate ale arborilor de lungime mică sub 250 mm. Piesa este prinsă între discurile 2 și 3, avansul radial al discului de avans se realizează continuu și retragerea rapidă a lui după atingerea opritorului 4. Pentru ca piesa să nu se deplaseze axial, discul de avans este înclinat cu 0.5-1 grad.

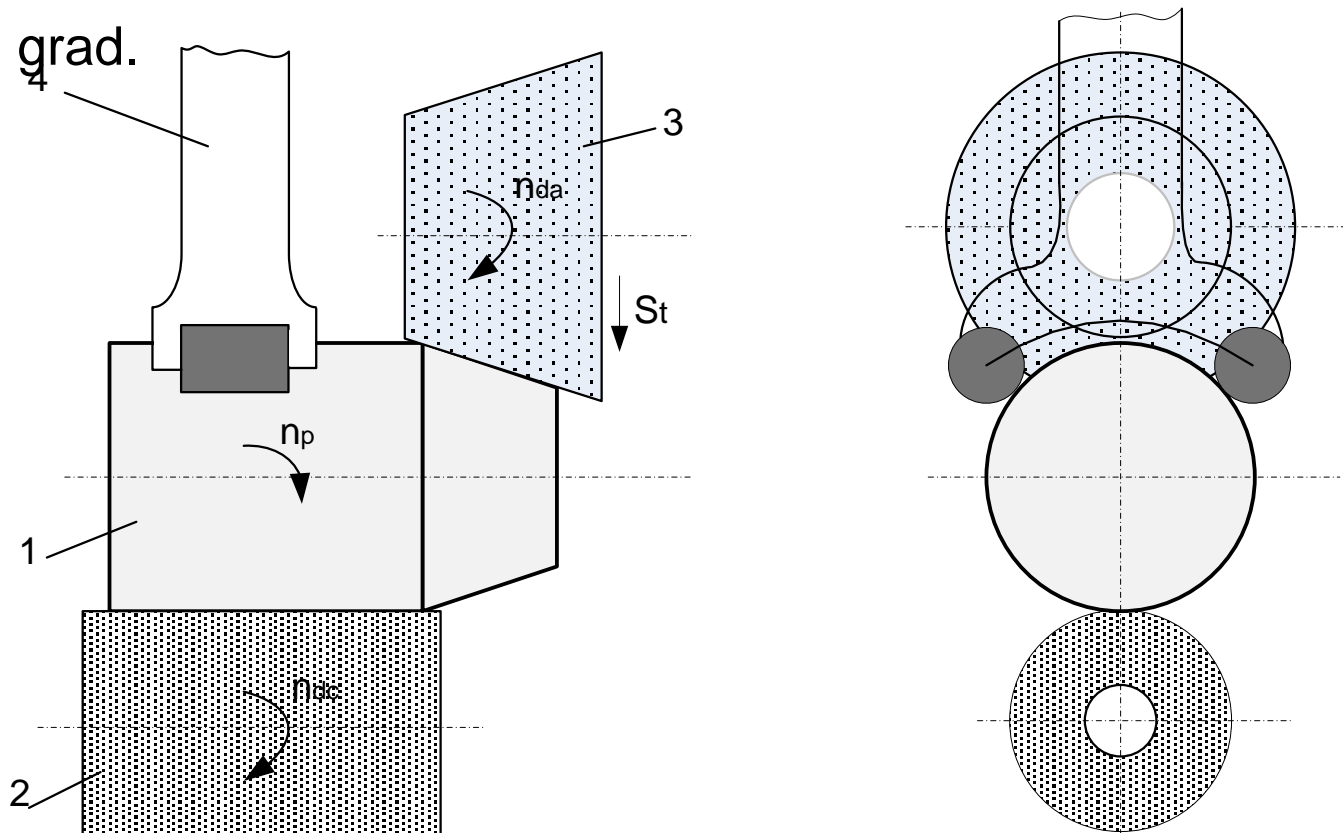


Fig. 73. Rectificarea fără centre cu avans transversal [GYE 91]

1.6.11 Scule abrazive folosite la rectificare

Sculele abrazive sunt confecționate din granule de material abraziv prinse cu ajutorul unui liant. Datorită durității ridicate și a formei lor colțuroase, granulele abrazive realizează așchieria.

Sculele abrazive se comportă diferit în timpul procesului de așchiere, această comportare fiind condiționată de:

- ❖ natura materialului abraziv;
- ❖ granulația materialului abraziv;
- ❖ natura liantului;
- ❖ duritatea sculei abrazive;
- ❖ structura acesteia.

Materialele abrazive din care se confecționează corpuri abrazive pot fi:

- ❖ naturale sau sintetice.

Dintre materialele abrazive naturale se folosesc:

- ❖ cuarțul;
- ❖ corindonul;
- ❖ diamant
- ❖ electrocorindonul care la rândul lui poate fi:
 - ❖ nobil (conține 98...99.5% Al_2O_3);
 - ❖ normal (conține aproximativ 95% Al_2O_3).

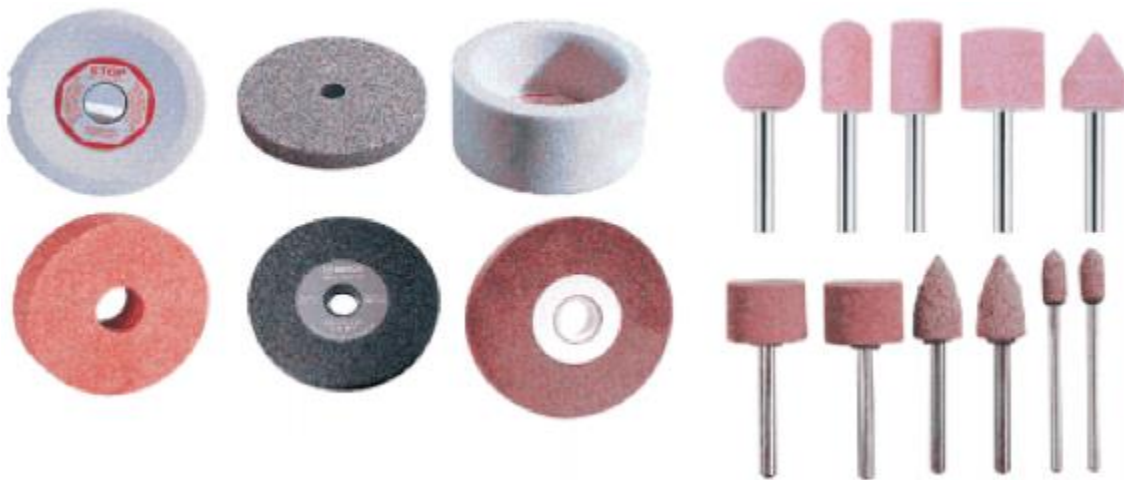


Fig. 74. Corpuri abrazive (corindon) [www.car]

- ❖ carbura de siliciu - Granulele din carbură de siliciu sunt foarte dure, dar și foarte casante, de aceea se folosesc în general la prelucrarea materialelor fragile (fontă, bronz turnat etc.). De asemenea, carbura de siliciu verde se folosește și la confecționarea discurilor abrazive pentru rectificarea plăcuțelor din carburi metalice și oxizi sinterizați.



Fig. 75. Corp abraziv (carbură de siliciu) [www.car]

- ❖ carbura de bor - are o duritate superioară carbunii de siliciu, dar și o fragilitate mai mare. Se utilizează de obicei sub formă de pulbere sau pastă pentru rodare.

1.6.12 Montarea pietrelor abrazive

Pietrele abrazive cu alezaj se montează astfel:

- ❖ dacă diametrul alezajului este prea mare se introduc bucșe din plumb sau material plastic;
- ❖ dacă diametrul alezajului este mai mic nu se introduc pe ax forțat;
- ❖ la fixare, între piatra abrazivă și piuliță se introduce șaibă din carton, cauciuc sau metal moale;
- ❖ la montaj se verifică poziția pietrei abrazive (abateri în direcție radială și axială).

Simbolizarea discurilor abrazive



Marcarea discurilor abrazive [www.car]

1. Denumire comercială
2. Standard de calitate
3. Număr Lot
4. Forma corpului abraziv
5. Dimensiunile corpului abraziv
6. Tip material abraziv
 - 11A Electrocorindon normal
 - 41A Electrocorindon semifriabil
 - 33A Electrocorindon nobil
 - 66A Electrocorindon nobil roz
 - 21C Carbură de siliciu neagră
 - 22C Carbură de siliciu verde
7. Granulație

Grobă	Medie	Fină	Foarte fină
16	46	120	280
↓	↓	↓	↓
36	100	240	800
8. Duritate
 - Foarte moale E,F,G
 - Moale H,I,J,K
 - Medie L,M,N,O
 - Dură P,Q,R, T
 - Superdură Z
9. Structură
 - Închisă 3,4
 - Medie 5,6
 - Deschisă 7-9
 - Foarte deschisă 10-12
10. Tip liant
 - V ceramic
 - B bachelitic
 - M magnezitic
 - E elastic
11. Viteză maximă de lucru/turație

1.6.13 Lepuirea - operația tehnologică de finisare a suprafețelor cu ajutorul unui dispozitiv numit lepuitor, pe mașini de lepuit.



Fig. 76. Lepuitor cu bare de Cu [TAN 12]

La lepuire, dispozitivul numit lepuitor prezintă două mișcări simultane: o mișcare de translație alternativă și o mișcare de rotație alternativă. În acest mod, nu se repetă traiectoriile granulelor abrazive.


Lepuitorul prezintă între 3-12 bare, fixate rigid sau elastic, pe corpul său. Lepuitorul cu bare fixate rigid înlătură abaterile de formă, pe lângă finisarea propriu-zisă. Lepuitorul este fixat printr-o articulație în axul mașinii de lepuit. Se utilizează următoarele materiale abrazive: electrocorindon, carbura de siliciu, oxizi de Fe, Cr, Al.

1.6.14 Honuirea – este procedeul de prelucrare fină a alezajelor cilindrice cu ajutorul unor bare abrazive cu granulație foarte fină montate pe un cap special (extensibil sau fix) numi thon.



Fig. 77. Cap de honuit [TAN 12]

Capul de honuit execută o mișcare continuă de rotație într-un singur sens și o mișcare rectilinie alternativă, în timp ce piesa este fixă. Barele abrazive sunt din electrocorindon pentru piese din oțel și carbură de siliciu-pentru piese din fontă.

- 
- ❖ Honul este prevăzut cu bare abrazive în număr de 3-12, cu granulație fină, care sunt apăstate simultan pe pereții găurii.
 - ❖ Deoarece honul se autocentrează după alezajul de honuit, prin honuire nu se poate asigura corectarea poziției axei găurii; pentru a permite autocentrarea honului, acesta se îmbină printr-un cuplaj articulată cu arborele principal al mașinii de honuit.
 - ❖ Prin honuire se obține numai precizia diametrului și micșorarea ovalității și conicității găurii.
 - ❖ Prelucrările care preced honuirea trebuie să asigure poziția corectă a axei găurii, înainte de honuire, alezajul trebuie să fie prelucrat prin alezare, strunjire de finisare sau rectificare.



Cap. 2 Prelucrarea roților dințate

- ❖ Roțile dințate sunt piese de revoluție cu dantură, destinate transmiterii mișcării de rotație între 2 arbori
- ❖ Materiale: oțeluri, fonte, bronzuri, alame, materiale plastice (tratate termic în funcție de solicitările la care sunt supuse).
- ❖ Semifabricate (în funcție de dimensiuni, formă, material, seria de fabricație, condiții tehnice și de funcționare):
 - Roți dințate de dimensiuni mari și serii mici – semifabricate turnate din oțel, fontă, bronz;
 - Roți dințate solicitate puternic, producție de serie – semifabricate forjate din oțel;
 - Roți dințate complexe, serie mare – semifabricate matrițate;
 - Roți dințate mici – semifabricate laminate.

2.1 Degroșarea roților dințate

Degroșarea roților dintate se poate executa prin următoarele metode: prin copiere și prin generare cinematică sau rostogolire. Prelucrarea danturilor prin copiere (figura 78) se realizează la rândul ei prin 2 metode: cu freza disc modul și cu freza deget modul.

Frezele disc și frezele deget modul au dinții detalonți fapt pentru care după reascuțire își păstrează profilul.

Avantajul acestui procedeu constă în folosirea unor utilaje universale (mașini de frezat cu cap divizor) și a unor scule relativ ieftine.

Dezavantajul principal este lipsa de productivitate și precizia prelucrării care este una scăzută.

2.2 Danturarea prin copiere a roților dințate

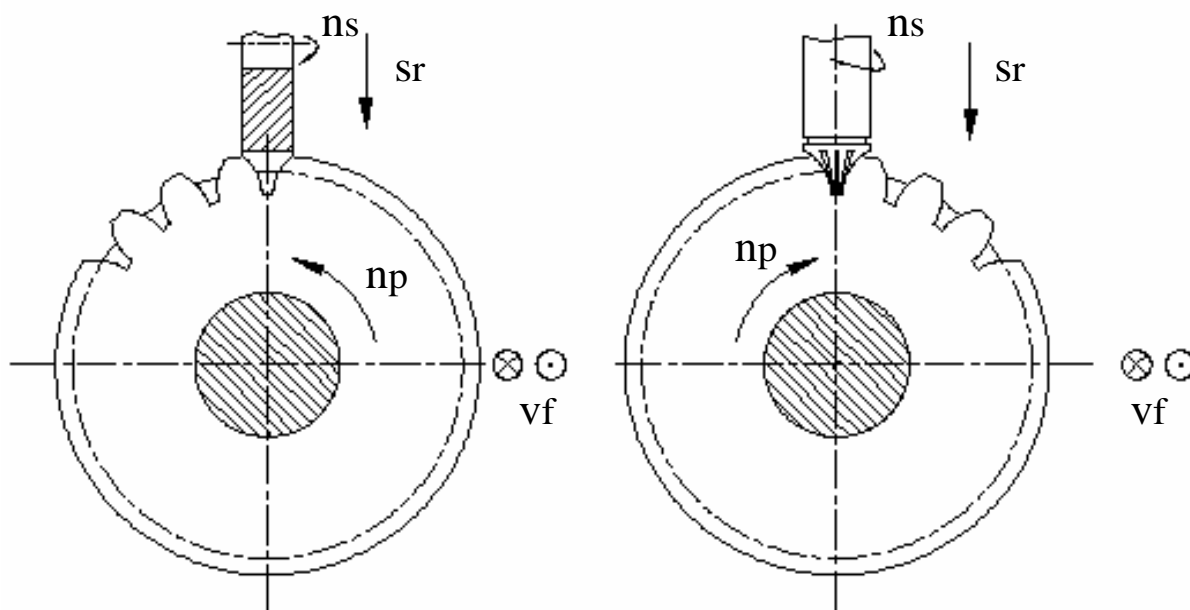


Fig. 78. Danturarea prin copiere [GYE 04]

a) cu freză disc-modul

b) cu freză deget modul

Mișcarea principală de așchiere este efectuată de către scula așchietoare n_s , mișcarea de avans longitudinal efectuată de masa mașinii v_f , mișcarea de avans de pătrundere s_r și mișcarea de divizare, care asigură rotație piesei în vederea realizării unui nou gol dintre doi dinți.

Frezele disc modul se fabrică în seturi de 8, 15 sau 26 de bucăți pentru numere de dinți $z \geq 12$. Profilul fiecărei freze din set corespunde profilului golului roții dințate cu cel mai mic număr de dinți din grupă. Profilul frezei, pentru fiecare grupă se calculează la numărul minim de dinți din grupă unde mărimea golului este maximă, asigurându-se astfel angrenarea și pentru roata dințată cu un număr mai mare de dinți.

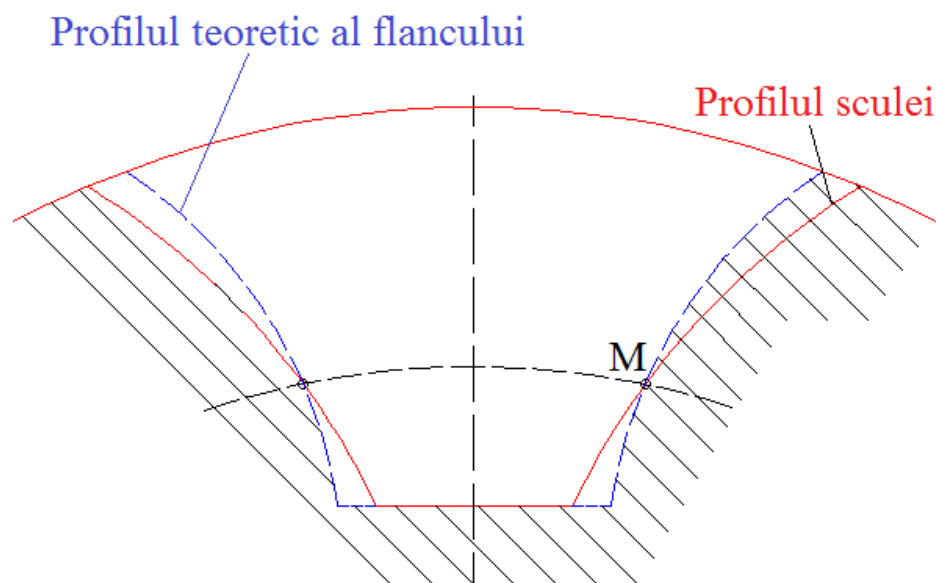


Fig. 79. Erorile de profil la prelucrarea prin copiere [GYE 91]

La prelucrarea roților dințate cu dinți elicoidali, capul divizor are un rol dublu: contribuie la realizarea mișcării de rotație a semifabricatului și realizează și mișcarea de divizare intermitentă. La prelucrarea danturilor înclinate alegerea frezei se face în funcție de numărul de dinți echivalenți: $z_e = z / \cos^3 \beta$, numărul zecimal obținut se va rotunji în minus la partea întreagă.

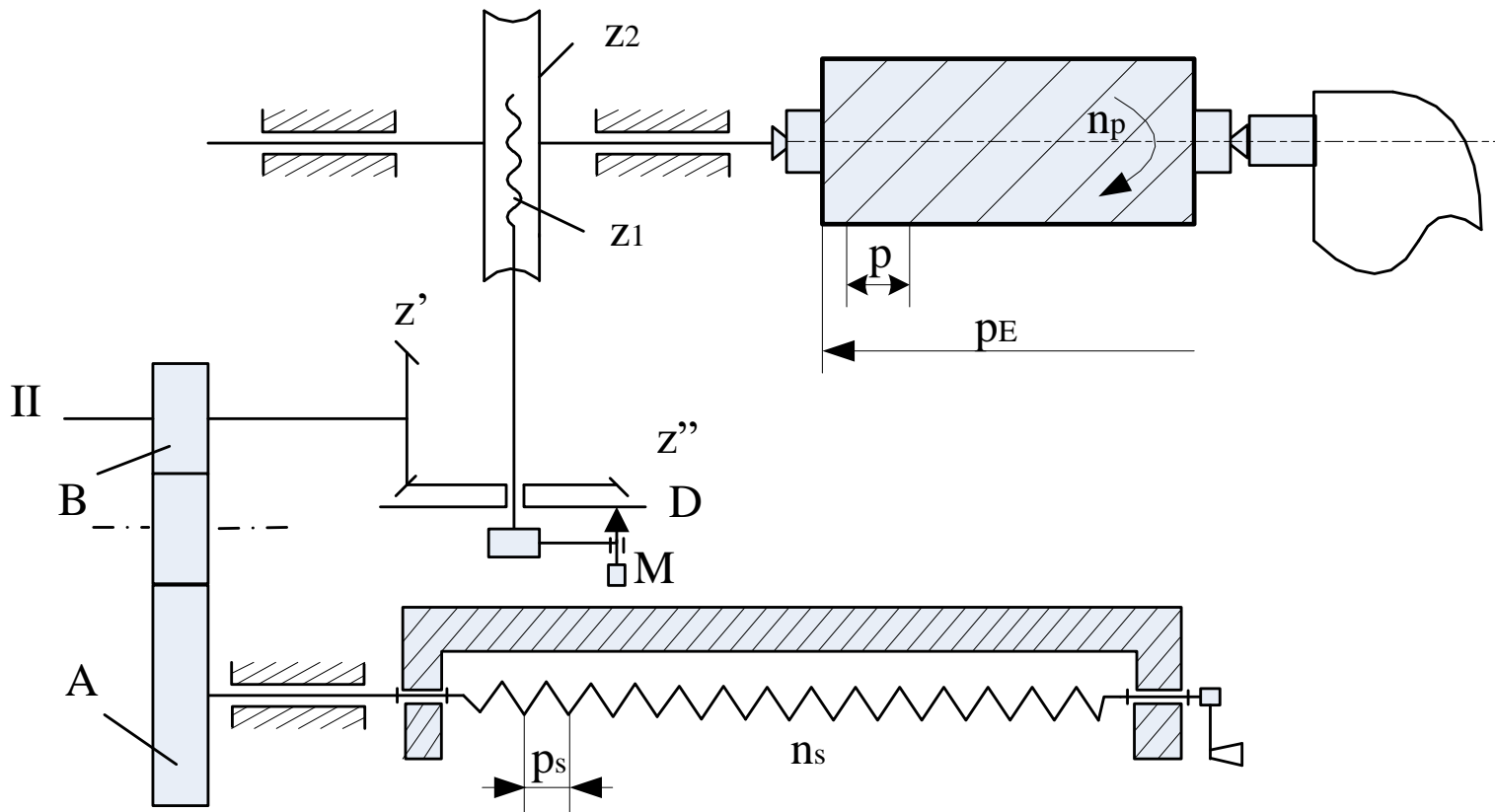
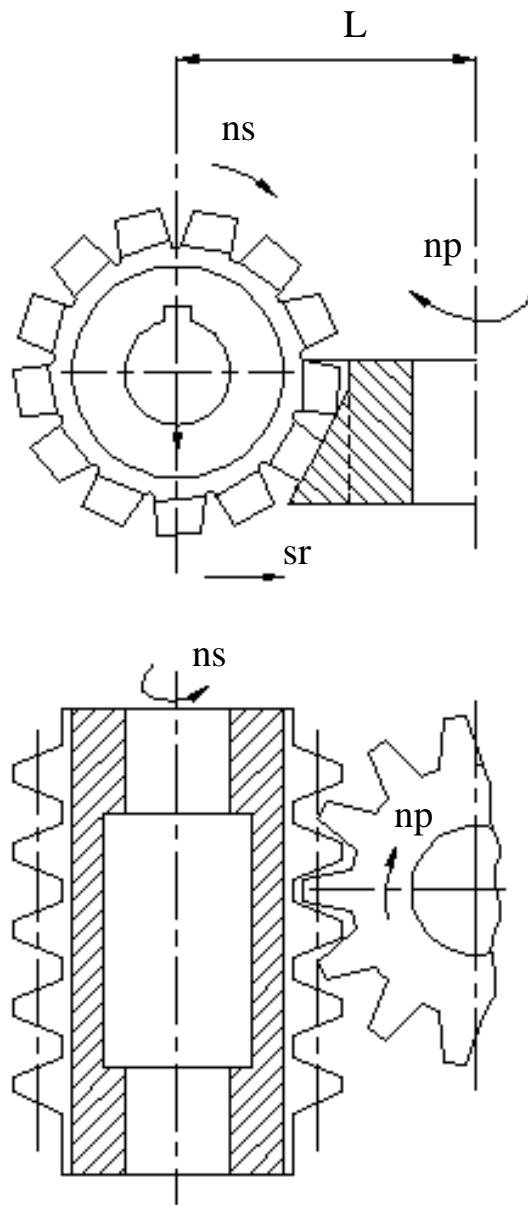


Fig. 80. Schema de reglaj pentru prelucrarea danturii cilindrice elicoidale [GYE 91]




2.3 Frezarea danturilor cilindrice prin

rulare sau rostogolire este considerată ca fiind cea mai răspândită metodă de prelucrare a danturilor cilindrice, frezarea cu freza melc realizându-se pe mașini de danturat.

Prelucrarea are la bază generarea profilului evolventic al danturii, iar în timpul prelucrării cremaliera fiind în angrenare cu roata dințată generează dantura. Mișcarea de rostogolire are loc prin angrenarea forțată dintre freza melc și semifabricat.

Fig. 81. Schema frezării prin rulare a danturilor cilindrice [GYE 91]



Miscarea principală de aşchiere este corelată cu mişcarea de rotaţie a piesei n_p . În acelaşi timp freza melc se deplasează cu avansul axial s_a iar după trecerea pe toată lăţimea roţii, freza este readusă în poziţia iniţială apoi este reglată la o altă adâncime de aşchiere i se dă un avans radial s_r . Procesul poate decurge cu 2 scheme de prelucrare: în sensul avansului şi în sens contrar avansului.

Frezarea în sensul avansului asigură o calitate mai bună a suprafeţei prelucrate.

Prelucrarea prin rulare este superioară din punct de vedere al productivităţii prelucrării prin copiere.

2.4 Finisarea roților dințate

Prelucrarea de finisare se realizează cu discuri abrazive profilate, după forma flancului sau a golului dintre dinți.

Discul execută mișcarea principală de așchiere, o mișcare de rotație cu viteză de 20-30 m/s.

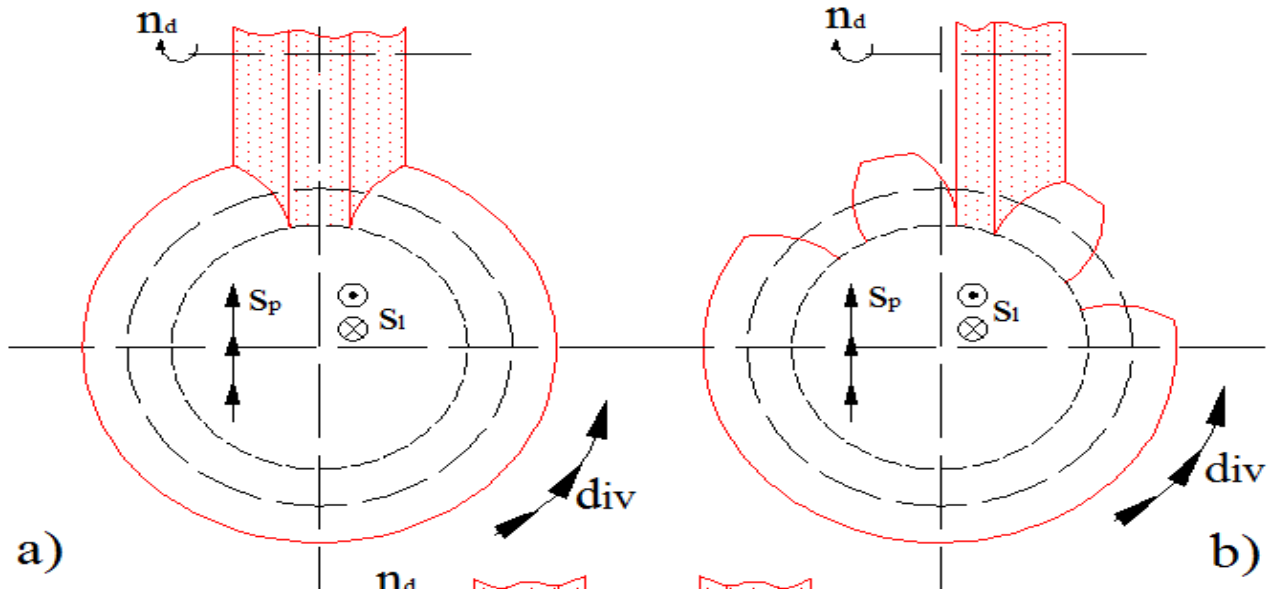
Pentru prelucrarea danturilor drepte se mai execută o mișcare de avans longitudinal în lungul dintelui executată de piesă cu viteză de 8-12 m/min la degroșare și 5-8 m/min la finisare.

Scula așchietoare mai execută și o mișcare de avans radial (și anume avans de pătrundere și o mișcare de divizare).

b. Finisarea roților dințate

ORCUTT

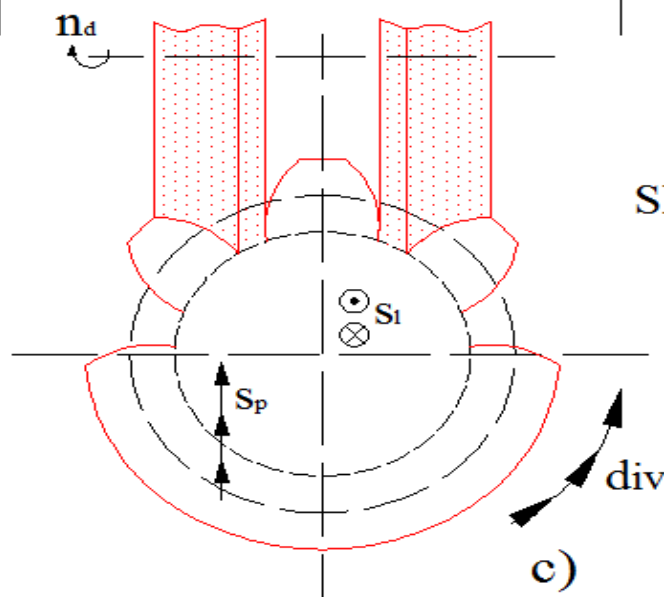
SFEDR



a)


b)

SHAUDT



c)

Fig. 82. Rectificarea prin copiere a danturilor cilindrice prin copiere [GYE 91]

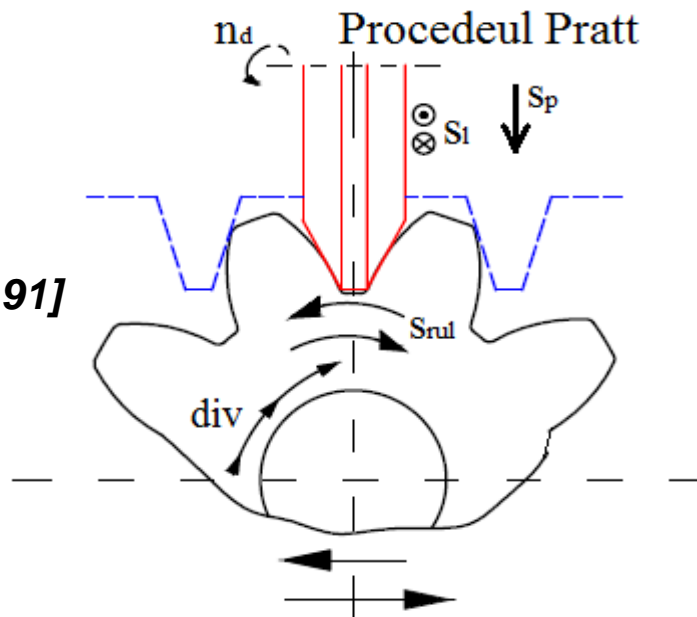


2.5 Procedeu ORCUTT se bazează pe materializarea golului dintre doi dinți, ambele flancuri rectificându-se cu aceeași sculă abrazivă. Productivitatea și calitatea suprafeței sunt mai scăzute datorită materializării ambelor flancuri cu partea frontală a discului.

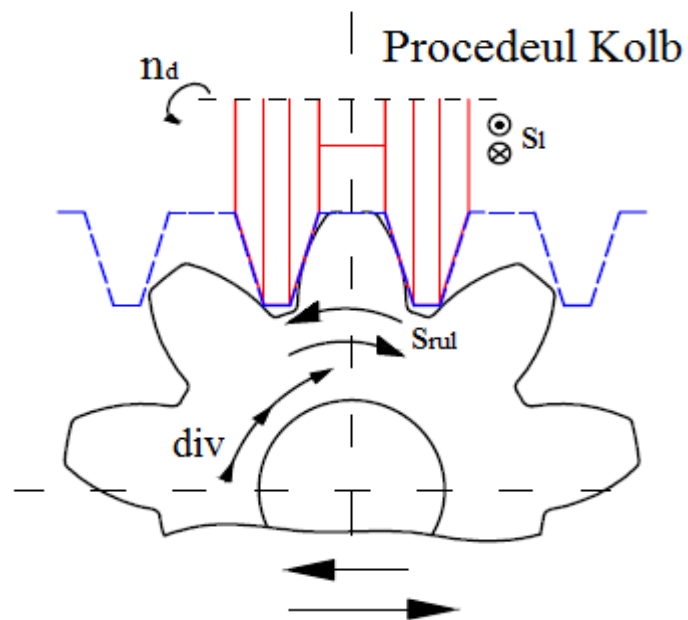
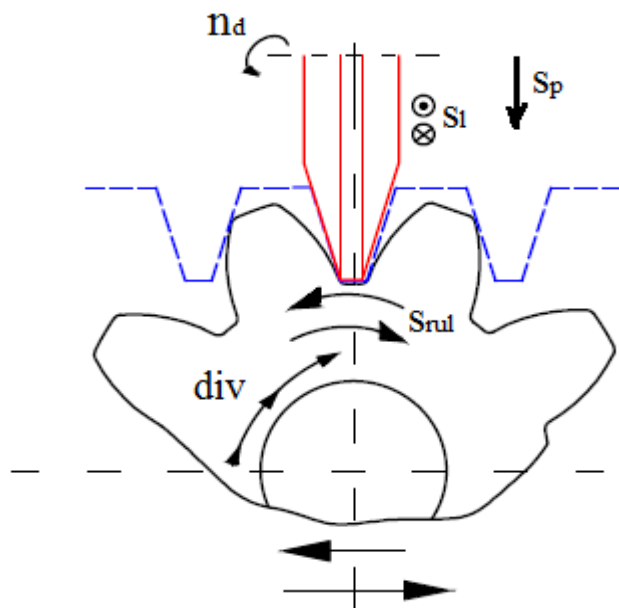
2.6 Procedeu SFEDR se bazează pe materializarea unui singur flanc al dintelui, situat asimetric ceea ce asigură o profilare mai convenabilă a discului.


2.7 Procedeu SCHAUDT se bazează pe materializarea a două flancuri diferite, a doi dinți diferiți simetrici față de axă folosind două discuri abrazive.

Fig. 83. Procedeu Nilles - cele 3 variante [GYE 91]



Procedeu Nilles - varianta standard





2.8 Procedul NILES se realizează în trei variante: varianta standard folosește un disc abraziv biconic al cărui profil corespunde cu cel al cremalierii generatoare de grosime mai mică însă. Discul abraziv efectuează mișcarea principală de așchiere, respectiv avansul longitudinal rectiliniu alternativ. Piesa execută mișcarea de rulare compusă dintr-o mișcare de rotație și o translație.

2.9 Varianta PRATT folosește un disc abraziv care materializează simultan ambele flancuri ale dintelui cremalierii generatoare.

2.10 Variant KOLB folosește două discuri biconice montate pe același arbore, unul care realizează degroșarea și al doilea pentru finisare.

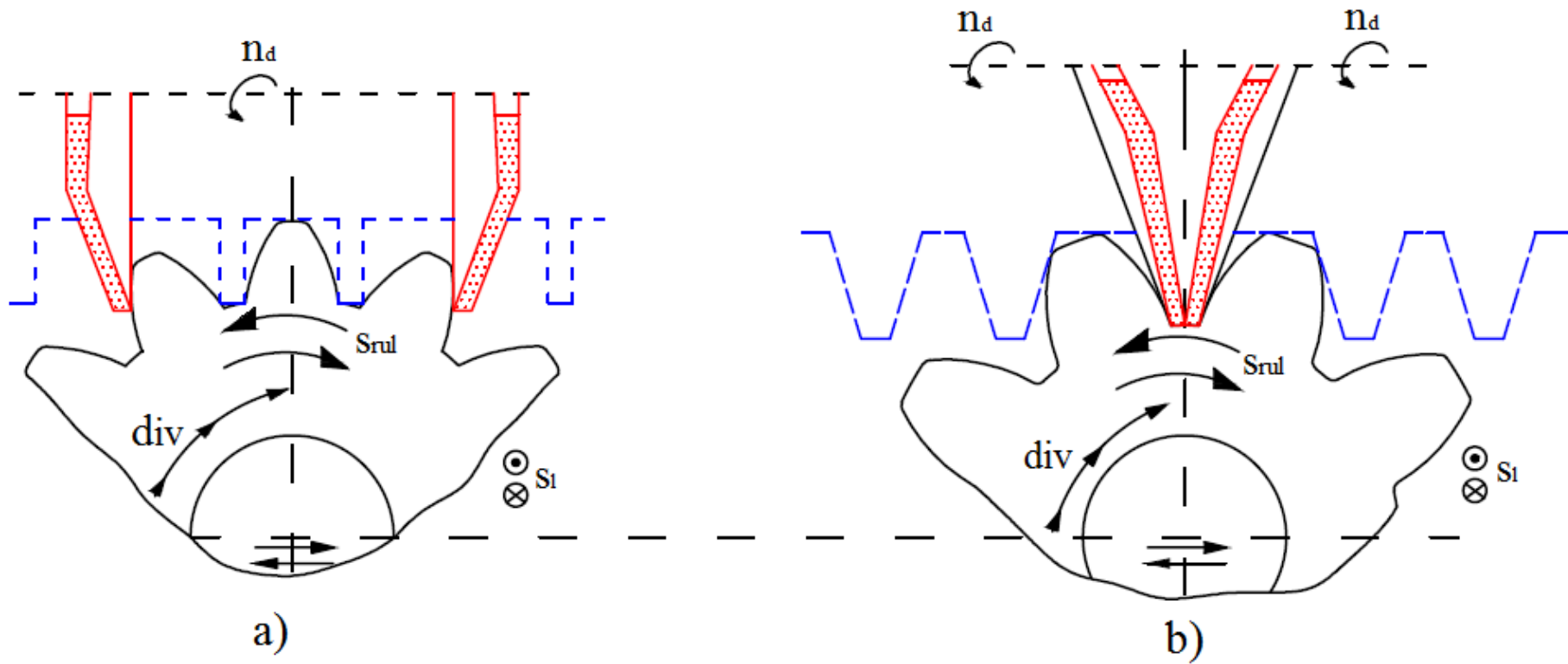


Fig. 84. Schema de rectificare MAAG: a) MAAG 0° b) MAAG 15° [GYE 91]

Procedeul MAAG folosește două discuri taler care nu materializează flancurile cremalierii generatoare ci le generează cinematic în cursul mișcării rectilinii alternative efectuate de piesă. La danturile înclinate piesa mai execută și o mișcare de rotație corelată cu avansul în lungul dintelui. În funcție de unghiul cremalierii generatoare procedeul se poate executa în 2 moduri: MAAG 0° (figura 82.a) și MAAG 15° (figura 82.b).

2.11 MAAG 0° contactul dintre disc și flanc se realizează liniar. Productivitatea procedeului depinde de lungimea cursei, și cum la MAAG 0° lungimile de avans sunt mai mici rezultă o productivitate mai mare la prelurare.

2.12 MAAG 15° contactul disc-flanc este punctiform. Procedeul MAAG 15° permite prelucrarea în serii mici și mijlocii a danturilor de dimensiuni mici și mijlocii cu o precizie ridicată.

2.13 Cinematica procedului REISHAUER este asemanator cu frezarea prin rulare cu freza melc. Procedul se aplică la rectificarea danturilor a cărui modul este cuprins între 0.5 și 7 mm și a cărui diametru este cuprins între 10 și 700 mm. Procedul prezintă o precizie și o productivitate ridicată.

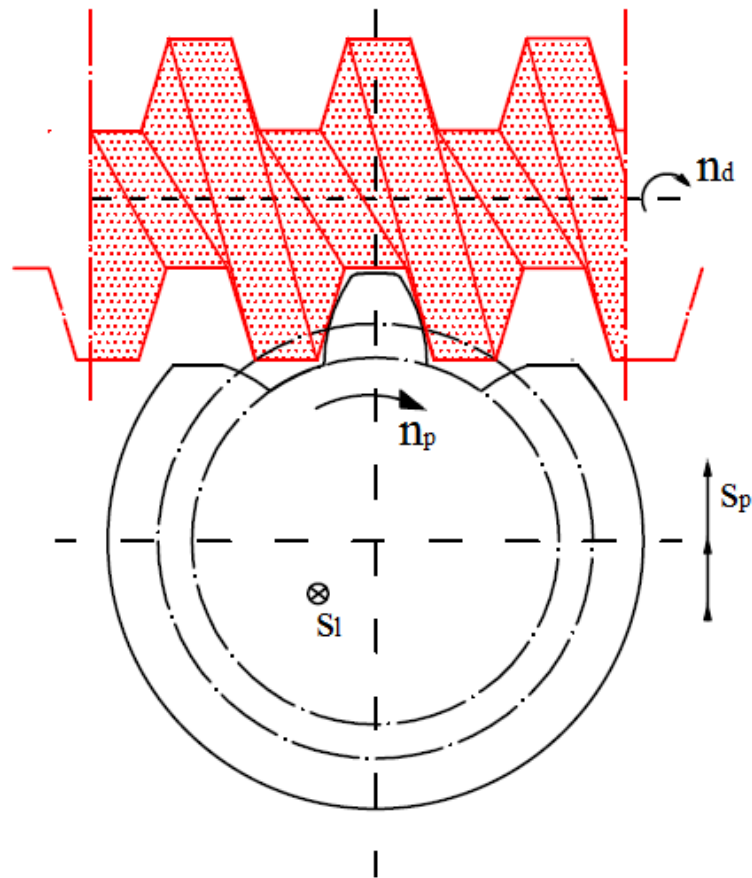
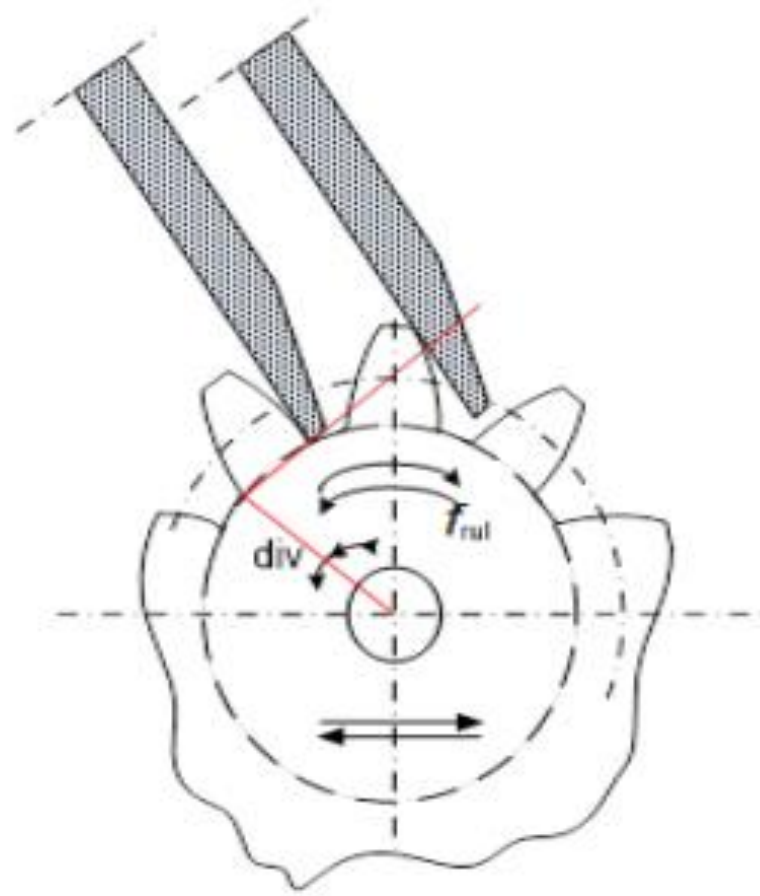


Fig. 85. Schema procedului de rectificare Reishauer [GYE 91]

2.14 Procedeu LESS BRATNER

Acest procedeu utilizează un disc abraziv de diametru cuprins între 600 și 800 mm care materializează în întregime cu partea frontală un flanc al cremalierii generatoare. Semifabricatul execută atât mișcarea de rulare cât și mișcarea de divizare. Avansul longitudinal este de evitat, discul abraziv prelucrând piesa simultan pe toată lățimea sa. Procedeu este destinat prelucrării în serie mare a roților înguste cu dinți drepecți.



**Fig. 86. Schema procedului de rectificare
Lees Bradner [GYE 91]**

2.15 Șeveruirea roților dințate

Procedeul se desfășoară în timpul mișcării de rulare cu alunecare dintre sculă și piesă. **Șeveruirea** este un procedeu de finisare a danturilor cilindrice drepte sau înclinate necălite. Prin șeveruire se reduc erorile de formă ale dintelui și se îmbunătățește calitatea suprafeței flancurilor. Prelucrarea de finisare a roților dințate cu șever roată are la bază un angrenaj cu axe încrucișate care în timpul angrenării dintre sculă și piesă asigură și o alunecare între flancuri producând așchieria.

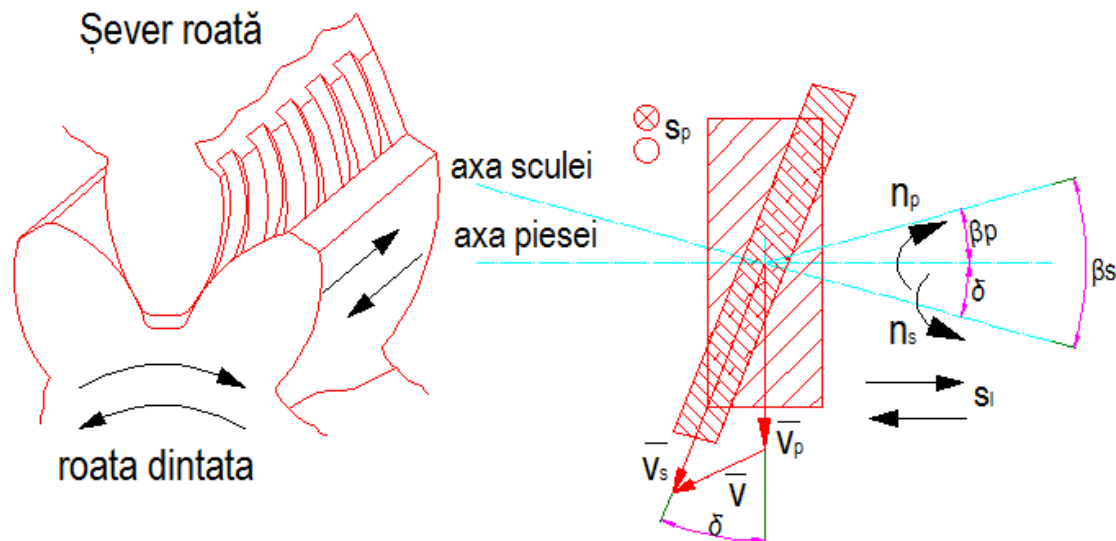



Fig. 87. Schema prelucrării la finisarea roților dințate cu șever roată [GYE 91]



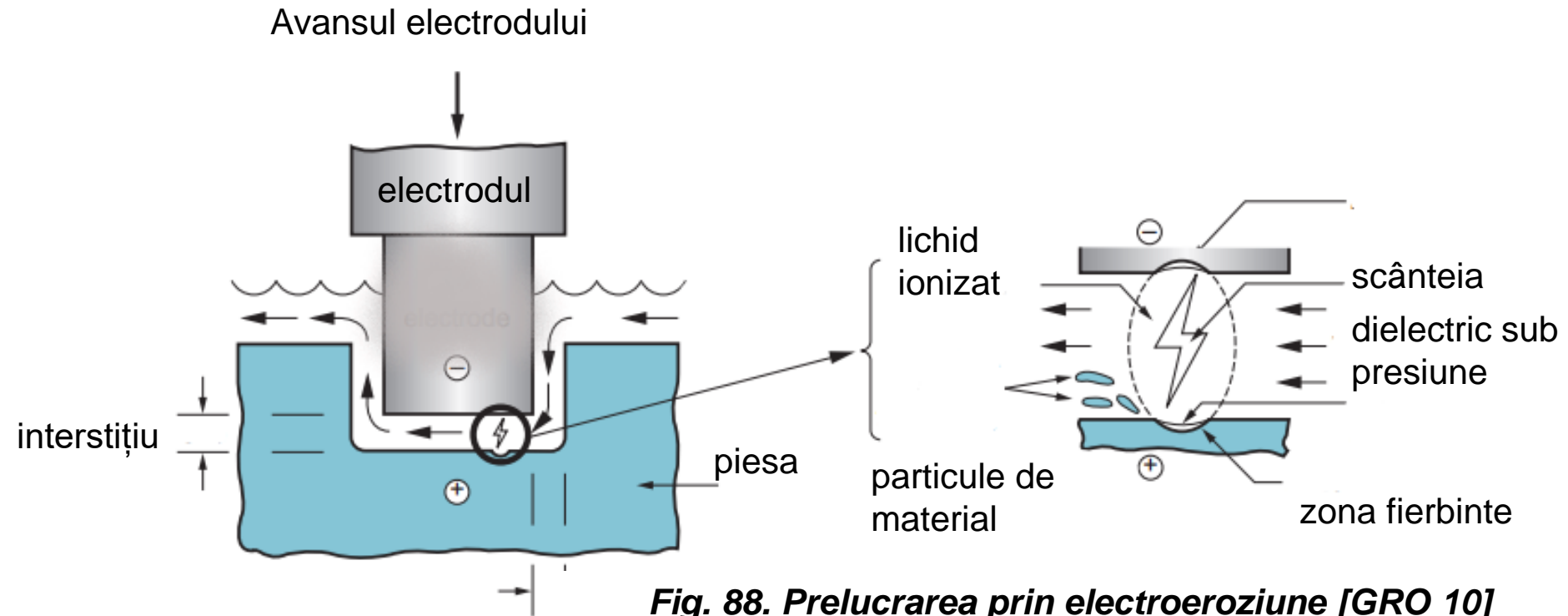
Cap. 3 Tehnologii neconvenționale



Tehnologiile neconvenționale sunt complementare metodelor uzuale de fabricație prin așchiere și deformări plastice

1. Eroziunea electrică EDM;
2. Tăierea prin electro-eroziune cu fir (EDWC);
3. Tehnologii de prelucrare cu ultrasunete (USM);
4. Prelucrarea electro-chimică (ECM);
5. Debavurarea electro-chimică (ECD);
6. Rectificarea electro-chimică (ECG);
7. Prelucrări cu laser (LBM);
8. Prelucrări cu fascicol de electroni (EBM);
9. Prelucrarea cu jet de apă (WJC);
10. Prelucrarea cu jet abraziv (AJM).

3.1 Eroziunea electrică (EDM-Electrical Discharge Machining)



Procedeul de prelucrare prin **eroziunea electrică** a materialelor foarte dure (HRC 60...64) care nu pot fi prelucrate prin procedee clasice de aşchiere. Procedeul se foloseşte în special în cazul în care se cere realizarea unor forme şi profile de configuraţii specială.

- ❖ Prelucrarea se bazează pe dislocarea particulelor de pe suprafața piesei prin descărcări electrice successive între electrod - scula (catod) și electrodul - piesa (anod);
- ❖ Energia electrică produsă prin descărcări electrice successive se transformă direct în lucru mecanic de dislocare;
- ❖ Îndepărtarea materialului de pe anod se explică prin efectul termic al descărcării;
- ❖ Scânteia care se formează duce la o creștere bruscă și intensă a temperaturii la suprafața anodului, la topire sau chiar la volatizarea materialului și la expulzarea acestuia printr-un fel de undă explozivă;
- ❖ Durata scurtă a descărcării nu permite transferul de căldură în masa electrodului, astfel încât materialul din interior nu este afectat de fenomenul termic superficial;

- ❖ Pe suprafața electrodului apar cratere emisferice formate în urma expulzării materialului, creșterea a căror mărimi depinde de descărcarea electrică produsă.

Avantajele prelucrării prin electroeroziune sunt:

- posibilitatea de a prelucra formele complicate a pieselor dure cu un consum redus de scule din materiale deficitare;
- productivitate ridicată față de procedeele clasice;
- printr-un reglaj simplu, se pot obține grade de finisare diferite a suprafețelor prelucrate;
- număr mic de operații;
- precizie până la sutime de mm;
- posibilitatea de recondiționare a sculelor uzate.

Ca dezavantaje se mentionează:

- productivitate mică la detașarea materialului din piesa care se prelucrează, care scade odată cu creșterea calității și a preciziei dimensionale a pieselor prelucrate;
- uzura pronunțată a electrodului sculă;
- consum specific ridicat de energie.

Materialul electrozilor trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie bune conducătoare de electricitate;
- să prezinte o prelucrabilitate ridicată;
- uzura relativ redusă;
- să nu fie atacate de lichidul dielectric;
- să aibă un preț de cost scăzut.

Lichidul dielectric trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- conductivitate electrică redusă ;
- durata de deionizare redusă;
- vâscozitate corespunzătoare;
- stabilitate chimică bună;
- securitate în exploatare;
- punct de inflamabilitate ridicat;
- toxicitate redusă;
- preț de cost scăzut.

3.2 Taierea prin electro-eroziune cu fir (Electrical Discharge Wire Cutting EDWC)

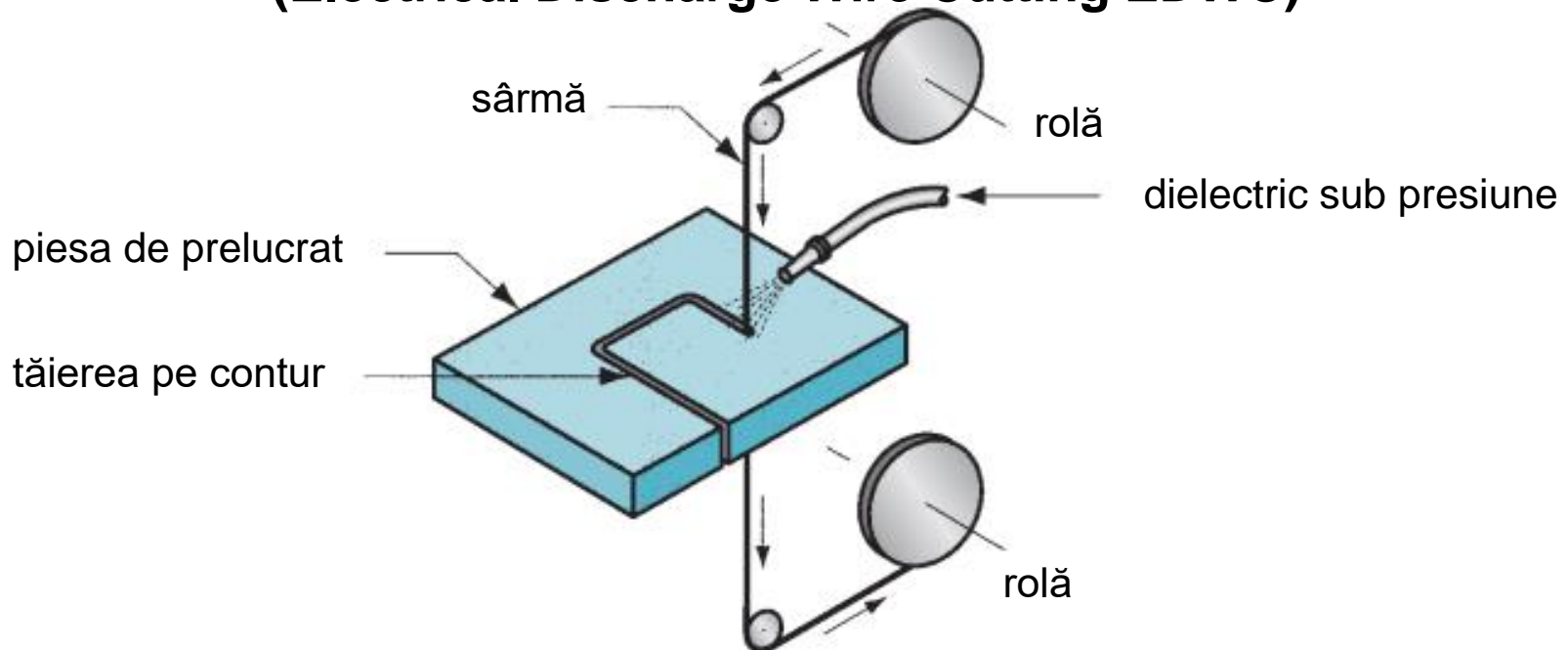


Fig. 89. Tăierea prin electroeroziune cu fir [GRO 10]

- ❖ Procedeeul este similar cu electroeroziunea cu electrod masiv bazându-se pe principiul de îndepărtare prin topire a materialului;
- ❖ Folosește ca electrod o sârma subțire (din Cu, alamă, tungsten, molibden $d=0.076-0.3$ mm) care se deplasează între două role, trecând prin piesă;


- ❖ Piesa este fixată pe masa mașinii ale cărei deplasări în planul XY pot fi controlate pentru a tăia forma dorită;
- ❖ Piesa și firul sunt spălate continuu de lichidul dielectric (apă deionizată sau ulei);
- ❖ Duritatea și rezistența materialului de prelucrat influențează viteza de prelucrare (metale dure tratate termic, carburi sinterizate);
- ❖ Prin electroeroziune cu fir se pot tăia materiale precum carburi, oțel pentru scule, aliaje de nichel, stelit, titan, aluminiu, în general orice material ce are conductivitate electrică;
- ❖ Sistemul computerizat de alimentare cu energie oferă o tehnologie de prelucrare eficientă și stabilă pentru a oferi o viteză de prelucrare excelentă, o densitate a descărcărilor constantă și o finisare foarte bună;

- ❖ Calitatea suprafeței rezultată în procesul standard de electroeroziune cu fir elimină adesea necesitatea operațiilor de finisare;
- ❖ Pot fi prelucrate secțiuni foarte mici deoarece firul electrod nu intra în contact cu materialul de prelucrat;
- ❖ Electroeroziunea cu fir este un proces non contact;
- ❖ Procedeu este fără acționare mecanică asupra materialului prevenind astfel apariția tensiunilor interne și a deformărilor, acest fapt se obține și datorită menținerii unei temperaturi scăzute constante a piesei în timpul procesului de prelucrare, aceasta fiind imersată complet în dielectric, a cărui temperatură este permanent controlată de utilaj pentru asigurarea condițiilor optime de prelucrare;
- ❖ Materialele taiate prin procesul de electroeroziune cu fir sunt complet lipsite de bavuri iar marginile sunt perfect drepte.

- ❖ Nu este necesar să se introducă piesa în lichid dielectric, deoarece este suficient să se asigure un flux permanent de dielectric;
- ❖ Pe durata descărcării electrice în dielectric au loc procese ireversibile care conduc la modificarea proprietăților dielectrice ale spațiului dintre piesă și electrod astfel încât se impune circulația forțată a lichidului dielectric în interstițiu.

Aplicații industriale:

- componente - aparate de măsură de precizie;
- caneluri;
- găuri pentru axe și manșoane;
- tuburi secționare;

- 
- roți dințate;
 - canale de pană interne;
 - came;
 - matrițe pentru extrudare;
 - scule pentru perforare oțel și o mulțime de alte forme speciale

Parametrii de lucru:

- ❖ Tensiune: 55-60 V;
- ❖ Intensitate: 1-32 A;
- ❖ Frecvența: 180-300 KHz (durata unui impuls 1-100μs).

Productivitatea prelucrării depinde de energia impulsurilor și de frecvența lor, care pot fi reglate modificând tensiunea, intensitatea și frecvența.

3.3 Tehnologii de prelucrare cu ultrasunete (USM-Ultrasonic Machining)

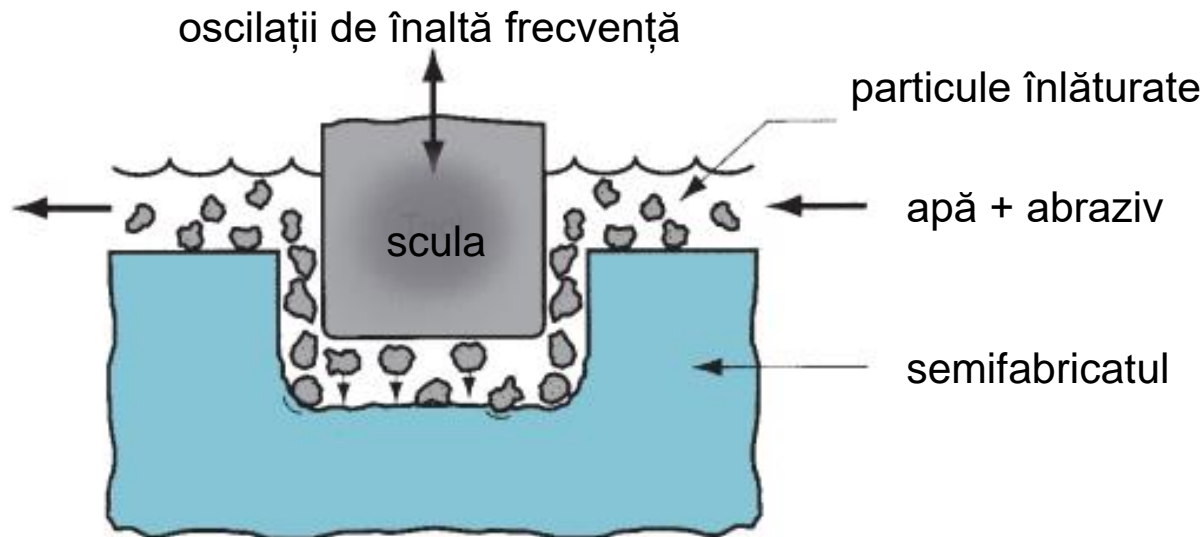


Fig. 90. Prelucrarea cu ultrasunete [GRO 10]

- ❖ Se aplică la prelucrarea materialelor dure și fragile (carburi, oțel inoxidabil, titan, ceramică sau sticlă) cât și a celor moi și ductile;
- ❖ Prelucrarea se realizează cu ajutorul unei scule (cu profil identic celui care se prelucrează), care oscilează cu o frecvență înaltă în mediu abraziv.

- ❖ Vibrația sculei se transmite granulelor abrazive (aflate în interstițiul dintre sculă și piesă)
- ❖ Impactul granulelor abrazive cu piesa produce energia care practic conduce la îndepărtarea materialului de pe piesă

Parametrii USM:

- Amplitudinea oscilației sculei în jurul valorii 0.075 mm;
- Frecvența de aproximativ 20000 Hz;
- Materialul sculei: oțel moale sau oțel inoxidabil;
- Forța de impact;
- Materialul granulelor abrazive (diamant, nitrură cubică de bor, oxid de aluminiu, carbură de Si);
- Concentrația de abraziv în apă variază de la 20% – 60%;
 - Granulație 280 => Ra = 0,38 μm și 800 => Ra = 0,25 μm

3.4 Prelucrarea electro-chimică (ECM-Electro-Chemical Machining)

- ❖ Principiul de baza al prelucrarilor electrolitice constă în transferarea metalului între doi poli conductivi cufundați într-o baie electrolitică la cuplarea curentului electric (metalul este preluat de pe electrodul pozitiv (anod) și depus pe electrodul negativ);
- ❖ Se îndepărtează materialul de pe semifabricatul conductiv, fără o implicare de energie mecanică sau termică;
- ❖ Procesul se desfășoară prin diluare anodică;
- ❖ Metalul este îndepărtat rapid de pe semifabricat => trebuie asigurată o apropiere între sculă și semifabricat astfel încât mărimea interstițiului să rămână constantă;
- ❖ Materialul descompus de pe semifabricat este înlăturat din interstițiul sculă/semifabricat cu ajutorul electrolitului;

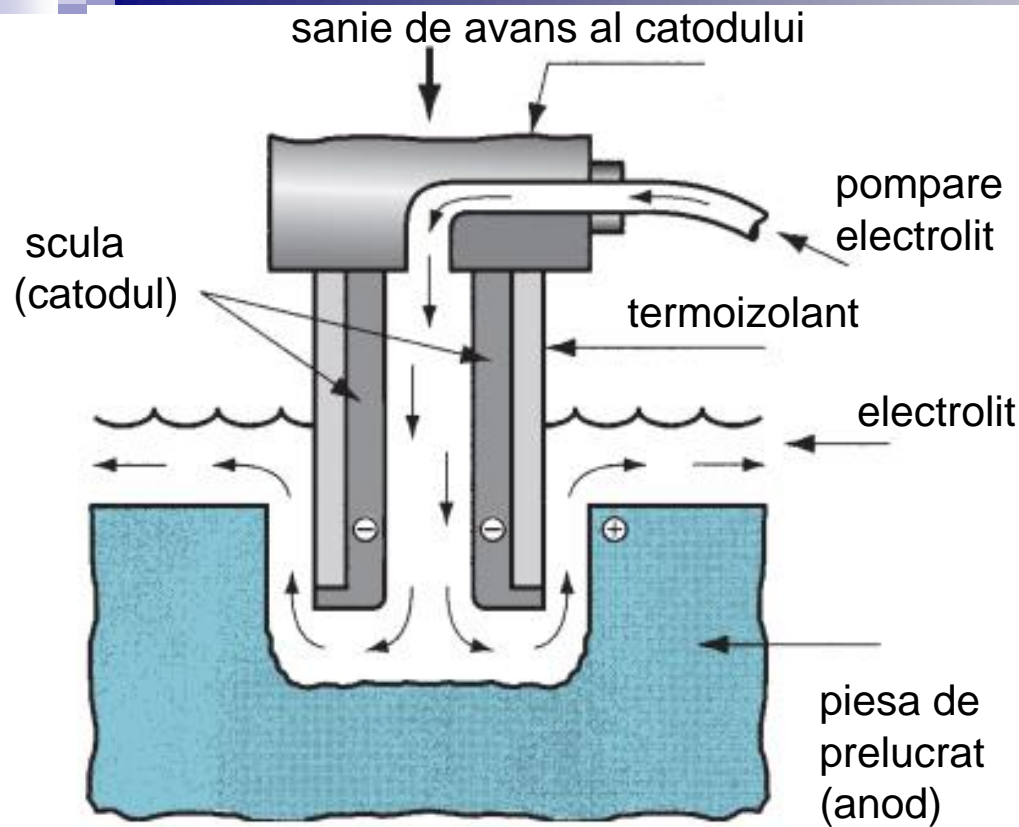


Fig. 91. Prelucrarea electrochimică [GRO 10]

- ❖ prelucrarea electrochimică expune în mod continuu o suprafață curată care este atacată chimic de electrolit;
- ❖ Proporția de prelucrare chimică depinde de electrolitul folosit și de metalul prelucrat (proporție semnificativă la prelucrarea aluminiului);

- ❖ orice proporție de prelucrare chimică ridică rata de îndepărtare a materialului peste valoarea calculată teoretic).

3.5 Debavurarea electro-chimică (ECD-Electro-Chemical Deburring)

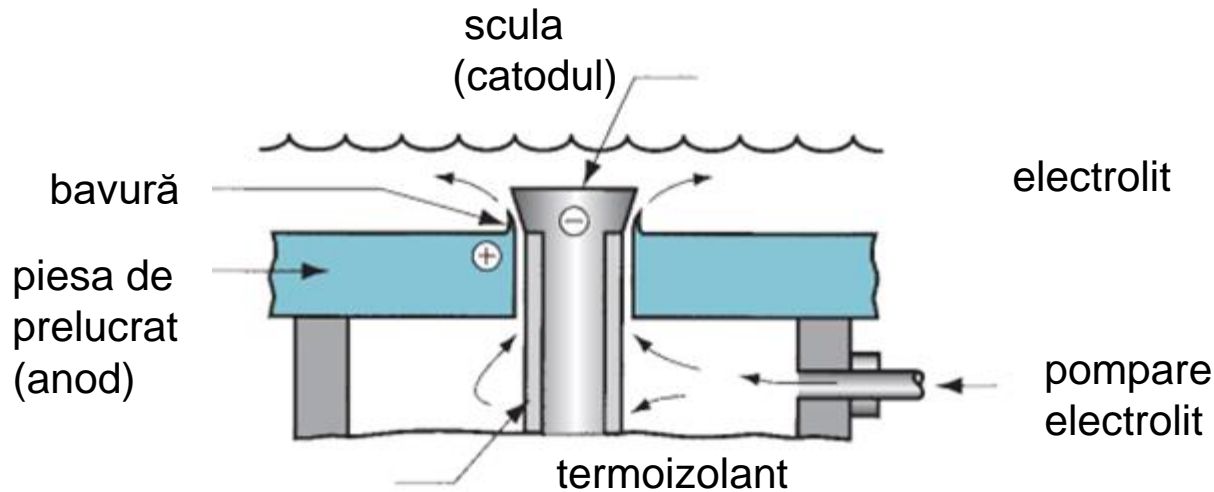


Fig. 92. Prelucrarea de debavurare electrochimică [GRO 10]

Debavurarea electrochimică (ECD) este o adaptare a ECM concepută pentru a elimina bavuri sau pentru a rotunji colțuri ascuțite pe piese metalice;

Principiul de lucru

- ❖ Prelucrarea se bazează pe dizolvarea electrochimică (anodică) a materialului semifabricatului, în cadrul unui proces de schimb de sarcini și de masă între electrolit, anod și catod.

3.6 Rectificarea electro-chimică (ECG - Electrochemical grinding)

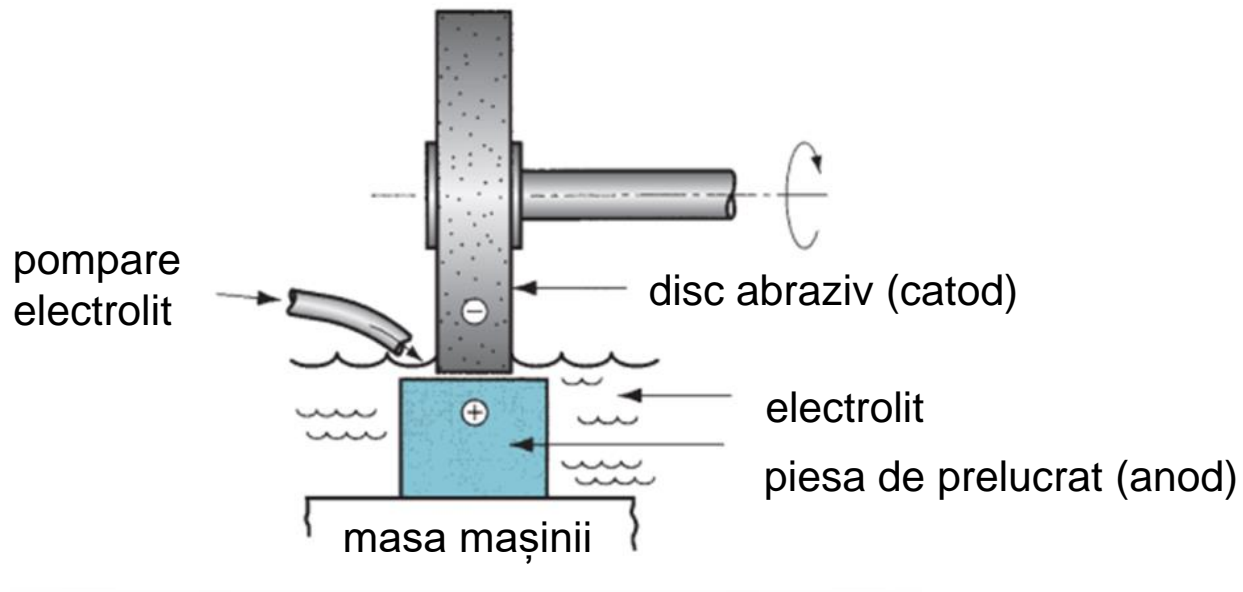


Fig. 93. Prelucrarea de rectificare electrochimică [GRO 10]

- ❖ Este o formă specială de ECM în care se utilizează un disc abraziv cu un material de legătură conductiv pentru a mări dizolvarea anodică a suprafeței de lucru din metal;
- ❖ Granulele abrazive utilizate sunt oxid de aluminiu sau diamant;

- ❖ Materialul de legătură este fie metalic (pentru abrazivi diamant) sau rășini impregnate cu particule metalice pentru a face electric conductoare (pentru oxid de aluminiu).

Caracteristicile procesului sunt influențate de următorii parametri:

- ❖ Tensiunea curentului în zona de lucru se alege în funcție de materialul piesei, de electrolit, sculă;
- ❖ Densitatea de curent se alege în funcție de forma și mărimea suprafeței prelucrate;
- ❖ Intensitatea curentului influențează în mod direct viteza de dizolvare electrochimică;
- ❖ Presiunea de contact electrod-sculă și electrod-piesă;
- ❖ Viteza relativă dintre electrozi influențează rugozitatea suprafeței și grosimea stratului superficial modificat.

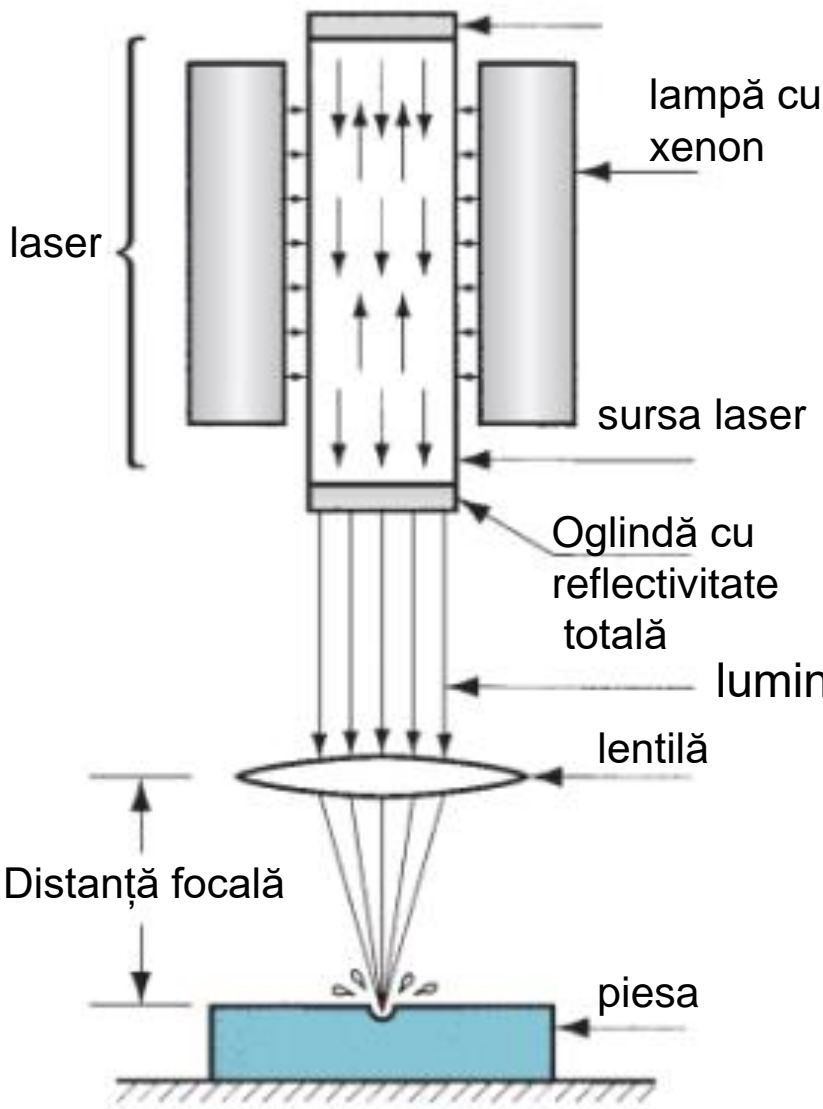
3.7 Prelucrari cu laser (LBM-Laser Beam Machining)

- ❖ LASER= Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations (Amplificarea luminii prin emisia stimulată a radiațiilor);
- ❖ nu orice tip de laser poate fi utilizat pentru prelucrări (laseri cu gaz, de ex CO2);
- ❖ Prelucrarea se realizează prin vaporizarea materialului (metal, diamant, materiale nemetalice (lemn, hartie etc.)

Principiul de lucru:

- ❖ Lumina foarte intensă produsă de o lampă cu xenon este reflectată spre un cristal de rubin în care vor lua naștere fotoni care amplificați vor părăsi cristalul prin oglinda semitransparentă și printr-un sistem optic de lentile și oglinzi care vor ajunge pe piesa prelucrată.

Oglindă cu reflectivitate totală



❖ Necesarul de energie pentru a vaporiza un volum de material se poate calcula, reprezentând aproximativ energia necesară pentru a încălzi materialul la temperatura de topire + căldura latentă de fuziune și vaporizare.

Aplicații industriale: găurire, tratamente termice, tăiere (însoțită de flux de gaz (oxigen), care asigură răcirea zonei de lucru, îndepărtarea zgurii, gazele reactive cresc viteza de tăiere).

Fig. 94. Prelucrarea cu laser
[GRO 10]

Operația de găurire – constă în executarea unor găuri (orificii perforate) cu diametre de la câțiva microni la 0.5 mm;

Tăierea – este posibilă în condiții economice până la anumite grosimi ale materialului de prelucrat în funcție de proprietățile acestuia (oțel aliat până la 0.2 mm, sticlă până la 1 mm, mase plastice până la 25 mm);

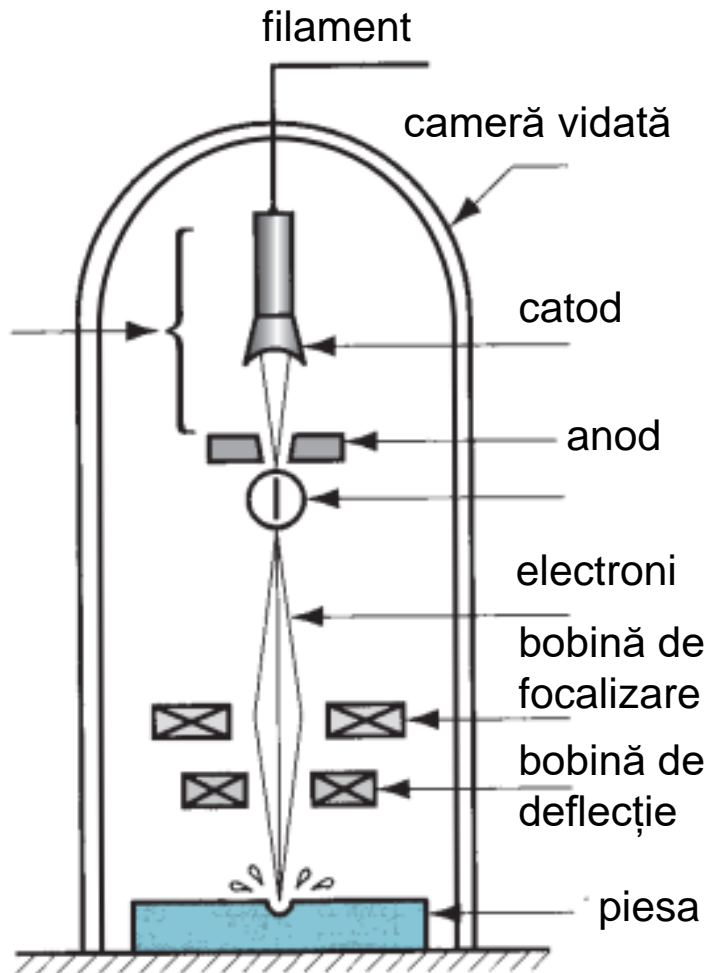
Cu ajutorul fascicolului de electroni se pot **prelucra canale** cu lățime de 10 μm și reticule pentru scale la aparatele optice.

Parametrii regimul de lucru la alegerea acestora trebuie să se țină seama de variația invers proporțională a vitezei de tăiere cu grosimea materialului de prelucrat

- puterea fascicolului
- oscilația fascicolului
- distanța de lucru
- viteza de lucru

3.8 Prelucrări cu fascicol de electroni (Electron Beam Machining –EBM)


- ❖ prelucrarea se realizează cu ajutorul unui fascicol de electroni accelerați, focalizat și dirijat cu ajutorul unor lentile, care bombardează local piesa;
- ❖ energia cinetică a electronilor este transformată în energie termică topind sau vaporizând materialul în funcție de ceea ce se dorește (tăiere sau sudare);
- ❖ procesul se desfășoară în vid pentru a evita coliziunile dintre electroni care se deplasează cu viteza foarte mare și molecule de aer;
- ❖ cea mai precisă tehnologie de tăiere fără nici o uzură a “sculei”;
- ❖ se poate tăia orice metal/nemetal cunoscut care poate exista sub vid;
- ❖ viteza de prelucrare mică (0,1mg/s) => eficiența la prelucrări fine, piese de mici dimensiuni.



Etapele procesului:

- ❖ fascicolul de electroni lovește materialul pe partea inferioara a cavității;
- ❖ transferul energetic produce o creștere a temperaturii;
- ❖ are loc o emisie termo-ionică exponențială a materialului piesei;
- ❖ electronii emisi tind să reducă curentul generat în piesă;

Fig. 95. Prelucrarea cu fascicol de electroni [GRO 10]

- 
- ❖ reducerea curentului este întreruptă de o explozie a materialului supraîncălzit în zona de transfer energetic, apoi se expune alt material rece
 - ❖ Datorită materialului rece curentul electronic crescut ridică temperatura și ciclul se repetă.

Aplicatii industriale:

- ❖ sudura;
- ❖ tăiere (canale);
- ❖ găurire ($d=0,05\text{mm}$, $l/d= 200:1$);
- ❖ tratament termic.

3.9 Prelucrarea cu jet de apă (WJC-Water Jet Cutting)

- ❖ Procedeeul folosește un jet de apă la presiune foarte mare (aprox. 400 MPa) și viteză foarte ridicată;
- ❖ Fluidul utilizat: apă sau soluție polimer (apă+aditivi => coerență mai bună a jetului);
- ❖ Diuze cu diametru mic: 0.1-0.4 mm;
- ❖ **Variabilele procesului:**

➤ Diametrul duzei	➤ Presiune ridicată
➤ Presiunea apei	➤ Orificiu larg al duzei
➤ Viteza de avans	➤ Avans mic
➤ Distanța de lucru	➤ Distanță mică de lucru

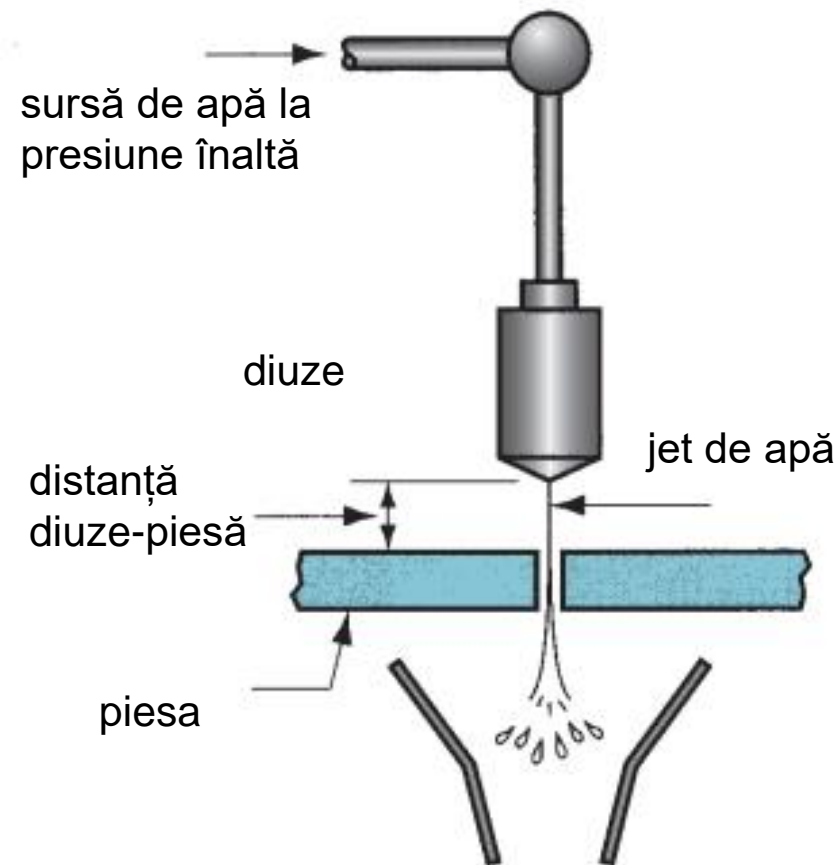


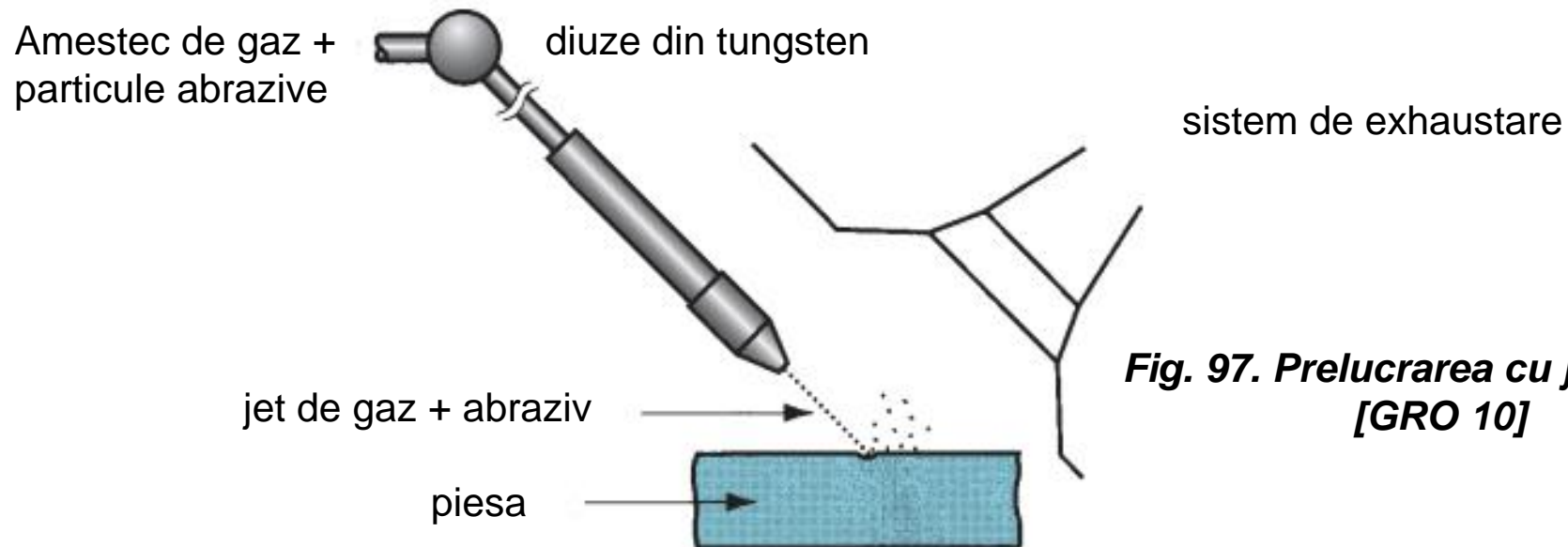
Fig. 96. Prelucrarea cu jet de apă [GRO 10]

Aplicații industriale

- ❖ Prelucrarea materialelor moi nemetalice (kevlar, grafit, plastic fibrat, piele);
- ❖ Datorită acțiunii punctiforme pot fi tăiate profile complexe;
- ❖ Pierderile de material din piesă sunt minime;
- ❖ Nu se produc deformări, arderi ale materialului piesei;
- ❖ Nu există poluare, ușor de automatizat.

3.10 Prelucrarea cu jet abraziv (AJM-Abrasive Jet Machining)

- ❖ Materialul din piesa de prelucrat este îndepărtat prin lovirea cu particule abrazive fine purtate de un jet de gaz cu viteză foarte mare;
- ❖ Se folosește pentru tăierea materialelor dure și fragile (sticlă, materiale ceramice);
- ❖ Nu există vibrații datorită absenței contactului sculă-piesă, prelucrarea se face la rece ceea ce exclude apariția deformațiilor termice.



**Fig. 97. Prelucrarea cu jet abraziv
[GRO 10]**

Parametrii de proces:

- ❖ Diametrul granulelor abrazive: 0.03 mm
- ❖ Gaz la presiune de câteva atmosfere 0.2 – 1.4 MPa
- ❖ Diametrul duzei: 0.075 – 1 mm;
- ❖ Distanța duzei față de piesă poate fi cuprinsă între 3 – 75 mm;
- ❖ Viteza de înlăturare a particulelor: 150-300 m/s

Tipuri de granule abrazive folosite:

- oxid de aluminiu (pentru aluminiu și alamă);
- carbură de siliciu (pentru oțel inoxidabil și ceramică);
- granule de sticlă (pentru lustruire).



Tehnologii de fabricare rapidă a prototipurilor (FRP)

1. Stereolitografia (SLA);
2. Stereolitografia strat cu strat (SGC);
3. Fabricarea pieselor stratificate (LOM);
4. Fabricarea prin depunere de material topit (FDM);
5. Tipărirea tridimensională (3D Printing);
6. Sinterizarea selectiva cu laser (SLS);
7. Topirea selectiva cu laser (SLM).

Tehnologii de fabricare rapidă a prototipurilor (FRP)

Clasificare:

a. în funcție de metoda de realizare a formei

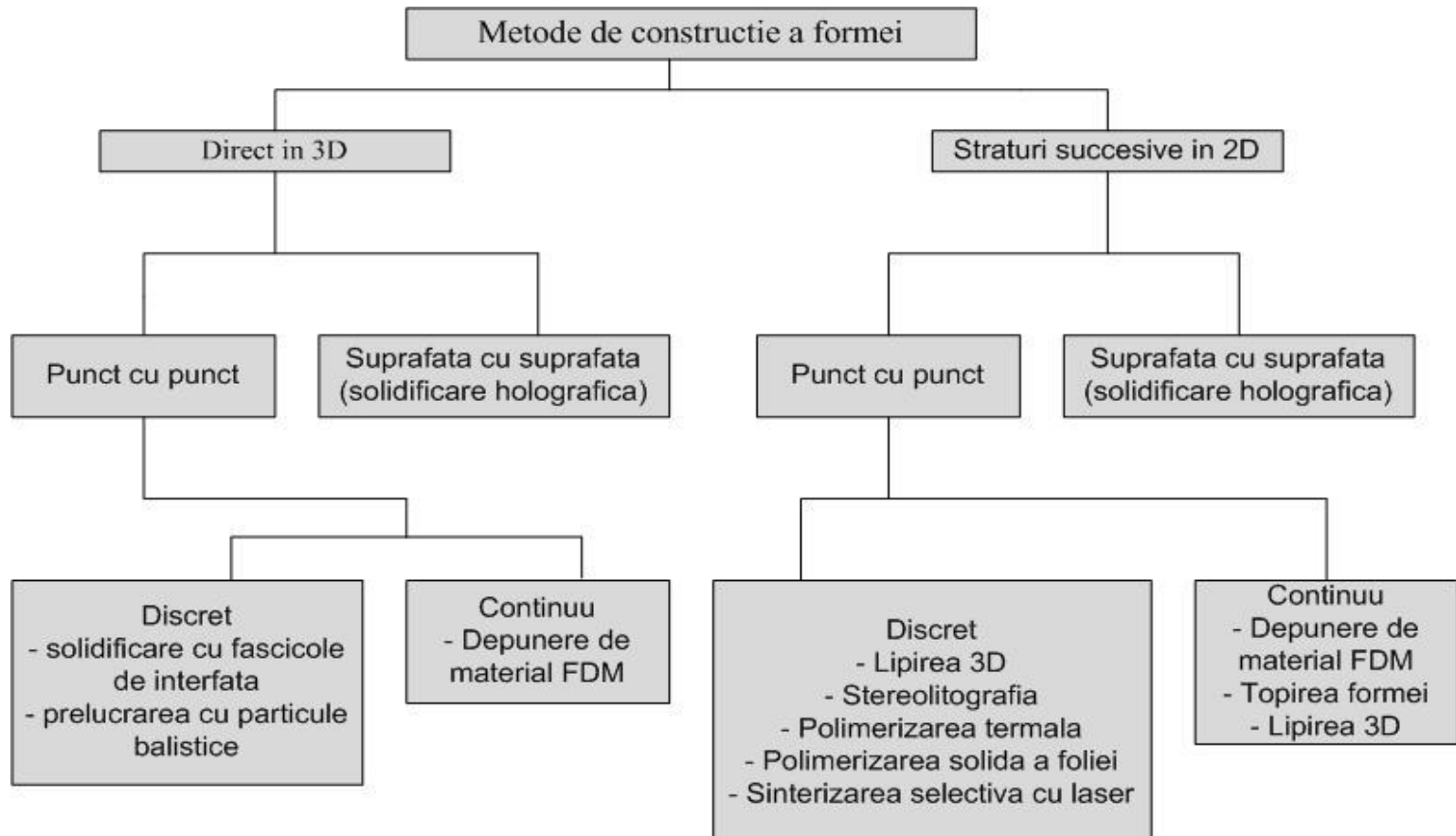


Fig. 98. Clasificarea tehnologiilor FRP în funcție de realizarea formei [BER 00]

b. în funcție de procedeele de prelucrare sau solidificare a materiei prime

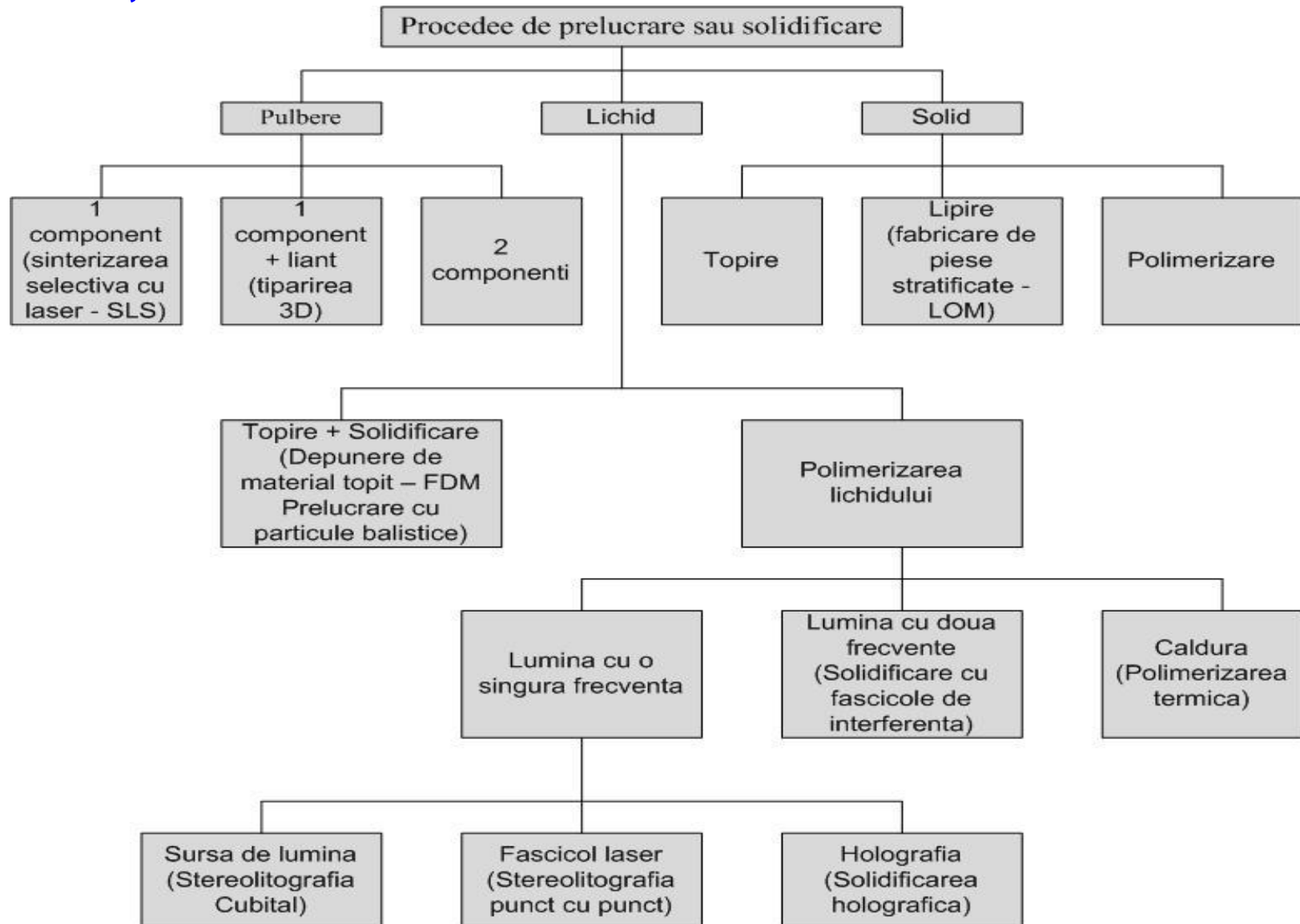


Fig. 99. Clasificarea tehnologiilor FRP în funcție de procedeele de prelucrare sau solidificare a materiei prime [BER 00]

Toate tehnologiile urmează aceiași pași de bază și anume:

- ❖ se pleacă de la un model 3D virtual construit pe un sistem de calcul;
- ❖ acest model este importat în pachete de programe specializate, specifice fiecărui sistem de FRP;
- ❖ cu aceste programe modelul este intersectat cu plane paralele echidistante și se determină intersecția dintre model și aceste plane;
- ❖ fabricarea modelului fizic RP, în general prin adăugare de straturi succesive;
- ❖ curățirea și finisarea sunt operații în cadrul cărora se elimină suportii folosiți la construcție, materialul în exces sau alte operații de prelucrare (inclusiv mecanică) prin care urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale și a calității suprafețelor;

- ❖ diferite tratamente ulterioare necesare, cum ar fi completarea polimerizării la stereolitografie, sau completarea sinterizării la tehnologia de sinterizare selectivă cu laser a pieselor metalice.

Alegerea metodei de fabricare rapidă a prototipurilor adecvată pentru o anumă aplicație, depinde de factori cum ar fi:

- Complexitatea formei piesei dorite;
- Precizia dimensională sau de formă;
- Materialul din care trebuie fabricată;
- Scopul la care se va utiliza (piesă funcțională, model de turnătorie, etc.).

3.11 Stereolitografia (SLA)

Stereolitografia a fost primul proces de fabricare rapidă a prototipurilor.

Procedeul folosește principiul fotopolimerizării, în care un lichid monomer (rășină) este transformat într-un polimer solid prin expunerea la lumină ultravioletă. Această lumină este produsă de un laser care prin variația puterii sale poate controla grosimea fiecărui strat

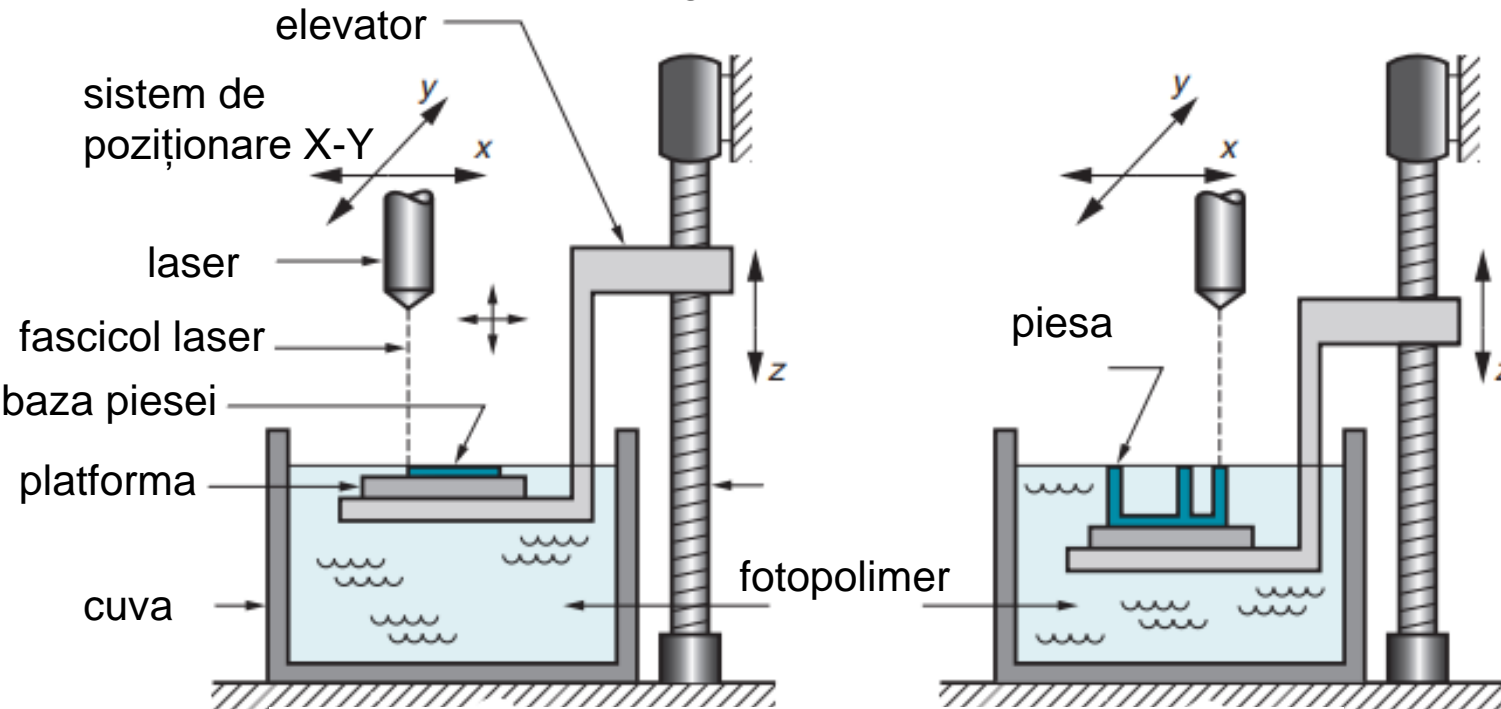


Fig. 100. Stereolitografia [GRO 10]

- ❖ Procesul începe cu un fișier CAD, 3D care este divizat matematic în secțiuni 2D. Cu platforma de construit plasată chiar sub suprafața fotopolimerului, un sistem de scanare este utilizat pentru a desena prima secțiune pe suprafața fotopolimerului, care aderă la platformă;
- ❖ Când stratul este terminat, ansamblul elevator coboară platforma în bazin cu noul strat format și se desenează următorul strat, fiecare strat nou aderând la cel anterior ;
- ❖ Procesul se repetă până ce obiectul este terminat. Apoi elevatorul se ridică deasupra suprafeței fotopolimerului și obiectul este scos din bazin pentru curățarea și finisarea necesară;
- ❖ Timpul de construire variază de la mai puțin de o oră până la mai mult de o zi, depinzând de fotopolimer, puterea laserului și geometria obiectului.

Aplicațiile stereolitografiei:

- vizualizarea unui model;
- folosirea modelului pentru diferite teste de asamblare sau chiar funcționare;
- realizarea unor modele pentru diferite procedee de turnare sau fabricarea unor matrițe de injectat piese din materiale plastice în serii de mii de bucăți.

Factorii care influențează timpul de fabricație a pieselor pe SLA:

- grosimea unui strat cuprinsă între 0.076 – 0.05 mm;
- viteza de scanare a laserului variază de obicei între 500 – 2500 mm/s;




Avantajele procedurii SLA:

- este un proces de fabricație a pieselor neasistat – sistemul este foarte stabil;
- precizia obținută utilizând un astfel de sistem este de 0.1 – 0.15 mm;
- acest proces este capabil să construiască piese cu detalii complexe;
- poate realiza piese transparente;
- procesul e simplu de utilizat și nu afectează mediul;
- este cel mai utilizat proces din domeniul RP.

Dezavantajele procedurii SLA:

- răsucirea și deformarea piesei – rășina absoarbe apa în timp rezultând răsuciri și deformări ale piesei în special în zonele subțiri;

- 
- gamă restrânsă de materiale – materialul disponibil este doar rășina fotosensibilă care în cele mai multe cazuri, nu poate fi utilizată pentru teste termale și de durabilitate;
 - piesele necesită postprocesare – piesele în cele mai multe cazuri nu au fost total solidificate de către laser în interiorul bazinului. De obicei e necesară o solidificare ulterioară;
 - costuri mari de lucru și de întreținere: costurile pentru rășina și tun laser sunt foarte mari, senzorii optici trebuie supuși la o testare fină, periodică pentru a-și menține condiții optime de operare, care sunt considerabil de scumpe.

3.12 Fabricarea prin stereolitografie strat cu strat (SGC – Solid Ground Curing)

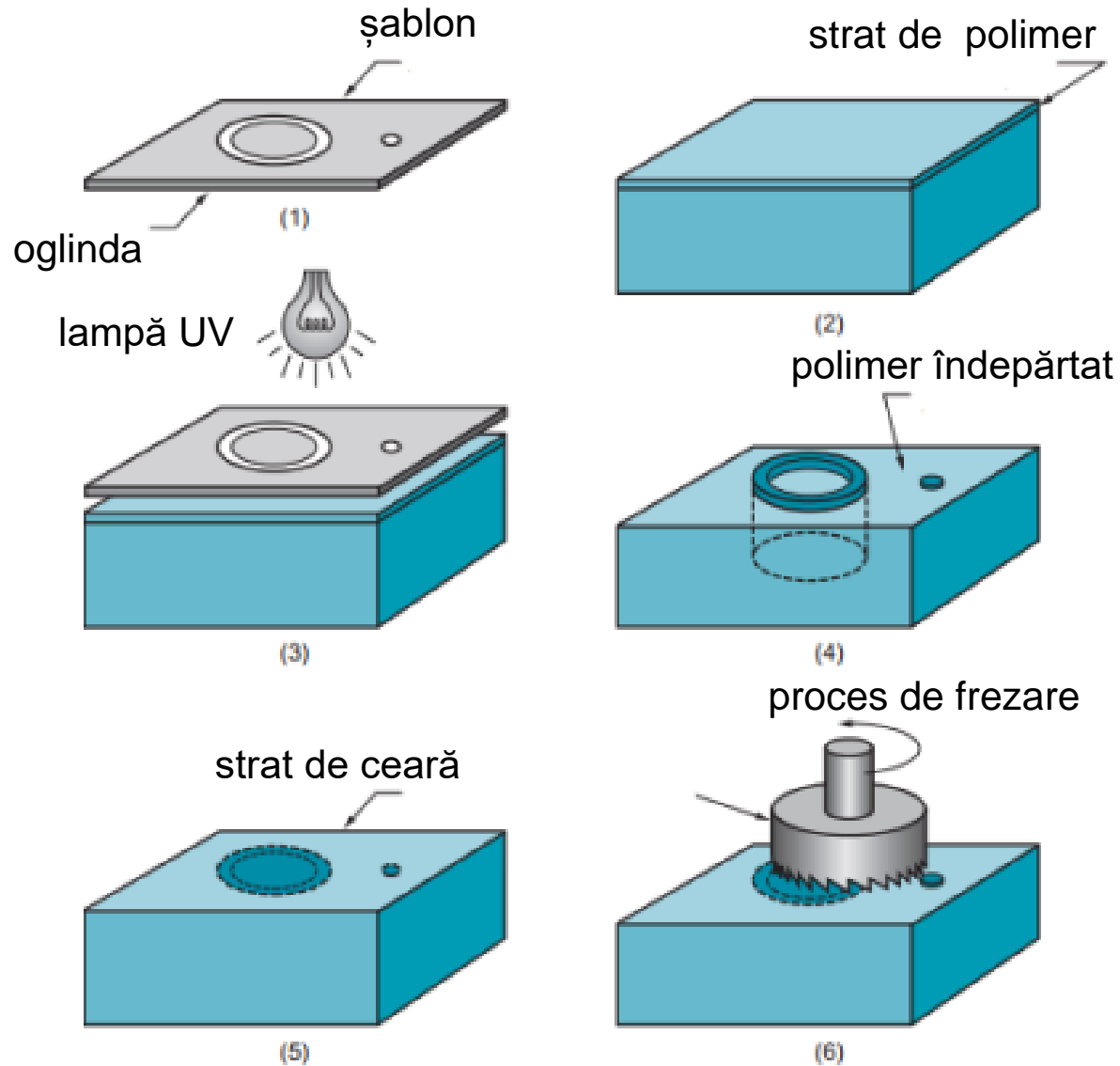




Fig. 101. Stereolitografia strat cu strat [GRO 10]

- Procedul mai este cunoscut și sub numele de stereolitografie strat cu strat și a fost dezvoltat în anul 1987 de firma Cubital Ltd;
- Procedul Cubital creează modele sofisticate direct din fișierele tridimensionale;
- Prin SGC se realizează piese de orice complexitate geometrică fără a fi nevoie de realizarea lor cu ajutorul matrițelor;
- Sistemul Cubital folosește diferite rășini ca și materiale pentru obținerea diverselor piese prototip, mai folosește și o ceară solubilă ca și material suport dar și un toner ionic solid pentru a forma o imagine secționată pe un șablon de sticlă.



Procedeeul de stereolitografie strat cu strat include trei pași principali: pregătirea informațiilor, producerea șablonului și fabricarea modelului propriu-zis.


- ❖ modelul CAD, căruia urmează să i se facă prototipul este pregătit și secțiunile sunt generate digital și transferate în vederea producerii șablonului;
- ❖ Softul folosit este DFE (Data Front End) care procesează fișierele modelului CAD înainte ca acestea să fie trimise sistemului Cubital Solider;
- ❖ Se secționează modelul 3D virtual cu plane paralele cu planul de lucru al mașinii obținându-se pentru fiecare strat informațiile geometrice necesare materializării acestuia;
- ❖ Imaginea secțiunii curente este apoi “tipărită” pe o placă realizată din sticlă optică utilizând un procedeu similar tipăririi laser;

- 
- ❖ Șablonul este încărcat printr-un proces de tip “imagewise”, apoi este transferat deasupra lichidului;
 - ❖ Se depune un strat subțire de polimer fotoreactiv peste stratul anterior realizat;
 - ❖ Se aduce placa de sticlă cu imaginea secțiunii deasupra stratului de rășină fotoreactivă și se expune întregul pachet la un flux de radiație ultravioletă provenit de la o lampă de mare putere;
 - ❖ Rășina expusă radiației ultraviolete polimerizează și se întărește;
 - ❖ Rășina neatinsă de radiația ultravioletă se înlătură;
 - ❖ Peste stratul de rășină întărită se depune un strat de ceară în stare lichidă ceea ce conduce la umplerea cavităților anterior ocupate de rășina nepolimerizată;

- ❖ Ceara depusă anterior se răcește și astfel rezultă un strat de rășină-ceară în stare solidă;
- ❖ În vederea corectării grosimii stratului de material depus are loc prelucrarea acestuia prin frezare;
- ❖ Întregul proces descris anterior se repetă, ciclul încheindu-se în momentul în care este realizat ultimul strat al modelului.

Avantajele procedurii SGC:

- procesul se bazează pe o parcurgere instantă simultană a întregii arii secționate;
- contracții și deformații minime chiar și în cazul elementelor cu secțiuni mici;
- piesa rezultată este complet solidificată, iar după îndepărtarea de pe mașină nu este necesar a fi introdusă în cuptor pentru solidificare;
- ceara solidă oferă suport piesei nefiind nevoie de un alt material suport;

- 
- nu sunt necesare pachete de programe specializate pentru generarea suporturilor;
 - nu există limitări din punct de vedere al complexității formei geometrice a modelelor;
 - în timpul procesului nu au loc emisii de vapori toxici;
 - prezența operației de frezare după realizarea fiecărui strat permite înlăturarea straturilor defecte și continuarea corectă a modelului.

Dezavantajul procedurii SGC:

- în comparație cu alte sisteme de RP produce un zgomot mai mare.

3.13 Fabricarea pieselor stratificate (LOM – Laminated Object Manufacturing)

- Tehnologia de fabricație rapidă a prototipurilor LOM a fost dezvoltată de către firma Helisys Inc.
- Procedul de fabricație LOM este o metodă prin care un model 3D este construit prin adăugarea, lipirea și tăierea secțiunilor, într-un ciclu repetitiv începând cu primul strat de la baza piesei și terminând cu ultimul strat din vârful piesei;
- Materialul cel mai utilizat în cadrul acestui procedeu este hârtia LOM, hârtie specială cu un strat de adeziv pe o față;
- Rolele de hârtie livrate de către Helisys Inc. sunt de două calități: “standard” și “high-performance” iar grosimea acestora fiind de 0,1067 mm;

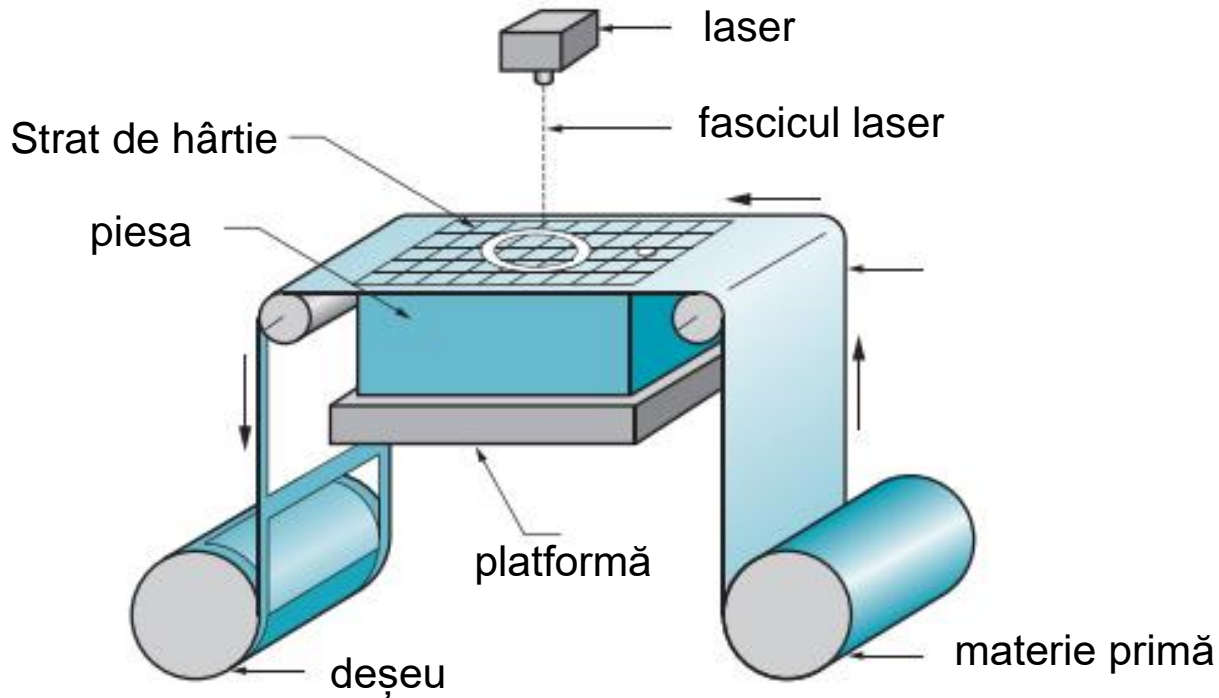


Fig. 102. Fabricarea pieselor stratificate [GRO 10]

Procesul de fabricare rapidă a prototipurilor LOM este alcătuit din trei etape principale, și anume: etapa de preprocesare, etapa de construcție propriu-zisă a piesei și etapa de postprocesare.

- ❖ Construirea modelului se face din straturi subțiri de material care are pe una din fețe un termo-adeziv;

- ❖ Straturile sunt tăiate de o rază laser cu CO₂
- ❖ Calculatorul conduce fascicolul laser focalizat în planul de lucru, prin intermediul unui dispozitiv de tip „plotter”;
- ❖ Planul de lucru coincide cu planul de focalizare al razei laser. Datorită acestui fapt, raza laser va decupa întotdeauna numai în stratul curent de material;
- ❖ Decuparea va începe cu conturul interior/exterior al secțiunii prin piesă;
- ❖ Urmează decuparea după hașură a materialului în exces și se încheie cu decuparea conturului interior/exterior al cutiei;
- ❖ Platforma pe care se construiește piesa strat cu strat, coboară pe o anumită distanță, astfel încât materialul să poată înainta pas cu pas;
- ❖ Apoi platforma de lucru urcă din nou pentru a se adăuga un nou strat de material;

- ❖ O rolă încălzită va rula peste suprafața noului strat și-l va lipi de stratul precedent prin activarea adezivului și presare;
- ❖ Procesul de construire a piesei se încheie când înălțimea pachetului construit prin depunerea straturilor succesive de material atinge înălțimea maximă a piesei.

Aplicații ale pieselor fabricate prin tehnologia LOM:

- Modelele sunt practic nelimitate, acoperind diferite domenii de activitate (industria aviatică, a automobilelor, a produselor de larg consum, etc);
- Modelele LOM sunt ideale în munca de proiectare pentru vizualizarea produsului, verificarea formei geometrice, a funcționalității acestuia, a verificării corectitudinii montajului acestuia în cadrul unui ansamblu;
- Modelele sunt folosite în marketing pentru o prospectare a pieței în vederea lansării de produse noi;
- Ca modele master pentru fabricarea matrițelor flexibile.

Principalele avantaje ale procedului:

- este un proces relativ rapid deoarece laserul trebuie să traseze doar conturul și nu e nevoie ca el să scaneze întreaga secțiune;
- piesele pot fi utilizate imediat după procesare și nu e nevoie de operații de întărire ulterioară;
- nu sunt necesare structuri suport deoarece piesa este susținută de materialul propriu;
- procesul e simplu de utilizat și nu afectează mediul;
- costurile sunt relativ mici.

Principalele dezavantaje ale procedului:

- piesele construite absorb umiditatea rapid, astfel ele trebuie postprocesate imediat cu epoxidă, care este special creată pentru tehnologia LOM cum ar fi lomepoxy;
- deficiența în construirea de piese cu formă fină, astfel procesul este restricționat la a construi piese complexe;
- deoarece este foarte dificilă, dar nu imposibilă, înlăturarea surplusului de material din interior, procesul este incapabil să construiască piese cu goluri;
- posibilitatea de incendiu când temperatura în camera de lucru este prea mare.

3.14 Fabricarea prin depunere de material topit (FDM – Fused Deposition Modeling)

- Procesul de fabricare prin depunere de material (FDM) a fost dezvoltată de Scott Crump de la firma Stratasys Inc.

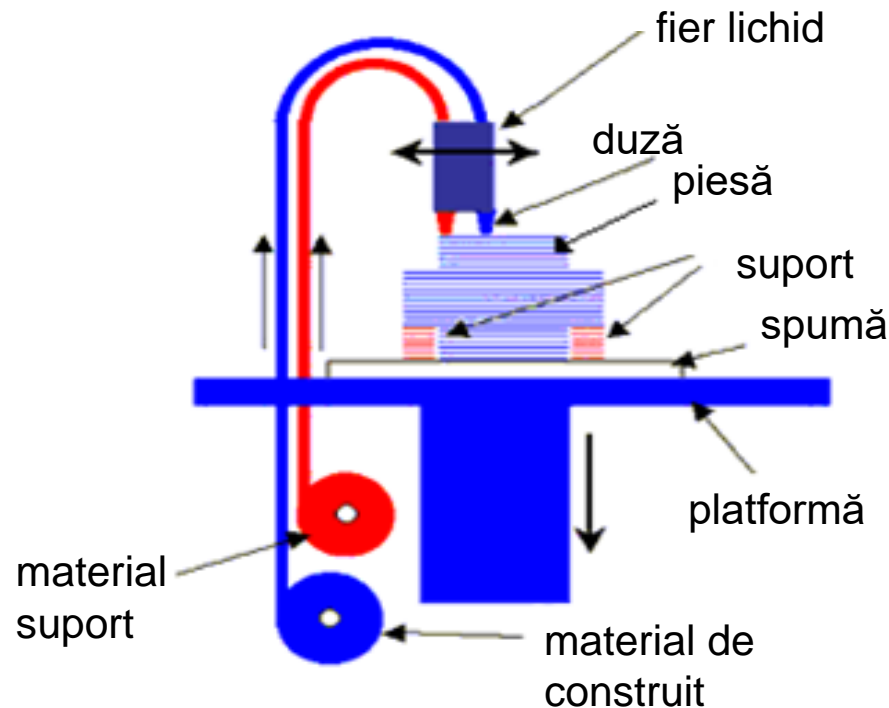


Fig. 103. Fabricarea prin depunere de material topit [RAD 12]

- Principiul tehnologiei constă în încălzirea materialului de depus până în apropierea punctului său de topire și apoi depunerea acestui material topit acolo unde este necesar, pentru construirea modelului dorit;
- Procedeeul necesită un control riguros al temperaturii la care este încălzit și menținut materialul în timpul depunerii;
- Materialul utilizat poate fi din ceară specială, nailon, poliamidă sau plastic ABS. Încălzirea firului din ABS se realizează la o temperatură de 270 °C, la care materialul se găsește într-o stare semilichidă, el putând fi în continuare extrudat, printr-o duză de diametru foarte mic (0.254 mm sau 0.127 mm);
- Duza este deplasabilă împreună cu capul de încălzit pe care este fixată, mișcarea fiind controlată de calculator

Aplicații ale pieselor fabricate prin tehnologia FDM:

- modelele FDM pot fi utilizate direct ca piese funcționale nemetalice, în producția de prototipuri, unicate sau serie mică;
- Modelele pot fi utilizate cu succes în tehnologia de fabricare a sculelor și matrițelor, mai ales pentru producția de serie mică și mijlocie;
- Modelele pot fi acoperite prin pulverizare de metal topit pentru a obține matrițe de injectat materiale plastice, materialele plastice utilizate la fabricarea prototipurilor având stabilitatea și durabilitatea cerută unui suport pentru acoperiri metalice;
- Modelele realizate din ceară pot fi utilizate mai apoi ca modele pentru turnarea cu modele ușor fuzibile.

Avantajele procedeului sunt:

- e un adevărat sistem de fabricare care poate fi rulat într-un mediu de birou nu este nici un pericol de expunere la fum toxic și substanțe chimice;
- procesul este curat, simplu, ușor de operat și nu produce deșeuri;
- Construieste
- rapid structuri tip butelie sau piese goale;
- materialul este în role ușor de mânuit și pot fi înlocuite rapid;
- mare varietate de materiale sunt disponibile, inclusiv materiale ABS colorate și ABS medicale, ceară și elastomeri;
- e un sistem RP de performanță.

Dezavantajele procedeului sunt:

- acuratețea pieselor este relativ scăzută;
- este dificilă construirea pieselor cu detalii complexe;
- timpul lung de fabricare a piesei;
- straturile piesei sunt vizibile din cauza tipului de depunere.

3.15 Tipărirea tridimensională (3D Printing)

Sistemul a fost dezvoltat la Massachusetts Institute of Technology din SUA, dezvoltându-se două sisteme de tipărire tridimensională și anume:

- sistemul picătură cu picătură folosit pentru solidificarea discontinuă, punct cu punct a fiecărei secțiuni;
- sistemul cu jet continuu, unde solidificarea se realizează cu un jet de duze prin care adezivul curge continuu pe timpul solidificării unei secțiuni.

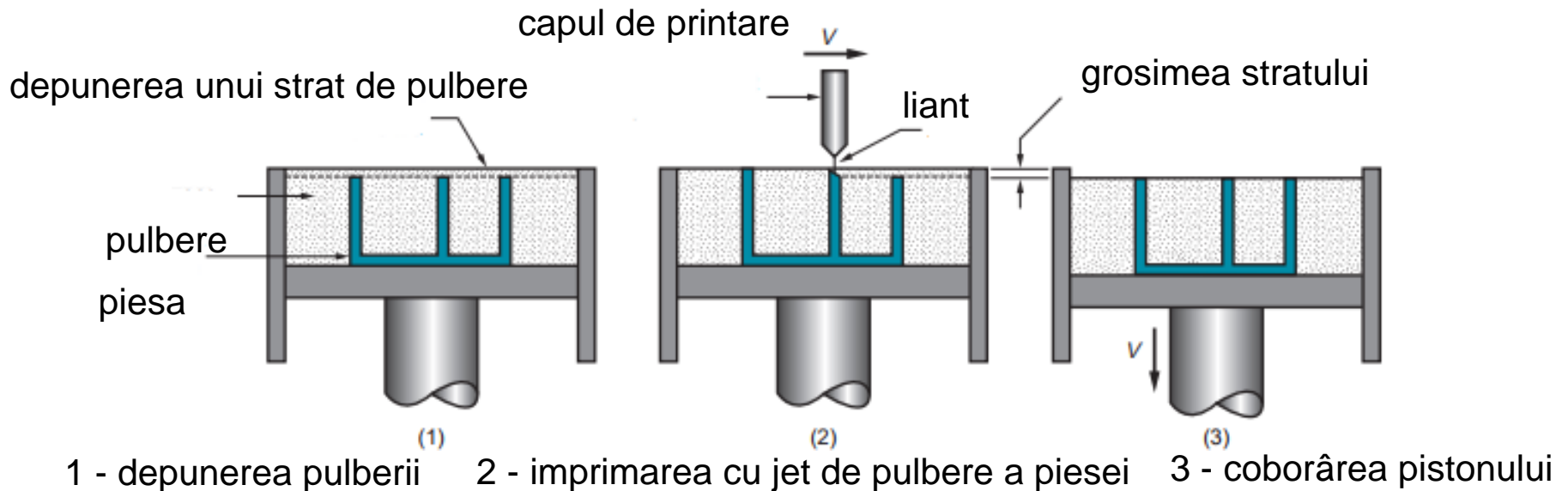


Fig. 104. Tipărirea tridimensională [GRO 10]

- ❖ Procesul de tipărire tridimensională folosește două seturi de materiale: pulberea din care va fi realizat modelul și care este elementul principal și un liant (adeziv) care va lipi particulele de pulbere. Granulația pulberii sau mărimea particulelor trebuie să fie mică (de 1.25 μm) pentru a aluneca ușor când este depusă în straturi peste secțiunea precedentă solidificată;
- ❖ Procesul poate realiza obiecte din material sub formă de pulbere, ale cărei particule pot fi lipite cu un adeziv lichid. Este posibilă utilizarea unor pulberi ceramice de silicat de aluminiu și oxid de aluminiu, dar este posibilă și utilizarea pulberilor de zirconiu, carburi de zirconiu și siliciu;
- ❖ Modelele construite utilizând metoda de tipărire tridimensională au proprietăți fizico-mecanice reduse și pot fi distruse sau distorsionate foarte ușor, se pot impregna în ceară;
- ❖ Sunt necesare structuri suport temporare pentru susținerea piesei în timpul prelucrării;

Materiale folosite în procesul de tipărire tridimensională:

Două dintre materialele pe care firma Z-Corp le comercializează sunt Zp131 și Zp140 .

- Zp 131 este un sistem material multi-țintă, care furnizează cele mai rezistente piese, cea mai bună rezoluție și exactitatea mare a culorii. Este perfect pentru montare și testarea funcțională;

- Zp 140 Material compus cu performanțe ridicate care introduce cea mai ușoară, sigură și brută opțiune de post procesare pentru finisarea modelelor tipărite monocrome 3D – o pulverizare rapidă cu apă;

- ❖ Piese monocrome pulverizate cu apă pură nu necesită nici un tratament sau echipament pentru a atinge durabilitatea finală;
- ❖ Procesul este rapid, perfect sigur și potențial fără costuri.

3.16 Sinterizarea selectiva cu laser (SLS – Selective Laser Sintering)

- ❖ Procedul de sinterizare selectivă cu laser (SLS) se bazează pe materializarea unui produs CAD prin adăugare de straturi succesive și are la bază fenomenul de sinterizare a pulberilor (metalice, din material plastic sau cuarț) sub acțiunea unui fascicol provenit de la un laser cu dioxid de carbon.

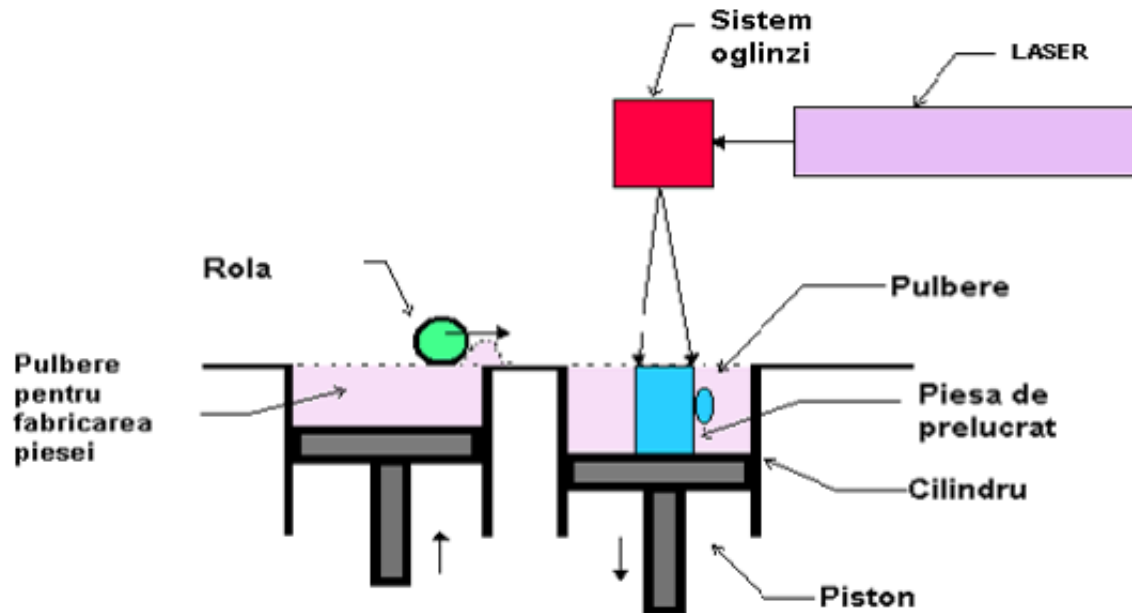



Fig. 105. Sinterizarea selectivă cu laser [RAD 12]

- 
- ❖ Sistemul laser generează o radiație laser care este focalizată în lentilă și direcționată printr-un sistem de oglinzi către suprafața platformei de lucru;
 - ❖ La începutul procesului de lucru platforma se va găsi în poziția superioară;
 - ❖ Un sistem de alimentare depune pe suprafața platformei un strat subțire de pulbere, de grosime controlată;
 - ❖ Raza laser scanează suprafața platformei după o traiectorie corespunzătoare geometriei primei secțiuni prin piesa de prelucrat;
 - ❖ După scanarea primului strat, platforma coboară pe o distanță egală cu grosimea unui strat;
 - ❖ Sistemul de alimentare cu material depune un nou strat de pulbere peste stratul precedent;
 - ❖ Din nou radiația laser scanează stratul curent în conformitate cu geometria noii secțiuni prin modelul solid al piesei de prelucrat.

Aplicațiile sinterizării selective cu laser:

- ❖ Domeniile de utilizare a pieselor obținute prin procedeul de sinterizare selectivă cu laser sunt foarte diverse (industria constructoare de automobile, industria aerospațială și aeronautică, industria bunurilor de larg consum);
- ❖ În domeniul medical, procedeul se pretează foarte bine pentru aplicațiile ortopedice, acolo unde transparența modelelor nu este obligatorie;
- ❖ Modelele realizate din pulbere de Nylon pot fi sterilizate și introduse în sala de operații.

Avantajele sinterizării selective cu laser:

- diversitatea mare de materiale folosite (pulberi de poliamidă, pulberi metalice, ceară, nylon, elastomeri, policarbonat și materiale ceramice) pentru realizarea pieselor realizate prin această tehnologie;
- în comparație cu alte procedee de fabricare rapidă a prototipurilor, prin procedeul SLS se pot fabrica piese de rezistență mecanică bună;
- timp de fabricare relativ scurt (în funcție de complexitatea piesei);
- productivitatea procedeului este foarte bună;
- pulberea rămasă nesinterizată poate fi folosită pentru realizarea și a altor piese;
- piesele realizate prin SLS nu necesită suportați speciali, suportații sunt în cazul acesta pulberea rămasă nesinterizată.

Iar **dezavantajul** cel mai important este determinat de efectul de scară (care apare datorită depunerilor succesive de straturi de material).

3.17 Topirea selectivă cu laser (SLM – Selective Laser Melting)

- ❖ SLM este o tehnologie adițională SLS-ului, care funcționează prin sinterizarea unor straturi foarte fine de pulberi metalici strat cu strat de la bază până la construcția complete;
- ❖ Straturile subțiri de pulbere metalică atomizată sunt succesiv topite și solidificate la nivel microscopic în interiorul unei incinte închisă ce conține gaz inert (argon sau azot) în cantități controlate;
- ❖ Piesele și sculele pot fi realizate din diferite tipuri de pulberi metalice cum ar fi: zinc, bronz, oțel inoxidabil, oțel de scule, titan, crom-cobalt
- ❖ Granulația pulberii: 10-50 μm ;
- ❖ Puterea laserului: max 200 W;
- ❖ Grosimea unui strat: 20-50 μm .

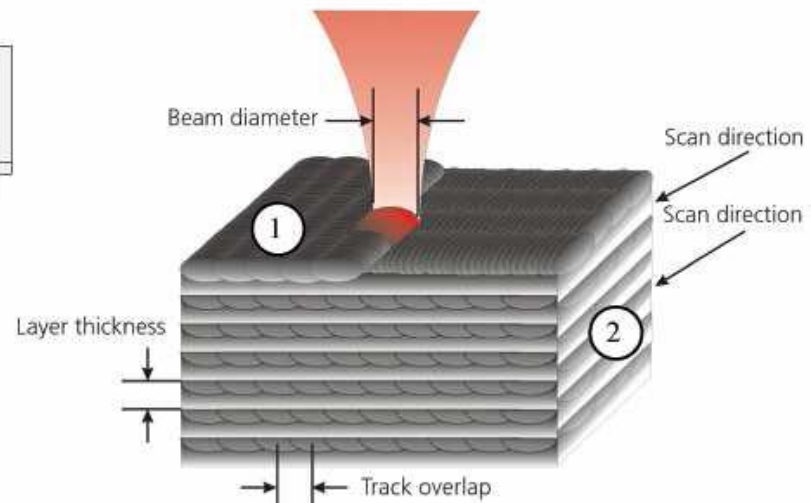
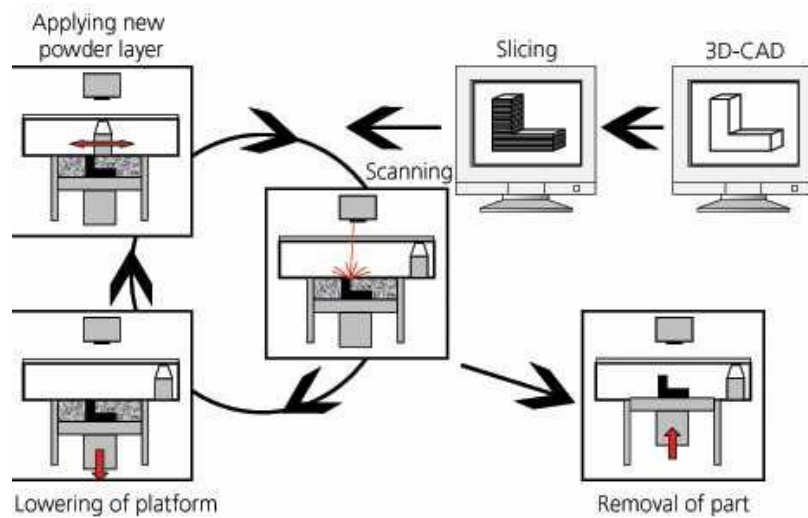


Fig. 106. Schema de principiu a procedurii SLM [RAD 12]

- Sistemul laser generează o rază care este direcționată printr-un sistem de oglinzi spre platforma mobilă a mașinii pe care este fixată cu șuruburi o placă metalică;
- După scanarea completă a acestui strat, platforma mobilă coboară iar sistemul de nivelare adaugă un nou strat.;
- Parametrii de lucru ai mașinii: puterea laserului, grosimea stratului de pulbere și temperatura din incinta de lucru.

Aplicatii SLM/DMLS:

- Prototipuri rezistente pentru testare funcțională;
- Piese de geometrii organice, complexe și structuri cu pereți subțiri și goluri sau canale ascunse;
- Piese metalice complexe din materiale speciale produse în serie mică;
- Forme hibride în care geometrii solide / parțiale / tip zăbrele pot fi realizate împreună pentru realizarea unui singur obiect (ex. implanturi ortopedice în care integrarea osoasă este sporită de geometria suprafeței).

Avantajele tehnologie SLM / DMLS:


- acuratețe bună a modelului 3D;
- posibilitatea folosirii unei game mari de pulberi metalice;
- piesele fabricate au rezistență mecanică mare respectiv densitate mare;
- posibilitatea fabricării unor geometrii extrem de complexe;
- piese ușoare (industria aerospațială, medicină);
- flexibilitatea modelelor printate (pot fi utilizate ca modele finale sau modele de testare).

Dezavantajele tehnologie SLM / DMLS:

- tehnologie scumpă care se traduce în cost mare și dimensiuni mai mari ale printerului;
- pulberile metalice sunt relativ scumpe, prototipuri care pot necesita operațiuni adiționale de întărire. Timp de răcire mare după printare pentru piesele mari.



Cap. 4 Tehnologii de sudare



Prin **sudare** se înțelege îmbinarea nedemontabilă a pieselor sau semifabricatelor, realizată, de regulă, prin topirea locală a lor, urmată de solidificarea zonei respective, ce va forma cordonul de sudură.

- ❖ Procesul poate avea loc cu sau fără material de adaos;
- ❖ Materialul pieselor care se sudează formează **metalul sau aliajul de bază**, în timp ce materialul care ajută la formarea cusăturii și care are o compoziție chimică apropiată cu cea a materialului de bază, constituie **metalul de adaos**.
- ❖ Coeziunea locală în vederea obținerii sudurii se realizează cu un aport de energie termică sau mecanică sau și termică și mecanică;

Sudabilitatea unui material reprezintă capacitatea unui metal sau aliaj de a putea fi îmbinat printr-un procedeu de sudare, astfel încât îmbinarea obținută să satisfacă toate condițiile tehnice de exploatare.

4.1 Clasificarea procedeeelor prin sudare

A. Procedee de sudare prin topire

1. cu energie electrică:

- ❖ cu arc electric:

- cu electrod metalic învelit;
- sub strat de flux;
- în mediu de gaz protector;

- ❖ în baie de zgură;

- ❖ cu plasmă.

2. cu energie chimică:

- ❖ cu flacără oxiacetilenică;

- ❖ cu termit.



3. cu energie radiantă:

- ❖ cu fascicul de fotoni;
- ❖ cu fascicul de electroni.

B. Procedee de sudare prin presiune:

1. cu energie electrică:

- ❖ prin rezistență:
 - prin puncte;
 - în linie.

2. cu energie mecanică:

- ❖ prin frecare;
- ❖ cu ultrasunete.

3. cu energie chimică:

- ❖ prin explozie.

4.2 Sudarea cu arc electric și electrod metalic învelit

- ❖ procedeul de sudare cel mai răspândit fiindcă are o universalitate mare, necesită un echipament simplu, puțin costisitor și, dacă se execută corect, se realizează suduri de bună calitate;
- ❖ sudarea cu arc electric se bazează pe transformarea energiei electrice în energie calorică;
- ❖ arcul electric este o descărcare electrică de durată în mediu gazos, între doi electrozi, în condițiile existenței unei diferențe de potențial și a unui anumit grad de ionizare a spațiului dintre ei;
- ❖ amorsarea arcului electric se realizează prin atingerea electrodului de piesă, urmată de retragerea lui la 2...3 mm;
- ❖ în timpul contactului se degajă o cantitate de căldură care favorizează ionizarea locală a aerului.

- ❖ prin retragerea electrodului, ionii formați sunt accelerați în câmpul electric existent, acumulând o energie cinetică pe care o cedează lovind în drumul lor atomii de aer sau la impactul cu piesa, respectiv cu electrodul, formând pe suprafața acestora porțiuni calde numite pete electrodice;
- ❖ astfel, spațiul dintre electrod și piesă fiind ionizat, deci conductibil, permite trecerea curentului de sudare, care formează arcul electric.

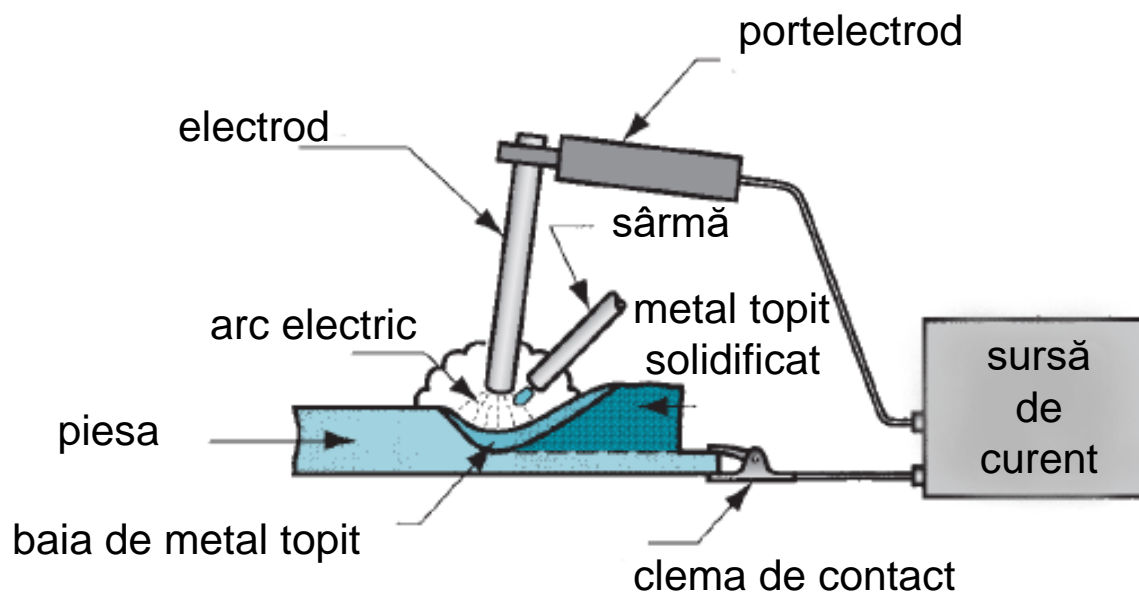


Fig. 107. Schema sudării cu arc electric cu electrod învelit [GRO 10]



Parametrii tehnologici primari care intervin la sudură sunt:

Intensitatea curentului de sudare este definită drept intensitatea curentului electric ce trece prin arcul electric între electrod și materialul de bază în timpul sudării (I_s);

- Tensiunea arcului, este definită drept tensiunea electrică între electrod și materialul de bază, respectiv tensiunea coloanei arcului (U_a);

- Viteza de sudare, reprezintă viteza de deplasare a arcului electric în lungul rostului dintre elementele de sudat (v_s);

- Energia liniară, reprezintă energia electrică administrată procesului de sudare pe unitatea de lungime a cordonului (E_L), ea fiind stabilită prin relația:

$$E_L = \frac{I_s \cdot U_a}{v_s}$$

Pătrunderea crește liniar cu creșterea curentului de sudare, respectiv crește cu un maxim funcție de tensiunea arcului și scade odată cu creșterea vitezei de sudare (fig. 108).

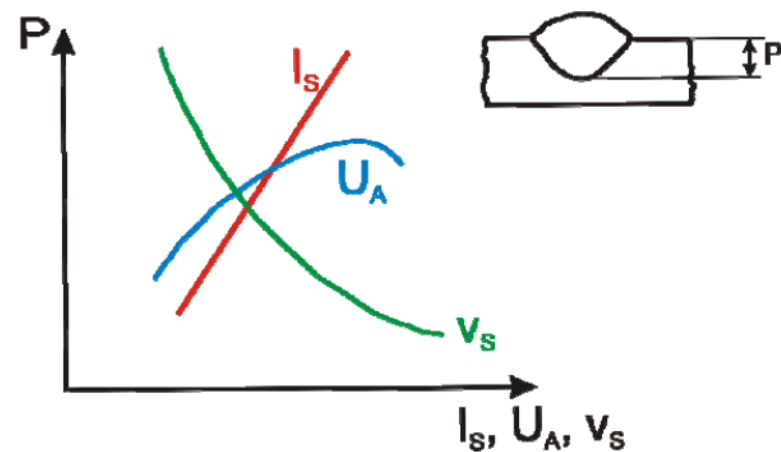


Fig. 108. Pătrunderea sudurii [VIȘ 08]

Lățimea cordonului b crește liniar cu tensiunea arcului crește cu un maxim în raport cu intensitatea curentului și scade în raport cu viteza de sudare (fig. 109).

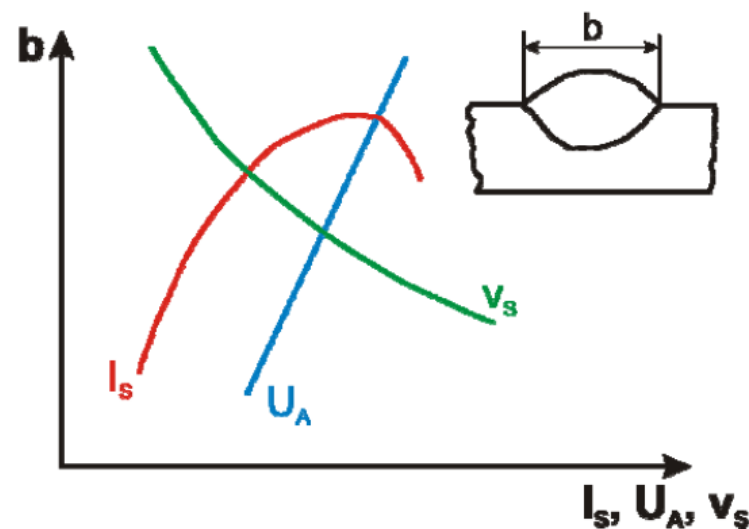


Fig. 109. Lățimea cordonului [VIȘ 08]

Supraînălțarea cordonului a scade odată cu creșterea vitezei de sudare și crește cu creșterea curentului de sudare (fig. 110).

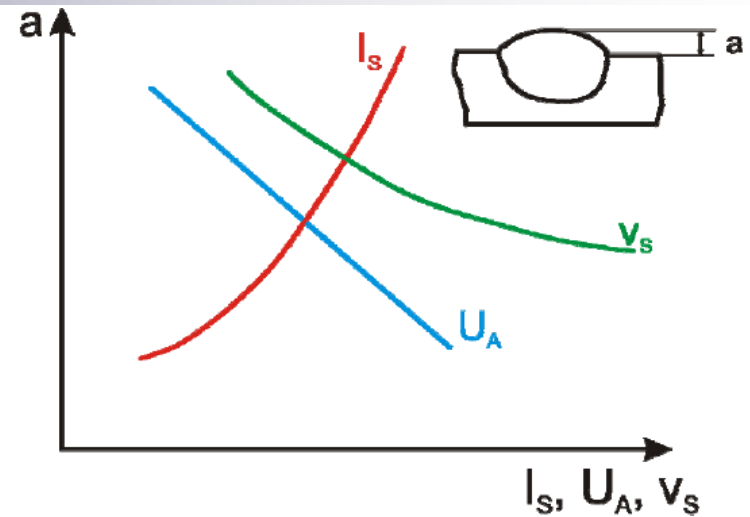


Fig. 110. Supraînălțarea cordonului [VIȘ 08]

Analizând principial lucrurile, în anumite limite valorice, observăm că intensitatea curentului influențează în sensul creșterii tuturor dimensiunilor cordonului. În schimb, viteza de sudare influențează în sensul scăderii tuturor dimensiunilor cordonului de sudură.

Avantaje sudare cu electrozi înveliți:

- are cea mai bună accesibilitate (echipamentul pentru sudare și cleștele portelectrod sunt ușoare și au gabarit mic);
- se poate suda în toate pozițiile;
- se pot suda majoritatea materialelor și aliajelor metalice;
- investițiile în echipamentul pentru sudare sunt minime.

Dezavantaje:

- pierderi mari în capetele de electrozi, zgură sau stropi (aproximativ 35%);
- productivitate scăzută;
- patrundere mică;
- calitatea sudurii depinde foarte mult de calificarea, conștiințiozitatea și capacitatea sudorului de a lucra 8 ore.

4.3 Sudarea cu arc electric sub strat de flux

- ❖ sudarea sub strat de flux este un procedeu de sudare cu arc electric;
- ❖ o sârma electrod fuzibilă este antrenată continuu în baia de sudură de către role de antrenare;
- ❖ fluxul, sub formă de pulbere, acoperă complet arcul de sudură, având rol de protecție și de aliere a băii metalice topite;

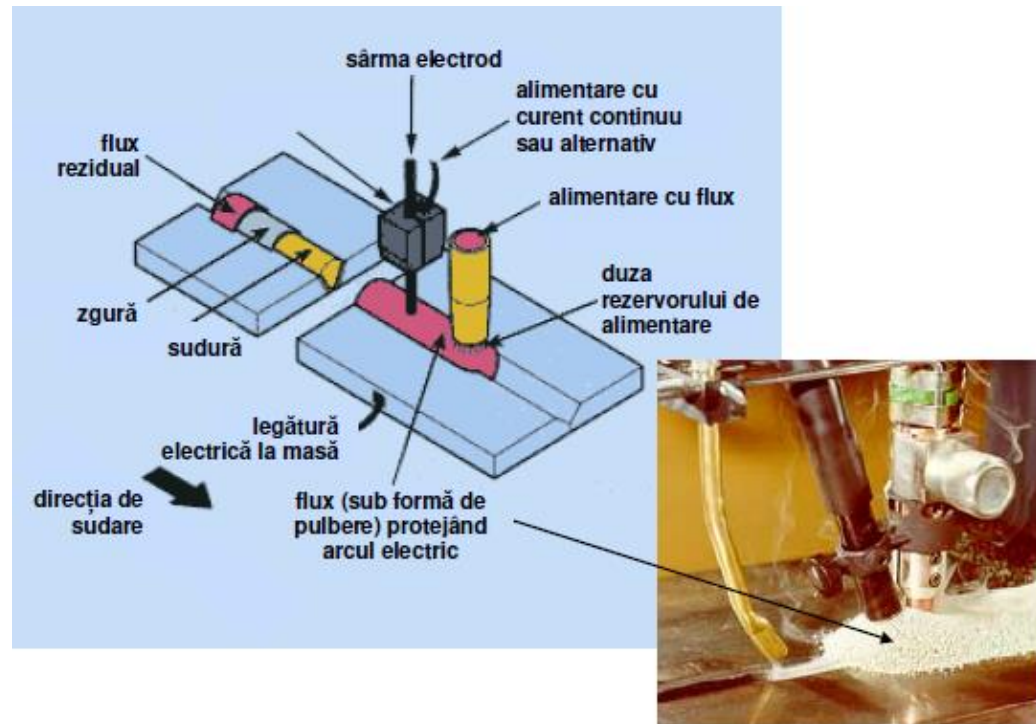



Fig. 111. Sudarea cu arc electric sub strat de flux [Curs TM – Conf. S.G]

- 
- ❖ sârma electrod este dirijată de un mecanism cu role antrenat de un motor electric, iar la contactul electrodului cu piesa metalică se inițiază arcul electric care arde sub stratul protector de flux;
 - ❖ parametrii de productivitate a acestui procedeu de sudare depind în principal de viteza de avans a sârmei electrod, respectiv de viteza de avans a tractorului de sudare;
 - ❖ densitatea de curent este cuprinsă între 25 și 100 A/mm² sudarea fiind posibilă atât în curent continuu cât și curent alternativ;
 - ❖ în coloana arcului electric se degajează o cantitate mare de gaze ce formează o cameră sub stratul de flux, dar care sunt evacuate ușor datorită permeabilității ridicate la gaze a stratului de flux.

Parametrii de sudare sub strat de flux:

- ✓ diametrul sârmei: 2 - 6 (8) mm;
- ✓ curentul de sudare: 200 – 1400 (4000) A;
- ✓ tensiunea arcului electric: 25 - 45 V;
- ✓ viteza de sudare: 15 - 200 cm/min.

Sudarea sub flux se remarcă prin următoarele caracteristici:

- rata de depunere înaltă;
- calitatea sudurii foarte bună independentă de îndemânarea operatorului;
- existența posibilității de aliere a cusăturii prin sârmă și/sau flux;
- grad înalt de utilizare a materialului de adaos;
- posibilitatea de automatizare a procesului;
- lipsa necesității de protecție a vederii operatorului - degajare de fum foarte redusă.



Fluxul folosit trebuie să îndeplinească mai multe condiții:

- să contribuie la stabilitatea arcului prin ionizarea spațiului;
- să fie ușor de îndepărtat după sudare;
- să nu mărească conținutul de carbon, sulf sau fosfor în cordonul de sudură;
- să transfere elemente de aliere în cusatură;
- să nu degaje gaze nocive și să contribuie la eliminarea hidrogenului din baie.

4.4 Sudarea în mediu de gaz protector

- ❖ la procedeele de sudare cu arc electric în mediu de gaz protector, protecția băii de sudură se obține cu ajutorul unui suflu de gaz inert sau activ, care trimis asupra arcului de sudare împiedică accesul oxigenului și azotului din aer;
- ❖ gazele care oferă protecția cea mai bună sunt gazele inerte (argonul și heliul), deoarece ele nu reacționează cu nici un element;

În funcție de fuzibilitatea electrodului, se deosebesc:

- procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil (cu electrod de wolfram) – **procedeul WIG (TIG)**;
- procedee de sudare în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil (în mediu de gaz inert sau în mediu de gaz activ) – **procedeele MIG și MAG.**

4.5 Sudarea cu electrod de wolfram (WIG)

- ❖ este procedeul la care arcul electric se produce între electrodul de wolfram și piesa de sudat, iar protecția se asigură de un curent de gaz inert suflat în jurul electrodului;
- ❖ sudarea WIG este folosită la sudarea aluminiului și a aliajelor de aluminiu, a oțelurilor inoxidabile, a cuprului, etc:

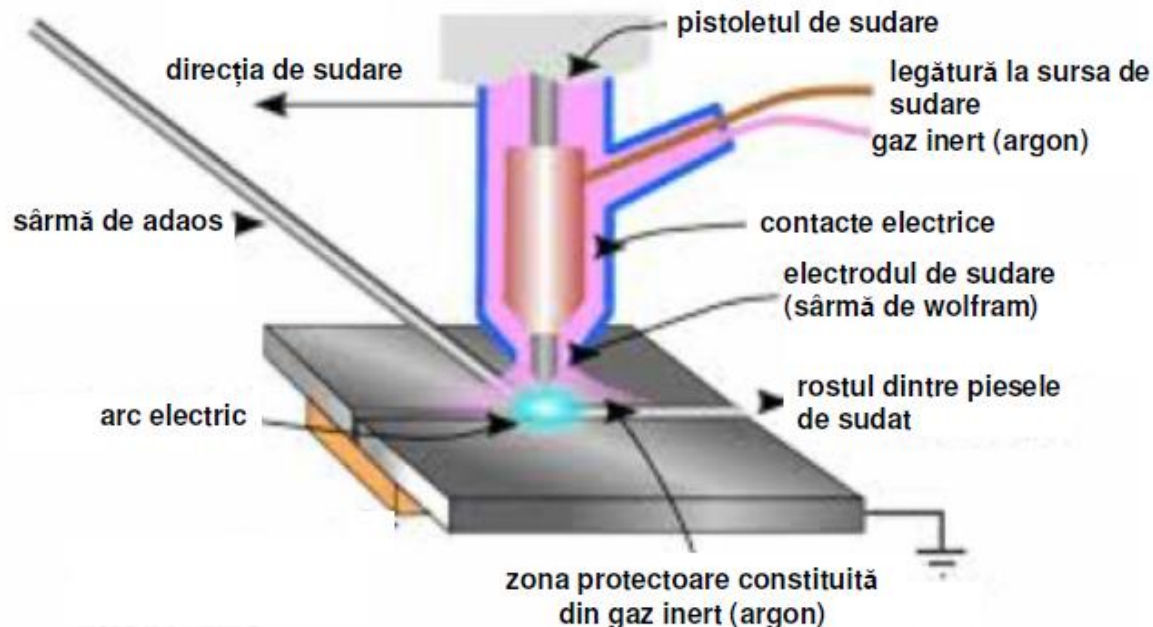


Fig. 112. Sudarea prin procedeul WIG [www. sud]

4.6 Sudarea MIG/MAG (cu sârma electrod fuzibilă)

- ❖ arcul electric se produce între o sârmă electrod desfășurată dintr-o casetă și piesele de sudat;
- ❖ drept gaz protector se utilizează argon;
- ❖ aplică la sudarea aliajelor de aluminiu, cupru sau a oțelurilor aliate.

Principiul sudării MIG/MAG

- arcul electric amorsat între sârma electrod și piesele de sudat produce topirea acestora formând baia de metal;
- protecția arcului electric și a băii de metal topit se realizează cu ajutorul gazului de protecție, adus în zona arcului prin duza de gaz din butelie;
- sârma electrod este antrenată prin tubul de ghidare cu viteză de avans constantă de către sistemul de avans prin derularea de pe bobină;
- alimentarea arcului cu energie electrică se face de la sursa de curent continuu prin duza de contact și prin cablul de masă.

➤ tubul de ghidare a sârmei electrod, cablul de alimentare cu curent și furtunul de gaz sunt montate într-un tub flexibil de cauciuc care împreună cu capul de sudare formează pistolul de sudare.

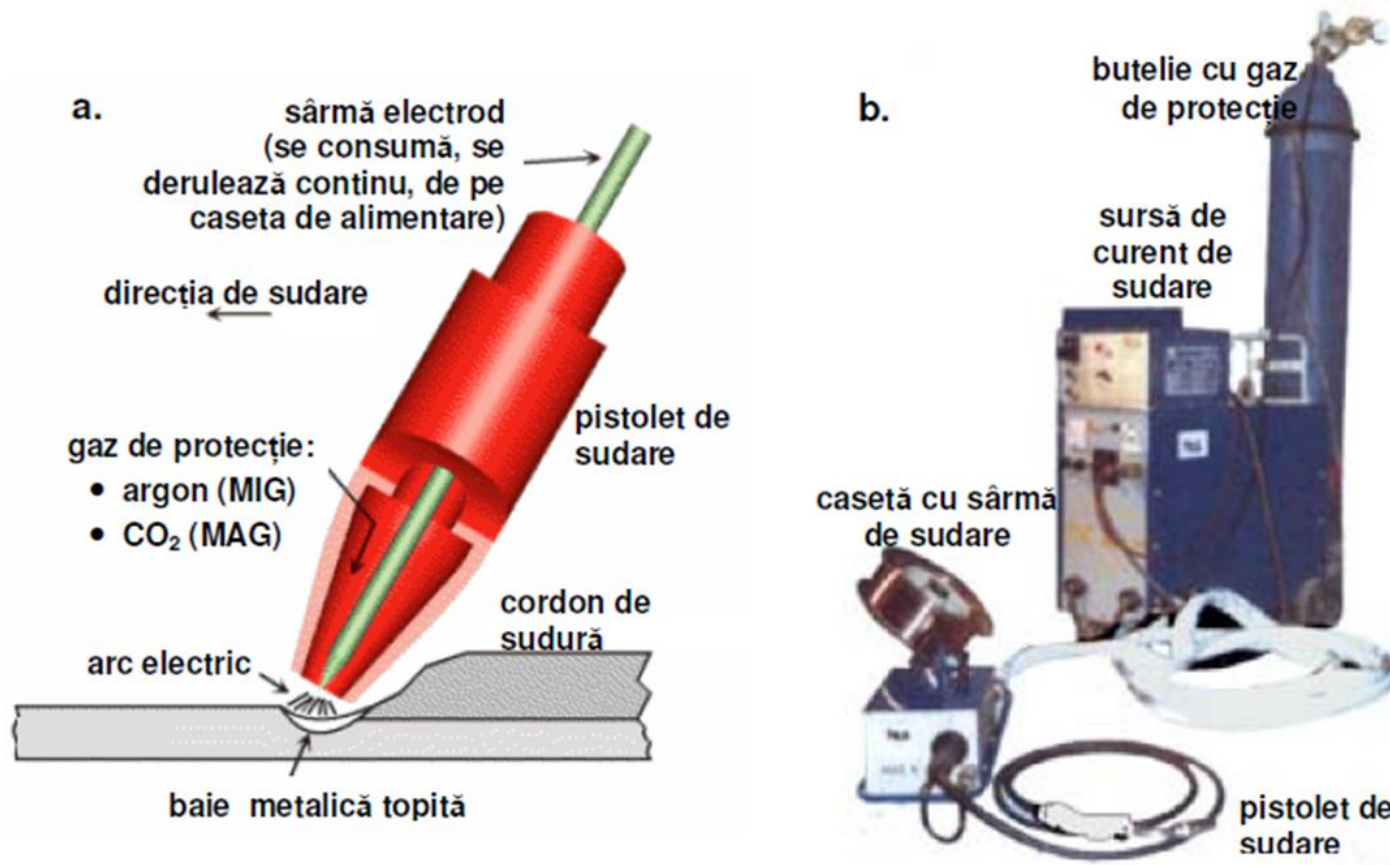


Fig. 113. Schema de principiu a procedeelor MIG/MAG și echipamentul necesar [Curs TM – Conf. S.G]

Parametrii de sudare MIG/MAG:

- ✓ diametrul sârmei: 0.62 - 4 mm;
- ✓ curentul de sudare: 60 - 500 A;
- ✓ tensiunea arcului electric: 15 - 35 V;
- ✓ viteza de sudare: 15 - 150 cm/min;

Avantajele sudării MIG/MAG:

- ✓ calitatea foarte bună a îmbinării sudate;
- ✓ productivitate mare datorită faptului că nu trebuie schimbat electrodul și nici îndepărta zgura;
- ✓ productivitate mare de topire, aproximativ 1 -10 kg/h;
- ✓ procedeul este semi automatizat, poate fi automatizat sau robotizat.

Dezavantajele sudării MIG/MAG:

- ✓ materialele și utilajele sunt scumpe;
- ✓ accesibilitate limitată la îmbinările sudate interioare.

4.7 Sudarea cu plasmă

- ❖ face parte din categoria procedeeelor de sudare cu arc electric;
- ❖ protecția la sudare se asigură cu un gaz inert sau un amestec de gaze;
- ❖ la sudarea cu plasmă arcul electric este constrâns de o duză de gaz racită;

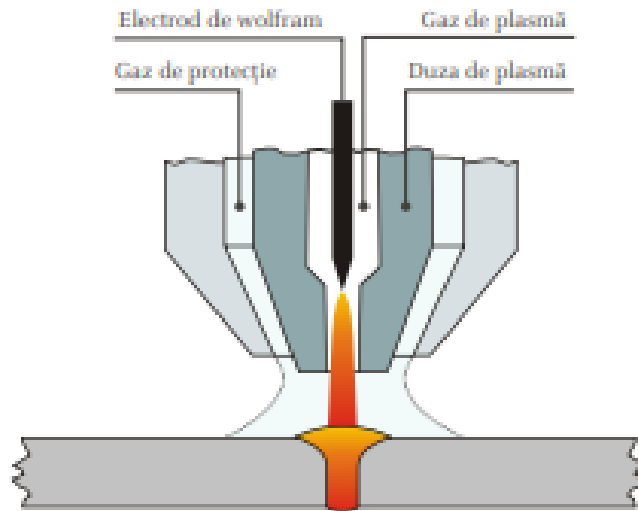


Fig. 114. Sudarea cu plasmă [www.cmm]

- ❖ concomitent prin duză trece și un curent de gaz care sub acțiunea temperaturii ridicate a arcului se ionizează, transformându-se în plasmă dezvoltând temperaturi foarte;
- ❖ arcul se poate produce între un electrod nefuzibil și piesa sudată (arc transferat) sau între electrod și duză (arc netransferat);
- ❖ sudarea cu arc de plasmă poate fi aplicată cu sau fără metal de umplură;

Avantajele sudării cu plasmă:

- ✓ productivitate mare la sudare (viteze de sudare mari și pătrundere mică);
- ✓ stabilitate foarte bună a arcului electric;
- ✓ calitate foarte bună a îmbinării sudate (grosimi $s=0.05$ mm).

Dezavantajele sudării cu plasmă:

- ✓ echipamentele de sudare cu plasmă sunt scumpe;
- ✓ procedeul este limitat oarecum la sudarea tablelor subțiri.

Parametrii de sudare cu plasmă:

- ✓ curentul de sudare I_s : 0.1 A - 400 A, dacă $I_s < 40$ A → microplasmă
- ✓ tensiunea arcului electric U_a : 10 - 40V;
- ✓ viteza de sudare: 0.2 – 1.5 m/min;
- ✓ debitul de gaz plasmogen: 0.1 – 3 l/min;
- ✓ debitul gazului de protecție: 3 – 7 l/min - microplasmă
4 – 20 l/min - sudarea cu plasmă

4.8 Sudarea prin puncte

- ❖ este procedeul de sudare care se realizează prin încălzirea electrică prin rezistență și aplicarea concomitentă a unei forțe de presare;
- ❖ acest procedeu se bazează pe efectul Joule-Lenz de trecere a curentului electric prin coloana de metal aflată între vârfurile electrozilor de contact care realizează și strângerea pieselor de sudat;
- ❖ punctul de sudură se obține în planul de separație al pieselor de sudat;
- ❖ pentru ca rezistența de contact dintre electrod și material să fie mai mică decât cea dintre componentele care se sudează, este necesar ca electrozii să fie confecționați din cupru sau cupru aliat cu crom sau beriliu, ceea ce le conferă o rezistență mecanică la compresiune bună;
- ❖ acest lucru face ca temperatura cea mai mare să se dezvolte la suprafața de contact dintre cele două repere supuse procesului de sudare.

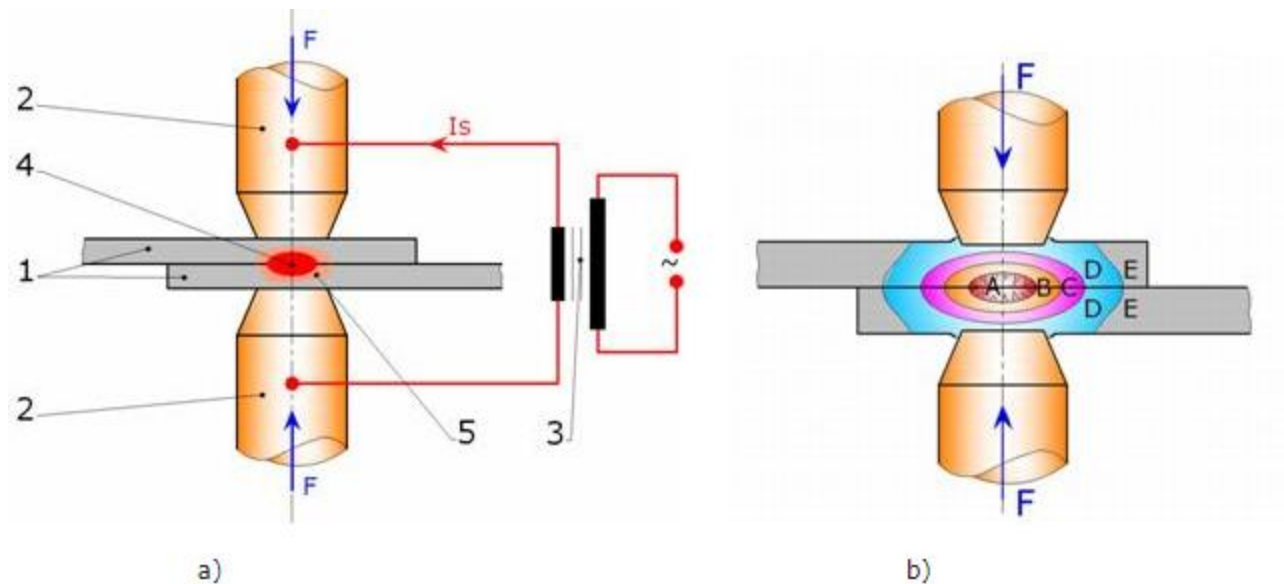


Fig. 4. Schema de principiu a procedurii de sudare prin rezistența electrică în puncte: a) 1 – componente de sudat; 2 – electrozi de contact; 3 – sursa de sudare; 4 – punct de sudură; 5 – zona de influență termică (ZIT). b) A – zona nucleului topit, B,C-zone puternic încălzite.

Fig. 115. Sudarea în puncte [www.cre]

Avantajele sudării în puncte:

- ✓ Viteza de sudare mare;
- ✓ Dozare precisă a energiei introduse;
- ✓ Posibilitatea automatizării;
- ✓ Calitatea sudurii nu depinde de îndemânarea sudorului.

Dezavantajele sudarii în puncte:

- ✓ Necesită instalații de putere;
- ✓ Necesită sisteme de răcire cu apă și rețea de aer comprimat;
- ✓ La sudare electrozii se uzează și necesită refacerea geometriei.

Principali parametri ai regimului de sudare sunt:

- Tensiunea de sudare: 4 - 6 V;
- Curentul de sudare: 800 – 24000 V;
- Forța de apăsare: 8 – 25 MPa;
- Timpul de sudare: zecimi de secundă – sec.

4.9 Sudarea cu flacără oxiacetilenică

- ❖ face parte din categoria procedeelelor de sudare ce utilizează energia termo-chimică;
- ❖ flacăra oxiacetilenică se formează prin aprinderea amestecului gazos compus din acetilena și oxigen, la ieșirea dintr-un arzator;

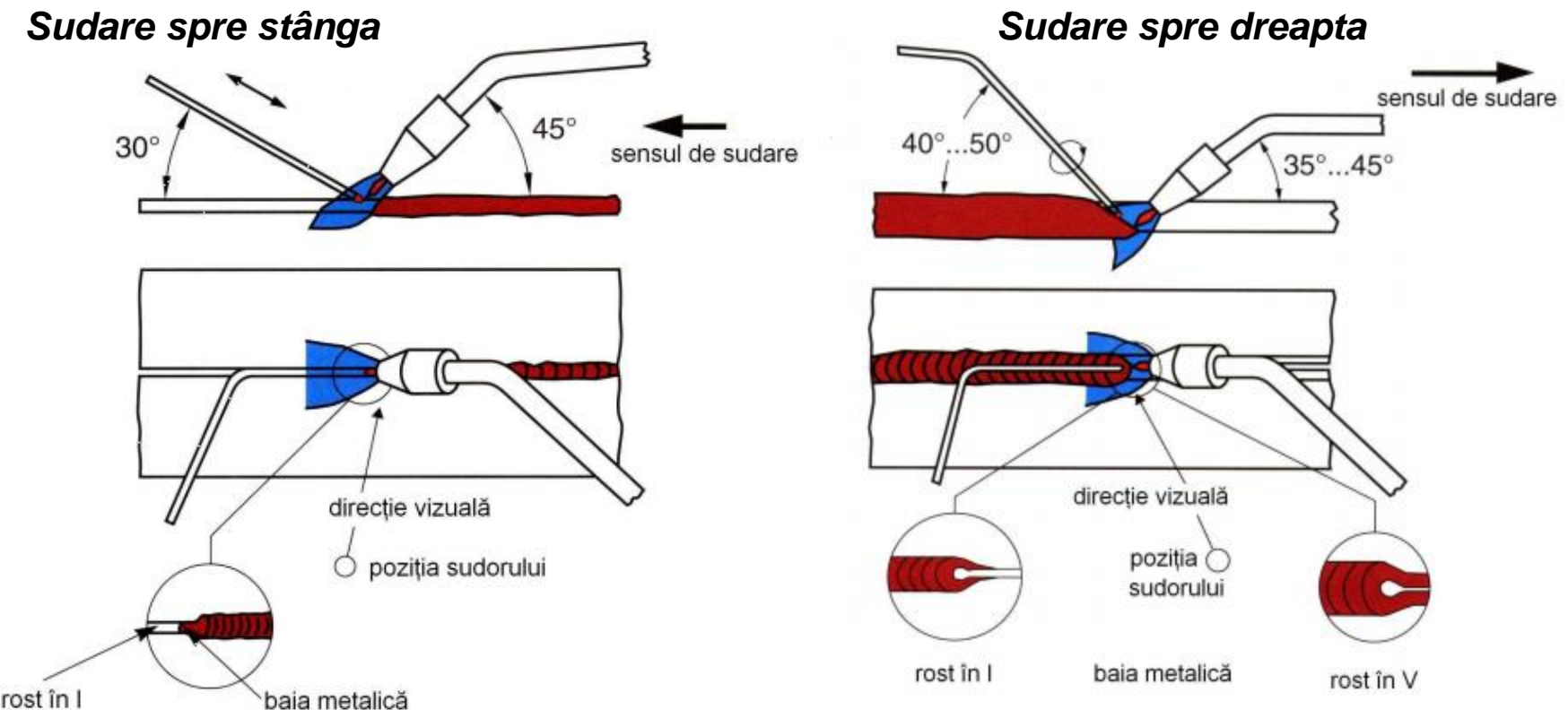


Fig. 116. Sudarea cu flacără oxiacetilenică [Curs IWE – Sl. C.F]



Avantajele sudurii cu flacără oxiacetilenică:

- ✓ prezintă o sursă concentrată de căldură;
- ✓ temperatura și densitatea de putere mai redusă în comparație cu arcul;

Dezavantajele sudurii cu flacără oxiacetilenică:

- ✓ productivitate mică;
- ✓ cost ridicat și calitate slabă la sudarea pieselor groase;
- ✓ nu se pot face alieri în cusătură;
- ✓ calitatea sudurii depinde de calificarea sudorului.

Parametrii regimului de sudare cu flacără oxiacetilenică:

- ✓ diametrul sârmei de adaos (d) se determină cu relațiile:

$$d = \frac{s}{2} + 1 \text{ [mm]} \quad - \text{ sudare spre stânga} \quad (1)$$

$$d = \frac{s}{2} + 2 \text{ [mm]} \quad - \text{ sudare spre dreapta} \quad (2)$$

unde, s – grosimea pieselor de sudat.

- ✓ viteza de sudare (v_s) se stabilește în funcție de metoda de sudare și de grosimea și natura materialului de bază:

$$v_s = \frac{k}{s} \text{ [m/h]} \quad - \text{ în cazul sudării oțelului} \quad (3)$$

unde, k – este un coeficient empiric $k=12$, la sudarea spre stânga

$k=15$, la sudarea spre dreapta

- ✓ debitul de acetilenă, pentru oțel, se poate calcula cu relațiile:

$$Q_{C_2H_2} = (100 \dots 120) \cdot s \text{ [l/h]} \quad - \text{ la sudarea spre stânga} \quad (4)$$

$$Q_{C_2H_2} = 100 \cdot s \text{ [l/h]} \quad - \text{ la sudarea spre dreapta} \quad (5)$$



Bibliografie

- [ANC 03] – Ancău M., - Tehnologia Fabricației. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2003
- [BER 00] – Berce P., ș.a – Tehnologii de fabricare rapidă a prototipurilor. Editura Tehnica, București 2000
- [FRA 11] – Frățilă D., ș.a – Tehnologii de fabricație, Îndrumător de lucrări de laborator, Editura U.T. Press 2011
- [GRO 10] – Groover M.,P., - Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems, ISBN 978-0470-467002
- [GYE 91] – Gyenge Cs., ș.a – Tehnologia fabricării mașinilor, UTC-N 1991
- [GYE 04] – Gyenge Cs., ș.a – Ingineria Fabricației, Editura Alma Mater, Cluj-Napoca, 2004
- [MIH 13] – Mihailide M., ș.a – Proiectarea sculelor așchietoare - Îndrumar de laborator
- [RAD 12] – Radu S., A – Teza de doctorat, Cercetări teoretice și experimentale privind turnarea sub vid a pieselor complexe nemetalice, 2012



[TAN 12] – Tănase V., - Prelucrări mecanice prin așchiere, curs online

[VIS 08] – Vișan D., - Tehnologii de sudare, curs online 2008

[curs IWE] – Sudarea oxigaz și procedee

[curs TM II] – Strnad G., - Tehnologia Materialelor II, curs online

www.carbochim.ro

www.cmmetal.ro

www.guehring.ro

www.sudura.ro

www.creeaza.com/tehnologie/tehnica-mecanica/PROCEDEUL-DE-SUDARE-PRIN-REZIS481.php

www.sandvik.com

<https://www.slideserve.com/mort/recapitulare-elaborarea-semifabricatelor-metoda-ciorchinelui>