

Lucian Grama

**TEHNOLOGIA
CONSTRUCTIEI
DE MAȘINI
TCM II**



**Editura Universității „Petru Maior”
TÂRGU-MUREȘ**

2013

TEHNOLOGIA CONSTRUCȚIEI DE MAȘINI

- TCM II -

**-Tehnologii de fabricare –
-Tehnologii electrofizice și cu energie concentrată-**



**EDITURA UNIVERSITĂȚII „PETRU MAIOR”
TÂRGU - MUREȘ**

- 2013 -

**UNIVERSITATEA „PETRU MAIOR”
TÂRGU MUREȘ**

Prefață

Lucrarea de față “TEHNOLOGIA CONSTRUCȚIEI DE MAȘINI - TEHNOLOGII DE FABRICARE, TEHNOLOGII ELECTROFIZICE ȘI CU ENERGIE CONCENTRATĂ” se adresează viitorilor specialiști, ingineri în tehnologia construcției de mașini, cât și în domeniul ingineriei manageriale.

Se urmărește conturarea cunoștințelor de specialitate, insistând asupra laturii tehnologice. Capitolele lucrării tratează atât tehnologiile clasice de prelucrare prin așchiere a metalelor cât și tehnologiile neconvenționale mai importante, prezentate deja în majoritatea întreprinderilor constructoare de mașini.

Despre unele capitole s-au scris chiar tratate întregi, prezenta lucrare fiind doar un punct de plecare în contextul formării de bază a viitorului specialist ca inginer.

Recomand celor ce o vor studia, utilitatea bibliografiei prezentate în finalul lucrării, atunci când vor dori a investiga mai în amănunt domeniul specializării pe care și-o aleg.

Aduc mulțumiri recenzenților pentru complexul aport adus prin sugestii la redactarea finală a materialului, fiindu-mi de un real ajutor științific, profesional.

Mulțumesc tuturor celor care m-au ajutat și încurajat în publicarea lucrării mele.

Autorul

Cuprins

Prefață.....	3
Cuprins	5
Introducere.....	6
PARTEA I - Tehnologii de fabricare	10
Capitolul 1: Tehnologia de prelucrare a suprafețelor exterioare de revoluție	11
Capitolul 2: Tehnologia de prelucrare a suprafețelor interioare de revoluție (alezaje).....	90
Capitolul 3: Tehnologia de prelucrare a suprafețelor plane.....	124
Capitolul 4: Tehnologia de prelucrare a suprafețelor profilate.....	157
Capitolul 5: Tehnologia de prelucrare a filetelor.....	187
Capitolul 6: Tehnologia de prelucrare a roților dințate.....	223
Capitolul 7: Tehnologii de prelucrare de mare productivitate	280
Bibliografie - Partea I	296
PARTEA II - Tehnologii electrofizice și cu energie concentrată.....	300
Capitolul 8: Tehnologii neconvenționale cu îndepărtare sau cu depunere de material	301
Capitolul 9: Tehnologii neconvenționale fără îndepărtare de material.....	392
Bibliografie - Partea II	405

INTRODUCERE

PRELUCRABILITATEA, CA FACTOR TEHNOLOGIC

Fabricarea, acțiunea de a fabrica a “provocat” apariția tehnologiei, ca știință a metodelor și a mijloacelor de prelucrare a materialelor, mai precis a ansamblului proceselor, metodelor, operațiilor etc. utilizate în scopul obținerii unui anumit produs.

Așa cum s-a prezentat, legătura între concepție și materializare (proiectare-fabricație) este realizată prin însăși tehnologia de fabricare (fig.1.).

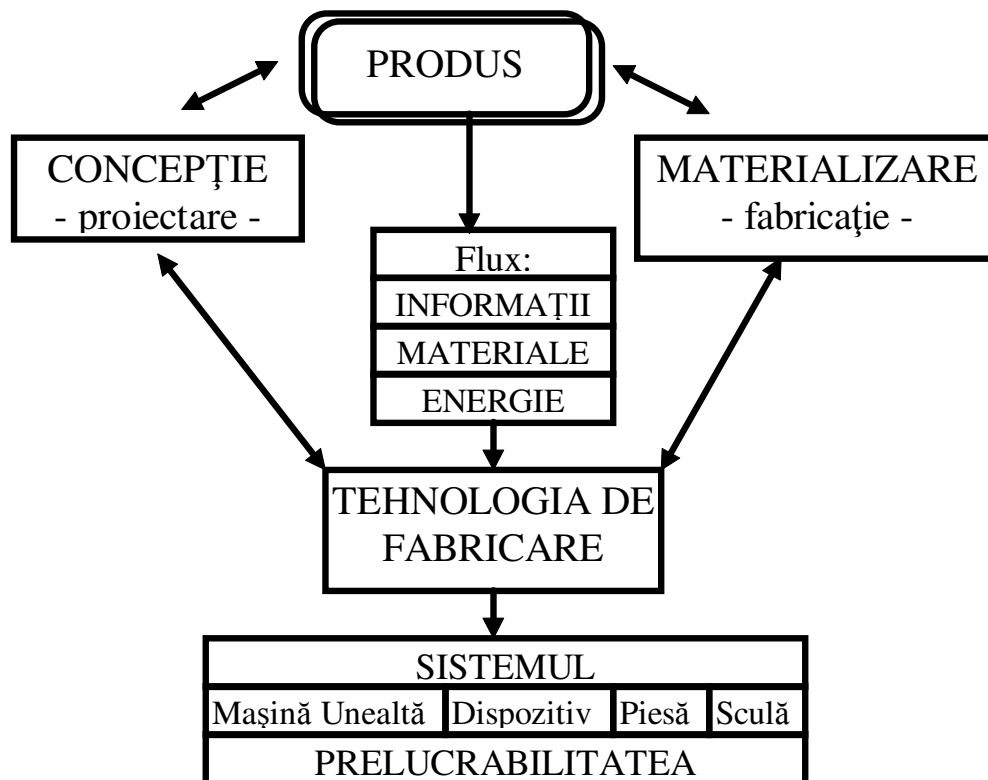


Fig.1.

După cum se observă, prelucrabilitatea constituie una dintre principalele caracteristici ale sistemului tehnologic elastic: mașină-unealtă, dispozitiv, piesă, sculă, constituind un “al cincelea element” distinct, influențându-le pe toate celelate în ansamblul complex al tehnologiilor de fabricare.

Istoriceste vorbind, folosirea termenului de “prelucrabilitate”; “machinability” - în limba engleză, are loc pentru prima oară la jumătatea anului 1920, în comunicările științifice ale acelor timpuri (Herbert,

Rozenheim, Sturney), succedând pe cele ale lui F.Taylor (“On the Art of Cutting Metal” - 1907) și inspirându-se din aceasta din urmă.

Orice specialist este tentat să definească prelucrabilitatea prin aşchiere în legătură cu domeniul său de activitate. Astfel, pentru producătorul de scule, un material prelucrabil este în primul rând acela, care uzează mai puțin scula aşchietoare. Un energetician de formație, consideră un material ușor prelucrabil acela care va consuma prin acest mecanism o cantitate minimă de energie. În altă ordine de idei, un producător de mașini-unelte va considera că se poate atribui calificativul de “ușor prelucrabil”, cazul în care solicitările mecanice care apar în lanțul cinematic al utilajului respectiv, puterea consumată în timpul regimului de lucru sunt cât mai scăzute (de preferință minime). Din punctul de vedere al producătorului de piese de schimb (chiar diverse ca varietate constructivă) în serie mare sau în masă, materialul considerat “ușor prelucrabil” este acela care permite obținerea unei cât mai mari cantități de piese (organe de mașini) într-un interval cât mai scurt de timp și dacă e posibil la un cost de fabricație cât mai redus.

Din punct de vedere al tehnologului (al autorului în speță) un produs este ușor prelucrabil (de fabricat, de confecționat, etc.) dacă acesta în întregul ansamblu al lui necesită un efort minim de pregătire a fabricației, în vederea producerii acestuia la un volum de serie (sau masă). Pregătirea fabricației înseamnă nu numai proiectarea regimurilor tehnologice de prelucrare, normarea tehnică, S.D.V.-izarea procesului tehnologic ci și anumite măsuri de natură inversă (mergând de la tehnolog la proiectant), vizând reproiectarea unor repere considerate “netehnologice”, adică foarte greu sau practic irealizabile în condițiile unor dotări existente.

Aici, autorul, consideră necesară definirea unui criteriu, numit de complexitate tehnologică a piesei ce urmează a fi realizată printr-o anumite tehnologie de fabricare. Acest criteriu trebuie să pornească de la materialul ales, complexitatea formei geometrice a reperului în cauză, precizia dimensională, calitatea suprafețelor care urmează a fi prelucrate, proprietățile prin care piesa respectivă răspunde solicitărilor fizico-mecanice în întregul ansamblu din care face parte și în care funcționează. Se face din ce în ce mai mult apel la analiza acestor parametri de proprietate folosind metodele de calcul pe baza elementului finit, sub aspectul particular care înglobează întregul departament al fabricației organelor de mașini.

Revenind la prelucrabilitatea prin aşchiere a metalelor (obiectul principal de care ține seama oricare tehnologie de fabricare în construcția de mașini) se poate constata și din lucrarea [70], organizația

internațională de standardizare ISO, prin proiectul său de normă ISODIS/3685, și-a propus standardizarea condițiilor de efectuare a încercărilor de așchiere, încercări care să permită în primul rând compararea proprietăților de prelucrare ale mai multor materiale, respectiv a prelucrabilității acestora, dar și a calității sculelor, privind durabilitatea lor.

În sinteză, prelucrabilitatea prin așchiere, ca factor tehnologic caracterizează un ansamblu de proprietăți legate de tehnologia de execuție prin așchiere a unui reper dat, proprietăți capabile să asigure desfășurarea în condiții avantajoase a operațiilor de așchiere (viteze mari de așchiere, uzuri minime ale sculelor așchietoare, consum redus de energie, obținerea unei calități cât mai bune a suprafețelor prelucrate, etc.).

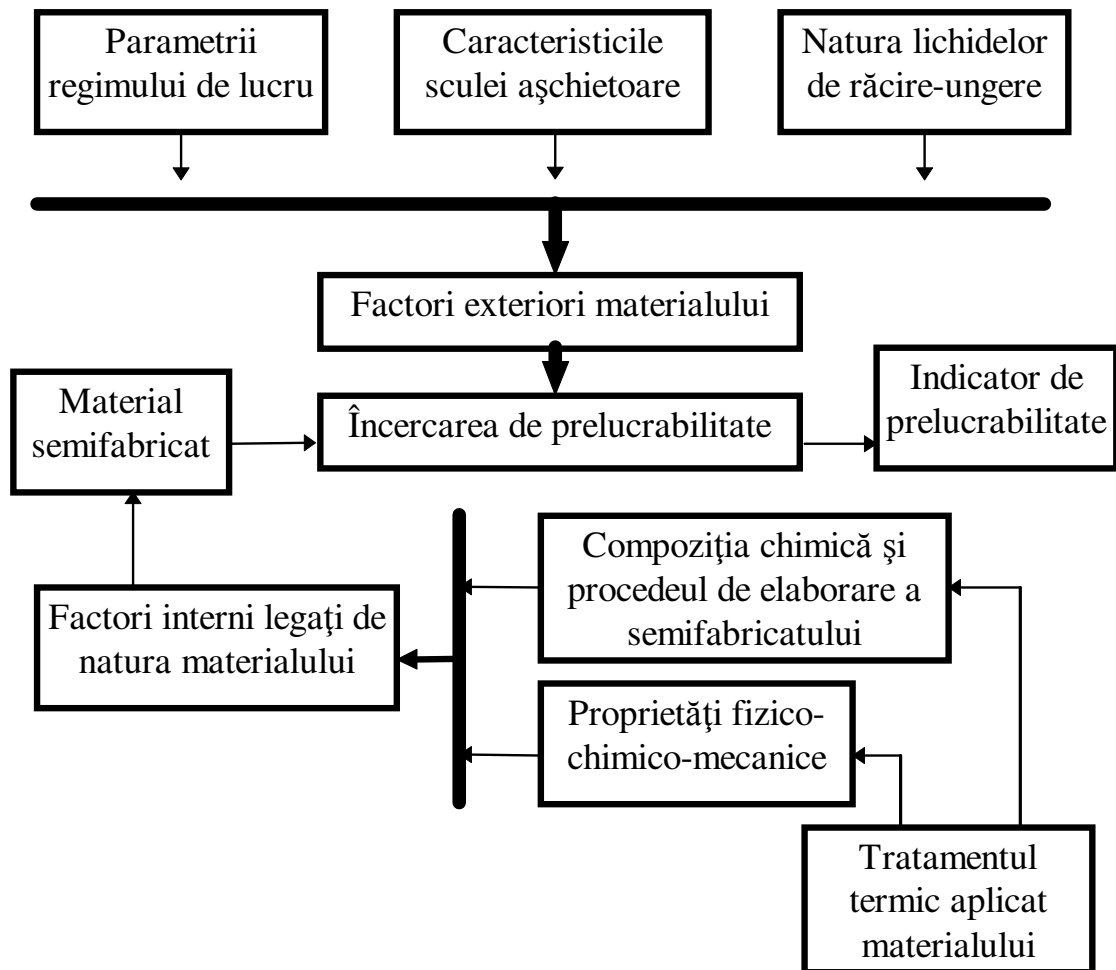


Fig.2.

Influența diferitelor factori asupra indicatorilor de prelucrabilitate, în condițiile specifice așchierii metalelor se prezintă în schema bloc din fig.2.

Cu cât o piesă se poate executa cu eforturi mai mici, cu atât se poate afirma, că este mai tehnologică. Corelarea tuturor parametrilor constructivi- tehnici și tehnologici constituie viabilitatea soluțiilor alese în fabricația modernă.

Se poate afirma din ce în ce mai mult, că cele mai puternice forțe industriale sunt acelea care dețin o tehnologie de fabricare capabilă să producă o cât mai mare diversitate de produse într-un timp cât mai scurt, și la costuri cât mai accesibile.

Nu ne rămâne decât să ne orientăm tot efortul gândirii spre acest țel, al adevăratei deontologii a profesiei de inginer.

PARTEA I

– Tehnologii de fabricare –

CAPITOLUL 1

1. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A SUPRAFETELOR EXTERIOARE DE REVOLUȚIE

Majoritatea organelor de mașini, componente ale subansamblelor și ansamblelor sunt piese aflate în mișcare de rotație, având un rol bine definit și fiind executate tehnologic după formă, caracteristici, mărime și material.

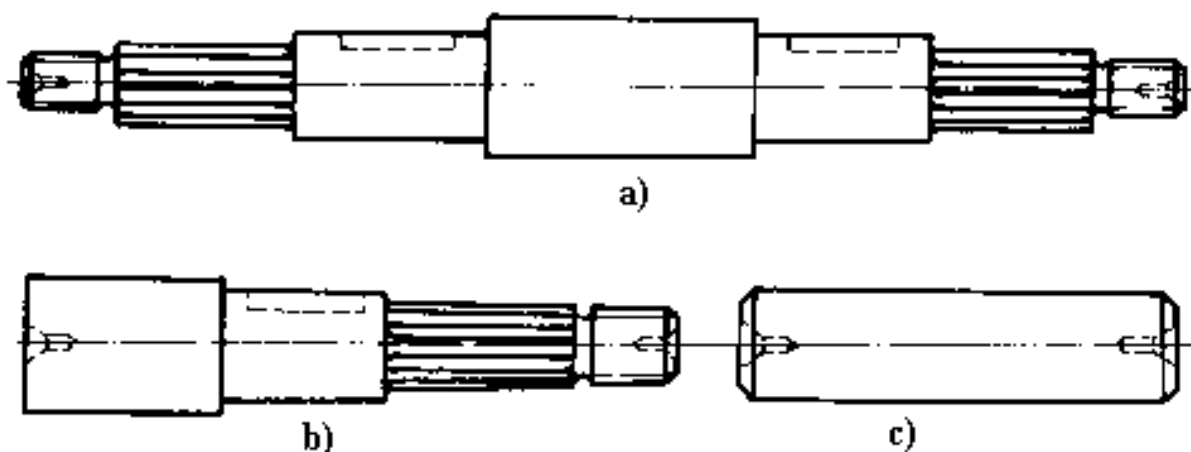
În această categorie intră piesele de tip "arbori", având în componența lor: arborii drepecți, cotiți și excentrici (axe cu came).

Vom căuta să parcurgem în ordine, tehnologia de fabricație a fiecărui tip de piese din această categorie.

1.1. Prelucrarea arborilor drepecți

Arborii drepecți se caracterizează prin faptul că toate suprafețele lor au o axă dreaptă comună.

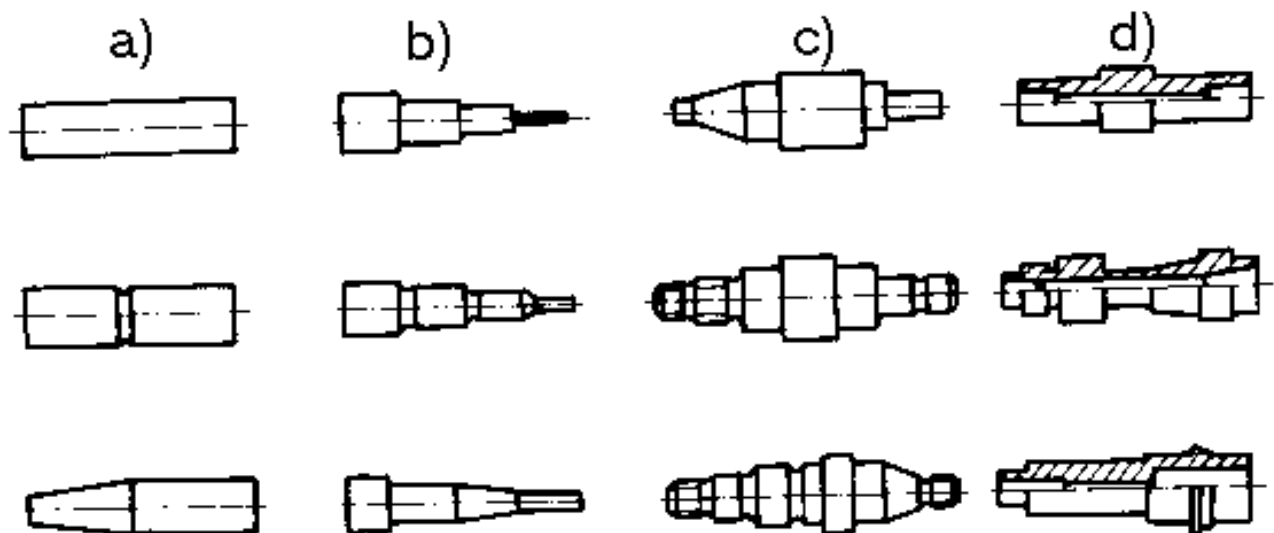
În figura 1.1. se poate vedea o clasificare a diferitelor categorii de arbori drepecți.



Tipurile reprezentative de arbori în clasa arborilor

a)- arbore în trepte simetrice; b)- arbore în trepte asimetrice

Fig. 1.1. A.



Diferite categorii de arbori drepți

a)- netezi; b)- cu trepte într-un sens; c)- cu trepte în ambele sensuri d)- tubulari

Fig. 1.1. B.

- a.) - arbori netezi
- b.) - arbori cu trepte într-un sens
- c.) - arbori cu trepte în ambele sensuri
- d.) - arbori tubulari

De asemenea, o clasificare în funcție de raportul dintre lungimea (l) și diametrul mediu (d) se poate face astfel:

$$\frac{l}{d} < 3 \text{ arbori scurți}$$

$$3 \leq \frac{l}{d} \leq 10 \text{ arbori mijlocii}$$

$$\frac{l}{d} > 10 \text{ arbori lungi}$$

În categoria arborilor, din punct de vedere al greutateii și dimensiunii intră începând de la piesele de aparatură fină și până la arbori grei (diametre ce depășesc 1500 mm, lungimi peste 10m și greutatea mai mari de 60...100 tone.

Condiții tehnice de execuție :

- precizia dimensiunilor (diametrelor) suprafețelor importante să corespundă în general claselor 6-7 I.S.O., iar în anumite cazuri chiar clasei

5 I.S.O.

- privitor la calitatea suprafețelor, în afară de zonele corespunzătoare montării în lagăre, acestea nu depășesc des nivelul corespunzător cotelor libere STAS 2300-75.

- erorile de formă: ovalitate, poligonalitate, abateri de la circularitate în general (pe secțiuni) și în lungul axei de rotație (conicitate, formă de butoi, etc.), acestea trebuie să se înscrie în limitele condițiilor prescrise de proiectant.

- erorile de poziție: - coaxialitatea suprafețelor cilindrice importante (bătaia radială), perpendicularitatea față de axă (bătaie frontală), paralelismul flancurilor canelurilor și a canalelor de pană cu axa arborelui, simetria canalelor de pană față de axă; toate acestea sunt erori în general mici, tolerate și trebuiesc respectate (tehnologic fie spus: ținute sub control).

- rugozitatea suprafețelor arborilor: depinde de densitatea lor de ex.: la acele tronsoane, care formează ajustaje cu piesele care se montează pe arbore, rugozitatea este cuprinsă între limitele:

$$R_a = 1,6 \dots 0,4 \mu\text{m}$$

- duritatea superficială: - îndeosebi a porțiunilor fusurilor trebuie prescrisă și respectată conform cerințelor (călire superficială, cementare, nitrurare, durificare prin deformare plastică, etc.)

1.1.1. Operații pregătitoare

Enumerăm în continuare succesiunea tehnologică a acestora:

1.1.1/a. Debitarea suprafețelor

Este necesară pentru a aduce semifabricatul la dimensiunea prelucrabilă, cât mai apropiată de cea finală, cu posibilitatea de-a putea fi prinsă în dispozitivul mașinii-unelte, după care se va trece la prelucrarea mecanică.

Această operație se poate face cu ajutorul ferăstraielor cu pânză sau circulare (fig. 1.2.) pe mașini de tăiat cu ghilotină sau pe mașini de debitat, destinate special acestui scop (fig. 1.3). În anumite cazuri debitările se pot face chiar pe mașinile unelte existente, utilizându-se frecvent:

- debitarea prin frezare cu freze disc, prin strunjire pe strunguri special amenajate sau cu discuri abrazive.

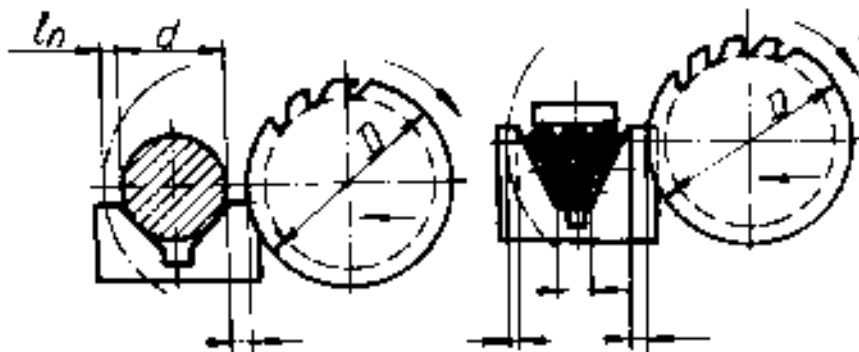


Fig.1.2

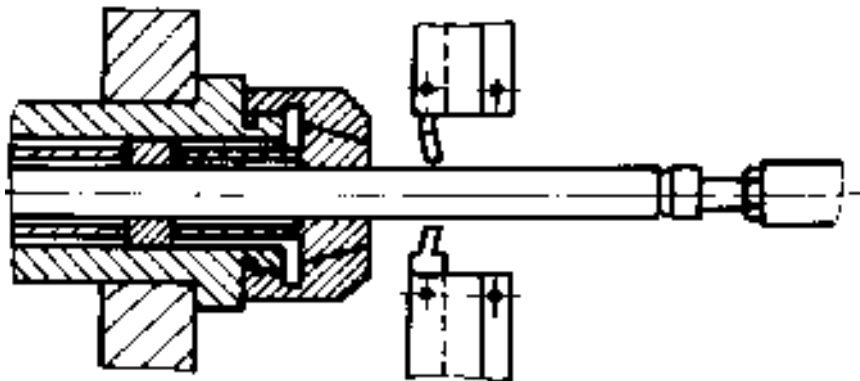


Fig.1.3.

Desigur, în funcție de tipurile de producție (individual, serie, masă), debitarea se mai poate face pe mașini de debitat anodo-mecanice (cu bandă sau disc), fie prin procedeul tăierii cu flacără (oxiacetilenică), cu plasmă, laser, etc.

De reținut că debitarea, ca procedeu trebuie neapărat corelată cu tipul de producție și cu precizia cerută. Ca orice procedeu tehnologic și debitarea trebuie să aibă eficiența maximă.

1.1.1/b. Îndreptarea semifabricatelor

Se face cu scopul eliminării deformațiilor semifabricatelor în urma operației de debitare, fie de corectare a acestora dacă ele existau în prealabil. Este cu atât mai necesară cu cât lungimea lor este mai mare, fie raportul l/d este mare. Se urmărește creșterea preciziei de prelucrare.

Operația de îndreptare poate fi făcută la cald și la rece.

Îndreptarea la cald se poate recomanda de exemplu în urma operațiilor de forjare (imediat după), la un timp scurt până piesa nu s-a răcit.

În producția individuală îndreptarea se poate face în diverse moduri: începând de la prinderea în mașini unelte și îndreptarea cu o sculă ce exercită doar o forță de apăsare, și mergând până la utilizarea preselor sau dispozitivelor simple de îndreptat (pe bază de suport și pârghii).

Îndreptarea la rece în producție de serie și masă se face cu ajutorul unor mașini speciale (de îndreptat și calibrat)

O astfel de mașină este prezentată în fig. 1.4.

Această mașină se compune din trei perechi (1,2,3) de role de formă hiperboloidală, înclinate cu un unghi $\alpha=70^\circ$ (sau 20° față de verticală), ele fiind fixate pe un cadru 5 care se rotește (n) antrenat fiind de un reductor de turație (cu roți dințate).

Ca urmare a acestei rotiri, rolele vor primi și ele o mișcare de rotație în jurul axei lor proprii. astfel rotindu-se perechea de role (1) va produce mișcarea de avans (s) a barei (4) urmând ca perechile de role (2) și (3) să producă chiar îndreptarea.

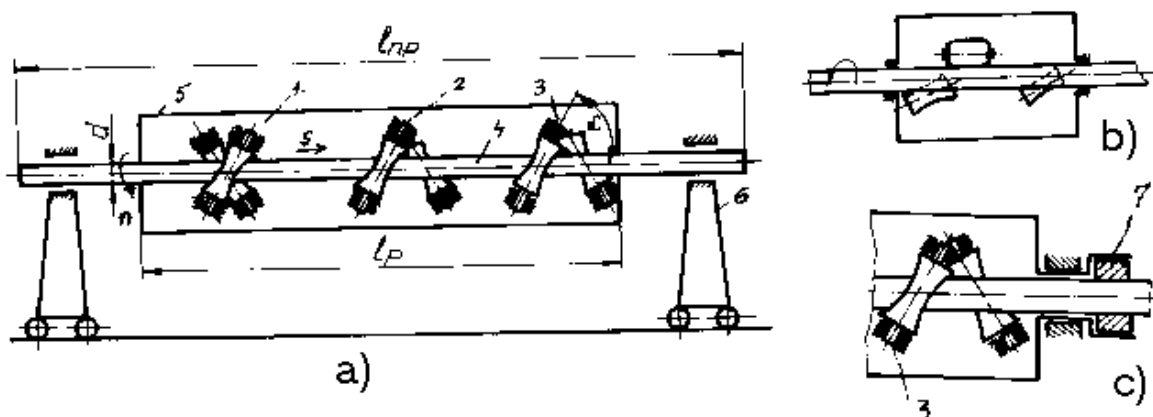


Fig. 1.4.

Dacă dorim, să repetăm operația, prin simpla schimbare a sensului de rotație (n) a cadrului (5), mișcarea se va produce în sens invers lui (s), iar bara va trece de mai multe ori printre role. Unele mașini au posibilitatea ca după îndreptarea roților (3) să se producă și calibrarea barelor cu ajutorul unei filiere (7) (conform fig. 1.1/c.). O soluție diferită, dar existentă se poate vede și în fig. 1.4/b., unde una din cele trei role este constructiv altfel (de tip butoi).

Condiții tehnice privind îndreptarea:

- se admit curburi de $1/4 - 1/6$ din valoarea adaosului de prelucrare, dar nu mai mari de 0,5-1 (mm) la o lungime de 1000 mm.

- precizia de îndreptare poate să se situeze între 0,5 - 0,2 mm/1000mm lungime

- precizia de calibrare a diametrului: 0,03...0,05 mm în această situație se poate obține o calitate superioară a suprafeței.

În producțiile de masă, mașinile de îndreptat și calibrat sunt cuplate (destul de frecvent) cu mașinile de decojit și degroșat.

1.1.1/c. Realizarea bazelor tehnologice

Statistic, majoritatea tipurilor de arbori se prelucerează între vârfuri. Aceste vârfuri materializează axa de rotație a lor, impunând precizia de generare, precum și posibilitatea de controla cotelor efectiv-realizate în urma prelucrării.

Realizarea găurilor de centrare poartă numele de centriure. Ele realizează bazele tehnologice de prelucrare și de control (măsurare).

Înainte operației de centriure (care constituie prelucrarea propriu zisă a găurilor de centrare) se impune prelucrarea obligatorie a suprafețelor frontale, adică planarea.

În acest mod se realizează de altfel precizia necesară găurilor de centrare prin obținerea perpendicularității dintre suprafața frontală și axa găurii de centrare (respectiv axa de simetrie a arborelui).

Prelucrarea de planare se poate face prin strunjire sau frezare pe mașini universale, în funcție de seria de fabricație. În cazul particular al producțiilor de serie și masă, această operație se execută pe mașini agregat specializate și de productivitate mare, realizând după planarea prin frezare frontală și centriurea din aceeași prindere (fig. 1.4/A.).

Forma găurilor de centrare sunt dependente de diametrul și greutatea arborelui în cauză, fiind standardizate conform STAS 1361-73 (vezi fig. 1.5).

Dimensiunile găurilor de centrare se dau în tabelele din fig. 1.6., respectiv fig. 1.7.

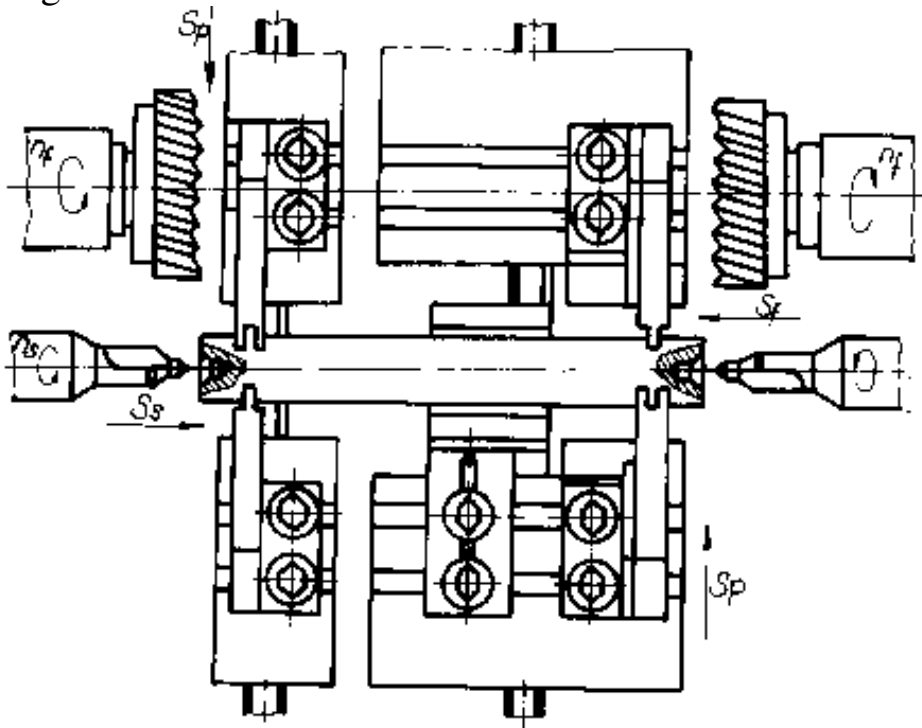
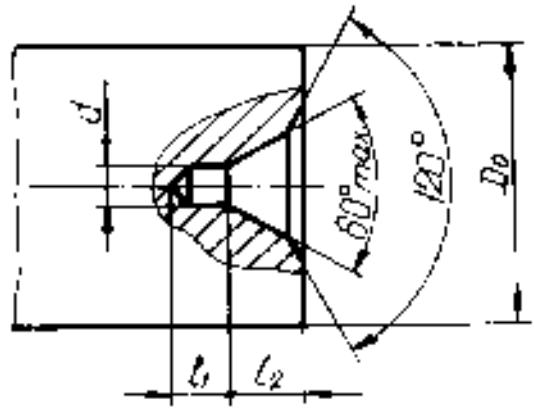
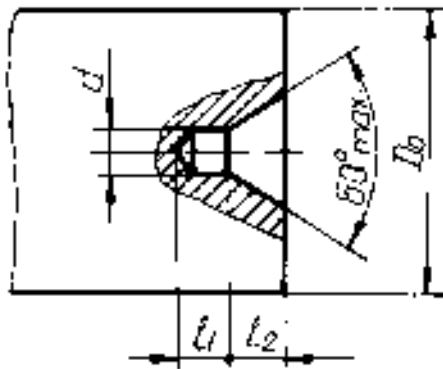


Fig. 1.4. A

Forma A- fără con de protecție

Forma B- cu con de protecție



Forma C- cu degajare pentru finisarea frontală ulterioară a pieselor centruite

Forma R- cu rază

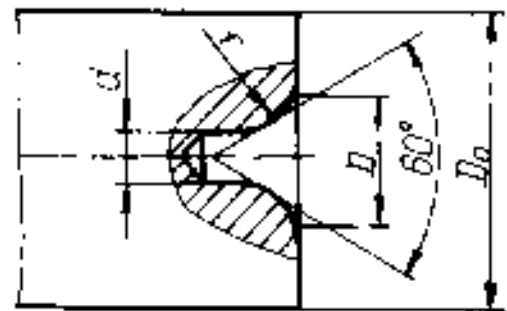
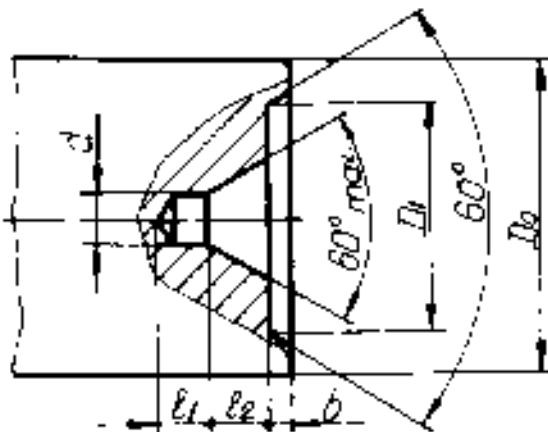


Fig. 1.5.

d	Forma A		Forma B	
	l1 min	l2	l1 min	l2
(0,5)	0,8	0,48	-	-
(0,63)	0,9	0,60	-	-
(0,8)	1,1	0,78	-	-
1,0	1,3	0,97	1,3	1,27
(1,25)	1,6	1,21	1,6	1,60
1,6	2,0	1,52	2,0	1,99
2,0	2,5	1,95	2,5	2,54
2,5	3,1	2,42	3,1	3,20
3,15	3,9	3,07	3,9	4,03
4,0	5,0	3,90	5,0	5,05
(5,0)	6,3	4,85	6,3	6,41
6,3	8,0	5,98	8,0	7,36
(8,0)	10,1	7,79	10,1	9,35
10,0	12,8	9,70	12,8	11,60

Fig. 1.6

d	Forma C				Forma D		
	l1 min	l2	d	D1	D	r	
						min	max
1	1,3	0,97	0,6	5	2,12	2,5	3,15
(1,25)	1,6	1,21	0,6	6	2,65	3,15	4
1,6	2	1,52	0,9	7	3,35	4	5
2	2,5	1,95	0,9	8,5	4,25	5	6,3
2,5	3,1	2,42	1,1	10	5,3	6,3	8
3,15	3,9	3,07	1,7	13	6,7	8	10
4	5	3,90	1,7	16,5	8,5	10	12,5
(5)	6,3	4,85	2,3	20,5	10,6	12,5	16
6,3	8	5,98	2,9	25	13,2	16	20
(8)	10,1	7,79	3,5	30	17	20	25
10	12,8	9,70	4,3	36	21,2	25	31,5

Fig. 1.7.

Reamintim că e important de știut aplicarea notării simplificate a găurilor de centrare pentru care dăm în continuare exemplele din fig. 1.8.

Se știe, din cunoștințele dobândite la Așchiere și Scule Așchietoare că asemenea găurii de centrare se pot obține utilizând centruitoarele (burghie de centrare), fie mai multe scule ori scule combinate (fig. 1.9/a,b,c,d.)

Găurile de centrare trebuie executate precis și bine dimensionate față de greutatea arborelui sau mărimea forțelor de așchiere, ele fiind baze tehnologice pentru un întreg șir de operații, trebuind să aibă și o durabilitate corespunzătoare. Deteriorarea acestora poate duce la fixări necorespunzătoare, uzarea prematură a mașinii unelte. Tot în mod negativ se repercutează execuția lor necorespunzătoare (compromițând rolul vârfurilor de centrare) fig. 1.10/a și b.

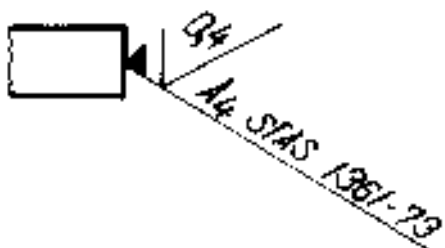
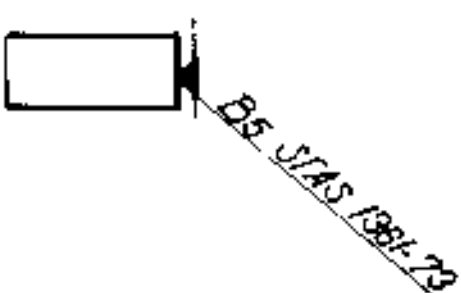
Gaura de centrare trebuie să rămână pe piesa finită
Exemplu: gaura de centrare A ₄ , rugozitatea R _a 0,4 STAS 1361-73

Gaura de centrare nu trebuie să rămână pe piesa finită
Exemplu: gaura de centrare B ₅ , STAS 1361-73


Fig. 1.8

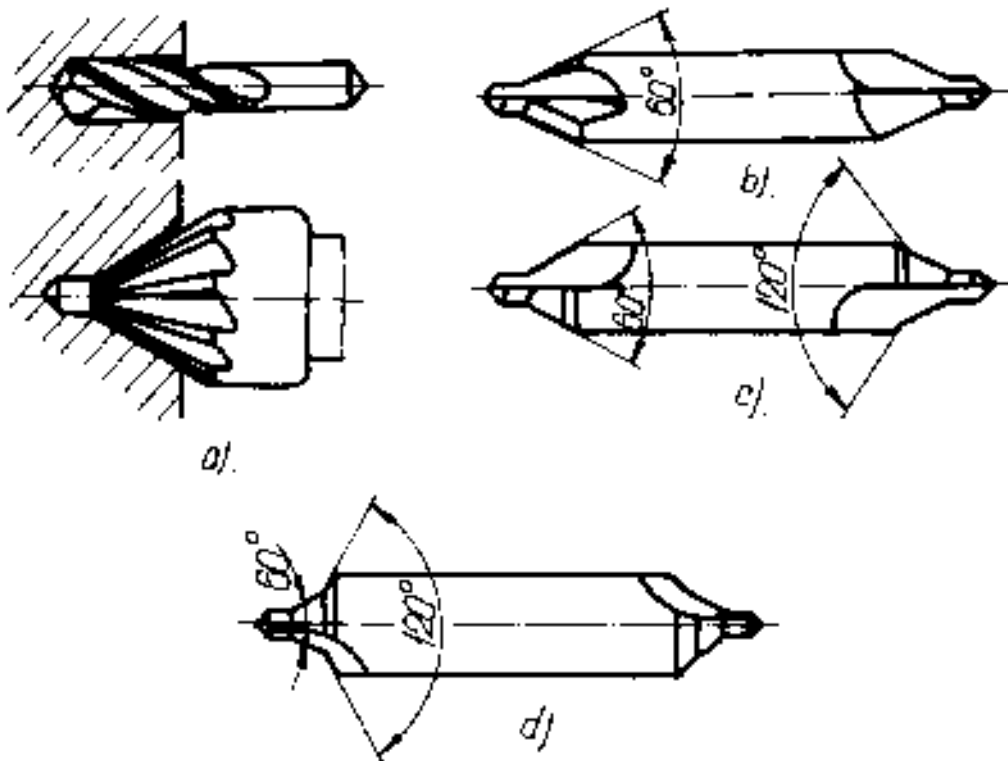


Fig. 1.9

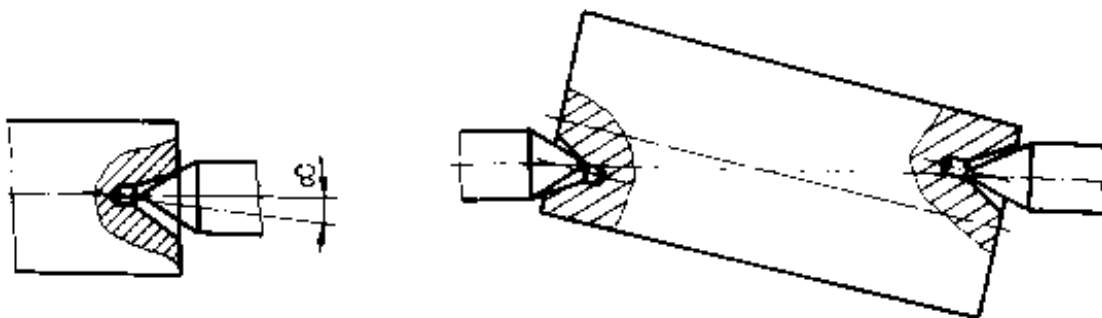


Fig. 1.10/a

Fig. 1.10/b

O importanță deosebită o are și respectarea coaxialității găurilor de centrare, în vederea așchierii cu un adaos de prelucrare uniform, neuniformitatea ducând (după cum știm de la capitolul "precizia de prelucrare") la obținerea abaterilor de formă, excentricităților, suprafețe cu pete, etc. (fig. 1.11/b).

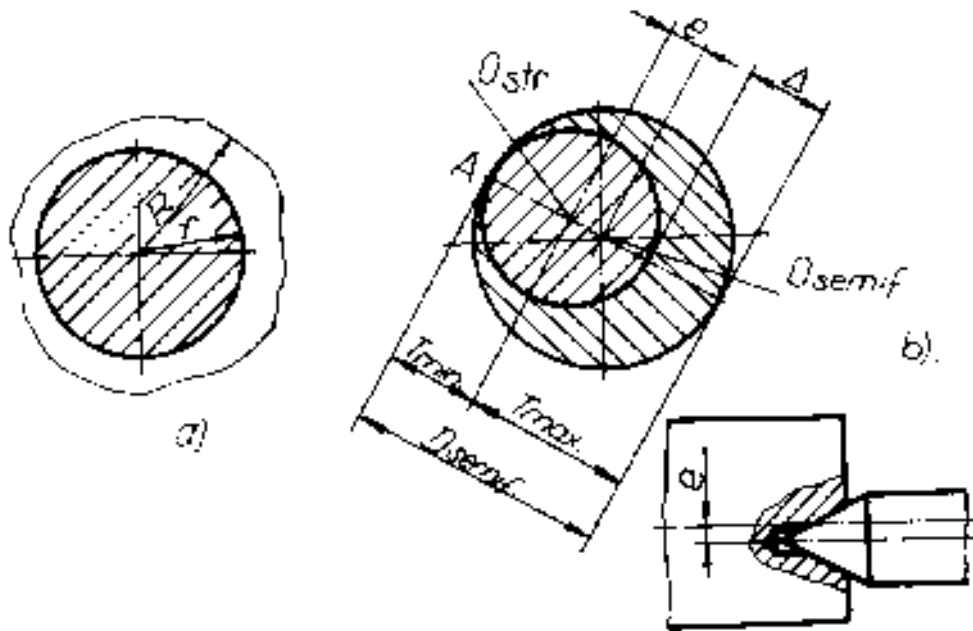


Fig. 1.11.

În afară de precizia de poziție, găurile de centrare trebuie să mai asigure și precizia de formă pentru ca contactul cu vârfurile de prindere să fie cât mai corespunzător realizat.

În caz de nerespectare a acestei recomandări (fig. 1.12) presiunea dintre vârf și piesă crește, frecarea va fi mai mare, producându-se încălziri accentuate, eventual grupări ale suprafețelor, ducând în final la compromiterea preciziei de prelucrare.

În cazul în care nu se respectă precizia dimensională a găurilor de centrare (fig. 1.13.), precizia de prelucrare a arborelui scade proporțional cu abaterea (găurii de centrare).

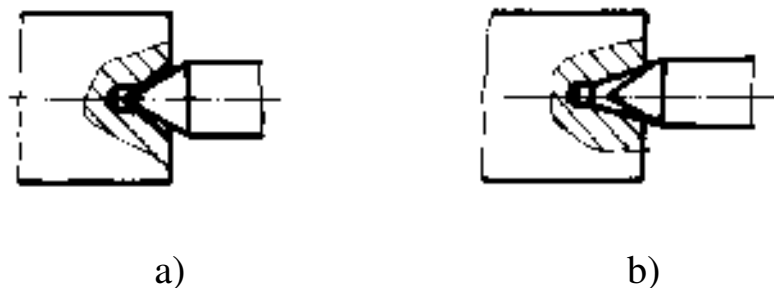


Fig. 1.12.

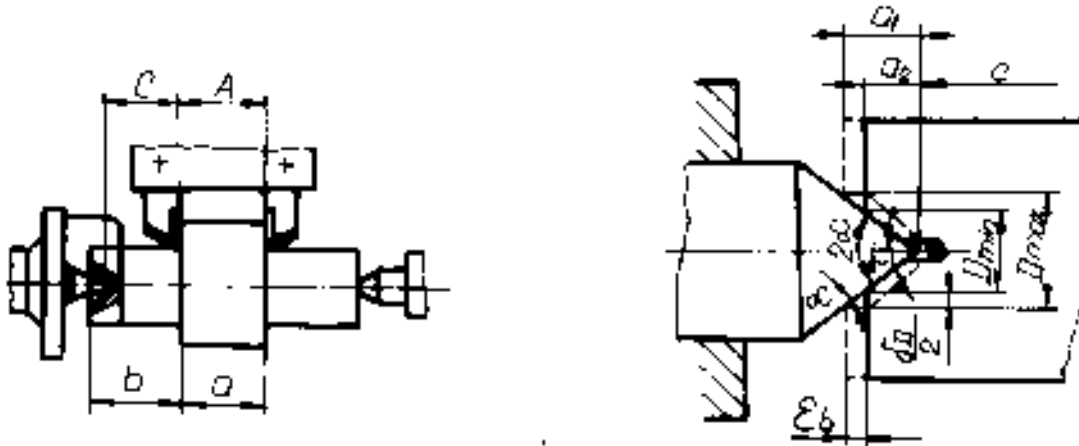


Fig. 1.13.

Exemplul din fig. 1.13. este edificator. Aici dacă nu s-a respectat adâncimea găurii de centrare (de tip "A") care vine în contact cu vârful din păpușa fixă a strungului, la prelucrarea arborelui din figură, atunci eroarea de bazare ξ_b care apare astfel, va produce variația cotei "b" a arborelui în limitele a_1 și a_2 , influențând proporțional toleranța cotei b.

Această eroare de bazare va fi:

$$\xi_b = \frac{\delta_D}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (1.1)$$

Problema expusă apare cu atât mai pregnant, cu cât în situația arborelui din fig. 1.13. acesta se prelucurează pe un sistem tehnologic reglat (în prealabil) la cotă (respectiv cotele C și A).

În vederea contracarării (anihilării) efectului acestor erori se pot utiliza vârfuri de centrare special construite (culisante în direcția axială) cu posibilitatea preluării erorii de lungime (fig. 1.14.). Astfel, deplasarea axială a vârfului poate compensa erorile provocate de variațiile adâncimii găurilor de centrare, făcând nulă eroarea de bazare \mathcal{E}_b în direcție axială, întrucât baza de așezare va coincide cu baza de măsurare.

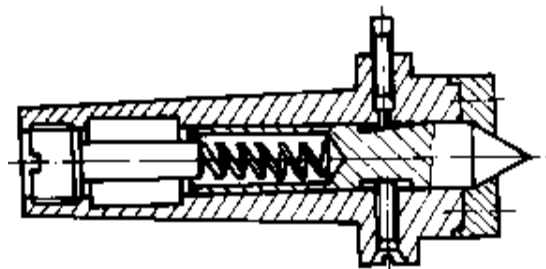


Fig. 1.14.

În situația când avem de-a face cu arbori tubulari, aceștia se prind între vârfuri cu ajutorul unor dopuri de centrare (având găurile de centrare gata prelucrate) sau în anumite cazuri chiar sprijinind vârfurile în alezajul arborelui.

1.1.2 Strunjirea arborilor

Strunjirea, ca procedeu tehnologic, este cel mai des utilizat în prelucrarea arborilor.

Prin acest mod se obține o calitate bună a suprafeței prelucrate (de la degroșare la finisare), o creștere a preciziei dimensionale, mărirea preciziei de formă (prin însăși generarea suprafeței) și de poziție, axa de rotație a semifabricatului fiind aceeași cu axa de simetrie a piesei (arborelui).

În tabelul din fig. 1.15. se prezintă legătura dintre treapta de precizie economică (I.S.O.), clasa de precizie economică (vechiul STAS) și rugozitatea suprafeței (Ra) care se obține astfel:

Felul prelucrării	Treapta de precizie economică (ISO)	Clasa de precizie economică (vechiul STAS)	Rugozitatea suprafeței
Strunjire - Degroșare	14-15	9-10	12,5 - 25
Strunjire - Semifinisare	12-13	7-8	6,3 - 12,5
Strunjire - Finisare	9-10	4-6	3,2 - 6,3

Fig. 1.15.

Referitor la schemele de strunjire, în cazul prelucrării cu un cuțit, acestea sunt prezentate în fig. 1.16. Se observă, că diferența dintre ele se referă la divizarea adaosului de prelucrare.

Analizând cele trei variante: a), b) și c) se pot afirma, că: - varianta a) este economică privind eforturile reduse la așchiere, adaosurile de prelucrare pe treaptă fiind mici durabilitatea sculei crește. Însăsumând însă timpii de bază necesari celor trei treceri, aceștia sunt cei mai mari (în comparație cu celelalte variante b. și c.).

Schema b) este cea mai convenabilă din punct de vedere al productivității; aici adaosul de prelucrare din prima treaptă a trebuit să fie divizat prin două treceri, altfel durabilitatea sculei era periclitată (forțele de așchiere fiind prea mari).

În schema c), aceasta fiind o combinație a primelor două se reduce timpul de bază prin realizarea primelor două trepte după așchieria unui adaos echivalent cu adaosul treptei a treia.

Dacă întâlnim astfel de situații în cazul producțiilor de serie mare și masă se va recurge la prelucrarea cu multicuțite (fig. 1.17).

Montarea lor se poate face pe strunguri speciale fie pe strunguri normale modernizate.

În varianta a), cuțitele sunt reglate în funcție de lungimea treptelor arborelui de diametrele lui efective. Cursa de lucru în acest caz este reglată cu lungimea L a arborelui (respectiv suma lungimilor celor trei trepte $l_1+l_2+l_3$).

Strunjirea în varianta b) prevede o pătrundere cu un avans S_p (de pătrundere) necesar cuțitelor 1 și 2, urmând ca apoi să se așchieze cu avansul S_1 . Se combină astfel divizarea pe lungime cu reglarea pe adâncime a sculelor.

Varianta a treia c), utilizând un cuțit suplimentar (1a), este eficientă doar când lungimea treptei respective (a treia) este în multiplu întreg al lungimii treptei celei mai mici.

Pentru a ne putea permite prelucrarea cu multicuțite, strungurile destinate acestor prelucrări trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- putere suficient de mare (necesară așchierii cu multicuțite)
- rigiditate sporită
- construcție specială

- săni mai multe (cel puțin două) în vederea fixării cuțitelor și
posibilității de-a lucra cu avans longitudinal și transversal.

În vederea creșterii productivității, săniile lucrează simultan (fig. 1.18.)

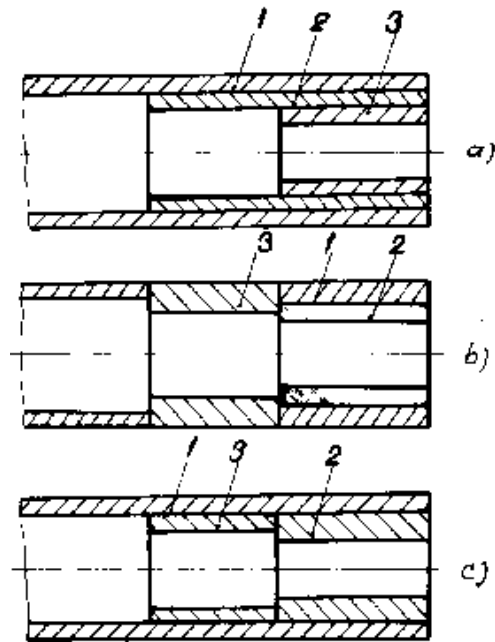


Fig.1.16.

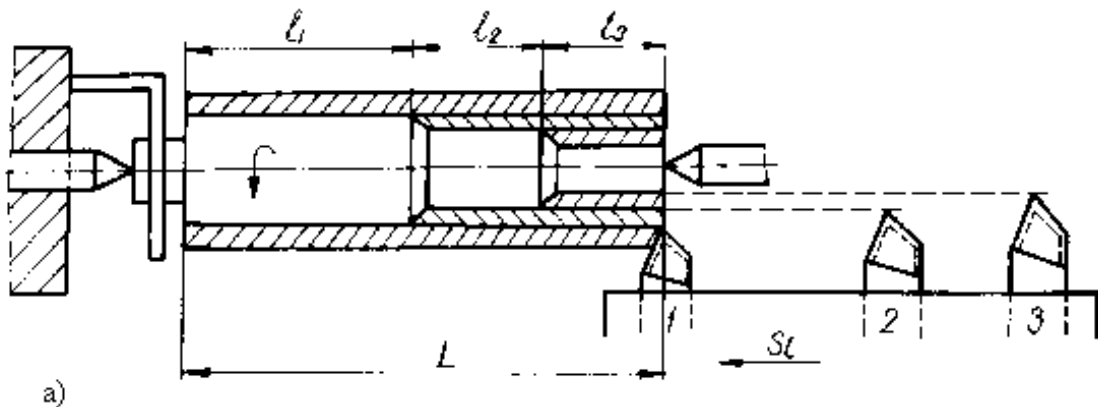
Aplicarea prelucrării cu multicuțite nu se face doar la arborii în trepte ci și la cei dreți, cu scopul măririi productivității (fig. 1.19)

Referitor la forma umerilor treptelor la arborii care se prelucrează, este bine să se rețină că aceștia se pot realiza odată cu strunjirea treptelor, dacă diferența în lungimea treptelor este mai mică decât adaosul de prelucrare.

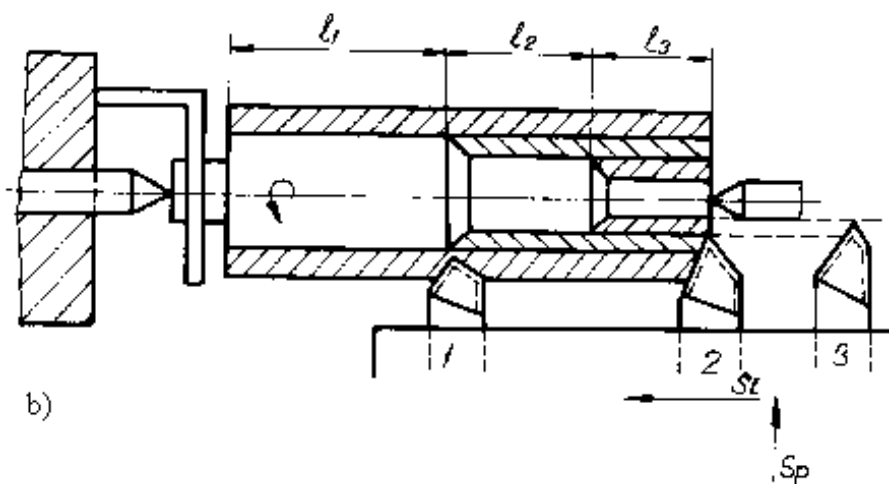
În acest caz, se pot utiliza cuțite cu unghiurile de atac "x" corespunzătoare (fig. 1.20/a,b)

Dacă diferența dintre diametrele treptelor este mai mare, atunci este necesar ca prelucrarea umerilor să se facă cu avans transversal (fig. 1.20.c.).

În cazul prelucrării arborilor lungi și subțiri, din motive de rigiditate (a semifabricatului) se recomandă utilizarea lunetelor. Acestea sunt dispozitive speciale de susținere cu scopul măririi rigidității piesei, de preferință chiar în imediata vecinătate a zonei de așchiere. Crește astfel stabilitatea sistemului tehnologic, ameliorându-se și fenomenele vibratorii nedorite.



a)



b)

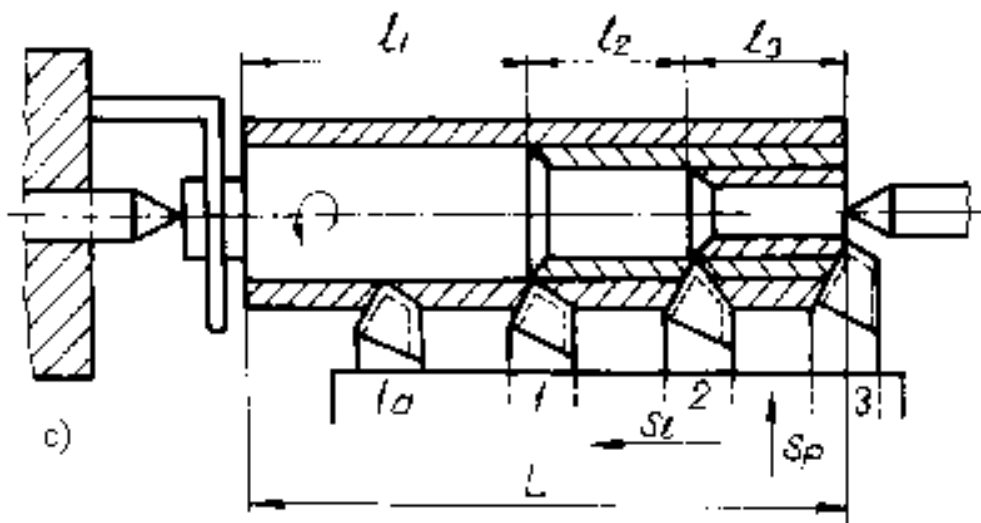


Fig. 1.17.

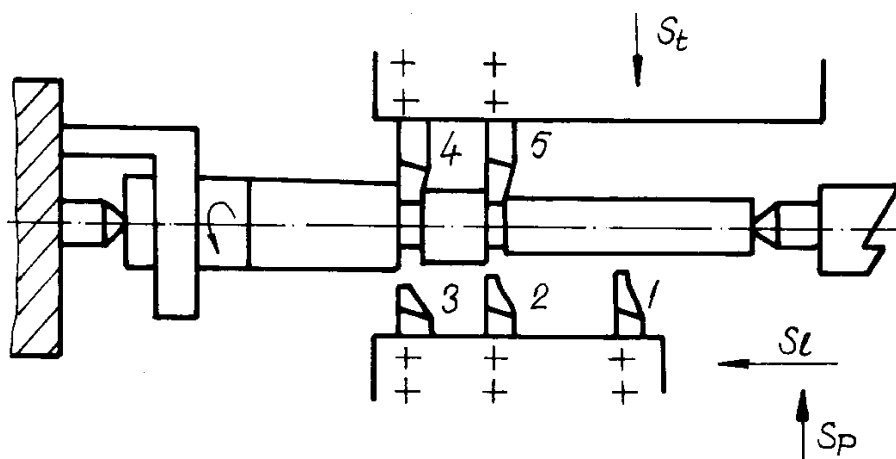


Fig. 1.18.

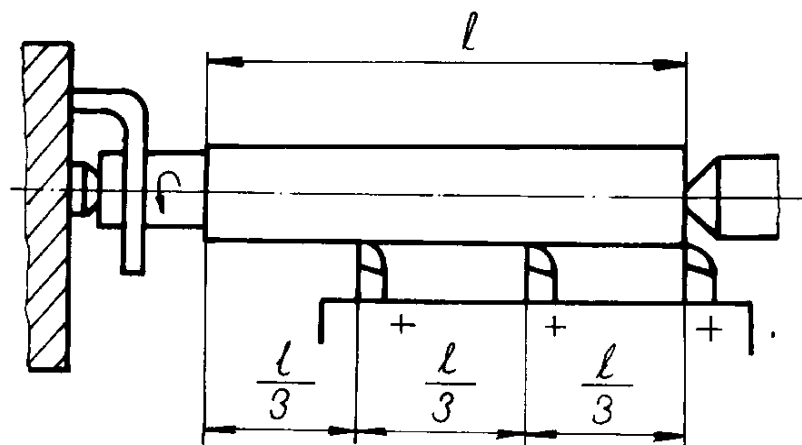


Fig. 1.19.

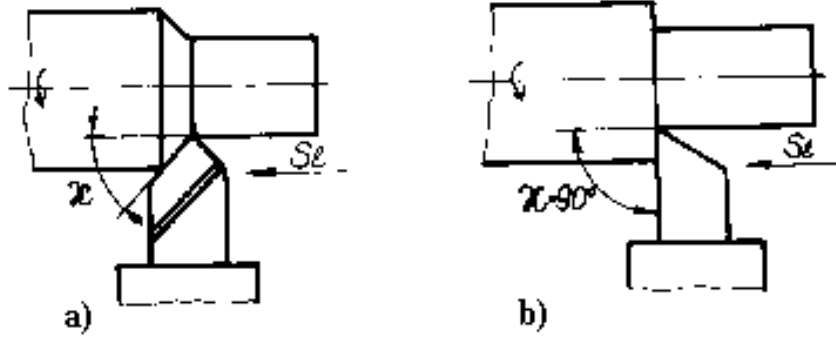
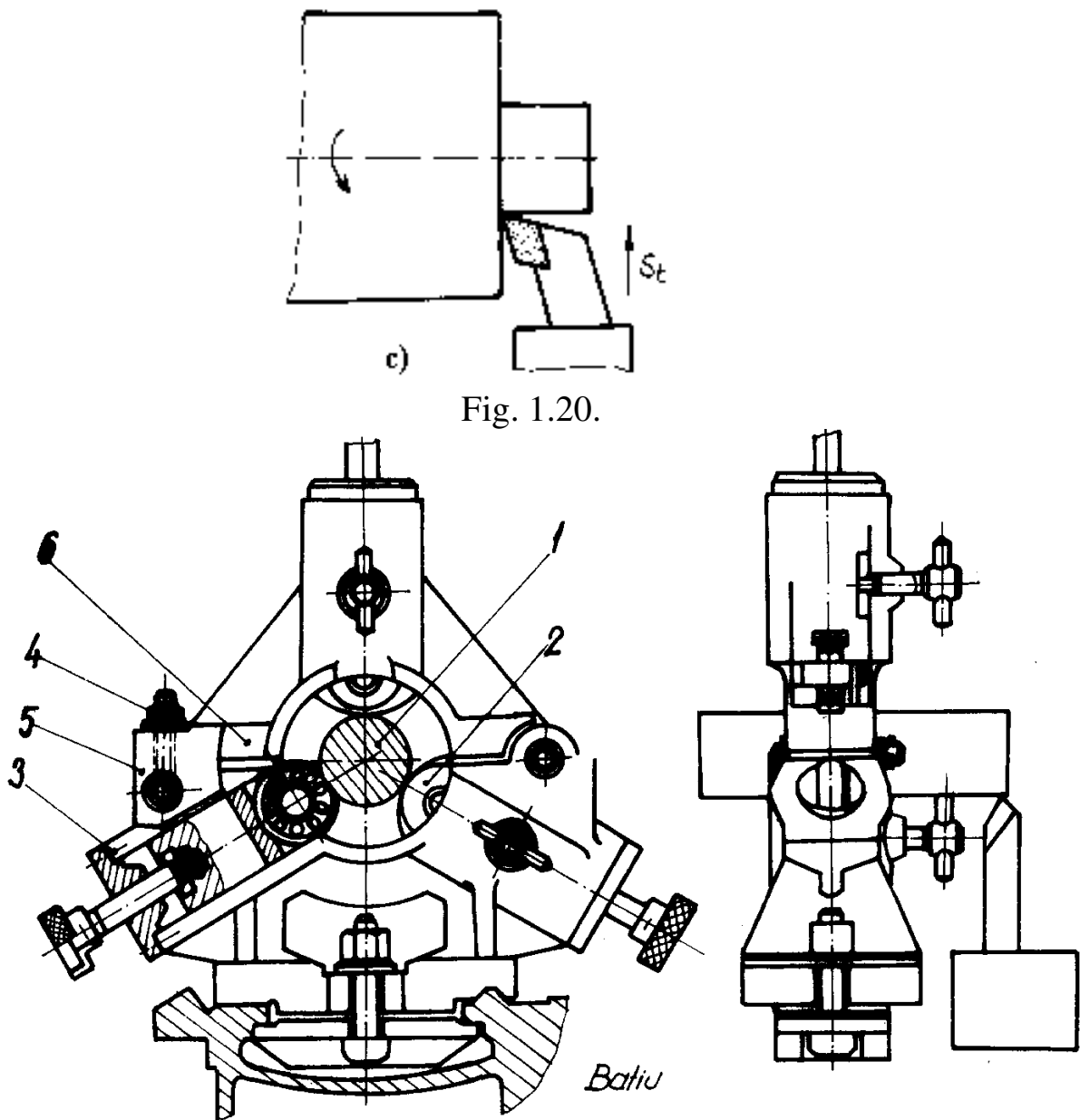


Fig. 1.20.



. Fig. 1.21

În fig.1.21. și 1.22. se prezintă două tipuri de lunete: fixe și mobile (de urmărire). Luneta fixă (1.21.) se montează pe batiul strungului normal.

Arborele (1) se centrează pe reazemele (2), care se reglează cu ajutorul șuruburilor (3).

În acest caz, reazemele (2) sunt inele exterioare ale unor rulmenți (pot fi și bacuri simple de bronz sau oțel).

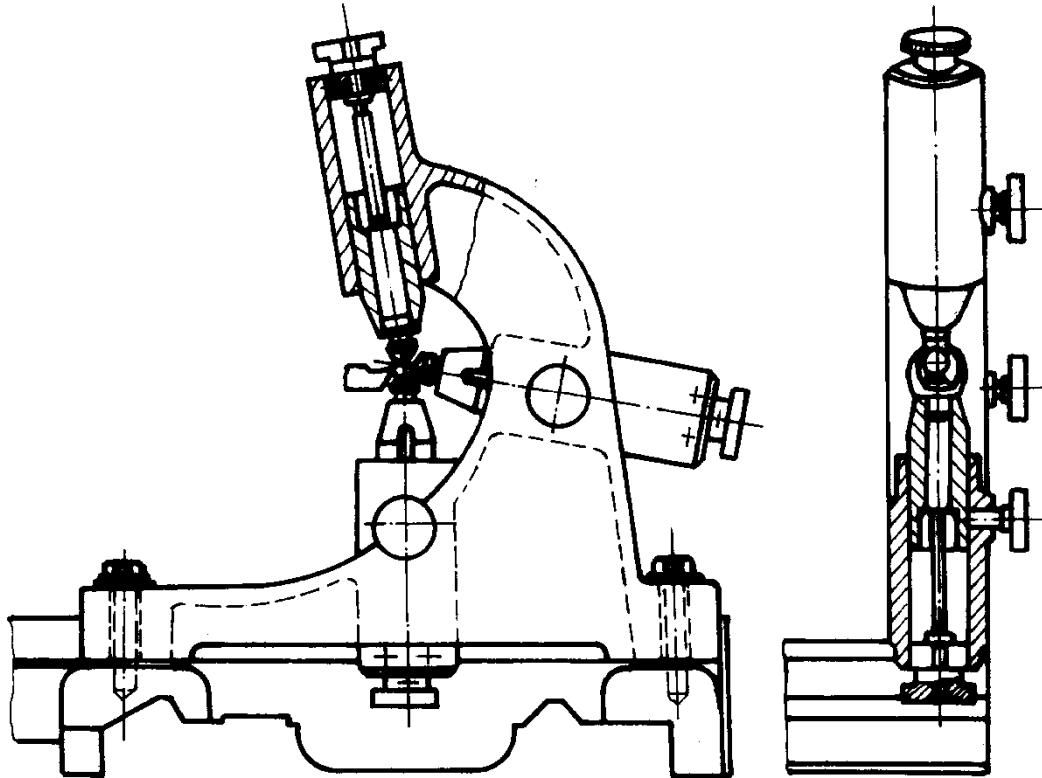


Fig. 1.22.

Partea superioară (6) se poate fixa de cea interioară (5) cu șurubul (4), în vederea unei manevrări mai ușoare. Uneori, la strunjit, aceste lunete pot ține locul și păpușii mobile (în cazul arborilor lungi - la strunjiri frontale). De regulă strunjirea cu lunete nu permite viteze mari, din cauza sistemului lor de ungere.

Lunetele mobile (de urmărire) fig.1.22.,acestea sunt fixate pe căruciorul strungului în imediata vecinătate a cuțitului. Ele pot avea de asemenea două sau trei bacuri reglabile, folosindu-se la prelucrarea arborilor netezi (lungimi până la 1500 mm și diametre $20 \leq d \leq 50$).

Desigur, în producția de serie și masă prelucrarea arborilor drepți și de lungimi mari se face folosind mașinile speciale, asemănătoare utilajelor de îndreptat și decojit, utilizând de asemenea dispozitive de ghidare, iar datorită motivelor de rigiditate arborele execută mișcarea de avans iar mișcarea principală este executată cu un cap cu multicuțite.

Totodată, un capitol aparte îl constituie prelucrarea arborilor prin copiere sau pe mașini cu comandă program (clasică) sau numerică.

1.1.3. Frezarea arborilor

După câte am văzut și cunoaștem, strunjirea este unul din cele mai obișnuite procedee de prelucrare a arborilor de dimensiuni mari (turnați, forjați sau matrițați). Acest procedeu devine nerentabil, din cauza productivității scăzute și al exploatării neavantajoase a sculelor.

Să arătăm deci care sunt dezavantajele strunjirii acestor tipuri de arbori:

- viteza de așchiere este limitată de forțele centrifuge mari care pot să apară în timpul lucrului

- cuțitele de strunjit, ca scule, nu se comportă prea bine în cazul degroșării semifabricatelor turnate, în care caz incluziunile de nisip (cuart) influențează nefavorabil durabilitatea sculei.

- creasta superficială (dură) a semifabricatelor matrițate sau forjate influențează în același mod (negativ) uzura și respectiv durabilitatea cuțitului de strung.

Față de dezavantajele enumerate, în cazul strunjirii arborilor, prezentăm comparativ cu acestea avantajele frezării lor:

- creșterea durabilității muchiei așchietoare;
- posibilitatea utilizării vitezelor mari de așchiere;
- chiar în cazul adaosurilor neuniforme;
- productivitate mult sporită;
- posibilitatea adaptării capetelor de forță chiar pe diferite strunguri.

În cazul frezării arborilor, atât piesa cât și scula se rotesc în jurul axelor proprii având viteze de rotație diferite. Viteza de așchiere rezultantă se obține astfel din compunerea celor două mișcări, plus mișcarea de avans executată fie de piesă sau de sculă. Ca scule, se utilizează freze-disc, cilindro-frontale, capete de frezat, etc.

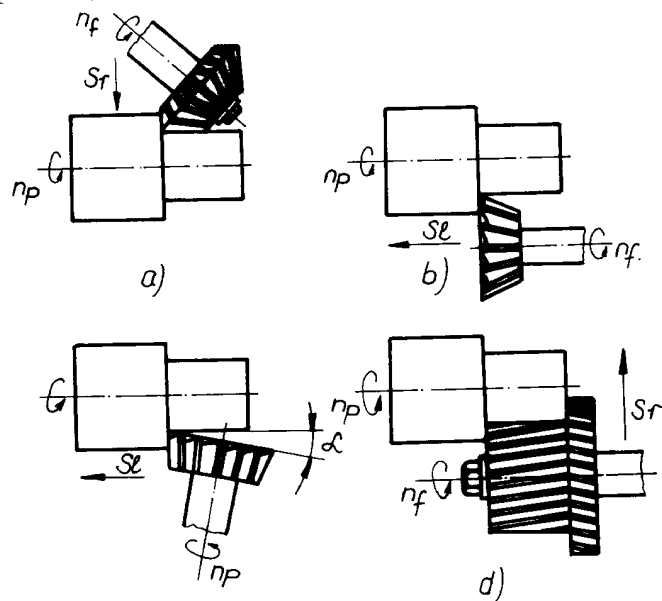


Fig. 1.23.

Posibilitățile de frezare a arborilor sunt ilustrate în fig. 1.23. Aici se pot observa diferite tipuri de freze monobloc (a,b,c) sau combinate (joc de freze -d) cu care se execută capetele de arbori.

Ca regulă generală, la degroșare se aleg freze cu diametru mic, având dinți mai mari și dispuși mai rar (pentru a permite așchiera pe un dinte și o adâncime mai mare). La prelucrările de finisare se aleg freze cu diametru mai mare și cu dinți mai mulți și mai mici. Frecvent se utilizează și frezarea cu capete de frezat (fig.1.24. a. și b.).

În situația din fig.1.24.a. procedeul se pretează la frezarea porțiunilor scurte (capete de arbori de orice fel). Se poate utiliza fie când piesa se rotește, fie când piesa stă pe loc.

Desigur, procedeul de frezare al arborilor se pretează îndeosebi pe mașini specializate. Un astfel de exemplu se poate vedea în fig. 1.25.

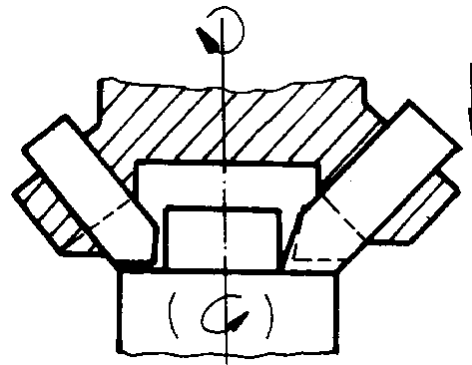


Fig.1.24.a.

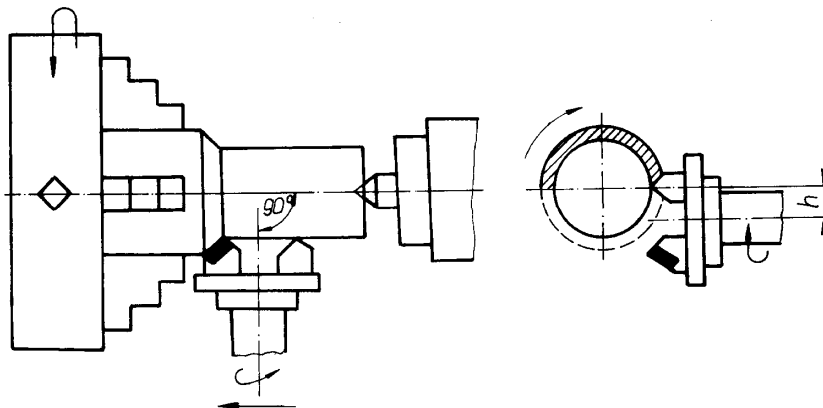


Fig. 1.24.b.

Cazul "a" se referă la situația în care cele două seturi de freze sunt identice. Astfel prelucrarea arborelui se termină după o jumătate de rotație a piesei (mai precis $180^{\circ}+5^{\circ}$).

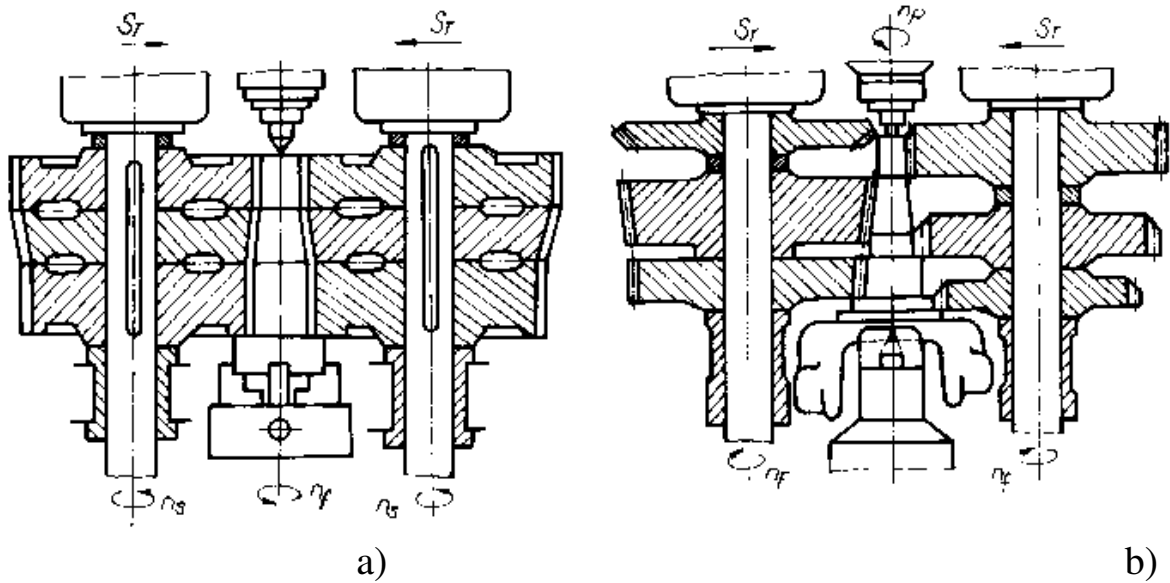


Fig. 1.25.

În cazul în care grupele de freze nu sunt identice (cazul "b"), atunci prelucrarea arborelui se termină după $360^\circ + 10^\circ$.

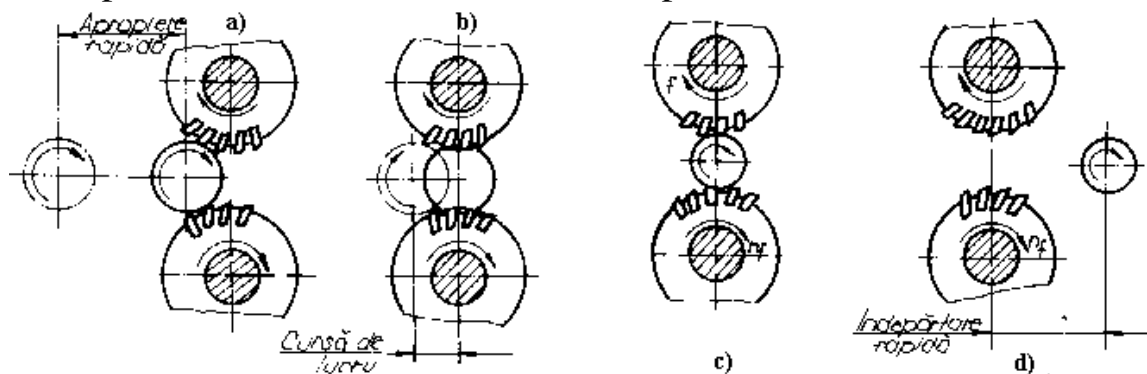


Fig.1.26.

Acest procedeu este cel mai productiv, justificându-se în producția de serie mare și masă, îndeosebi la prelucrările de degroșare, utilizându-se jocurile de freze. Fazele frezării, pe aceste tipuri de mașini sunt identice în fig.1.26.

Ca regulă generală se pretinde construcția capetelor de frezat (prin joc de freze) în așa fel încât să se realizeze echilibrarea cât mai corectă din punct de vedere al forțelor de așchiere.

În faza a) are loc o apropiere a semifabricatului de scule. Faza b) execută cursa de lucru, arborele deplasându-se doar cu avansul de lucru și rotația (n_p) a acestuia. În faza c) are loc așchiera definitivă încheindu-se rotația (n_p) cu $180^\circ + 5^\circ$ respectiv $360^\circ + 10^\circ$, de la caz la caz (freze simetrice sau asimetrice). În final, în faza d) are loc o îndepărtare rapidă a

semifabricatului (piesei) urmând desprinderea ei din dispozitivul de prindere.

1.1.4. Broșarea arborilor

Ca și în cazul precedent al frezării arborilor, broșarea este un procedeu modern, aplicat acolo unde se justifică (producție de serie mare și masă), adică unde trebuie să se obțină o productivitate ridicată.

Broșarea clasică (obișnuită) permitea lucrul cu o viteză de așchiere $v = 4-20$ (m/min). În cazul de față, vitezele de așchiere pot fi: $v=50-80$ (m/min) broșe din oțel rapid, respectiv $v=180-260$ (m/min) broșe armate cu plăcuțe din carburi metalice.

Avantajul principal al aplicării acestui procedeu la fabricarea arborilor îl constă realizarea cu ajutorul unei singure scule (broșa) a tuturor fazelor: degroșare, semifinisare, finisare, calibrare.

Sculele utilizate pot fi plane sau circulare (fig.1.27. respectiv 1.28.).

Ca modalitate de prelucrare, broșarea circulară se poate face cu scule având dinți exteriori fie dinți interiori (fig.1.29/a și b), fie cu dinți exteriori dar cu mișcare planetară (fig. 1.30.).

Referitor la îndepărtarea adaosului la prelucrare, aceasta se face fie succesiv (fig. 1.31/a) fie progresiv (fig. 1.31/b).

În cazul broșării succesive, adaosul de prelucrare pe dinte trebuie să fie mai mic, deoarece este constant pe toată lungimea de prelucrat (grosimea "t").

În cazul broșării progresive, adaosul de prelucrare pe dinte "a" se ia progresive întreaga lungime a porțiunii arborelui (care se broșează).

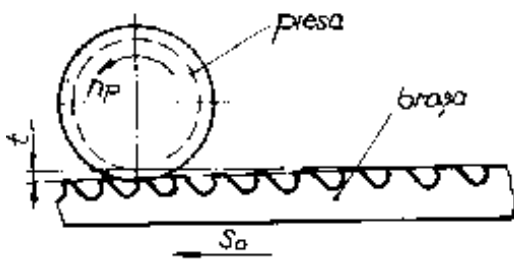


Fig. 1.27.

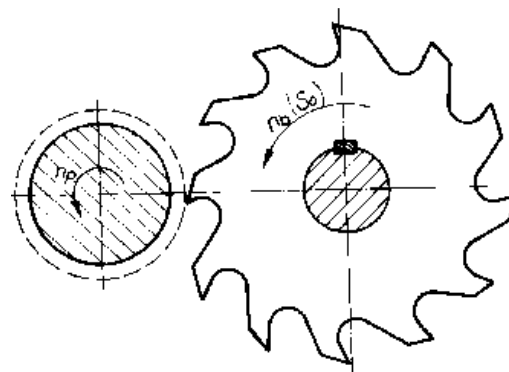


Fig. 1.28.

Această broșare (progresivă) se caracterizează prin faptul că adâncimea de așchiere este mare și lățimea mică; doar ultimii 1-2 dinți (de finisare) trebuie să aibă lățimea cât lungimea suprafeței care se prelucrează (a arborelui). În fig. 1.32. se poate vedea aplicarea broșării cu

broșe plane pe o mașină de frezat orizontală (piesa este prinsă în arborele principal al mașinii).

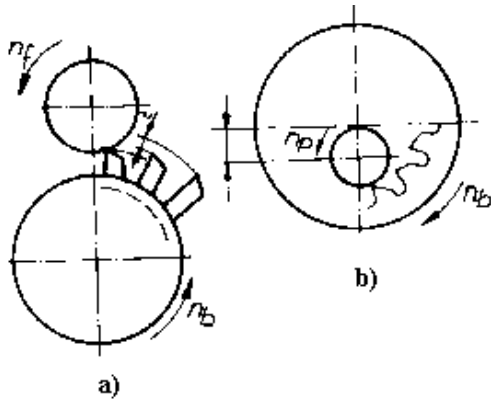


Fig. 1.29.

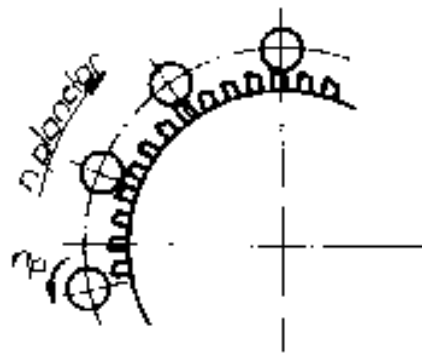


Fig. 1.30.

Referitor la precizia de prelucrare în cazul broșării circulare (fig. 1.33.), aceasta depinde în mare măsură de modul de generare a suprafeței (inclusiv uzura sculei, rigiditatea sistemului,..etc.).

După cum se observă din fig. 1.33. grosimea așchii variază după arcul MN. În același mod variază și secțiunea așchii. Astfel, drept consecință, se va produce o eroare de formă ξ (conform fig.1.34).

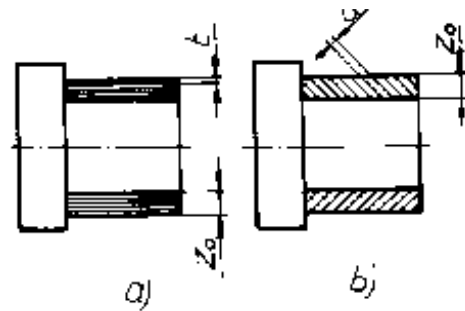


Fig. 1.31.

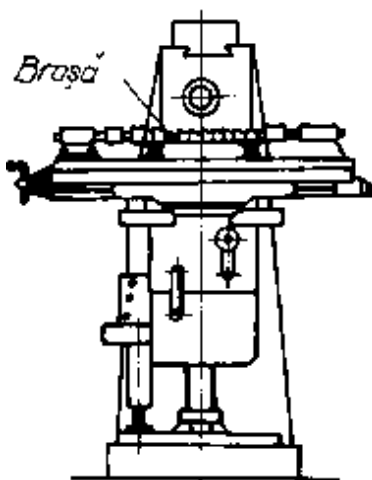


Fig.1.32

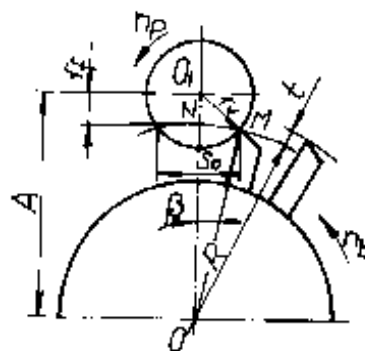


Fig.1.33.

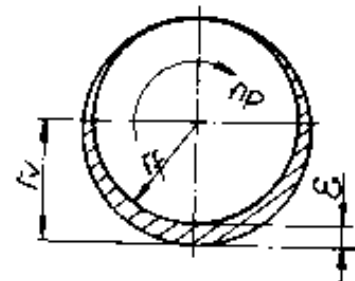


Fig.1.34.

Eroarea " ξ " se poate calcula astfel:

$$\xi = r_v - r_f \quad (1.2.)$$

unde r_v - raza maximă

și r_f - raza minimă (raza care trebuie obținută)

din ΔOMO_1 rezultă:

$$r_v = \sqrt{A^2 + R^2 - 2AR \cos \beta} \quad (1.3.)$$

sau
$$r_v = \sqrt{(A - R)^2 + 2AR(1 - \cos \beta)} \quad (1.4.)$$

dar
$$r_f = A - R \quad (1.5.)$$

deci
$$r_v = \sqrt{r_f^2 + 2AR(1 - \cos \beta)} \quad (1.6.)$$

știind că:
$$1 - \cos \beta = 2 \sin^2 \frac{\beta}{2} \quad (1.7.)$$

și
$$\beta \approx \sin \beta = \frac{S_0}{2R} \quad (1.8.)$$

rezultă:

$$1 - \cos \beta = 2 \sin^2 \frac{\beta}{2} \approx 2 \left(\frac{\beta}{2} \right)^2 = 2 \left(\frac{S_0}{4R} \right)^2 = 2 \frac{S_0^2}{16R^2} = \frac{S_0^2}{8R^2} \quad (1.9.)$$

deci
$$r_v = \sqrt{r_f^2 + 2AR \frac{S_0^2}{8R^2}} = \sqrt{r_f^2 + \frac{AS_0^2}{4R}} \quad (1.10.)$$

$$\varepsilon = r_v - r_f = \sqrt{r_f^2 + \frac{AS_0^2}{4R}} - r_f = r_f \left[\left(1 + \frac{AS_0^2}{4Rr_f^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

considerând
$$\frac{AS_0^2}{4Rr_f^2} = x \quad (1.11)$$

rezultă $(1+x)^{\frac{1}{2}}$, care dezvoltată în serie TAYLOR în jurul punctului $x=0$ devine:

adică:
$$\left(1 + \frac{AS_0^2}{4Rr_f^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2} \frac{AS_0^2}{4Rr_f^2} + \dots$$

Am neglijat ceilalți termeni ai seriei, ei fiind infinit mici. Relația (1.11.) devine:

$$\varepsilon = r_f \left[\left(1 + \frac{AS_0^2}{8Rr_f^2} \right) - 1 \right] = \frac{AS_0^2}{8Rr_f} \quad (1.12.)$$

$$\text{deci } \varepsilon = \frac{AS_0^2}{8Rr_f} \quad (1.13.)$$

Particularizând în cazul unei broșe plane, când raportul A/R tinde la limită către 1

$$\frac{A}{R} = \lim_{R \rightarrow \infty} \left(\frac{R + r_f}{R} \right) = 1 \quad (1.14.)$$

atunci eroarea va fi:

$$\varepsilon = \frac{S_0^2}{8r_f} \quad (1.15.)$$

Concluzii: Dacă se prevăd broșele cu dinți de calibrare astfel încât ei să fie dispuși pe o traiectorie deplasată față de cea a ultimului dinte așchietor, atunci erorile de formă se diminuează, repartizându-se pe conturul secțiunii conform fig.1.35.a și b.

În cazul broșării circulare turația piesei (n_p)

trebuie să fie mai mare decât turația broșei (n_b). Același lucru e valabil și la broșarea plană. Aceste broșări prezentate au fost broșări libere.

În fig.1.36. se prezintă prelucrarea unui sector circular, fapt ceea ce reprezintă o broșare forțată.

Aici, specific este viteza mare de lucru a broșei (v_o) combinată cu viteza de avans (rotația " ω ") a piesei. Deci regimul este invers (sub aspectul raportului de viteze) ca la broșarea liberă. Din combinarea celor două mișcări, rezultă și aici erori de formă (fig.1.37.), sub forma unei mici poligonalități

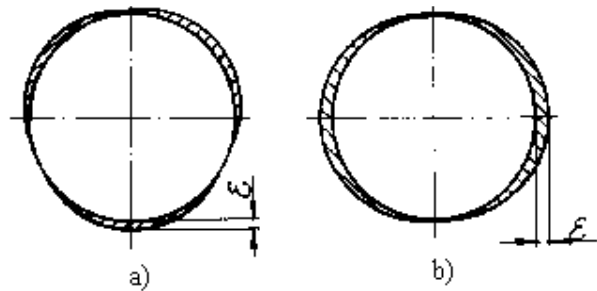


Fig. 1.35.

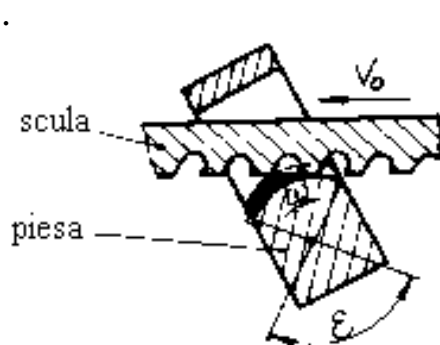


Fig.1.36.

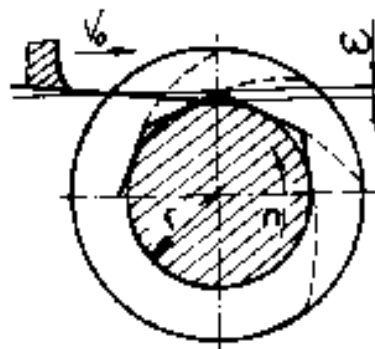


Fig.1.37.

Ca o concluzie finală, procedeele de broșare a arborilor, din punct de vedere tehnologic trebuie corelate cu cerințele serie de fabricație, ele justificându-se doar prin prisma productivității (sculele fiind costisitoare).

1.1.5. Rectificarea arborilor

Este o operație de finisare care poate fi finală sau anterioară unor operații de superfinisare (honuirea, lepuirea...).

Se efectuează cu discuri abrazive din granule de oxid de aluminiu cristalizat, carbură de siliciu, nitrat de bor, diamant, etc.

Printre cele mai utilizate sunt discurile din oxid de aluminiu și carbură de siliciu.

Alegerea adecvată a discului se face în funcție de materialul care se prelucrează. Ca orice operație se face în două etape:- degroșarea
- finisarea.

În anumite situații (mai puțin pretențioase) se poate îngloba degroșarea și finisarea într-o singură operație. Prin degroșare se îndepărtează 70% din adaosul de prelucrare, iar la finisare 30%.

Ca procedee, se disting două metode folosite:

A: rectificarea între vârfuri

B: rectificarea fără vârfuri (fără centre)

A: Rectificarea între vârfuri:

Se cunosc mai multe procedee:

a) Rectificarea cu avans longitudinal (obișnuită)

b) Rectificarea cu avans longitudinal, având discul de rectificat reglat la dimensiune

c) Rectificarea cu avans transversal (de pătrundere)

d) Rectificarea cu avans transversal pe segmente (urmată de trecere cu avans longitudinal)

Să analizăm aceste metode în amănunt:

a) Rectificarea cu avans longitudinal (obișnuită)

Procedul este cel mai răspândit în aproape toate uzinele constructoare de mașini (fig.1.38.).

Se disting următoarele mișcări:

S_1 - mișcarea de avans longitudinală, executată fie de către piesă (cazul a) fie de către disc (cazul b)

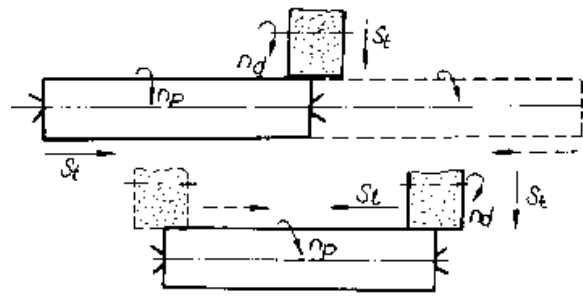


Fig.1.38.

S_t - avansul transversal-necesar realizării adâncimii de așchiere.

Acesta acționează la fiecare sfârșit de cursă dublă.

n_p - rotația piesei

n_d - stația discului abraziv (al sculei)

Acest procedeu se recomandă rectificării arborilor drepți. Ca prescripție, se recomandă ca avansul longitudinal (S_1) să se aleagă în funcție de lățimea discului de rectificat (B).

Astfel: - pentru degroșare $S_1=(0,03 - 0,7) B$

unde B - lățimea discului

- pentru finisare

$S_1=(0,2 - 0,3)B$

b) Rectificarea cu avans longitudinal, având discul de rectificat reglat la dimensiune

Din fig.1.39 se observă că întreg adaosul de prelucrare "t" se îndepărtează dintr-o singură trecere.

S_1 - avansul longitudinal (executat de piesă)

n_p - mișcarea de rotație a piesei

n_d - rotația discului (a sculei)

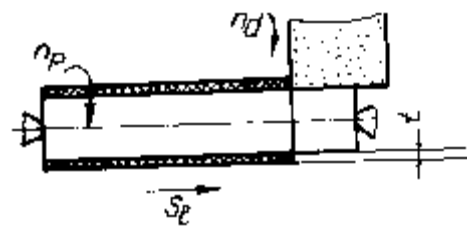


Fig.1.39.

Dezavantajul metodei constă în uzura părții de atac a discului abraziv. Remediul îl constituie profilarea discului sub formă conică (partea de atac) sau în trepte dacă adaosul de prelucrat este mare. Acest lucru se vede în fig.1.40.a respectiv b).

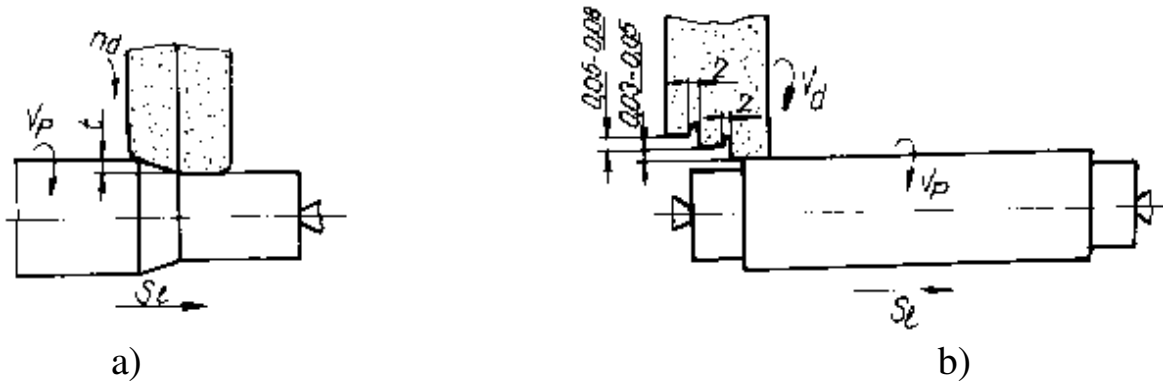


Fig.1.40.

Procedeul se recomandă pieselor cu adaos de prelucrare cuprins între 0,1 - 0,3 mm. În cazul unui adaos și mai mare, atunci se trece la profilarea în trepte (fig.1.40.b).

c) Rectificarea cu avans transversal (de pătrundere)

Procedeul este redat în fig.1.41.; se caracterizează prin inexistența avansului longitudinal ($S_l=0$).

Avansul transversal S_t are un caracter continuu.

Este firesc, ca lățimea discului de rectificat să fie mai mare decât a suprafeței rectificate (cu 2-3 mm). Pentru o precizie mai mare se recomandă pendularea discului de-a lungul generatoarei (cu câțiva milimetri, în funcție de mărimea suprafeței).

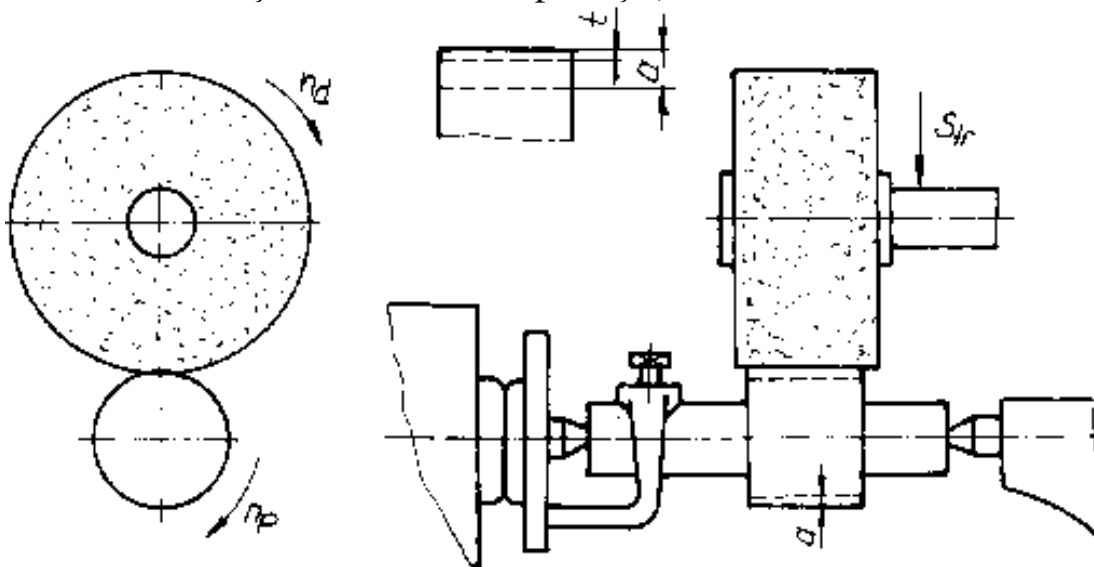


Fig.1.41.

S_{tr} - avansul transversal

n_d - turația discului

a - adaosul de prelucrare pe rază

t - adâncimea de așchiere

Avantajul metodei: se pot rectifica și suprafețe profilate (avansul S_{tr} fiind continuu). Totodată, prin fixarea mai multor segmente de disc pe axul principal al mașinii se pot rectifica suprafețe complexe, chiar deplasate axial pe aceeași piesă.

Dezavantajul metodei: Apare o mare degajare de căldură datorită unei răcirii insuficiente.

Uzarea mai rapidă a formei discului de rectificat impune mai multe reascuțiri sau reprofilări (deci consum mai mare de abraziv).

În final trebuie menționată totuși utilitatea metodei la piese scurte, întrucât permite rectificarea pieselor scurte în producție de serie mare și masă, cu o productivitate ce depășește cu 20 - 35% celelalte metode de rectificare între vârfuri.

d) Rectificarea cu avans transversal pe segmente (urmată de trecere cu avans longitudinal)

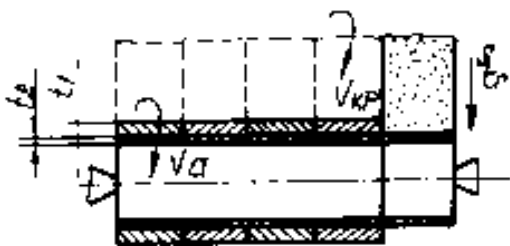


Fig.1.42.

Metode derivă de la cazurile a) și c) fiind o combinație a celor două, înlăturând dezavantajele fiecăreia în parte. Figura 1.42. ilustrează această metodă.

V_{KP} - viteza de aşchiere (imprimată de disc)

V_a - viteza de avans (dată de mișcarea circulară a piesei)

t_1 - adâncimea de aşchiere eliminată prin metoda avansului transversal (S_{tr})

t_2 - adâncimea de aşchiere repartizată pentru trecerea cu avans longitudinal.

Pentru a nu exista urme de muchii, segmentele la rectificare în prima fază cu avans transversal se suprapun pe o lungime de 3 - 5 mm.

Menționăm, că $t_2=0,02 - 0,05$ mm.

Metoda se pretează la rectificarea arborilor rigizi având lungimea mult mai mare decât lățimea discului de rectificat. Ca fapt pozitiv se poate evidenția productivitatea mărită în comparație cu metoda a) (cu cca. 2 ori).

Elemente ale regimului de aşchiere

- viteza periferică a discului de rectificat:

se alege în funcție de materialul de prelucrat, în felul următor:

- 25 - 35 (m/s) pentru oțeluri
- 20 - 25 (m/s) pentru fontă și bronz
- 15 (m/s) în cazul rectificării metalelor ușoare

În realitate, pe parcursul prelucrării diametrul discului de rectificat scade (se uzează), modificând astfel viteza lui periferică. De aceea se acceptă micșorarea diametrului pietrei de rectificat până la 0,65 din valoarea inițială (adică o micșorare a vitezei periferice cu 35% max).

- viteza periferică a piesei

Se alege în funcție de material și fază (degroșare sau finisare), vezi tabelul din fig.1.43.

Pentru evitarea fenomenului arderii superficiale a piesei, ca regulă generală, viteza piesei V_p [m/min] se ia ca valoare numerică sub 1% din V_d [m/s] a discului abraziv.

Felul prelucrării	Materialul de prelucrat				
	Oțel		Fontă	Alamă	Aluminiu
	necălit	călit			
Degroșare v_p [m/min]	12-15	14-16	12-15	18-20	50-70
Finisare v_p [m/min]	6-8	6-10	6-10	14-16	30-40

Fig.1.43.

- avansul longitudinal S_1 [mm/rot]

- se determină în funcție de lățimea discului abraziv prin relația

$$S_1 = \beta \cdot B \quad (\text{mm/rot}) \quad (1.16)$$

în care " β " - este un coeficient (adimensional)

B [mm] - lățimea discului abraziv

- în cazul rectificării de degroșare:

$$\beta = 0,5 \quad \text{pentru} \quad d_p \leq 20\text{mm}$$

$$\beta = 0,63-0,8 \quad \text{pentru} \quad d_p > 20\text{mm}$$

- în cazul rectificării de finisare:

$$\beta = 0,5-0,75 \quad \text{pentru} \quad R_a = 2,5 - 1,25\mu\text{m}$$

$$\beta = 0,5-0,50 \quad \text{pentru} \quad R_a = 0,63 \mu\text{m}$$

- avansul transversal S_t

Acesta se determină în funcție de materialul de prelucrat, adaosul de prelucrare și durabilitatea discului.

Se disting valori în funcție de procedeul folosit:

La rectificare cu avans longitudinal:

la degroșare $S_t = 0,005 - 0,034$ (mm/cursă)

la finisare $S_t = 0,003 - 0,070$ (mm/cursă)

La rectificarea cu avans transversal (de pătrundere):

$S_t = 0,025 - 0,075$ (mm/rot) pentru degroșare

$S_t = 0,001 - 0,005$ (mm/rot) pentru finisare

Observație: Trebuie avut grijă la alegerea avansului transversal, astfel ca acesta să fie analizat pentru a nu produce arderea stratului superficial, de asemenea pentru a nu influența rigiditatea sistemului tehnologic și mai ales să nu producă vibrații ale sistemului. Totodată încă de la început stabilirii parametrilor tehnologici trebuie cunoscută puterea motorului principal al mașinii de rectificat, dimensionarea făcându-se și în funcție de acesta.

Recomandări tehnologice privitoare la:

Precizia de prelucrare, calitatea suprafeței și alegerea discului abraziv.

Precizia de prelucrare este cuprinsă în clasa 6-7 de precizie, rugozitatea între $R_a = 1,6 - 0,8 \mu m$ (corespunzătoare clasei 7-8 de netezime)

Calitatea suprafeței depinde de granulația discului de rectificat. Se subînțelege, că la rectificarea de finisare și granulația discului de rectificat trebuie să fie mică.

Referitor la alegerea discului abraziv:

- degroșare: - pietre dure (liant ceramic)
având granulație mare (24-36)
- finisare - pietre moi (liant organic)
granulație mică (60-80)

Specificăm, că la prelucrarea oțelurilor dure se recomandă folosirea discurilor moi (de duritate mică) iar la oțeluri moi discurile dure.

B. *Rectificarea fără vârfuri (fără centre)*

Acest procedeu vine ca un avantaj în cazul prelucrării prin rectificarea arborilor netezi, mai ales cei lungi sau foarte lungi, care în cazul prinderii între vârfuri ar fi imposibil de prelucrat (datorită rigidității lor insuficiente).

Așa cum se vede în fig.1.44., piesa (2) este liberă între cele două discuri: (1) - discul de rectificat (cu diametrul mai mare) și (3) discul conducător (de antrenare) având diametrul mai mic și fiind confecționat fie din material abraziv, fontă sau aluminiu.

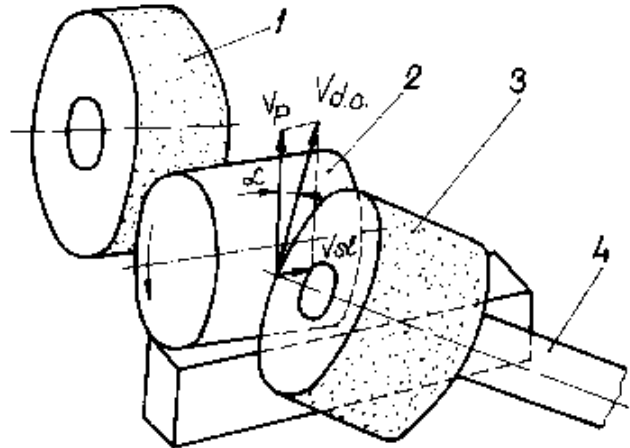


Fig.1.44.

Discurile se rotesc în același sens însă având turațiile diferite. Întrucât discul conducător (2) este înclinat cu unghiul α (vezi fig.1.45.) viteza lui periferică (V_{dc}) se descompune în două: pe direcția deplasării și pe cea perpendiculară pe rigla de reazem (3).

Întrucât coeficientul de frecare este mai mare la viteze mici, forța de frecare între piesă și discul conducător va fi mai mare decât dintre piesă și discul de rectificat. Rezultă că piesa va fi antrenată de

Viteza periferică a discului de rectificat (1) este $V_{dr} = 25 - 33$ (m/s).

Viteza discului conducător (de antrenare): $V_{dc} = 20 - 30$ (m/min).

Întrucât coeficientul de frecare este mai mare la viteze mici, forța de frecare între piesă și discul conducător va fi mai mare decât dintre piesă și discul de rectificat. Rezultă că piesa va fi antrenată de

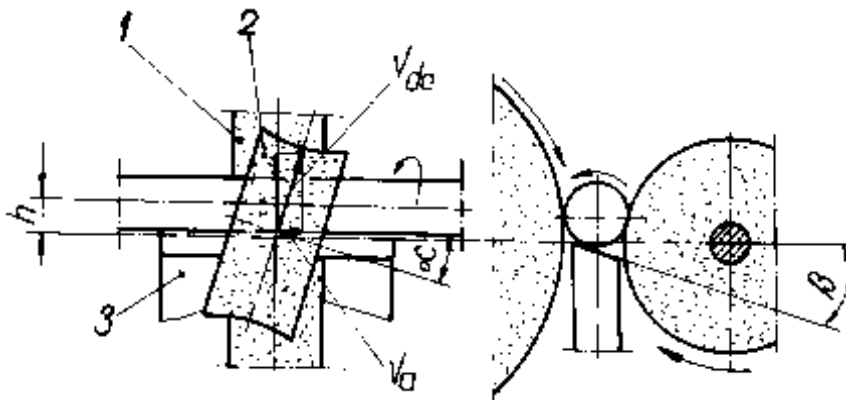


Fig.1.45

discul conducător cu o viteză V_p (componenta normală pe reazem), a cărei valoare rezultă:

$$V_p = k \cdot V_{dc} \cdot \cos \alpha \quad (1.17.)$$

k - coeficient de alunecare a piesei pe discul conducător. $k=f(\alpha)$

pentru $\alpha=1,5^\circ \dots\dots k=0,97$

$\alpha=3^\circ \dots\dots\dots k=0,95$

$\alpha=5^\circ \dots\dots\dots k=0,93$

$\alpha=6^\circ \dots\dots\dots k=0,92$

Componenta v_{s1} (viteza de avans longitudinal) asigură avansul piesei pe reazem, respectiv prelucrarea în lungime a diametrului.

$$V_{s1} = k \cdot V_{dc} \cdot \sin \alpha$$

Supraînălțarea (h) a centrului piesei pe rigla de reazem, asigură evitarea strângerii nedorite a piesei față de cele două discuri, respectiv ajută la menținerea forței de apăsare a piesei pe discul conducător ($h < 15\text{mm}$), la care mai ajută și unghiul β° ($\beta=0 - 45^\circ$), valorile mici ale acestuia fiind recomandate pentru piese cu diametru mare.

În funcție de mărime și configurația arborilor rectificați prin acest procedeu (fără centre), literatura de specialitate diferențiază trei metode:

- rectificarea cu avans longitudinal (a)
- rectificarea cu avans transversal (b)
- rectificarea cu avans limitat până la opritor(c)

Atât metodele cât și configurația pieselor care se pretează lor se pot vedea în fig.1.46.

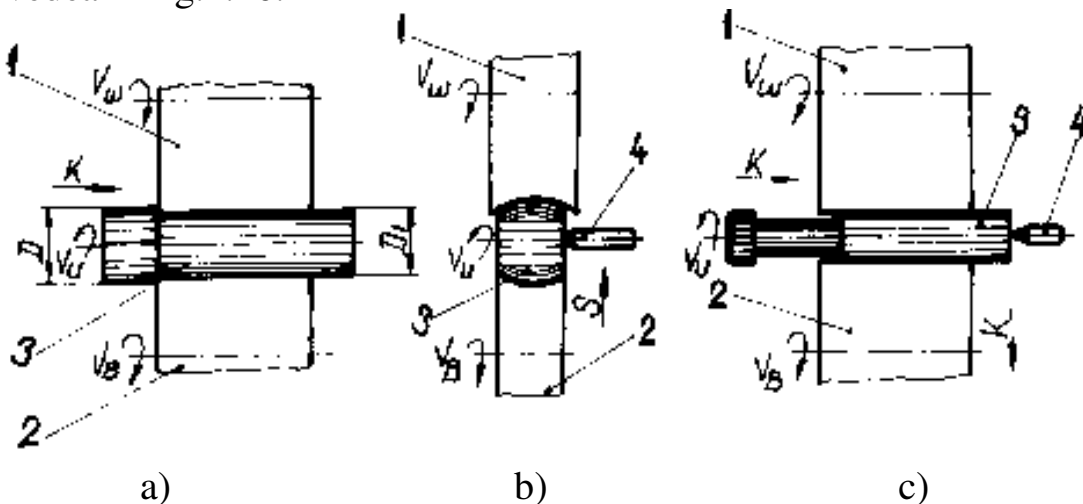


Fig.1.46.

În cazul rectificării cu avans longitudinal (fig.1.46.a), avansul longitudinal pe direcția K se realizează prin înclinarea cu unghiul α a discului conducător (fig.1.45.). [$\alpha= 1^\circ - 5^\circ$].

- Acest unghi de înclinare α depinde de natura materialului de prelucrat și lungimea porțiunii de rectificat.

Se recomandă astfel:

- pentru arbori scurți din oțel: $\alpha=1,5^\circ - 2,5^\circ$
- arbori lungi din oțel: $\alpha=1,5^\circ - 3,5^\circ$
- arbori din fontă: $\alpha=4,5^\circ - 5^\circ$

Datorită înclinării discului conducător, contactul dintre el și piesa de rectificat se va face punctiform. Pentru a avea un contact "pe generatoare" deci pe toată lățimea discului, trebuie dată o formă de hiperboloid de rotație acestui disc.

La rectificarea cu avans transversal (fig.1.46.b) specific este paralelismul dintre axele de rotație a celor două discuri. Totodată avansul transversal "S" se realizează prin deplasarea transversală a discului conducător.

După rectificare, discul de antrenare se retrage, iar piesa este îndepărtată manual sau automat. Prin acest procedeu se pot rectifica arbori scurți netezi, în trepte sau chiar cu suprafețe profilate (așa cum se arată în figură).

Recomandări privind avansul transversal (S_{tr}) se dau în continuare valorile:

la degroșare : $S_{tr} = (0,002 - 0,010) \text{ mm/rot}$

la finisare: $S_{tr} = (0,002 - 0,005) \text{ mm/rot}$

Rectificarea cu avans limitat până la opritor (fig.1.46.c) se caracterizează prin:

- deplasarea piesei (3) este limitată printr-un opritor (4)

Acest procedeu se folosește la rectificarea arborilor scurți în trepte (fig.1.47.), fie a capetelor de arbori de formă conică (fig.1.48)

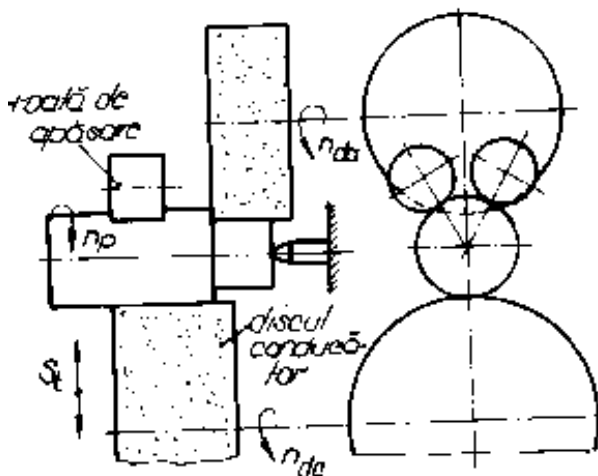


Fig.1.47

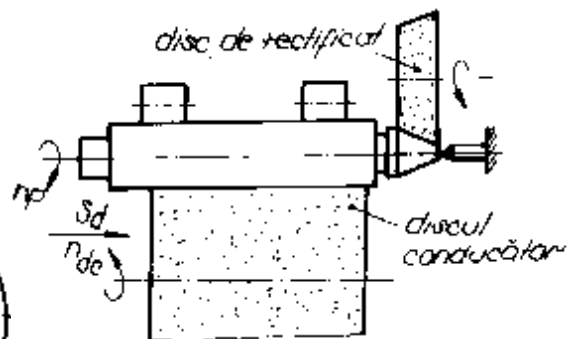


Fig.1.48.

De remarcă, că în ambele situații se utilizează roți de apăsare, plasate în direcție opusă discului conducător.

Concluzii: rectificarea fără vârfuri (fără centre) prezintă o serie de avantaje incontestabile:

- stabilitate mai mare a dimensiunilor piesei datorită rigidității mari asigurate de întreg sistemul tehnologic
- elimină operația de centruire a arborilor
- nu apar erori legate de fixarea între vârfuri
- nu sunt necesare lunete de rigidizare
- se pot rectifica piese lungi și subțiri
- uzura discului de rectificat prezintă o prea mică influență asupra preciziei de prelucrare
- productivitate mărită
- permite semiautomatizarea sau automatizarea procesului tehnologic.

Ca dezavantaje se pot enumera:

- număr mare de treceri pentru obținerea unei precizii ridicate
- durată lungă de reglare (mai lungă decât la rectificarea între vârfuri)
- nu se pot rectifica axele cu caneluri sau cu canale de pană.
- nu se asigură concentricitatea suprafeței interioare cu cea exterioară
- se asigură greu precizia de formă
- întrucât contactul piesei se face pe trei suprafețe (fig.1.19.a): disc de rectificat, reazem și disc conducător, rezultă o baza de așezare care nu va fi stabilă pe durata așchierii și deci apare ca eroare o formă de poligonalitate a suprafeței (în secțiune) a arborelui.

Acest lucru, ilustrat în fig.1.49.b, apare sub aspectul unei secțiuni cu trei muchii de aceeași dimensiune (d). El se manifestă îndeosebi când distanța " h " (supraînălțarea centrului secțiunii piesei) este sub valoarea zero sau e nulă. De aceea este necesară o supraînălțare $h \leq 15$.mm.

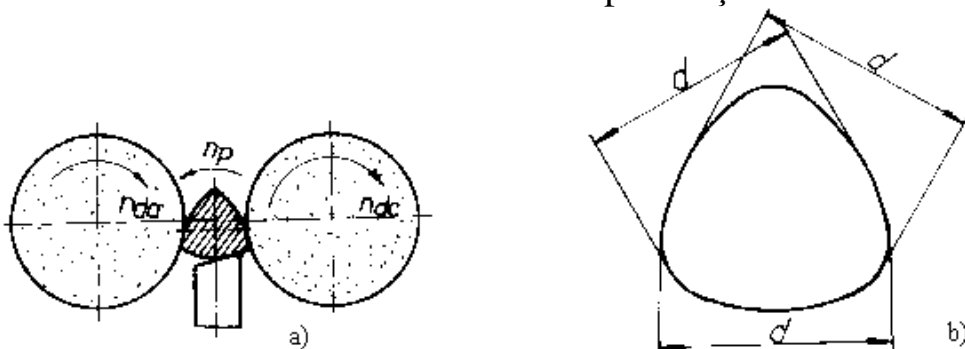


Fig.1.49.a și b

1.1.5.1. Rectificarea rapidă a arborilor

Așa cum de fapt s-a observat anterior, principalul inconvenient al rectificării arborilor este productivitatea scăzută.

În vederea contracarării acestui fenomen, mai ales la rectificarea de finisare s-a aplicat procedeul de rectificare rapidă.

Aici, viteza periferică a discului de rectificat crește la 50 -60 (m/s); a piesei la 40 -50 (m/s). Creșterea experimentală a demonstrat, că măbind regimul (făcându-l mai intensiv), forța de așchiere scade, ca urmare uzura discului de rectificat se micșorează, iar precizia și calitatea suprafeței prelucrate este îmbunătățită vizibil.

Pe lângă aceste avantaje mai putem enumera și:

- mărirea productivității (fără mărirea avansului sau a turației)
- îmbunătățirea calității suprafeței fără mărirea avansului
- dacă mărim proporțional (cu creșterea și a vitezei discului de rectificat) avansul, atunci obținem evident un spor de productivitate

Recomandări: avansul longitudinal $S_1=1-2$ [mm/rot] piesă

adâncimea de așchiere: $t=0,03-0,06$ [mm/c.d.]

Lichidul de răcire recomandat este amestecul de apă cu ulei solubil (la viteze de cca. 60 m/s). Acest fapt duce și la mărirea productivității de 4 ori față de rectificarea obișnuită la viteze de 30 (m/s).

În cazuri aparte se poate depăși chiar viteza periferică de 60 (m/s). Este vorba de rectificarea "ultrapidă", atingând viteze de 90 (m/s). Operația se efectuează în mod obligatoriu cu răcire sub presiune. În acest caz, productivitate procedeului poate fi comparată cu cea a prelucrărilor de frezare și strunjire obișnuită.

Remarcăm însă că pentru a putea aplica rectificarea rapidă și ultrapidă, mașinile unelte trebuie echipate cu motoare electrice mai puternice, cu sistem de ungere a lagărului principal adecvat vitezelor superioare (turații mari), rigidizarea constructivă a mașinii, mărirea debitului lichidului de răcire-ungere, pulverizarea lui, folosirea discurilor foarte rezistente mecanic (la turații superioare), etc.

1.1.6. Procedeul de rectificare cu bandă abrazivă a arborilor (sau a porțiunilor de arbori)

Literatura de specialitate prezintă în ultimii ani din ce în ce mai des acest procedeu datorită unor avantaje pe care le are:

- suprafață mare de contact între banda abrazivă și materialul de prelucrat

- viteze de rectificare constante

- posibilitatea utilizării diferitelor tipuri de pulberi abrazive pe același suport
 - înlocuirea ușoară a benzii (față de piatra-disc de rectificat)
 - utilaj simplu (nu necesită mașină specializată)
 - consum de manoperă redus
 - protecție a muncii mult mai simplă
- În figurile 1.50.-a,b,c se prezintă aceste procedee:

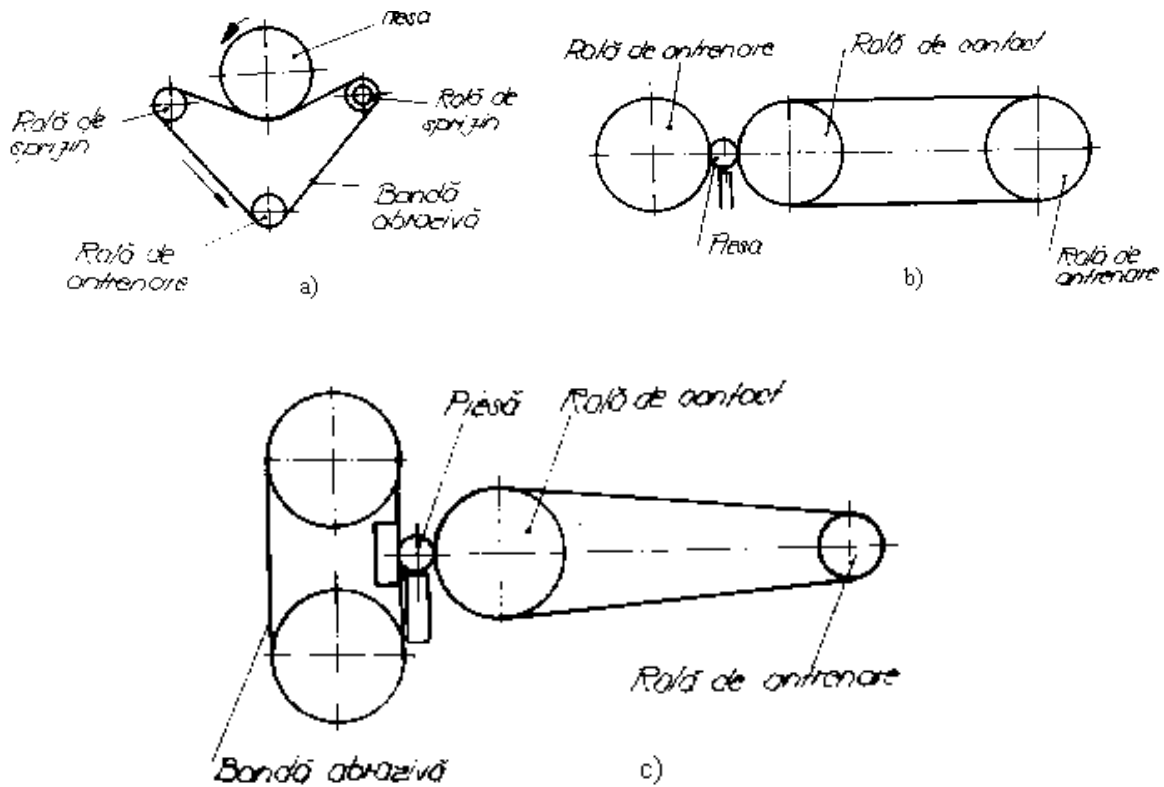


Fig.1.50.a,b,c

- a) rectificarea cu bandă abrazivă liberă
 b) și c) rectificarea cu suporturi de apăsare în spatele benzii (role de contact) în zona de contact cu piesa.

Abrazivul sub formă de granule sunt din oxid de aluminiu, carbură de siliciu sau diamant, aplicate pe suporturi de pânză sau hârtie. Se poate face o asemănare între granulația granulelor aplicate pe bandă și cele de pe discuri:

Astfel: pentru degroșare	granulația: 80- 20
finisare:	11- 8
prelucrare fină:	6-3
(și superfină)	

La finisare se obține clasa a 9-a de netezime, iar în cazul prelucrării fine (superfine) clasa 11 de netezime.

Precizări privind regimul de așchiere:

viteze:

pentru prelucrarea prin rectificare a oțelului carbon:

$$V_a=30-40 \text{ (m/s)}$$

pentru prelucrarea oțelurilor inoxidabili și aliate de scule:

$$V_a=20-30 \text{ (m/s)}$$

pentru oțeluri turnate și fonte cenușii:

$$V_a=25-45 \text{ (m/s)}$$

avansuri:

avansul longitudinal S_1 este stabilit în funcție de diametrul piesei prelucrate.

pentru $d=5-10 \text{ (mm)}$ $S_1 = 5 \text{ (m/min)}$

$d=10-25 \text{ (mm)}$ $S_1 = 3-4 \text{ (m/min)}$

$d=25-40 \text{ (mm)}$ $S_1 = 1-2 \text{ (m/min)}$

$d=40-60 \text{ (mm)}$ $S_1 = 0,5-0,8 \text{ (m/min)}$

Ca regulă generală, însă se recomandă încercarea în prealabil pentru fiecare tip de material respectiv abraziv adecvat, regimul de așchiere care să dea rezultatul dorit.

1.1.7 Prelucrări de netezire a arborilor

Se cunosc patru procedee de netezire a arborilor:

- a) Lepuirea
- b) Rodarea
- c) Honuirea
- d) Superfinisarea

Lepuirea se face cu ajutorul unor pietre moi (de lepuit) sau netezind suprafața cu o pânză impregnată cu abraziv.

Rugozitatea se îmbunătățește ajungând la $R_a=0,05-0,04\mu\text{m}$, iar precizia dimensională în treapta a 6-a (ISO).

Rodarea (fig.1.51)

Se face cu ajutorul unui inel elastic reglabil prin șuruburile de reglare. Acest inel este manevrat de-a lungul suprafeței piesei (pe porțiunea de rodat), realizând așa-zisul avans longitudinal.

Viteza piesei: $V_p=10-30$ (m/min),

uneori se recomandă $V_p<10$

(m/min), în vederea obținerii unei suprafețe extrafine. Pasta de rodat are în compoziția ei granule abrazive foarte fine într-o masă de vaselină sau seu.

Adaosul de prelucrare lăsat în prealabil pentru rodare este de 0,005- 0,020 (mm). Se obține astfel o calitate a suprafeței $R_a=0,012-0,4\mu\text{m}$, încadrată într-o precizie dimensională cuprinsă în treapta a 6-a (ISO)

Procedul se recomandă a fi utilizat în producția individuală și de serie mică.

Honuirea (fig.1.52.)

De data aceasta se utilizează un dispozitiv special în care sunt fixate 4- 6 bare abrazive (barete), având o granulație fină. Dispozitivul poartă numele și de "cap de honuit pentru arbori", fiind reglabil în diferite domenii de dimensiuni. Pentru honuire se

folosește un lichid de răcire-ungere pe bază de petrol cu adaos de ulei. Adaos de prelucrare $a=0,02-0,2$ (mm).

Durata honuirii este de 2-3 min. Se utilizează mașini construite sau adaptate special pentru honuire. Acestea au un ciclu de oprire automată în funcție de timpul reglat. Calitatea suprafeței obținută: $R_a=0,05-0,4\mu\text{m}$. Precizia dimensională: treptele 6-7 (ISO)

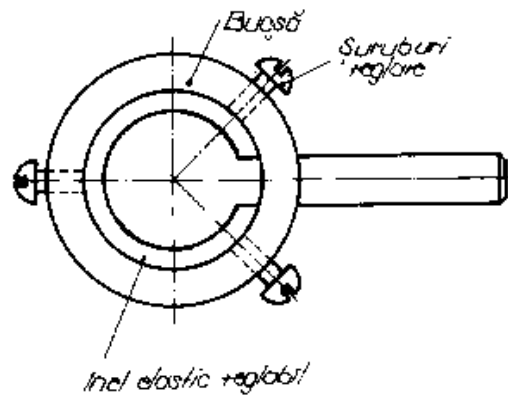


Fig.1.51

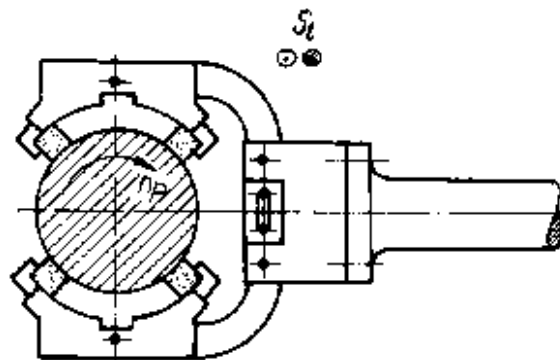


Fig.1.52.

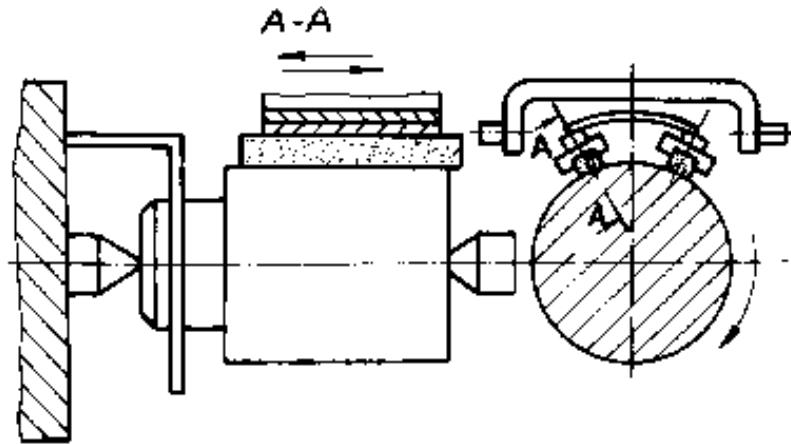
Superfinisarea (fig.1.53.)

Fig.1.53.

Dispozitivul este realizat din bare abrazive apăsate elastic pe suprafața de prelucrat, având o mișcare rectilinie-alternativă, combinată cu mișcarea de rotație a semifabricatului.

Procedeeul se pretează arborilor tratați termic sau netratați. se deosebesc mișcările scurte (rectilinii alternative) cu frecvența $f = 500-2000$ (c.d./min) pe o lungime de 1,5-6 (mm) realizate de un mecanism vibrator, de mișcările lente de avans a barelor de-a lungul suprafeței ce se prelucrează (0,1 mm/rot), în vederea acoperirii întregii lungimi superfinisate.

Presiunea de lucru (a barelor) $p=1,15 - 2,5$
(daN/mm²)

Rugozitatea obținută: $R_a=0,01- 0,2$ (μm)

Precizia dimensională treapta 6-7 (ISO)

Ca lichid se întrebuițează un lubrifianț de o viscozitate anumită, care permite (atunci când nu mai este străpuns de vârful rugozităților) să întrerupă (prin pelicula care o creează) procesul de superfinisare.

Un procedeu de finisare este cel cu scule diamantate, utilizând viteze de așchiere foarte mari și avansuri foarte mici. De asemenea intră din ce în ce mai des în aplicare pe scară largă strunjirea de finisare folosind plăcuțe mineralo-ceramice.

1.2. Prelucrarea arborilor cotiți

1.2.1. Generalități

Spre deosebire de arborii drepți, studiați ca tehnologie până acum, arborii cotiți prezintă câteva deosebiri constructive care vor impune elemente caracteristice procesului tehnologic de prelucrare a lor.

Aceste elemente sunt:

- fusurile paliere (zonele concentrice și coaxiale pe care se sprijină)
- fusurile manetoane (suprafețele cilindrice excentrice cu aceeași cotă, dar în plane diferite)
- brațele arborelui (elemente de legătură dintre fusurile paliere și cele manetoane).

În cazul arborilor cotiți de dimensiuni mici toate elementele se execută dintr-o singură bucată de material. La cei de dimensiuni medii sau mari, datorită dificultăților de ordin tehnologic, acești arbori se execută din mai multe bucăți executate prin presare sau înșurubare.

Materiale și semifabricate

Trebuie să se asigure următoarele condiții:

- rezistența mecanică
- rezistență la uzură și coroziune
- rezistență la solicitări variabile (încovoire și torsiune)

Condițiile de mai sus sunt satisfăcute în general de următoarele materiale:

- oțeluri carbon de calitate (OLC 45)
- oțeluri aliate de cementare și nitrurare
- fontele cu grafit nodular
- fontele aliate cu crom și cupru

Semifabricatele, în general, se obțin prin turnare, matrițare sau forjare.

Cele matrițate succesiv (în mai multe matrițe închise, sunt în final debavurate, îndreptate și supuse în final unui tratament de normalizare. Ele se preferă și se justifică doar în producția de serie mare sau masă. În situația producțiilor cu volume mai mici (serie mică sau individuală) semifabricatele se obțin prin forjare liberă.

Condiții tehnice:

- Precizia dimensională (a diametrelor și a altor suprafețe) trebuie să corespundă claselor 6-7 (ISO)
- valori admise ale ovalității și conicității: între 0,005-0,015 (mm)
- ne paralelismul axelor: 0,02 (mm) pe 100 (mm) lungime
- concentricitatea fusurilor paliere trebuie să asigure acestora o bătaie radială mai mică de 0,025-0,035 (mm)
- calitatea suprafețelor fusurilor paliere și a manetoanelor: $R_a=0,4-0,8$ (μm)
- duritatea pe suprafața fusurilor paliere și a manetoanelor: 52-62 HRC.

1.2.2. Prelucrarea mecanică a arborilor cotiți

În fig.1.54. se prezintă un arbore cotit (desen de execuție), pentru a vedea concret alături de cote și abaterile de formă și poziție a produsului finit, necesare elaborării corecte a procesului tehnologic.

Principalele etape ale proceselor tehnologice de fabricare a arborilor cotiți sunt:

- prelucrarea bazelor tehnologice
- degroșarea fusurilor paliere și a manetoanelor
- prelucrarea găurilor de ungere
- prelucrarea suprafețelor axiale de la cele două capete
- tratamentul termic
- finisarea fusurilor
- controlul final

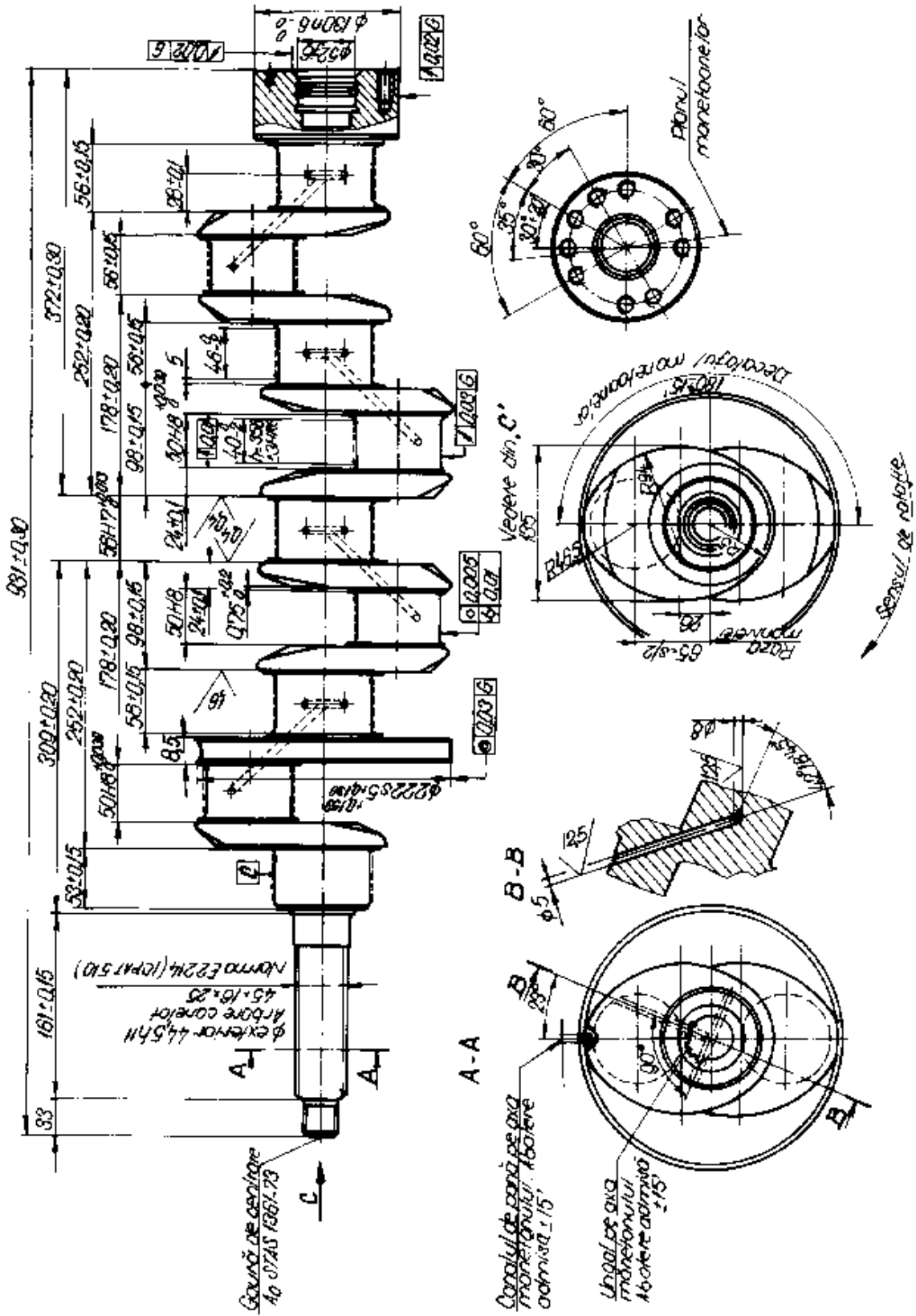
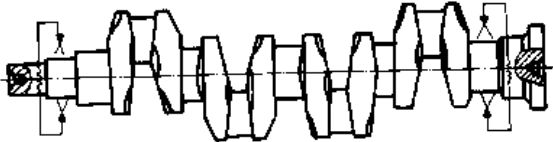

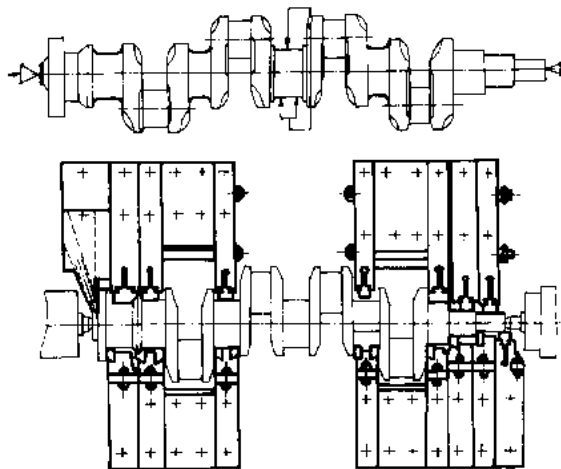
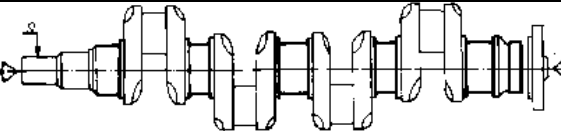
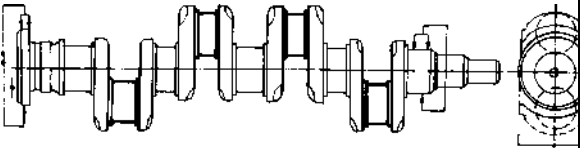
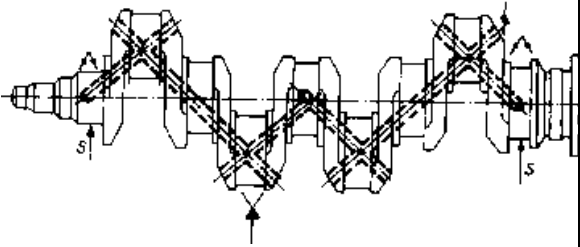


Fig.1.54.

Tehnologia tip de prelucrare a arborelui cotit din fig.1.54. material OLC45

Nr. op.	Denumirea operației	Schița operației, bazarea și poziția unor scule	Mașina - unealtă folosită
1.	Frezarea suprafețelor frontale și executarea găurilor de centrare		Mașină specială de centruit
2.	Strunjirea fusului palier din mijloc		Strung adaptat operației
3. 4.	Strunjirea de degroșare a fusurilor paliere și suprafețelor cilindrice exterioare de la capetele arborelui cotit. Strunjirea de finisare a fusurilor paliere și a suprafețelor exterioare de la capetele arborelui cotit		Strung special semiautomat multi-cuțite, cu antrena-rea arborelui din mijlocul său ; avans și turații stabilite automat
5.	Rectificarea fusurilor paliere		Mașină de rectificat arbori cotiți. Discul de rectificat are avans radial.
6.	Calibrarea găuri-	Bazarea arborelui cotit pe fusurile	Strung

	lor de centrare	paliere	
7.	Strunjirea unui canal de readucere a uleiului	Readucerea uleiului de pe o suprafață cilindrică în spatele fusului palier 5.	Strung
8.	Frezarea suprafețelor de pe brațele manetoanelor	Bazarea arborelui pe fusurile paliere și suprafața de bazare a unui braț.	Freză verticală
9.	Strunjirea manetoanelor 1 și 4		Strung special semiautomat, multicutite, avansul și turația reglate automat
10.	Strunjirea manetoanelor 2 și 5		
11.	Rectificarea simultană a fusurilor manetoane 1 și 4 apoi 2 și 5.	Bazarea ca la operațiile 9 și 10. Folosirea dispozitivului pentru deplasarea fusurilor manetoane în centrul mașinii.	Mașină de rectificat arbori cotiți cu două discuri abrazive cu avans radial
12.	Găurire simultană a canalelor de ungere		Agregat de găurit, avansul automat pentru apropiere rapidă, de lucru și retragere rapidă.
13.	Executarea a șase găuri în flanșa		Mașină de găurit

	arborelui cotit și alezarea lor		
14.	Executarea canalelor pentru ungere în fusurile paliere	Se execută 5 găuri străpunse în fusurile paliere	Agregat de găurit
15.	Executare canalelor de ungere în fusurile manetoane și teșirea tuturor găurilor executate la op. 14	Fiecare fus maneton se găurește deschizându-se comunicarea cu canalele de ungere	Mașină de găurit radială
16.	Tratament termic	Se călesc simultan fusurile paliere și manetoane la 52-63 HRC	Agregat de călire prin CIF
17.	Redresare	Bătaie maximă 0,1 mm	Presă manuală
18.	Rectificarea de degroșare și finisare a fusurilor paliere în două faze	Bazarea arborelui ca la operația 5.	Mașină de rectificat arbori cotiți. Discul de rectificat are avans radial.
19.	Rectificarea de degroșare și finisare a fusurilor manetoane în două faze succesive 1 și 4, 2 și 5	Bazarea arborelui (ca la operațiile 9 și 10)	Mașină de rectificat specială pentru arbori cotiți cu două discuri abrazive, cu avans radial
20.	Echilibrare	Se execută găuri pentru echilibrare	Mașină de echilibrat dinamic. Mașină de găurit
21.	Rectificarea suprafețelor cilindrice.	Bazarea între vârfuri	Mașină de rectificat rotund cu avans radial
22.	Frezarea canalelor de pană	Bazarea arborelui cotit pe fusuri paliere și pe linete	Mașină de frezat orizontală

		(lunete)	
23.	Ajustare, spălare, control final		SDV-uri, bancuri de ajustat arbori
24.	Ambalare sau pregătire pentru montaj		Suporturi pentru arbori cotiți

După câte se vede, bazele tehnologice utilizate la prelucrarea arborilor cotiți sunt:

- găurile de centrare
- suprafețele frontale ale capetelor și suprafața laterală a unui braț (folosită la poziționarea unghiulară)

De obicei, pentru a mări rigiditatea arborelui în cursul prelucrării, se poate aplica un sprijin la unul din fusurile paliere. În producția de serie mică aceste suprafețe sunt prelucrate separat, utilizând mașini universale. La producția de serie mare și masă, se folosesc mașini agregat cu mai multe posturi, ceea ce permite prelucrarea într-o singură operație a tuturor bazelor tehnologice.

Degroșarea fusurilor paliere se face prin strunjire, finisare prin rectificare, urmată de netezirea prin lepuire, superfinisare sau chiar lustruire (cu bandă abrazivă). Se subînțelege că în cadrul producțiilor de serie mică, aceste prelucrări se execută dintr-un număr mare de prinderi pe mașini universale, echipate cu dispozitive adecvate (relativ simple).

Seriile mari de fabricație prevăd mașini-unelte și echipamente tehnologice speciale: strunguri multicutit speciale (folosite la strunjirea palierelor). Aici antrenarea semifabricatului se preconizează să se facă la mijloc (fig.1.55.) fie la ambele capete (fig.1.56.), pentru a evita

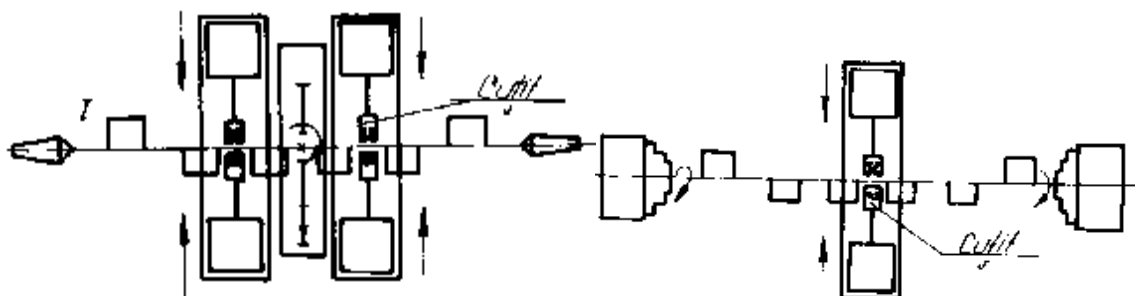


Fig.1.55

Fig.1.56

deformările ce pot apare datorită forțelor de așchiere mari.

Strunjirea fusurilor manetoane se realizează pe strunguri multicuțit speciale (aceste suprafețe se prelucrează simultan). O astfel de schemă este prezentată în fig.1.57.a și b.

Semifabricatul (1)- arborele cotit, este prins și antrenat la cele două capete. Fiecare fus-maneton este prelucrat de către un cuțit (2) fixat într-o portsculă independentă (3), care prin articulațiile (a) și (b) este legată cinematic de arborii cotați etalon (4) și (5), primind de la aceștia o translație cu traiectorie circulară (fig.1.57.b.). Atât cei doi arbori cotați etalon cât și arborele cotit de prelucrat au aceeași dispunere a axelor fusurilor și se rotesc sincronizați, cu turația (n).

La arborii cotați grei, suprafețele cilindrice (fusurile paliere, manetoane) precum și brațele de legătură dintre aceștia se frezează până la cotele de rectificare, folosindu-se freze cilindrice de dimensiuni mari (\varnothing 500-1000 mm), armate cu carburi metalice și instalate pe mașini de frezat prin copiere, de construcție specială (fig.1.58.)

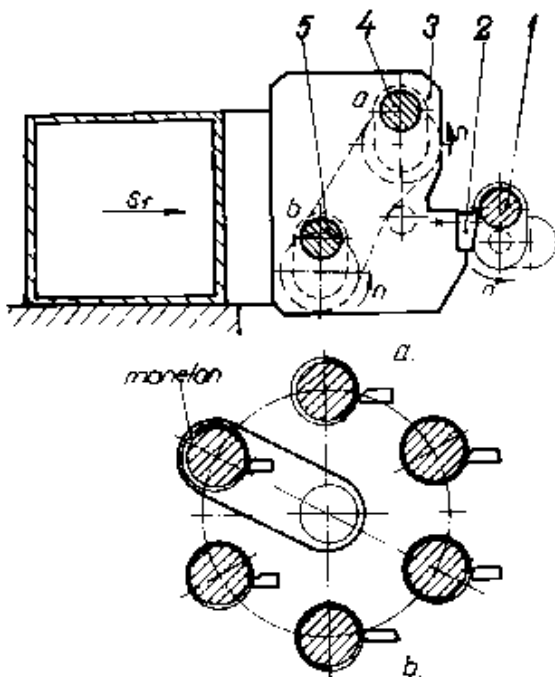


Fig.1.57.

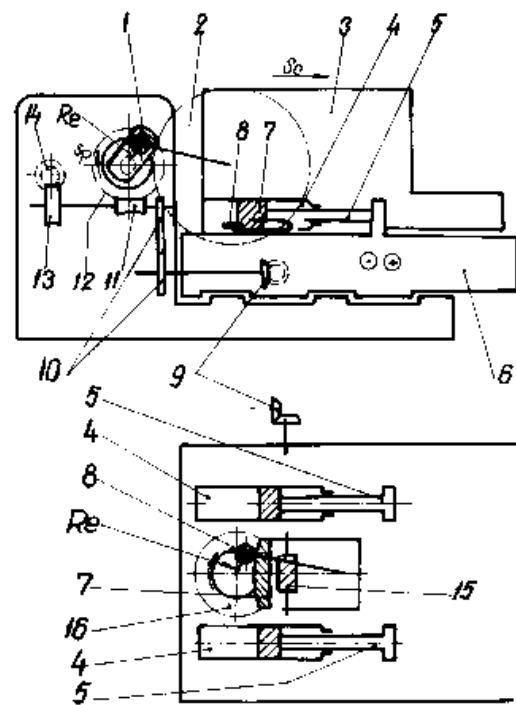


Fig.1.58.

Semifabricatul (1), având un avans circular lent S_p este antrenat în corelare cu mișcarea de translație S_c a frezei (2), astfel încât să se poată genera suprafața cilindrică a manetonului, a palierelor sau a altor suprafețe ovale (braț de legătură) sau cilindrice coaxiale cu aceste suprafețe. Corelarea mișcării se realizează printr-un lanț cinematic: angrenaje melcate 11-12 și 13-14, apoi angrenajul (perechea) de roți cilindrice 10, angrenajul conic 9, melcat 15-16, rola 8, montată la

excentricitatea variabilă R_e în sania 6 și șablonul 7 solidar cu sania portcuțit 3.

Motoarele hidraulice, având cilindrii 4 fixați pe sania 3 a sculei asigură menținerea în contact a șablonului cu rola și preluarea forței de respingere a frezei, toate prin tijele pistoanelor care sunt solidarizate cu sania longitudinală 6.

Dacă se dă șablonului o formă circulară și se reglează excentricitatea R_e la valoarea R_m corespunzătoare fusurilor manetoane se poate freza un fus. În cazul, când $R_e=0$ se pot freza fusurile paliere precum și orice alte suprafețe concentrice cu acesta.

În vederea frezării suprafețelor ovale ale brațelor, se dă șablonului o formă corespunzătoare (în funcție de desenul de execuție).

După ce s-a prelucrat o suprafață, sania 6 se deplasează longitudinal, ducând scula în poziția corespunzătoare prelucrării următoarei suprafețe.

Burghiarea (găurirea) canalelor de ungere (fig.1.59.) urmează după frezare. În acest caz semifabricatul este prins într-un dispozitiv prevăzut cu bușe de ghidare.

Deoarece găurile au diametru mic și sunt lingi, trebuie rezolvată problema răcirii sculei și evacuarea așchiilor. Din acest motiv prelucrarea se realizează în două faze. În prima se execută pregăurirea cu burghie scurte și de diametru mai mare. În cea de-a doua fază, are loc găurirea cu burghie lungi, ce se centrează bine în locașurile anterior realizate. Din când în când (periodic) în scopul răcirii și evacuării așchiilor, burghiile sunt retrase din alezaj (apoi reintroduse). Această operație se execută pe agregat (în producție de serie mare și masă) evitându-se din timp ruperea sculei sau blocarea din cauza așchiilor, prin senzori de automatizare.

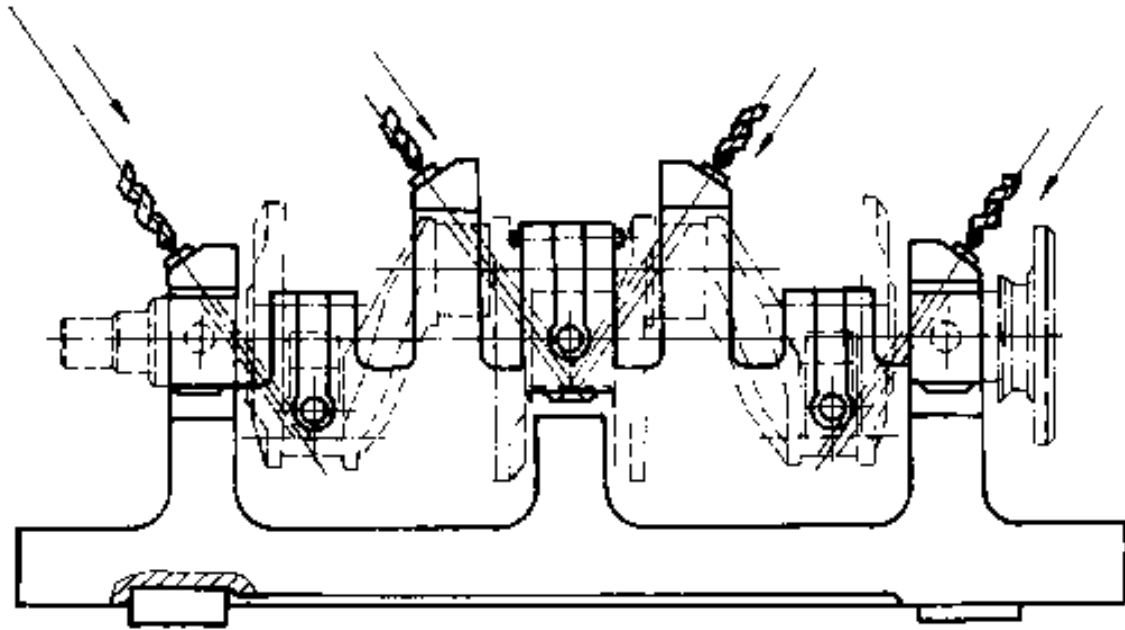


Fig.1.59.

Pentru rectificarea fusurilor paliere sau manetoane, se aduce axa arborelui cotit în poziția în care axa suprafeței prelucrate coincide cu axa mașinii de rectificat, prin dispozitive de prindere ca cel din fig.1.60.

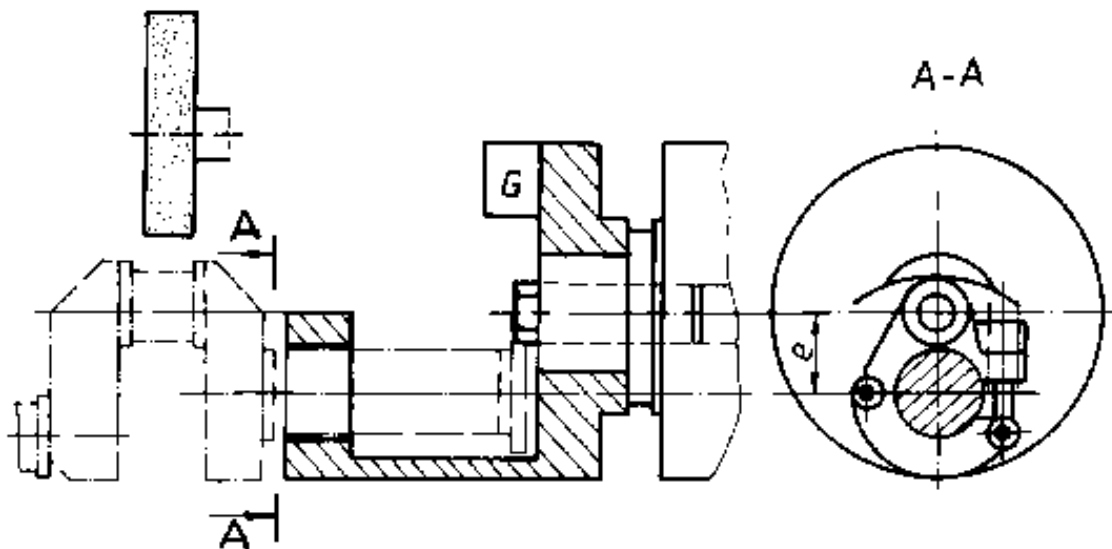


Fig.1.60.

Condiții tehnice privind tratamentul termic:

- se prescrie în funcție de material și de scopul urmărit (normalizare, cementare, nitrurare sau călire superficială, etc.)

În general, normalizarea se aplică semifabricatului după forjare, pentru obținerea unor indici favorabili de prelucrabilitate prin așchiere.

Tratamentul termic de cementare, nitrurare sau călire superficială asigură suprafețelor fusurilor paliere și manetoane o rezistență la uzură corespunzătoare. De regulă, aceste tratamente sunt plasate înaintea ultimelor operații de finisare (nitrurare) sau urmând imediat după operațiile de degroșare (cementarea sau călirea superficială).

Controlul tehnic al arborilor cotiți constă în operații de control interoperațional sau final, în funcție de condițiile tehnice impuse. Depinzând de mărimea seriilor de fabricație, se pot utiliza aparate universale de control sau dispozitive complexe special construite (vezi fig.1.61).

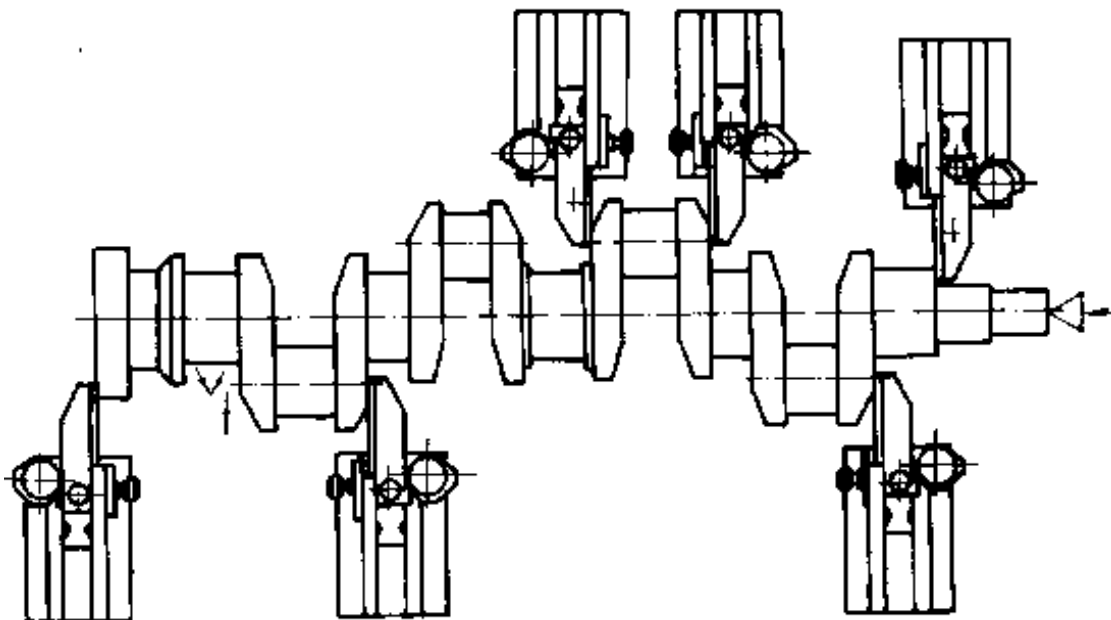


Fig.1.61.

Într-un astfel de dispozitiv arborele este așezat și verificat într-un timp foarte scurt. Verificarea se face dimensional, calitatea suprafeței fusurilor fiind controlată cu ajutorul truselor cu cale de rugozitate și aparate optice de comparație.

Mai rar este controlată duritatea suprafețelor mai importante, controlul urmând în primul rând omologarea ciclului de tratament termic.

Privitor la echilibrare, aceasta se controlează în timpul executării însăși a operației respective, după care se iau măsuri.

În cazul fabricației arborilor cotiți grei, acestora li se aplică și un control defectoscopic în diferite zone, cu scopul constatării din timp a anumitor neomogenități de structură sau eventualele fisuri.

1.3. Prelucrarea axelor cu came

1.3.1. Generalități

Elementele caracteristice sunt suprafețele profilate ale camelor și suprafețele cilindrice ale fusurilor de sprijin.

Pe același arbore cu came, mai pot exista suprafețe danturate, alezaje, excentrice, filete, etc. În vederea reducerii greutateii lor, unele semifabricate au o gaură centrală prevăzută pe toată lungimea.

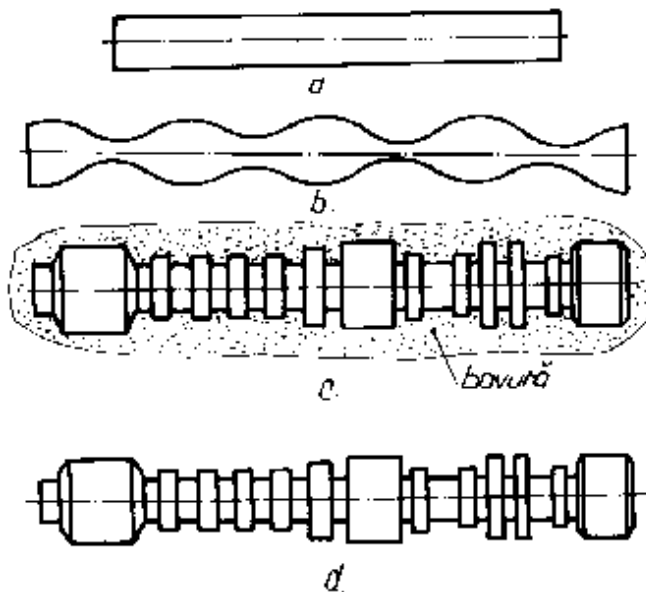


Fig.1.62.

În fig.1.62 se arată realizarea matrițării în mai multe etape, folosind matrițe închise, după care se aplică semifabricatului un tratament termic de normalizare, urmat de sablare (pentru îndepărtarea părții superficiale a crustei) și apoi de îndreptare la rece (bătaia admisă 1 mm/m).

Prin turnare se asigură semifabricatului o precizie superioară matrițării, cea ce permite evitarea completă a prelucrării suprafețelor de legătură dintre fusuri cât și prelucrarea prin rectificare a fusurilor cilindrice și a camelor.

În vederea măririi durtății superficiale a camelor și fusurilor de sprijin, în formă se introduc răcitori, care determină răcirea rapidă a acestor zone și deci o formare de structură mai fină.

Condiții tehnice de prelucrare:

În vederea unei funcționări corespunzătoare a axelor cu came se impune:

- respectarea condițiilor de precizie
- realizarea calității corespunzătoare a suprafețelor fusurilor de sprijin.

Ca materiale, datorită solicitării la uzură a fusurilor cilindrice și ale camelor, precum și solicitările la oboseală (ciclu alternant la încovoire), se preferă oțelul carbon de calitate OLC 45 AT și fonta cu grafit nodular.

Semifabricatele se obțin prin forjare liberă sau matrițare ori prin turnare de precizie.

- realizarea întocmai a suprafețelor profilate ale camelor (calitativ și din punct de vedere al preciziei).

La fusurile de sprijin se prevede ca diametrele să corespundă clasei de precizie 6 (ISO), conicitatea și ovalitatea să nu depășească 0,01-0,002 (mm) iar bătaia fusurilor de reazem să fie mai mică de 0,015-0,04 mm.

Pentru suprafețele profilate se impun următoarele condiții:

- toleranța razei părții cilindrice a camelor să fie mai mică de 0,04-0,05 mm.

- abaterile profilului camelor să nu depășească 0,02-0,05 mm.

- poziția unghiulară a camelor să aibă abateri mai mici de 1°-2°.

- înălțimea camelor să nu difere cu mai mult de 0,1-0,12 mm (pe rază) față de valoarea sa nominală.

- suprafața fusurilor și camelor să se încadreze calitativ între $R_a=0,4-0,2\mu m$.

- duritatea suprafețelor camelor să se afle în domeniul 54-62 HRC.

1.3.2. Prelucrarea mecanică a camelor

Principalele grupe de operații sunt:

- prelucrarea bazelor de așezare (suprafețe frontale, găuri de centrare, etc.)

- degroșarea și a camelor fusurilor cilindrice

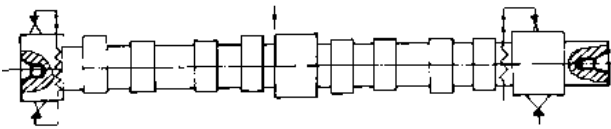
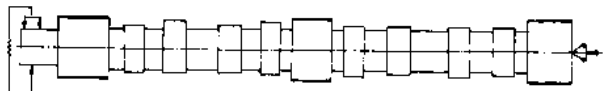
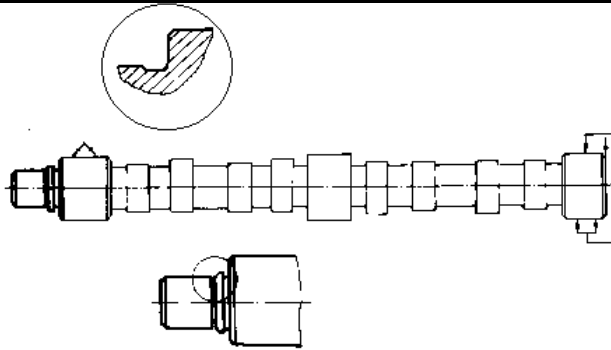
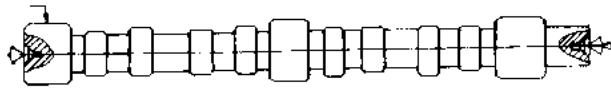
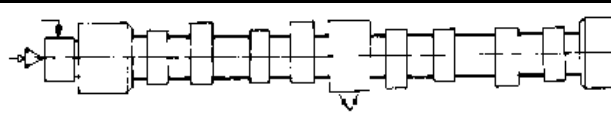
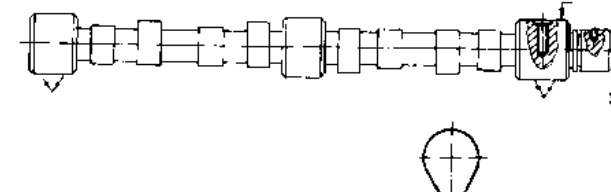
- prelucrarea suprafețelor necaracteristice tratamentului termic și finisarea suprafețelor strâns tolerate.

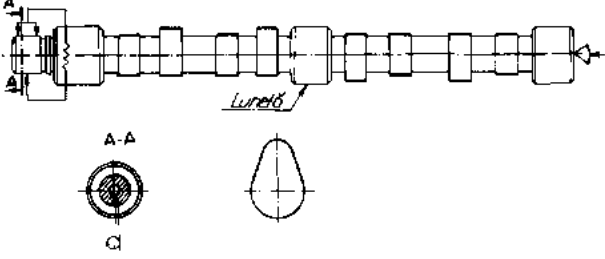
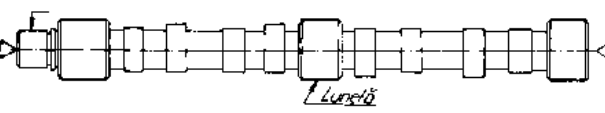
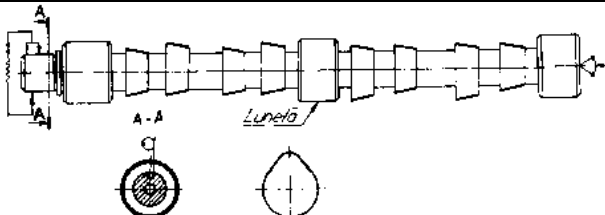
De remarcat este că prelucrarea bazelor tehnologice se execută prin aceleași procedee care se utilizează și în cazul arborilor drepți.

Se prezintă în continuare un proces tehnologic tip corespunzător axelor cu came executate din diferite materiale, utilizând diferite semifabricate.

În cazul fabricării axelor cu came, în producția de serie mare și masă a motoarelor, acestea se prelucrează pe mașini agregat semiautomate, care permit prelucrarea bazelor tehnologice într-o singură operație și cu productivitate deosebit de ridicată.

Nr. op.	Denumirea operație	Schița pentru operația respectivă, strângerea și poziția unor scule	Mașina unealtă pe care se execută

			operația
1.	Frezarea capetelor și centrarea		Mașină specială de centruit
2.	Strunjirea prealabilă a celor trei fusuri paliere		Strung
3.	Strunjirea axului la capăt		Strung
4.	Strunjirea simultană a tuturor fețelor frontale ale camelor		Strung semiautomat multicuțit
5.	Strunjirea simultană a tuturor intervalelor dintre came în două faze		Strung semiautomat multicuțite
6.	Strunjirea de finisare a fusului palier de mijloc		Strung
7.	Strunjirea de finisare a celorlalte fusuri paliere	Axa cu came se așează între vârfuri	Strung
8.	Executarea găurii de orientare a camelor		Mașină de găurit

9.	Executarea găurii de ungere	Gaura de ungere se execută la unul dintre fusurile paliere la un capăt	Mașină de găurit
10.	Executarea găurii de ungere la fusul palier din mijloc		Mașină de găurit
11.	Strunjirea simultană a tuturor camelor		Strung semiautomat de copiat multicuțite
12.	Rectificarea de degroșare a camelor	Axa cu came este prinsă între vârfuri	Mașină de rectificat prin copiere
13.	Tratament termic	Călire prin CIF, adâncimea stratului 2-5 mm, duritate 54 HRC	Instalație specială de călire prin CIF
14.	Controlul interoperațional și redresare	Axa cu came se prinde între vârfuri	Mașină de îndreptat (presă) prevăzută cu aparatură de măsură
15.	Rectificarea de degroșare a fusurilor paliere	Axa cu came se prinde între vârfuri	Mașină de rectificat rotund
16.	Frezarea locașului de pană	Așezare și prindere pe prisme	Mașină de frezat universală
17.	Rectificare de finisare a fusurilor paliere		Mașină de rectificat rotund
18.	Rectificarea de finisare a camelor		Mașină de rectificat prin copiere

19.	Ajustare	Se ajustează canalul de pană și se rotunjesc muchiile	
20.	Spălare	Se spală cu petrol, se suflă cu aer și se pregătesc axele pentru controlul final	Baie și instalație de aer comprimat
21.	Control final	Se controlează toate cotele funcționale	Aparatură de control
22.	Gresare-depozitare	Se gresează și se depozitează pe rastele speciale în poziție orizontală	

Referitor la strunjirea camelor, se utilizează mașini speciale care prelucrează profilul camei propriu-zise prin copiere mecanică. Deosebit de important la strunjirea camelor este asigurarea geometriei corespunzătoare a sculei în cursul prelucrării zonelor ascendente și descendente ale profilului camelor, datorită modificării unghiurilor α° și γ° în cursul prelucrării profilului (fig.1.63.).

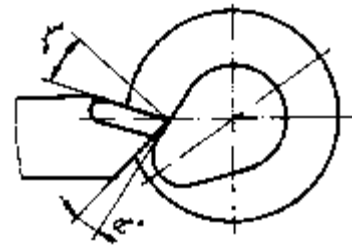


Fig.1.63.

Soluția care rezolvă această situație este cea din fig.1.64 (Schema mașinii speciale destinată strunjirii camelor).

Așa cum se vede din figură, toate camele axului (1) sunt strunjite simultan, folosind pentru fiecare câte un ansamblu format dintr-un portcuțit oscilant (7) și o sanie transversală (3), (realizată prin intermediul camei 4), cu oscilația portcuțitului (7), în jurul bolțului (6), comandat de cama (5). Atât axul camelor (4) cât și cel al camelor (5) se rotesc sincron cu axul cu came care trebuie prelucrat. Astfel, în acest mod se asigură valori corespunzătoare unghiurilor α° și γ° funcționale ale sculei.

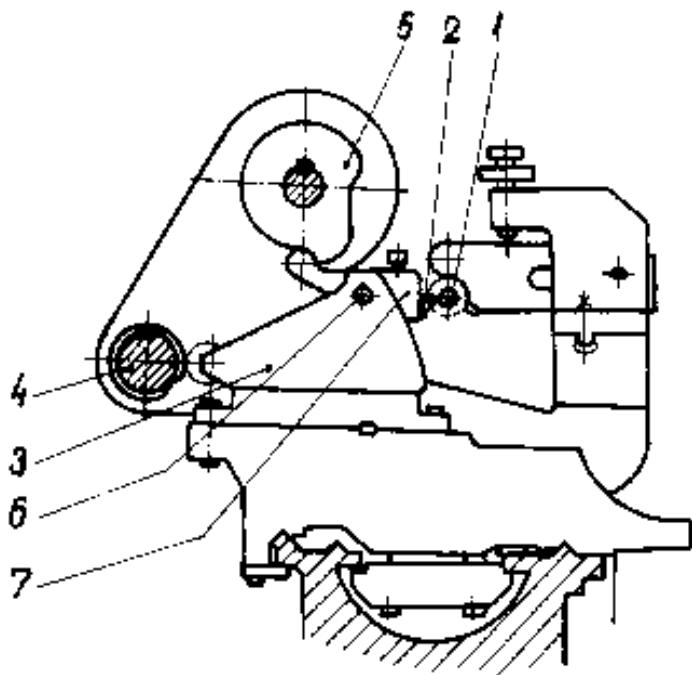


Fig.1.64.

Rectificarea fusurilor

cilindrice se execută prin metodele caracteristice arborilor drepți. Suprafețele camelor se rectifică, prin copiere, succesiv, utilizând avansul de pătrundere.

În fig.1.65. se prezintă schema mașinii de rectificat axe cu came. Axul (1), care se prelucrează este prins între vârfurile săniei (2) care poate oscila în jurul articulației (3). Camele (4), al căror ax este solidar cu piesa, sunt decalate corespunzător camelor acesteia. În vederea prelucrării unei came, rola (5), care se rotește liber pe un ax solidar cu batiul, este adusă în contact cu cama (4) corespunzătoare.

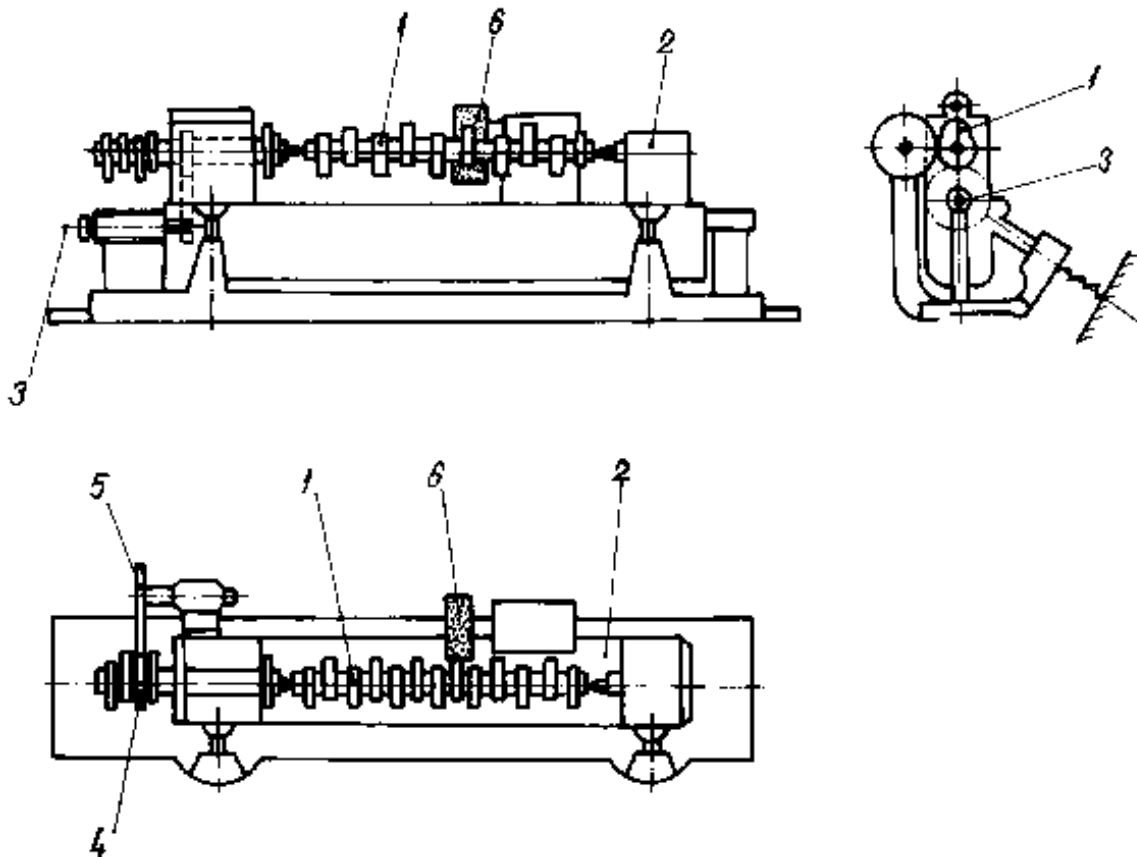


Fig.1.65.

La rotirea piesei, sania (2) oscilează împreună cu aceasta, realizând astfel mișcarea de copiere. Discul abraziv (6) execută doar rotația și avansul de pătrundere necesar.

Controlul tehnic: Ca probleme specifice controlului dimensional al acestor tipuri de piese, sunt cele ridicate de:

- verificarea profilului (camelor)
- verificarea poziției camelor

În caz că se folosesc (în acest scop) aparate universale, productivitatea operației de control tehnic va fi foarte scăzută. De aceea, când seria de fabricație permite, se recurge la aparate de control complex,

bazate pe comparația formei și dimensiunilor suprafețelor axului prelucrat, cu cele ale unui ax etalon, considerat ca referință (fig.1.66).

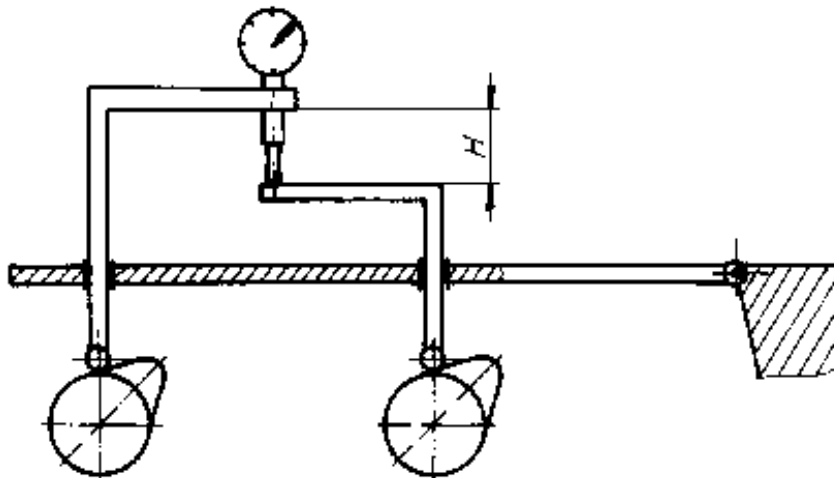


Fig.1.66.

1.4. Prelucrarea arborilor canelați

1.4.1. Generalități

Arborii canelați servesc la realizarea unor asamblări care primesc și transmit mișcarea de rotație și în mod secundar contribuie la susținerea unor organe de mașini.

Prin caneluri se preiau și transmit momente de torsiune, fiind supuse deci suplimentar încovoierii și strivirii. Ca utilitate, ei sunt folosiți la cutiile de viteze ale automobilelor și tractoarelor, la transmisiile acestora, la cuplaje și în general oriunde este necesară și o deplasare axială a unor organe (roți, discuri, etc.).

Numărul canelurilor unui arbore poate varia de la 3 la 24 și chiar mai mult.

Clasificare și materiale

Așa cum se vede în fig.1.67. se întâlnesc următoarele tipuri de caneluri:

- dreptunghiulare (1.67.-a)
- triunghiulare (1.67.-b)
- evolventice (1.67.-c)

În ultimii ani se utilizează tot mai frecvent arborii tip "K" (1.67.-d) și cei de formă pătrată (1.67.-e)

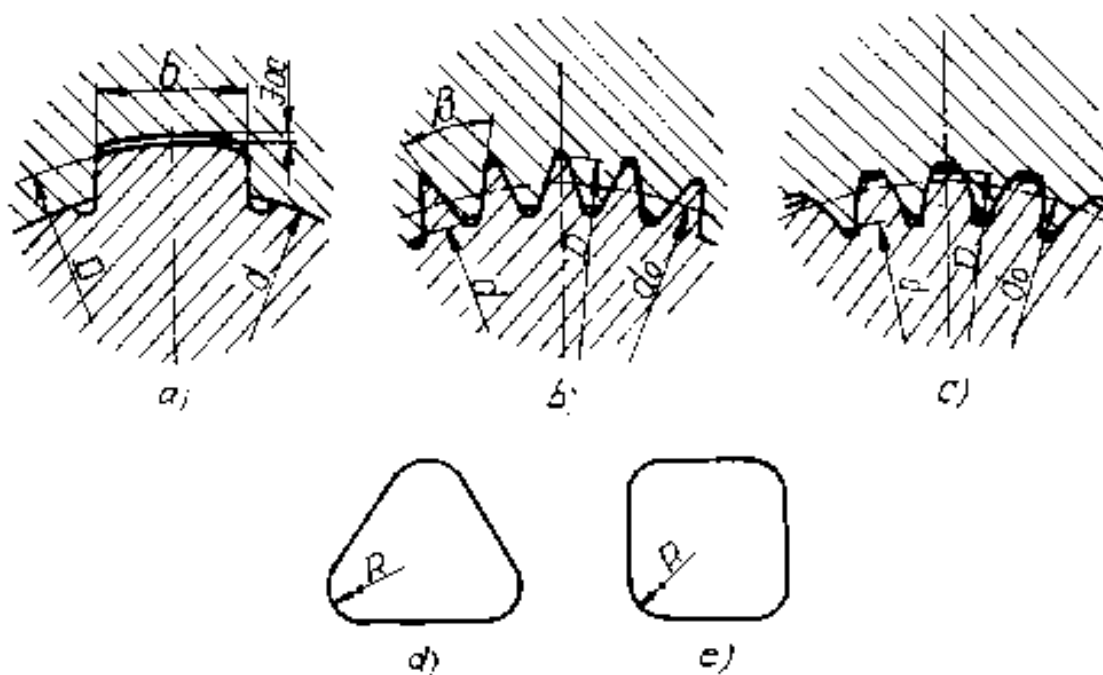


Fig.1.67.

Ca materiale se recomandă oțelurile de construcție aliate sau nealiate, îmbunătățite sau călite în funcție de solicitările pe care trebuie să le suporte. În plus, în funcție de destinația lor, se pot solicita condiții și garanții suplimentare la livrarea acestor oțeluri cum sunt: - îmbunătățirea indicelui de prelucrabilitate și călibilitate, elaborându-se oțeluri cu Pb și B; garantarea grăuntelui austenitic în limitele prescrise, încercări suplimentare la nevoie pentru verificarea indicilor de călibilitate, refulare la cald și la rece, încercarea la torsiune.

1.4.2. Tehnologii tip de fabricare a arborilor canelați

Acestea depind de tipul arborelui, în funcție de diametru, de locul unde sunt plasate canelurile, de tipul, configurația și precizia arborilor, ordinea operațiilor și procedeele prin care se obțin aceștia, felul de centrare a canelurilor, etc.

Deși tehnologia de fabricare diferă de la arbore la arbore, totuși aceasta are unele părți comune, care formează așa-zisa tehnologie tip, față de care, cu unele modificări reclamate de tipul arborelui canelat se poate ajunge la tehnologia de prelucrare, în general a oricărui arbore canelat.

1.4.2.1. Tehnologia de fabricare a arborilor canelați având centrarea după diametrul interior

Tipul centrării impune prelucrarea cu respectarea unor toleranțe strânse ale diametrelor interioare ale acestora.

Ordinea succesiunii operațiilor este următoarea:

1. Se alege semifabricatul în funcție de tipul, configurația și destinația arborelui (bară laminată, semifabricat forjat, matrițat, etc.)
2. Debitarea. În cazul când semifabricatul ales este o bară laminată (sau calibrată) se debitează, iar când semifabricatul stabilit este turnat sau forjat se execută operațiile adecvate până la aducerea arborelui în stadiul la care poate fi strunjit.

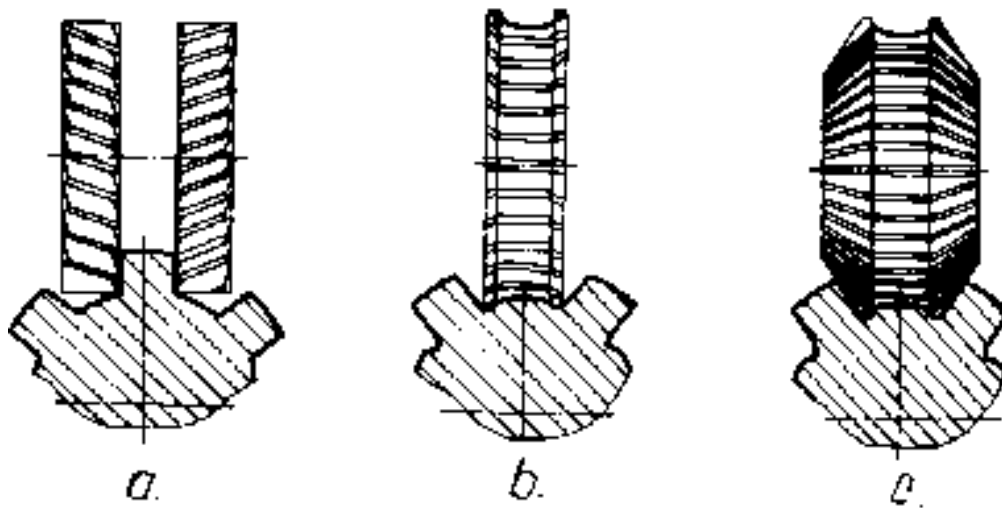


Fig.1.68.

3. Se execută strunjiri de degroșare a părților cilindrice și frontale în funcție de forma dorită, concomitent cu executarea găurilor de centrare.

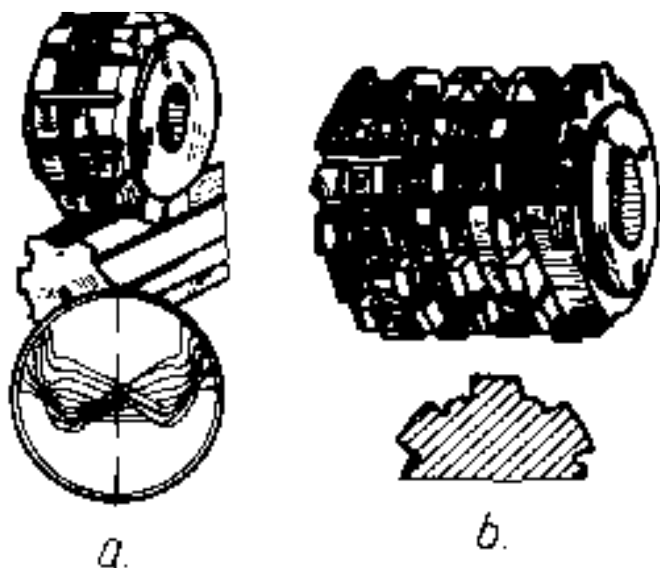


Fig.1.69.

4. Se execută strunjiri de finisare a suprafețelor exterioare ale treptelor, sau operații de acest fel, necesare a fi executate înaintea frezării canelurilor.

5. Se execută operația de frezare a canelurilor, în care se ține seama de volumul producției, prin copiere (fig.1.68.a,b,c) sau prin rulare (fig.1.69.a,b).

Precizia în cazul frezării canelurilor cu o freză melc este de 0,05-0,08mm.

În figurile anterioare (1.68. și 1.69.) sunt arătate canelurile la arbori, obținute cu adaosul tehnologic prevăzut pentru operația de rectificare

6. După operația de frezare se execută un tratament termic corespunzător oțelului din care este confecționat arborele canelat. Această operație este necesară mai ales pentru arborii canelați care sunt mai greu solicitați.

7. Se execută operații de rectificare a suprafețelor pe flancurile laterale (dacă este cazul), pe diametrele interioare și exterioare ale canelurilor.

Această operație se execută pe mașini speciale de rectificat caneluri, cu unul sau mai multe discuri simultan sau cu discuri profilate. La rectificarea cu discuri profilate se prelucrează simultan trei suprafețe. Aceasta este metoda cea mai productivă.

8. După rectificare se execută operația de control intermediar conform desenului de execuție. În această operație se controlează aspectul tuturor prelucrărilor efectuate până la această fază, vizual și cu aparate. Se controlează abaterile dintre centrul canelurii și axa arborelui precum și cotele tolerate.

9. Se debavurează toate muchiile canelurilor printr-o operație de ajustare fină, teșindu-se ușor muchiile la vârfuri.

10. Se spală curat axul canelat (în white spirit) apoi se suflă cu aer pentru uscare și în final se șterge cu bumbac.

11. Se execută operația de control final, conform desenului de execuție al arborelui canelat în modul următor:

- se controlează aspectul și rugozitatea suprafețelor (vizual după etaloane de rugozitate)
- se controlează canelurile dacă sunt debavurate peste tot, și dacă muchiile sunt teșite;

- se controlează coaxialitatea treptelor (dacă arborele are trepte), cu axul arborelui și cu canelurile;

- se controlează distanțele tolerate sau netolerate

- se controlează diametrul la vârf al canelurilor, cota peste două bile la caneluri (plasate pe diagonală), diametrul la fundul canalelor canelurilor și alte detalii ale arborelui canelat.

12. În final se gresează, unge și se depozitează

Este necesar ca proiectantul tehnolog să indice pe desenele de execuție unele date caracteristice ale canelurilor, cu sunt: - modulul, diametrul bilei de măsurare, numărul canelurilor, diametrul de fund, lungimea arcului (S_d), unghiul evolvent (la canelurile în evolventă), tipul de centrare, etc.

1.4.2.2 . Tehnologia de fabricare a arborilor canelați având centrarea după diametrul exterior.

Particularitățile acestei tehnologii față de cea anterioară (1.4.2.1.) sunt:

- la operațiile de frezare a profilului canelat al acestor arbori rezultă o simplificare însemnată, deoarece nu se rectifică la o clasă superioară de rugozitate decât diametrul exterior al canelurilor. Operația aceasta se realizează pe mașini de rectificat rotund mai simple.

Arborele se prinde între vârfuri; utilajul pentru această operație fiind obișnuit (universal).

La prelucrarea arborilor canelați de acest tip (cu centrare după diametrul exterior) se consumă mai puțină manoperă, iar precizia cerută și realizată este mai mică.

Dacă canelurile se tratează termic, atunci este necesar să se rectifice și flancurile canelurilor. Deși tehnologia este puțin mai simplă ca în cazul anterior, în schimb este foarte complicată și dificilă tehnologia piesei conjugate.

Cele mai multe operații rămân deci identice ca la punctul 1.4.2.1.

1.4.2.3. Tehnologia de fabricare a arborilor canelați având centrarea după suprafețele laterale ale canelurilor

Deși în aparență simplă, din punct de vedere tehnologic, totuși se impune executarea canelurilor cu o freză melcată, în scopul realizării unei precizie. Operațiile de rectificare de degroșare și finisare se execută numai pe flancurile canelurilor arborelui (fig.1.70.).

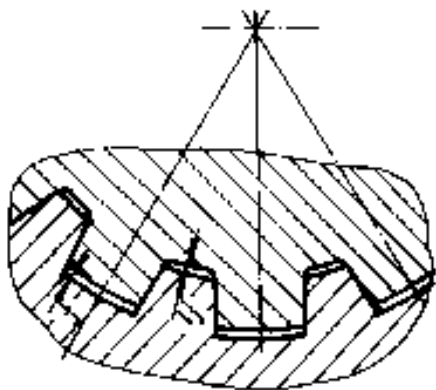


Fig.1.70.

Operația de debavurare (a muchiiilor) se face mai atent și uneori la mașini specializate cu freze clopot sau cilindro-frontale (fig.1.71.).

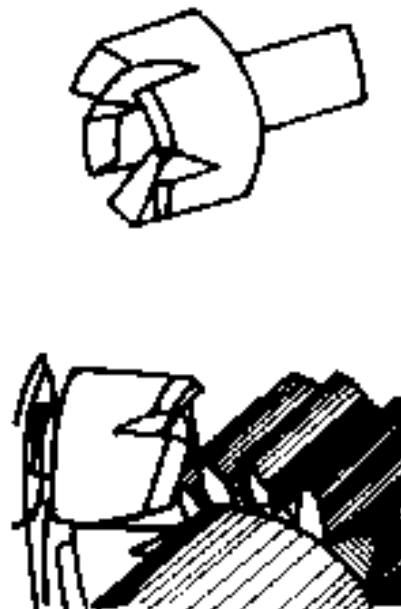


Fig.1.71.

Acest lucru are ca scop evitarea atingerii și deteriorării suprafeței flancurilor canelurilor în timpul montării și funcționării.

Celelalte operații sunt asemănătoare cu cele prezentate anterior. Menționăm, că frezele melc utilizate la prelucrarea canelurilor pot fi cu un început sau mai multe. În general, se recomandă la degroșare freze melc cu 2-3 începuturi, iar la finisare freze melc cu un singur început, fapt care atrage după sine îmbunătățirea preciziei de prelucrare și a indicilor tehnico-economici de utilizare a sculelor și utilajului.

1.4.3. Tehnologia frezării arborilor canelați

Este cea mai utilizată metodă de prelucrare. Aceasta se poate face prin metodele următoare:

1.4.3.1. Frezarea canelurilor prin copiere

Formarea profilului canelurilor arborelui pe întreaga lungime se obține de regulă prin deplasarea arborelui de-a lungul axei sale. Scula asigură, de obicei, formarea unui singur gol între dinții canelurilor (fig.1.72. a,b,c).

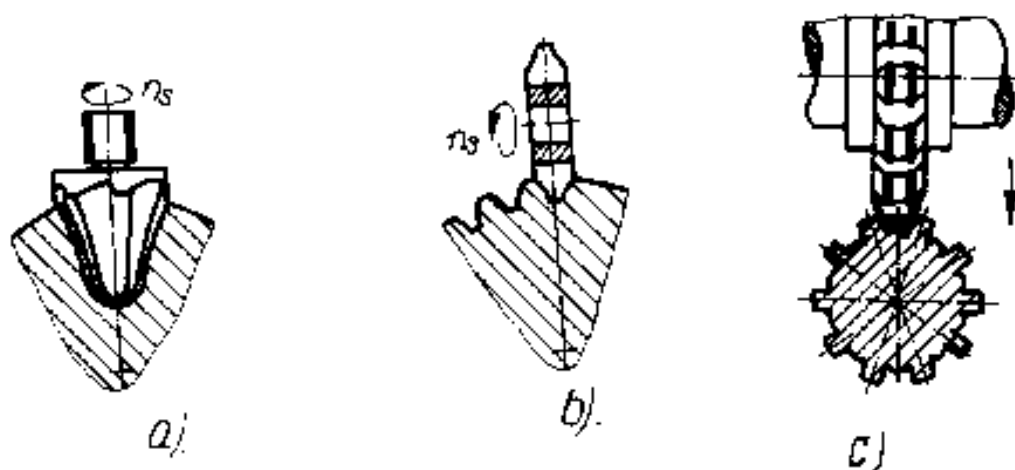


Fig.1.72.

Divizarea corectă, cu erori cât mai mici de pas depinde de precizia dispozitivului de divizare a canelurilor. Se utilizează, în cazurile cele mai obișnuite capetele divizoare.

Plecarea cu freză disc trapezoidală (1.72.b) este mai avantajoasă decât cea cu freză deget-modul (1.72.a.). Freza disc fiind nedetalonată (deci mai ieftină), îndepărtează cea 85% din materialul golului, ușurând finisarea (de obicei prin metoda rostogolirii).

Ca mașini, se folosesc mașinile de frezat orizontale, cu cap divizor, dar pot fi utilizate și freze verticale (în cazul folosirii frezelor deget). Semifabricatul este prins între vârfuri, axa frezei fin paralelă cu axa semifabricatului. Frezarea se poate realiza și cu freze disc profilate (fig.1.73.), de obicei până la modulul de 24 mm.

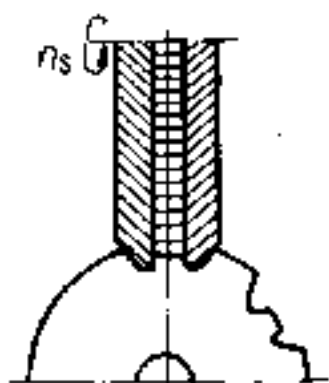


Fig.1.73.

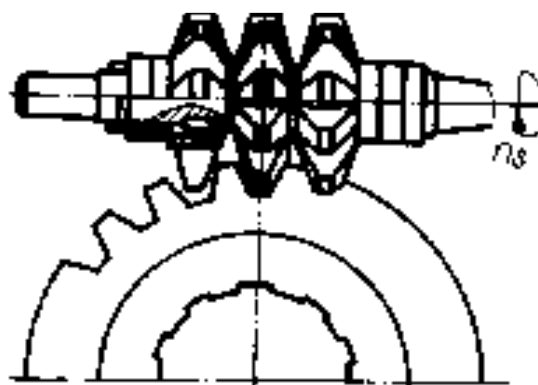


Fig.1.74.

La prelucrarea canelurilor de modul mai mic, în vederea măririi preciziei și productivității se pot cupla freze de degroșare cu cea de finisare, care așchiază împreună (fig.1.74.).

Aceasta prelucrează două goluri învecinate, combinându-se degroșarea și finisarea. Frezarea se poate face cu două sau trei freze simultan. În scopul obținerii dinților și golurilor canelurilor simetrice se va da o atenție sporită poziției frezei față de axa arborelui de canelat. Axa de simetrie a profilului frezei trebuie să treacă prin centrul arborelui.

1.4.3.2.Frezarea canelurilor prin generare (rostogolire-rolare)

Se bazează pe principiul angrenării unui șurub fără sfârșit (freza-melc) cu o roată dințată (arborele de canelat). Canalele pe freză se taie în plan normal pe linia elicoidală. Astfel iau naștere tăișurile sculei și canalele de evacuare a așchiilor. Frezele melc se detalonează. În cazul când dorim frezarea diverselor tipuri de profiluri canelate, se construiesc freze melc profilate. Scula și semifabricatul din care se confecționează arborele execută mișcări de rotație continue și uniforme, fără a mai fi necesară mișcarea de divizare. Astfel, la un număr de rotații ale sculei egal cu numărul de caneluri ale arborelui, freza melc trece odată peste toate canelurile.

În fig.1.75. se reprezintă arborele în trepte cu caneluri care se execută prin frezare de rostogolire-rolare cu freză melc profilată (fig.1.76.)



Fig.1.75.

Considerându-se conjugarea frezei melc cu canelurile arborelui de prelucrat drept o angrenare elicoidală, se poate scrie relația:

$$\frac{n_p}{n_f} = \frac{z_f}{z} \quad (1.18.)$$

unde: n_p - turația arborelui canelat (al piesei semifabricat) [rot/min]

n_f - turația frezei (sculei) [rot/min]

z_f - numărul de începuturi ale frezei melc

z - numărul de caneluri ale arborelui

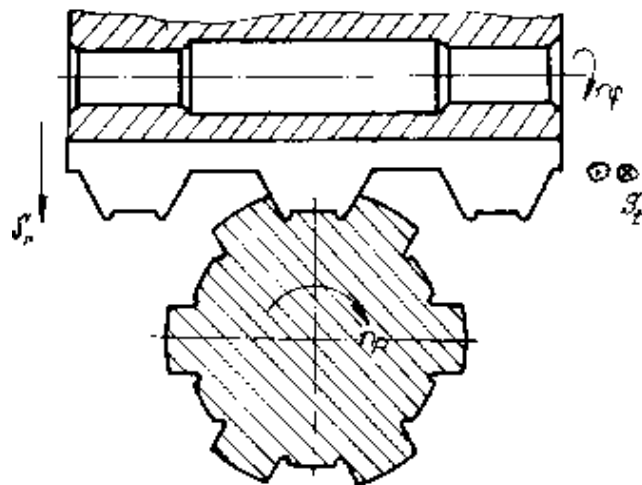


Fig.1.76.

Contactul dintre flancul frezei melc și cel al dintelui canelurii fiind teoretic punctiform. pentru prelucrarea întregului flanc, pe lungime este necesar să se imprime frezei o mișcare relativă față de arbore (sau invers), cea ce constituie mișcarea de avans. Ca urmare a celor două mișcări, de avans și de rostogolire, un punct de pe flancul drept al dintelui care se frezează va descrie o elice cilindrică cu pas constant, iar după o rotație a arborelui freza va așchia zona din vecinătatea altui punct, decalat față de primul cu o mărime egală cu pasul. Mulțimea acestor puncte aflate pe o dreaptă care se sprijină pe profilul dintelui canelurii, determină linia flancului acesteia.

În funcție de unghiul elicei frezei melc, este necesar ca scula să fie așezată înclinat față de axul arborelui pentru a se obține prin generare caneluri drepte pe generatoarea semifabricatului.

1.4.4.Tehnologia de prelucrare a arborilor canelați prin rulare la rece și rulare la cald

În acest caz, semifabricatele pentru arborii canelați se produc prin laminare la cald. Metoda prezintă avantajul, că elimină fazele de degroșare prin așchiere a arborilor canelați, cea ce se reflectă favorabil în micșorarea manoperei și în economia de material.

Arborii canelați realizați în acest mod au încă un mare avantaj: având fibra continuă, sunt foarte rezistenți la oboseală. Ca dezavantaj al metodei se poate afirma că este costul ridicat al mașinilor, care devin rentabile doar la producții de serie mare și masă. mașinile au posibilitatea schimbării capetelor pentru diferite module. Prin acest procedeu se permite realizarea de caneluri pe arbori având porțiunea canelată scurtă, și arborele este în trepte. Precizăm, că nu se influențează proprietățile și precizia de prelucrare a acestora. Rugozitatea obținută este bună, cea ce permite uneori să se treacă direct la operația de rectificare de finisare a canelurilor.

Rularea arborilor canelați se poate face și la rece, cu condiția să aibe module mici (4 mm), de preferință cu forma triunghiulară sau în evolventă a canelurilor.

Se cunosc două metode de rulare (sau laminare) la rece a arborilor canelați:

- a.) metoda presării la rece cu acțiune profundă
- b.) metoda presării la rece cu acțiune superficială

Ambele metode permit obținerea unei creșteri mari a rezistenței la torsiune, încovoiere și oboseală a arborilor canelați. Flancurile dinților și fundul golurilor canelurilor în straturile superficiale au după rulare o duritate de 100 HB, fapt ce face să nu mai fie necesar tratamentul termic. Apare aici creșterea reală de productivitate a procedurii și îmbunătățirea calității suprafețelor.

a.) Metoda presării la rece cu acțiune profundă:

Se ilustrează în fig.1.77. Mașina de rulat este puternică fiind prevăzută cu un cap de rulare având role în număr de 16-24 (robuste), situate radial și reglabile ca poziție.

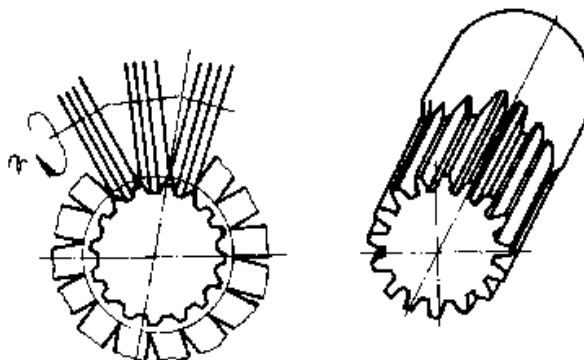


Fig.1.77.

Numărul de role este în funcție de numărul de caneluri ale arborelui de canelat. Ele acționează simultan, progresiv de la presiuni mici până la presiuni mari, în funcție de numărul de treceri și de modulul canelurilor. Desigur, deformațiile plastice sunt mari, afectând întreaga secțiune a arborelui, radial și perpendicular pe fețele canelurilor.

Prin acțiunea presiunii rolelor, acestea modifică structura cristalină a materialului, obținând suprafețe netede și ecruisate (avantajoase în cazul solicitărilor mari).

Calitatea suprafeței este superioară cele obținute prin așchiere și durabilitatea în funcționare sporită.

Productivitatea este de 6-7 ori mai mare ca la procedeul de frezare a arborilor canelați.

b.) Metoda presării la rece cu acțiune superficială

În acest caz, capetele de rulat ale mașinii sunt prevăzute cu două role profilate, situate la 180° , fiind plasate tot în poziție radială (fig.1.78.).

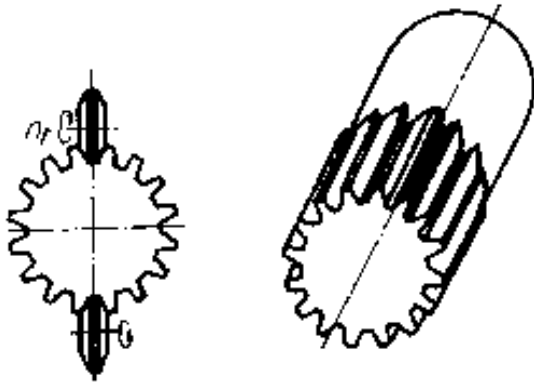


Fig.1.78.

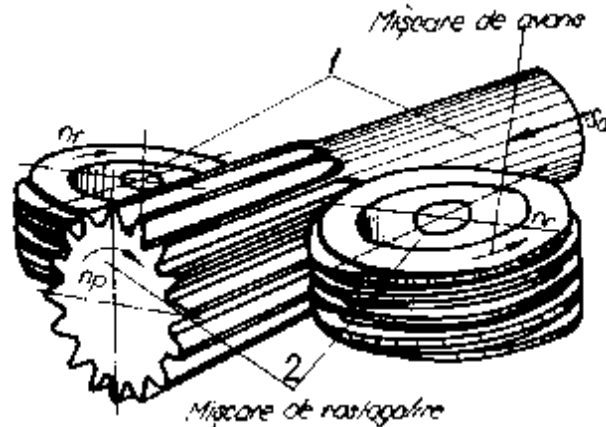


Fig.1.79.

După trecerea peste porțiunea de canelat a arborelui se execută o divizare cu un pas.

Metoda este folosită pentru realizarea canelurilor arborilor numai până la modulul 2, deoarece sistemul vibrator al capului de rulat (care execută imprimarea prin ciocănire) nu permite realizarea unor presiuni mari. Modificarea formei semifabricatului se realizează prin modificarea, deformarea și deplasarea cristalelor metalului de bază, ca rezultat al loviturilor executate de role, mișcarea de avans fiind mică. Este afectat numai startul superficial, miezul arborelui canelat rămânând neschimbat.

În vederea măririi productivității metodei, în locul rotelor simple se mai pot folosi role în formă de melc, care pot fi reglate pe direcție radială la cotă (fig.1.79.).

Rolele (2) se rotesc rostogolindu-se pe arborele (1) [ca la frezarea prin rostogolire-rulare], în timp ce arborele execută o mișcare de avans (S_a) în direcție axială și o mișcare de rotație (n_p). Prin aceste mișcări se realizează o dislocare a materialului dintre dinții canelurii, care corespunde cantitativ celui din care sunt formați dinții. Metoda se indică tot pentru caneluri cu module mici.

OBSERVAȚIE: La prelucrarea prin aceste procedee trebuie ținut seama că materialul va curge pe direcție radială cât și longitudinală, ca urmare fiind necesar ca dimensiunile semifabricatului (pe diametru- în special) să fie mai mici. Valorile acestea se pot determina atât experimental cât și teoretic.

1.4.5. Rectificarea canelurilor

Ca procedeu de prelucrare, este avantajoasă pentru prelucrarea arborilor canelați, deoarece asigură prelucrarea suprafețelor dure, obținându-se caneluri cu precizie ridicată și cu suprafețe cu o bună rugozitate.

Flancurile canelurilor fiind supuse unor presiuni mari în timpul funcționării și contactului de alunecare, suprafețele acestora reclamă o rugozitate fină și rezistentă, pentru ca uzura să fie minimă.

Realizarea formai geometrice precise reduce solicitările dinamice, atenuându-se presiunile mari dintre flancurile acestora.

Rectificarea canelurilor arborilor se poate executa după aceleași metode de frezare prin copiere cu discuri profilate (la care discurile abrazive sunt profilate după forma golurilor și flancurilor canelurilor) sau prin rostogolire, care se realizează fie prin rectificare intermitentă, pas cu pas, fie prin rectificare continuă cu piatră abrazivă melcată.

O determinare sigură și corectă a adaosului de pre-lucrare de finisare a arborilor canelați pentru rectificare rezultă din practica îndelungată a firmei "MAAG" (Elveția), concretizată în diagrama din fig.1.80.

Se menționează, că pentru arborii canelați cementați, adâncimea de cementare se găsește în funcție de modul , adăugându-se și adaosul indicat pentru rectificarea canelurilor.

1.4.5.1. Rectificarea canelurilor prin copiere

În vederea rectificării canelurilor prin copiere, discurile abrazive sunt profilate special pentru fiecare tip (dreptunghiular, triunghiular sau evolventic, etc.).

Mișcările principale sunt: rotația discului de rectificat în jurul axei sale proprii.

Mișcarea de avans (de deplasare de-a lungul canelurilor): în general efectuată de disc, dar ea poate fi executată și de către arborele canelat.

Mișcarea de divizare (necesară rectificării tuturor suprafețelor canelurilor)

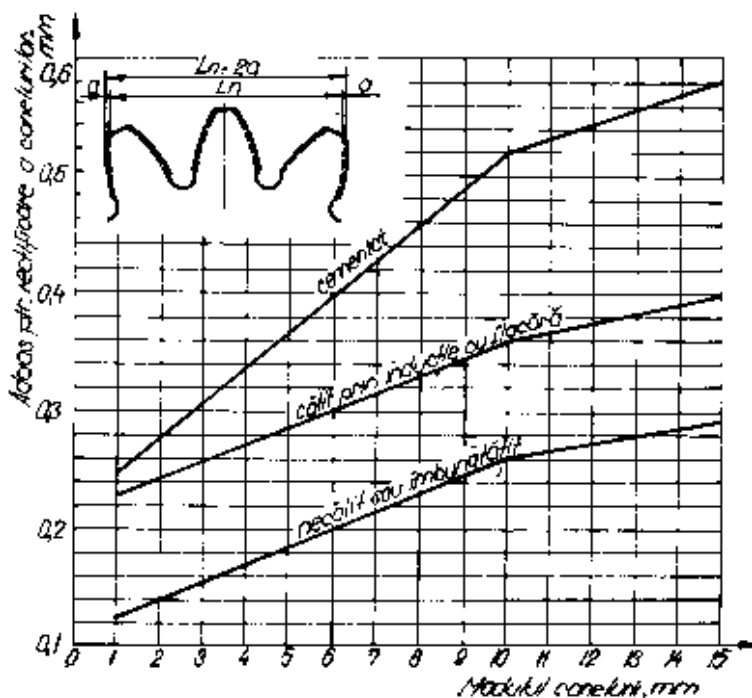


Fig.1.80.

Rectificarea canelurilor se face în funcție de numărul și profilul acestora, cu una sau două discuri abrazive profilate sau neprofilate, pe câte un flanc, pe câte două sau pe mai multe fețe ale canelurii. Acest lucru este ilustrat în fig.1.81. a.-f.

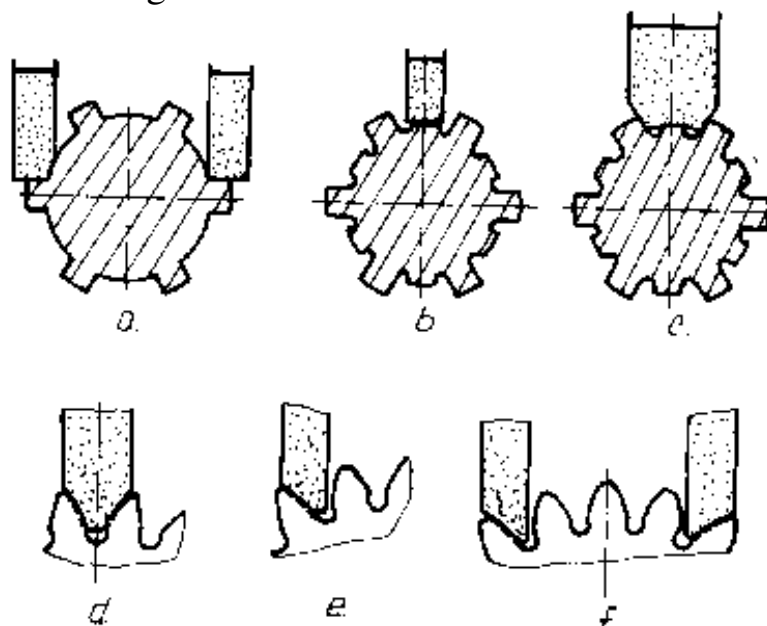


Fig.1.81.

Trebuie avut însă în vedere, neapărat, echilibrarea forțelor de așchiere, uzura uniformă a discurilor abrazive și productivitatea operației, adecvată la seria și tipul arborelui precum și la mașinile pe care se execută.

Rectificarea canelurilor cu un singur disc abraziv nu este productivă, dar totuși se folosește. Mai productivă este rectificarea cu două discuri abrazive sau cu discuri profilate după canelură (flancuri și fundul canelurii). Reglarea, în cazul rectificării cu două discuri abrazive, trebuie să fie foarte exactă.

Mașinile de tip mai vechi rectifică flancul canelurii având discul reglat la o anumită dimensiune (adâncime), se parcurge o cursă dublă, pe întreaga lungime a canelurii, după care are loc divizarea, corectarea discului și apoi repetarea ciclului la canelurile următoare.

Adâncimea de așchiere este comandată numai după ce arborele s-a rotit complet. Acest ciclu se repetă până când tot adaosul prevăzut pentru rectificarea a fost așchiat de către discul abraziv.

Este evident, că aceste mașini au o productivitate scăzută.

Pentru a mări productivitate, mașinile moderne lucrează după ciclul următor: - avansul de degroșare în adâncime se modifică după fiecare cursă simplă a discului pe canelură, în așa fel încât după rectificarea completă a unui gol al canelurii are loc divizarea. Totodată, mașinile dispun de sisteme de reglare precise precum și de sisteme de

profilare exactă după tipul canelurii și în toleranțele prescrise discului abraziv propriu. Întrucât în timpul aşchierii se produce o încălzire puternică a sistemului, mașinile de acest tip (moderne) dispun de sistem de răcire a discului și a arborelui canelat.

Rezolvarea problemei profilării discurilor abrazive se face la acest tip de mașini automat, chiar pe mașină, folosind scule diamantate, deplasate după traiectorii impuse de șabloane sau mecanisme speciale (fig.1.82.).

- Vârfurile diamantate (1) sunt conduse pe diverse traiectorii impuse de șabloanele (2) prin intermediul rozelor (5) și a mecanismelor (4). Uzura corpului abraziv duce la modificare diametrului și profilului său. Din această cauză, unele mașini au și sisteme de compensare a uzurii. Această compensare se realizează prin apropierea dispozitivului de profilare de discul abraziv.

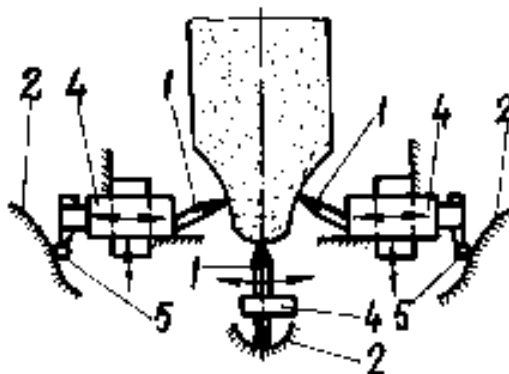


Fig.1.82.

După cum am mai amintit, adaosurile normale la rectificare depind de modulul canelurii și de felul în care se comportă materialul (oțelul) la tratamentul termic aplicat. Degroșarea se oprește, când adaosul rămas de îndepărtat atinge valoarea 40-50 μm pe grosimea dintelui canelurii (20-25 μm pe un flanc). Acest adaos este în funcție de mărimea arborelui și este necesar pentru trecerile de finisare.

Se recomandă ca grosimea startului de rectificat rămas pentru ultima trecere să fie foarte mică (5-10 μm), pentru a se obține o precizie și o neteziune corespunzătoare.

1.4.5.2 Rectificarea canelurilor prin rostogolire

Se pot executa cu:

- discuri abrazive
- discuri melc,

iar ca procedeu prin:

- a.) divizare periodică

b.) divizare continuă

a.) Rectificarea prin rostogolire folosind divizarea periodică.

Scula (sau sculele) sunt de tip taler, flancurile canelurilor sunt rectificate pe baza principiului cremalierii generatoare. La ambele scule, disc sau taler, suprafața activă este ușor de realizat și controlat, ceea ce influențează substanțial precizia canelurilor.

În cazul canelurilor în evolventă, rostogolirea are loc fără alunecare. Viteza de așchiere (de rotație) este imprimată sculei. Angrenarea este realizată prin lanțurile cinematice ale mașinii-unelte dată arborelui canelat care execută și mișcarea de avans longitudinal.

La rectificarea canelurilor evolventice, prin această metodă, se produce o succesiune de suprafețe înfășurătoare disc, care conturează forma evolventică a canelurilor pe lungimea acestora.

În fig.1.83.a) - e) sunt date schemele de prelucrare a canelurilor în evolventă.

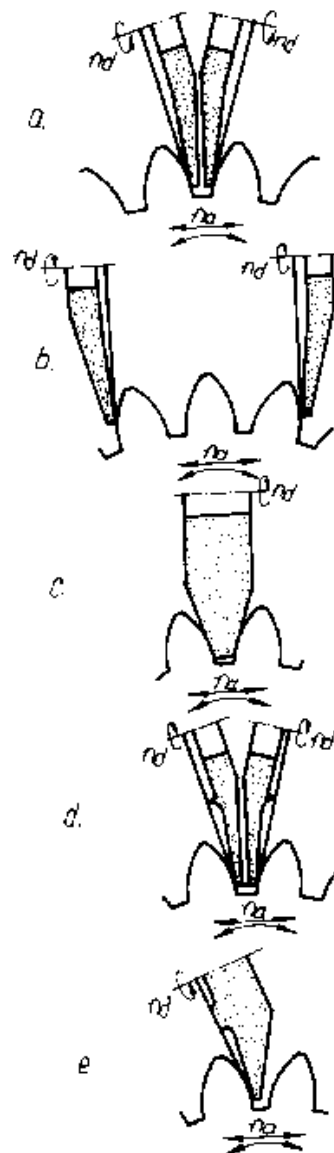


Fig.1.83.

b.) Rectificarea prin rostogolire folosind divizarea continuă

Are ca prim scop mărirea productivității. Spre deosebire de metoda divizării periodice, scula a fost înlocuită cu un melc abraziv (fig.1.84.).

Astfel, mișcarea periodică a fost transformată într-o mișcare de generare continuă. Melcul abraziv folosit pentru rectificarea canelurilor, trebuie să fie (teoretic) un melc evolventic, al cărui profil normal pe elicea de divizare să aibă aceeași cremalieră de referință ca și a canelurii de prelucrat.

Întrucât profilul melcului abraziv se modifică relativ repede prin uzură, această metodă de rectificarea se folosește mai ales la canelurile nu prea precise sau pentru

rectificarea de degroșare a acestora.

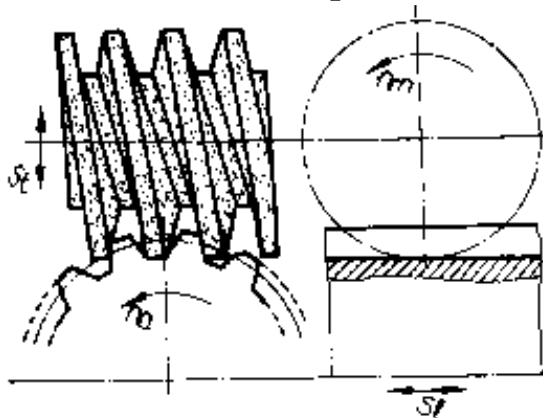


Fig.1.84.

Unele mașini (pentru economisire de timp) pe lângă compensarea uzurii (prin apropierea axelor melcului de cea a arborelui canelat) realizează automat și profilarea acestuia în timpul rectificării.

Turațiile indicate pentru melcul abraziv sunt cuprinse între 1600-1900 (rot/min).

1.4.5.3. Controlul de formă, dimensional și de rugozitate al arborilor canelați

Calitatea arborilor canelați trebuie să se caracterizeze prin precizia de execuție a elementelor lor, netezimea (rugozitatea) suprafețelor active, care depinde și de posibilitățile de măsurare.

Perfecționarea controlului conduce la îmbunătățirea calității acestor tipuri de arbori.

Se controlează elementele principale ale arborelui canelat (ca ele să corespundă și să respecte prescripțiile STAS în vederea unei bune funcționări). Acestea sunt determinate prin următoarele măsurători principale:

- măsurarea grosimii canelurilor (dinților canelurii)
- măsurarea corzii dintelui canelurii
- măsurarea cotei peste "n" caneluri.

Măsurarea grosimii dinților canelurii se face în scopul determinării jocului dintre flancurile canelurilor. Grosimea dintelui este influențată în mare măsură din erorile provenite din deplasarea conturului de referință al sculei, fiind variabilă pe circumferința canelurilor arborelui. Măsurarea mai are și scopul de a se controla abaterea prescrisă la fiecare dinte al canelurii. Aceasta se face și cu ajutorul unui arbore etalon, sau cu ajutorul bucșei canelate.

La prelucrarea prin frezare (în general) a arborilor canelați se face un control cu scopul determinării valorilor medii ale abaterii de grosime, pentru corecția reglării mașinilor de frezat caneluri.

Abaterea medie se determină pe cât posibil direct pe arborele canelat fixat în mașină.

Când se determină numai variația grosimii dinților canelurii pe circumferința arborelui, operația se poate realiza cu aparatul tip "ZEISS" de controlat caneluri (ca în cazul roților dințate).

Acest aparat este prezentat în fig.1.85.

Dacă măsurătorile transpuse grafic au o variație sinusoidală periodică de-a lungul circumferinței arborelui, canelurile sunt situate excentric față de axul arborelui canelat.

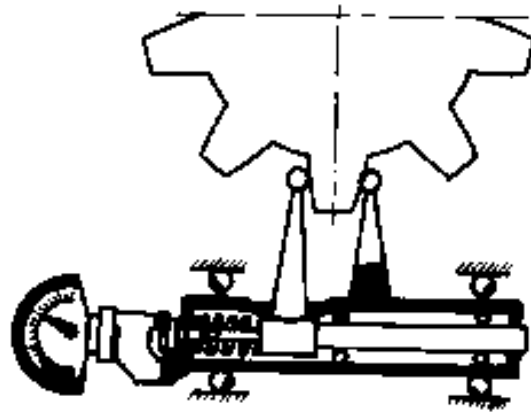


Fig.1.85.

Controlul (măsurarea) corzii dintelui canelurii

Să analizăm reprezentarea din fig.1.86.

Coarda de divizare se determină din arcul De divizare S_d , ea reprezentând dimensiunea teoretică fără a fi considerat jocul dintre flancuri. Poziția corzii de divizare este definită de înălțimea h_d , între vârful canelurii și diametrul de divizare.

Pornind de la relația:

$$S_d = 2R_d \sin \frac{\rho^\circ}{2} = mz \cdot \sin \frac{\rho^\circ}{2} \quad (1.19.)$$

unde: R_d - raza de divizare a canelurilor (mm)

m - modulul canelurilor

z - numărul de caneluri

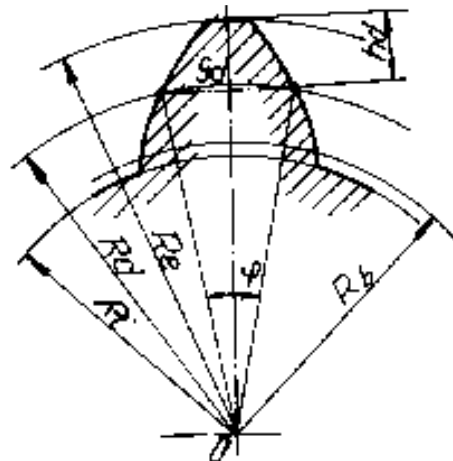


Fig.1.86.

ρ° - unghiul la centrul arborelui canelat (radiani)

-valoarea unghiului ρ° rezultă din aproximarea unghiului cu

$$\text{arcu: } \sin \frac{\rho^\circ}{2} \approx \frac{\rho^\circ}{2} \quad (1.20.)$$

$$\text{astfel: } \rho^\circ = \frac{S_d}{R_d} = \frac{\frac{m\pi}{2}}{\frac{mz}{2}} = \frac{\pi}{z} \quad (1.21.)$$

- înălțimea corzii de divizare h_d se va determina cu relația:

$$h_d = R_e - R_d \cdot \cos \frac{\rho^\circ}{2} \quad (1.22.)$$

unde R_e este raza la vârful canelurii

Măsurarea cotei peste "n" dinți ai canelurii

Cota peste "n" dinți se măsoară pe normala comună. Controlul lungimii normale comune este de fapt o verificare mai complexă a canelurilor arborilor, deoarece aceasta depinde de erorile grosimii dinților canelurilor, de erorile de pas, de profil și de eroarea cumulată de pas. Abaterea lungimii normalei comune este rezultatul erorilor sculei și așezării acesteia, precum și a erorii cinematice a mașinii-unelte.

Cota peste "n" dinți ai canelurii se măsoară pe flancurile dinților canelurilor, măsurătoarea nefiind influențată de erorile vârfurilor canelurilor pe cercul de vârf al acestora. Și cu această metodă se poate stabili jocul dintre flancurile canelurilor, el fiind rezultat din suma abaterilor cotei peste "n" dinți ai canelurii, arborelui și bușei canelate.

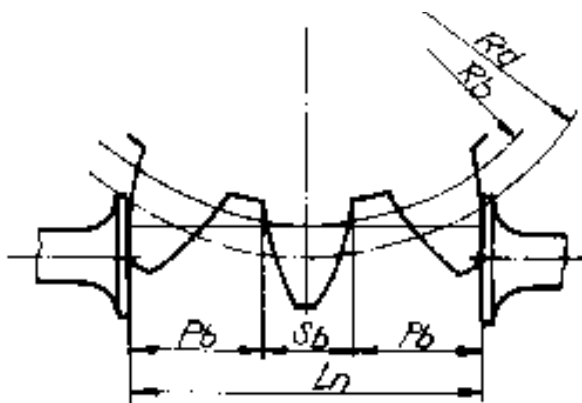


Fig.1.87.

La canelurile având profilul cu evoluventă, zero deplasat, mărimile nominale ale grosimii dintelui (canelurii și golului) sunt egale pe cercul de divizare.

Ele au mărimea unei jumătăți de pas. Pentru a se măsoara cota L_n peste un număr întreg de dinți, numărul de jumătăți de pas trebuie să fie impar.

L_n - cota peste "n" dinți ai canelurii, se poate măsura cu micrometrul cu talere sau cu ceas comparator (având două suprafețe plan-paralele)

Această cotă depinde numai de numărul de dinți ai canelurii peste care se execută măsurătoarea (vezi fig.1.87.).

La canelurile având

Cota L_n se trece în planul de operații pentru a fi măsurată.

Controlul canelurilor arborilor se mai poate face și prin măsurători radiale, acestea efectuându-se luând în considerație golurile canelurilor, în care se introduc palpatoarele cilindrice și sferice (role și bile), pe care se fac măsurătorile. Cotele rolor și bielelor se prescriu în planul de operații, deoarece ele au fost incluse în calculele făcute la proiectarea controlului.

Rugozitatea arborilor canelați se controlează vizual comparându-se cu etaloanele. În alte cazuri speciale, rugozitatea canelurilor se măsoară cu aparate, care înregistrează mărimea rugozității pe lungimea flancurilor canelurii. În cazul când canelurile sunt tratate termic, se controlează și duritatea flancurilor în diverse zone.

1.5. Tehnologia fabricării arborilor pe mașini cu comandă numerică

1.5.1. Aspecte ale proiectării operațiilor de strunjire

Particularitățile specifice programării manuale cât și a celei asistate în cazul operațiilor de strunjire sunt generate de următoarele particularități:

- traseul sculelor este în general mai complicat, din cauza faptului că la degroșare și chiar la finisare, se execută mai multe treceri pe aceeași suprafață.

- în general sculele utilizate sunt prismatice, ca urmare poziționarea lor în raport cu sistemul de coordonate se face mai greu.

- față de mașinile de găurit sau de frezat, la care scula are întotdeauna aceeași poziție de montare, existența aici a capetelor revolver și a săniilor portcuțit permite realizarea multor combinații de scule.

- filetarea nu se realizează cu ajutorul unor lanțuri cinematice rigide; raportul dintre rotația piesei și translația sculei se obține prin controlul numeric al celor două mișcări, cu ajutorul ECN (echipamentul de conducere numerică).

Sistemele de referință ale strungurilor dotate cu echipamente de conducere numerică (ECN), indicate în fig.1.88. au originea în următoarele puncte:

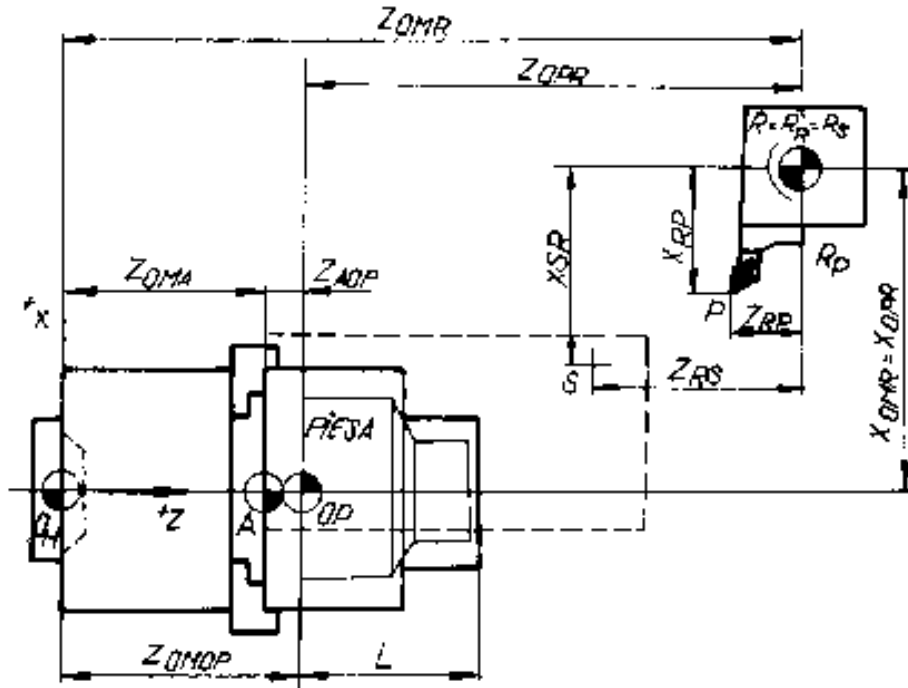


Fig.1.88.

- punctul de zero al mașinii O_M (fix), plasat pe capul axului principal;
 - punctul de referință al saniei R_s , în raport cu care se stabilesc pozițiile capetelor revolver existente pe sanie,
 - punctul de referință al capului revolver R_R , în raport cu care se montează sculele pe cele patru sau șase fețe ale acestuia (când pe sanie se află un singur cap revolver (fig.1.85.), punctele R_s și R_R coincid. ($R_s=R_R=R$))
 - punctul de referință al port-sculei R_p , în raport cu care se montează scula pe fața respectivă a capului revolver;
 - punctul de referință a mașinii R , bine precizat și fixat prin cana și microîntrerupă-toare, este punctul în raport cu care se raportează poziția saniei (frecvent $R_s=R_R=R$)
 - punctul de origine al comenzii O_c (acest punct poate fi uneori suprapus peste O_M)
 - punctul de start S , indică poziția punctului de referință R al saniei la începutul programului;
 - originea O_p a sistemului de coordonate a piesei.
- Atât S cât și O_p pot fi alese liber de programator.

Schimbarea sistemului de cotare a coordonatelor este foarte frecventă la strunjire, din cauza schimbării sculei și se realizează folosind adresa $G92$ - deplasarea programabilă a originii. În acest fel se aduce

punctul de zero al comenzii O_c (care frecvent se găsește în originea mașinii O_M) în originea O_p a sistemului de coordonate a piesei.

În cazul programării manuale, degroșarea se programează de regulă în mai multe cicluri dreptunghiulare, considerând succesiv punctele de schimbare a traiectoriei. Spre exemplu, pentru degroșarea dintr-un laminat cilindric a piesei din fig.1.89. se programează succesiv punctele 2 J K 13 b

Punctele se aleg astfel ca să rămână un adaos de prelucrare rațional pentru etapa de finisare, care se va programa în continuare în același program. Finisarea se programează considerând diferitele puncte, ale echidistanței, care se calculează raza la vârf a fiecărei scule utilizate (ca în fig.1.89.). Pentru prelucrarea suprafețelor foarte precise se pot prevedea mai multe treceri, precedate de oprirea programului. ca urmare, după prima trecere programul se oprește, strungarul măsoară cota realizată, și dacă este prea mare, introduce manual corecție de sculă necesară pornind după aceasta din nou programul (prin apăsare de buton).

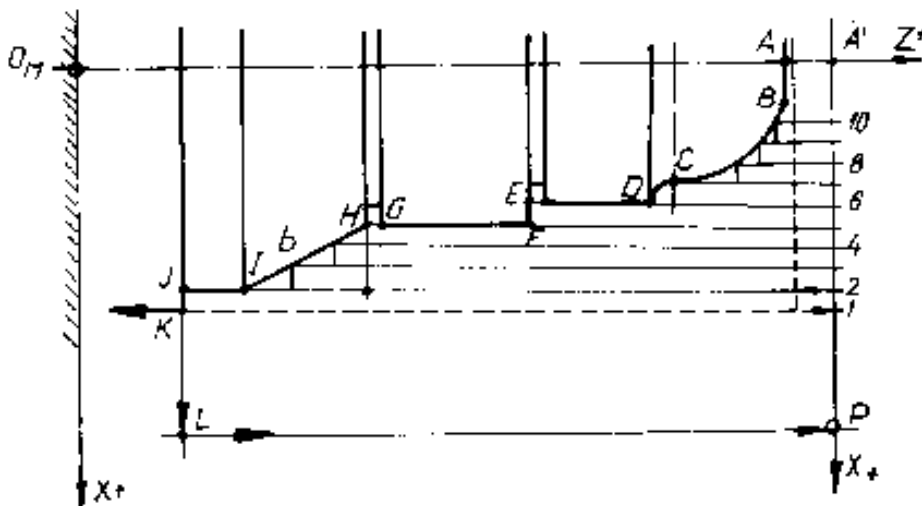


Fig.1.89.

Dacă dimensiunea se încadrează în toleranță, comandă trecerea peste blocurile de comandă respective, și programul se reia de la un alt bloc. Când se aplică acest procedeu, dimensiunile suprafeței de precizie ridicată sunt programate lăsând un oarecare adaos de siguranță.

Programarea filetării are, de asemenea, un anumit specific, întrucât se realizează prin treceri succesive, folosind cuțite adecvate. La echipamentul de fabricație românească NUMEROM 331, programarea se obține cu adresele G33 (filetare cu pas constant) și D (pasul filetului).

După fiecare trecere, scula se repoziționează radial, reglând astfel grosimea startului așchiat. la filete mai mari, avansul de poziționare a

sculei poate fi combinat (radial-axial). Astfel se pot prelucra și filete cu mai multe începuturi, decalând corespunzător punctul de angajare al sculei la începutul cursei de filetare. De asemenea pot fi prelucrate filete conice.

Programarea asistată de calculator a operațiilor de strunjire folosin limbajul IFAPT (dezvoltat în domeniul strunjirii) are specific faptul că geometria se programează descriind două contururi ale piesei:

- conturul brut (BLANC 0)
- conturul final (PARTC 0)

În fig.1.90. se arată modul în care se realizează divizarea în mai multe treceri a adaosului de prelucrare în patru cazuri (scheme).

Aceste scheme constituie specificul modului în care se programează degroșarea: TURN, GROOV, PARLL și CONT, ele fiind utilizate în cazul programării asistate.

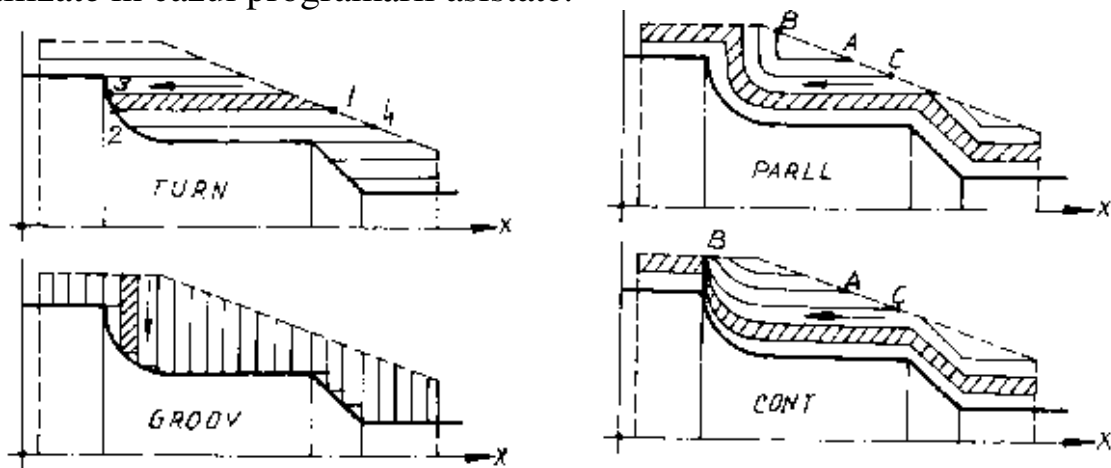


Fig.1.90.

CAPITOLUL 2

2. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A SUPRAFETELOR INTERIOARE DE REVOLUȚIE (ALEZAJE)

2.1. Generalități

Se poate afirma, că suprafețele interioare de revoluție (alezaje) sunt la fel de întâlnite ca și suprafețele exterioare de revoluție (tip arbori) în componența organelor de mașini.

În fig.15.1. se prezintă câteva tipuri de alezaje:

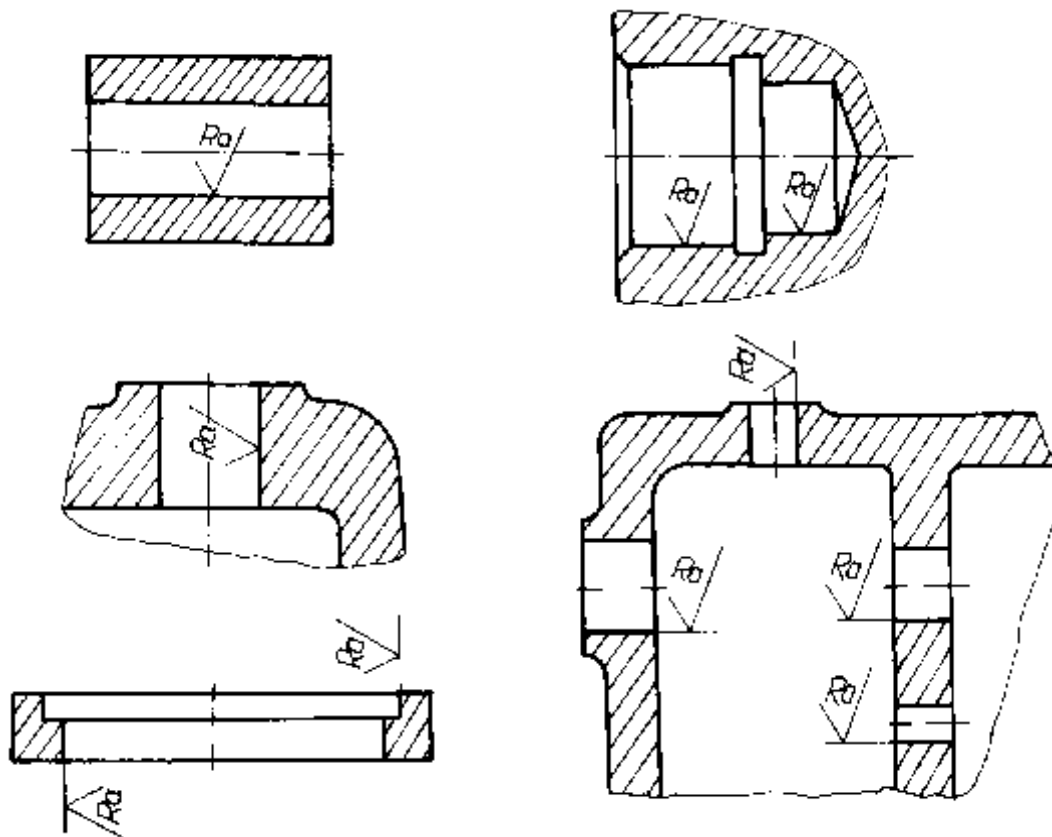


Fig.2.1.

După cum se vede prelucrarea acestor tipuri de suprafețe trebuie stabilită în funcție de rolul cerințele de precizie impuse.

Aceste cerințe sunt:

- precizie dimensională (toleranțe)
- precizie de formă
- abateri de poziție (concentricitate, coaxialitate, bătaie radială, perpendicularitate, etc.)
- precizia calitativă a suprafeței (gradul de netezime - rugozitatea).

Este ușor de înțeles, că din punct de vedere tehnologic prelucrarea suprafețelor interioare de revoluție (a alezajelor) este mai dificilă decât prelucrarea celor exterioare (tip arbori), mai ales datorită accesibilității greoaie a pătrunderii și condițiile de lucru ai sculei așchietoarea. Totodată rigiditatea întregului subsistem "sculă- portsculă" este mai mică, iar evacuarea așchiilor, concomitent cu asigurarea unei răcirii- ungeri suficiente este și mai dificilă.

Tehnologic, accentuând cele anterior amintite, este importantă clasificarea alezajelor după sistemul particularității geometrice a lor, mai precis al raportului l/D (fig.2.2.).

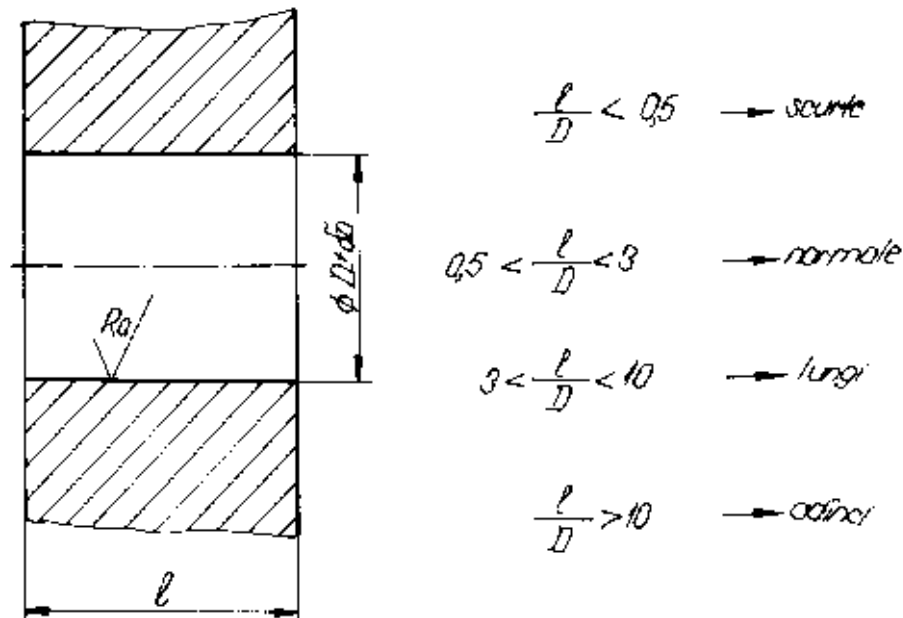


Fig.2.2.

O altă deosebire (față de piesele tip arbori) constă în condițiile de precizie cerute de alezare. Astfel, standardele prevăd pentru treptele de

precizie 5-7 I.S.O., toleranțe de cca. 1,5 ori mai mari pentru alezaje decât pentru arbori (la dimensiuni similare) tocmai datorită greutății tehnologice (în plus) de execuție a acestora.

Ca regulă generală, alegerea procedeelor tehnologice nu trebuie să țină seama numai de clasa de precizie dorită, ci și programul (volumul) anual al fabricației (buc/an).

Procedeele de prelucrare a alezajelor sunt:

- prelucrarea prin bughiere (găurire)
- prelucarea prin adâncire (lărgire)
- alezarea
- strunjirea interioară
- broșarea
- rectificarea
- prelucrări de netezire a alezajelor:
 - strunjirea interioară de netezire
 - rectificarea interioară de netezire
 - rodarea alezajelor
 - honuirea alezajelor

2.2. Prelucrarea prin burghiere (găurire) a alezajelor

După cum este cunoscut, procedeul se utilizează la prelucrarea din plin a alezajelor, fie la lărgire lor.

Cel mai des se utilizează la găuri cuprinse între \varnothing (40-50) mm, iar cu burghie elicoidale monobloc, fie armate cu plăcuțe din carburi metalice până la diametrul de $\varnothing 80$.

Procedeul de burghiere implică prin natura sculei, mai precis existența tăișului transversal, eforturi axiale mari. De aceea, procedeul se recomandă ca alezajele având diametrul mai mare de $\varnothing 30-35$ mm să se execute prin burghiere dublă. De fapt a doua prelucrare este o lărgire (tot cu burghiu elicoidal).

Se recomandă aici regula după care diametrul primului (d_1) să fie o parte (cca. 50%) din diametrul găurii finale (D), deci:

$$d_1 = (0,5-0,6) D \quad (2.1.)$$

iar diametrul celui de-al doilea burghiu să fie $d_2 = D$ (2.2.)

Toto cunoscut este faptul, că prin construcție burghiele standardizate sunt până la diametrul $\varnothing 80$. În vederea prelucrării unor diametre mai mari, trebuie utilizate burghie de construcție specială.

Referitor la fixarea burghiilor, cele care au coadă conică (autocentrate) dau erori de fixare de cca. 2-3 ori mai mici decât cele cu coadă cilindrică.

Compararea tehnologică a prelucrării prin burghiere cu adâncirea și alezarea este prezentată în fig.2.3.

Felul prelucrării		Trepta de precizie economică (I.S.O.)	Clasa de precizie economică (vechiul STAS)	Rugozitatea economică a suprafeței
Bughiere	Fără bucușă de conducere	12	7	12,5 ...25
	Cu bucușă de conducere	11	6	12,5 ...25
Prelucrarea adâncitoare cu		10...11	5...6	6,3...12,5
Alezare		7...9	2...4	0,4...1,6... 3,2

Fig.2.3.

Deși alezajul tinde să copieze exact forma sculei (a burghiului), totuși abaterile de formă și poziție care influențează evident precizie execuției nu sunt de neglijat.

Enumerăm câteva din aceste cauze:

- bătaia radială a burghiilor
- ascuțirea neegală a celor două tăișuri
- bătaia suplimentară a axului mașinii-unelte (arborelui principal al mașinii de găurit)
- neperpendicularitatea axului burghiului față de suprafața care se prelucrează (bazare greșită, fie semifabricat cu secțiune variabilă)
- deformarea elastică a sculei (săgeata burghiului)

În fig.2.4. se prezintă modalități de prelucrare a alezajelor prin burghiere:

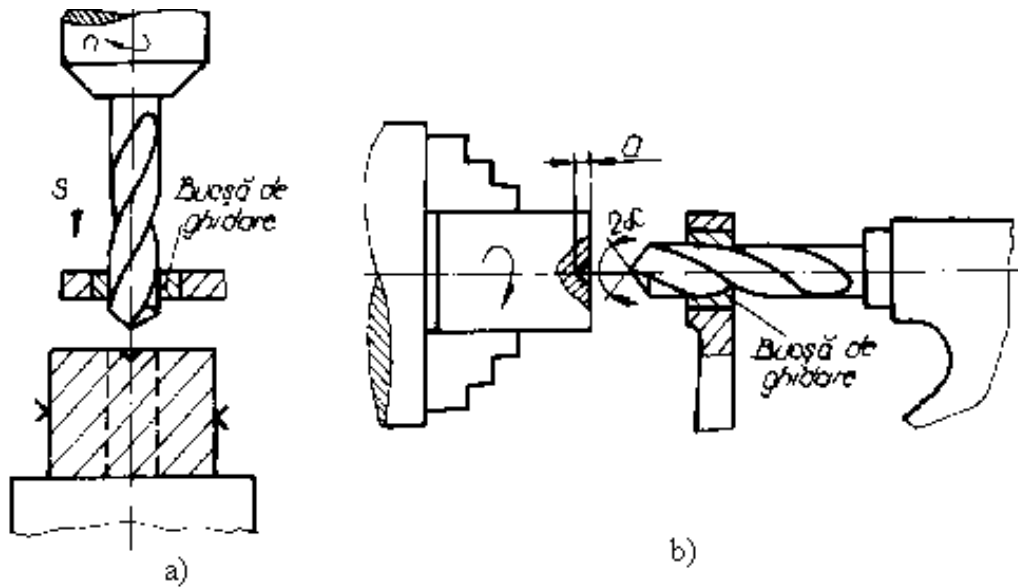


Fig.2.4.

2.4.-a - prelucrarea pe mașina de găurit folosind bucșă de ghidare

2.4.-b - prelucrarea pe strung universal (normal) având scula prinsă în vârful păpușii mobile, folosind tot un sistem cu ghidare cu bucșă.

Procedeeul 2.4./b evită și mai mult apariția erorilor de poziție și formă datorită așchierii prin rotirea piesei și avansul axial al sculei (burghiului).

În cazurile menționate rolul găurilor de centrare se rezumă mai ales la centrarea sculei (și nu a piesei, ca de obicei).

Chiar folosind bucșe de conducere (de ghidare) obținem erori - deplasări ale poziției (axei) găurii față de cea teoretic impusă.

Urmărind fig.2.5., aceasta va fi " ϵ_0 "

Trigonometric rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha^{\circ} = \frac{I}{H} \quad (2.3.)$$

unde: I - reprezintă jocul maxim dintre burghiu și bucșă de ghidare

H - înălțimea bucșei

în mod asemănător:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\epsilon_0}{\frac{H}{2} + l} \quad (2.4.)$$

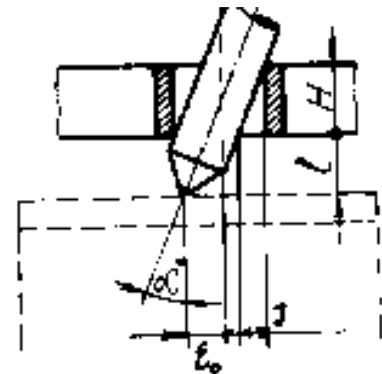


Fig.2.5.

ϵ_0 - fiind deplasarea centrului găurii prelucrate față de axa găurii bucșei de ghidare a burghiului.

l - fiind distanța dintre placa de ghidare și suprafața de prelucrat

Egalând relațiile (2.3.) cu (2.4.) obținem:

$$\frac{I}{H} = \frac{\epsilon_0}{\frac{H}{2} + l} \quad (2.5.)$$

rezultă
$$\epsilon_0 = I \left(\frac{H}{2} + l \right) \frac{1}{H} \quad (2.6.)$$

sau
$$\epsilon_0 = \left(\frac{1}{2} + \frac{l}{H} \right) I \quad (2.7.)$$

Trebuie menționat că nu se ține seama de deformarea elastică a burghiului (care de fapt mai amplifică valoarea acestei erori).

Utilizând un dispozitiv cu bucșă de conducere, toleranța de la poziția nominală a axei găurii în raport cu o bază de referință trebuie să îndeplinească următoarea condiție:

$$\Delta L \geq 2\epsilon_0 + \eta \quad (2.8.)$$

ΔL - toleranța unei cote L (L precizează cota axei găurii în raport cu baza de referință)

unde: ϵ_0 - deplasarea centrului găurii prelucrate față de axa găurii bucșei de ghidare a burghiului.

η - mărimea care reprezintă erorile de execuție a dispozitivelor (execuția bucșei, fixarea ei în placa de bază, toleranțele repective, excentricitatea ei cu exteriorul bucșei, etc...).

Formele și dimensiunile bucșelor de ghidare sunt normalizate. Se pot însă proiecta în funcție de configurațiile diverse ale suprafețelor bucșe speciale.

În fig.2.6. (a,b,c,d) se prezintă astfel de tipuri de bucșe speciale:

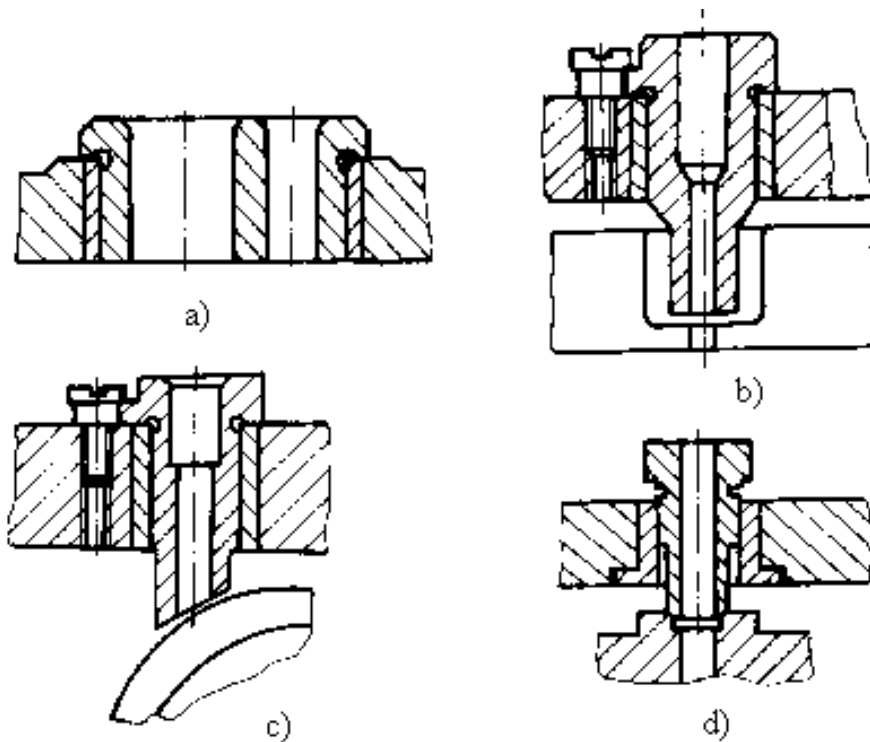


Fig.2.6.

În situația prelucrării pretențioase (ca precizie dimensională, de formă și grad de netezime ridicat), burghierea este numai ca primă operație.

Un astfel de exemplu de prelucrare se vede în fig.2.7., unde burghierea (a) este succedată de adâncire, lărgire și alezare (fazele: b,c,d,e).

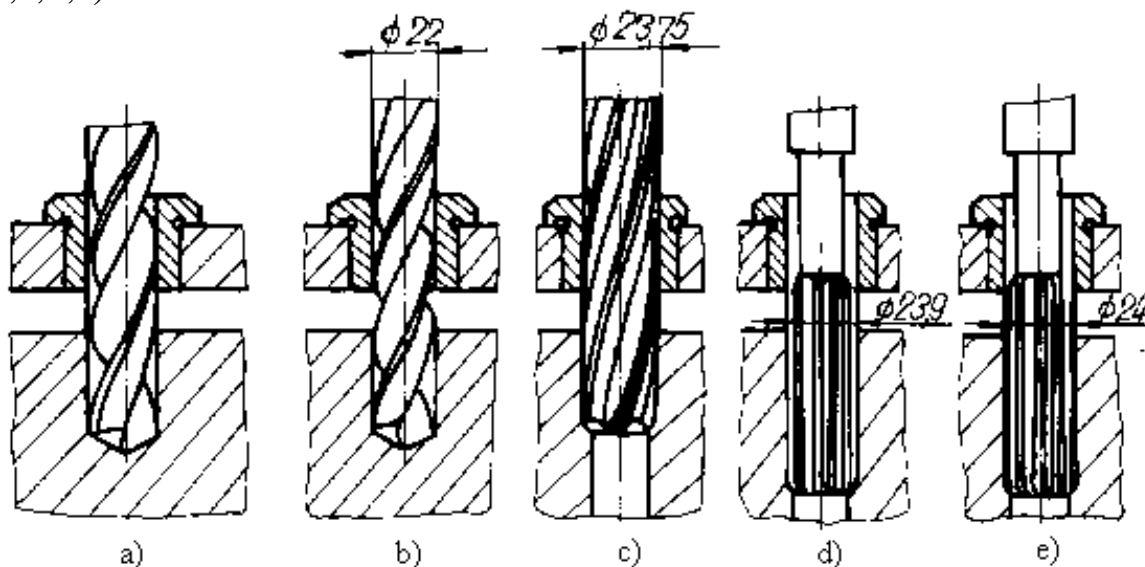


Fig.2.7.

Mai mult, încă, se pot prevedea și dispozitive (mandrine) cu acționare rapidă, în vederea micșorării timpilor auxiliari (de schimbare a sculei), așa cum se prezintă în fig.2.8.

2.3. Prelucrarea prin adâncire (lărgire) a alezajelor

Adâncirea unui alezaj înseamnă fie prelucrarea unui alezaj brut obținut în prealabil prin turnare, matrițare, etc., fie a alezajelor deja prelucrate cu scopul de a modifica (mări sau profila) dimensiunea sau forma precedentă.

Adâncirea poate figura ca operație sau fază, inițială, intermediară sau finală. De obicei este o fază intermediară sau finală.

Neavând tăiș transversal, adâncitoarele pot lucra în condiții mai bune decât burghiile elicoidale, asigurând o ghidare mai bună și chiar productivitate sporită.

Totodată ele pot lucra cu avansuri mai mari (decât burghiile), dar relația de calcul sub formă generală (valabilă și pentru alezoare) este:

$$S = C_s \cdot D^{x_s} \quad [\text{mm/rot}]$$

unde D [mm] - diametrul de prelucrat

C_s, x_s - constante care țin seama de condițiile de lucru

Pentru C_s și x_s literatura de specialitate recomandă următoarele valori:

- la prelucrarea unui oțel cu $\sigma_r = 61-85$ [daN/mm²]

$$C_s = 0,105 \text{ și } x_s = 0,6$$

- pentru burghiere: $C_s = 0,047$; $x_s = 0,6$

- pentru alezare $C_s = 0,120$ și $x_s = 0,7$

Clasificare:

- adâncitoare pentru:
 - lărgiri
 - adânciri
 - planări (lamatoare)
 - profilări
 - alezaje conice
 - alezaje în trepte

În fig.2.9. și 2.10. se prezintă câteva tipuri de prelucrări cu adâncitoare (2.9.-a,b,c) precum și tipuri constructive de adâncitoare combinate (2.10.-a,b,c).

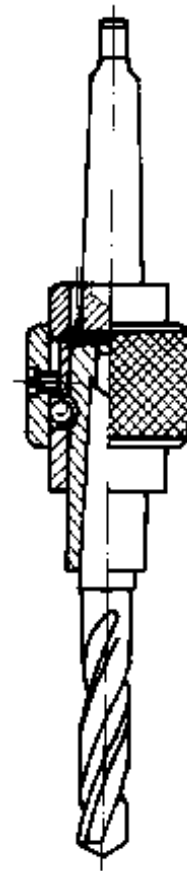


Fig.2.8.

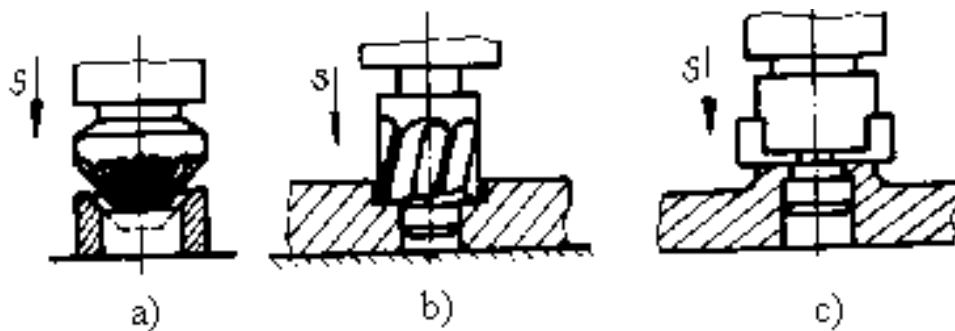


Fig.2.9.

În fig. 15.11. se arată modul (etapele) de prelucrare a unor alezaje conice mari (peste 25 mm), folosind adâncitoare profilate conic.

Astfel după o burghiere (a), urmează o adâncire în trepte (b) apoi o adâncire conică de degroșare (c) și în final de finisare (d).

Prelucrarea prin adâncire sau lărgire a alezajelor poate duce la îmbunătățirea tuturor parametrilor de precizie.

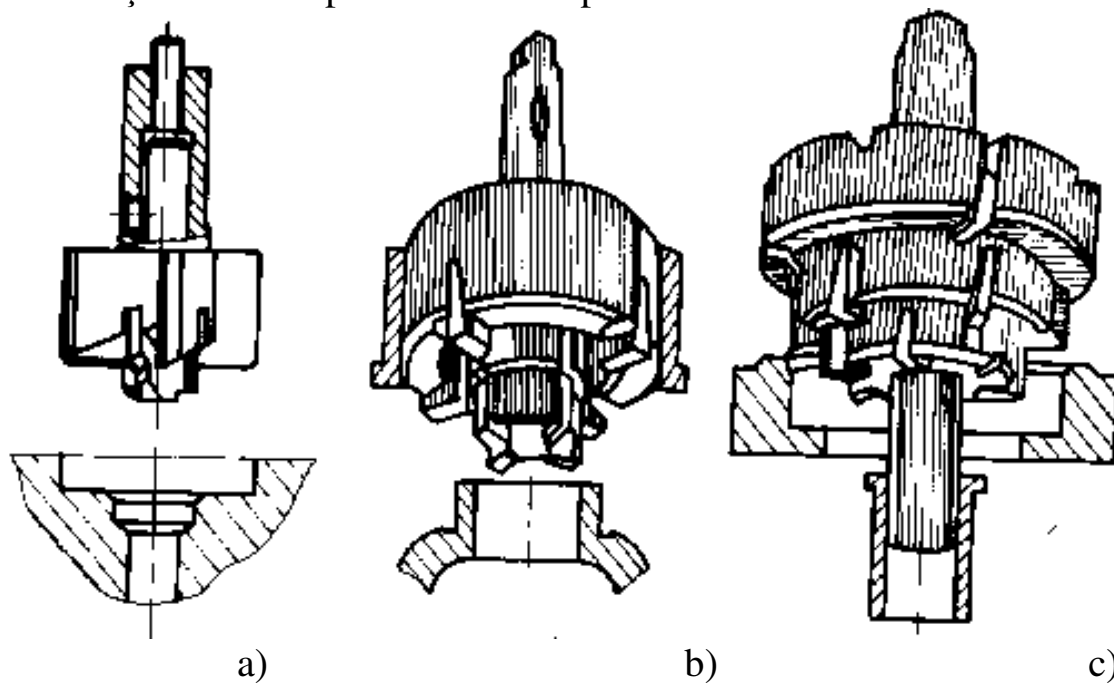


Fig. 2.10.

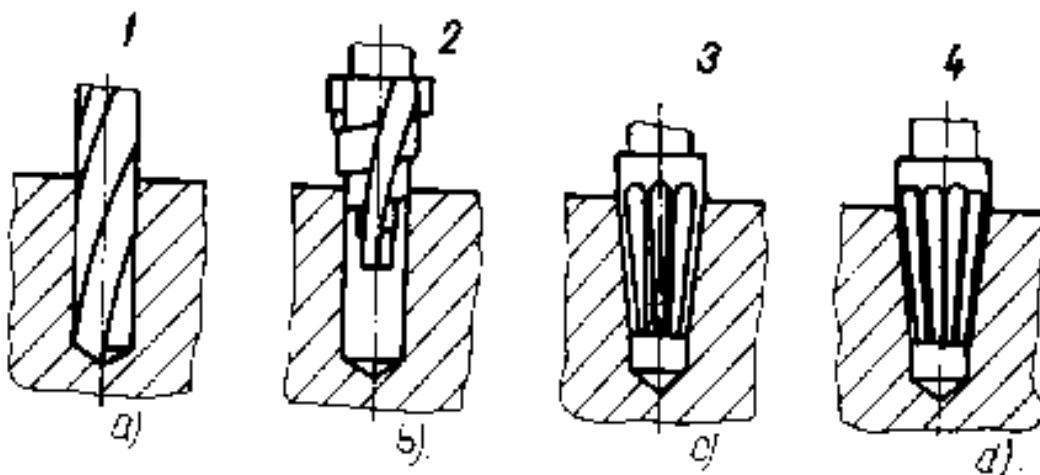


Fig.2.11.

2.4.Prelucrarea prin alezare

Este prelucrarea care urmează după adâncire sau uneori după burghiere, fiind des o prelucrare finală. Alezarea asigură precizii superioare prelucrărilor anterioare amintite. Pentru o alezare de precizie se recomandă o adâncire-lărgire prealabilă (după burghiere).

În vederea evitării vibrațiilor se preferă proiectarea (sau alegerea) alezorului cu dinți având pași variabili.

Alezarea aduce îmbunătățirea:

- preciziei dimensionale
- preciziei de formă
- calității suprafeței (rugozității)

În mod obișnuit se obține o precizie dimensională (treapta 7 de precizie ISO) alezorul lucrând ca o sculă autocentrantă.

Se recomandă în acest scop, prinderea "elastică" a sculei, tocmai în vederea realizării autocentrării, dându-se posibilitatea orientării alezorului după suprafața anterior prelucrată.

Aceste tipuri de prinderi se văd în fig.2.12.

Spre deosebire de aceasta, cu scopul corectării erorilor de poziție (anterior obținute) se propune soluția contrară: fixarea rigidă a alezorului (uneori cu riscul nerespectării preciziei dimensionale). Aceste cazuri trebuie analizate tehnologic în prealabil, și adoptată soluția rațională.

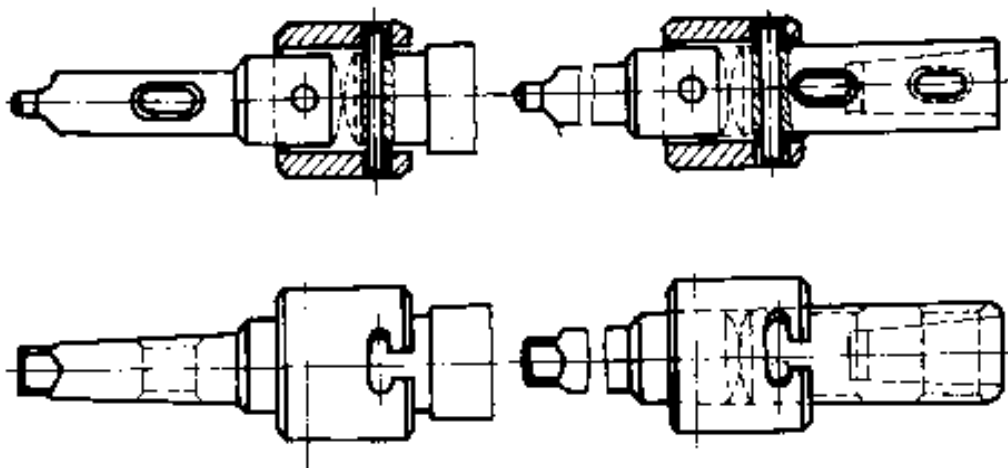


Fig.2.12.

Ca și în cazul burghierii și aici par anumite cauze care duc la obținerea unei supralărgiri a alezajului. Aceste cauze sunt:

- folosirea prinderii rigide a alezorului
- mărimea necorespunzătoare a adaosului de prelucrare sau neuniformitatea lui (fie ambele în același timp)
- lipsa coaxialității axei alezorului cu axa alezajului care trebuie prelucrat.
- bătaia alezorului sau a arborelui principal
- ascuțirea neîngrijită a sculei
- starea dinților și a fațetelor de ghidare (uzuri, rugozitate necorespunzătoare, deformări, etc...)
- utilizarea unui regim de așchiere necorespunzător
- depuneri (aderențe) de material pe tăiș
- răcire-ungere (neadecvată) regimului de așchiere ales.
- imprecizia mașinii-unelte la mersul în gol
- erorile dimensionale ale alezorului (în cazul când ele apar prin însăși execuția sculei)
- duritatea variabilă a materialului

Adaosul de prelucrare în vederea alezării se poate lua orientativ

astfel:
$$a = \frac{1}{100} D \quad (\text{mm}) \quad (2.11.)$$

unde D(mm) - diametrul ce urmează a fi alezat

În cazul unui adaos prea mic așchiile nu se degajă, ci apare fenomenul tasării - ecrusării materialului, ceea ce duce la uzuri premature a sculei și compromiterea suprafeței prelucrate.

Și alezoarele pot fi ghidate cu bucșe de conducere (în vederea măririi preciziei). În vederea obținerii unei precizii înalte se folosește

metoda dublei alezări (de degroșare și apoi de finisare), uneori se recomandă ca alezarea de finisare să se facă manual (dar nu totdeauna aceasta e posibilă). Alezarea manuală asigură o precizie dimensională conform treptei a 6-a (ISO), evitându-se astfel supralărgirea alezajului. Alezarea fiind o operație costisitoare, trebuie recomandată în spirit tehnologic (de exemplu, la diametre mici, sau unde nu pot fi folosite alte procedee).

În mod obișnuit, prin burghiere, lărgire și alezare, în mod obișnuit se prelucrează alezaje până la 50 mm. Pentru dimensiuni mai mari se pot folosi alezoare reglabile sau alezarea cu cuțite. Se știe faptul, că din punct de vedere constructiv alezoarele pot fi dintr-o bucată sau cu dinți demontabili (amovibili), nereglabile sau reglabile la dimensiune.

În fig.2.13. se prezintă un alezor cu dinți demontabili (pentru dimensiuni între 40-100 mm, chiar și mai mari de 100 mm).

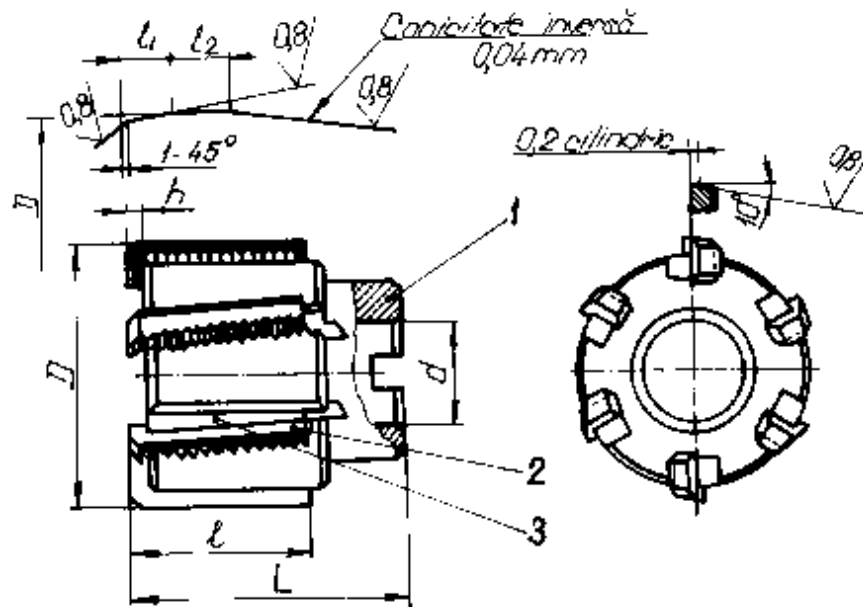


Fig.2.13.

1 - corpul sculei, 2- dinții așchietori, 3 - penele conice pentru fixarea dinților zimțați.

Avantajul tehnico-economic al lor este:

- numai dinții așchietori sunt executați din materiale costisitoare (oțeluri speciale)
- dinții pot fi realizați (forjați) în bune condiții, iar pastilele din carburi metalice pot avea o repartizare uniformă (pe direcțiile dorite).
- dinții se pot regla la dimensiune după uzură, respectiv după reascuțire.

Totuși, ca formă constructivă mai adecvată a alezului folosit pentru diametre mai mari decât 100mm ($D > 100\text{mm}$), este cea prezentată în fig.2.14.

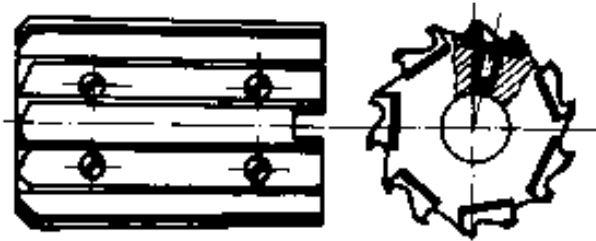


Fig.2.14.

În acest caz, dinți (fixați cu șuruburi) pot fi reglați radial cu ajutorul unor adaosuri aplicate sub ei.

Pentru prelucrarea diametrelor mai

mari (până la 600 mm) se recomandă folosirea alezozelor speciale cu două muchii așchietoare mobile (fig.2.15.).

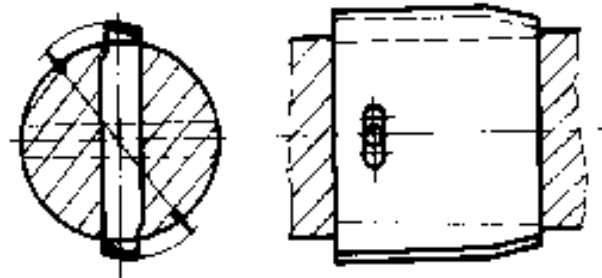


Fig.2.15.

În realitate, cele două tăișuri sunt de fapt aceleași cuțit - lat mobil (autocentrant).

La calculul vitezei de așchiere, atât în cazurile prelucrărilor cu burghie, adâncitoare și alezoare se recomandă următoarele relații:

-pentru viteză:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{z_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \quad (\text{m/min}) \quad (2.12.)$$

unde:

C_v, z_v, m, x_v, y_v sunt constante care depind de condițiile de așchiere

D (mm) - diametrul alezajului

t (mm) - adâncimea de așchiere

S (mm/rot) - avansul de lucru

T (min.) - durabilitatea sculei

Se știe, că particularizând în cazul burghierii, factorul ($t^{x_v} = 1$).

- pentru avansuri:

$$S = C_s \cdot D^{x_s} \quad (\text{mm/rot}) \quad (2.13.)$$

unde:

C_s, x_s - constante ce depind de condițiile de așchiere

- pentru burghie și lărgitoare din oțel rapid $x_s = 0,6$

- pentru alezoare $x_s = 0,7$ (din oțel rapid)

În ceea ce privește durabilitatea sculelor (T) acestea rezultă din condițiile exprimate prin calcul (volumul I. cap.9. pag.117/9.35 respectiv pag 118/9.36.).

Cu ajutor, se poate lua durabilitatea (T), estimată și din tabel (fig.2.16.) (conform lucrării (26) bibliografie vol I.), și care corespund criteriului productivității maxime.

Scula	Prelucrarea oțelului	Prelucrarea fantei
Burghie din oțel rapid	$T=1D$ [min]	$T=1,5 D$ [min]
Lărgitoare din oțel rapid	$T=(2...2,3)D$ [min] pentru oțeluri moi	$T=(2,5...3)D$ [min]
	$T=3D$ [min] pt. oțeluri mai dure	
Lărgitoare cu dinți demontabili cu $D=2,5...80$ mm	$T=(1,3...1,5)D$ [min]	$T=(2,5...3)D$ [min]
Alezoare din oțel rapid	$T= 1,5 D$ [min]	$T=2 D$ [min]

Fig.2.16.

În principiu prelucrările de alezare se pot efectua pe aceleași mașini-unelte ca și prelucrările prin burghiere sau adâncire. În producția de serie mare și masă, utilajele special proiectate - agregatele permit prin echiparea cu dispozitive speciale realizarea alezării în condițiile unei productivități sporite, pe linii automate.

2.5. Prelucrarea prin strunjire a alezajelor

A apărut ca o necesitate, atunci când dimensiunea alezajelor întrece posibilitățile tehnice (constructive și tehnico-economice) ale burghiilor, adâncitoarelor, lărgitoarelor sau alezoarelor. Ca procedeu tehnologic strunjirea alezajelor se poate realiza pe o diversitate de utilaje (strunguri, mașini de frezat și alezat orizontale, mașini de găurit, mașini de frezat universale, strunguri carusel, agregate și linii automate).

Precizia dimensională economică ce se poate obține prin strunjire interioară este încadrată conform treptei 10-a de precizie (ISO). Calitatea (gradul de netezime) a suprafeței este cuprins între: $R_a= 6,5-12,5$ (μm). dar se pot obține și precizii superioare (trepta 9 de precizie), respectiv rugozități de $R_a =1,6 - 3,2$ (μm).

Principalul avantaj al strunjirii interioare îl constituie posibilitatea de a se îmbunătăți precizia de formă și poziție a alezajului prelucrat (coaxialitatea, concentricitatea, perpendicularitatea axei cu suprafețele frontale de capăt a alezajelor).

Un alt avantaj este gabaritul mare a pieselor (în cazul strungurilor tip carusel), respectiv a alezajelor prelucrate, realizându-se între timp și condițiile de precizie cerute (inclusiv calitatea suprafețelor).

Principalul procedeu de strunjire interioară este cel cu cuțite (pentru interior), prelucrarea ce se efectuează pe strung normal (fig.2.17./A), sau cu mai multe cuțite pe strunguri tip carusel (fig.2.17./B).

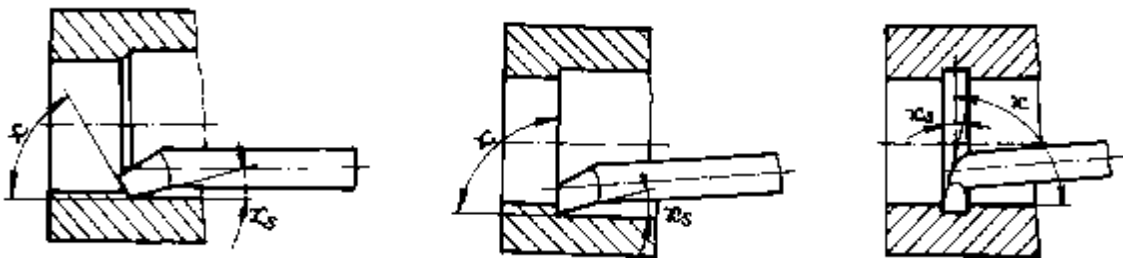


Fig.2.17/A

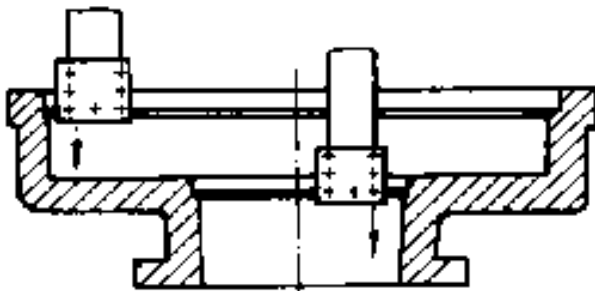


Fig.2.17/B

Trebuie să se țină seama de faptul că sistemul de prindere (susținere) al cuțitului are o rigiditate comparativ mai scăzută decât la prelucrările exterioare, afectând precizia de prelucrare.

În scopul atingerii (asigurării) unei precizii dorite (mai bune) se prevăd o serie de măsuri tehnologice de rigidizare (fig.2.18. a,b,c,d).

Astfel schema 2.18./a se recomandă la strunjirea alezajelor scurte. Mărimea în lungime a brațului portsculă ($l+K$) ar putea duce la o deformare a alezajului (tendință de conicizare).

În schema 2.18./b rigidizarea este realizată cu sistem în mișcare; aceeași turație ca a piesei de prelucrat.

Schema 2.18./c mărește considerabil rigiditatea sistemului (mai ales a barei de strunjit). De asemenea, se asigură o bună coaxialitate a barei de strunjit cu arborele principal și piesa (prin centrare în bucșă), asigurând o precizie ridicată a prelucrării. Schema 2.18./d asigură o

rigiditate corespunzătoare prin însăși faptul că piesa este scurtă, și deci brațul aflat în consolă a sculei este adaptat în consecință.

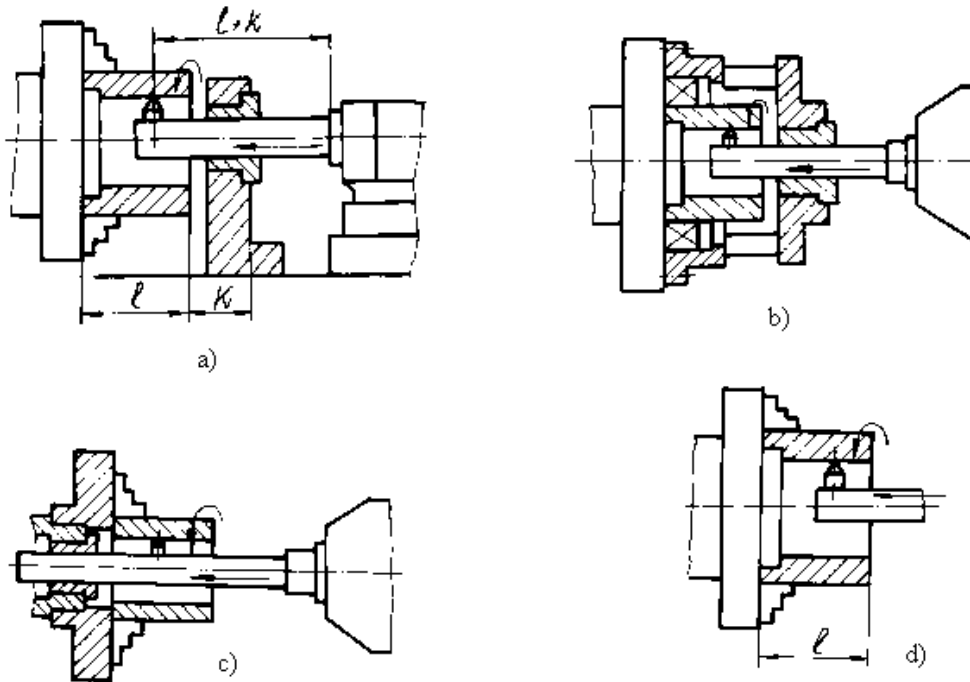


Fig.2.18.

O altă variantă o constituie prelucrarea cu piesă fixă și scula aflată în mișcare de rotație, situație întâlnită des în cazul mașinilor de alezat și frezat orizontal (fig.2.19.). Rigidizarea se face prin sistemul rezemării la capete a barei de strunjit, putându-se prelucra alezaje lungi, în trepte, etc

În fig.2.19. se prezintă un sistem în care rigidizarea e bine asigurată, cu condiția ca scula să execute mișcarea de avans.

Prelucrarea fără rigidizare ar duce la apariția (fig.2.21.) certă a unor erori proporționale cu săgeata barei de strunjt.

Această prindere în consolă ar duce la o valoare calculabilă a săgeții:

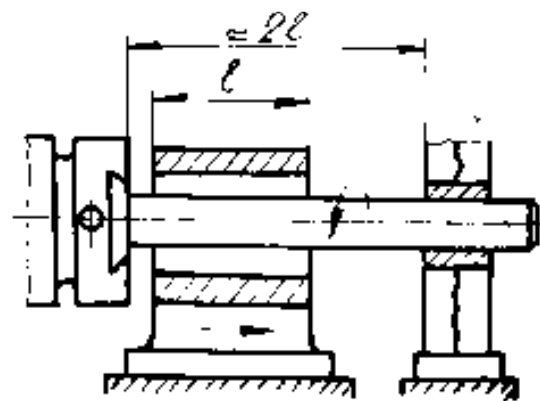


Fig.2.19

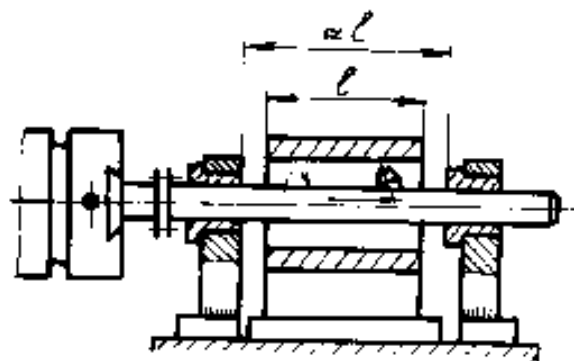


Fig.2.20.

$$f = \frac{F_z \cdot l^3}{3EI_z} \quad (2.14.)$$

unde "l" este lungimea în consolă a aplicării componentei principale F_z a forței de așchiere.

Tot erori de formă și poziție se pot obține și în următoarele cazuri (prezentate sintetic în fig.2.22/a,b,c).

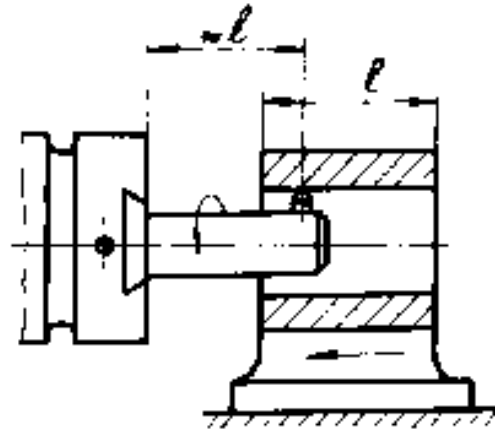


Fig.2.21.

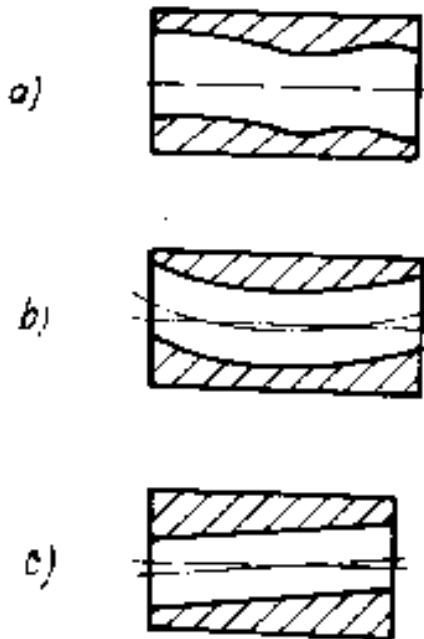


Fig.2.22.

a) - cazul când diametrul alezajului nu este constant de-a lungul axei, deși axa găurii preliminară este o dreaptă.

b) - situația când axa alezajului preliminar este curbilinie

c) - axa alezajului preliminar este dreaptă, dar neparalelă cu axa de rotație (apare fenomenul de copiere)

Se poate menționa faptul, că forma alezajului poate rezulta deformat (eliptic) și în situația în care direcția avansului piesei nu coincide cu axa de

rotație a barei portcuțit (fig.2.23.).

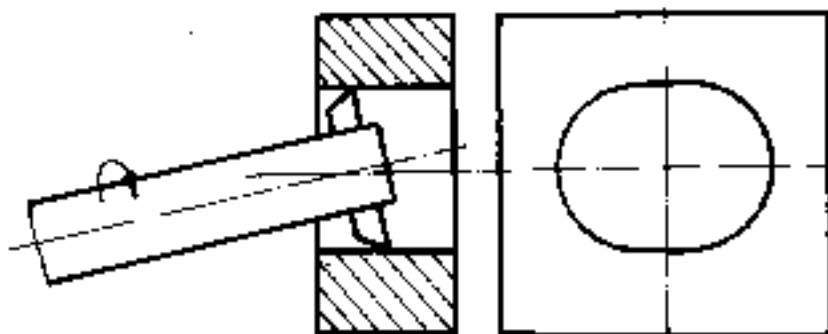


Fig.2.23.

Ca avantaj general îl prezintă posibilitatea de strunjire interioară cu rotația piesei și avansul sculei, privitor la ridicarea gradului de precizie al prelucrării (abatere de formă mai redusă și mai ușor de realizat).

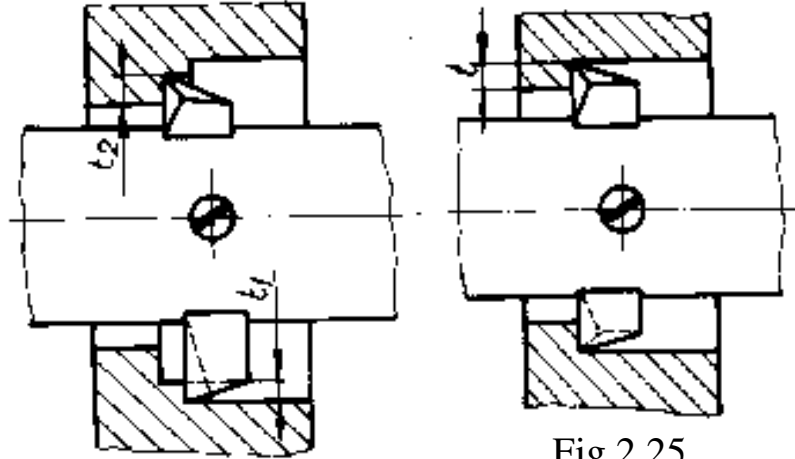


Fig.2.24.

Fig.2.25.

În vederea creșterii productivității la strunjire interioară cu bară de strunjit se recomandă folosirea montajelor cu multi-cuțite.

În fig.2.24. se observă repartizarea adaosului de prelucrare pe fiecare cuțit al montajului.

Așa cum se observă din fig.2.25., adaosul este uniform repartizat dar pe trei cuțite, permițând prelucrarea cu avansuri mai mari (duble sau triple).

Este firesc că aici trebuie urmărită echilibrarea forțelor de așchiere. Se folosesc și aici sisteme de ghidare (mai ales în cazul finisării).

Referitor la reglarea cuțitelor în barele de strunjit, acestea (indiferent de tipul mașinii- unelte folosite) pot fi:

- reglarea cu ajutorul micrometrului (fig.2.26.)
- reglarea cu folosirea ceasului comparator (fig.2.27.)

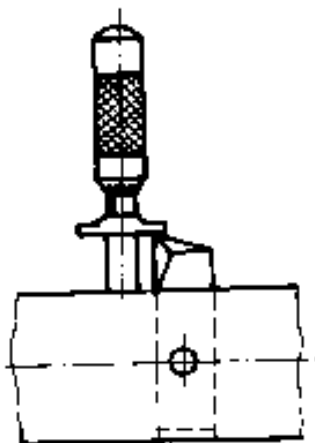


Fig.2.26.

- reglarea cu ajutorul calibrelor (fig.2.28/a,b,c)

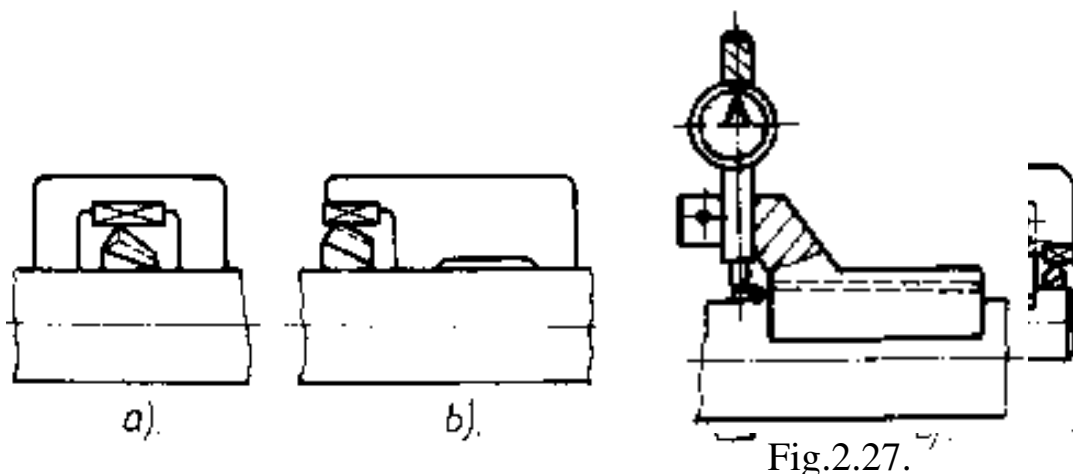


Fig.2.28.

În vederea obținerii unei reglări mai precise (mai fine) a cuțitelor în barele de strunjit se recomandă fixarea oblică (înclinată față de axa de rotație) a sculelor. Acest lucru se justifică (așa cum s-a amintit în vol.I) și prin reducerea efectului negativ al deformație termice a sculei.

Totodată, cu scopul reducerii efectului vibrațiilor asupra calității alezajului rezultat prin strunjire interioară, se recomandă fixarea cuțitelor în bară deasupra axei sale de rotație(a barei).

2.6. Prelucrarea prin broșare a alezajelor

Această prelucrare este deosebit de productivă, utilizată în producția de serie mare și masă, datorită avantajului principal:-asigurarea unei înalte precizii de prelucrare.

Precizia dimensională: treapta 7-9 (ISO)

Precizia calitativă (rugozitatea): $R_a = 0,4; 1,6; 3,2$ (μm)

Uneori broșarea alezajelor este justificată și în producția de serie mică (la alezaje profilate). Adaosul de prelucrare este repartizat pe dinții așchietori, cu supraînălțare, ultimii dinți fiind de calibrare.

Timpul de prelucrare (de bază) este scurt, iar timpul auxiliar de asemenea mic, nefiind necesare și reglări complicate. Comparând cu precedentele procedee de așchiere, broșarea alezajelor asigură cea mai înaltă productivitate. La alezajele cu secțiune circulară, dar mai ales profilată, acest procedeu este cel mai indicat. Mașinile-unelte sunt specializate (mașini de broșat), cu rigiditate mare, relativ simple, ușor de manevrat. Scula, broșa propriu-zisă este destul de costisitoare, justificată la multe piese (cca. 2000 buc.), însă suportând un număr mare de reascuțiri (10-15).

Precizia foarte bună este justificată de rigiditatea înaltă a sistemului tehnologic.

Regimurile de aşchiere:

- viteza de broşare $v=3 - 12$ (m/min)

uneori se preconizează broşarea rapidă (modernă) la care $v^* \leq 90$ (m/min)

Supraînălţirea pe dinte:

- în mod normal: 0,06-0,2 (mm/dinte)

- în mod excepţional: 1- 1,5 (mm-dinte)

În cazul broşelor de tasare folosite mai ales la prelucrarea aliajelor de aluminiu (se vede şi într-o lucrare de laborator T.F.M.), realizează o precizie conform treptei a 6-a (ISO), respectiv o rugozitate sub $0,4 \mu\text{m}$ (R_a), iar duritatea creşte cu cca. 30%. Forma şi dimensiunile broşei limitează lungimea alezajului, golurile dintre dinţi trebuind să fie suficient de mari pentru depozitarea aşchiilor. Din motive de evitare a deformaţiilor în timpul tratamentelor termice se recomandă ca lungimea sculei (broşei) să fie cât mai mic posibil

($l \leq 1500$ mm).

Tehnologic, în vederea creşterii productivităţii procesului de aşchiere prin broşare, se pot prelucra (broşa) mai multe piese, în pachet. Este foarte importantă orientarea (aşezarea, centrarea, fixarea) piesei în dispozitivul de prindere în timpul broşării (vezi cursul de C.E.D.). Acest

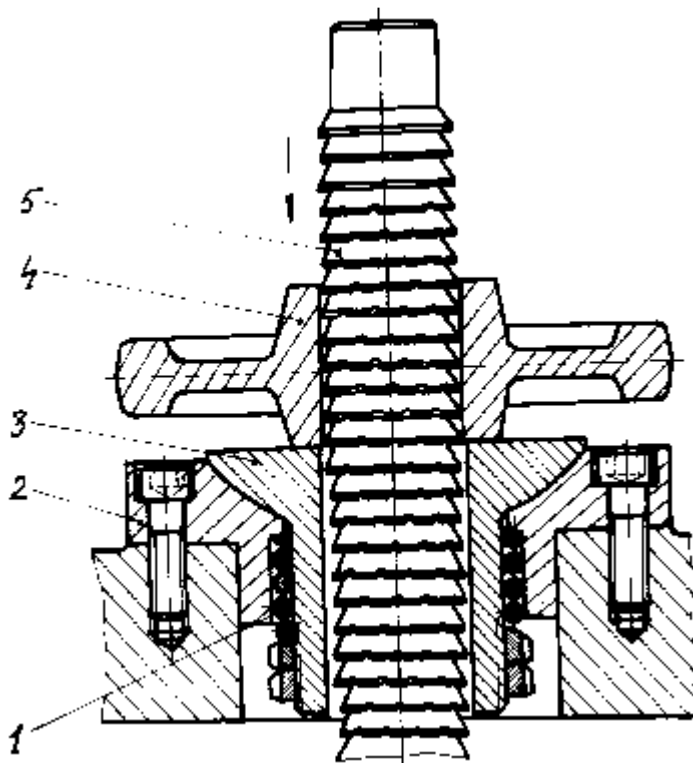


Fig.2.29.

lucru implică o atentă prelucrare a bazelor tehnologice principale (suprafețe frontale, marginale, etc.). Uneori, condiția de perpendicularitate se realizează prin dispozitive de broșat cu reazeme sferice, așa cum este reperul 3 al dispozitivului din fig.2.29. pe care se reazămă semifabricatul nr.4. în vederea broșării (cu scula 5) a alezajului principal cilindric, cu secțiune circulară.

Broșarea, chiar în cazul de față (fig.2.29.) nu poate asigura (sau îmbunătăți) poziția reciprocă a suprafețelor. De aceea, în vederea asigurării concentricității alezajului interior (reper 4) față de suprafața exterioară a roții de transmisie din figură, trebuie realizată în prealabil (prin turnare, matrițare sau forjare) aceste suprafețe, urmând să prelucrăm prima dată baza tehnologică principală, iar după aceea, în funcție de precizia alezajului obținut să trecem la prelucrarea diametrului exterior, folosind orientarea și fixarea pe suprafața precedent obținută (considerată ca bază tehnologică de referință și de măsurare).

Tot din punct de vedere al aspectului tehnologic, broșarea alezajelor dă bune rezultate la prelucrarea unor materiale (aliaje), la care alte procedee nu dau rezultate bune. Aceste aliaje sunt cele de tip feroase moi și cele neferoase. Privitor la oțeluri, acestea se pot broșa până la o duritate de $HB=440$ (daN/cm^2), folosind broșe (sucle) din oțeluri speciale, utilizându-se viteze mici de așchiere.

2.7. Prelucrarea prin rectificare a alezajelor

Necesitatea de a obține un grad de precizie superior precum și un grad de netezime mai înalt a făcut oportună prelucrarea de rectificare interioară a alezajelor. Această prelucrare este mai dificilă din cauza accesului sculei, decât rectificarea exterioară (a arborilor).

În consecință, trebuie ca diametrul sculei (discului de rectificat) să se coreleze cu cel al alezajului. Astfel:

$$d=(0,7 - 0,9) D$$

$d(\text{mm})$ - diametrul discului de rectificat

Restricția de mai sus (2.15.) are ca o consecință imediată o uzură mai rapidă a discului, ceea ce impune dese corecturi ale sculei (discului de rectificat). Din punct de vedere tehnologic viteza de așchiere a discului de rectificat trebuie să fie la rectificarea interioară în jurul valorii: $v= 25 - 30$ (m/s). Luând în vedere restricția de mai sus, acest fapt este greu de realizat, urmând să se imprime discului o turație mai mare (decât la rectificarea exterioară). Astfel, în acționarea sculelor se folosesc deseori turbine pneumatice, cu atât mai mult, cu cât în cazul rectificării rapide se precinizează atingerea unor viteze superioare de $v= 50 - 60$ (m/s).

Consecințele apar; ele sunt de natura uzurii (mai accentuate și mai rapide) a discului de rectificat, precum și al productivității relativ scăzute. Nu este de neglijat nici rigiditatea scăzută a sistemului de prindere a

discului de rectificat, a cărui săgeată (deformație) în timpul aşchierii poate introduce erori sau compromite precizia de prelucrare.

Din punct de vedere tehnologic al preciziei de prelucrare, prin acest procedeu se pot obține trepte de precizie: 7 - 9 (ISO)

$$\text{rugozități: } \sqrt[0.4]{} - \sqrt[1.6]{} - \sqrt[3.2]{} \quad (R_a) - (\mu\text{m})$$

Ca regulă generală, rectificarea interioară se poate recomanda în următoarele cazuri:

- la prelucrarea de finisare a materialelor (alezajelor) tratate termic (HRC>40)
- la finisarea materialelor cu duritate variabilă pe porțiuni
- la finisarea alezajelor cu discontinuități (în trepte, întrerupte, goluri, etc...)
- la finisarea alezajelor scurte înfundate
- la finisarea suprafețelor de diametre nestandardizate unde alezarea nu-și are rostul
- la prelucrarea în fază de finisare a alezajelor cu diametre mari sau foarte mari
- la finisarea pieselor pretențioase care pretind o înaltă precizie de prelucrare (având și un adaos relativ mic de prelucrat).

Rectificarea poate îmbunătăți substanțial atât precizia de formă cât și de poziție a alezajelor. Trebuie avută grijă la rectificarea materialelor neferoase (așa cum am subliniat și la arbori), apărând fenomenul de îmbâcsire a discului abraziv (în asemenea cazuri ori se strunjesc spre finisare, ori se alezează).

Datorită existenței unor diverse tipodimensiuni de mașini-universale de rectificat, procedeu poate fi folosit în orice tip de producție existent (unicat-prototip, serie sau masă).

Rectificarea alezajelor, procedee:

- a) - semifabricatul aflat în mișcare de rotație și discul de rectificat de asemenea
- b) - discul de rectificat se rotește în timp ce piesa stă fix (în dispozitiv).

Cazul (a) se întâlnește la rectificarea alezajelor pieselor de dimensiuni prea mari și în general a pieselor de revoluție (simetrice axial).

Sistemul (b), având piesa fixă, se întâlnește la rectificarea alezajelor în piese de dimensiuni mari sau la piese având forme neregulate (gen carcare), la care o eventuală imprimare a mișcării de

rotație ar duce la apariția unor forțe centrifuge deloc neglijabile (respectiv erori).

Revenind la primul caz (a), rectificarea cu piesa aflată în mișcare de rotație se poate efectua:

- cu avans longitudinal (din mai multe treceri) S_l efectuat de către piesă sau sculă;

- cu avans radial (realizat de către discul abraziv)

Acest sistem se poate utiliza la alezaje străpunse (fig.2.30.)

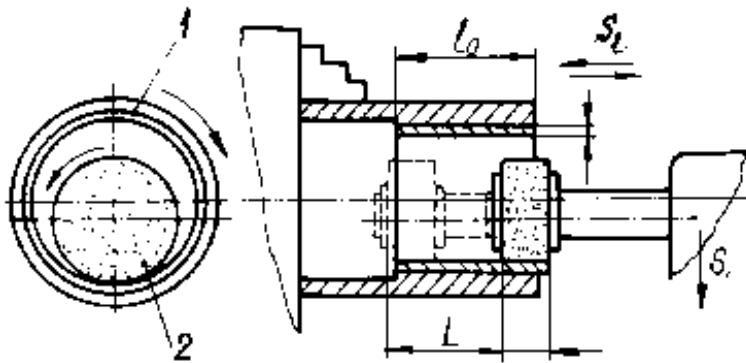


Fig.2.30.

Dacă alezajele sunt scurte, netede sau profilate, se poate rectifica fără avans longitudinal, numai cu avans transversal.

În al doilea caz (b) când piesa (2) nu se poate roti (fig.2.31.) atunci discul de

rectificat (1) trebuie să realizeze două mișcări: (I) - mișcarea de rotație în jurul axei proprii (turația sculei) și (II) - o mișcare de rotație planetară în jurul alezajului de prelucrat.

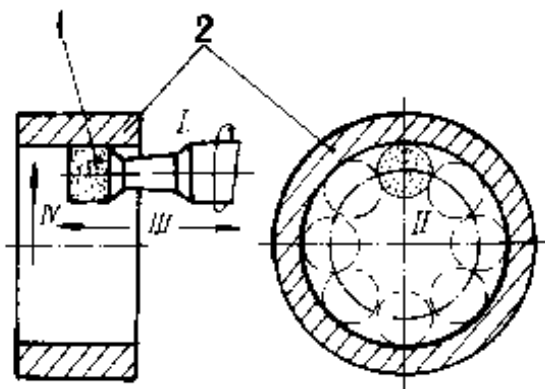


Fig.2.31.

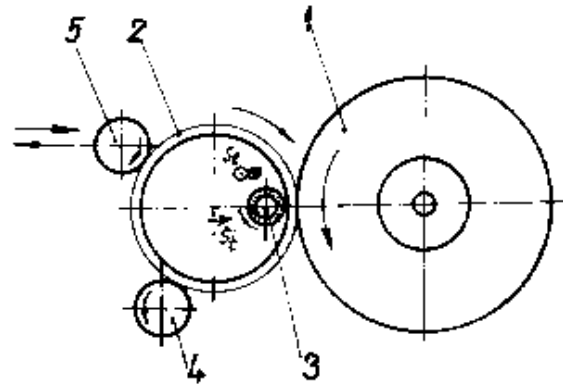


Fig.2.32.

Avansul axial (III) poate fi realizat fie de discul (1), fie de piesa (2), iar cel radial (IV) de către discul de rectificat (1).

Există și un sistem de rectificare zis "fără vârfuri" (fig.2.32.), procedeul urmărind finisarea interiorului pieselor de tip bucșe sau inele cu pereți subțiri (pentru a evita deformările)

Piesa (2) se sprijină pe o rolă de razem (4), iar o altă rolă (5) apasă piesa (2) către discul de antrenare (1). Condiția impusă este ca axele celor două role (4) și (5) să fie paralele cu cel al discului de rectificat (3) și toate laolaltă, paralele cu axa piesei care se prelucrează.

Discul de rectificat (3) execută atât mișcarea de avans longitudinal (S_l) cât și cel transversal (S_t)

Un lucru deosebit de important, cu atât mai strânger necesar la rectificarea interioară, este răcirea suprafețelor aflate în contact (piesă - disc abraziv) cu emulsie.

Referitor la erorile care pot apare cu ocazia (sau în urma) rectificării interioare, amintim:

- abaterile de la cilindricitate (manifestate prin: conicitate, forma de butoi, curbarea, etc...)

Aceste abateri provin în majoritatea cazurilor de la o rigiditate insuficientă a sistemului tehnologic, datorate în principal încovoierii axului portpiesă.

În fig.2.33. se arată realizarea poziție înclinată a piesei (axului semifabricatului) în raport cu discul de rectificat.

Acest procedeu de aplică la rectificarea suprafețelor interioare conice (alezaje conice).

Referitor la erorile care pot apare aici se menționează următorul concept obligatoru de respectat, și anume:

- reglarea discului de rectificat la centru, adică axele piesei (O) și discului (O_1) să fie situate în același plan orizontal.

În fig.2.34. se ilustrează cazul când totuși există o dezaxare " δ " între cele două axe, având ca o consecință imediată coborârea punctului de contact (A) dintre piesă și disc (locul așchierii propriu zise), rezultând în locul unei suprafețe tronconice o suprafață hiperboloidală (de rotație).

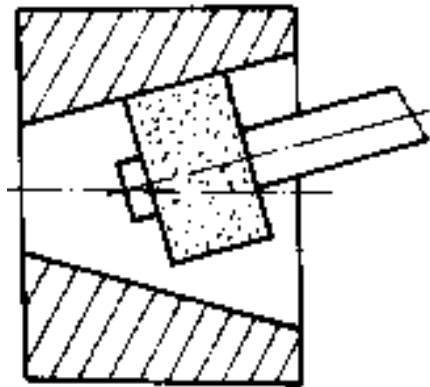


Fig.2.33.

Cele afirmate se pot demonstra matematic în modul următor:

observând asemănarea triunghiurilor:

OCO_1 și OBA ($\Delta OCO_1 \approx \Delta OBA$)

$$\text{rezultă: } \frac{\delta}{h} = \frac{R-r}{R} \quad (2.16.)$$

În baza relației (2.15.) putem lua

$$r = 0,8 R \quad (2.17.)$$

$$\text{deci } h = 5 \delta \quad (2.18.)$$

Tot în ΔOBA se poate scrie:

$$R^2 - OB^2 = h^2 \quad (2.19.)$$

Raportat la lungimea porțiunii (l) rectificată, corespunzătoare poziției punctului A, generatoarea fiind înclinată cu unghiul α , se poate scrie:

$$OB = l \cdot \text{tg } \alpha \quad (2.20.)$$

Dacă simplificăm relația (2.19.) cu h^2 obținem:

$$\frac{R^2}{h^2} - \frac{OB^2}{h^2} = 1 \quad (2.21.)$$

În această relație (2.21), înlocuind pe $h=5\delta$, respectiv $OB=l \text{ tg } \alpha^\circ$, rezultă:

$$\frac{R^2}{h^2} - \frac{l^2}{25\delta^2 \text{ctg}^2 \alpha} = 1 \quad (2.22.)$$

Care este tocmai ecuația unei hiperbole (în plan).

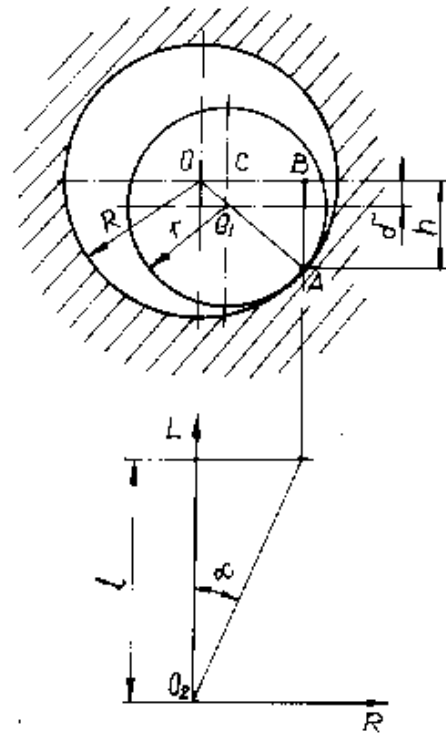


Fig.2.34.

2.8.Prelucrări de netezire (superfinisare) a alezajelor

Scopul principal al acestor tipuri de prelucrări este în primul rând de a asigura interiorul alezajelor un grad de netezime cât mai superior, respectiv o rugozitate cât mai bună.

Menționăm, că și precizia dimensională (toleranța, clasa sau trapta de precizie) este de asemenea scopul urmărit. Referitor la precizia de poziție, aceasta nu se poate realiza, dat fiind adaosul mic de prelucrare lăsat pentru netezire (sau superfinisare).

Principalele procedee tehnologice amintite sunt:

- strunjirea interioară de netezire
- rectificarea interioară de netezire
- rodarea alezajelor

- honuirea alezajelor

2.8.1. Strunjirea interioară de netezire

Datorită fenomenului de îmbâcsire a sculelor abrazive în cazul materialelor zise "moi" (alumiuniul și aliajele lui, bronzurile, alama, etc...), rectificarea abrazivă a acestor aliaje nu a dat rezultate bune.

În aceste cazuri, mai ales la diametre mici, se preconizează utilizarea strunjirii fine (de netezire) a alezajelor.

Se poate obține astfel o precizie superioară alezării și chiar broșării (în afara broșării de tasare, încadrate în terptele 6-7 (ISO).

Netezimea suprafeței: $R_a = 0,4 - 0,8$ (μm).

Este necesar însă respectarea cu strictețe a condițiilor tehnologice de așchiere, al regimurilor:

- viteze cât mai mari. și avansuri cât mai mici ($s=0,02-0,05$ mm/rot)

- mărimea adaosului de prelucrare cât mai uniformă

De asemenea, se subînțelege importanța ce trebuie acordată operațiilor precedente.

- adâncimea de așchiere (t) se recomandă să fie cuprinsă între $t=0,2-0,5$ (mm)

Privitor la rugozitatea dorită, este necesară realizarea geometriei cuțitului cât mai adecvată, în funcție de calitățile fizico-mecanice ale materialului de prelucrat (se recomandă strunjirea cu unghiuri de degajare negative $\chi^\circ < 0$).

2.8.2. Rectificarea interioară de netezire

Se aplică la prelucrările pieselor tratate termic, la durități mari.

Precizia obținută: dimensional tr. 6-7 (ISO)

calitativ: $R_a = 0,1 - 0,2$ (μm)

Trebuie respectate următoarele reguli:

- corecta alegere a granulației discului abraziv

- utilizarea unui regim adecvat de așchiere (chiar folosind rectificarea rapidă)

- asigurarea unei răciri foarte intense, corespunzătoare

- ascuțirea prealabilă și periodică a discului de rectificat

- asigurarea unui număr de treceri corespunzător fără avans transversal (doar de scânteiere), folosind propria elasticitate a sistemului.

Mai trebuie neapărat introdus spre utilizare un sistem de compensare a erorilor.

Acest procedeu (destul de costisitor și puțin productiv) trebuie aplicat numai în cazul în care se justifică din punct de vedere tehnico-economic.

2.8.3. Rodarea alezajelor

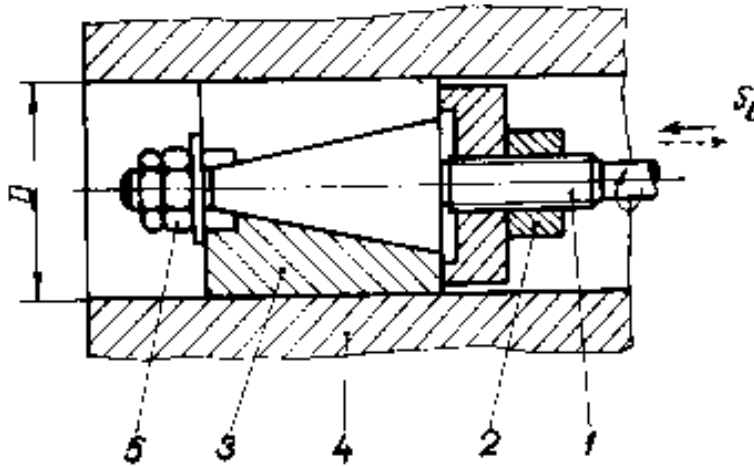


Fig.2.35.

Procedeul tehnologic mai poartă numele și de lepuit. El se realizează cu ajutorul unei paste de lepuit-rodât, ce se aplică pe suprafața unei scule. Pasta abrazivă este alcătuită dintr-o pulbere foarte fină (oxid de aluminiu, oxid de crom, oxid de fier sau carbură de fier). Această

pastă este amestecată cu o așa-zisă vaselină de rodât specială (sau *seu*).

În fig.2.35. se prezintă un astfel de dispozitiv-sculă de rodât-lepuit.

Porțiunea de contact cu alezajul D, este bucșa elastică (3) confecționată din fontă, având suprafețele de lucru foarte netede, cu diametrul exterior (de contact) situat la o dimensiune mai mică cu 0,01-0,02 mm decât alezajul de prelucrat.

Reglarea-ajustarea se face cu ajutorul dornului conic (1). Astfel piesa (2) fixează poziția celor două piese, împiedicând urcarea bucșei (3) pe dornul conic (1) în timpul prelucrării. Scula execută o mișcare de rotație, iar mișcarea de avans înainte și înapoi (cursă dublă) se execută manual cu ajutorul unei scule (gen clește) auxiliare.

- Precizia dimensională obținută:

treapta 6-7 (ISO)

- Precizia calitativă (gradul de netezime):

rugozități între $R_a = 0,1 - 0,025$ (μm)

Se recomandă ca adaosul de prelucrare să fie de aproximativ 0,005-0,025(mm) pentru gama de diametre cuprinse între: $D=3-40$ (mm).

- Viteza de așchiere recomandată: $v=6 - 30$ (m-min).

În vederea obținerii preciziei dorite este necesar ca alezajul să fie pregătit în prealabil în cadrul unei suite de operații adecvate (chiar finisat anterior).

Fiind o operație puțin productivă, rodarea-lepuirea se aplică îndeosebi în producția de prototipuri sau în cea individuală și serie mică.

2.8.4. Honuirea alezajelor

Honuirea este o operație de finisare a alezajelor, des întâlnită în industria constructoare de mașini. Este utilizată la netezirea cămeșilor de cilindru la motoarele cu ardere internă, la cilindrii de forță (presiune) a utilajelor hidraulice, etc....

Scula specială cu care se efectuează honuirea este așa-numitul "cap de honuit", dispozitiv care fiind prevăzut cu un număr de 3-12 bare abrazive, în funcție de diametrul (D) al alezajului, permite posibilitatea de reglare a "ajustajului", respectiv deplasarea rapidă a barelor, conform cerințelor tehnologice (de precizie dimensională și grad de netezime a suprafeței).

Un astfel de dispozitiv se vede în fig.2.36. (a,b,c).

Mișcările de așchiere sunt:

- rotație și translație (mișcare elicoidală) a capului de honuit în ambele sensuri, piesa rămânând fixă.

Constructiv, este important ca să se asigure o extensie uniformă a barelor abrazive, astfel ca să realizăm o presiune uniformă pe suprafața totală de lucru, în vederea evitării unei ovalizări ale alezajului.

În momentul când barele abrazive ajung în poziția extremă de desfacere (corespunzătoare diametrului final-maxim al alezajului) scula se oprește automat după câteva mișcări.

Elementele principale ale unui dispozitiv cap de honuit (fig.2.36.a.) sunt:

- (1) - corpul capului de honuit
- (2) - barele (baretele) abrazive
- (3) - piese intermediare (de reglare radială a barelor abrazive)
- (4) - piese conice acționate de tija filetată (8)
- (5) - resort de comprimare
- (6) - suportul (metalic) al barelor abrazive
- (7) - resort (cu rol de menținere de apropiere a barelor abrazive)
- (8) - tijă filetată
- (9) - bare de honuit

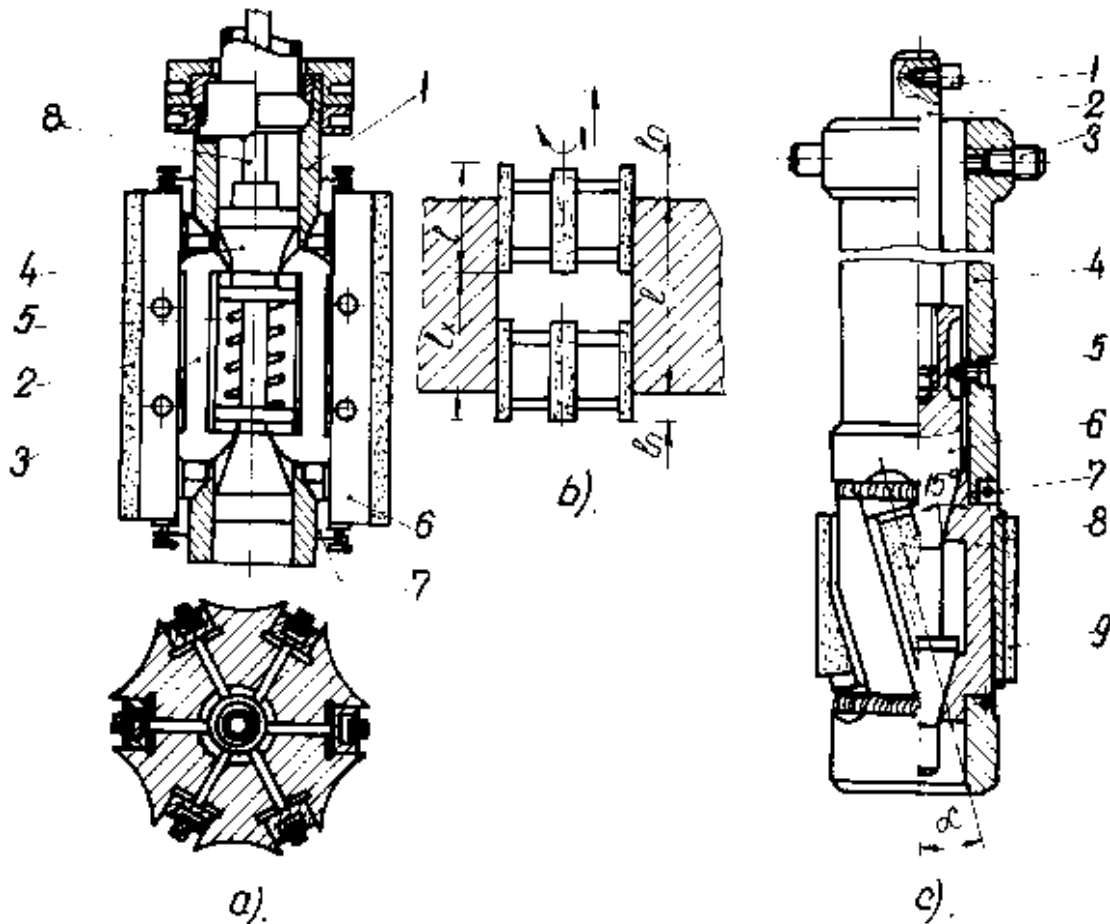


Fig.2.36.

Orientarea și antrenarea sculei se face printr-o zonă de antrenare (coadă de fixare și antrenare), de structură elastică, făcând posibilă autocentrarea.

Menționăm aici, că prin honuire nu rezultă, ca atare, o îmbunătățire a preciziei de poziție.

Parametrii tehnologici ai prelucrării:

- precizia dimensională: treapta 6-7 (ISO)

- rugozitatea (gradul de netezime) a suprafeței: $R_a = 0,1 - 0,025$ (μm)

- prin honuire se urmărește în primul rând îmbunătățirea rugozității suprafețelor și a preciziei de formă, respectiv dimensionale (legat de mărimea adaosului de prelucrare) permis.

Utilajul folosit: -Mașini specializate (de honuit), dar se pot utiliza și alte mașini universale, cum sunt mașinile de găurit, de alezat, strungurile normale, etc.

La alegerea calității barelor trebuie să se țină seama de calitatea materialului prelucrat.

Astfel: - pentru fontă se folosesc are din carbură de siliciu

- pentru oțel se folosesc bare abrazive abrazive din electrocorindon
- liantul poate fi organic sau ceramic
- granulația între 100 și 600
- prelucrarea se face în prezența unui lichid de răcire-ungere cu vâscozitate mică (la prelucrarea oțelului se recomandă un amestec de 90% petrol și 10 % ulei; la prelucrarea fontei petrolul).

Dacă suprafața este în prealabil nitrurată, atunci se folosește o emulsie de 5%. Bronzurile se pot honui uscat sau folosind drept soluție apa.

Întotdeauna se recomandă filtrarea (separarea de așchii) a lichidului de răcire-ungere.

Se subînțelege, că honuirea trebuie precedată de: alezare, broșare, rectificare, etc., deci de o operație anterioară de finisare. Deși este o operație de netezire, totuși honuirea este o operație productivă (alezajul fiind în contact simultan cu mai multe bare abrazive).

Timpul de bază este redus, de asemenea și timpii auxiliari (reglarea, maipularea, etc.). Comparând cu prețul de cost al rectificării, honuirea este chiar mai ieftină (chiar și decât rectificarea fină, rodarea-lepuierea sau strunjirea foarte fină).

Regimul de lucru:

- vitezele mișcării de rotație și translație sunt date orientativ în funcție de materialul de prelucrat în tabelul alăturat (Tabelul I) (fig.2.37.)

Materialul piesei	Viteza [m/min]	
	rotație (v_r)	translația (v_t)
Oțel călit	20...35	5...10
Oțel necălit	45...65	10...15
Fontă bronz	60...75	15...20

Fig.2.37.

Dacă se cunosc vitezele de rotație (v_r) și respectiv cele de translație (v_t) ale capului de honuit se pot calcula turațiile corespunzătoare:

n_1 - turația capului de honuit (rot/min)

n_2 - numărul de curse duble (c.d./min) ale honului (capul de honuit-sculă) adică mișcarea de translație.

astfel rezultă:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v_r}{\pi \cdot D} \quad (\text{rot/min}) \quad (2.23.)$$

$$n_2 = \frac{100 \cdot v_t}{2L} \quad (\text{c.d./min}) \quad (2.24.)$$

unde v_r (m/min) - viteza de rotație
 v_t (m/min) - viteza de translație
 D (mm) - diametrul alezajului prelucrat
 L (mm) - cursa capului de honuit, această cursă se determină astfel:

$$L = l + 2l_1 - l_2 \quad (2.25.)$$

unde: l (mm) - lungimea piesei de prelucrat (de honuit)
 l_1 (mm) - mărimea cu care barele abrazive depășesc lungimea (l) într-un capăt, respectiv în celălalt
 l_2 (mm) - lungimea (efectivă) a barelor abrazive
 Viteza reală de așchiere V_{real} (m/min) se poate deduce astfel:

$$V_{real} = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} \quad (2.26.)$$

În vederea obținerii unei bune calități a suprafeței honuite, este recomandabil ca la începutul fiecărei curse duble noi, capul de honuit să se rotească cu unghiul β° (pentru a evita ca aceeași granulă abrazivă să treacă de mai multe ori pe aceeași traiectorie).

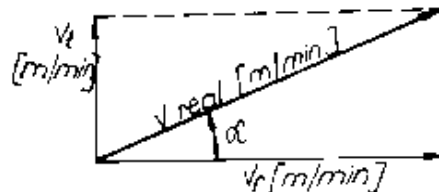


Fig.2.38

Unghiul de încrucișare $2\alpha^\circ$ (fig.2.39.) se va alege în jur de 25° - 30° , putându-se calcula și cu relația:

$$\text{tg } \alpha^\circ = \frac{v_t}{v_r} \quad (2.27.)$$

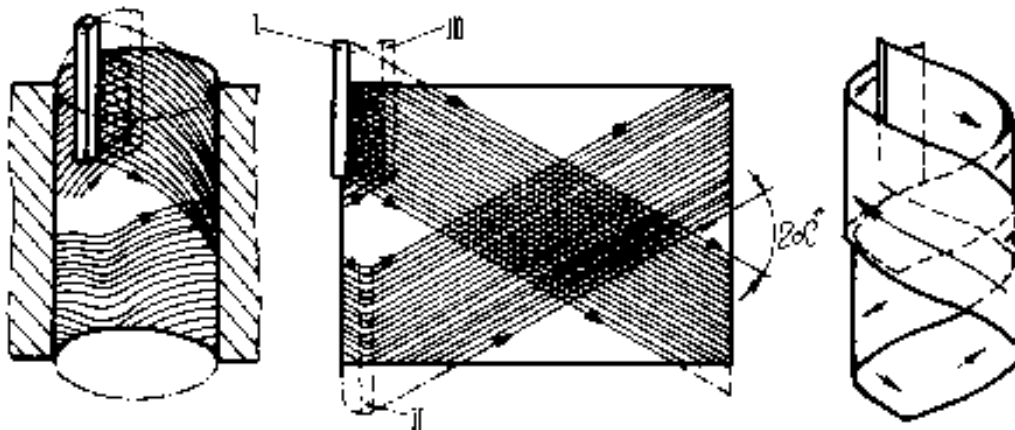


Fig.2.39.

Honuirea se poate face în mai multe trepte, pe mai multe mașini simultan (deci în mai multe operații). Granulația barelor (pe operații) trebuie aleasă astfel:

op. (1) - granulația = 270-400

op. (2) - degroșare și finisare : granulația la :
degroșare: 140-270

finisare: 300-500

Referitor la adaosul de prelucrare la honuire, acesta se recomandă a fi luat din tabelul II (fig.2.40.)

Diametrul alezajului	Adaos de prelucrare [mm]	
	Oțel	Fontă
25...125	0,01...0,04	0,02...0,1
150...300	0,02...0,05	0,08...0,16
300...500	0,04...0,06	0,12...0,20

Fig.2.40.

Presiunea cu care barele abrazive trebuie să apese pe suprafața interioară a alezajului, depinde de durata de lucru și calitatea suprafeței (ce urmează să o obținem). Astfel se recomandă:

$$p = 1-4 \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

Această presiune se realizează cu ajutorul arcurilor care realizează avansul transversal (radial) al barelor.

În momentul actual se preconizează și o imprimare a unei mișcări vibratorii (de amplitudine mică, dar frecvență mare) aplicată capului de honuit, asemănătoare superfinisării arborilor prin vibronetezire.

Ca și celelalte procedee de netezirea alezajelor, și în cazul honuirii, acest procedeu trebuie aplicat judecând tehnico-economic.

2.9. Prelucrarea alezajelor pe mașini cu comandă numerică

Ceea ce este caracteristic acestor prelucrări (pe mașini cu C.N.) apare modalitatea succesivă de executarea fazelor (burghiere, lărgire, alezare, etc.). Astfel masa mașinii aduce pe rând în fața sculei fiecare din alezajele de prelucrat, folosind comanda de poziționare punct cu punct.

Etapile principale ale proiectării proceselor tehnologice pe astfel de mașini sunt:

a.) Stabilirea originii axelor de coordonate

b.) Stabilirea traseului de prelucrare

a.) Originea axelor de coordonate se stabilește în funcție de forma piesei și posibilitățile echipamentului de comandă numerică. Astfel, în fig.2.41/a originea s-a luat în așa fel încât toate cotele să rezulte pozitive, evitând pericolul de a greși semnul coordonatelor programate.

La echipamentele (ECN) care au adresele de poziționare "în oglindă" (G94, G95, G96, G97) apare rațională stabilirea originii axelor în centrul rețelei de găuri O_p (așa cum apare în fig.2.41/b) pentru ca, folosind aceste adrese, programarea să se execute ușor.

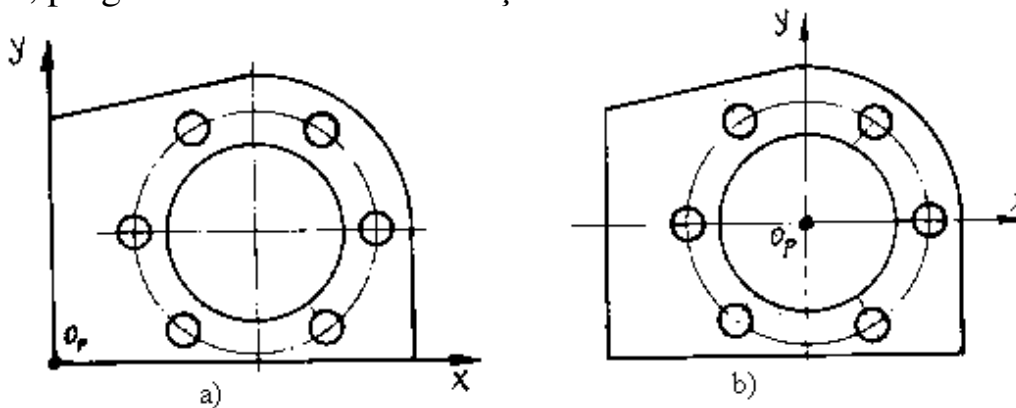


Fig.2.41.

După adaptarea originii este necesară recotarea (în consecință) a rețelei de găuri.

b.) Stabilirea traseului de prelucrare: impune de la început adoptarea unui punct de plecare S (Start point) în care se retrage scula pentru a permite schimbarea semifabricatului. Dacă schimbarea sculei se execută manual, atunci la fiecare schimbare a ei, aceasta trebuie adusă în S, întrucât acolo există pe verticală spațiul necesar scoaterii sculei. Dacă însă mașina unealtă dispune de cap revolver, atunci schimbarea sculei se face prin rotirea acestuia după ce în prealabil capul revolver a fost ridicat suficient pe axa Z, astfel încât scula cea mai lungă să nu depășească planul de siguranță C.P. (Clearance Plan).

În cazul mașinilor care nu au axa Z controlată numeric, cursele pe această axă sunt programate cu came și întrerupători. ca urmare, după poziționarea unui alezaj în planul XY, scula execută un ciclu de prelucrare de prelucrare a alezajului poziționat, ciclu inițializat de adresele G81...G89.

În același bloc se selectează canalul cu came, care devin activ prin programarea unei adrese M. Să dăm un exemplu:

N009 G81 X + 04802 Y + 07950 F24 S12T01 M53 M08

care înseamnă: - ciclul de găurire G81 (avans rapid, avans tehnologic pentru burghiere și retragere rapidă)

- coordonatele X și Y ale centrului găurii (respectiv X= + 04802 ; Y= + 07950)

- avansul cu care se execută prelucrarea: (F24)

- viteza de așchiere (de lucru): S12

- scula (T 01)

- canalul de opritori activi (nr.3): M53

- prelucrarea se execută cu răcire (M08)

Dacă mașinile cu axa Z controlată numeric, atunci același ciclu se prelucrează în trei blocuri:

N 009 G00 G90 X + 04802 Y + 07950 Z + 5300 F99 S12 T01
M08

N010

Z + 48000 F24

N011

Y + 5300 F99

Întrucât la mașinile cu comandă numerică burghiile nu sunt ghidate în bușe de ghidare, în momentul în care intră în material există riscul ca poziția găurii rezultate să fie mult depărtată de poziția programată. Ca urmare, în cazul unor găuri strâns tolerate la poziția reciprocă, programul cuprinde mai întâi centruirea, după care se programează burghierea.

Un exemplu tipic de programare în vederea găuririi pe mașini cu comandă numerică NC, s-a făcut în cadrul Vol.I. cap.12. pentru piesa din fig.12.25. ,pentru o mașină românească GPR 45 NC.

CAPITOLUL 3

3. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A SUPRAFETELOR PLANE

3.1. Generalități

Prelucrarea suprafețelor plane se poate face în următoarele moduri (procedee):

- rabotare și mortezare
- frezare plană
- broșare plană
- rectificare plană
- netezire plană

Pentru a alege corect unul din procedeele anterior amintite, este bine să se analizeze tehnologic între mărimea adaosului de prelucrare și dimensiunile (de gabarit) ale piesei (respectiv ale suprafeței de prelucrat). Acest factor primordial trebuie pus în concordanță cu precizia de prelucrare (toleranța sau treapta de precizie ISO), cu gradul de netezime al suprafeței (rugozitatea), cu volumul fabricației (Nr.buc./an) precum și cu starea și calitatea materialului.

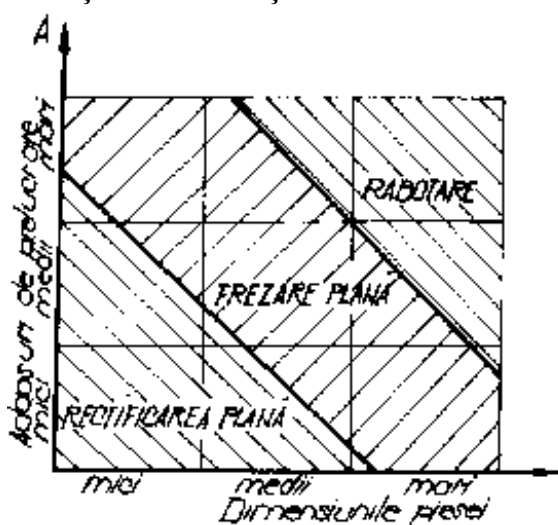


Fig.3.1.

Diagrama opțională: adaosuri de prelucrare (A) funcție de dimensiunile piesei se prezintă în fig.3.1.

3.2. Rabotarea și mortezarea suprafețelor plane

Rabotarea se efectuează pe mașini de rabotat longitudinal (raboteze) sau pe mașini de rabotat transversal (șepinguri).

Pe raboteze, masa având fixată pe ea piesa de prelucrat, execută o mișcare rectilinie-alternativă. Avansul transversal, pe direcția

perpendiculară este realizat de suportul cuțitului și se produce intermitent după fiecare cursă de lucru. Așchierea se execută doar într-un singur sens de mișcare (cursa activă), realizată cu viteza v (fig.3.2.), iar revenirea în poziție inițială se face în gol cu viteza v_g .

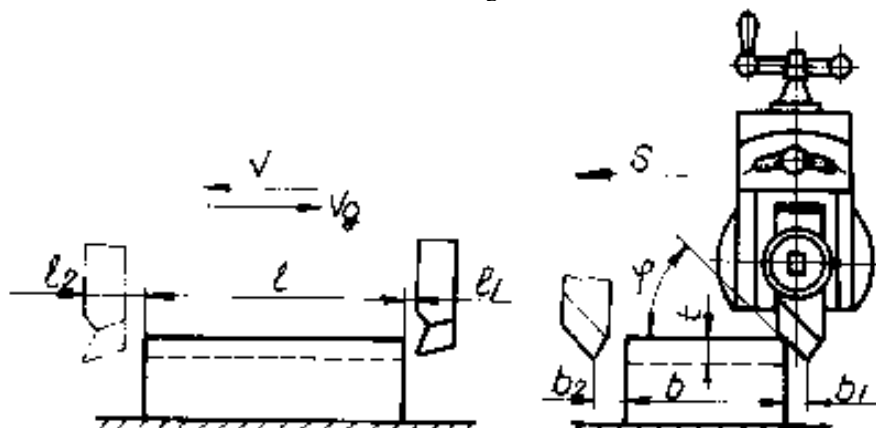


Fig.3.2.

O caracteristică importantă a mașinilor de rabotat este că au mai multe suporturi port-sculă: suporturi centrale și suporturi laterale, care permit prelucrarea simultană a mai multor suprafețe a piesei.

Pe mașini de rabotat transversal (șepinguri), mișcarea rectilinie-alternativă este executată de cuțitul fixat în portcuțitul fixat de pe berbecul mașinii. Piesa de prelucrat fixată pe masa mașinii primește mișcarea de avans transversal care se realizează intermitent, după fiecare cursă dublă a cuțitului.

Rabotezele și șepingurile se folosesc larg la producția individuală și de serie mică, datorită universității lor, simplității deservirii, preciziei suficiente de prelucrare și cortului mai mic în comparație cu mașinile de frezat. Cuțitele de rabotat sunt scule mai simple și mai ieftine în comparație cu frezele. În ce privește domeniul de utilizare, rabotezele se folosesc de obicei pentru prelucrarea pieselor cu suprafețe plane lungi, în timp ce șepingurile se utilizează pentru piese cu dimensiuni mici.

La mortezare, scula (cuțitul) efectuează mișcarea rectilinie-alternativă în plan vertical. Masa mașinii, pe care este fixată piesă (semifabricatul) are mișcarea de avans în plan orizontal.

Procedul, cât și mașinile, se folosesc la producția individuală sau de serie mică (mai ales la mașini grele) în vederea prelucrării canalelor de pană în butucii roților dințate, a executării găurilor profilate (pătrate, dreptunghiulare, etc.), diferite de cele rotunde. Să subliniem, că în cadrul fabricației de serie mare și masă mortezarea este înlocuită prin broșare.

Un exemplu tipic de prelucrare prin mortezare este cel prezentat în fig.3.3.

Figura (3.3.) reprezintă cazul mortezării unui canal de pană. Piesa de mortezat se așează pe masa mașinii, prinsă cu bride sau într-o menghină. Reglarea cuțitului se face după trasaj, după șablon sau prin așchii de probă.

De remarcat, că mortezarea nu poate fi înlocuită cu nici un alt procedeu, dacă se prelucrează suprafețe plane interioare sau exterioare înfundate (fig.3.4.)

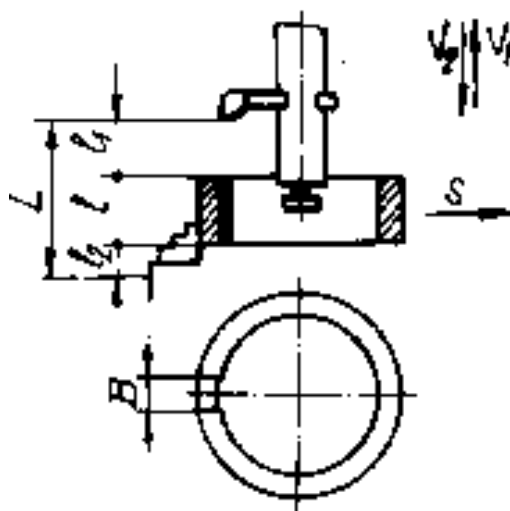


Fig.3.3.

Parametrii regimului de așchiere (rabotare și mortezare):

- adâncimea de așchiere (t)
- avansul transversal (S_t)
- viteza de așchiere (v)

În general rabotarea (datorită adâncimilor mari de așchiere și avansurilor mari de lucru și a vitezelor de așchiere reduse) este o operație de degroșare. Finisarea, de obicei, a suprafețelor prelucrate astfel se face prin alte procedee tehnologice.

Repartizarea adaosurilor de prelucrare se face astfel:

- 90% se repartizează degroșării
- 10% pentru finisare

adâncimea de așchiere (t) se recomandă în felul următor:

- la rabotarea longitudinală:

$$- t \leq (3-4) \text{ mm}$$

- la degroșare
- $S = (0,27-1,61) \text{ mm/c.d.}$ (pentru oțel)
 - $S = (0,45-2,55) \text{ mm/c.d.}$ (pentru fontă)
 - $t \leq 0,5 \text{ mm}$

- la finisare
- $S = (0,50-1,90) \text{ mm/c.d.}$ (pentru oțel)
 - $S = (1,0-10) \text{ mm/c.d.}$ (pentru fontă)

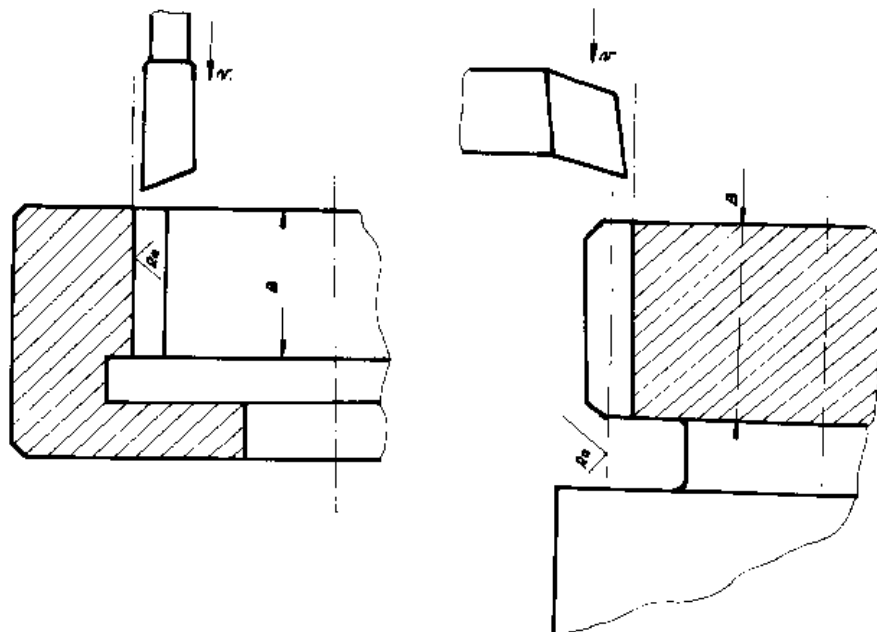


Fig.3.4.

- în cazul rabotării transversale:

la degroșare: idem ca la rabotare

la finisare: $S = (0,3-0,6)$ mm/c.d.

pentru $R_a = 12,5 \mu\text{m}$

$S = (0,1-0,35)$ mm/c.d.

pentru $R_a = 6,3 \mu\text{m}$

- la mortezare:

- $t \leq 8$ mm

la degroșare - $S = (0,3-2,0)$ mm/c.d. (pentru oțel)

- $S = (0,6-2,0)$ mm/c.d. (fontă)

la finisare - $S = (0,7-1,5)$ mm/c.d. (la prelucrarea fontei și oțelului)

pentru $R_a = 12,5 \mu\text{m}$

- $S = (0,25-1,0)$ mm/c.d. (la prelucrarea fontei și oțelului)

pentru $R_a = 6,3 \mu\text{m}$

valorile anterior date se referă la raze de vârf:

$r = (1 - 3)$ mm

Pentru vitezele de așchiere se recomandă valorile:

la degroșare: $v = 15-20$ (m/min)

la finisare: $v = 4-12$ (m/min)

Aceste viteze sunt limitate de apariția unor forțe inerțiale mari a maselor (considerabile) aflate în mișcare cu schimbare bruscă a semnului

(pe aceeași direcție). Mai recent, prin folosirea cuțitelor armate cu carburi metalice se pot atinge viteze de:

$$v = 45-75 \text{ (m/min)}$$

Timpul de bază în cazul rabotării (conform fig.3.2.) va fi:

$$t_b = \frac{b + b_1 + b_2}{n \cdot s} \cdot i \quad (\text{min}) \quad (3.1.)$$

unde: b - lățimea suprafeței de prelucrat (mm)

b_1 - distanța de intrare a cuțitului (mm)

b_2 - distanța de depășire a cuțitului (mm)

i - numărul de treceri

n - numărul de curse duble pe minut

s - avansul (mm/c.d.)

numărul de curse duble pe minut se determină cu relația:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{(1 + m)L} \quad (\text{c.d./min}) \quad (3.2.)$$

unde: v - viteza de așchiere (m/min)

$L = l_1 + l + l_2$ (mm) - cursa de lucru

m - raportul dintre $\frac{v}{v_g}$ (viteza de așchiere)

v_g (viteza de mers în gol)

$$\text{distanța de intrare: } b_1 = \frac{t}{\text{tg } \varphi} + (0,5 \div 2) \quad \text{mm} \quad (3.3.)$$

iar distanța de depășire (ieșire): $b_2 = 2-5$ (mm)

Distanțele de pătrundere și depășire l_1 și l_2 sunt în funcție de lungimea suprafeței de prelucrat, valorile lor fiind recomandate tabelar.

În cazul mortezării, timpul de bază se determină analog (fig.3.3.)

$$t_b = \frac{B}{s \cdot n} \cdot i \quad (\text{mm}) \quad (3.4.)$$

s - avansul transversal (mm/c.d.)

n - numărul de curse duble (c.d./min)

B - lățimea suprafeței plane mortezate (mm)

i - numărul de treceri

Principalul inconvenient al operației de rabotare este productivitatea relativ scăzută (aplicarea vitezelor mici de așchiere și a existenței vitezei de mers în gol).

În vederea măririi productivității la rabotare se aplică următoarele soluții:

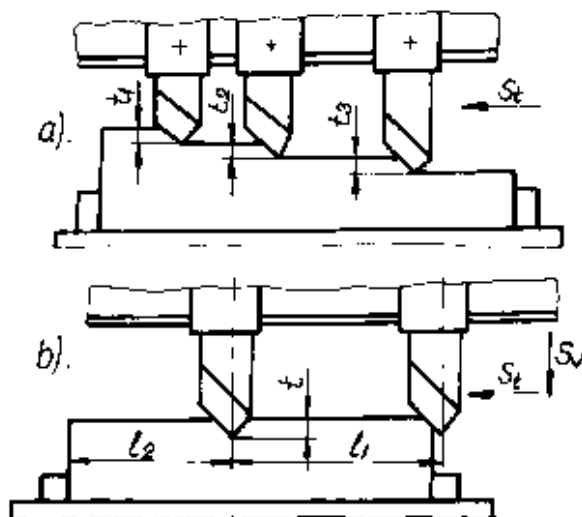


Fig.3.5.

- mărirea coeficientului de utilizare a sculei prin utilizarea divizării în adâncime (3.5./a) sau pe lățime (3.5./b) a adâncimii de așchiere, în cazul adaosurilor mari de prelucrare, respectiv pentru adaosuri mici de prelucrare.

- utilizarea cursei de revenire (înapoiere) drept cursă de lucru.

În fig.3.6. se arată sistemul care permite prelucrarea prin așchiere și în momentul revenirii sculei (forța

cursă în gol), utilizând două cuțite.

Suportii port-sculă (1) și (2) sunt montați pe suportul vertical (3). Suportul (1) este montat pe căruciorul (4) având posibilitatea de reglare în plan vertical, cu ajutorul șurubului (5). Când unul din cuțite se află în lucru, celălalt este ridicat prin rotirea automată a suportului său.

Rabotarea suprafețelor plane se poate folosi ca procedeu în diverse situații. Prezentăm în continuare diverse exemple de prelucrare prin acest procedeu:

Fig.3.7. - reprezintă rabotarea unei suprafețe înclinate (înclinație mică și lățime mare), procedeu folosit fiind de copiere.

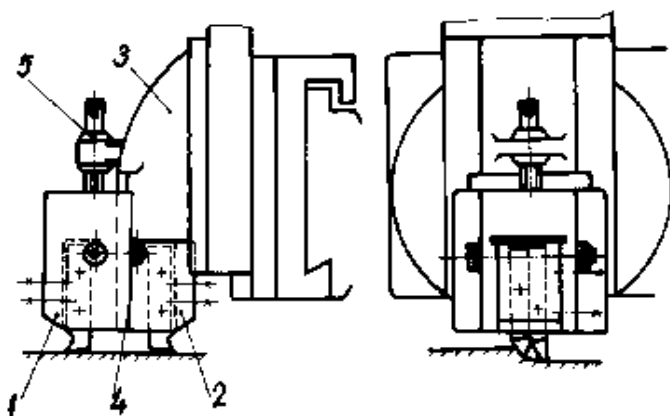


Fig.3.6.

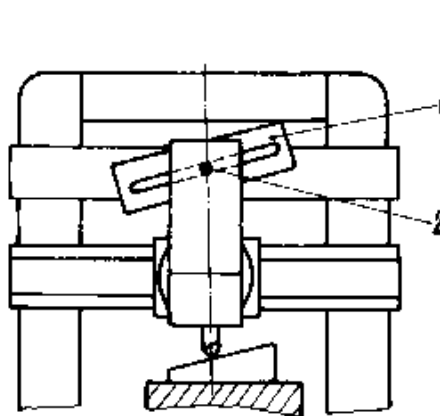


Fig.3.7.

Astfel se folosește rigla (1) a cărei înclinație poate fi variată după necesitate. Scula portcuțit se leagă de riglă prin intermediul unei role (2), astfel încât când se imprimă saniei suportului avansul orizontal (intermitent), atunci cuțitul se deplasează pe verticală, corespunzător înclinație riglei.

Rabotarea simultană a suprafețelor verticale și orizontale, cu mai multe cuțite (de ex. cu trei cuțite) se prezintă în fig.3.8. Această metodă se aplică, de exemplu, la rabotarea suprafețelor ghidajelor și a suprafețelor laterale verticale de la batiurile mașinilor-unelte.

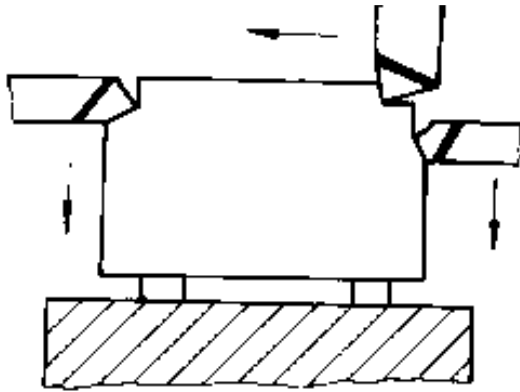


Fig.3.8.

Reglarea pozițiilor cuțitelor se face cu ajutorul unui șablon care are profilul identic cu secțiunea transversală a batiului de prelucrat.

Rabotarea suprafețelor plane verticale se execută de obicei cu cuțite normale care se așează înclinat cu un unghi $\alpha=10^{\circ}-20^{\circ}$ față de direcția de avans (fig.3.9.).

În acest caz piesa este imobilă, iar cuțitul execută atât mișcarea principală rectilinie alternativă în plan orizontal, cât și mișcarea de avans vertical intermitentă, automat, după fiecare cursă dublă.

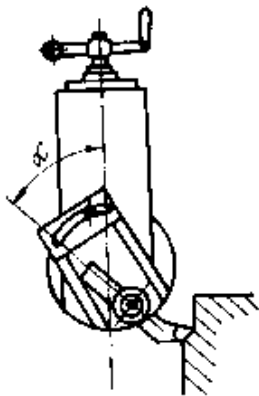


Fig.3.9.

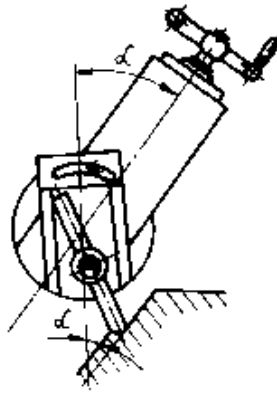


Fig.3.10.

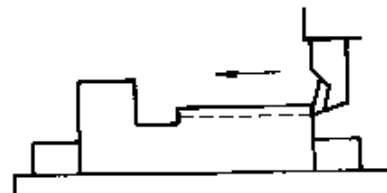


Fig.3.11.

În fig.3.10. se prezintă un procedeu de rabotare pe șeping a suprafețelor înclinate, ce se execută cu un cuțit normal fixat pe sania port-sculă care se înclină.

Tot suprafața înclinată se mai poate rabota cu scula (cuțitul) având tăișul paralel cu suprafața înclinată.

Rabotarea suprafețelor plane în trepte se prezintă după schema din fig.3.11.

Se observă că e nevoie de a proiecta piesa tehnologic, adică a asigura canale pentru ieșirea din așchie (scăparea) a cuțitului, având lățimi de 5-10 mm.

Precizia de prelucrare

- la rabotare de degroșare: tr.9 (ISO) și $R_a = 12,5-50$ (μm)

în cazul finisării: tr.7 (ISO) și $R_a = 3,2-12,5$ (μm)

- în cazul finisării de precizie: tr.6. (ISO)

gradul de netezime: $R_a = 0,8-3,2$ (μm)

În general vorbind, precizia de prelucrare nu depășește precizia de (0,1-0,2) mm/rot, la raboteze.

În cazul prelucrării pe șeping, de asemenea nu se depășește precizia de 0,5/1000 mm lungime.

La mortezare, se obține precizia de 0,1-0,25 mm/1000mm lungime, iar gradul de netezime: $R_a = 25-100$ (μm)

3.3. Frezarea suprafețelor plane

Este un procedeu cu largă aplicabilitate și utilizare, în special la fabricația de masă și de serie, unde înlocuiește cu succes rabotarea, datorită productivității sporite (mult mai mari). Chiar dacă costul frezelor este mai mare decât al cuțitelor de rabotat el este compensat pe deplin de avantajele obținerii productivității mai mari (în comparație cu rabotarea). Suprafețele plane se pot freza cu ajutorul frezelor cilindro-frontale elicoidale (freze frontale propriu-zise), cu frezele cilindrice elicoidale, freze disc și freze cilindro frontale cu coadă (freze deget), sau capete de frezat special proiectate și construite.

Alegerea metodei de frezare, a sculei așchietoare și a mașinii unelte este determinată de dimensiunile și poziția reciprocă a suprafețelor de prelucrat, precum și de poziția suprafețelor de așezare a pieselor de prelucrat. Principalele procedee de frezare a suprafețelor plane sunt:

- cu freze cilindrice
- cu freze frontale
- cu freze cilindro frontale
- cu capete de frezare

Frezarea cu freze cilindrice (fig.3.12.). Se poate face pe două căi:

- a) în contrasensul avansului de lucru (S_1)
- b) în sensul avansului (S_1)

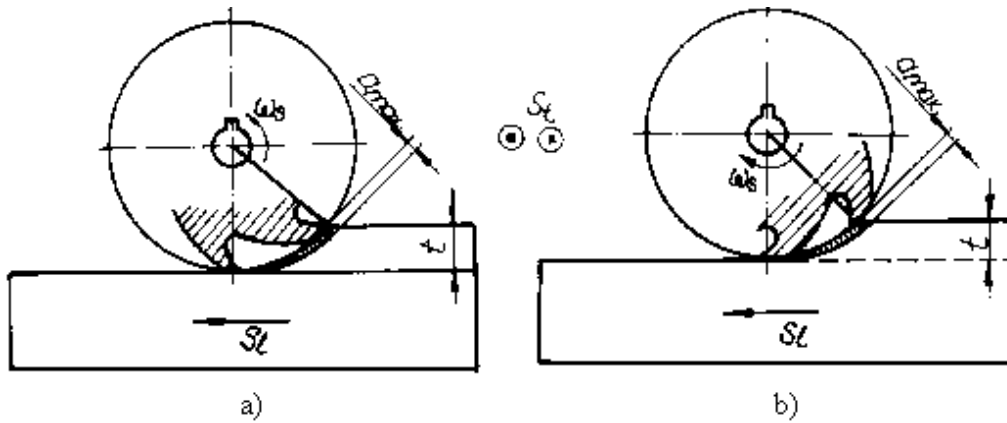


Fig.3.12.

În situația frezării în contrasensul avansului (a) secțiunea așchiei crește treptat, muchia așchietoare a dintelui la ieșire din așchie are de scos o adâncime a_{max} ; ea alunecă pe suprafața piesei înrăutățind calitatea netezimii (rugozitatea). Referitor la sensul forței de așchiere, aceasta tinde să smulgă piesa de pe masa sau de pe dispozitivul de fixare. Varianta de frezare în sensul avansului (b) se desfășoară complet invers. Aici așchia are la început valoare maximă, scăzând apoi în final spre valoarea ei minimă. Componenta verticală a forței de așchiere apasă piesa spre dispozitiv (în direcția mesei), asigurând astfel condiții mai bune de așchiere, creșterea productivității precum și o calitate mai bună a suprafeței. Apar însă trepidații și vibrații ale sistemului. Există totuși o situație, și anume: prelucrarea prin frezare a pieselor cu crustă dură la suprafață, unde varianta recomandată este (a), adică prelucrarea în contrasensul avansului.

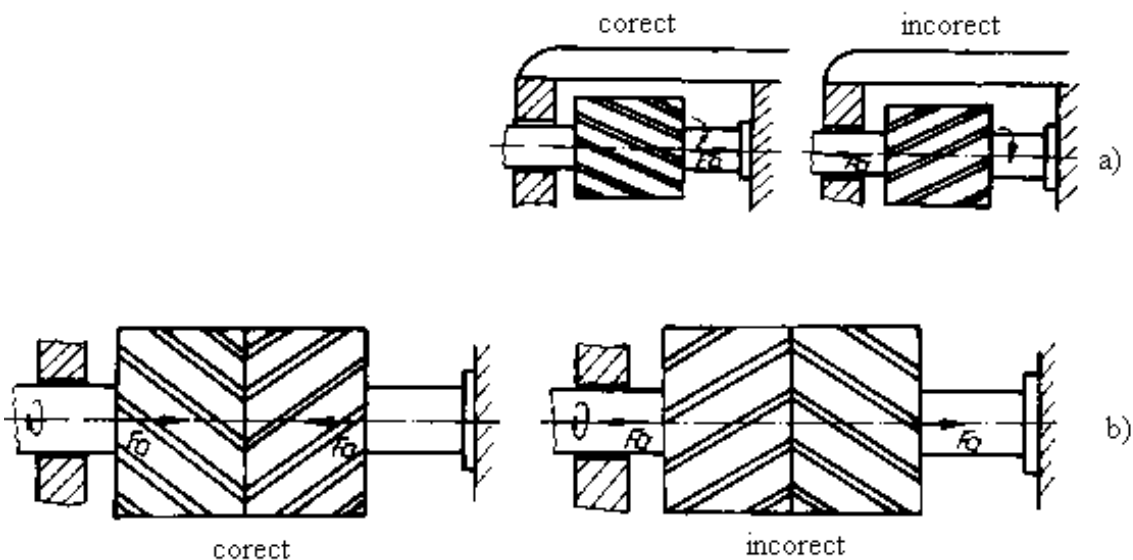


Fig.3.13.

Frezarea cu freze frontale este mai productivă decât cea cu freze cilindrice, deoarece sunt situați mai mulți dinți așchietori, în plus și gabaritul sculei poate fi mai mare ($D \leq 1000$ mm).

În fig.3.14. se prezintă diferite modalități de lucru cu freze cilindro-frontale cu coadă, iar în fig.3.15. modul de lucru cu frezele frontale în corelare cu caracteristicile suprafeței de prelucrat.

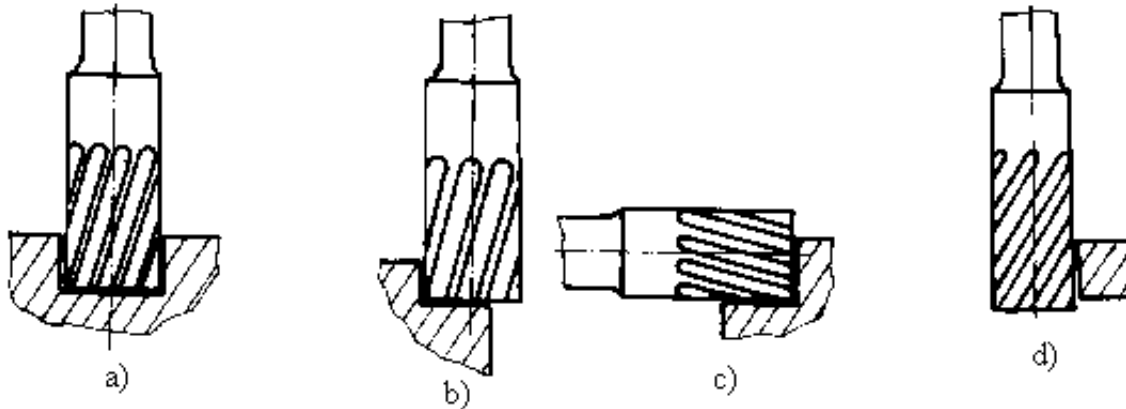


Fig.3.14.

Aici, la frezarea frontală, sculei i se imprimă o mișcare de rotație (ω_s), iar piesei (ω_p) în jurul axei de simetrie (fig.3.15./a).

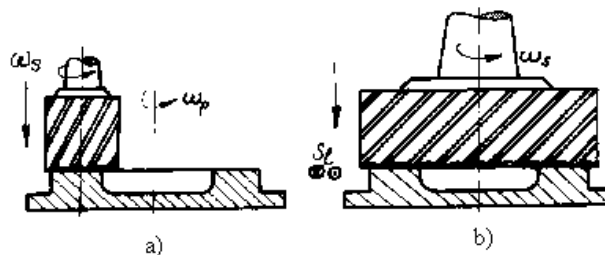


Fig.3.15.

În fig.3.15./b rotația ω_p nu mai e necesară, datorită gabaritului mare al sculei, fiind necesară o mișcare de avans longitudinal (S_l) a piesei.

De remarcat este necesitatea de a se asigura forța axială cu sens dirijat dinspre piesă spre axul mașinii (așa cum se indică fig.3.16.).

La degroșare: - se recomandă alegerea unor freze, cu diametru mai mic, însă cu dinții mai mari, care să permită

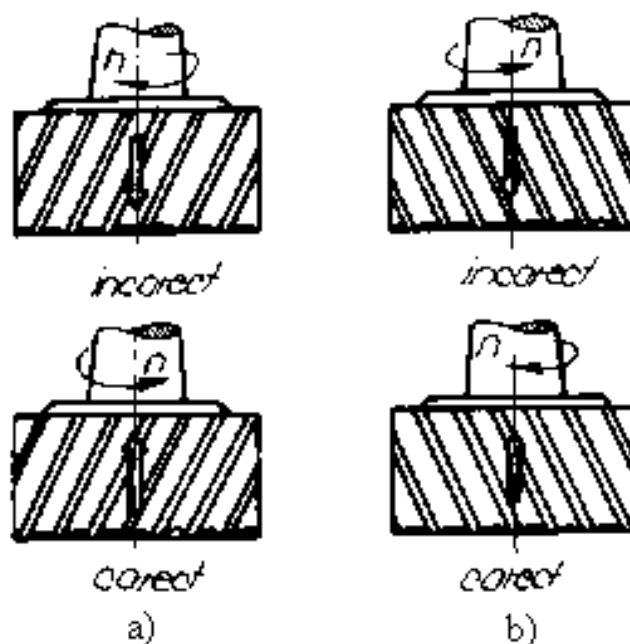


Fig.3.16.

lucrul cu avans mare pe dinte, precum și adâncime mare de așchiere.

La finisare: se recomandă alegerea unor freze cu diametru mai mare și având dinți mai mulți și mai mici.

Privitor la materialele de prelucrat: pentru materiale dure se folosesc freze cu dinți mici (mărunți), cu adâncime mică de așchiere, iar pentru materiale moi (tip neferoase) se aleg freze cu dinți dispuși mai rar (deci dinți mai mari).

Mașinile recomandate: mașini de frezat orizontale sau verticale (tip FU-32), universale, portal, carusel cu tambur și mașini speciale (cu capete de frezat), utilizate mai ales în producția de serie mare și masă. În vederea măririi productivității la frezare (pe o mașină orizontală sau verticală-universală) în fig.3.17., respectiv 3.18. se dau următoarele exemple:

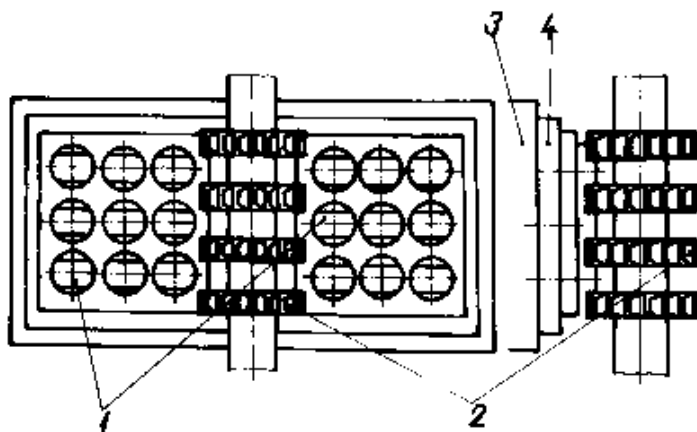


Fig.3.18.

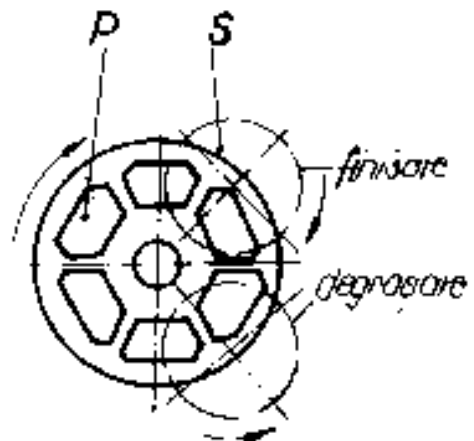


Fig.3.17.

În dispozitivul (4) - fig.3.17. se pot fixa mai multe piese (1) care se prelucurează succesiv sau deodată cu frezele (2). Productivitatea crește simțitor datorită utilizării mai multor freze (scule) și a mai multor piese fixate în dispozitiv.

Un exemplu de productivitate mărită este și așa-numita frezare continuă (fig.3.18.) utilizând o mașină de frezat cu cap vertical (cu doi arbori principali) și masă rotativă.

În producția de serie și masă, tot o frezare continuă se obține dacă utilizăm mașini de frezat cu tambur rotativ (cu acțiune continuă, pe care se fixează piesele). Un astfel de procedeu se vede în fig.3.19. Piesele (2) se fixează pe tamburul (4) aflat în mișcare de rotație.

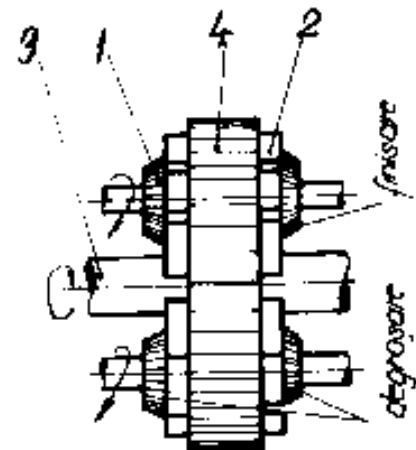


Fig.3.19.

Frezele (1), situate câte două de fiecare parte a tamburului, execută degroșarea (prima pereche), iar cealaltă pereche finisarea suprafețelor semifabricatului. Avantajul metodei și productivitatea sporită constă în alimentarea și fixarea pe tambur a pieselor în timpul mersului, ceea ce asigură o frezare continuă de mare productivitate.

Elementele regimului de așchiere:

Se stabilesc ținându-se cont de: procedeul de frezare adoptat, mașina-uneltă disponibilă, dimensiunile piesei (suprafeței), dimensiunile sculei (frezei) și construcția ei (tipul), puterea mașinii unelte, calitatea suprafeței ce trebuie obținută și precizia dimensională, lichidul de răcire-ungere, etc...

Elementele caracteristice regimului de așchiere:

t (mm) - adâncimea de așchiere

S_d (mm/dinte) - avansul pe dinte

v (m/min) - viteza de așchiere

Ordinea în care se determină regimul de așchiere în cazul frezării va fi:

- stabilirea mărimii adâncimii de așchiere (t)

- alegerea avansului pe dinte (S_d), sau a avansului pe rotație a frezei (S)

$$S = S_d \cdot Z \quad (\text{mm/rot})$$

-stabilirea vitezei de așchiere (v), numărul de rotații pe minut al frezei (n) și valoarea avansului longitudinal (S_l)

- se determină prin calcul puterea necesară la frezare

- se verifică posibilitatea utilizării regimului stabilit pe

mașina de frezat aleasă

- dacă este cazul, se fac corecțiile necesare

În general se preferă ca adaosul de prelucrare (a) să fie așchiat (îndepărtat) dintr-o singură trecere ($a=t$). În cazul când sunt condiții de precizie și calitate ridicată ale suprafeței plane, aceasta se îndepărtează treptat, prin mai multe faze sau treceri (degroșare, finisare):

Valori recomandate:

$$t_{\max} = 4-10 \quad (\text{mm})$$

$$a_{\text{fin}} = t_{\text{fin}} = (1,0-3,5) \quad (\text{mm})$$

(adâncimea pentru finisare)

-avansul pe dinte (S_d) se determină de regulă după stabilirea adâncimii de așchiere (t), ținând cont de rigiditatea sistemului tehnologic, puterea mașinii, precizia dimensională și calitatea suprafeței (R_a).

La degroșare, folosind freze cilindro-frontale din oțel rapid, S_d se alege în funcție de puterea mașinii:

pentru: $P < 5 \text{ kW}$ $\Rightarrow S_d = (0,04-0,30) \text{ mm/dinte}$
 pentru: $P > 10 \text{ kW}$ $\Rightarrow S_d = (0,15-0,50) \text{ mm/dinte}$
 pentru finisare se folosesc valorile avansului pe rotație și funcție de rugozitatea suprafeței:

pentru: $R_a = (3,2-12,5) \mu\text{m}$ $S = (0,23-3,9) \text{ mm/rot}$

Prin utilizarea frezelor armate cu plăcuțe din carburi metalice, avansul se reduce cu 50%. În cazul prelucrării pe mașini de frezat foarte rigide se pot lua avansuri de 1,5-2 ori mai mari decât cele anterior menționate, iar frezarea pieselor subțiri sau care nu se pot fixa bine pe mașină, avansul trebuie micșorat de 1,5-2 ori.

Viteza de așchiere se calculează sau se stabilește din tabele în funcție de: materialul de prelucrat, rezistența de rupere a materialului piesei (semifabricat), și caracteristicile părții așchietoare ale sculei (frezei) muchiei.

Astfel: - la frezarea oțelurilor având $\sigma_r < 100 \text{ (daN/mm}^2 \text{)}$

- pentru degroșare: $v = 10 \text{ (m/min)}$

- pentru finisare: $v = 16 \text{ (m/min)}$

- scula: - freză din oțel rapid

utilizând pentru același material prelucrat scula armată cu carburi metalice, se pot mări vitezele cu atare:

pentru: - degroșare: $v=40 \text{ (m/min)}$

- finisare $v=50 \text{ (m/min)}$

Numărul de rotații pe minut ale frezei (n) se determină astfel:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (\text{rot/min}) \quad (3.6.)$$

unde:

v - viteza de așchiere (m/min)

D - diametrul frezei (mm)

avansul longitudinal (S_1) numit și viteza de avans longitudinal, se determină cu relația:

$$S_1 = S_d \cdot Z \cdot n \quad (\text{m/min}) \quad (3.7.)$$

în care:

S_d (mm/dinte) - avansul pe dinte

Z - numărul de dinți ai frezei

n (rot/min) - numărul de rotații pe minut a sculei (frezei)

În fig.3.20. se dau domeniile valorilor raționale ale parametrilor regimului de așchiere la frezarea frontală.

Un exemplu de stabilire a timpului de bază la frezarea cilindrică respectivă frontală se poate urmări în continuare (pe baza fig.3.22. a și b)

$$t_b = \frac{L \cdot i}{S_l} \quad (\text{min}) \quad (3.8.)$$

unde: L (mm) - lungimea cursei active a sculei $L = l_0 + l_1 + l_2$

i - nr. de treceri

S_l - viteza de avans longitudinal (mm/min)

S_d - avansul pe dinte (mm/dinte)

Z - nr. de dinți ai frezei

n - turația frezei

l_1 (mm) - distanța de pătrundere

l_2 (mm) - distanța de depășire

l_0 (mm) - lungimea suprafeței prelucrate

- distanța de pătrundere se poate calcula după relația:

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5 \div 3) \quad (\text{mm}) \quad (3.9.)$$

t (mm) - adâncimea de așchiere

D (mm) - diametrul frezei

- distanța de depășire

$$l_1 = (2 - 5) \text{ mm}$$

În cazul frezării frontale (fig.3.22./b) este valabilă relația de calcul (3.9.), iar referitor la mărimea distanței de pătrundere, aceasta se calculează cu relația:

$$l_1 = 0,5 \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) + (0,5 \div 3) \quad (\text{mm}) \quad (3.10.)$$

- iar distanța de depășire: $l_2 = 1-6$ (mm)

Referiri asupra preciziei de prelucrare prin frezare:

- aceasta depinde de procedeul de frezare adoptat

- erorile de prelucrare pot apare astfel:

la frezarea cu freze cilindrice și frontale, erorile de prelucrare pot fi produse de inexactitățile de formă ale piesei (adaos variabil), de uzura sculei (frezelor) și jocul acestora în stare neîncărcată. Totodată, aici mai intervine și imprecizia geometrică a mașinii de frezat, deformațiile

elastice ale sistemului tehnologic elastic, variația adaosului de prelucrat, inexactitatea bazării piesei sau fixării ei pe masa mașinii ori în dispozitiv.

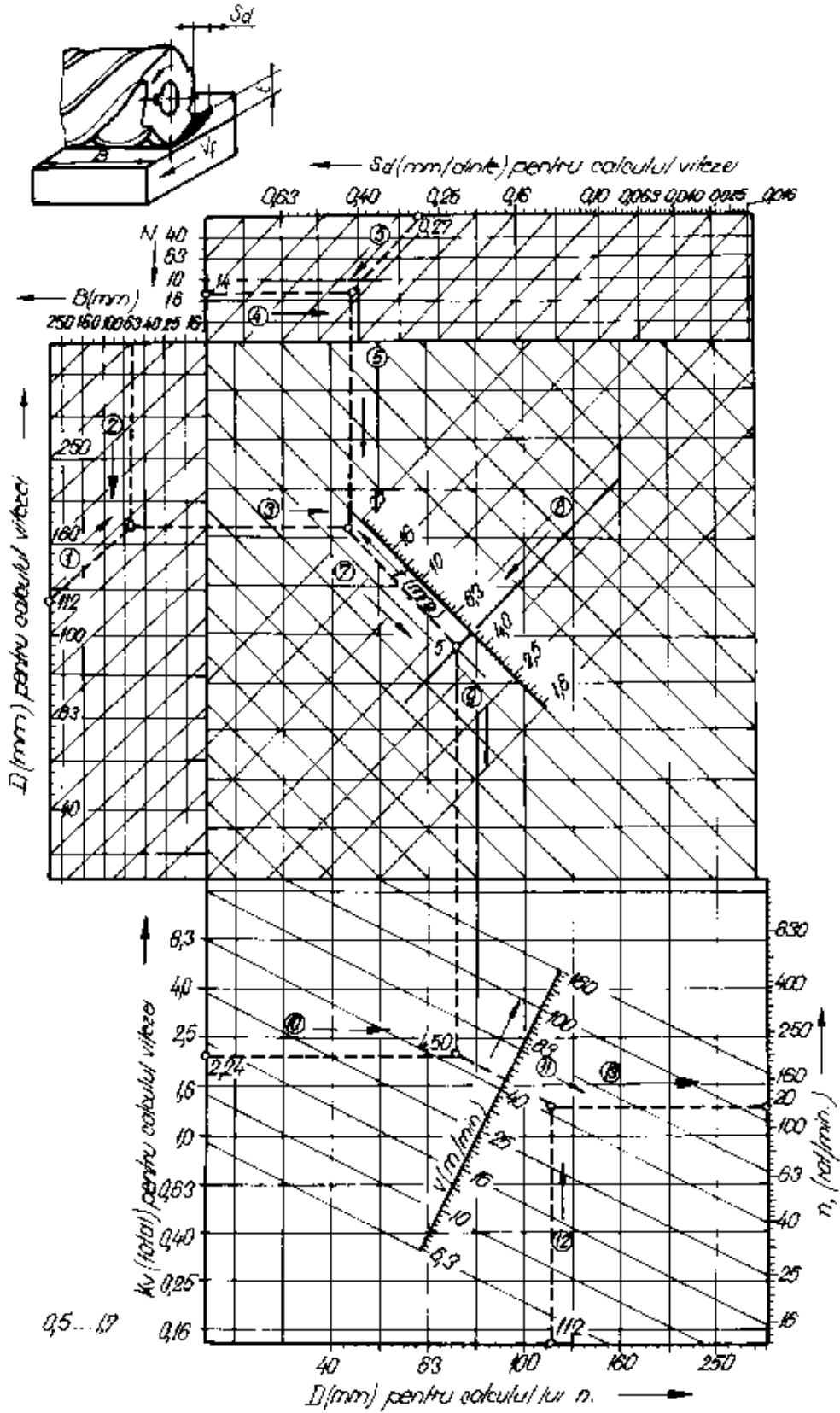


Fig.3.20.

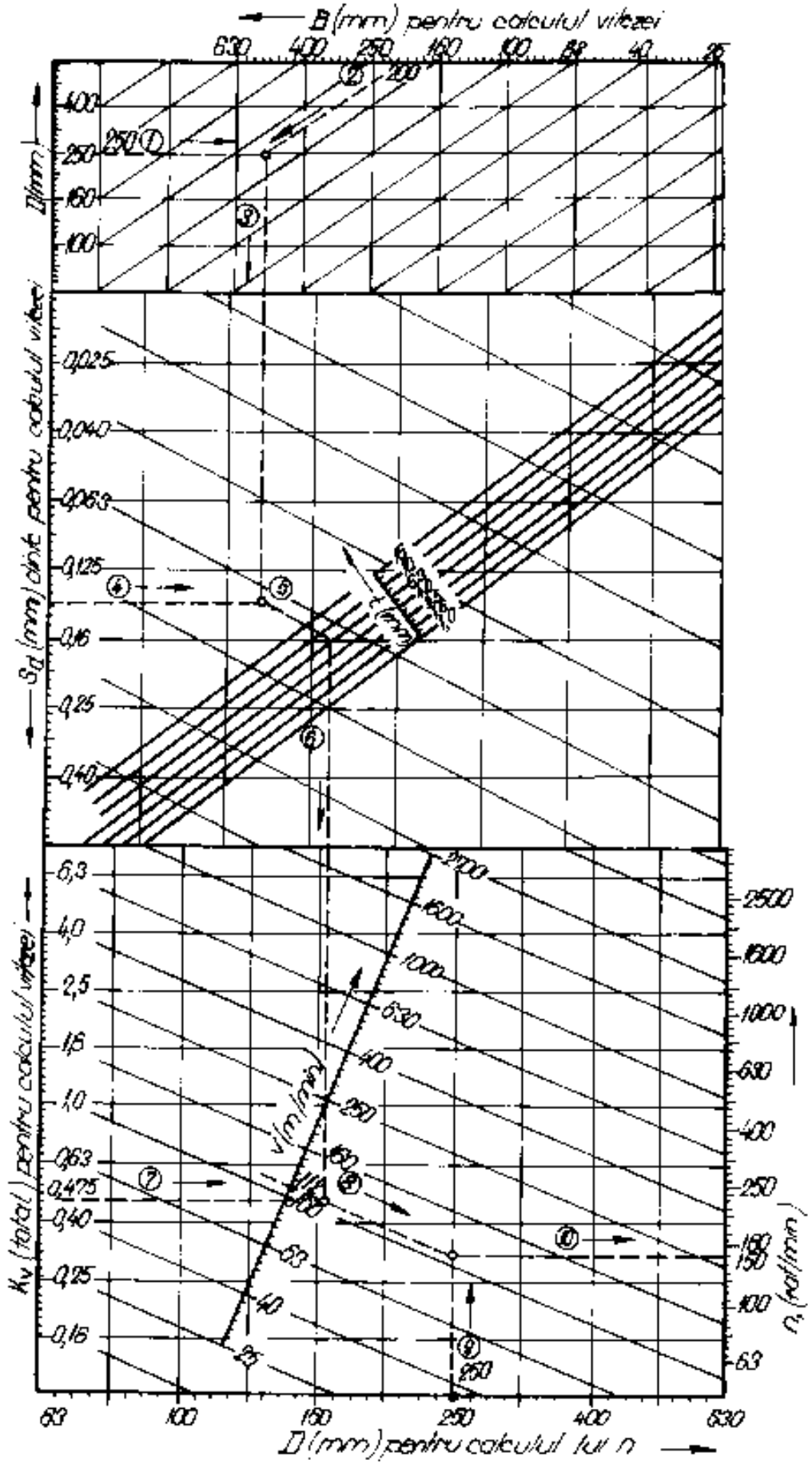


Fig.3.21.

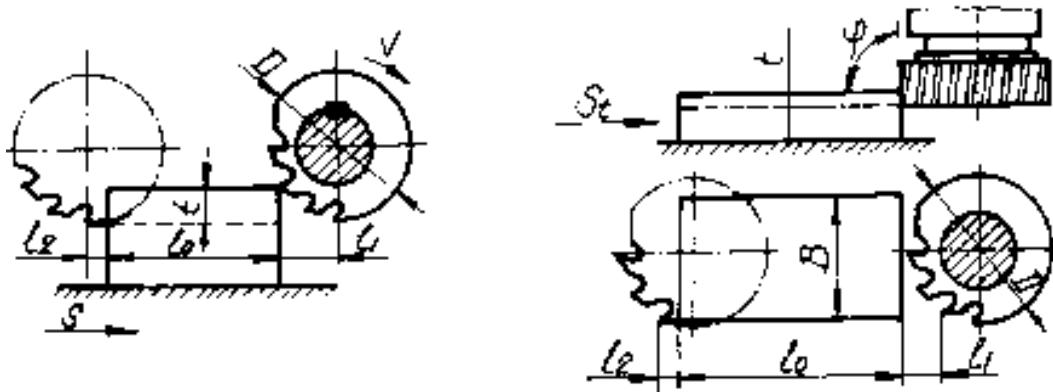


Fig.3.22.

- Privitor la precizia de planeitate și paralelism, în cadrul frezării cilindrice se află între limitele de 0,1-0,5 mm/1000 (mm) lungime.
- La frezarea frontală se asigură o precizie mai bună.
- Prin prelucrarea cu grup de freze, precizia care se obține va fi mai mică de 0,5-1 mm/1000 mm lungime.

De reținut, că în condiții normale, la prelucrarea prin frezare se asigură o precizie corespunzătoare treptei 8-10 (I.S.O.) și o rugozitate a suprafeței:

$R_a = (25 - 100) \mu\text{m}$ în cazul degroșării; iar la finisare:

$R_a = (1,25-3,2) \mu\text{m}$

3.4. Broșarea suprafețelor plane

Tehnologic, procedeul se caracterizează prin îndepărtarea dintr-o singură trecere a adaosului de prelucrare cu ajutorul dinților activi (degroșare) urmând ce finisarea să se efectueze cu dinți de calibrare, totul realizându-se pe baza unei singure mișcări, în direcție axială (a sculei).

Există și aici procedeul de așchiere sucsesiv (de îndepărtare a așchiei pe toată lățimea prelucrată), respectiv progresiv, ceea ce înseamnă mărirea suprafeței prelucrate (a lățimii) pe măsura înaintării sculei de-a lungul piesei.

Ca procedeu al prelucrării, în cazul de față, al suprafețelor plane, broșarea se poate limita la suprafețe cu dimensiuni pe lățime până la 400 mm și lungime de maxim 500 mm. Procedeul nu se recomandă pieselor cu rigiditate mică (pereți subțiri), ci numai pieselor cu rigiditate mare. Procedeul de broșare, datorită costului ridicat al sculei așchietoare este recomandat numai în producția de serie și masă.

Precizia de prelucrare obținută:

- treapta 5-6 (ISO)
- gradul de netezime (rugozitatea):

$R_a = 0,4-0,8 (\mu\text{m})$

Elementele principale ale regimului de aşchiere:

(v) - viteza de aşchiere (2-14 m/min)

(S_z) - avansul pe dinte

- la prelucrarea oţelurilor: $S_z = (0,05-0,15)$ mm/dinte

- la prelucrarea fontei:

$$S_z = (0,1-0,2) \text{ mm/dinte}$$

în cazul broşării progresive S_z poate ajunge la (0,1-0,4) mm/dinte

De reţinut, că adaosul total de prelucrare se consideră cuprins între valorile:

$$a = [0,1-5] \text{ (mm)}$$

Parametrii (v) şi (S_z) se adoptă în funcţie de calitatea materialului şi materialul părţii aşchietoare a sculei (broşei) de durabilitatea sculei şi de lichidul de răcire-ungere utilizat.

Timpul de bază la broşarea suprafeţelor plane este:

$$t_b = \frac{L_T}{1000 \cdot v} \cdot K \quad (\text{min}) \quad (3.11.)$$

$$L_T = l_0 + l_{a\text{ş}} + l_{cs} + l$$

l_0 - lungimea efectivă de prelucrat (mm)

$l_{a\text{ş}}$ - lungime părţii aşchietoare ale sculei (mm)

l_{cs} - lungimea deplasărilor broşei la intrarea şi ieşirea din aşchie

$$l = 10-20 \text{ (mm)}$$

v - viteza de aşchiere (m/min)

K - coeficient care ţine seama de cursa de întoarcere ($K=1,4-1,5$)

În fig.3.23. se prezintă schema procedurii de broşare plană aplicată pe o maşină cu mişcare rectilinie (3.23.a), respectiv cu mişcare circulară (3.23.b).

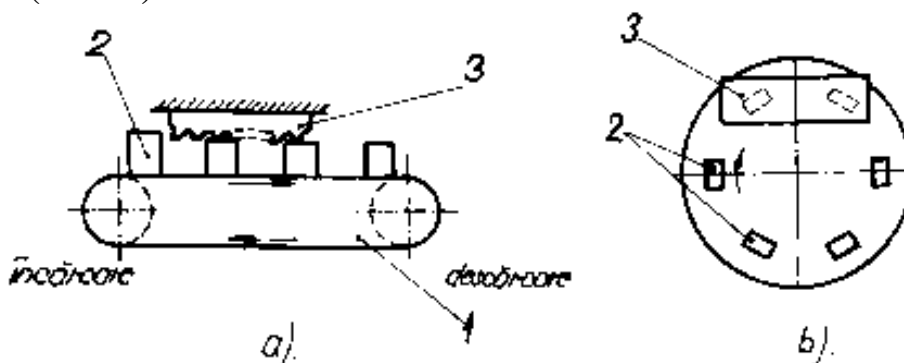


Fig.3.23.

(1) - lanț transportor (3.23.a)

(2) - piesele de prelucrat (3.23. a și b)

(3) - sculele (broșele de aşchiat) (3.23.a și b)

Productivitatea ridicată a acestor mașini rezultă și prin suprapunerea timpilor auxiliari sau de deservire (încărcare-descărcare) peste timpul de bază al mașinii. Ridicarea productivității se poate face și prin majorarea vitezei de așchiere ($v_{\max} \leq 90$ m/min), ori prin mărirea adâncimii de așchiere (t).

3.5. Rectificarea suprafețelor plane

Procedul de rectificare, prin adâncimea mică de așchiere și capacitatea de degajare a așchiilor (chiar în straturi dure tratate termic) asigură o precizie superioară anterioarelor procedee tratate, precum și o calitate net superioară a suprafeței (rugozitate mai îmbunătățită).

Astfel, precizia de prelucrare obținută se încadrează în treapta 6-7 (ISO), iar rugozitatea în funcție de procedul aplicat:

- degroșare : $R_a = 1,6-3,2$ (μm)
- finisare : $R_a = 0,4-0,8$ (μm)
- netezire. $R_a = 0,2-0,4$ (μm)

Privitor la aplicarea procedului de rectificare, acesta se utilizează atât pentru finisarea suprafețelor anterior prelucrate (prin rabotare, frezare, etc.) fie la îndepărtarea directă a unor cruste dure de material (metal) obținute din procedeele de elaborare a semifabricatelor (la piesele turnate în nisip, la plăcile laminate sau forjate, etc...).

Procedee de rectificare plană:

- rectificarea plană cu periferia discului (fig.3.24.)
- rectificarea plană cu suprafața frontală a discului de rectificat (fig.3.25.)
- rectificarea plană frontală (fig.3.26.)

Caracteristic primului tip de rectificare plană cu periferia discului de rectificat (fig.3.24.) sunt următoarele mișcări principale:

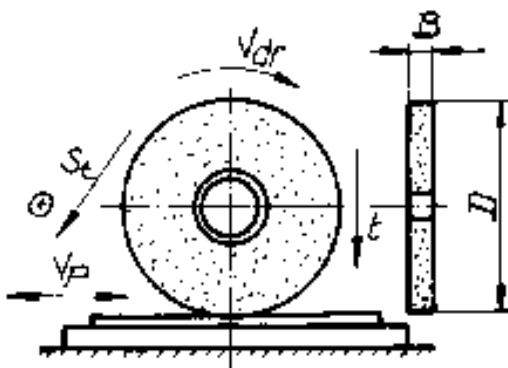


Fig.3.24.

- $V_{d.r.}$ - viteza discului de rectificat
- S_t - mișcarea de avans transversal
- t - mișcarea de avans de pătrundere (realizarea adâncimii de așchiere)
- V_p - mișcarea de translație alternativă a piesei - viteza avansului principal

În fig.3.25. se prezintă rectificarea plană cu suprafața frontală a discului de rectificat, aici apare în plus mișcare de rotație ($V_{p.r.}$) numită și viteza avansului principal de rotație.

Precizia prelucrării este asigurată și de contactul mic (pe grosimea B) a discului de rectificat (de diametru D), fapt ce face să nu apară deformări sau fisuri ale piesei. Metoda are însă o productivitate scăzută, aplicându-se mai ales în producția de serie mică (uneori individuală), la rectificarea pieselor de precizie mare.

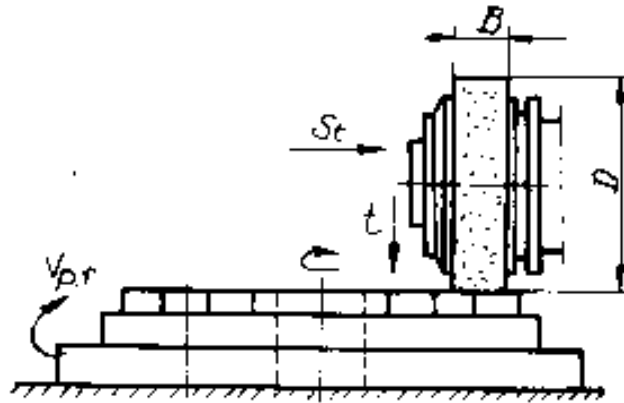


Fig.3.25.

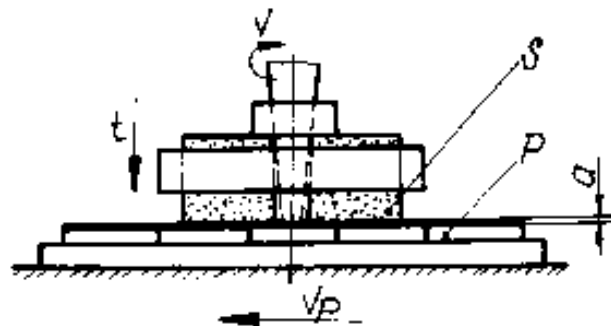


Fig.3.26.

În fig.3.26. se prezintă procedeul de rectificare plană frontală.

Masa mașinii este dreptunghiulară, asigurând prin fixarea mai multor piese (P) o productivitate ridicată. Scula (S) rectifică frontal adâncimea (a) de așchiere

V_p - viteza avansului principal

t - mișcarea de avans de pătrundere

Același procedeu de rectificat se poate face și pe suport (masă rotativă fig.3.27.), piesa (P) fiind antrenată de masa (rotativă).

La mașini mari scula este confecționată din mai mulți segmenti abrazivi, în timp ce la mașinile mici și mijlocii discul abraziv este sub formă de oală.

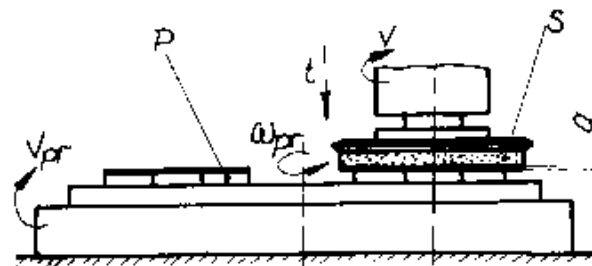


Fig.3.27.

În cazul folosirii segmentilor abrazivi, aceștia rezistă mai bine acțiunilor mecanice, pot așchia cu viteze mai mari, lăsând o pătrundere

ușoară la lichidului de răcire-ungere în zona de așchiere, reducând pericolul supraîncălzirii piesei.

Spre deosebire de capetele de rectificat în segmenti, discul abraziv "tip oală", în vederea înlesnirii pătrunderii lichidului de răcire-ungere se înclină după cum se vede în fig.3.28. și anume:

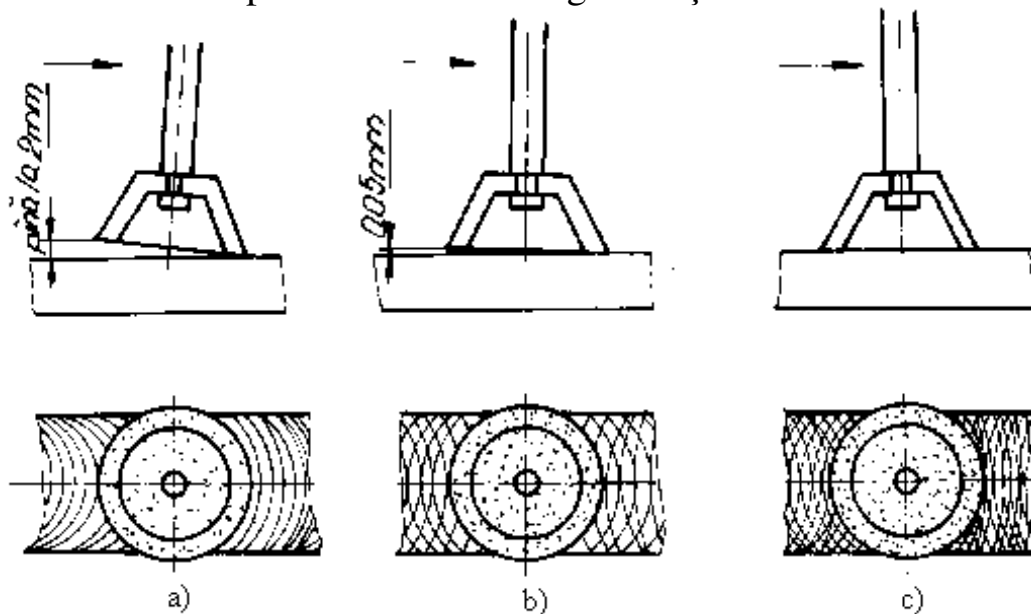


Fig.3.28.

- a) - o înclinare pînă la 2 mm în cazul degroșării
- b) - o înclinare pînă la 0,05 mm în cazul finisării
- c) - înclinare nulă, în cazul rectificării de netezire (de precizie) în vederea îmbunătățirii aspectului calitativ al suprafeței.

Productivitatea foarte ridicată a rectificării plane frontale a adus la apariția unor mașini de rectificat de mare randament (folosite în producția de serie mare și masă) cum ar fi în industria rulmenților mașinile de rectificat plan bilateral cu două axe sau cu masă rotativă cu un ax sau două.

Elementele preincipale ale regimului de așchiere:

$V_{d.r.}$ (m/s) - viteza periferică a discului de rectificat

S_t (mm/c.d.) - avansul de trecere (sau avansul transversal al mesei)
(mm/rot.masă)

V_p (m/min) - viteza avansului principal (sau de rotație a mesei)

t (mm/trecere) - avansul de pătrundere

V_{dr} (m/s) - viteza periferică a discului de rectificat

Se recomandă: $V_{dr} = 20-25$ (m/s)

Avansul transversal de trecere (S_t) depinde direct de lățimea discului abraziv, determinându-se cu relația:

$$S_t = \beta_t B \quad (\text{mm/rot}) \text{ sau } (\text{mm/c.d.}) \quad (3.13.)$$

B - lățimea discului abraziv

β_t - coeficientul avansului de trecere, în funcție de calitatea suprafeței (R_a) astfel:

$$\text{la degroșare pentru } R_a = 6,3-3,2 (\mu\text{m}); \quad \beta_t = 0,80$$

$$\text{iar pentru } R_a = 3,2 -1,6 (\mu\text{m}) \quad \beta_t = 0,63$$

$$\text{la finisare: pentru } R_a = 1,6-0,8 (\mu\text{m}); \quad \beta_t = 0,63$$

$$\text{iar pentru } R_a = 0,8-0,4 (\mu\text{m}); \quad \beta_t = 0,25$$

V_p [m/min] viteza avansului principal, depinde de adâncimea de așchiere, calitatea suprafeței (R_a), materialul de prelucrat și tipul procesului de prelucrare.

- în cazul rectificării plane de degroșare cu periferia discului, (V_p) se determină cu relația:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \cdot \beta \cdot t^x} \quad (\text{m/min}) \quad (3.14.)$$

unde:

C_v - coeficient de viteză, care depinde de natura materialului prelucrat

$T_{(\text{min})}$ -durabilitatea medie a discului abraziv; valori recomandate:

- pe mașini cu masa dreptunghiulară:

$$\text{(la finisare)} \quad V_{p \text{ fin.}} = (15-20) \text{ m/min}$$

- pe mașiniciu masa rotativă:

$$\text{(la finisare)} \quad V_{p \text{ fin.}} = (40-60) \text{ m/min}$$

În acest caz viteza avansului principal (V_p) se determină cu relația:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \cdot B_r^z \cdot t^x} \quad (\text{m/min}) \quad (3.15.)$$

în care:

C_v - coeficient de viteză ce ține seama de natura materialului care se prelucrează

$T_{(\text{min})}$ - durabilitatea sculei

B_r (mm) -lățimea de așchiere

t (mm/trecere) - avansul de pătrundere; aceasta se alege astfel:

la rectificare periferică: la degroșare: $t_{\text{degr}} = (0,05-0,15)$ mm/trecere

$$\text{la finisare: } t_{\text{fin.}} = (0,01-0,015) \text{ mm/trecere}$$

la rectificare frontală: $t = f(V_p \text{ și } B_r)$

$$t_{\text{degr.}} = (0,002-0,065) \text{ mm/rot sau } \text{mm/c.d.}$$

$$t_{\text{fin}} = (0,001-0,024) \text{ mm/rot sau } \text{mm/c.d.}$$

Tipul de bază la rectificarea plană cu periferia discului pe mașini cu masă dreptunghiulară se calculează conform datelor geometrice din fig.3.29.

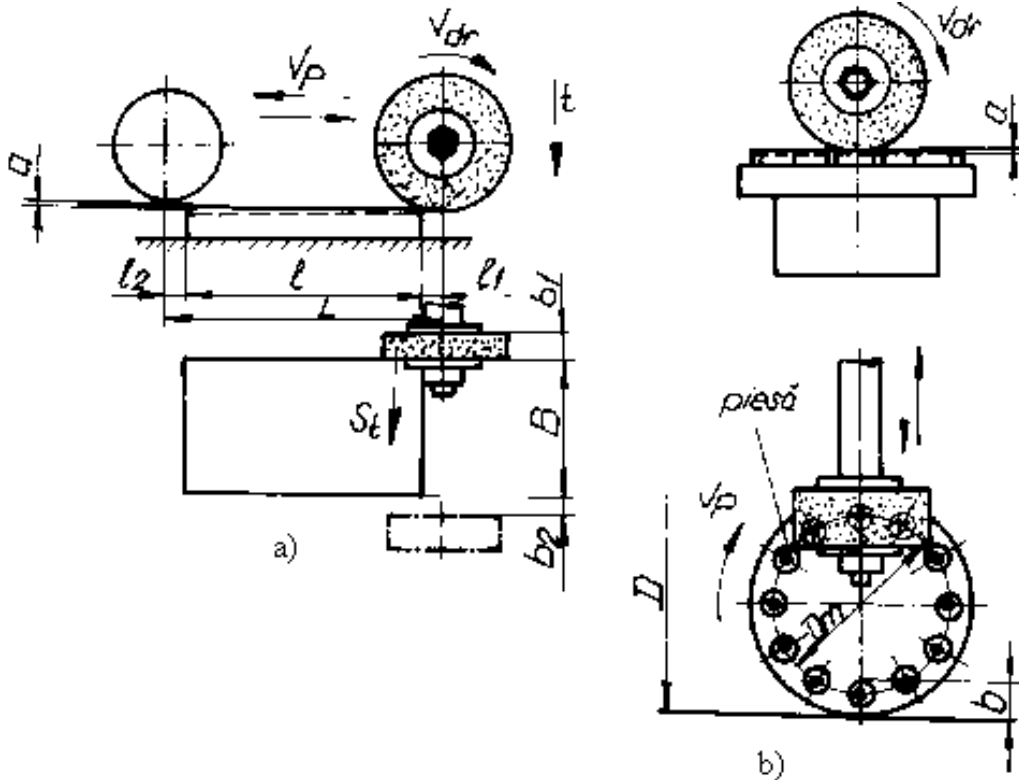


Fig.3.29.

$$t_b = \frac{2L}{1000 \cdot V_p} \cdot \frac{B + b_1 + b_2}{S_t} \cdot \frac{a}{t} \cdot \frac{i}{N} \cdot K \quad (\text{min}) \quad (3.16.)$$

unde: B (mm) - lățimea piesei

b_1 (mm) - distanța de depășire; $b_1 = B$ (disc abraziv)

b_2 (mm) - distanța de pătrundere ($b_2 = 5\text{mm}$)

pentru situația în care $B_{\text{disc}} > B$, timpul de bază este:

$$t_b = \frac{2L}{1000 \cdot V_p} \cdot \frac{a}{t \cdot N} \cdot K \quad (\text{min}) \quad (3.17.)$$

În cazul rectificării plane cu periferia discului pe mașini cu masă rotativă (fig.3.29.b.), de tip carusel, timpul de bază se determină cu relația:

$$t_b = \frac{b + b_1 + b_2}{S_t \cdot t \cdot n} \cdot \frac{1}{N} \cdot K \quad (\text{min}) \quad (3.18.)$$

elementele din structura relației (3.18.) rămân cu aceeași semnificație ca la relația (3.16.).

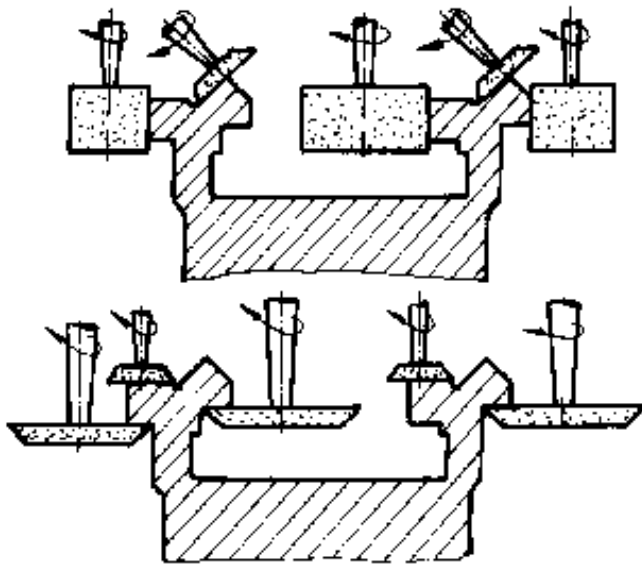


Fig.3.30.

În fig.3.30. se prezintă mai multe exemple de aplicare a rectificării plane cu periferia și cu partea frontală a discului abraziv și anume la rectificarea ghidajelor pe mașini de rectificat cu mai multe capete (și discuri de rectificat simultan), dând o productivitate sporită.

Ca regulă generală de prevenire a apariției unor defecte în norma procesului tehnologic de rectificare,

trebuie reținute următoarele aspecte și cerințe:

- corelarea raportului dintre (V_{dr}) și (V_p) - viteza avansului principal în vederea evitării "îmbâcșirii" pietrei de rectificat.
- alegerea corespunzătoare a lichidului de răcire-ungere
- stabilirea corectă a regimului de așchiere (mai ales a vitezei) în vederea evitării arderii locale a stratului de material așchiat (influențat termic)
- evitarea pătrunderii unor impurități din lichidul de răcire-ungere, care pot provoca zgârieturi pe suprafața prelucrată, prin ascuțirea corespunzătoare a discului de rectificat.

La rectificarea pieselor subțiri (sub 3 mm grosime) se recomandă respectarea următoarelor particularități tehnologice:

- îndreptarea plăcilor (<3 mm) înainte de tratamentul termic
- efectuarea tratamentului termic al pieselor numai dacă sunt prinse în dispozitive speciale
- fixarea pieselor pe platouri magnetice cu forțe mici, pentru a nu se deforma piesele
- prelucrarea cu regimuri adecvate (mai puțin intense)
- efectuarea întoarcerii piesei de mai multe ori în faza de degroșare și rectificare succesivă a fețelor.
- asigurarea unei răcirii-ungeri abundente a suprafețelor de prelucrat și a sculei.

Tot ca prescripții generale se pot menționa următoarele:

- materialele foarte dure se prelucrează cu pietre moi

- materialele cu rezistență mare la rupere (oțeluri de scule, de construcție, fonte maleabile) se recomandă a se prelucra cu scule din corindon natural sau sintetic.

- materialele cu limită de rezistență scăzută (neferoasele, fonta, oțelul moale, etc...) se prelucrează cu carbură de siliciu

- materialele moi și plastice se prelucrează cu pietre cu structură poroasă.

- materialele casante și dure se prelucrează cu pietre abrazive având structură densă.

O importanță deosebită trebuie acordată ascutirii corecte a pietrelor de rectificat, sau a dispozitivelor ce execută corectarea lor.

3.6. Prelucrarea de netezire a suprafețelor plane

Prin netezire se urmărește:

- obținerea unei calități superioare a suprafețelor (R_a)
- precizia dimensională superioară
- precizia de formă geometrică ridicată a suprafețelor plane

Netezirea, de regulă ca operație finală, urmează de obicei după rectificarea plană.

Cele mai importante procedee de prelucrare plană de netezire sunt:

- superfinisarea suprafețelor plane
- lepuirea
- lustruirea
- rodarea
- răzuirea

3.6.1. Superfinisarea suprafețelor plane

Este un procedeu de micronetezire cu bare abrazive de granulație foarte fină, la care precizia dimensională s-a asigurat încă la procedeu anterior (rectificarea plană)

De regulă, nu se lasă adaos de prelucrare.

Barele abrazive (2) execută asupra piesei (1) o presiune de (1-5) daN/mm², având o mișcare rectilinie alternativă (I_0) cu frecvența de 350-1500 (c.d./min) sau 6-25 Hz și amplitudine de 2-6 (mm). În același timp piesa execută o mișcare (II.) pentru a se acoperi toată suprafața. Lățimea totală a barelor abrazive trebuie să acopere

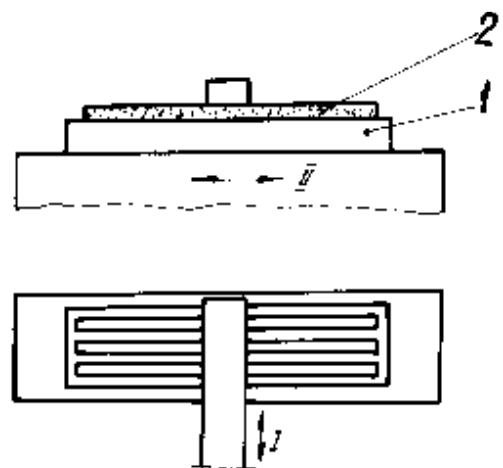


Fig.3.31.

30-60 % din lățimea suprafeței de prelucrat (1), iar lungime lor trebuie să fie cât mai aproape de lungimea suprafeței de netezit.

Prin acest procedeu se pot elimina și o serie de defecte superficiale apărute în urma rectificării (anterioare).

În fig.3.32. se prezintă o serie de aplicări ale acestui procedeu de netezire (superfinisare plană).

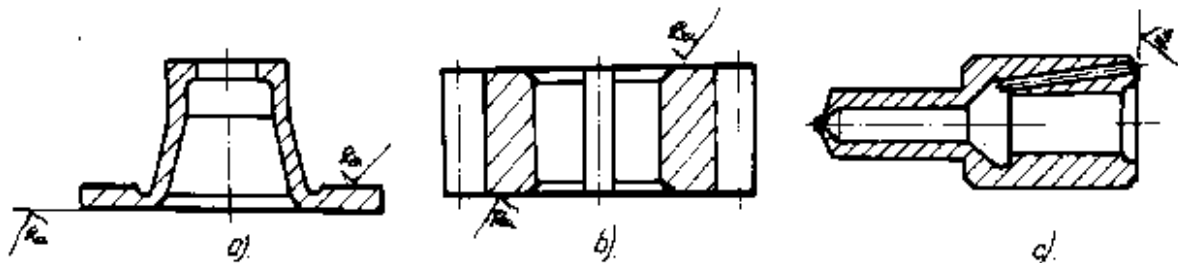


Fig.3.32.

- prelucrarea de superfinisare a suprafețelor plane la discurile de frână
- superfinisarea suprafețelor frontale plan-paralele a roților dințate de la pompe volumice
- superfinisarea suprafeței marginale a corpului injectorului (motoarelor cu aprindere prin compresie tip "diesel")

Ca lubrifinant se folosește un amestec de zece părți petrol și o parte ulei de turbină (10:1), uleiul având vâscozitatea (2,6-3,3) °E/50°

Calitatea suprafeței rezultate va fi:

$$R_{\max} = (0,1 - 0,3) \mu\text{m}$$

Procedeu poate fi utilizat cu succes la aparatura de măsură și control de înaltă precizie, precum și la dispozitive din mecanica fină.

3.6.2. Lepuirea suprafețelor plane

Procedeu are ca specific îndepărtarea mecanică sau mecanico-chimică a vârfurilor neregularităților de pe suprafața anterior prelucrată a piesei.

Această aşchiere se efectuează cu granule abrazive fine, aflate în suspenzie, introduse fiind între piesă și scula propriu zisă de lepuit, sculă care execută mișcarea principală (fig.3.33.).

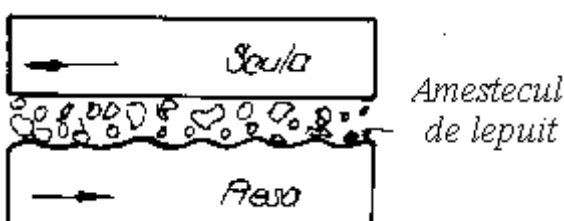


Fig.3.33.

Scopul lepuirii este obținerea unei neteziuni deosebite ale suprafeței, precum și la prelucrarea suprafețelor plane care necesită și impun chiar condiții ridicate de planeitate și paralelism.

Precizia poate fi de (1-3) μm ,

incadrată în treapta a 6.-a I.S.O., iar rugozitatea suprafeței $R_a = (0,01-0,03) \mu\text{m}$.

Condiții pentru o corectă lepuire:

- alegerea corectă a materialului și tratamentului termic aplicat piesei.

- o prelucrare corespunzătoare a piesei la operațiile premergătoare

- alegerea corectă a materilului abraziv, a sculei și a amestecului de lepuit.

- stabilirea corectă a vitezei de așchiere, a presiunii de lucru, etc...

Rolul prelucrărilor preliminare operației de lepuire este foarte important. Trebuie să se asigure o formă geometrică corectă a piesei, un adaos de prelucrare bine determinat și uniform și un anumit grad de netezime (R_a) a suprafeței. Stratul superficial deteriorat trebuie să fie mai mic de 1-2 μm .

Scula de lepuit trebuie să aibă forma geometrică a suprafeței ce urmează să fie lepuită. Materialul ei trebuie să fie suficient de moale pentru a permite imprimarea parțială a abrazivului în sculă.

Se recomandă folosirea drept sculă: fonta perlitică (cu duritatea 210 HB), cuprul, alama, brozul. Se mai folosește sticla, pietrele abrazive de granulație foarte fină, dure sau foarte dure (duritatea 7, respectiv 9-10).

Această ultimă metodă se folosește la lepuirea suprafețelor de contact a aparatelor și instrumentelor de măsură din mecanica fină.

Amestecul de lepuit poate fi o suspensie în apă, petrol lampant, uleiuri, ameatecuri de ulei și petrol, seu amestecat cu ulei, diferite emulsii, etc., în acer sunt granule abrazive. Se recomandă la lepuirea oțelului amestec din petrol lampant cu adaos de 2,5 % ulei și acid stearic.

Materialele prelucrate se deosebesc prin capacitatea diferită de prelucrabilitate prin lepuire.

- oțelurile de cementare, de construcție și cele aliate, tratate termic și cu o duritate de 55-62 HRC se lepuiesc cel mai bine.

- oțelurile nitrurate se lepuiesc mai greu (în timp, de 3-4 ori mai mare)

- se lepuiesc foarte greu piesele cromate dur din cauza rezistenței ridicate la uzură și a tendinței cristalelor de crom depuse electrolytic de a se sfărâma, zgâriind suprafața.

- carburile metalice (plăcuțele) se lepuiesc bine, rezultând o calitate bună a suprafeței, însă mai greu (productivitate mai mică de 3 ori

c la lepuirea oțelului cementat). Aceste carburi se lepuiesc numai cu praf de diamant.

- oțelurile netratate termic se lepuiesc calitativ mai slab, datorită urmelor (rizurilor) mai adânci lăstate în material de grăunții abrazivi aflați în amestecul de lepuit (aceasta în comparație cu lepuirea oțelurilor cementate). Totodată, precizia geomatrică este mai greu de realizat.

- lepuirea fontei este bună; nu se obține lustru, iar în material pot rămâne (mai ales la structurile poroase) particule abrazive greu de îndepărtat prin spălare, care dacă rămân devin noi focare de uzură pentru piesele aflate în contact.

- materialele neferoase se lepuiesc bine, mai ales bronzurile (de staniu și aluminiu), care au o duritate mai ridicată. Alamele se lepuiesc mai rar, lustruirea făcându-se cu materiale abrazive speciale (moi).

Procesul tehnologic de lepuire:conform figurii 3.34.

- scula (2), sub care se găsește amestecul de lepuit, execută asupra piesei (1) o presiune P , efectuând mișcări mecanice pe direcțiile specifice din plan (X și Y).

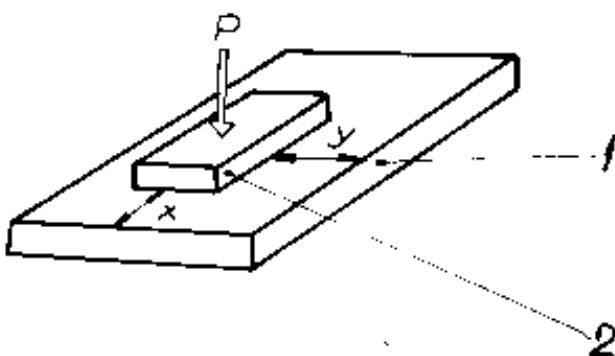


Fig.3.34.

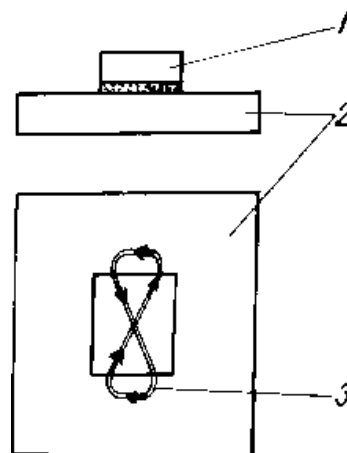


Fig.3.35.

Aflându-se în continuă mișcare și antrenere, grăunții abrazivi îndepărtează vârfurile microasperităților, netezind suprafața.

Din punct de vedere al modului de execuție al mișcărilor, deosebim:

- lepuirea manuală și
- lepuirea mecanică

Lepuirea manuală este cea mai precisă. În fig.3.35. scula (1) se deplasează pe placa de lepuit (piesa 2) după o traiectorie (3) în formă de opt.

Lepuirea mecanică (fig.3.36.) se poate realiza în varianta prezentată (cu două discuri) ambele fiind active, între care piesele sunt uniform repartizate pe toată suprafața activă cu ajutorul unor colivii.

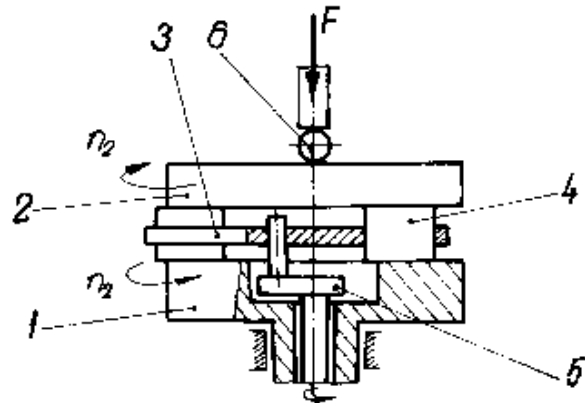


Fig.3.36.

n_1 - mișcarea de rotație a discului inferior (1); $n_1=(100-110)$ rot/min

n_2 - mișcarea de rotație a discului superior (2); $n_2 = (110-120)$ rot/min

(3) - colivia

(4) - piesele de lepuit (situate în locașurile coliviei 3)

(5) - excentric care comandă mișcarea de rotație

(6) - bilă sferică pe care se concentrează discul superior (2) și care asigură uniformitatea presiunii de lucru (prin autocentrare), provenită de la forța (F) exercitată prin tija de acționare.

În afară de utilizarea granulelor abrazive obișnuite, lepuirea se poate face și cu pulbere de diamant sintetic conținută într-o pastă de lepuit. Prin această metodă se pot prelucra carburile metalice, plăcuțele mineralo-ceramice, aliajele de titan, fontele dure, oțelurile și materialele neferoase (inclusiv diamantul natural și sticla). Productivitatea în cazul amintit este de 2-4 ori mai mare, rugozitatea cu 1-2 clase mai bună. Ca rețetă, pasta abrazivă conține 20% pulbere de diamant și 80 % grăsime animală (seu).

Adaosul de prelucrare(a): pentru lepuire depășește cu puțin înălțimea microasperităților rezultate de la operația precedentă. În cazul lepuirii manuale: $a=(3-5)\mu\text{m}$, iar în cazul lepuirii mecanice $a= (5 - 10)\mu\text{m}$.

Viteza de lucru: $v_{\text{max}} = 100$ (m/min)

Pentru lepuiri foarte precise se ia $v=(6-40)$ m/min.

Presiunea de lucru: (p) - pentru lepuirea cu abraziv clasic (pulberi dure): $p= (0,5-3)$ daN/cm²

- în cazul lepuirii cu praf de diamant: $p = (1-2)$ daN/cm²

Parametrii (a), (r) și (p) atât la lepuirea de degroșare cât și la finisare sunt diferiți și se recomandă a se lua din tabelele prezentate în literatura de specialitate.

3.6.3. Lustruirea suprafețelor plane

Este tot o operație de netezire, aplicată suprafețelor plane în prealabil prelucrate (de ex. rectificat fin), folosind pânze abrazive sau abrazivi aflați în suspensie.

Principala calitate a acestui procedeu este că în urma prelucrării se obține (fără pretenții de precizie) o suprafață cu aspect lucios. Ea nu este o operație de așchiere pură; fenomenul se produce prin apăsarea granulelor abrazive de lustruire și datorită frecării superficiale dintre discul de netezire și piesă, fapt care produce o creștere locală a temperaturii. Se produce un fel de curgere prin înlăturarea structurii cristaline, urmată de o recristalizare în cristale fine.

Tehnologic, procedeul se aplică la prelucrările premergătoare nichelării, cromării și altor procedee galvanice, fără modificarea dimensiunilor, doar menținerea aspectului lucios (inclusiv în arta decorativă).

Procedeul tehnologic: Lustruirea se face cu pastă abrazivă aplicată pe un disc moale din pâslă, fetru, piele sau țesătură de bumbac. Această pastă este formată din praf de lustruit și un liant. Ca praf de lustruit, cel mai utilizat este "varul de Wiena". Drept liant se folosește: stearina, parafina, uleiurile de silicon, ceara de emulsie, etc.

Fazele lustruirii sunt: degroșarea, semifinisarea și finisarea. Adăosul de prelucrare total este $a = (0,12-0,2)$ mm.

Presiunea discului pe piesă trebuie să fie $p = (2,3-5)$ daN/cm².

Rugozitatea obținută: $R_a = (0,32 - 0,01)$ μm

Ca procedeu modern de lustruire se poate aminti și vibrolustruirea. Prin aceasta se obțin valori ale rugozității în jur de: $R_a = (0,16 - 0,02)$ μm special proiectate cu acest scop.

Acestea au amplitudinea și frecvența mășcărilor vibratorii reglabilă, putând fi montate chiar pe mașina-unealtă care prelucrează piesa ce se va lustrui (mașini de rabotat, frezat, rectificat, strunguri carusel, etc...).

Cinematic, parametrii principali sunt: (V_p) - viteza de deplasare a piesei și (p) - presiunea dintre sculă și piesă.

În tabelul din fig.3.37. se dă valoarea rugozităților (R_a sau R_z) obținute experimental în funcție de (p) și (V_p), la prelucrarea unui oțel OLC 45 călit prin vibrolustruire, la o frecvență de oscilație a suportului $f=14$ Hz și amplitudinea $A = 5$ mm.

P daN/cm ²	Rugozitatea suprafeței, în μm, funcție de viteza de deplasare (v_p) a piesei, în mm/min					
	50	80	125	180	250	315
2,05	0,022	0,036	0,055	0,134	0,230	0,300
4,10	0,078*	0,025	0,032	0,048	0,150	0,210
6,15	0,074*	0,080*	0,091*	0,024	0,047	0,085
Obs.: Mărimea R_z - cu asterisc, mărimea R_a - fără asterisc						

Fig.3.37.

Variația rugozității în funcție de presiunea (p) și numărul de treceri (i) este dată în tabelul din fig.3.38.

Se poate observa că la mărirea numărului de treceri de la 1 la 5 calitatea suprafeței se îmbunătățește (cu două clase) în timp ce productivitatea scade (de 5 ori). Astfel vibronetezirea oțelului anterior menționat permite obținerea unei suprafețe cu grad de netezime foarte bun ($R_a = 0,021 \mu\text{m}$).

P [daN/cm ²]	Rugozitatea suprafeței R_a în μm funcție de numărul de treceri				
	1	2	3	4	5
2,05	0,300	0,280	0,170	0,120	0,120
4,10	0,210	0,130	0,070	0,040	0,038
6,15	0,085	0,052	0,037	0,021	0,021

Fig.3.38.

3.6.4. Rodarea suprafețelor plane

Se folosește cu prioritate la netezirea suprafețelor de ghidare ale mașinilor-unelte de precizie ridicată, fiind ultima operație de prelucrare după operația de finisare.

Tehnologia rodării urmărește netezirea simultană a ambelor suprafețe ale cuplului de ghidare, între care se introduc granule abrazive. Aceste granule se recomandă a fi: - carbură de siliciu, oxid de crom, praf de diamant, praf de emeri, etc... Granulele se află în suspensie și ajută la ajustarea (rodarea) împreună și reciprocă a celor două suprafețe conjugate.

La fabricarea de mașini-unelte, operația de rodare se execută astfel: pe batiu se montează organul mobil (căruciorul sau masa mobilă)

pe care se așează greutatea de 200-300 daN. Masa mobilă se deplasează pe ghidajele ce urmează a fi rodite în mișcare alternativă timp de cca. 15-20 min., perioadă în care pasta de rodat își exercită rolul.

Precizia obținută: până la 0,002 mm adaosul de prelucrare: $a=0,01-0,02$ mm. Este un procedeu frecvent utilizat la fabricarea mașinilor de precizie sau a mașinilor unelte de orice fel.

3.6.5. Răzuirea suprafețelor plane

Răzuirea plană este o operație specifică netezirii suprafeței ghidajelor mașinilor-unelte. Indicarea locului unde trebuie efectuată răzuirea se face cu ajutorul petelor de tușare, obținute anterior prin contactul dintre suprafața de prelucrat și o suprafață de referință (considerată etalon). Această suprafață de referință poate fi suprafața unei plăci sau rigleda tușare, care prezintă profilul negativ celui care trebuie obținut pe suprafața de ghidare. În fig.3.39. se prezintă o astfel de placă de tușare.

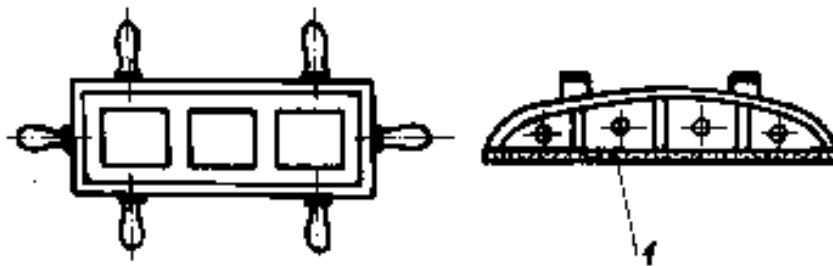


Fig.3.39.

Suprafața (1) a plăcii de tușare se vopsește cu un strat subțire de vopsea albastră (1-1,5 μm).

Răzuirea se face cu ajutorul unei scule (răzuitor) c cărui geometrie este prezentată în fig.3.40., iar montat cu mâner, în poziție de lucru, în fig.3.41.

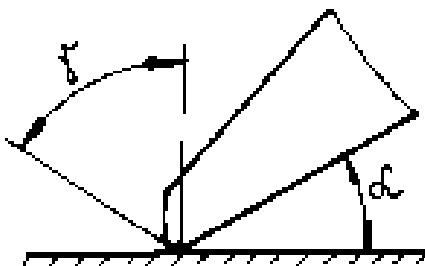


Fig.3.40.

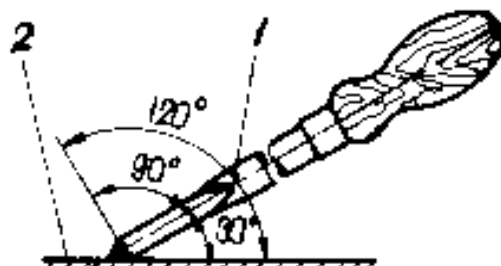


Fig.3.41.

- (1) coada de antrenare (cu mâner) a sculei de răzuit
- (2) suprafața (piesa) de răzuit

Răzuirea se poate face:- prin împingerea răzuitorului (fig.3.41.)

- prin tragerea răzuitorului

Aceasta din urmă metodă este folosită ca etapă finală (după ridicarea de aşchii mai mari prin împingere) permiţând un control mai riguros asupra mărimii aşchiilor detaşate.

Atenţie trebuie acordată operaţiilor preliminare răzuirii.

Astfel, răzuirea se face mai uşor dacă în prealabil suprafaţa a fost frezată sau rabotată, respectiv mai greu, dacă suprafaţa a fost rectificată (la rectificare stratul superficial se durifică).

Răzuirea de degroşare se face cu scopul îndepărtării urmelor de prelucrări anterioare (admiţându-se 12-18 pete de contact pe o suprafaţă de 25x25 mm, în urma tuşării).

În vederea finisării prin răzuire, ultima tuşare se face cu sau fără vopsea (se admit 18-25 pete de contact pe o suprafaţă de 25x25 mm). Dacă se tuşează fără vopsea, punctele care apar mai lucioase vor trebui să fie răzuite.

Adaosul de prelucrare se ia aproximativ (0,08-1) mm pentru suprafeţe de cca. 100x500 (mm).

Pentru suprafeţe mai mari, se ia de 0,15 (mm), ajungând uneori până la 0,5mm.

Precizia dimensională şi de formă:

- abaterea de planeitate foarte mică: 0,002 mm/1000 mm lungime

- numărul de pete de contact admise:

30 pete de contact pe suprafaţă 25x25 (mm)

- netezimea suprafeţei: $R_a = (0,4 - 0,8)\mu\text{m}$

Deşi răzuirea se caracterizează printr-o productivitate scăzută, totuşi nu poate fi înlocuită cu metode mai moderne şi productive. Ea este indicată la finisarea de netezire a suprafeţelor de contact (active) ale ghidajelor maşinilor-unelte (de toate tipurile, mai ales cele grele şi foarte grele) precum şi în orice alte cazuri, unde finisarea suprafeţelor de alunecare plane având forme netehnologice, nu pot fi netezite cu metodele cunoscute în prezent..

CAPITOLUL 4

4. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A SUPRAFETELOR PROFILATE

4.1. Generalități

În construcția de mașini, suprafețele profilate se obțin în general prin două metode:

a) prelucrarea prin turnare de precizie, deformare plastică la cald sau la rece, metalurgia pulberilor sau prelucrări neconvenționale (eroziune electrică, etc...)

b) prelucrarea mecanică prin așchiere pe mașini unelte

În acest ultim caz (b) se cunosc următoarele procedee:

- strunjire
- frezare
- rabotare
- mortezare
- broșare
- rectificare

Desigur, în funcție de tipul profilelor (simetrice sau asimetrice, de revoluție sau singulare), depinde folosirea următoarelor tehnologii:

așchiera cu ajutorul:

- sculelor profilate
- șabloane de copiat
- lanțuri cinematice ale mașinii-unelte
- mecanisme de copiat comandate
- combinarea de diferite metode de prelucrare

În continuare vom aborda metodele de prelucrare prin așchiere a suprafețelor profilate, cele mai des întâlnite în industria noastră constructoare de mașini.

4.2. Strunjirea suprafețelor profilate

Aceasta se poate realiza prin următoarele metode:

- strunjire manuală pe strunguri normale (universale), verificarea profilului făcându-se după șablon

- strunjire obișnuită, folosind cuțite profilate prismatice sau disc

- strunjire cu sistem de urmărire a profilului șablonului (dispozitiv de copiat)
- strunjire utilizând dispozitive de construcție specială
- prelucrare pe strung cu scule-cupă speciale
- așchiere prin rulare-rostogolire, folosind cuțite profilate rotative.

4.2.1. Strunjirea suprafețelor profilate conice

Așa cum se vede din fig.4.1.(I), orice suprafață conică se poate defini prin următoarele elemente caracteristice:- conicitatea "K"

- înclinația "I"

astfel conicitatea:
$$K = \frac{D_1 - D_2}{L_{1,2}} = 2\text{tg}\alpha \quad ; \text{ la alezaje} \quad (4.1.)$$

2α fiind unghiul conului

$$K = \frac{d_1 - d_2}{l_{1,2}} = 2\text{tg}\alpha \quad ; \text{ în cazul arborilor} \quad (4.2.)$$

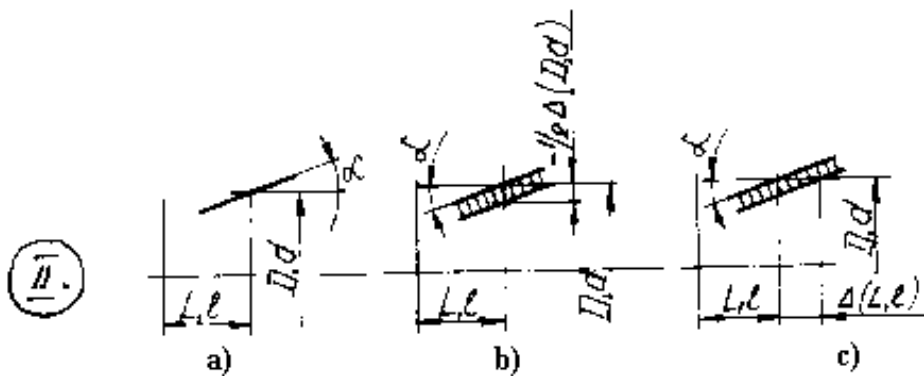
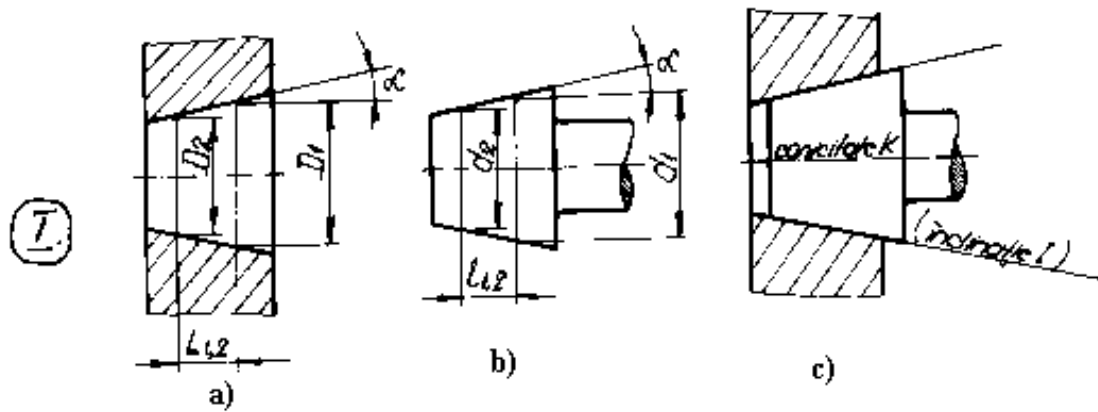


Fig.4.1.

înclinația:
$$I = \frac{D_1 - D_2}{2L_{1,2}} = \text{tg}\alpha \quad ; \text{ alezaje} \quad (4.3.)$$

$$I = \frac{d_1 - d_2}{2l_{1,2}} = \operatorname{tg} \alpha \quad ; \text{ arbori} \quad (4.4.)$$

" α " fiind unghiul înclinării

Din fig.4.1./II. se observă necesitatea definirii unei suprafețe conice prin trei parametri mășurați într-o secțiune normală prin con și raportată la o bază funcțională (de exemplu suprafața frontală a conului).

Acești parametri sunt:

(D;d) -diametrul nominal

(L;l) - cota secțiunii nominale față de baza funcțională considerată.

(I; respectiv α) - înclinația

(K; respectiv 2α) - conicitatea

Întrucât acești trei parametri [α , L(l), D(d)] sunt afectați de abateri (cazul fig.4.1.II.) se consideră tolerate (deci cu abateri) cele de la diametrul nominal (fig.4.1-II/b) cazul cel mai uzual, fie abaterea cotei față de baza funcțională L(ΔL) sau l(Δl), conform fig.4.1-II/c. Într-unul din aceste cazuri restul parametrilor pot varia în limitele câmpurilor de toleranță obținute.

Acest lucru este luat în considerare (așa cum s-a văzut la cursul de C.T.C.) și la verificarea suprafețelor conice cu ajutorul calibrelor limitative.

4.2.1./a Strunjirea suprafețelor conice cu avans manual înclinat (fig.4.2.)

Această metodă se recomandă numai în cazurile în care lungimea conului (l) este mică, iart unghiul (α) este mic (sau relativ mic). Procedul nu se recomandă fabricației de serie mare sau masă.

Unghiul (α) cu care trebuie rotită sania port-cuțit este dat de relația:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{d_1 - d_2}{2l}\right) \quad (4.5.)$$

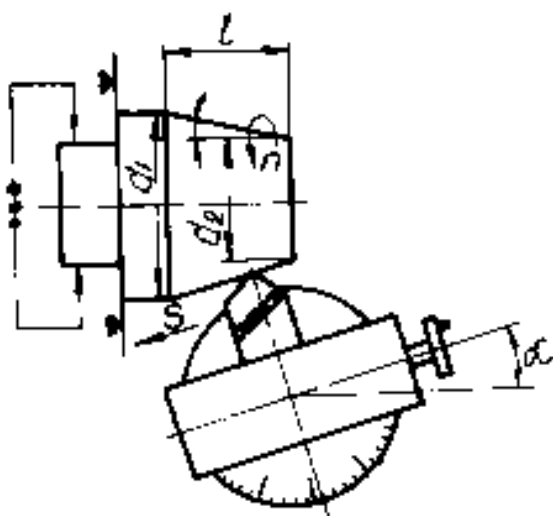


Fig.4.2.

4.2.1./b Strunjirea suprafețelor

conice între vârfuri folosind deplasarea transversală a păpușii mobile

Schema procedurii este dată în fig.4.3.

- Condiția este impusă de neuniformitatea contactului care apare între vârfuri și găurile de centrare.
- Astfel $\alpha \leq 5^\circ$
- Metoda nu se recomandă, de asemenea, decât în industria cu caracter individual, unicat, prototip sau serie foarte mică, deoarece precizia este afectată producându-se și o uzură prematură a mașinii-unelte (strungul normal).

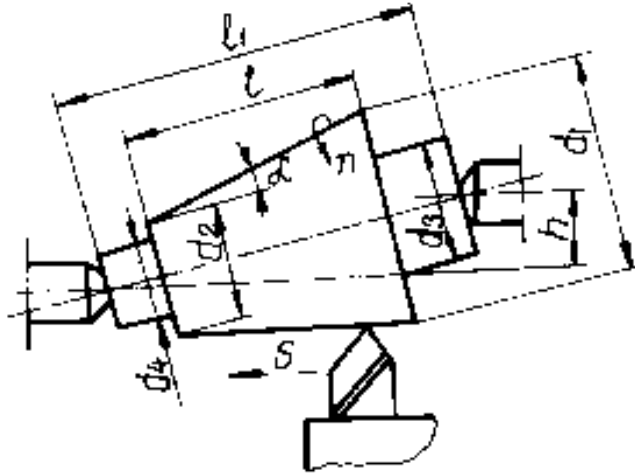


Fig.4.3.

Deplasarea ("h") a păpușii mobile se va face astfel:

$$h = \frac{d_1 - d_2}{2} \cdot \frac{l_1}{l} \quad (4.6.)$$

deoarece: $h = l_1 \sin \alpha$

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot l}$$

$\alpha \leq 5^\circ$ - având valori mici

4.2.1./c Strunjirea suprafețelor conice cu cuțite profilate (late)

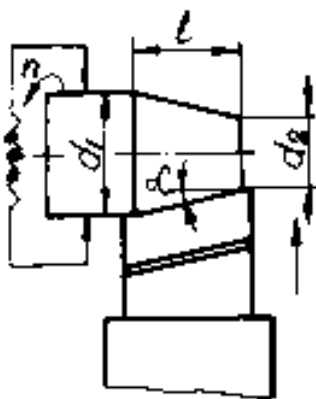


Fig.4.4.

Acest lucru se observă în fig.4.4.

Metoda este utilizată atunci, când lungimea conului nu depășește 25-35 (mm), deoarece în caz contrar vor apare vibrații. Profilul piesei rezultă simplu: generatoarea conului fiind materializată de muchia tăietoare a sculei. spre deosebire de metodele anterior prezentate, aceasta de față este foarte des utilizată în producția de serie mare și masă.

- Ca alte metode de strunjire putem

aminti:

- copierea prin strunjire a suprafețelor cu ajutorul unor sisteme de copiere (folosită în producția de serie mare și masă)
- strunjirea suprafețelor conice pe mașini-unelte speciale

- în acest caz la mașinile folosite acționează simultan cele două avansuri (obligatoriu cel longitudinal).

Conicitatea, respectiv unghiul (α) se reglează prin cinematica mașinii.

Procedeul este cel mai folosit în fabricația de serie mare și masă.

4.2.1.1. *Considerații privind influența reglării sculei și influența ei asupra preciziei de prelucrare obținută la strunjirea conică.*

Se va considera cazul din fig.4.5., unde poziționarea (reglarea de poziție) a sculei a suferit o eroare Δ (deplasare) cu care în poziția II. planul (ξ) s-a deplasat în jos, devenind planul (ω).

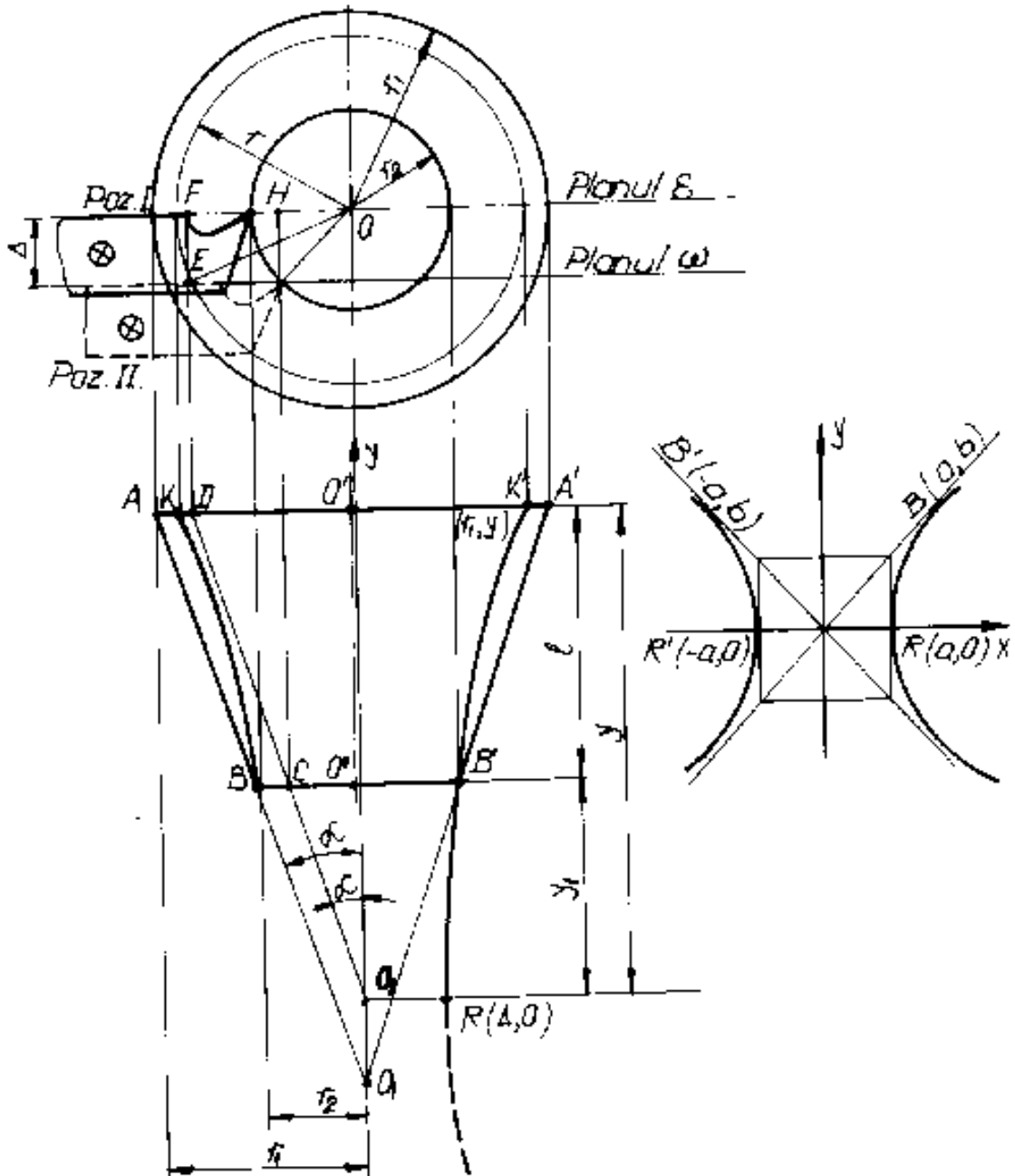


Fig.4.5.

În cazul reglării corecte a sculei (Poz.I.), adică în secțiunea radială (planul "ξ"), profilul piesei va fi AA'B'B, obținându-se parametrii geometrici doriți: $d_1 = 2r_1$; $d_2 = 2r_2$; respectiv unghiul "α".

Considerăm apoi că scula este reglată deplasat cu mărimea "Δ" (poz.II.), impunând însă condiția ca diametrul mic al piesei (d_2) să se obțină tot la valoarea inițială ($d_2 = 2r_2$).

Scula, în această poziție (poz.II.) se va deplasa tot rectiliniu în planul "ω" paralel cu planul "ξ", pe traiectoria $O_2 - C - D$, respectând și unghiul "α".

Rămâne să studiem ce se va întâmpla cu diametrul mare al piesei ($d_1 = 2r_1$) și cu forma generatoarei.

Din fig.4.5. se distinge clar că semiprofilul piesei prelucrate este D-O'-O''-C, rezultând ca în planul radial ("ξ") să se obțină diametrul $d_2 = 2r_2$ (așa cum s-a impus). Dar, observând în continuare, diametrul mare al piesei se va obține la valoarea $2r$ înloc de $2r_1$ (întrucât $r < r_1$).

Se poate vorbi astfel de o eroare constatată "δ" dinpunct de vedere dimensional:

$$\delta = 2(r_1 - r) \quad (4.7.)$$

Pentru a stabili mărimea erorii "δ" ca de altfel și a erorii de formă, se va proceda astfel:

în baza fig.4.5., geometria se poate scrie:

$$OE^2 = r^2 = \Delta^2 + OF^2 \quad (4.8.)$$

știind, că $OF = O'D$

se poate scrie:

$$OF = O'D = (l + y_1) \operatorname{tg} \alpha = y \operatorname{tg} \alpha$$

unde "l" este lungimea piesei strunjite.

$$y_1 = \frac{O''C}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4.10.)$$

$$O''C = OH$$

Valoarea lui rezultă din relația:

$$O''C = OH = \sqrt{r_2^2 - \Delta^2} \quad (4.11.)$$

înlocuind valoarea lui OF din relația (4.9.) în relația (4.8.) și prin împărțire cu Δ^2 , se va obține:

$$\frac{r^2}{\Delta^2} - \frac{(l + y_1)^2}{\Delta^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha} = 1 \quad (4.12.)$$

ceea ce reprezintă ecuația unei hiperbole în plan ($\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$)

prin similitudine: $r \equiv x$

$$\Delta \equiv a$$

$$\Delta \operatorname{ctg} \alpha = b$$

Concluzia rezultă de la sine: - generatoarea într-o astfel de secțiune obținută (B-K) nu va mai fi rectilinie, ci ea devine o curbă hiperbolică (raza "r" variază hiperbolic în lungul piesei). În afară de abaterile de la rectilitate suferite de generatoarea conului, în ipoteza realizării diametrului d_2 ($d_2 = 2 r_2$) se vor obține erori la diametrul d_1 ($d_1 = 2r_1$), precum și la înclinația conului.

În ceea ce privește mărimea diametrului (d_1) acesta teoretic se poate calcula cu expresia:

$$2r = 2\sqrt{\Delta^2 + (1 + y_1)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (4.13.)$$

rezultă astfel o eroare la diametru (δ); $\delta = \Delta d_1 = 2(r_1 - r)$ egală cu:

$$\delta = \Delta d_1 = \Delta(2r_1) = 2(r_1 - r) = 2\left[(r_2 + l \cdot \operatorname{tg} \alpha) - \sqrt{\Delta^2 + (1 + y_1)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right] \quad (4.14.)$$

Este evident, că eroarea "δ" atrage după sine și nerespectarea unghiului "α".

4.2.2. Strunjirea suprafețelor profilate

Se realizează după metodele:

- a) strunjirea profilată manuală
- b) strunjirea profilată cu ajutorul cuțitelor profilate
- c) strunjirea profilată cu ajutorul dispozitivelor de copiat
- d) strunjirea de copiere folosind procedeul rulării-rostogolirii

a) Strunjirea suprafețelor profilate după metoda manuală

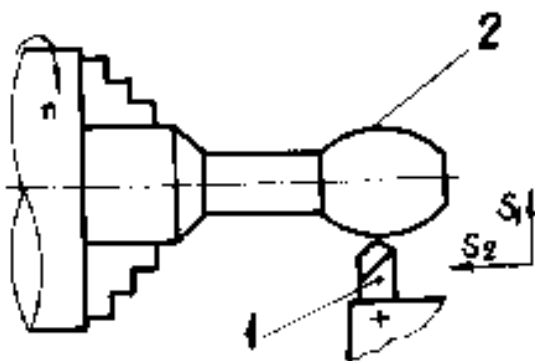


Fig.4.6.

Aceasta constă în combinarea celor două avansuri (S_1) transversal și (S_2) longitudinal (fig.4.6)

Operatorul uman (strungarul) trebuie să dea dovada unei înalte îndemânări în manevrarea simultană a manetelor astfel încât vârful cuțitului (1) să descrie curba generatoare a profilului piesei (2).

Metoda fiind neproductivă și impunând un personal de înaltă calificare este costisitoare, recomandându-se în producția de prototipuri (unice).

b) Strunjirea cu ajutorul cuțitelor profilate

Această metodă se aplică la realizarea suprafețelor profilate cu lungime relativ mică (vezi fig.4.7.a și b)

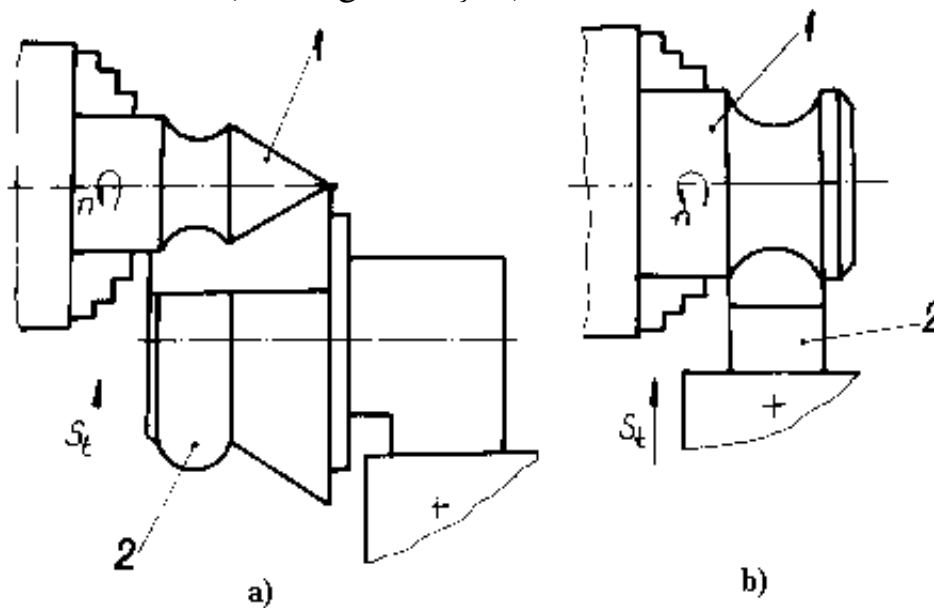


Fig.4.7.

4.7.a) - strunjire profilată folosind cuțite disc

4.7.b) - strunjire profilată cu cuțit prismatic

În ambele cazuri prelucrarea se desfășoară numai cu avans transversal al cuțitului (S_t). Verificarea profilului sculei se face cu un șablon special construit în acest scop sau cu o leră de raze normale (pentru raze normalizate).

În cazul prelucrării unui număr mare de piese, se recomandă utilizarea cuțitului-disc profilat (întrucât permite un număr foarte mare de reascuțiri).

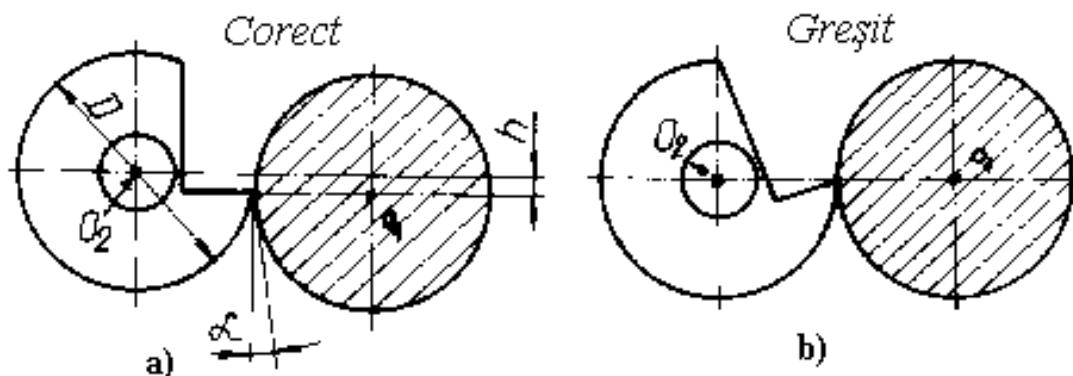


Fig.4.8.

Așa cum rezultă din fig.4.8., centrul O_2 al cuțitului-disc trebuie să se găsească deasupra centrului de rotație O_1 , cu o mărime "h", ale cărei valori sunt date tabelar (vezi tabelul 4/I fig.4.9/a).

Se consideră greșit a se lucra cu cuțitul-disc așezat ca în fig.4.9/b, deoarece aici unghiul de așezare fiind nul, așchierea neputându-se realiza.

Mărimea avansului transversal se stabilește în funcție de diametrul și lungimea suprafeței profilate. Astfel:

$$S_t = [0,01 \div 0,08] \text{ mm/rot pentru } d = [10 \div 100] \text{ mm și } l = [8 \div 60] \text{ mm}$$

Tabelul 4/I

Valori pentru mărimea h în funcție de unghiul de așezare α° și de diametrul d al cuțitului-disc						
Unghiul de așezare α	Diametrul d al cuțitului-disc profilat, [mm]					
	50	60	70	80	90	100
3°	1,5	1,6	1,8	2,1	2,4	2,6
5°	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,4
8°	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0
12°	5,2	6,2	9,3	8,3	9,4	10,5

Fig.4.9.

Tabelul 4/II - fig.4.10. prezintă această legătură a avansului transversal S_t [mm/rot], în funcție de lățimea cuțitului (mm) și diametrul de prelucrat (mm).

Tabelul 4/II

Avansuri transversale la strunjire cu cuțite profilate, mm/rot S_t								
Lățimea cuțitului	Diametrul de prelucrat, mm							
	10	15	20	25	30	40	50	60÷100
8-10	0,02-0,08			0,04-0,08				
15-20	0,01-0,05				0,04-0,08			
25-30	0,01-0,05					0,035-0,07		
35-40	-	0,01-0,045				0,03-0,065		
50-60	-	0,01-0,04			0,025-0,05			

Fig.4.10.

În cazul fazei de finisare se recomandă următoarele valori ale parametrilor:

$$S_t = [0,01 \div 0,013] \text{ mm/rot}$$

adaosul de prelucrare: $a_{fin} = [0,13 \div 0,25]$ mm

viteza de aşchiere: $v = [2 \div 40]$ m/min

În situația unor suprafețe profilate de lungimi mai mari se recomandă executarea succesivă cu mai multe cuțite profilate a aşchierii. Astfel crește și productivitatea, procedeul fiind indicat producției de serie mare și masă (vezi fig.4.11.)

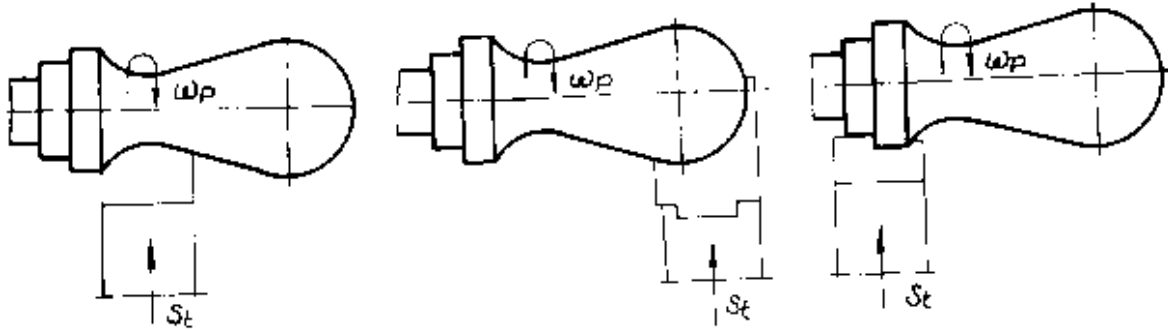


Fig.4.11.

c) Strunjirea profilată cu ajutorul dispozitivelor de copiat

Este o metodă productivă, vizând reducerea timpului ajutor (auxiliar), realizată prin automatizarea și mecanizarea elementelor componente ale procesului tehnologic. Astfel, de exemplu, folosirea dispozitivelor de copiat pe strunguri duce la micșorarea cu 50-80% a timpului ajutor.

Se cunosc o diversitate mare de dispozitive și sisteme de copiat la strunjire:

- mecanice
- hidraulice
- pneumatice
- electrice
- electrohidraulice
- hidropneumatice
- electronice

Elemente teoretice:

În timpul generării unei curbe plane ("C") exprimată într-un sistem de coordonate rectangular sau polar, un punct M (fig.4.12.a) trebuie să parcurgă traiectoria cu o viteză V_T tangentă în permanență la ea.

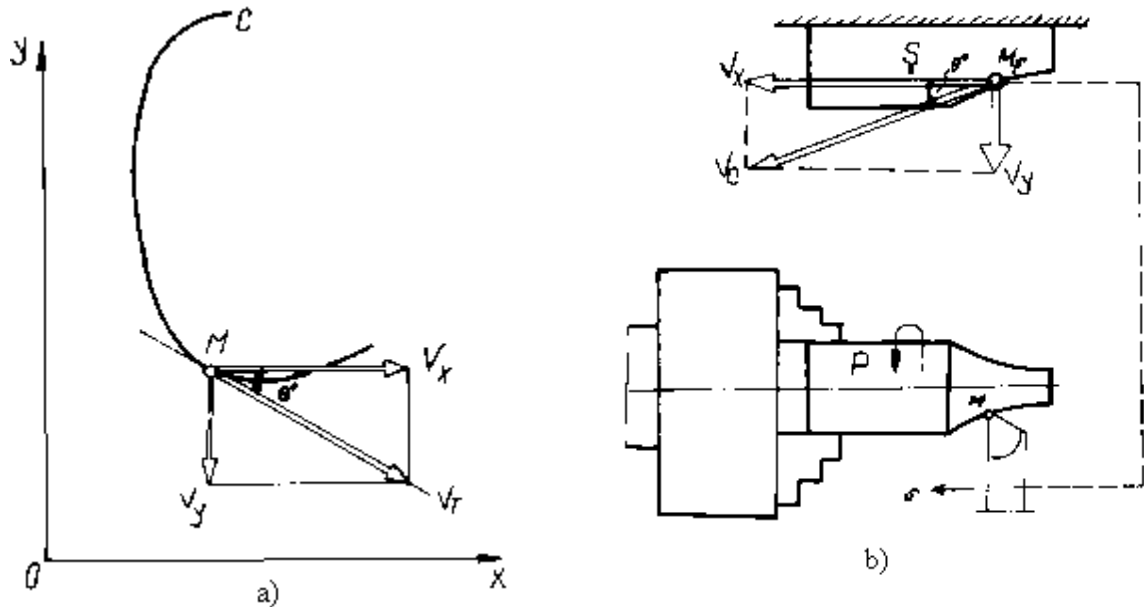


Fig.4.12.

Componentele vitezei (V_T) pe cele două direcții x și z ale sistemului de coordonate sunt:

$$v_x = V_T \cdot \cos \theta \quad v_y = V_T \sin \theta \quad (4.15.)$$

Cerințele tehnologice impun ca (V_T) să fie constant, dar unghiul θ° fiind continuu variabil, pentru realizarea condiție de coordonare dată de relația (4.16.) se utilizează lanțurile cinematice de copiere.

$$\frac{v_x}{v_y} = \operatorname{tg} \theta \quad (4.16.)$$

Aceste lanțuri cinematice de copiere trebuie în mod obligatoriu să conțină două elemente esențiale:

- curba "C" - materializată pe portprogram (suport)
- mecanismul de sesizare (palpatorul), care urmărește curba "C"

dată de portprogram.

Cele mai cunoscute portprograme sunt șabloanele (vezi fig.4.12.b).

Mișcarea de copiere este o mișcare de avans pe generatoare, cunoscută sub numele de mișcare de avans de copiere, iar vitezele cu care se efectuează: vitezele de avans de copiere (v_x , v_y - în cazul mișcării plane).

Să urmărim fig.4.13.

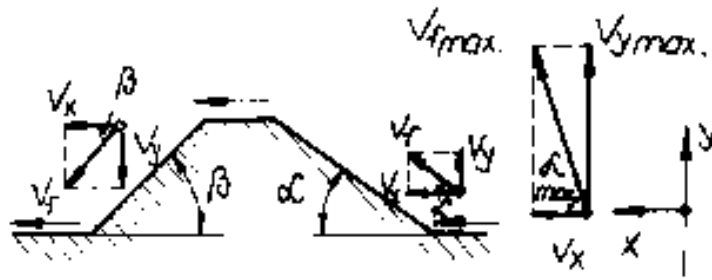


Fig.4.13.

După cum se vede, mișcarea pe direcția "x" a palpatorului (cu viteză constantă) și deci și a sculei, este denumită mișcarea de transport. ea asigură realizarea deci a avansului de transport, care este un avans continuu cu viteză constantă. Mișcarea pe direcția "y" este comandată de șablon, denumită fiind mișcare de copiere (sau de urmărire). Aceasta generează avansul de copiere, realizat printr-o mișcare cu viteză variabilă în funcție de unghiul θ° (în fig.4.12., θ° având valori de α° fie β°). Dezavantajul, aici, îl constituie nepermiterea executării umerilor drepți (deoarece atunci, când $v_x = ct$; $v_y \rightarrow \infty$, adică se impune realizarea unei viteze de avans de copiere infinit de mari - practic imposibil). Acest lucru a impus înlocuirea coordonatelor rectangulare (carteziene) cu un sistem de axe care se intersectează la un unghi diferit de 90° (vezi fig.4.14.).

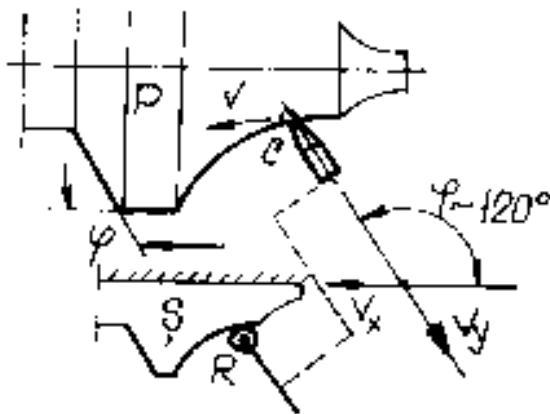


Fig.4.14.

În acest caz palpatorul rămâne insensibil la direcție (punctuș C - pe direcția v_y - fig.4.14.)

Neajunsul se leminină numai prin comanda simultană a ambelor avansuri v_x și v_y (vezi și fig.4.12./b). Procedeu impune din punct de vedere tehnic-constructiv folosirea unui palpator de structură complicată.

În funcție de modul în care se realizează urmărirea șablonului, se deosebesc trei moduri de copiere:

- copierea continuă (mecanică)
- copierea discontinuă (hidraulică)
- copirerea electrică

Copierea continuă mecanică este realizată cu ajutorul dispozitivelor de copiat mecanice. Se caracterizează prin simplitatea

mecanismelor, a lanțului cinematic de copiere și prin rigiditatea lui. Aceasta asigură o precizie ridicată (0,02 mm).

Se aplică în producția de serie și masă, cu toate inconvenientele sale (șablon relativ costisitor și uzură mare a acestuia).

Lanțul cinematic de copiere trebuie să asigure contactul continuu al palpatorului cu șablonul și deplasarea sculei identică cu a lui, pe aceeași direcție (vezi fig.4.15.).

Mișcarea de avans longitudinală este executată de căruciorul strungului (ea este de fapt mișcarea de transport).

Mișcarea transversală (de avans transversal), este executată de sania transversală, care este desolidarizată (independentă) de șurubul conducător. Această mișcare este de fapt copierea imprimată de șablon (prin rola R).

Pentru a evita înțepenirea dintre palpator și șablon, trebuie ca unghiul dintre normala la tangentă în punctul de contact al palpatorului cu șablonul și axa de simetrie a palpatorului trebuie să fie max. 45° (fig.4.16.).

Întrucât suprafața de contact dintre palpator și șablon trebuie să fie cât mai mică, teoretic punctiformă, presiunea specifică de contact este foarte mare, fapt ce atrage după sine o mare uzură a celor două piese de contact.

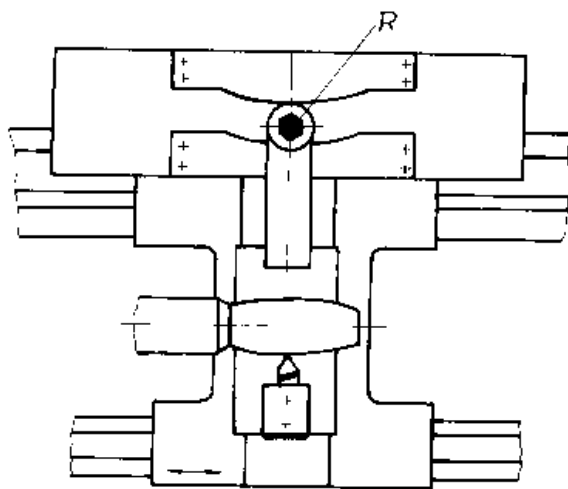


Fig.4.16.

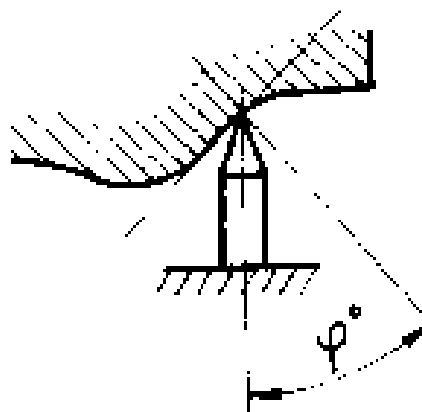


Fig.4.15.

Copierea discontinuă, hidraulică, se realizează cu ajutorul dispozitivelor de copiat. Ele sunt din ce în ce mai frecvente în extinderea sistemelor de automatizare.

Schema sistemului de reglare automată a unui dispozitiv de copiat hidraulic se prezintă în fig.4.17.

Mărimea de intrare ("X") este o mărime mecanică sub forma unei deplasări. Această mărime, convertită în semnale proporționale de debit și presiune, de către dispozitivul de comparare este transmisă motorului

hidraulic (M_H), care are rol de organ de execuție, convertând semnalele respective în deplasări finite pe care le transmite organului acționat (sania dispozitivului de copiat).

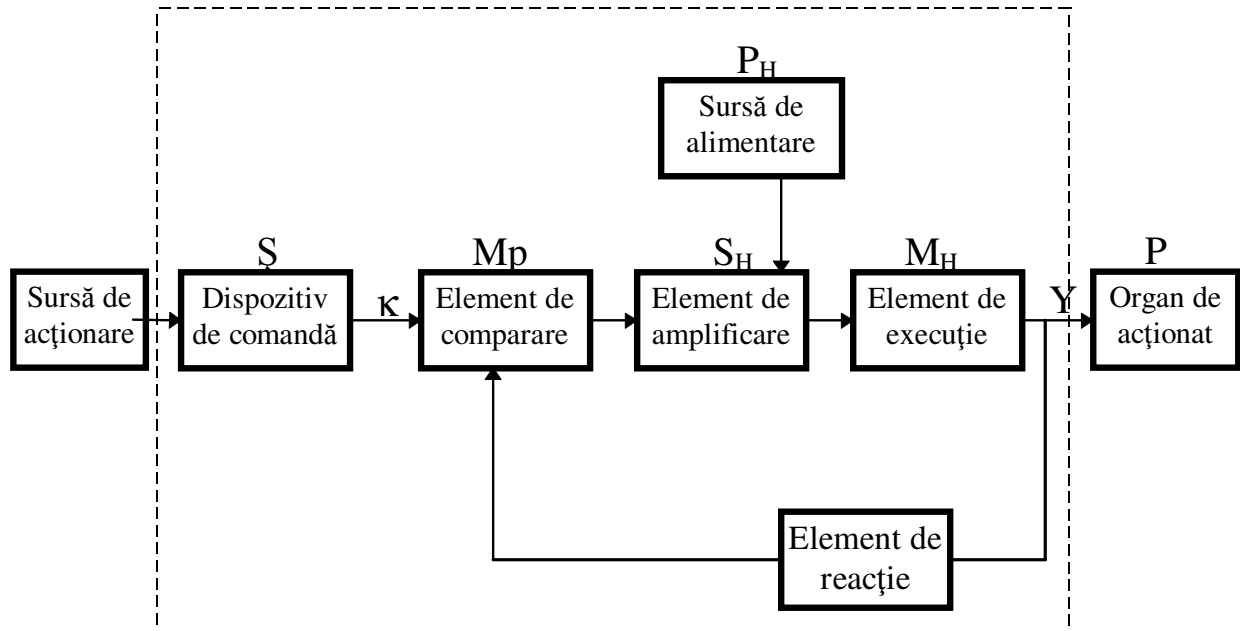


Fig.4.17.

Prin intermediul legăturii de reacție, mărimea de ieșire ("Y"), care reprezintă deplasarea saniei, este comparată cu valoarea mărimii de intrare, urmându-se ca abaterea mărimii de ieșire față de valoarea mărimii de intrare să fie nulă.

Astfel această legătură (acord) face ca legea de mișcare să rezulte sub forma traiectoriilor materializate pe piesa prelucrată.

În fig.4.18. se dă schema unui sistem hidraulic de copiat după o singură coordonată.

Acest sistem conține un distribuitor cu două muchii de comandă (1) și (2). astfel, debitul (Q) al pompei (P) este refulat la presiunea (p_0) în distribuitorul de copiere. Trecerea uleiului prin fanta controlată de muchia (1) de comandă, determină scăderea presiunii la valoarea p_1 , valoare ce se regăsește și în camera (B) a motorului hidraulic.

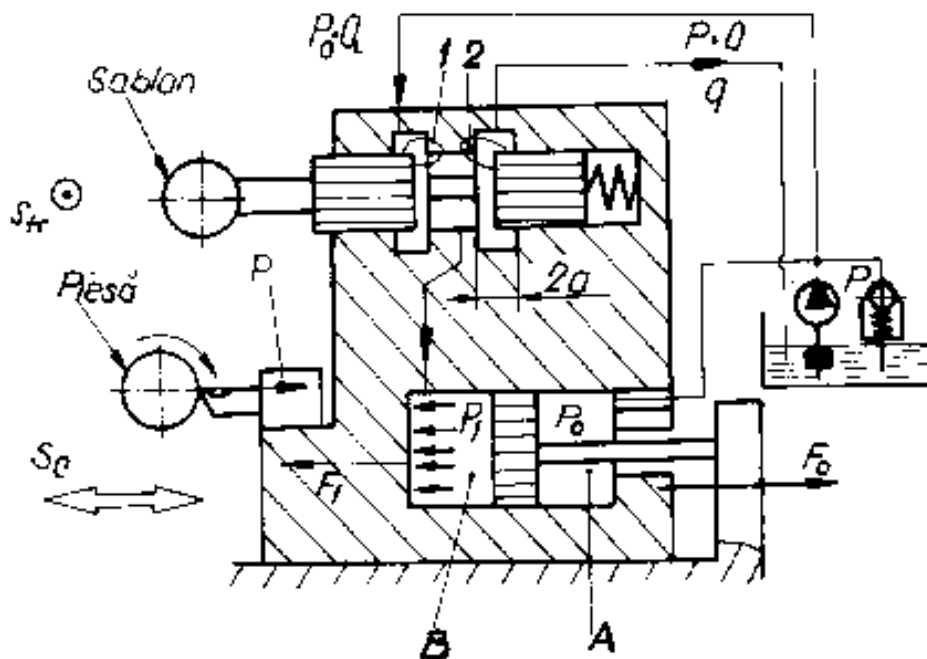


Fig.4.18.

În continuare, debitul (Q) traversează fanta controlată de muchia (2) de comandă, reducându-și presiunea la zero, și se scurge la rezervor. În camera (A), însă, uleiul are în permanență presiunea (p_0) a pompei. La o anumită poziție a sertărașului distribuitorului, presiunea (p_1) are valoarea necesară pentru ca rezultanta (R) a forțelor de așchiere și frecare să fie echilibrată de rezultanta forțelor (F_1) și (F_0) se acționează asupra celor două fețe ale pistonului. În acest caz se realizează poziția de echilibru.

Dacă în cursul deplasării longitudinale ale sistemului sertărașul distribuitorului a fost împins spre dreapta, atunci fanta controlată de muchie de comandă (1) s-a îngustat și a determinat scăderea presiunii (p_1) din camera (B) a motorului hidraulic și deci produce micșorarea forței F_1 . Ca urmare, rezultanta (R) depășește rezultanta forțelor (F_1) și (F_0), ceea ce face ca cilindrul motorului hidraulic să se deplaseze spre dreapta.

Corpul distribuitorului, fiind solidar cu acestea, se deplasează de asemenea spre dreapta, restabilind echilibrul.

În fig.4.19. se prezintă shema unui sistem hidraulic de copiere după două coordonate.

Sistemul se compune dintr-un grup de pompare, două motoare hidraulice (MH_X) și (MH_Y) [MH_Y deplasează scula în lungul piesei, iar (MH_X) o deplasează pe direcția radială], precum și un distribuitor de copiere ce comandă ambele motoare. Distribuitorul de copiere are două zone de lucru: - una pentru comanda motorului (MH_X), iar alta pentru comanda motorului (MH_Y). Distribuitorul sistemului de copiere din

fig.4.19. are șase muchii de comandă. Astfel: patru (1,2,3,4) sunt pentru deplasarea radială și două (5,6) pentru deplasarea longitudinală. La prelucrarea unei suprafețe cilindrice, fantele controlate de muchiile de comandă 1,2,3,4 sunt toate înguste, ceea ce face ca debitul care se scurge prin ele să fie neglijabil de mic.

Practic, întregul debit al pompei este refulat spre motorul (MH_Y) și ca urmare avansul longitudinal are valoare maximă, controlată de droselul (Dr_Y). Dacă în cursul acestui avans,

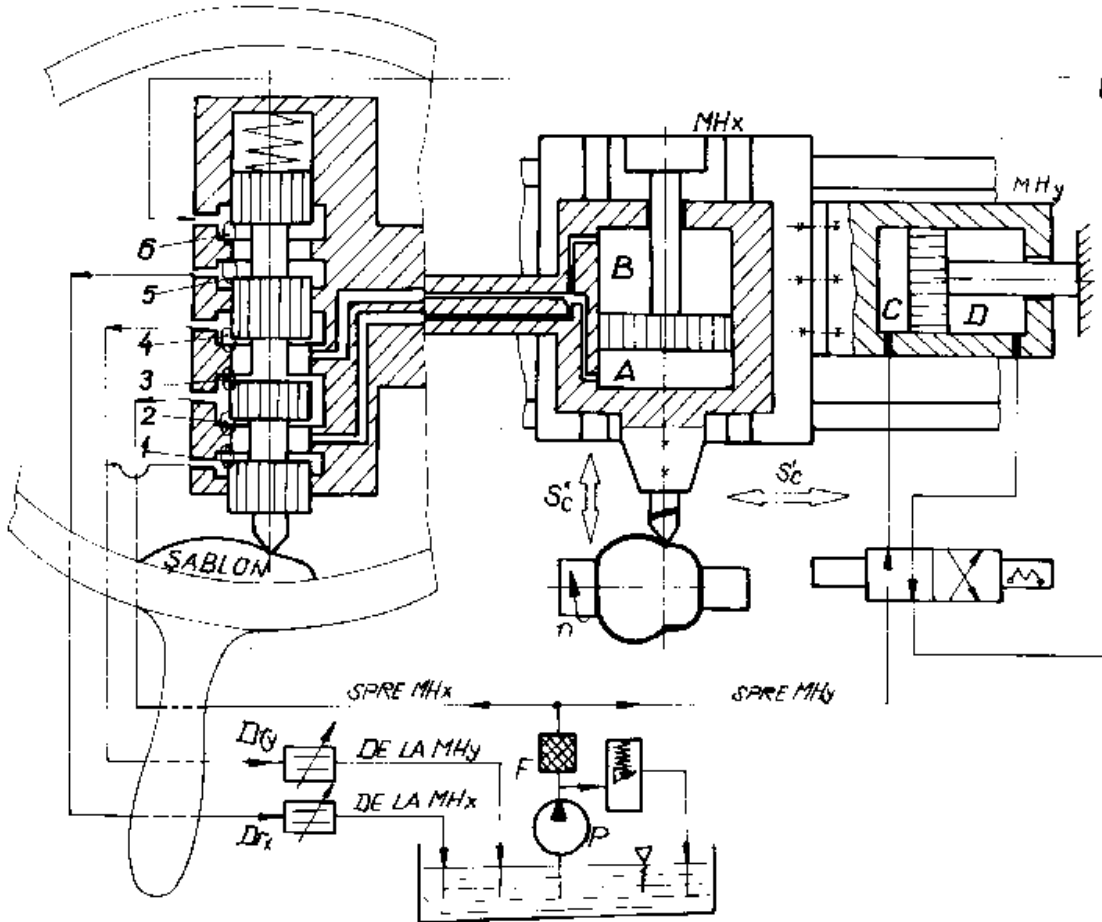


Fig.4.19.

sertărașul distribuitorului a întâlnit o pantă ascendentă, atunci a fost împins astfel încât fantele controlate de muchiile (1) și (3) de comandă s-au închis, iar cele comandate de muchiile (2) și (4) s-au deschis. Ca urmare, o parte (Q_X) din debitul pompei traversează fanta muchiei (2), ajungând în camera (B) a motorului (MH_X) deplasând cilindrul acestuia, în același sens în care a fost deplasat și sertărașul. De asemenea, la împingerea sertărașului, fanta muchiei (5) s-a redus, ceea ce a făcut ca debitul de ulei (Q_X), refulat din camera (D) a motorului (MH_Y) spre rezervor să fie mai redus, iar avansul longitudinal mai scăzut decât în

cazul precedent. Poziția dezechilibrată a sertărașului se va menține atâta timp, cât acesta va parcurge zona "în pantă" a șablonului.

Întrucât motorul hidraulic (MH_x) și corpul distribuitorului sunt solidarizate, deplasarea comună a acestora va continua până când sertărașul va ocupa din nou poziția de echilibru.

Copierea electrică: - se bazează pe utilizarea comenzii electrice la dispozitivele de copiat. Aceste dispozitive au trei părți distincte:

- capul de copiat (vârful), care este organul ce percepe profilul impus de șablon, emițând impulsurile care comandă funcționarea dispozitivului de copiat.

- organul de transmisie

- mecanismul de execuție (care primește impulsurile de la capul de copiat și reproduce cu ajutorul sculei, pe piesa de prelucrat profilul prelucrat.

Tipul acesta de dispozitive (electrice) permit folosirea unor șabloane din materiale mai ușor de prelucrat, datorită presiunilor mici între palpator și șablon.

Din punct de vedere al principiului de funcționare, ele sunt de două feluri:

- cu contacte și

- fără contacte

În cazul dispozitivelor cu contacte palpatorul închide și deschide o serie de contacte, care prin intermediul unor relee comandă avansul mașinii. Dispozitivele fără contacte se caracterizează prin aceea, că semnalele de comandă se produc prin modificări de curent în circuit, modificări influențate de mișcările palpatorului. Acestea se împart în dispozitive de copiat de tip:

- inductiv

- capacitiv

- rezistiv

În funcție de cele prezentate anterior (cu sau fără contacte), se stabilesc două genuri de copiere:

- discontinuă

- continuă

Mărimea semnalului de comandă furnizată de palpatorul sesizorului este amplificată (electric sau electronic) pentru a putea acționa motorul electric care asigură mișcarea pe direcția avansului de copiere.

O astfel de schemă (simplificată) a unui sistem de copiere discontinuă cu sesizor de contacte, este prezentată în fig.4.20.

Inițial, palpatorul nefiind în contact cu șablonul, contactele (1) și (2) ale sesizorului sunt închise, curentul circulă prin bobina releului (R_e) al contactorului de inversare (C_i), iar motorul (M_Y) funcționând într-un sens, el apropie întregul sistem de șablon. La contactul palpatorului cu șablonul, contactele (1) și (2) se deschid, bobina (R_e) iese de sub tensiune, contactorul (C_i) realizează

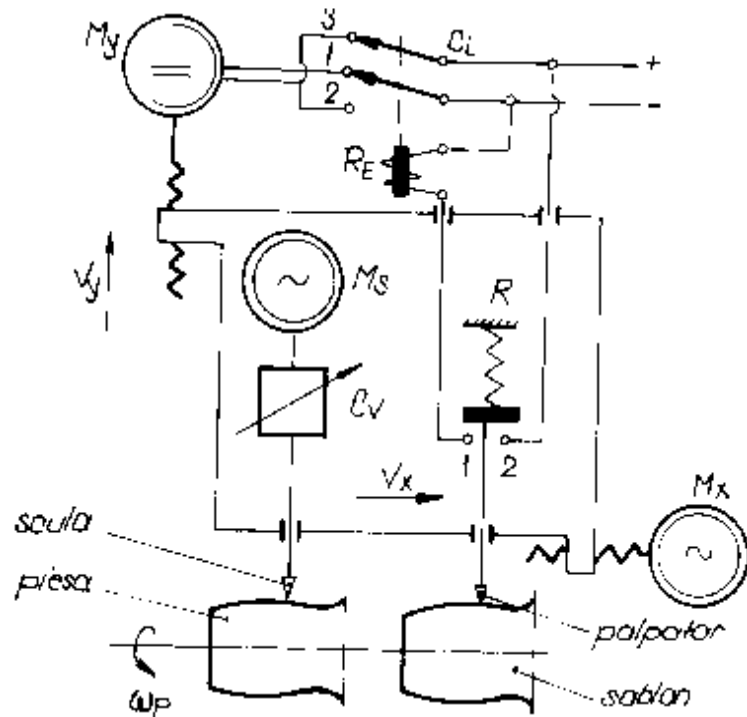


Fig.4.20.

contactele (1) și (3) [situația din fig.4.20.], ceea ce duce la inversarea sensului de rotație a motorului (M_Y) și ca urmare sistemul se retrage. Întrucât între timp motorul (M_X) realizează avansul continuu de transport, traiecoria vârfului palpatorului și deci a sculei va fi cea din fig.4.21.

Suprafața obținută prin copiere se va prezenta cu trepte, a căror înălțime ("h") depinde de construcția contactelor sesizorului și a căror pas depinde de viteza avansului de transport cu toate că profilul șablonului este continuu. Aceste trepte se obțin și la copierea după două direcții, când palpatorul comandă deplasarea fie pe direcție longitudinală fie pe direcție transversală, cu o mărime bine definită (fig.4.22./a).

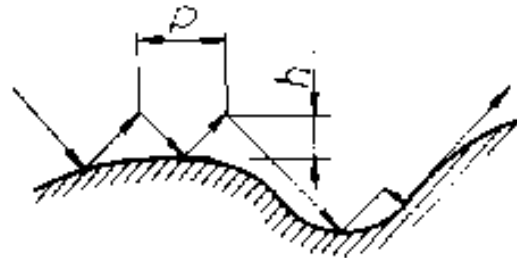


Fig.4.21.

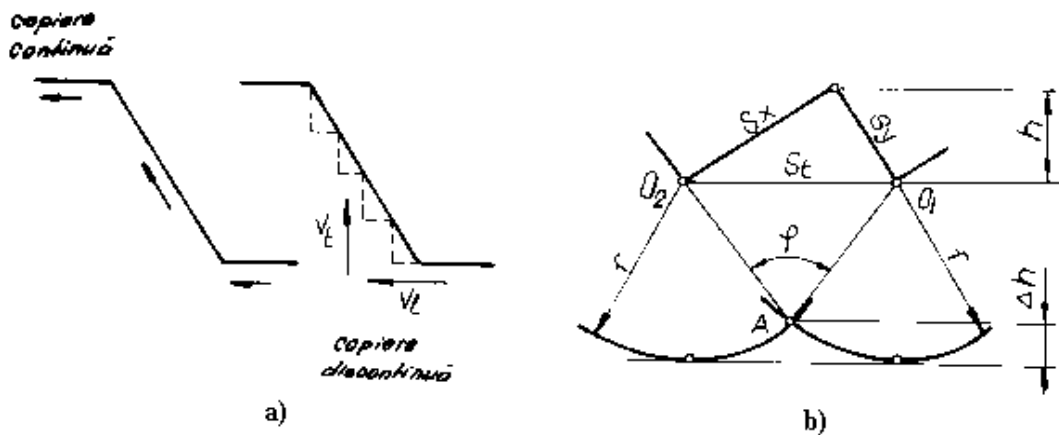


Fig.4.22.

Raza vârfului cuțitului la copierea discontinuă micșorează caracterul de trepte ale suprafețelor curbe. În fig.4.22./b se observă gradul de atenuare (micșorare) a treptelor, dependente de raza vârfului cuțitului de strung. Desigur mărimea avansului (S) trebuie să fie mai mică decât raza (r) la vârful cuțitului ($S < r$).

Această copiere discontinuă se utilizează la strunjirea axelor cu profile mai complexe, recurgându-se în special la copierea cu comandă numerică cu program pe M.U.C.N.

d.) Strunjirea de copiere folosind procedeul rulării-rostogolirii

Procedeul este vizibil atât cinematic cât și schematic în fig.4.23.

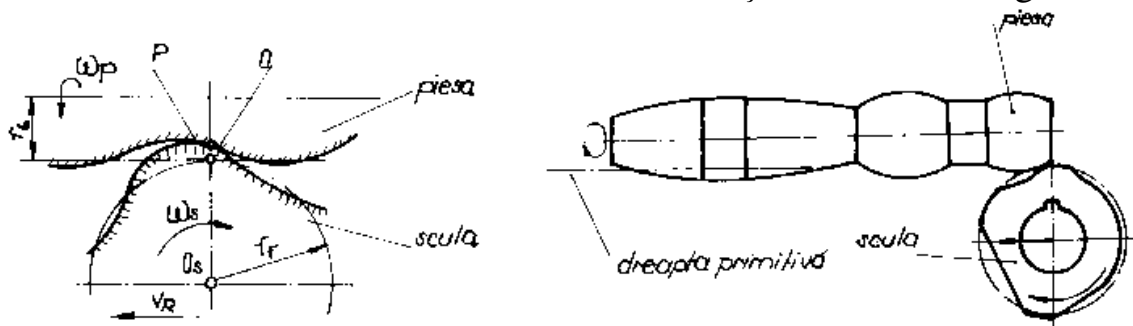


Fig.4.23.

Așa cum se observă, se impune pentru sculă asigurarea unei viteze de rotație fără alunecare. Lungimea profilului este egală cu lungimea porțiunii rulate a piesei.

Piesa (P) se rotește cu ω_p ; scula cu ω_s în jurul axei sale, iar (V_R) reprezintă deplasarea uniformă (viteza de rulare) a axei sculei de-a lungul axei piesei.

Profilul sculei așchietoare reprezintă înfășurătoarea pozițiilor succesive ale profilului piesei de prelucrat, piesa rulând fără alunecare pe profilul sculei, în baza metodei de generare prin rulare.

(r_r) - fiind raza rulantă

(r_b) - raza cilindrului la generatoarea căreia este tangent cercul de bază (r_r)

$$V_R = r_r \cdot \omega_s \quad (4.17.)$$

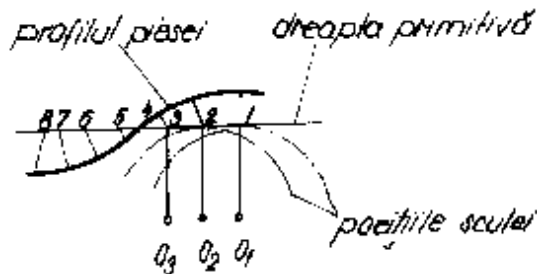


Fig.4.24.

Muchia aşchietoare a cuţitului profilat trebuie să se găsească în planul orizontal al axei de rotaţie a piesei de prelucrat.

Este necesar (aşa cum se vede şi din fig.4.24.) ca normalele la diferite puncte ale profilului sculei să intersecteze dreapta primitivă (baza)

în ordine succesivă.

Enumerăm, în continuare avantajele metodei:

- este mai productivă decât prelucrarea după şablon
- se poate copia (executa) aproape orice profil;
- muchia aşchietoare, datorită mişcării sale de rotaţie, rămâne scurt timp în contact cu piesa de prelucrat (uzură mică a sculei)
- deservire şi reglare simplă a maşinii unelte

Făcând o comparaţie cu metoda copierii după şablon:

- la o piesă din OLC 45 profilată de lungime de 100 mm, aplicând metoda rulării cu acelaşi regim de aşchiere: $v=36$ m/min; $S=0,2$ mm/rot., productivitatea creşte de 3,5 ori (deci timp operativ - de bază de 3,5 ori mai mic).

4.2.3. Metode şi procedee de prelucrare a suprafeţelor sferice

În general în construcţia de maşini se întâlnesc suprafeţe sferice sub forme diverse:

- sfere complete
- calote sferice
- zone sferice, etc...

În funcţie de mărimea razei (R) a sferei se utilizează metode şi procedee diferite:

- prelucrarea cu:
 - cuţit profilat
 - cu scule-cupă
 - copiere după şablon
 - dispozitive cu tijă
 - dispozitive rotative

În fig.4.25. se prezintă prelucrarea suprafețelor sferice de dimensiuni mijlocii, atât interioare (4.25./a) cât și exterioare (4.25./b), cu ajutorul cuțitelor cupă speciale.

Scula (S) execută o mișcare de rotație în jurul unei axe înclinate cu unghiul (α°), calculat cu relația:

$$\sin \alpha = \frac{D}{2R} \quad \text{iar} \quad D = \sqrt{2R(R - b)} \quad (4.18)$$

unde: D - diametrul sculei-cupă

b - distanța dintre vârful sculei și centrul sferei

R - raza sferei

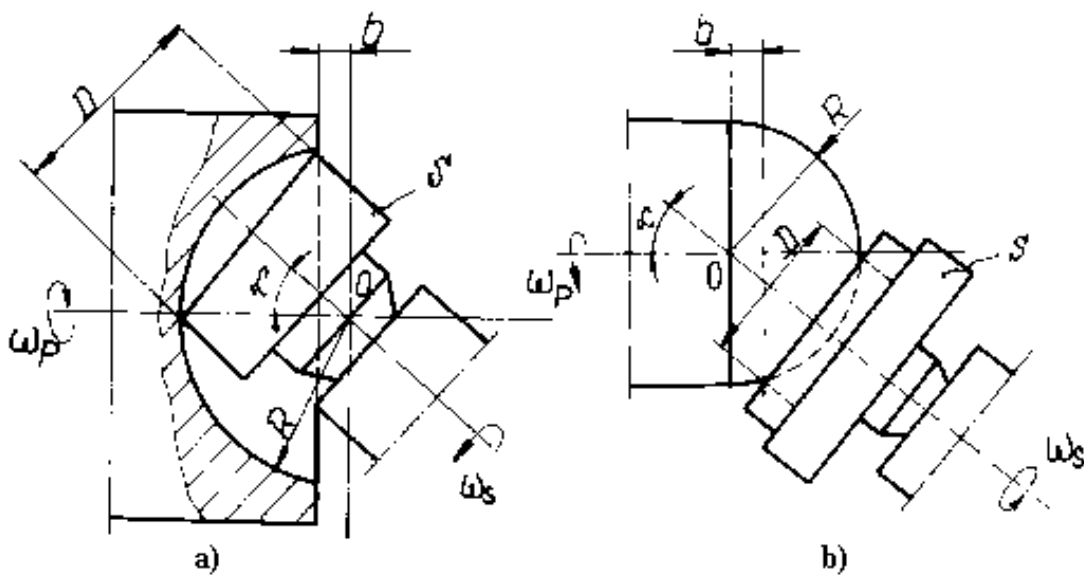


Fig.4.25.

Mișcarea de rotație a sculei este realizată cu un dispozitiv de antrenare fixat pe căruciorul strungului.

Strunjirea pieselor sferice de dimensiuni relativ mici se poate face cu ajutorul unui cuțit montat într-un dispozitiv rotativ cu melc și roată melcată (fig.4.26.)

(1) - cuțit de strung

(2) - suport fixat în port-cuțitul strungului

Se rotește manual roata melcată (6) și deci axul (4) în

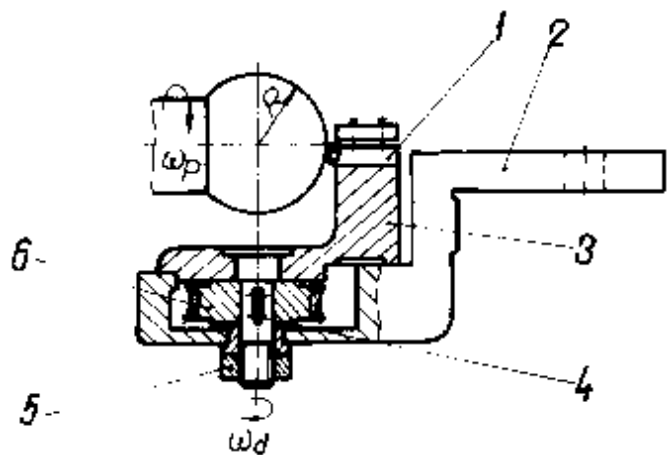


Fig.4.26.

jurul axei sale, ceea ce conduce la rotirea suportului glisant (3) în jurul aceleiași axe care coincide cu una din axele sferei de rază R.

(5)- piuliță de asigurare-fixare

Vârful cuțitului în mișcarea sa descrie un cerc de rază R, rezultând o suprafață sferică de aceeași rază (R).

4.3. Metode și procese de prelucrare prin frezare a suprafețelor profilate

Se poate face prin mai multe metode:

a.) - manual (acționând simultan avansul longitudinal și transversal)

b.) - cu ajutorul frezelor profilate sau a unui complet (ansamblu) de freze

c.) - prin copiere după șablon

d.) - cu ajutorul echipamentelor ECN- de conturare (în cazul M.U.C.N.)

a) Procedul de prelucrare de copiere-manuală a suprafețelor profilate prin frezare

Este larg răspândit în producția de serie mică și individuală. Concordanța mișcărilor este realizată de operatorul uman (muncitor), prin urmărirea contactului rolei cu conturul șablonului (fig.4.27.)

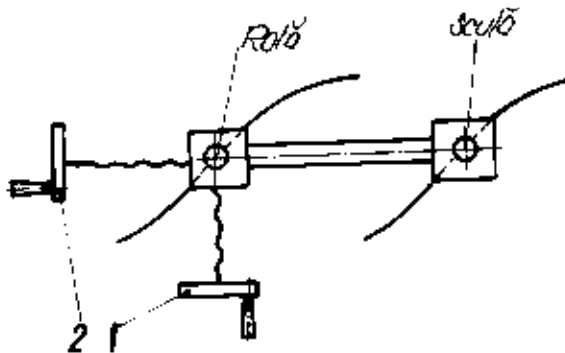


Fig.4.27.

Atât comanda cât și corecția (sau corecțiile) se efectuează prin acționarea concomitentă a roților (1) și (2). Acestea impun însă o calificare înaltă a lucrătorului și o productivitate relativ scăzută (inclusiv precizie calitativă și dimensională redusă).

b.) Prelucarea de frezare prin copiere cu ajutorul frezelor profilate

Acest procedeu este destul de des întâlnit în toate tipurile de producție (individuală, serie și masă).

Se utilizează la prelucrarea danturilor (procedeu clasic de copiere cu freză deget sau disc-modul), al canelurilor diferitelor tipuri de scule, pieselor cu profil complicat, etc...

În general frezele folosite în acest scop sunt detalonate. Se poate lucra cu:

- freze disc-profilate
- freze cilindrice-profilate
- freze deget-profilate

Figura 4.28. ilustrează prelucrarea cu freze disc-profilate a suprafețelor pieselor. Tehnologic, trebuie acordată atenție deosebită stabilirii avansului pe dinte (S_d) care este în funcție de diametrul (D) al frezei și de lungimea de contact (t).

Pentru $t \leq 20$ mm, pe intervale de mărimi se recomandă:

$S_d = [0,02 \div 0,12]$ mm la $D = [35 \div 90]$ mm (pentru scula din oțel rapid)

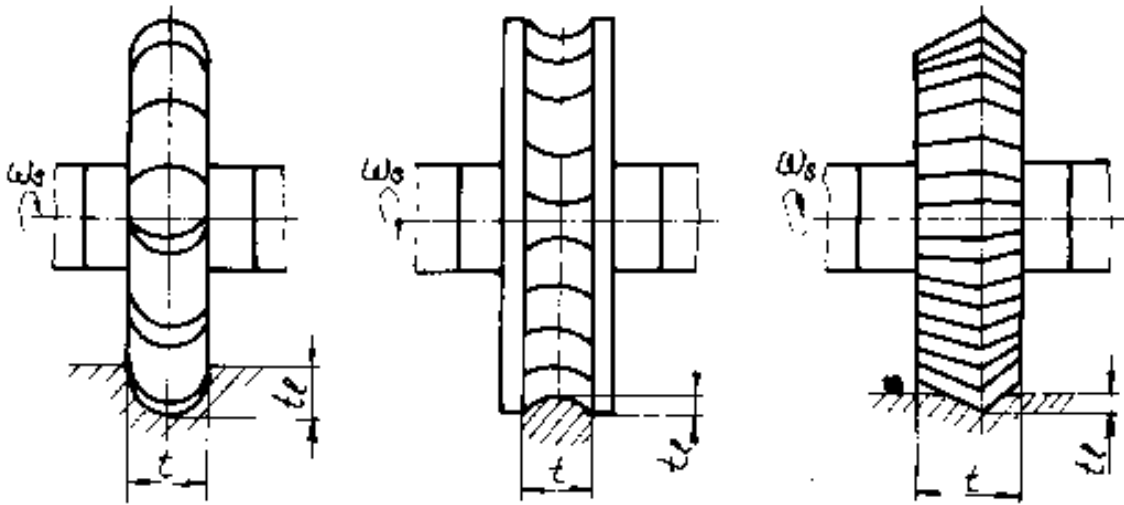


Fig.4.28.

Aceste avansuri asigură obținerea unei rugozități cuprinse în intervalul:

$$R_a = [3,2 \div 6,3] \mu\text{m}$$

Trebuie, însă, să menționăm că prelucrarea cu freze profilate este costisitoare și puțin productivă din cauza regimului (relativ puțin intens) de așchiere.

c.) Frezarea de copiere după șablon

Schematic este prezentată în fig.4.29.

Răspândirea procedurii este largă (serie mare și masă), asigurând obținerea unei precizii mari de prelucrare (în funcție de precizia șablonului), a unei calități superioare a suprafeței și o productivitate ridicată.

Dispozitivul mecanic este fixat pe masa mașinii de frezat.

Contragreutatea (6) realizează contactul permanent între roata (3) și șablonul (2) prin deplasarea în direcție transversală a saniei corespunzătoare (5).

realizarea piesei (1) se face prin deplasarea longitudinală a saniei cu ajutorul șurubului conducător longitudinal, ceea ce face ca ambele elemente: piesă și șablon să execute o mișcare de translație.

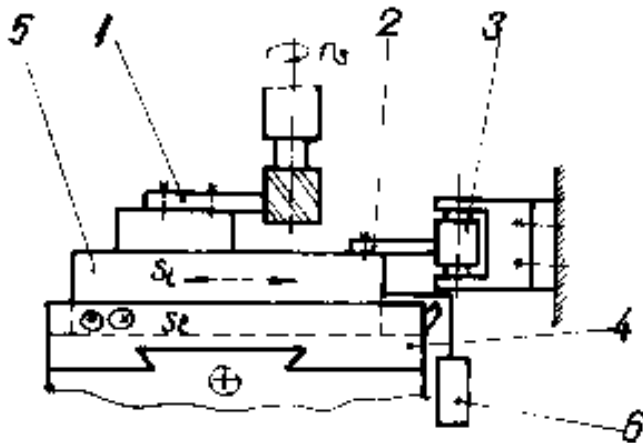


Fig.4.29.

Analiza preciziei de prelucrare la copierea după șablon:

precizia este determinată de o serie de factori dintre care cei mai importanți sunt:

- precizia de execuție a diametrului rolei și frezei precum și exactitatea de profil a șablonului.

Considerând (ca în fig.4.30.) că centrul frezei și al rolei de copiat descriu (în timpul copierii) aceleași curbe, se pot scrie următoarele egalități:

$$R = R_p + r_f = R_o + r_r \quad (4.19.)$$

rezulă: $R_p = R_o + (r_r - r_f)$ (4.20.)

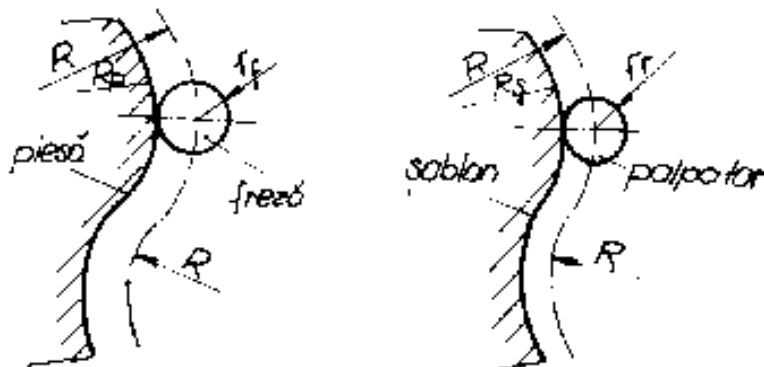


Fig.4.30.

Relația (4.20.) permite să se afirme că profilul șablonului corespunde cu profilul piesei numai atunci, când:

$$d_f = d_r \quad (\text{demonstrat în practică})$$

De asemenea, modificarea diametrului frezei conduce la deformarea profilului piesei ce se prelucrează, iar precizia de execuția a frezei, a rolei și a șablonului influențează precizia piesei prelucrate.

Ca o metodă se poate aminti frezarea suprafețelor profilate pe mașini-unelte cu avans de urmărire, aplicându-se principiile copierii mecanice, hidraulice și electrice, prezentate anterior, avansul de urmărire făcându-se după una sau două direcții (în două sau trei coordonate).

În fig.4.31. se prezintă un sistem de frezare cu avans de urmărire (S_t) după o direcție.

Avansul de urmărire (S_t) este realizat de capul de frezat prin mecanismul (4) în urma comenzilor date de dispozitivul de palpate (5), care urmărește conturul șablonului (6) cu ajutorul palpatorului (7).

Avansul de transport (S_l) este realizat de masa mașinii pe care se montează atât piesa cât și șablonul. Utilizând aceste tipuri de mașini (cu avans de urmărire), abaterea dimensiunii față de dimensiunea șablonului este de $\pm [0,02 \div 0,2]$ (mm).

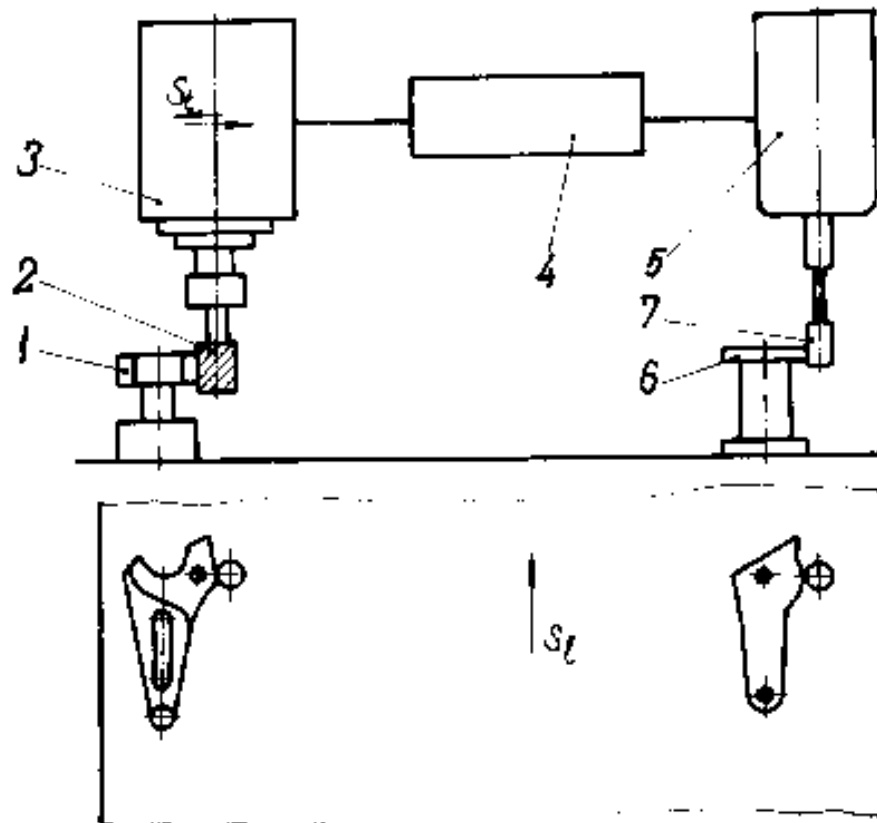


Fig.4.31.

Calitatea suprafeței (rugozitatea) obținută astfel e cuprinsă între valorile $R_a = 1,6 \div 0,4$ (μm)

4.4. Prelucrarea prin rabotare și mortezare a suprafețelor profilate

În această situație se utilizează:

- dispozitive de copiat după șablon
- dispozitive speciale cu tije articulate

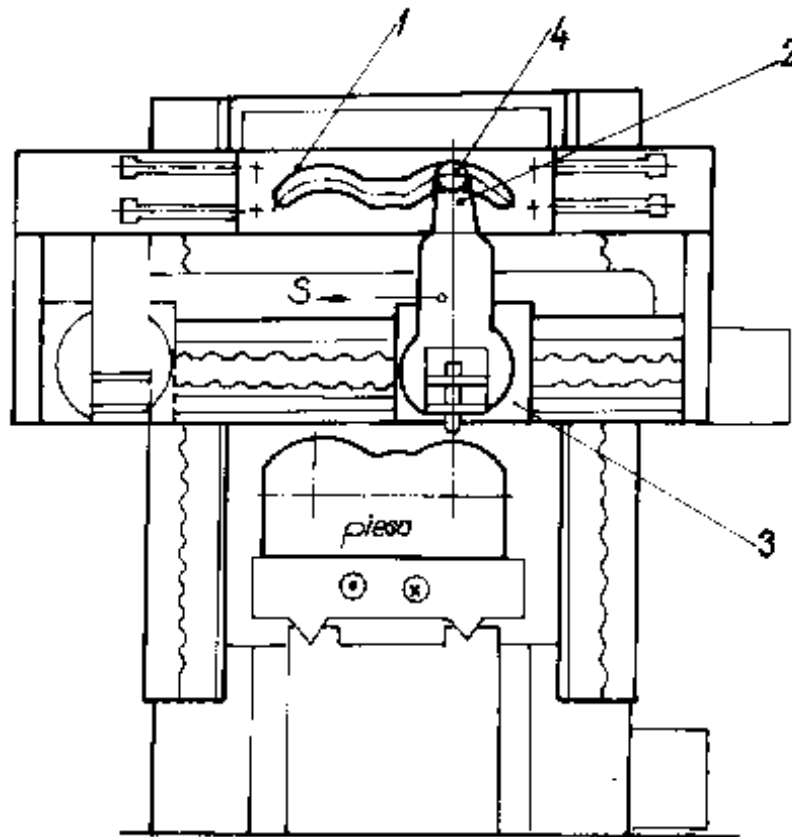


Fig.4.32.

În fig.4.32. se prezintă rabotarea unei suprafețe profilate cu șablon închis. Mișcarea de transport este asigurată de șurubul conducător al suportului (2), iar mișcarea de urmărire (de copiere) este asigurată de profilul șablonului (1).

Figura 4.33. ilustrează rabotarea profilată folosind un dispozitiv cu pârghie, adecvat suprafețelor curbe cu rază mică.

Dispozitivul se fixează pe o mașină de rabotat cu masă mobilă, având două coloane, cu doi suporturi de rabotare (1) și (2) legați articulat de pârghia (3). Sania suportului (1) se blochează, iar placa rotativă a acestuia se lasă liberă.

Sania suportului (2) execută mișcarea de avans și prin pârghia (3) și placa rotativă a suportului (1), cuțitului se imprimă o mișcare de rotație.

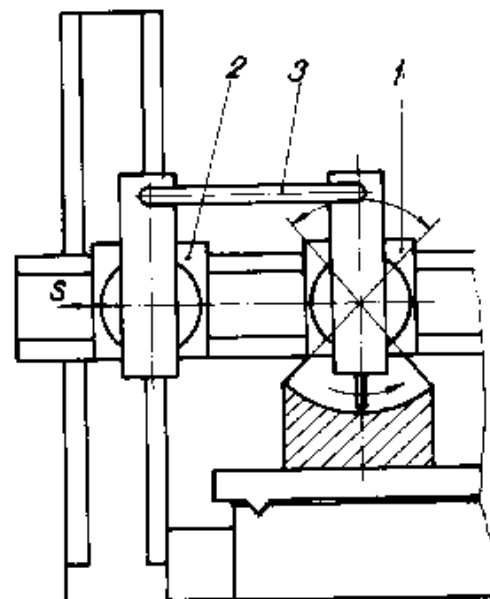


Fig.4.33.

Prelucrarea prin mortezare a suprafețelor profilate (vezi fig.4.34.) se pretează în general suprafețelor de tip came disc.

Acestea se execută în general pe mașinile de mortezat roți dințate. Principiul este "copierea" profilului prin generare-rostogolire (rulare).

Fig.4.34./a prezintă prelucrarea camelor cu proil după spirala lui Arhimede.

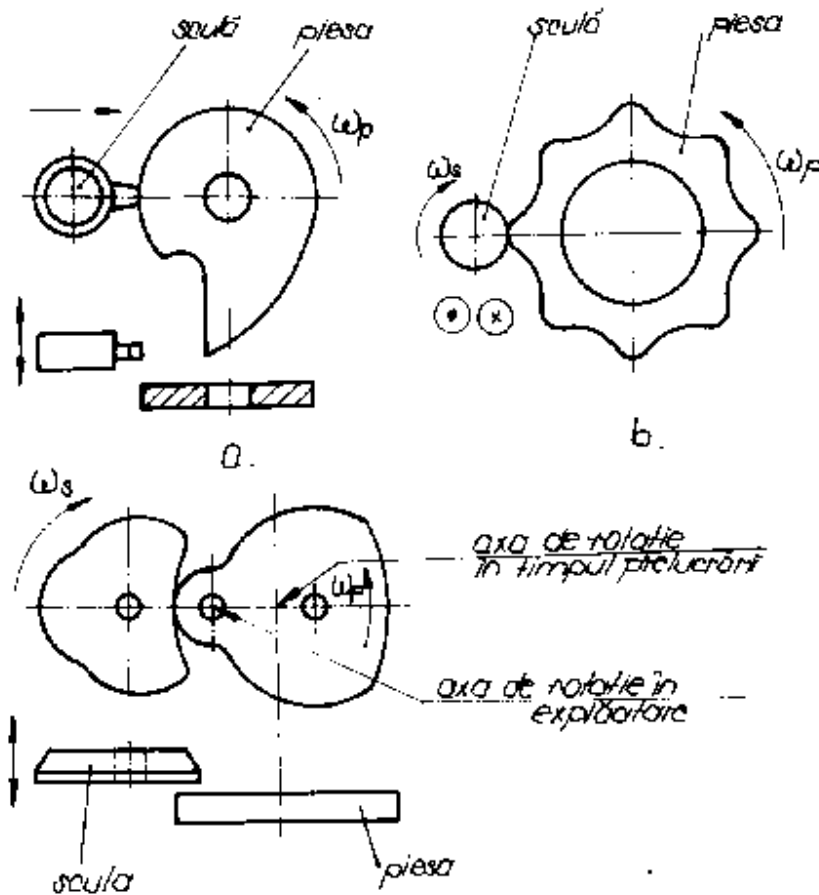


Fig.4.34.

Fig.4.34./b arată prelucrarea profilelor simetrice repetabile

Fig.4.34./c ilustrează prelucrarea profilelor complexe

4.5.Prelucrarea prin rectificare a suprafețelor profilate

Ca specific se menționează posibilitatea realizării suprafețelor profilate de revoluție sau a suprafețelor plane profilate. Este un mare avantaj posibilitatea prelucrării prin abraziune mecanică a suprafețelor tratate termic, obținând o calitate superioară a suprafeței și o rugozitate mică.

De regulă prelucrarea se face pe mașini de rectificat rotund pentru interior sau pe mașini de rectificat fără vârfuri (fără centre). Discul de rectificat (aici) are avans transversal. Suprafețele plane profilate se obțin prin rectificare cu disc profilat pe mașini de rectificat plan.

Procedee de rectificare a suprafețelor profilate:

- a) prelucrarea cu discuri de rectificat (neprofilate) sau cu dispozitive speciale

- b) prelucrarea cu discuri profilate

Schema rectificării conturului unei piese (1) prin copiere după șablon este indicată în fig.4.35.

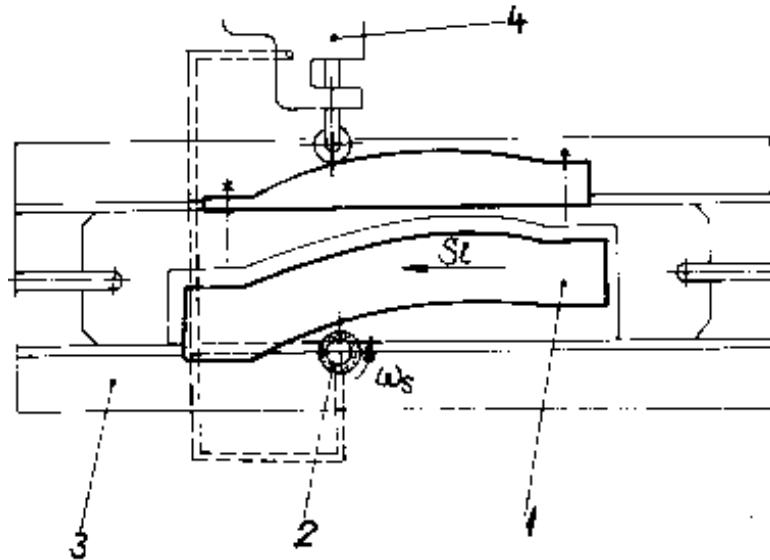


Fig.4.35.

Piesa (1) este fixată pe masa (3) a mașinii, care execută mișcarea de transport cu avans longitudinal (S_1).

Mișcarea de urmărire prin avans transversal este executată de scula (2), discul de rectificat în continuă rotație, pe baza comenzii primite de la dispozitivul de palpăre cu rolă (4).

În fig.4.36. este prezentat un interesant procedeu de rectificare: - prelucrarea suprafețelor sferice ale broșei de calibrare prin deformare plastică [sfere cu dimensiuni de 5; 5,01; 5,02; 5,03; 5,035 (mm)] și cu toleranța de 0,005 (mm).

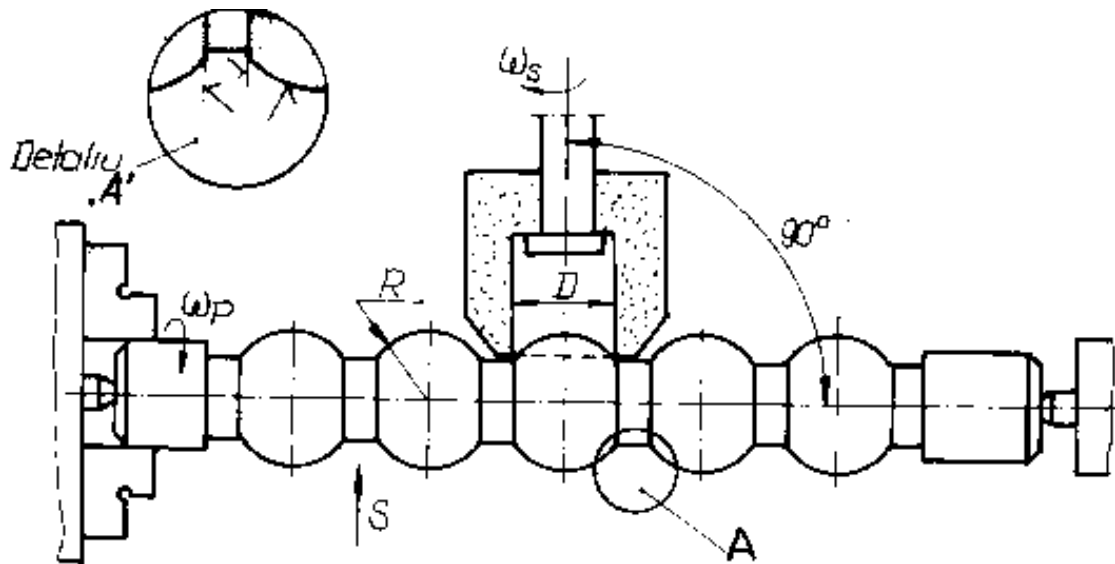


Fig.4.36.

Prelucrarea se face pe o mașină universală de ascuțit cu piatră "tip oală". Această sculă se rotește cu turația (n_s), aproximativ: $n_s = 2900$ [rot/min], iar turația piesei $n_p = 100$ (rot/min). Precizia diametrală a sculei este de $2 \mu\text{m}$, iar rugozitatea obținută: $R_a = 0,04$ (μm).

Avantajul metodei constă în eliminarea operației de profilare a discului. Calibrarea sferei se face de către muchia sculei, care trebuie ascuțită pe dimensiunea necesară, precizia de prelucrare fiind mai mare datorită eliminării influenței jocurilor din lanțurile cinematice de avans ale mașinii unelte folosite.

În fig.4.37. se prezintă metoda de prelucrare cu discuri profilate - pentru suprafețe de revoluție.

Fig.4.37./a - prelucrarea profilelor exterioare

Fig.4.37./b - prelucrarea profilelor interioare

ω_s - mișcarea de rotație a sculei

S_t - mișcarea de avans transversal (de pătrundere) a sculei

ω_p - mișcarea de rotație a piesei

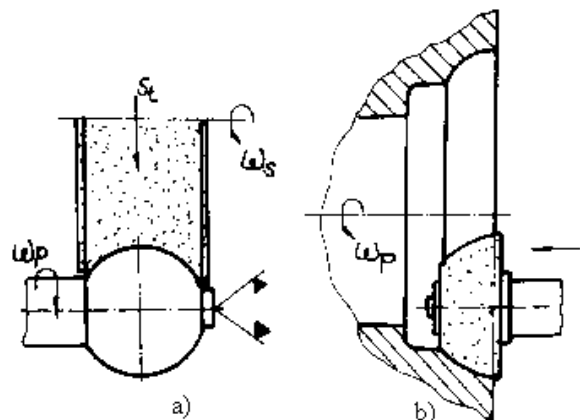


Fig.4.37.

În fig.4.38. se observă utilizarea rectificării exterioare profilate, utilizată la fabricarea sculelor.

Metoda prezentată nu asigură o precizie ridicată, datorită uzurii rapide a discului de rectificat și datorită preciziei de profilare a discului. Totodată, forțele de așchiere sunt destul de mari, iar condițiile de așchiere

sunt nu tocmai corespunzătoare , ducând la încălzirea puternică a piesei prelucrate dacă nu se alege corespunzător regimul de aşchiere. Dar menționăm, că în scopul rectificării își justifică alegerea procedului (construcția SDV-urilor).

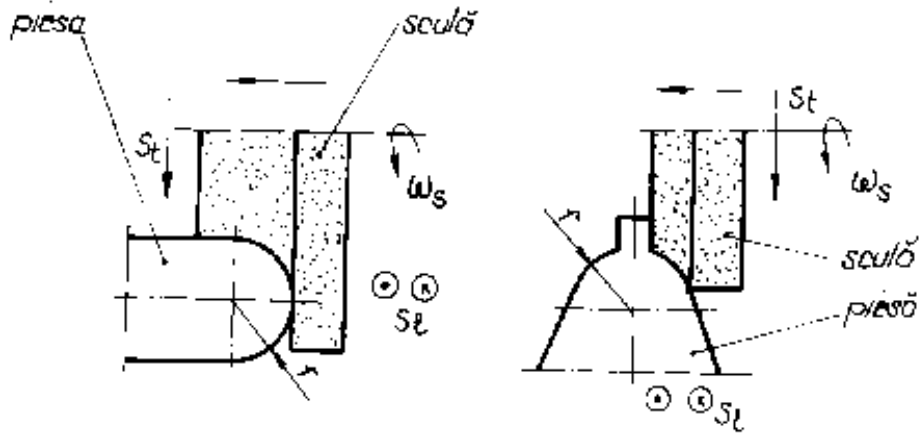


Fig.4.38.

CAPITOLUL 5

5. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A FILETELOR

5.1. Generalități

Filetele constituie unele din cele mai răspândite profile executate pe organe de mașini, urmărind îmbinări demontabile, acționări, fie cu rol de scule (în cazul bacurilor de filetat).

Tehnologic, trebuie să urmărim realizarea lor prin prisma:

- scopului funcțional
- preciziei de execuție

Metode și procedee de prelucrare a filetelor:

- strunjirea
- frezarea
- rularea (deformarea plastică)
- rectificarea

Cele mai răspândite metode de prelucrare a filetelor prin așchiere sunt:

- filetarea cu filiere și tarozi
- filetarea pe strung folosind cuțite speciale:
 - cuțitul de filetat cu un singur vârf (corespunzătoare golului)
 - cuțitul pieptene
 - cuțitul disc
- filetarea cu ajutorul capetelor de filetat
- filetarea prin vârtej (bazată pe principiul strunjirii)
- frezarea filetelor
- filetarea cu pietre abrazive

5.2. Filetarea cu filiere și tarozi

5.2.1. Filetarea manuală

Așa cum se cunoaște, filetele interioare se execută cu tarozi de mână, având un antrenor pătrat pentru antrenare printr-o manivelă. Mișcările de lucru (viteza de așchiere și avansul) sunt executate de către

sculă, manual prin sincronizarea celor două mișcări. În vederea evacuării așchiilor, uneori scula se rotește înapoi, iar ungerea, lubrifierea se efectuează cu ulei de rapiță, petrol, seu, etc. de la caz la caz.

Filetarea cu tarozi de mână se face în două sau trei treceri, în funcție de diametrul filetului, cu tarozi diferiți care fac parte dintr-un set.

Repartizarea sarcinii pe tarozii din set este următoarea:

- tarodul de degroșare (I) : 50-60 %
- tarodul de degroșare (II) : 28-30 %
- tarodul de finisare (III) : 10-20 %

Alegerea tarozilor se face în funcție de tipul găurii filetate (vezi fig.5.1. și tabelul anexat 5/I).

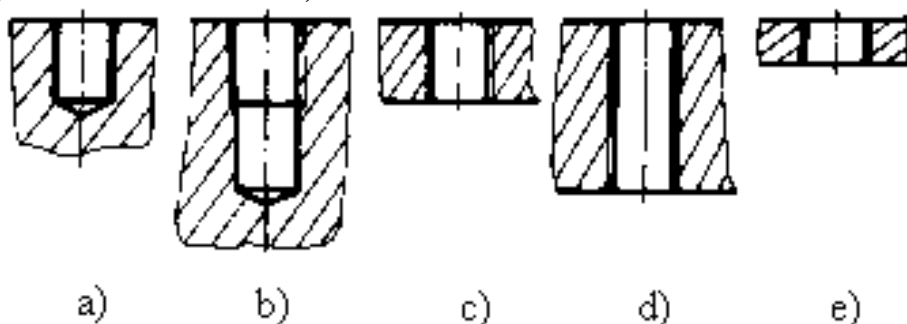


Fig.5.1.

Tabelul 5/I

Calitatea materialului piese de filetat	Caracterul găurii filetate				
	Fig.4.2.a	Fig.4.2.b.	Fig.4.2.c.	Fig.4.2.d.	Fig.4.2.e
Semidur	Set de 3 tarozi cilindrici	Un tarod conic	Un tarod conic	Set de 3 tarozi	Un tarod conic
Dur și tenace	Idem	Garnitură de 2 tarozi	Garnitură de 2 tarozi	Idem	Idem

Productivitatea procedurii este scăzut, fiind vorba și de o precizie variabilă a prelucrării, însă se folosește numai în situații justificate (ex. în cazul filetării la montare).

5.2.2. Filetarea mecanică cu tarozi

Este utilizată în fabricația de serie a filetelor cu diametru mic și mijlociu. Metoda este productivă, filetarea în acest caz executându-se pe următoarele tipuri de utilaje:

- mașini de găurit
- strunguri normale
- strunguri revolver
- strunguri automate
- mașini agregat
- mașini de filetat

Elemente ale regimului de așchiere:

- adâncimea de așchiere (egală cu înălțimea filetului) [aceasta se micșorează prin construirea seturilor de tarozi]

- avansul de lucru:- deplasarea sculei la o rotație a piesei (pasul filetului)

- viteza de așchiere la tăierea filetului cu tarod

în general: $v = 2 \div 12$ (m/min)

la diametre de filete mai mari:

$v^* = 2 \div 3,75$ (m/min) - la oțeluri aliate

$v^{**} = 3,5 \div 6,5$ (m/min) - la fontă

$v^{***} = 2,5 \div 5$ (m/min) - pentru oțeluri de construcție

Pentru calculul timpului de bază la filetarea cu tarod a găurilor străpuse utilizăm cotele din fig.5.2.

$$t_b = \frac{L}{p} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n_1} \right) \cdot i \quad [\text{min}] \quad (5.1.)$$

în care: L [mm] - lungimea teoretică a cursei tarodului

p [mm] - pasul filetului

n [rot/min] - turația în mișcarea activă (de așchiere)

n_1 [rot/min] - turația în mișcarea de retragere

i - numărul tarozilor utilizați

Lungimea teoretică a cursei tarodului (conform fig.5.2.) este:

$$L = l_1 + l + l_2 \quad [\text{mm}] \quad (5.2.)$$

unde: l_1 [mm] - lungimea conului de atac al tarodului

l_2 [mm] - lungimea cu care tarodul iese din gaură după terminarea filetării

$$(5.3.)$$

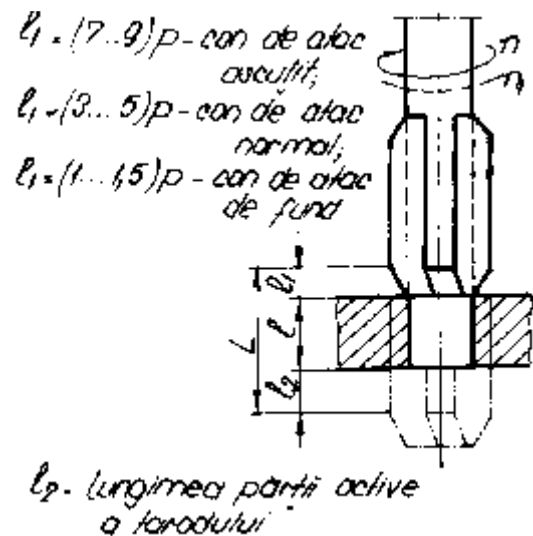


Fig.5.2.

5.2.3. Filetarea mecanică cu filiere

Metoda, din punct de vedere al productivității, este foarte lentă, filierele nepermițând aplicarea unor viteze de așchiere mari (numai în jur de $v=2\div 4$ [m/min]).

Metoda, ca precizie, poate fi aplicată numai la prelucrarea filetelor de precizie normală.

Filetarea mecanică cu filiere se execută pe:

- strunguri normale
- strunguri revolver
- strunguri automate

ca scule, filierele pot fi:

- rigide (închise)
- elastice (deschise)

Filierele normale se execută în formă de filieră rigidă, cu posibilitatea de a le transforma în filiere elastice, prin desplicarea cu piatră abrazivă. Avantajul acestor filiere (elastice) constă în reglarea dimensiunii filetelor după uzarea sculei, însă utilizarea lor nu este indicată la prelucrarea filetelor precise, deoarece produc filete cu erori de pas. Filierele pot fi:

- neregulate pe filet
- rectificate sau rodate pe filet

Ele se utilizează în funcție de precizia impusă și materialul de prelucrat.

Regimul de așchiere: în mod asemănător ca la filetarea cu tarod, viteza de așchiere se determină cu relația:

$$v = \frac{C_v \cdot d^{1,2}}{T^{0,5} \cdot p^{1,2}} \quad [\text{m/min}] \quad (5.4.)$$

- coeficientul de viteză (C_v) are următoarele valori:

- | | | | |
|---------------------------|--|-------|--------------|
| pentru: - oțeluri carbon | $\sigma_r \leq 70$ (daN/mm ²) | | $C_v = 2,7$ |
| - oțel Cr-Ni | $\sigma_r \cong 75$ (daN/mm ²) | | $C_v = 2,16$ |
| - oțel Cr-Mn-Si | $\sigma_r \cong 70$ (daN/mm ²) | | $C_v = 1,11$ |
| - duraluminiu și electron | | | $C_v = 12$ |
| - alamă | | | $C_v = 9$ |

În continuare se dau valori orientative ale vitezei de așchiere:

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| pentru filetarea: - oțelului | → $v=2\div 13$ (m/min) |
| - alamei | → $v=9\div 25$ (m/min) |
| - aluminiu | → $v=9\div 37$ (m/min) |

Mărimea vitezei depinde de pasul filetului (p), diametrul nominal, durabilitatea sculei, materialul de prelucrat, etc...

În vederea normării tehnice (calculul timpului de bază) se apelează la fig.5.3.

$$t_b = \frac{L}{p} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n_1} \right) \text{ [min]} \quad (5.5.)$$

în care $L = l_1 + l + l_2$ [mm]

l - lungimea filetului (mm)

l_1 - $(1 \div 3)p$ (mm); lungimea de

pătrundere

n - turația mișcării principale (rot/min)

n_1 - turația mișcării de retraferă a filierei (rot/min)

p (mm) - pasul filetului

Unul din elementele importante înaintea filetării este asigurarea diametrului porțiunii ce urmează a se fileta. Acesta trebuie să fie mai mic cu $0,08 \div 0,2$ (mm) decât diametrul nominal al filetului. Dacă diametrul este prea mic, apar ruperi ale filetului din cauza spirelor care nu au adâncime suficientă, iar dacă diametrul este prea mare, spirele executate nu vor fi curate, filetarea fiind frântă de surplusul de material. În cazul materialelor dure și tenace, unde diametrul găurii înainte de filetare se recomandă să fie cu $1/5$ din adâncimea filetului mai ca diametrul nominal, se recomandă în mod obligatoriu pentru răcire și ungere, uleiuri vegetale (și nu emulsii, - care ar conduce la uzura rapidă a sculelor și chiar la înțepenirea lor.

5.3. Prelucrarea filetelor prin strunjire

Schema prelucrării este prezentată în fig.5.4.

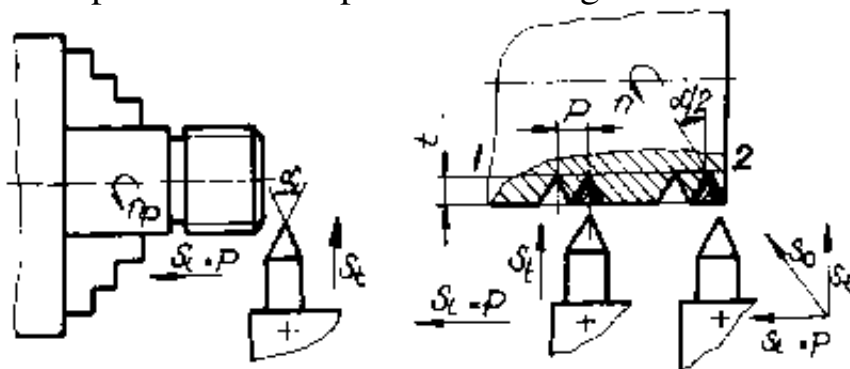


Fig.5.4.

Scula (cuțitul de filetare) trebuie condus cu viteză constantă de-a lungul piesei ce urmează a se fileta, prin avansul longitudinal ($S_1 = p$).

Amintim că în prealabil s-a realizat un avans transversal (S_t), realizând adâncimea de lucru.

Filetarea (atât exterioară cât și interioară) cu cuțite, se aplică în condițiile producției individuale și serie mică. Se folosesc pentru filetare strungurile universale.

Sculele (tip cuțit) folosite se împart în:

- cuțite normale (în special pentru filet exterior)
- cuțite prismatice, așezate tangențial (numai pentru prelucrarea filetului exterior)

- cuțite disc-circulare (pentru filet interior și exterior)

Cuțitul trebuie astfel așezat încât axa lui să fie perpendiculară pe axa filetului tăiat, iar tășurile să fie exact la înălțimea filetului.

La executarea filetelor NORMALE metrice ($\epsilon = 60^\circ$) și WHITWORTH ($\epsilon = 55^\circ$), schema de așchiere se stabilește funcție de pasul filetului, stabilindu-se următoarele procedee:

a)- strunjirea filetelor cu avans radial atât la degroșare cât și la finisare (fig.5.5./a) (recomandată pentru $p \leq 2,5$ mm, la materialele care dau așchii de rupere: bronzurile și fontele), la fiecare trecere cuțitul avansează în avans radial sau transversal cca. 0,05-0,2 mm.

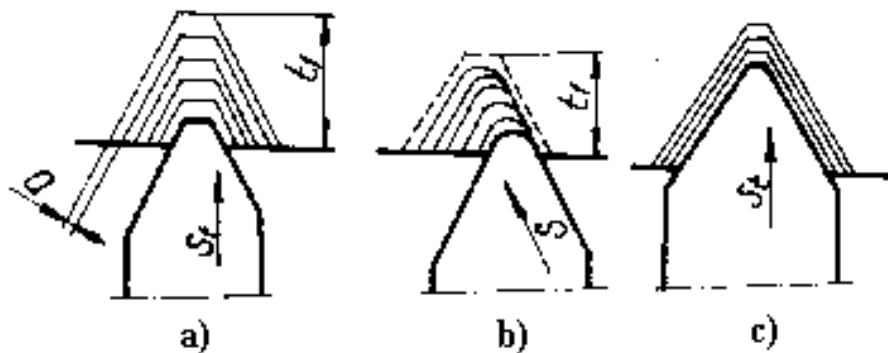


Fig.5.5.

b)- filetarea cu avans paralel cu un flanc al filetului (fig.5.5./b) se aplică la degroșare la filete cu pas $p > 2,5$ mm. Avansul pentru trecerea de degroșare este de: $(0,25 \div 0,5)$ mm.

În vederea prelucrării ulterioare de finisare a aceluiași filet se recurge la primul procedeu (vezi fig.5.5./c) unde avansul pentru trecerea de finisare este de $(0,05 \div 1)$ mm.

La prelucrarea filetelor trapezoidale se disting două faze distincte:

- degroșarea (folosin cuțite late)
- finisarea

aceasta se datorează pasului mare al acestor filete.

Acest lucru se observă în fig.5.6.

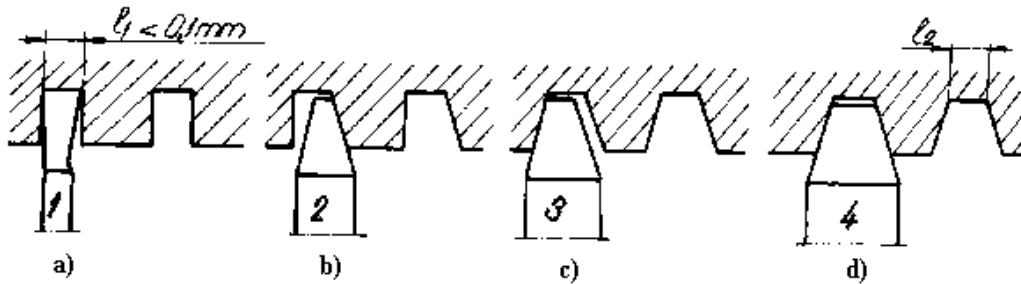


Fig.5.6.

- 1 - (a))
 2 - (b)) sunt faza de degroșare
 3 - (c))
 4 - (d) - este faza de finisare

Se mai aplică și o altă metodă, numită a degroșării în trepte cu trei cuțite (vezi fig.5.7.)

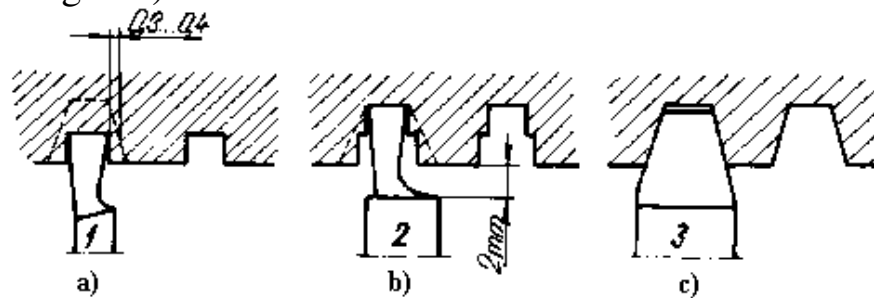


Fig.5.7.

cuțitul 1-(a), respectiv 2-(b) execută degroșarea, iar 3-(c) finisarea.

Observație:

Atât la strunjirea filetului trapezoidal cât și la cel pătrat există două procedee de fixare a cuțitului în vederea filetării (vezi fig.5.8. a și b).

La primul procedeu (fig.5.8.a.), cuțitul se fixează în așa fel încât fața de degajare este paralelă cu axa piesei filetate. Cu cât crește unghiul elicei (θ°) unghiul de așezare din stânga cuțitului (α_1) se va micșora, condițiile de așchiere vor fi mai grele, iar suprafața prelucrată a flancurilor va rezulta rugoasă (se

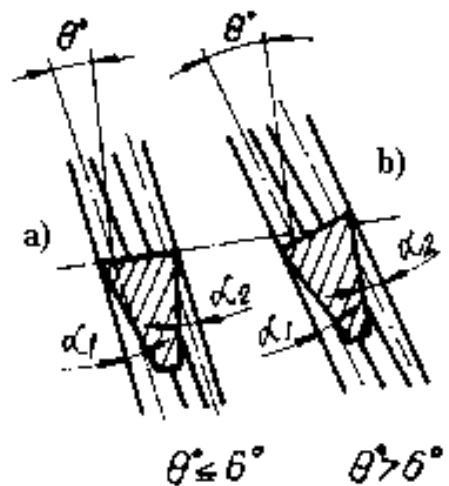


Fig.5.8.

utilizează la înclinări ale elicei filetelui $\theta < 6^\circ$). Al doilea procedeu (fig.5.8.b) evită inconvenientul primului procedeu, prelucrarea filetelui recomandându-se pentru $\theta > 6^\circ$, întrucât cuțitul se va înclina astfel încât suprafața de degajare să fie perpendiculară pe spira filetelui.

Prin aceasta se îmbunătățește procesul de așchiere, însă se îngreunează proiectarea cuțitului, iar pentru obținerea flancurilor rectilinii, tășurile cuțitului trebuie să aibă o formă curbilinie, ceea ce îngreunează ascuțirea lui.

Recomandări: La prelucrarea filetelor din mai multe treceri (atât pentru degroșare cât și pentru finisare) fiecare trecere se realizează cu avansul de pătrundere transversal (S_t). Numărul de treceri (i) la filetarea fără prag cu cuțite cu plăcuțe din carburi metalice este funcție de pasul filetelui și de materialul prelucrat (al semifabricatului).

$$i_d \text{ (degroșare)} = 2 \div 8 \text{ (treceri)}$$

$$i_f \text{ (finisare)} = 1 \div 2 \text{ (treceri)}$$

Strunjirea filetelor cu mai multe începuturi:

este specifică acestei tehnologii, urmând ca după prelucrarea unei spire, cuțitul să fie reglat în poziția de lucru pentru tăierea spirei următoare.

Și în acest caz se pot utiliza mai multe metode:

a) prima metodă: (mai puțin precisă) recomandă deplasarea longitudinală a cuțitului prin deplasarea corespunzătoare a saniei port-cuțit; (adică pentru un filet cu două începuturi, deplasarea cuțitului este cu $p/2$, iar pentru un filet cu trei începuturi: $p/3$). Metoda se aplică numai atunci când pentru trecerile de filetare, cuțitul prezintă numai avans de pătrundere radial.

b) a doua metodă: se bazează pe rotirea piesei corespunzător numărului de începuturi care se strunjesc. Astfel, la prelucrarea unui filet cu două începuturi, piesa se rotește cu 180° , la prelucrarea unui filet cu trei începuturi cu 120° , etc. Această metodă presupune rotirea arborelui principal cu desprinderea roții conduse după slăbirea brațului lirei roților de schimb, adică necesită punerea în mișcare a întregului ansamblu al păpușii fixe.

c) a treia metodă: este mai simplă, efectuându-se prin utilizarea unei flanșe gradate de antrenare (fig.5.9.)

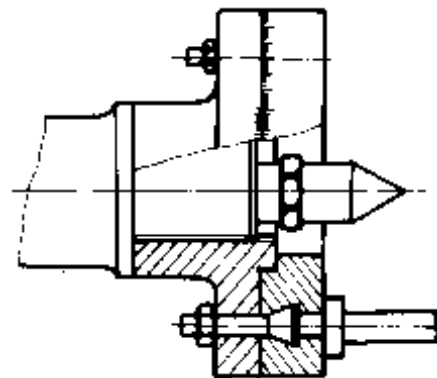


Fig.5.9.

Cu ajutorul acesteia, în mod precis se poate aplica rotirea unghiulară în funcție de numărul de începuturi ale filetelui.

Parametrii regimului de aşchiere:

viteza de aşchiere (v): - se stabileşte în funcţie de pasul filetului, materialul piesei şi caracterul prelucrării. Ele se stabilesc, în practică, tabelar.

Cunoscând viteza de aşchiere (şi implicit turaţia piesei - "n") se poate calcula timpul de bază (t_b) la filetare:

$$t_b = \frac{l + (2 \div 3)p}{n \cdot p} i \quad [\text{min}] \quad (5.6.)$$

unde: l (mm) - lungimea filetului
 p (mm) - pasul filetului
 n (rot/min) - turaţia piesei
 i (treckeri) - numărul de treceri

Observaţie:

În producţia de serie, cazul prelucrării filetelor deschise, cu ieşire largă, care să permită ieşirea completă a sculei de filetat, se utilizează pieptenii de filetat, consideraţi a fi formaţi din mai multe cuţite aşezate unul lângă celălalt (vezi fig.5.10.).



Fig.5.10.

Datorită numărului mărit de cuţite (dinţi), prelucrarea filetelor cu "piepteni de filetat" se poate executa într-o singură trecere, ceea ce face ca productivitatea prelucrării să fie superioară filetării cu ajutorul cuţitelor profilate simple (singulare).

5.4. Prelucrarea filetelor cu ajutorul capetelor de filetat

Procedeul este des întâlnit în cazul producţiei de serie şi masă, pentru filete exterioare.

Sculele se montează pe maşini de filetat şi strunguri automate (revolver), dar se poate utiliza şi strunguri normale (folosind capul suport).

În fig.5.11. se pot distinge:

- capete de filetat cu cuţite - pieptene aşezaţi tangenţial
- capete de filetat cu cuţite - pieptene aşezate radial
- capete de filetat cu cuţite - pieptene tip disc

Capetele de filetat prezentate în fig.5.11. sunt capete de filetare cu deschidere automată, fiind foarte productive, eliminând cursa în gol.

Avantajele metodei:

- permite retragerea rapidă după tăierea filetului (în majoritatea cazurilor - capete cu deschidere automată)

- se permite lucrul (așchieria) cu viteze mari de așchiere datorită faptului că tăișul sculei vine în contact cu semifabricatul un timp foarte scurt (încălzire și uzură redusă).

- se asigură o precizie ridicată a filetelor prelucrate, filetul capetelor de filetat (al sculelor) au un profil corect obținut prin rectificare.

- se admit un număr mare de reascuțiri (bacurile prismatice de filetat 5.11.a. admit cca 100 de reascuțiri). Acest lucru asigură o durată de utilizare foarte lungă.

- unele construcții permit reglarea diametrului filetului care taie, mergând până la diametrul de 1,5 mm.

În plus, capetele tangențiale (bacurile de filetat) permit modificarea unghiurilor de degajare în funcție de materialul de prelucrat.

În fig.5.12. se indică trei procedee (a,b, și c) de fixare în funcție de tipul mașinii, a mișcărilor capului de filetat și ale semifabricatului:

5.12.a.) capul execută numai mișcarea de avans (s) iar piesa mișcarea de rotație cu turația (n_p). Deschiderea capului este automată, iar închiderea manuală (cu manetă). Procedeele se utilizează la strungurile revolver sau la mașini speciale de filetat

5.12.b.) capul de filetare execută atât mișcarea de rotație cu turația (n_s), cât și mișcarea de avans (S), piesa fiind fixă. Închiderea și deschiderea capului se face automat. Se utilizează la strunguri automate multiax, la mașini de filetat șuruburi, mașini de găurit, etc...

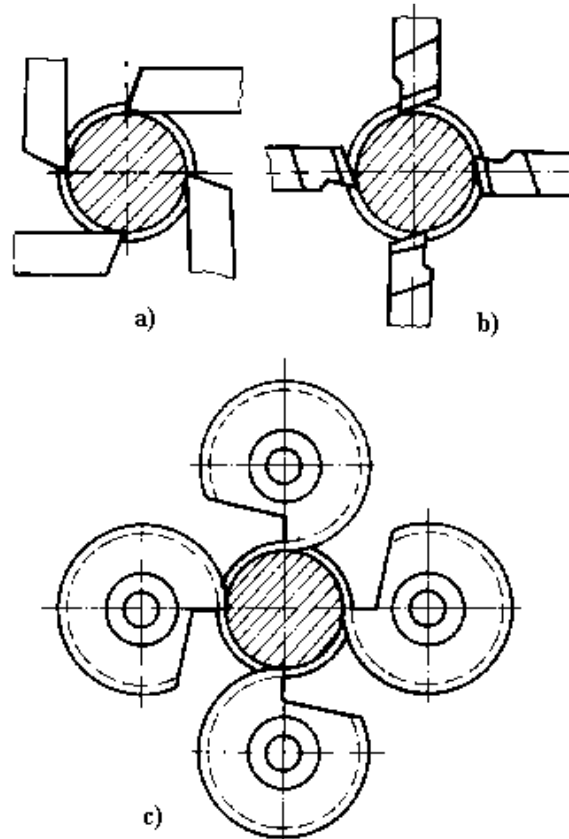


Fig.5.11.

5.12.c.) capul este fix, piesa se rotește, deschiderea se face automat, iar închiderea se realizează prin intermediul unei pârghii, care la rotirea capului revolver alungului pe opritorul montat pe mașină și aduce pieptenii în poziție inițială.

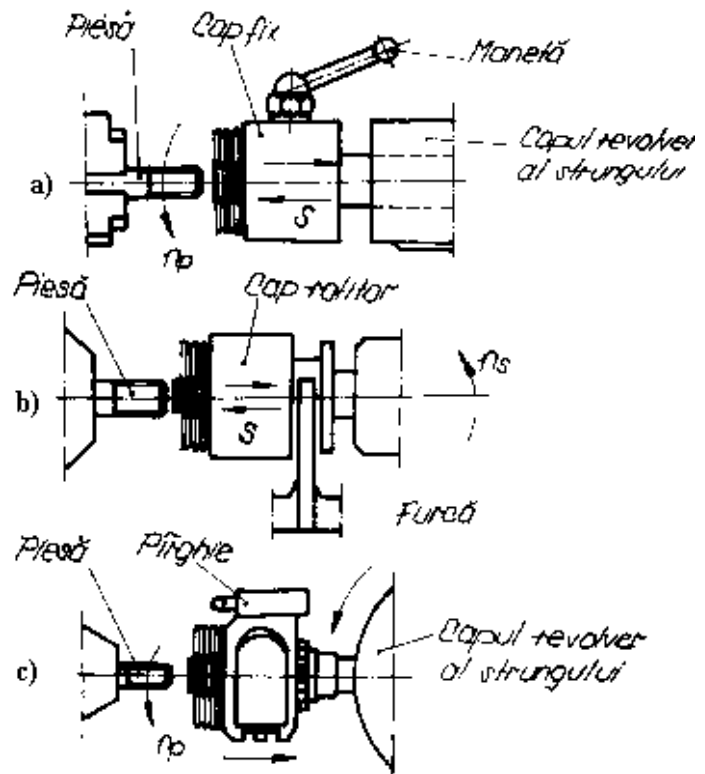


Fig.5.12.

5.5. Filetarea prin vârtej

Acesta este un procedeu foarte modern de prelucrare a filetelor cu ajutorul cuțitelor sau ansamblurilor de cuțite rotitoare (2,4,6 sau 8 cuțite decalate la unghiuri egale pe circumferință precum și decalate axial cu fracțiunea de pas corespunzătoare pentru generarea elicei filetelui).

Procedeul este foarte productiv, rapid cu bună precizie dimensională și calitativă (rugozitate mică). Ceea ce se poate sublinia este faptul că filetarea se realizează în cadrul unei singure treceri.

În fig.5.13.se prezintă principiul funcțional al procedeuului.

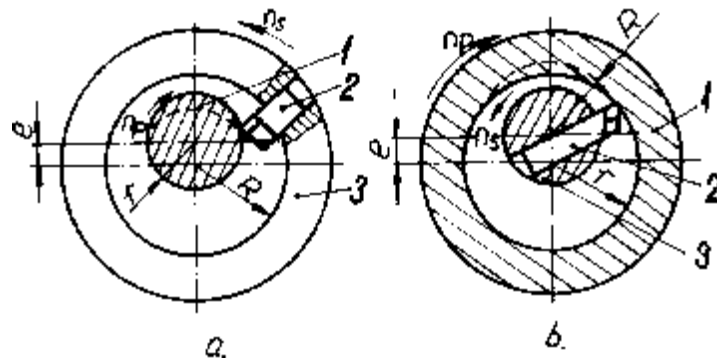


Fig.5.13.

5.13.a. : filetarea exterioară

5.13.b. : filetarea interioară

În fig.5.14. se prezintă cele două posibilități de filetare exterioară (a și b).

Cinematica filetării:(conform fig.5.13.).

Cuțitul (2) este fixat în suportul (3) și se rotește cu turația (n_s), iar piesa de filetat (1) se rotește cu turația (n_p). Capul de filetat este reglat excentric în raport cu axa piesei cu mărimea (e):

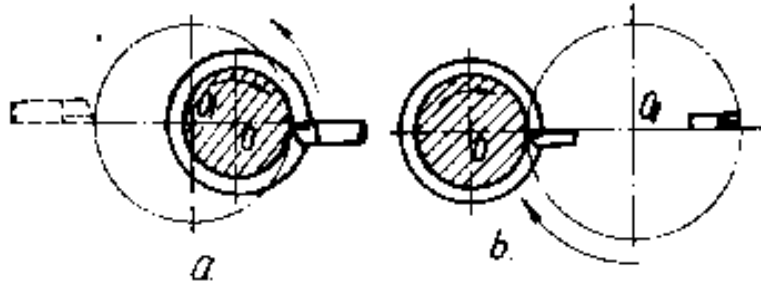


Fig.5.14.

$$e = R - r_1 \quad (5.7.)$$

unde: R - raza capului de filetet

r_1 - raza piesei măsurată la fundul filetelui

astfel: $r_1 = r - t$

$$(5.8.)$$

unde (r) - raza măsurată peste vârful filetelui

(t) - adâncimea filetelui

Se recomandă ca raportul (R/r) să fie:

la filete exterioare $\frac{R}{r} = 1,5 \div 1,9$ (5.9.)

la filete interioare $\frac{R}{r} = 0,5 \div 0,6$ (5.10.)

În fig.5.15. se prezintă formarea așchii, respectiv formarea filetelui. Așchia, care se desprinde în timpul așchierii de un cuțit, variază ca grosime, fiind mică la început, devenind maximă la jumătatea intervalului, apoi micșorându-se din nou până când cuțitul iese din piesă (din acest motiv, așchia are forma unei virgule asemănătoare din acest punct de vedere cu frezarea).

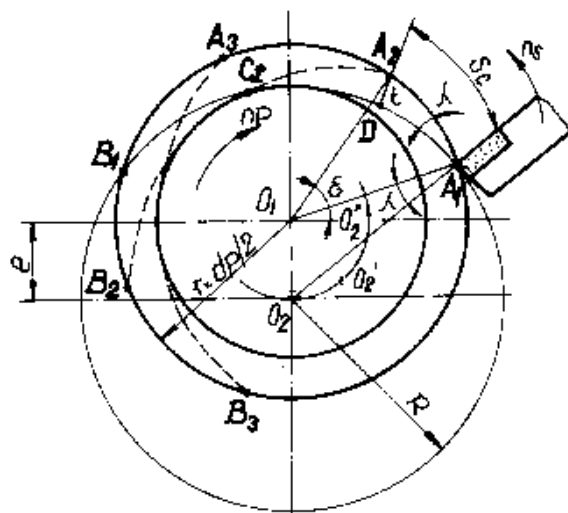


Fig.5.15.

- prima așchie îndepărtată de cuțit are lungimea: A_1B_1 ; a doua așchie A_2B_2 ; a treia așchie A_3B_3 , și așa în continuare. În fig.5.15. formarea

așchiilor a fost prezentată aplicând principiul inversării mișcării (menținându-se piesa fixă și găsindu-se pozițiile succesive ale punctului A_1 de intrare prin rotirea punctului O_2). Din momentul în care cuțitul iese din piesă (în punctul B_1), până în momentul în care va intra în piesă (punctul A_2), cuțitul se va roti în gol, iar piesa se va roti cu avansul circular (S_C). Între turațiile capului de filetat (n_s) și ale piesei (n_p) există o legătură cinematică (de va relua în continuare).

Parametrii tehnologici:

- turația capului de filetat - (n_s) - turația sculei:

$$n_s = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot (2R)} \quad (5.11.)$$

v - viteza de așchiere a cuțitului (m/min)

Fiindcă așchiera este executată de către un singur cuțit și ea se realizează numai pe o fracțiune de circumferință a piesei (așa cum rezultă din fig.5.15), înseamnă că se pot utiliza viteze de așchiere mai mari decât la o prelucrare obișnuită.

Se pot folosi pentru cazul prelucrării cu cuțite din oțel rapid - viteze de lucru:

$v = 80 \div 120$ m/min, în timp ce pentru cuțite armate cu plăcuțe din carburi metalice se pot utiliza: $v = 150 \div 450$ (m/min).

Calculul vitezei de așchiere pentru filetare exterioară se poate face utilizând relația:

$$v = \frac{C_v}{T^{0,5} \cdot p^{0,5} \cdot S_c^{0,5}} \quad (5.12.)$$

Relația (5.12.) este valabilă pentru:

- oțel de construcție
- oțel carbon
- oțel cu crom, crom-nichel
- oțel cu crom-siliciu-mangan

toate acestea, dacă materialele respective se încadrează în cerințele:

$$\sigma_r = 55 \div 85 [\text{daN} / \text{mm}^2]$$

scula: $\gamma^0 = 0^\circ \div 6^\circ$

$$\alpha^0 = 8^\circ$$

valorile coeficientului C_v este dat în continuare (funcție de σ_r - daN/mm²), astfel:

σ_r [daN/mm ²]	55	65	75	85
C_v	3180	2190	2330	2060

Viteza de aşchiere pentru un oţel crom-siliciu-mangan se va determina cu relaţia:

$$v = \frac{1380}{T^{0,5} \cdot p^{0,5} \cdot S_c} \quad (5.13.)$$

cu condiţia ca: $\sigma_r = 115 \text{ daN/mm}^2$

scula: $\gamma^\circ = -4^\circ$
 $\alpha^\circ = 8^\circ$

Iar prelucrarea unui oţel cu crom-nichel având: $\sigma_r = 115$
 (daN/mm²)

scula: $\gamma^\circ = -4^\circ$
 $\alpha^\circ = 8^\circ$

viteza va fi:

$$v = \frac{1325}{T^{0,55} \cdot p^{0,5} \cdot S_c^{0,75}} \text{ [m/min]} \quad (5.14.)$$

p [mm] - pasul filetului

T [min] - durabilitatea sculei

Această durabilitate (T) a sculei se determină în funcţie de numărul (Z) de cuţite:

(Z) nr de cuţite	1	2	3	4
T [min]- durabilitatea	20	40	60	80

Cu cât numărul de cuţite este mai mare, cu atât solicitarea lor e mai mică şi deci putem intensifica regimul de aşchiere.

Excentricitatea (e) trebuie astfel aleasă încât fiecare cuţit să aşchieze numai $(1/17 \div 1/12)$ din circumferinţa descrisă de cuţit pe piesă.

$$\text{adică: } \left(\frac{1}{17} \div \frac{1}{12} \right) \pi d; \quad d=2r$$

Este de la sine înţeles că al doilea cuţit nu va prelucra o aşchie la fel de mare ca şi primul cuţit. Aşchia aceasta are formă de virgulă (C₂B₁ B₂ - fig.5.15.), ea fiind rezultată din intersecţia urmelor lăsate de cele două cuţite. Indiferent câte cuţite mai avem în lucru, forma aşchiilor lor (în secţiune) vor fi ca la cea de a doua.

Determinarea turaţiei piesei (n_p):

Se determină astfel:

- se poate considera, că viteza cu care se rotește piesa este o viteză de avans

- considerând unghiul la centru (ϵ°), corespunzător avansului circular (S_c), se poate deduce mărimea unghiului (ϵ°) astfel:

$$\frac{360^\circ \dots\dots\dots \pi \cdot d_p}{\epsilon \dots\dots\dots S_c} \Rightarrow \epsilon = \frac{360 \cdot S_c}{\pi \cdot d_p} \quad (5.15.)$$

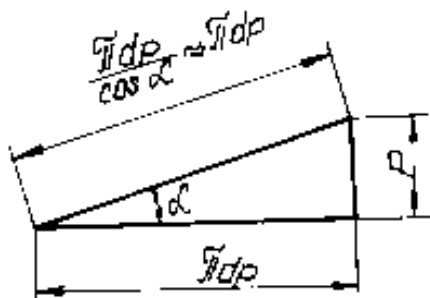


Fig.5.16.

unde: $\pi \cdot d_p$ este cu aproximație lungimea elicei corespunzătoare unui pas (vezi fig.5.16.)

Același unghi (ϵ°) se poate determina și printr-un alt raționament: la $(1/z)$ rotații ale capului (de filetat în vârtej-portscule) piesa se rotește cu unghiul (ϵ°); astfel se poate spune că la o rotație completă a capului

portcuțit va corespunde un unghi de rotație ($z \cdot \epsilon$) a piesei. De asemenea, la n_s [rot/min] ale capului port-scule (efectuate într-un minut), corespund n_p [rot/min] ale piesei. Acest lucru face să rezulte prin regula de trei-simplă (ϵ), deci:

$$\frac{360^\circ \text{ (cap port-sc.)} \dots\dots\dots z \cdot \epsilon^\circ \text{ (piesă)}}{n_s \dots\dots\dots n_p} \Rightarrow \epsilon = \frac{360 \cdot n_p}{n_s \cdot Z} \quad (5.16.)$$

Egalând (ϵ), din relațiile (5.15.) și (5.16.) vom obține

$$n_p = \frac{n_s \cdot Z \cdot S_c}{\pi \cdot d_p} \quad [\text{rot/min}] \quad (5.17.)$$

Mărimea (valoarea)avansului (S_c) se adoptă tabelar, în funcție de σ_r [daN/mm²] sau de materialul piesei ori a sculelor.

oțel σ_r [daN/mm ²]	55	65	75	85	115
S_c [mm/rot]	0,8÷1,2	0,8÷1,2	0,6÷1	0,4÷0,8	0,3÷0,6

Tipul filetului	Materialul piesei	Avansul S_c [mm/rot]	Viteza de așchiere [m/min]
Filet Exterior	oțel de construcție aliat sau fontă	0,8÷1,1	200÷300

	metale neferoase	0,8÷0,9	250÷450
filet Interior	oțel de construcție aliat sau fontă	0,6÷0,9	150÷250
	metale neferoase	0,7÷0,8	150÷250

Se poate preciza, că avansul (S_C) se poate determina și în funcție de adâncimea (t) de așchiere. Se consideră (vezi fig.5.15.) că scula intră în piesă a doua oară, a treia oară, etc...

Referindu-ne la a doua intrare, adâncimea (t) este corespunzătoare secțiunii A_2O_2 , adâncimea (t) fiind mică, nedepășind valoarea $t=0,10\div0,15$ mm (uneori chiar mai mică).

Așchiile desprinse sunt subțiri, iar dimensiunile lor depind de numărul de cuțite și de excentricitatea (e).

Considerând (vezi fig.5.5.) triunghiul A_1A_2D , ca fiind un "triunghi dreptunghic" se poate scrie:

$$S_c = \frac{t}{\sin \lambda^\circ} \quad (5.18.)$$

- unghiul (λ°) se poate determina din triunghiul $O_1A_1O_2$ (aplicând teorema lui Pitagora generalizată):

$$e^2 = r^2 + R^2 - 2(r \cdot R) \cos \lambda^\circ;$$

$$\cos \lambda = \frac{r^2 + R^2 - e^2}{2rR} \quad (5.19.)$$

$$\sin \lambda = \sqrt{1 - \cos^2 \lambda} = \sqrt{1 - \frac{r^2 + R^2 - e^2}{2rR}} \quad (5.20.)$$

Filetarea în vârtej asigură obținerea unor precizii normale, filete "fin 1", "fin 2", și chiar "fin 3". Rugozitatea obținută este: $R_a = 6,3\div1,6$ (μm);

chiar de: $R_a = 0,8$ (μm).

Diametrul de roație a vârfului cuțitului se poate stabili astfel:

$$D = 2R = 2r + (10\div15) \quad [\text{mm}]$$

Prin acest procedeu se pot tăia filete cuprinse între: $d_p = (20\div220)$ mm.

În cazul filetării interioare diametrul minim este: $d_{p \text{ min}} \cong 35$ (mm).

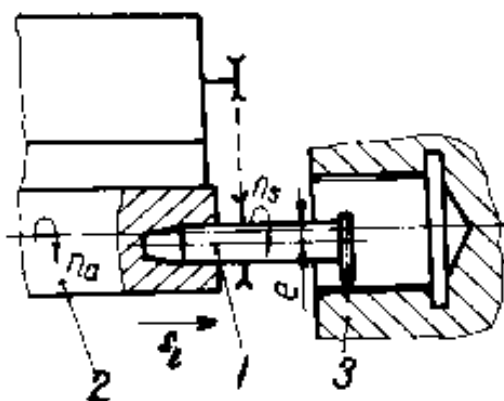


Fig.5.17.

Se preferă reglarea sculelor (cuțitelor) astfel încât să așchieze un singur flanc. Dacă cuțitul așchiează un flanc, atunci următorul va așchia celălalt flanc. În acest caz în relația (5.17.) [unde se calculează n_p (rot/min)] în loc de (Z) se va lua $(Z/2)$, deci rezultă o turație mai mică, repercutându-se mai bine asupra durabilității (T) . La viteze mari de așchiere se recomandă o răcire abundentă.

Pentru ca filetarea să se poată realiza dintr-o singură trecere, se recomandă ca turația capului să fie cât mai mare, iar turația piesei (n_p) să fie cât mai mică. Acest lucru este justificat pentru ca adaosul să fie repartizat pe cât mai multe așchii. Astfel, filetele trapezoidale (ex. șurubul conducător de la strungurile paralele) se realizează din două sau trei treceri.

În situația filetării prin vârtej a pieselor mari și grele care nu se pot roti, ele se așează pe mașini de găurit ori mașini orizontale de găurit și alezat.

În fig.5.17. se prezintă schema de principiu a unui astfel de dispozitiv adaptabil pe o mașină de găurit. Dornul port-cuțit (1) este montat excentric (e) față de axa arborelui mașinii (2) și axa piesei (3). Scula are o mișcare de rotație (n_s) obținută de la un motor electric independent iar arborele (2) al mașinii are o mișcare de rotație (n_a), cuplat cu un avans longitudinal (S), egal cu valoarea unui pas la o rotație a sculei.

5.6. Frezarea filetelor

Este una din cele mai productive metode, având un domeniu larg de aplicare.

Se pot astfel executa prin frezare o gamă largă de filete cu diferite caracteristici dimensionale:

$$d = (150 \div 530) \text{ mm}$$

$$L = (50 \div 140) \text{ mm}$$

$$p = (3 \div 12) \text{ mm}$$

- Se pot executa filete:
- cilindrice interioare
 - cilindrice exterioare
 - filete speciale
 - filete cu mai multe începuturi

Procedeul de frezare al filetelor se divide după criteriul sculelor folosite.

A) frezarea filetelor cu freze disc

B) frezarea filetelor cu freze pieptene

Procedeul (A) se folosește la frezarea filetelor lungi, cel (B) la frezarea filetelor scurte.

În fig.5.18.a se poate observa frezarea filetelor lungi, folosind freze-disc profilate înclinate cu unghiul α° (egal cu unghiul elicei filetelui).

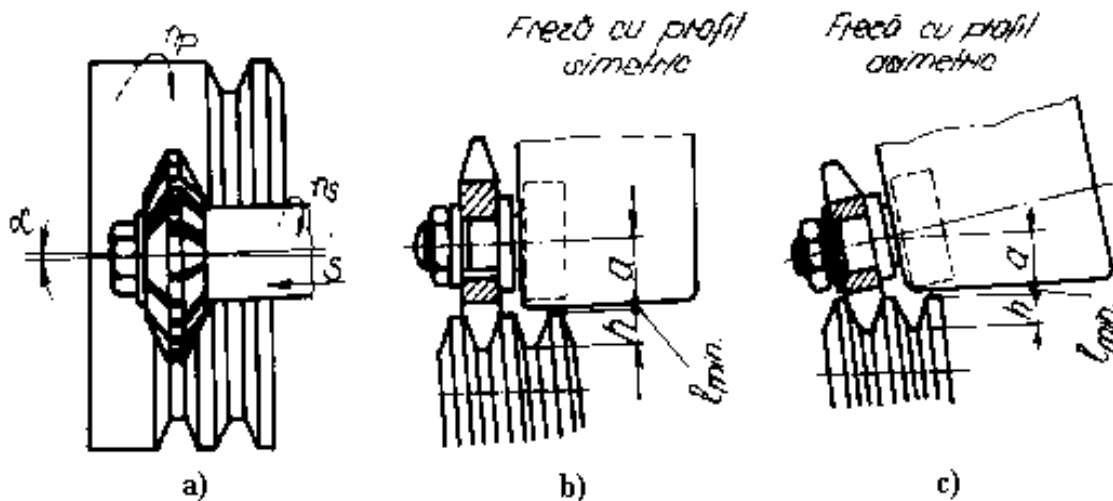


Fig.5.18.

n_s - turația sculei (mișcarea principală de așchiere)

n_p - turația piesei (semifabricatului)

S - mișcarea de avans (rectilinie, paralelă cu axa piesei)

această (S) trebuie să aibe valoarea egală cu pasul, la o rotație completă a piesei (n_p).

Procedeul de frezare menționat se folosește mai ales la degroșarea filetelor trapezoidale, urmând ca finisarea să se execute cu ajutorul unui cuțit de filetare (special profilat). Explicația constă în apariția vibrațiilor (inerente frezării) care produc deformări ale profilului filetelui sau încălziri locale (cu același efect).

În fig.5.18.b se prezintă tipul de freze disc cu profil simetric, iar în fig.5.18.c cele cu profil asimetric.

În vederea reducerii cât mai mult a deformării profilului, cauzată de unghiul profilului, diametrul frezei (sculei) se alege cât mai mic. Astfel, acesta se poate determina cu relația:

$$D = 2(h + l_{\min} + a) \quad (5.22.)$$

(h , l_{\min} și a) sunt cote de pe desen (fig.5.18.a,b,c,)

Se observă că singura cale de a micșora diametrul este reducerea la minimum a lui "a". Acest lucru se obține prin înclinarea axului principal (fig.5.18.c.), impunând însă aici utilizarea unei freze-disc asimetrice.

În fig.5.19. se prezintă frezarea filetelor scurte.

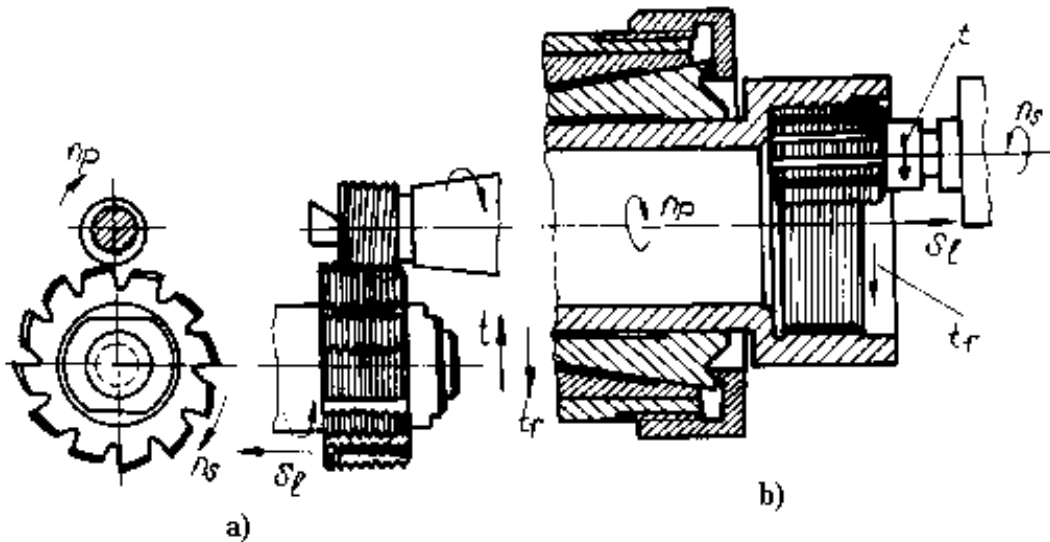


Fig.5.19.

5.19.a - frezarea filetelor scurte exterioare

5.19.b - frezarea filetelor scurte interioare

Acest procedeu se execută cu freze pieptene. Filetul se consideră scurt, dacă lungimea lui nu depășește de 2,5 ori diametrul nominal al filetului.

Sculele (frezele pieptene) au profilul identic cu profilul filetului de tăiat. Canalele frezelor se fac drepte, ceea ce ușurează ascuțirea frezei și ușurează în același timp formarea unghiului de degajare.

Lungimea frezei-pieptene este cu doi sau trei pași mai mare decât lungimea filetului.

În cazul filetării interioare (fig.5.19.b), diametrul frezelor trebuie să fie până maxim 0,9 din diametrul interior al găurii (ce urmează a fi filetată). Axa frezei se așează paralel cu axul piesei (ceea ce nu are o influență deosebită în cazul filetării triunghiulare cu pas mic). Din această cauză procedeu este recomandat la prelucrarea filetelor cu vârfuri ascuțite, scurte având pas mic și unghi mic al elicei filetului.

Mișcările principale:

- n_p - turația piesei (semifabricat)
- n_s - mișcarea principală a sculei (frezei)
- s - avansul longitudinal al sculei

- t - mișcarea transversală de avans (pentru obținerea adâncimii filetului, vezi fig.5.20.)

- t_r - mișcarea transversală (avans de retragere)

Observație: - frezarea se execută pe toată lungimea deodată, printr-o rotație și un sfert ($\frac{1}{4}$) sau ($\frac{1}{6}$) a semifabricatului (piesei), precum și o

deplasare concomitentă pe lungime de $\left[\left(1+\frac{1}{4}\right)p\right]$ sau $\left[\left(1+\frac{1}{6}\right)p\right]$ a sculei.

- dacă avea de-a face cu piese care nu pot fi rotite (la filetare), acestea se execută printr-o mișcare planetară de filetare, în care freza (scula) execută atât mișcarea de rotație, mișcarea planetară și mișcarea de avans.

Mașinile-unelte pe care se așchiează filete cu freze-pieptene sunt cele de frezat filete cu ciclu automat.

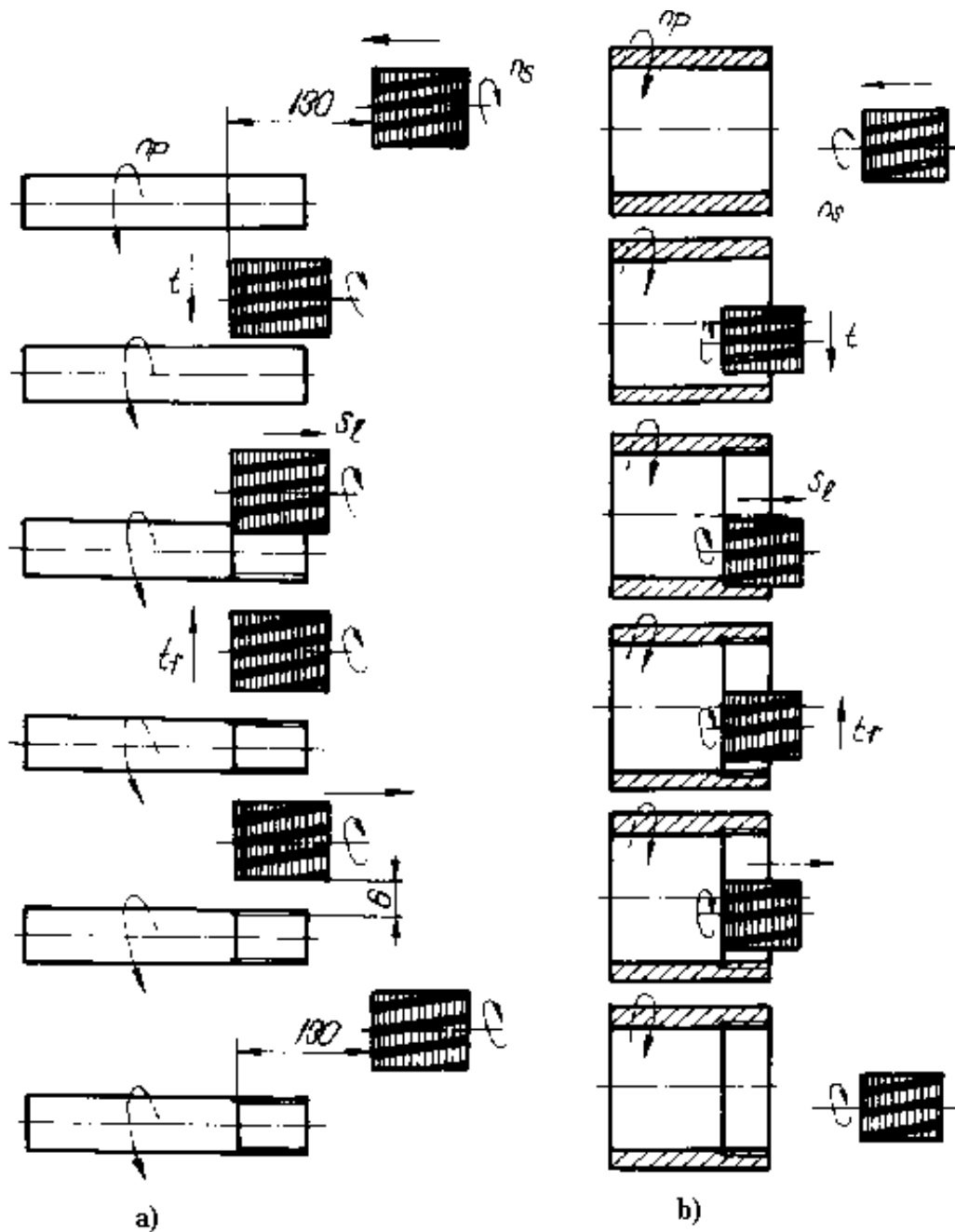


Fig.5.20.

În fig.5.20. se pot urmări fazele filetării prin frezare a filetelor exterioare (fig.5.20.a.) cât și a a filetelor interioare (fig.5.20.b.) pe astfel de mașini.

Alegerea regimului de așchiere se face astfel:

- se stabilește viteza de așchiere (prin turația frezei n_s)
- se stabilește avansul pe dinte astfel:

- turația frezei (n_s) se calculează cu relația:

$$n_s = \frac{1000 \cdot v_s}{\pi \cdot d_s} \text{ [rot/min]} \quad (5.23.)$$

- turația piesei (n_p)

$$n_p = \frac{S_z \cdot Z \cdot n_s}{\pi \cdot d_p} \text{ [rot/min]} \quad (5.24.)$$

unde: v_a - viteza de aşchiere (m/min)
 d_s - diametrul frezei (mm)
 S_z - avansul pe dinte (mm)
 Z - nr. de dinţi al frezei (sculei)
 d_p - diametrul mediu al filetului (mm)
 - avansul pe minut (S_1)

$$S_1 = S_z \cdot Z \cdot n_s \quad \text{[mm/min]}$$

recomandări:

la prelucrarea cu freze disc:

- oţel carbon $v_a = 30 \div 55$ (m/min)

pentru:

- oţel aliat $v_a = 28 \div 40$ (m/min)
 - precizia [7 ISO] $S_z = 0,03$ (mm/dinte)

pentru:

- precizia [9 ISO] $S_z = 0,06$ (mm/dinte)
 la prelucrarea cu freze-pieptene (din oţel rapid):
 - oţel carbon $v_a = 30 \div 52$ (m/min)

pentru:

- oţel aliat şi
 inoxidabil $v_a = 18 \div 34$ (m/min)
 - oţel carbon $S_z = 0,020 \div 0,050$ (mm/dinte)

pentru:

- oţeluri aliate $S_z = 0,025 \div 0,050$ (mm/dinte)

normarea tehnică:

- în cazul filetării cu freze-disc:

$$t_b = \frac{l + l_1}{n_p \cdot p} \text{ [min]} \quad (5.25.)$$

- la filetarea cu freze pieptene:

$$t_b = \frac{(1,1 \div 1,25) \cdot d_{ep}}{S_1} \text{ [min]} \quad (5.26.)$$

l (mm) - lungimea filetului

l_1 (mm) - lungimea de intrare şi ieşire a frezei

(sculei) $l_1 = (5 \div 8) p$ [mm]

- n_p [rot/min] - turația piesei
 p [mm] - pasul filetului
 i - nr. de treceri
 d_{ep} [mm] - diametrul exterior al filetului prelucrat

5.7. Rularea filetelor

Procedeul este caracterizat prin obținerea filetului în urma unei deformări plastice la rece (deci nu prin aşchiere mecanică).

Precizia obținută: clasa (1÷3) de precizie

Rugozitatea: $R_a = 0,4 \div 1,6$ (μm)

Din punct de vedere al productivității, se depășește toate celelalte metode de filetare amintite, oferând în plus și un preț de cost scăzut de fabricație.

Avantaje mecanice:- datorită deformării plastice se produce o ecruisare a suprafeței pe adâncimea de $(0,3 \div 1,7)\text{mm}$, ceea ce asigură calități mecanice ridicate ale startului superficial, îmbunătățind rezistența la uzură și oboseală a materialului. De asemenea, filetul rulat este mai rezistent și datorită faptului, că fibrele materialului nu sunt tăiate ca la prelucrarea prin aşchiere, fibra fiind continuă (nu întreruptă). Datorită ecruisării, duritatea superficială crește cu $(20 \div 40)\%$.

Diametrul semifabricatului înainte de rulare este cilindric-neted, având un diametru (d_s) mai mic decât diametrul peste vârfuri a filetului, apropiat de diametrul mediu, și anume:

$$d_s \cong \sqrt{0,5(d_e^2 + d_i^2)} \quad [\text{mm}] \quad (5.27.)$$

unde (d_e) și (d_i) sunt diametrele exterior și interior ale filetelor.

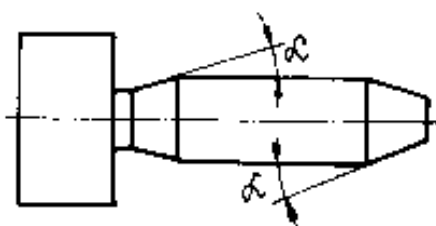


Fig.5.21.

Relația (5.27.) este aproximativă; echipamentele tehnologice precizează prin cărțile tehnice cu care se livrează relații empirice (dar ceva mai exacte), verificabile în practică.

De precizat este faptul, că semifabricatele înainte de rulare se rectifică (după ce în prealabil se strunjesc).

În fig.5.21. se arată unghiul (α°) care trebuie executat în vederea evitării deformării sau chiar ruperii muchiei spirelor. Aceste valori se aleg conform recomandărilor tabelare:

pasul [mm]	până la 1,5	1,5 ÷ 2,5	2,5 ÷ 9
------------	-------------	-----------	---------

α° [grade]	$15^\circ \div 20^\circ$	$20^\circ \div 25^\circ$	$25^\circ \div 30^\circ$
------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

În mod normal se pot rula filete cu pasul cuprins între $p = 0,7 \div 3$ (mm); chiar și filete cu pasul $p = 3 \div 5$ (mm).

Dacă nu asigurăm în prealabil dimensiunile semifabricatului, rebutul este inevitabil ori apare exfolierea filetului (spirele se desfac); de asemenea nu se poate asigura o bună coaxialitate a filetului cu axa piesei.

Din punct de vedere al construcției sculelor, se deosebesc următoarele procedee de rulare a filetelor:

- a) Rularea cu bacuri plane
- b) Rularea cu role cilindrice
- c) Rularea cu role și

segmenti circulari

Rularea cu bacuri plane se poate observa în schița din fig.5.22.

- Se pot rula filete până la diametrul ($\varnothing 25$ mm).

Filetarea se realizează cu ajutorul a două bacuri dintre care unul este fix (bacul 1), iar celălalt mobil (2).

- Ca dezavantaj se poate aminti durata mare a reglării și presiunii specifice mari în timpul prelucrării (ducând la o durabilitate mai scăzută a sculelor).

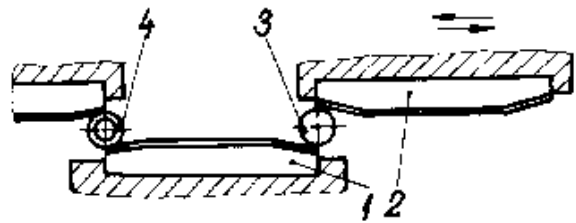


Fig.5.22.

Rularea cu role se poate face ca în fig.5.23.a,b,c cu o rolă sau două, ori conform

Rularea filetului cu o singură rolă se poate utiliza la diametre cuprinse între $5 \div 15$ (mm) și pentru materiale neferoase sau din oțel moale (putându-se fileta astfel pe strunguri)

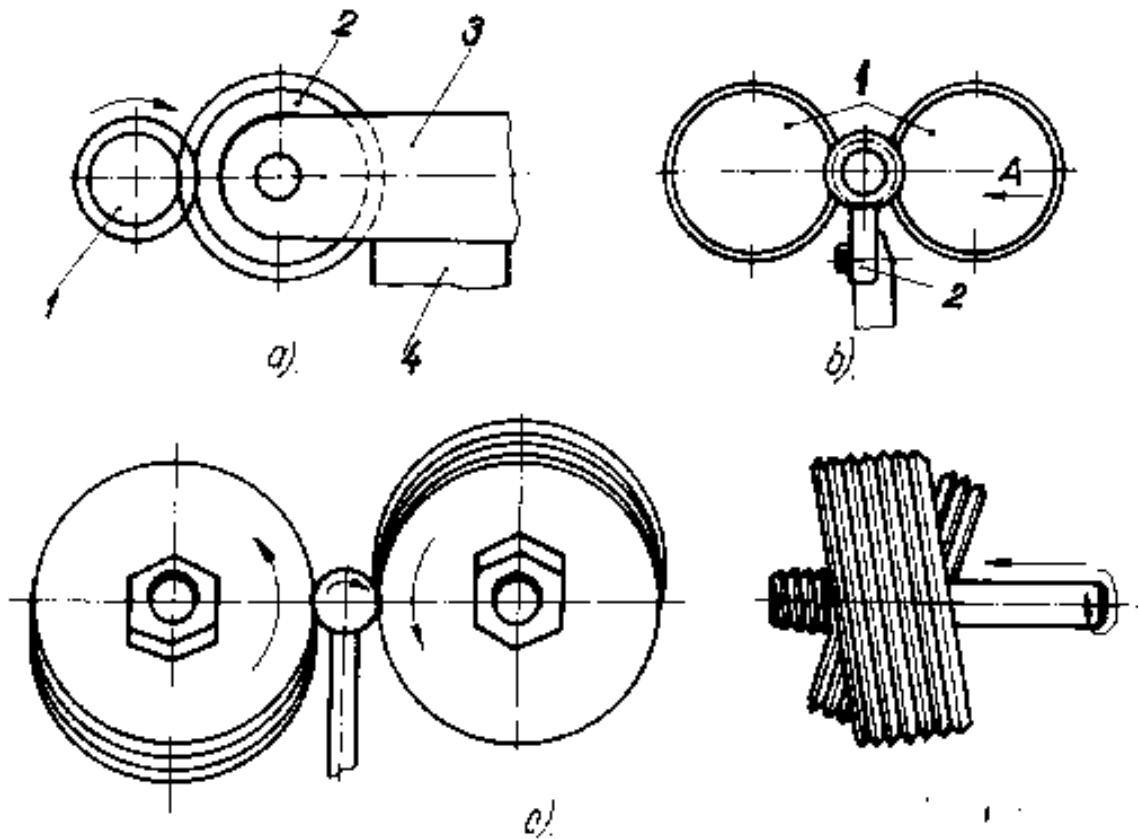


Fig.5.23.

În cazul când pentru rularea filetului se utilizează două role, acestea pot fi egale sau neegale. În cazul rotelor egale (fig.5.23.b și c), în vederea prelucrării, piesa (1) se așează pe rigla (2) între rolele filetate (3) care se rotesc în același sens și cu aceeași turație. Se recomandă ca axa piesei (semifabricatului) să fie cu 0,2 (mm) sub axa rotelor pentru evitarea săririi piesei dintre role. Rolele având lățimea mai mare decât lungimea de filetat (cu cca. 5 mm), una din role are un avans radial obținut hidraulic (în acest caz piesa nu avansează în lungul riglei de sprijin - ca în fig.5.23.c, unde nu există avans radial).

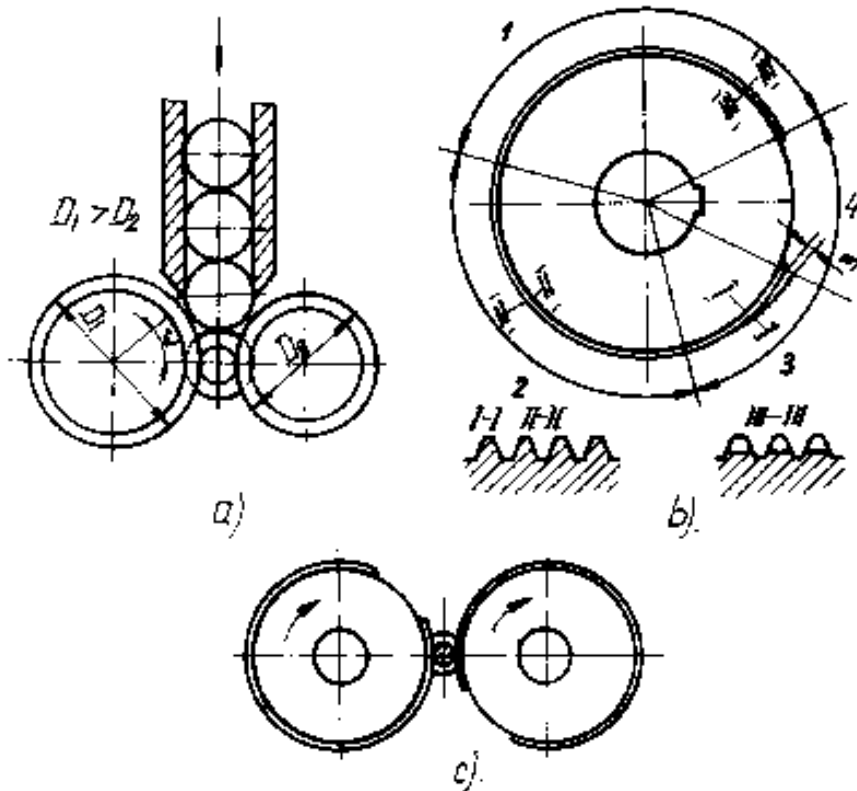


Fig.5.24.

Viteza de rulare, în funcție de diametrul rotelor, precizia filetului și materialul piesei este de: $v = 12 \div 100$ (m/min). Precizia poate fi chiar asemănătoare filetelor obținute prin rectificare.

În cazul rulării cu role neegale, turațiile rotelor sunt egale, ceea ce atrage după sine viteze periferice diferite.

Diferența de viteză între punctele situate pe cele două role în zonele de contact cu piesa dă naștere la o componentă care acționând în centrul piesei face ca aceasta să se deplaseze printre cele două role.

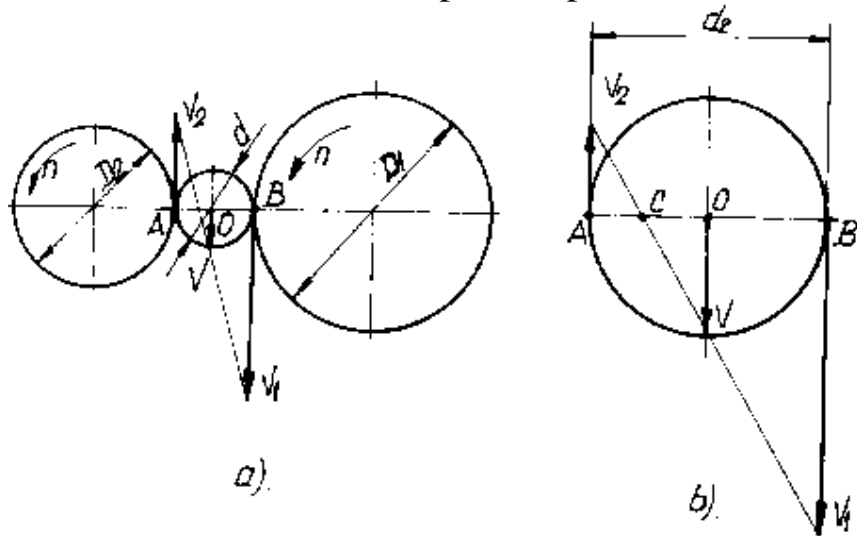


Fig.5.25.

Acest lucru face ca procedeul să se preteze foarte bine la automatizare, nefiind necesară rigla de sprijin. Productivitatea prelucrării depinde de viteza ("v") cu care piesa trece printre role. Aceasta se poate determina geometric (conform fig.5.25.), astfel:

Din asemănarea:

$$\Delta CBV_1 \approx \Delta AV_2C \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{BC}{CA}; \quad \frac{V_1 + V_2}{V_2} = \frac{d}{CA} \quad (5.28.)$$

$$CA = \frac{V_2 \cdot d}{V_1 + V_2} \quad (5.29.)$$

Iar din asemănarea:

$$\Delta COV \approx \Delta CAV_2 \Rightarrow \frac{V}{V_2} = \frac{OC}{CA}; \quad \frac{V + V_2}{V_2} = \frac{d(V_1 + V_2)}{2V_2 \cdot d} \quad (5.30)$$

Dea aici se obține:

$$V = \frac{V_1 - V_2}{2} \quad (5.31.)$$

sau
$$V = \frac{\pi \cdot n}{1000} (D_1 - D_2) \quad (5.32.)$$

În acest caz se poate obține o precizie mai bună chiar decât în cazul anterior (5.31.)

Se poate preciza că pe strunguri automate sau semiautomate cu sau fără cap revolver, se pot utiliza și capete de filetat cu două sau trei role.

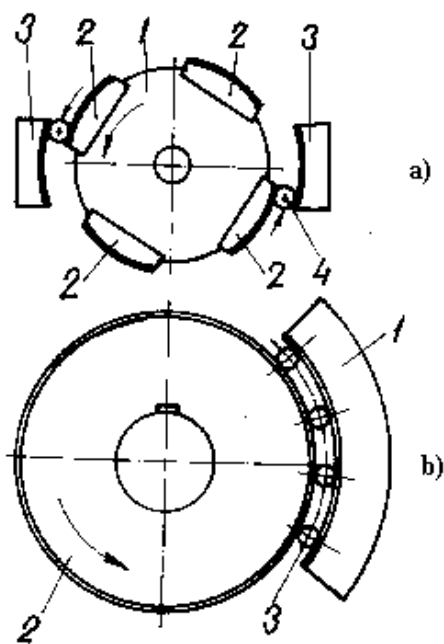


Fig.5.26.

Rularea filetelor, în general mai mici, cu diametrul de 2÷5 (mm), se poate realiza și conform schemelor (a) și (b) din fig.5.26. numit și procedeul de rulare cu role și segmenti circulari.

Aici rularea filetelor are loc între o rolă și un sector, ambele filetate. Pentru mărirea productivității se poate recurge la soluția 5.26.a.

- (1) - suport disc
- (2) - bacuri de filetat
- (3) - segmenti circulari (filetați)
- (4) - semifabricat

Ca un alt avantaj al rulării filetelor este și deservirea relativ ușoară a acestor

echipamente tehnologice și simplitatea mașinilor-unelte care ocupă un spațiu relativ redus.

5.8. Filetarea cu pietre abrazive

Cu toată precizia ridicată, acest procedeu asigură din păcate o productivitate scăzută (vezi diagrama comparată din fig.5.27.).

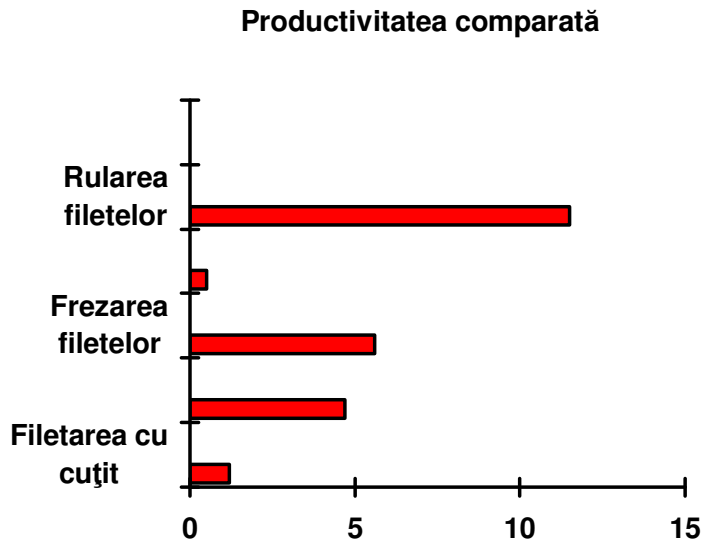


Fig.5.27.

Principiul rectificării filetului este identic cu cel al strunjirii filetului; locul saniei căruciorului cu cuțitul de filetare este ocupat de sanie și un disc de rectificat (cu piatră abrazivă).

Avantajul principal al metodei îl constituie posibilitatea de filetare pe piese tratate termic (călite) fie netratate termic ori ca operație de finisare, atunci, când filetul a fost executat într-o operație anterioară de degroșare.

Pentru filete având pasul până la $1,5 \div 2$ (mm), indiferent de duritatea materialului se poate aplica rectificarea "în plin", dintr-o singură trecere. Astfel se obține o precizie a diametrului mediu de $\pm 2 \mu\text{m}$, a pasului filetului de $1 \div 2 \mu\text{m}$ pe lungime de 25 (mm) sau $2 \div 3 \mu\text{m}$ pe 100 (mm) lungime, o abatere a unghiului profilului de $\pm 5^\circ$.

De asemenea, se obține o calitate a suprafeței de $R_a = (0,8 \div 2) \mu\text{m}$.

Cu toată productivitatea scăzută (vezi fig.5.27.), rectificarea filetelor este de neînlocuit, mai ales în situații, ca: sculele pentru tăiat filet, calibrele contolat filete, șuruburile conducătoare, șuruburile micrometrice, etc...

Rolul rectificării filetelor îl mai constituie și îmbunătățirea preciziei și calității filetelor tratate termic (prin eliminarea ulterioară a

deformațiilor ce apar în urma tratamentului termic, după îndepărtarea stratului decarburat).

Trebuie acordată o atenție deosebită privind stabilirea corectă a regimului de așchiere, ținându-se cont de degajarea mare de căldură în zona de așchiere.

Granulația discului se alege în funcție de mărimea razei la fundul filetului, ceea ce face ca la rectificarea filetelor cu $p < 0,5$ (mm) să se folosească discuri cu granulație foarte fină.

Pe de altă parte, menținerea profilului impune mărirea durtății discului, care este un factor activ în apariția fenomenelor de ardere.

Rectificarea filetului se poate face printr-una din următoarele metode:

a) Rectificarea cu disc abraziv îngust (simplu sau mono-profil)

Discul are lățimea de $6 \div 10$ (mm).

În fig.5.28. se poate urmări această metodă.

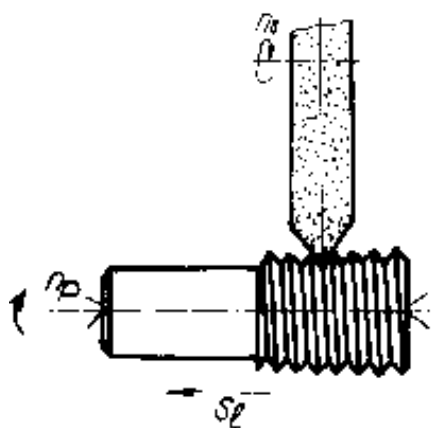


Fig.5.28.

Discul are profil identic cu cel al golului filetului. În timpul rectificării piesa execută o mișcare de rotație și de avans longitudinal în timp ce discul abraziv execută mișcarea principală de așchiere. Avansul radial de lucru se realizează inițial la începutul procesului de rectificarea a filetului.

b) Rectificarea cu disc abraziv (cu lățimea de 20-70 mm) tip pieptene sau poliprofil cu canale circulare (vezi fig.5.29.a), este caracterizată prin lățimea mai mare a discului abraziv (cu $2 \div 3$ profile decât a porțiunii de filetat).

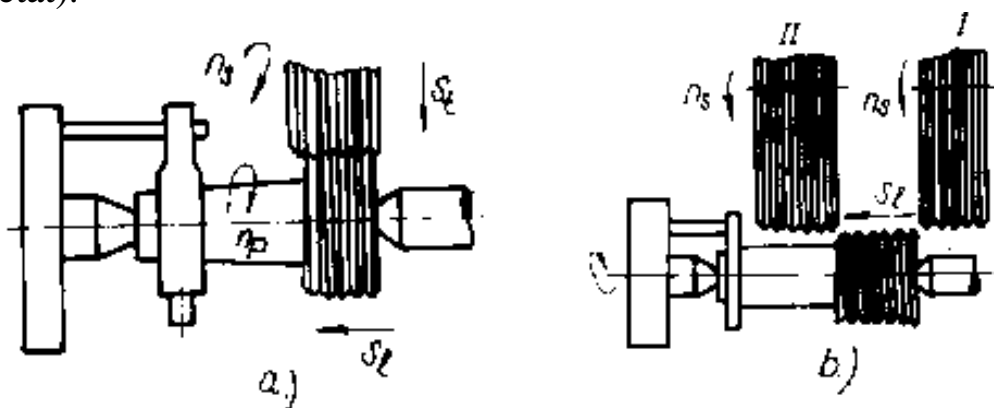


Fig.5.29.

Metoda se mai denumește "rectificarea transversală" a filetului, deoarece piatra abrazivă execută o mișcare de rotație (n_s), și una de avans transversal (S_{tr}) până la opritor, în timp ce piesa, pe lângă mișcarea de

rotație cu turația (n_p) execută o mișcare de avans longitudinală (S_l) pe o distanță egală cu $2\div 3$ pași ai filetului. Se impune ca porțiunea filetată să fie mai mică de 70 (mm), iar filetul trebuie să fie cu pas mic.

c) Rectificarea cu disc abraziv (de $20\div 70$ mm - pieptene sau poliprofil) cu canale circulare, mai înguste decât lungimea porțiunii de filetat.

Metoda (vezi fig.5.29.b) este cunoscută și sub denumirea de rectificare longitudinală cu piatră pieptene. Ea se aplică la realizarea filetelor mai puțin precise.

Atât la metoda a) cât și la b) și c), rectificarea filetelor (precise) se face în două faze:

- degroșare (cu piatră abrazivă cu mai multe profile)
- finisare (cu piatră abrazivă simplă)

La rectificarea filetelor cu pași fini ($0,25\div 0,5$ mm) se utilizează pietre simple sau monoprofil (inclusiv la filete cu unghiul de înclinare mare: - filete modul; trapezoidal; ferăstrău). Utilizarea pietrelor poliprofil (în al doilea caz) ar atrage după sine corectarea profilului.

O atenție deosebită trebuie acordată profilării pietrelor abrazive. De această operație depinde în mare măsură precizia filetului executat. Profilarea pietrelor simple (monoprofil) sau cu un singur profil se face cu diamante industriale montate pe dispozitive speciale, care pot fi acționate manual, semiautomat sau automat. Una din aceste scheme de profilare (de lucru) este cea din fig.5.30.

Profilarea discurilor abrazive, cu mai multe profile (sau multiprofil) se face prin rulare cu ajutorul unei scule senumită rolă profilată sau moletă, care se montează între vârfuri în locul piesei, discul abraziv se rotește cu $75\div 100$ (rot/min).

Profilarea trebuie să fie însoțită de o răcire abundentă. Pentru evacuarea granulelor uzate și desprinse molettele sunt prevăzute cu canale înclinate la 15° , așezate asimetric pe periferia moletei. Pe discurile cu lățimea mai mare decât a suprafeței cu filet ce urmează să se rectifice după metoda cu avans radial, spirele au profil complet pe toată lățimea discului. Dacă rectificarea filetului se face cu avans longitudinal, trebuie ca discul să aibă pe o lungime egală cu $4\div 6$ profile, un con de atac (vezi fig.5.31.)

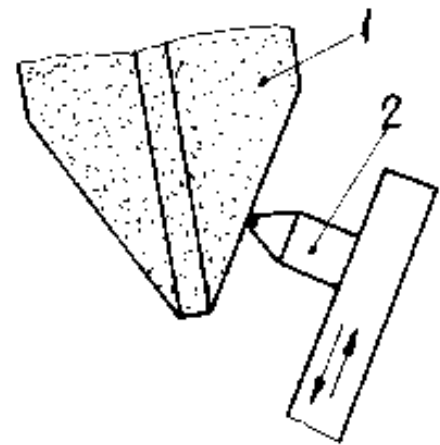


Fig.5.30.

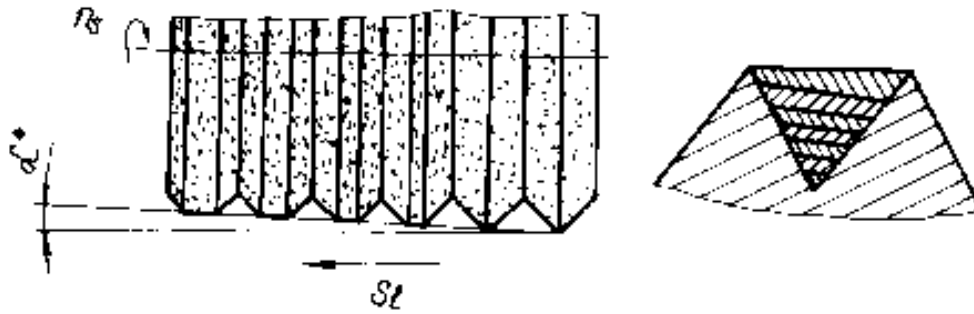


Fig.5.31.

În situația când pe conul de atac spirele au profil complet (fig.5.32.a.), straturile de metal îndepărtate de fiecare spirală au forma celor din fig.5.32.b.

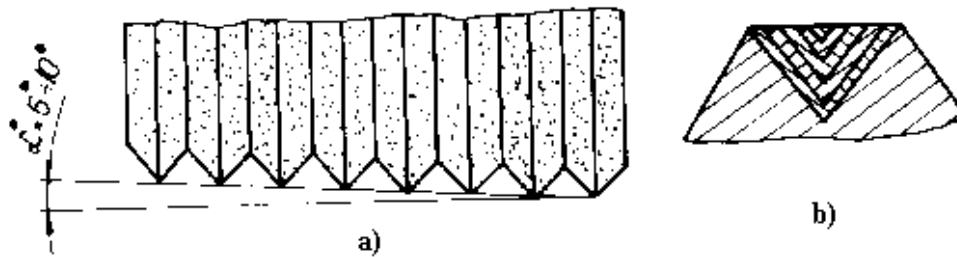


Fig.5.32.

Deoarece fiecare spirală îndepărtează o cantitate egală de metal, durabilitatea discului ascuțit cu profil complet este mai mare decât cea a celui cu profil incomplet.

Regimul de așchiere influențează extrem de mult obținerea unui filet de calitate.

Prametrii principali ai regimului de așchiere sunt:

- (v_s) viteza periferică a discului abraziv [m/s]
- turația piesei [rot/min] - (n_p)
- adâncimea de așchiere (t) - în [mm]
- numărul de treceri (i)

Recomandări:

$v_s = 35$ (m/s) - pentru discurile obișnuite cu liant ceramic și de bachelită

$v_s = 42 \div 55$ (m/s) - pentru discurile destinate rectificării rapide (cu liant ceramic)

(n_p) - turația piesei, se stabilește cunoscând viteza periferică a acesteia

Astfel:

$v_p = [0,3 \div 0,5]$ m/min - pentru degroșare, în cazul rectificării cu disc abraziv cu un profil

$v_p = [0,2 \div 0,5]$ m/min - la finisare

La rectificarea cu disc abraziv cu maimulte profile cu pasul până la 1,5 mm se recomandă:

$$v_p = [0,025 \div 0,1] \text{ m/min}$$

Numărul de treceri (i) și adâncimea de așchiere (t) la fiecare trecere la rectificarea cu disc îngust cu un profil se stabilește în funcție de adaosul de prelucrare și materialul prelucrat (pentru a evita arderea suprafeței). În general: $i=3$, în cazul când adâncimea de așchiere pe fiecare trecere se stabilește după următoarea ordine:

$$t_1 = (0,4 \div 0,6) t \text{ [mm]}$$

$$t_2 = (0,3 \div 0,4) t \text{ [mm]}$$

$$t_3 = (0,15 \div 0,2) t \text{ [mm]}$$

$$t_4 = (0,1) t \text{ [mm]}$$

Rectificarea cu discuri late cu mai multe profiluri cu avans longitudinal se execută dintr-o singură trecere (deci $i=1$).

Regimul de așchiere stabilit, trebuie să evite decarburarea filetului atât la operația de finisare, cât și la cea de degroșare, deoarece adâncimea stratului decarburat ajunge până la 0,3 mm, care nu ar putea fi îndepărtată în operația de finisare. De asemenea trebuie să se aibe în vedere că probabilitatea "arderii" suprafeței rectificate este mai mare la rectificarea filetelor cu pas mare, decât la cele cu pasul mic, deoarece la rectificarea filetelor cu pas mare secțiunea așchiei crește și se îngreunează evacuarea căldurii degajate la vârful filetului, care este în cantitate mai mare decât la rectificarea filetelor cu pas mic.

5.9. Tehnologia prelucrării filetelor precise

Filetele precise, prin însăși scopul lor, trebuie să îndeplinească condiții cu totul aparte față de filetele obișnuite. Prelucarea lor se face cu cuțite profilate, cuțite pieptene, sau filiere calibrate. Finisarea lor se execută prin rectificare sau rodare.

Filetele precise se prelucrează pe strunguri speciale de tăiat filete, prevăzute cu liniale de corecție sau alte mecanisme, care fac ca erorile de pas ale șurubului conducător al mașinii pe care se execută filetul să se copieze într-o foarte mică măsură (practic neglijabile). Precizia de prelucrare a pasului filetului pe astfel de strunguri este de 0,003 (mm)/50 (mm); 0,004(mm)/150 (mm) și respectiv de 0,005 (mm)/300(mm), în timp ce la prelucrare pe strunguri de precizie fără linial de corecție este de 0,010(mm)/50(mm), 0,015(mm)/150(mm) și 0,020(mm)/300(mm); deci precizia este de 3÷4 ori mai mică.

Cu ajutorul linialului de corecție se micșorează erorile pasului șurubului conducător al mașinii asupra filetului prelucrat; se face o

corecție de pas, urmându-se compensarea influenței asupra pasului a alungirii sau contracării piesei filetate și se compensează influența variației încăperii în care este instalată mașina pe care se filetează față de temperatura normală (+20°C).

În fig.5.33. se poate vedea schema de funcționare a strungului dotat cu linial de corecție.

În vederea eliminării influenței erorilor de pas ale șurubului conducător, profilul linialului de corecție se stabilește prin calcul, în funcție de erorile date. După cum se vede în fig.5.34., în abscisă se trece deplasarea piuliței (5) fig.5.33., a șurubului conducător (4) de la punctul inițial, iar pe coordonată ridicările (h) ale pârgheii (6) care face corp comun cu piulița șurubului conducător și culisează pe linialul (7). Pentru o ridicare (h)⁺ în plan vertical a capătului pârgheii cu raza de rotire R (vezi fig.5.33.), piulița se rotește cu un unghi (α₁) dat de relația:

$$\operatorname{tg} \alpha_1^0 = \frac{h}{R} \quad (5.33.)$$



Fig.5.34.

Acest lucru face ca sania longitudinală să execute o mișcare suplimentară egală cu corecția de pas ce se impune. Pentru a compensa mărimea cu care pasul unui filet prelucrat se "contractă" sau se "lungeste" după tratamentul termic, la filetarea cu cuțit se impune ca linialul de corecție să se încline cu un unghi (β₂), acărui valoare se determină în continuare (se consideră abaterile datorită tratamentului termic ca fiind constante).

Dacă contracția sau alungirea filetelui de lungime (l) este dată de abaterea (Δl_1), pentru a compensa această mărime (Δl), este necesar ca pârghia piuliței să se rotească cu un unghi (α_2) calculat cu relația

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{h_1}{R} \quad (5.34.)$$

h_1 - mărimea cu care capătul pârghiei piuliței s-a ridicat în plan vertical, după ce sania longitudinală a parcurs lungimea (l). Acest (h_1) se obține prin înclinarea linialului cu unghiul (β_2) și are mărimea dată de relația:

$$h_1 = l \cdot \operatorname{tg} \beta_2^0 \quad (5.35.)$$

Înlocuind relația (5.35.) în (5.34.) rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{l}{R} \operatorname{tg} \beta_2^0 \cong \frac{l \cdot \beta_2^0}{R} \quad (5.36.)$$

prin aproximare: ($\operatorname{tg} \beta_2^0 = \beta_2^0$)

sau (tot prin aproximare valabilă la unghiuri mici):

$$\alpha_2^0 = \frac{l \cdot \beta_2^0}{R} \quad (5.37.)$$

Deoarece:

$$\Delta l = \frac{\alpha_2^0}{360^\circ} P \quad (5.38.)$$

înlocuind relația (5.37.) în (5.38.) se va obține:

$$\Delta l = \frac{l \cdot \beta_2^0 \cdot P}{360^\circ \cdot R} \quad (5.39.)$$

unde "p" este pasul șurubului conducător.

Din relația (5.39.) se determină valoarea unghiului (β_2) cu care trebuie să se încline linialul de corecție pentru a asigura deplasarea suplimentară a sainei cu (Δl) pe o lungime (l) egală cu lungimea filetelui ce urmează a fi prelucrat. Pentru a face compensarea influenței variației temperaturii încăperii în care este instalat strungul de filetat, va trebui ca linialul de corecție să se încline cu unghiul β_3 . Datorită variației temperaturii, eroarea de pas a piesei (Δ_{pp}) ce se prelucrează va fi:

$$\Delta_{pp} = (\alpha_p - \alpha_s)(\theta_i^0 - \theta_n^0) \quad (5.40.)$$

(α_p) - coeficientul de alungire termică liniară (grd^{-1}) a materialului piesei

(α_s) - coeficientul de alungire termică liniară a materialului șurubului conducător (grd^{-1})

(θ_i) - temperatura încăperii în timpul lucrului ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$)

(θ_n) - temperatura normală a încăperii în timpul când s-a reglat strungul.

Astfel, capătul pârgheii se va ridica în plan vertical cu o mărime egală cu (h_t) la o deplasare a saniei pe o distanță egală cu un pas al filetului (p) , dacă linialul de corecție a fost înclinat cu unghiul (β_3) .

deci:

$$h_t = p \cdot \operatorname{tg} \beta_3 \quad (5.41.)$$

în acest timp piulița șurubului conducător se va roti cu unghiul (α_3) :

$$\operatorname{tg} \alpha_3^0 = \frac{h_t}{R} \quad (5.42.)$$

înlocuind relația (5.41) în (5.42.) se obține:

$$\alpha_3^0 \cong \frac{p}{R} \beta_3^0$$

Astfel, mărimea erorii de compensare (Δ_{pp}) va fi:

$$\Delta_{pp} = \frac{\alpha_3^0}{360^{\circ}} P = \frac{p \cdot P \cdot \beta_3^0}{360^{\circ} \cdot R} \quad (5.43.)$$

Egalând relația (5.40.) cu relația (5.43.) se va obține:

$$(\alpha_p - \alpha_s)(\theta_i^0 - \theta_n^0) = \frac{p \cdot P \cdot \beta_3^0}{360^{\circ} \cdot R} \quad (5.44.)$$

Din această ultimă relație (5.44.) rezultă unghiul (β_3) de înclinare a linialului pentru compensarea abaterilor de pas, datorită variației temperaturii încăperii:

$$\beta_3^0 = \frac{(\alpha_p - \alpha_s)(\theta_i^0 - \theta_n^0) \cdot 360^{\circ} \cdot R}{p \cdot P} \quad (5.45.)$$

Așa cum s-a mai spus anterior, pentru realizarea filetelor de precizie, se recurge la operația de rectificare.

În cazul șuruburilor conducătoare, cu duritatea HRC = 58-60, utilizate la mașini-unelte și dispozitive de măsură, unde li se cere o precizie ridicată (din punct de vedere dimensional și de formă), precum și calitatea suprafeței filetului, eroarea de cilindricitate este de maximum 4 (μm), eroarea profilului 5 (μm), eroarea de pas 2 (μm) pe lungime de 25 mm, iar de 5 μm /pe lungime de 300 mm. Obținerea unei asemenea precizii la rectificare ade finisare a filetului șuruburilor conducătoare se realizează cu o oarecare dificultate datorită durabilității scăzute a pietrei abrazive, lucru resimțit în special în cazul șuruburilor conducătoare cu o lungime mai mare de 1-1,5 mm și o rază mică de racordare la piciorul

profilului. Procesul de rectificare este însoțit de o încălzire considerabilă, deformații termice și nu de puține ori apariția decarburărilor și fisurării. În această situație, utilizarea discurilor abrazive din "elbor" prezintă o serie de avantaje față de discurile curent utilizate la rectificarea filetelui (din electrocorindon sau monocorindon). Elborul (denumire folosită în URSS) este de fapt nitrat de bor, utilizat ca material abraziv mai ales datorită durității mari (urmează imediat după diamant).

Literatura de specialitate (SUA) îl denumește: borazon, notându-l cu simbolul CB.

Acest material permite mărirea rezistenței la uzură a discului abraziv și micșorarea considerabilă a volumului de lucru la prelucrarea comparativ cu discurile abrazive curent utilizate, datorită micșorării numărului de treceri, creșterii regimului de așchiere și reducerii timpului pentru reprofilarea pietrei abrazive.

Se obține o calitate a suprafeței de $R_a=(0,2\div 0,4)\mu\text{m}$

CAPITOLUL 6

6. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A ROȚILOR DINȚATE

6.1. Generalități

Dacă am sta să analizăm locul și rolul roților dințate și ansamblul angrenajelor, așa cum s-a studiat anterior în cadrul disciplinelor tehnice fundamentale O.M.M. (organe de mașini și mecanisme) sau A.S.A. (așchiere și scule așchietoare), acestui capitol s-ar consacra fără echivoc cel mai mare spațiu, poate nu-ar fi ajuns nici un gingur volum de curs, atât de laborioasă este tehnologia prelucrării roților dințate. Vom încerca să parcurgem cât mai concentrat metodele de prelucrare ale danturilor, cu procedeele specifice fiecărui tip în parte.

În funcție de modul de formare a profilului dintelui, se deosebesc două principale metode de prelucrare a danturilor:

A. - Metoda copierii

B. - Metoda generării prin rostogolire-rulare

6.2. (A) Prelucrarea roților dințate prin metoda copierii

Această prelucrare, cunoscută sub denumirea de "generare prin copiere a danturilor" are la bază materializarea curbei generatoare, care se realizează prin transpunerea generatoarei pe tăișul unei scule așchietoare (de exemplu evolventa). Metoda se aplică la prelucrarea danturii roților dințate de tip cilindric și conic.

6.2.1. Prelucrarea prin copiere a roților dințate cilindrice

Urmărește realizarea golului dintre dinți prin transpunerea muchiilor așchietoare ale sculei pe semifabricat.

Scula trebuie să fie în permanent contact, pe toată lungimea profilului cu piesa de danturat.

Principalele procedee tehnologice de prelucrare mecanică prin copiere sunt:

- frezarea
- mortezarea
- broșarea

a) Frezarea danturii: Este procedeul întâlnit cel mai des la prelucrarea roților dințate cilindrice cu dinți drepecți, înclinați și în "V".

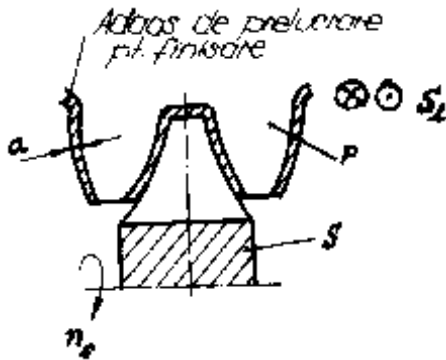


Fig.6.1.

Prelucrarea se face cu ajutorul unei freze-disc modul sau freze deget-modul, care are forma golurilor dintre dinți. Astfel se prelucraza două jumătăți de profile la doi dinți alăturați (vezi fig.6.1.).

Prelucrarea se execută de obicei pe mașini de frezat orizontale sau universale. Divizarea se face cu un cap divizor (universal).

Mișcările principale sunt:

- n_s - turația sculei (dă viteza de așchiere) [rot/min]
- S_1 - [mm/min] avansul longitudinal al mesei (mișcarea de avans)
- rotirea intermitentă (mișcarea de divizare) a capului divizor.

Profilul frezei disc (sau deget) diferă de modul, unghi de angrenare și număr de dinți, iar în cazul roților dințate având dantura cu profil deplasat, depinde de coeficientul de deplasare.

Ca regulă generală: în situația prelucrării unor roți de același modul dar cu număr diferit de dinți, se pune condiția ca prin gruparea profilelor diferențele de profil să fie mai mici decât erorile de fabricație a sculei (frezei). Astfel, se reduce considerabil stocul de freze, prin utilizarea frezelor disc-modul în garnituri (serii sau retur) de câte 8 bucăți [având modulul $m=0,8\div 8$ (mm)], respectiv de câte 15 bucăți (pentru $m>8$ mm). Profilul frezei din garnitura respectivă corespunde cu profilul roții cu cel mai mic număr de dinți din grupă, mărimea golului dintre dinți fiind astfel maximă.

Danturile de modul mic pot fi frezate dintr-o singură trecere, cele mari executându-se din două treceri. Astfel, prima trecere (de degroșare) se face cu freză disc de degroșare, nedetalonate, neimpunându-se respectarea exactă a profilului, ceea ce ușurează lucrul frezei disc-modul în trecerea a doua (la finisare).

În fig.6.2. se prezintă schema danturării roților dințate cilindrice cu dinți drepecți (6.2.a.), respectiv înclinați (6.2.b).

Freaza (1) se înclină cu unghiul (β°) față de axa roții, iar piesa (2) execută în plus o mișcare de rotație cu viteza unghiulară (ω_3) sincronizată cu deplasarea axială cu viteza (v_1), egală cu viteza de avans longitudinal (v_{Sl}). practic, masa mașinii de frezat se rotește cu unghiul de înclinare a dintelui, raportat la cercul de divizare. În timpul frezării, semifabricatul (2) se rotește (cu o singură rotație, în timp ce masa execută o mișcare liniară egală cu pasul elicei dintelui). În vederea prelucrării roților dințate cu modul mare, cu dinți drepecți, înclinați sau în "V", în producția de serie mică sau unicate se utilizează frezele-deget profilate sau frezele deget-modul.

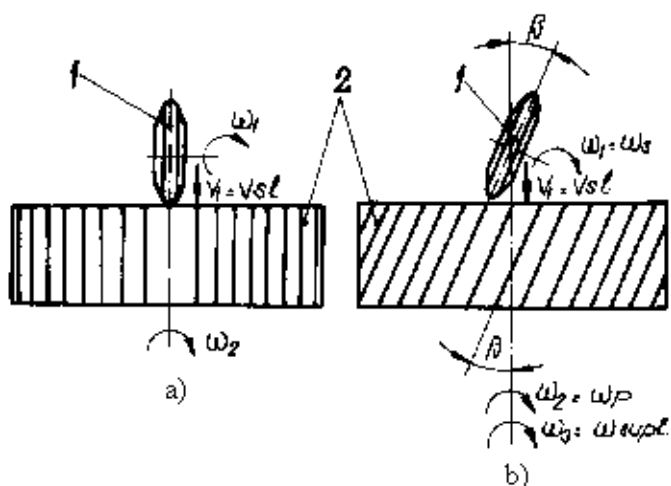


Fig.6.2.

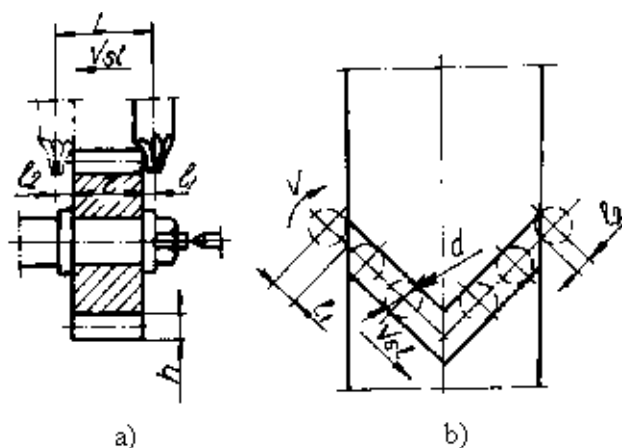


Fig.6.3.

Axa frezei deget coincide cu axa de simetrie a profilului. Mișcările principale care se execută sunt: (n_s) - rotația frezei, mișcarea (S_l) de avans longitudinal, (S_r) mișcarea de avans de revenire, precum și mișcarea de divizare.

Întrucât adaosul de prelucrare este mare, sculele (frezele deget-modul) se împart în: freze de degroșare și freze de finisare.

Frezele deget sunt astfel construite încât frezează golul dinților pe întreaga adâncime, rămânând un adaos de prelucrare numai pe flancurile profilului dinților roții.

Dezavantajele procedeului: - indiferent de sculă, precizia divizării este redusă, apărând și imprecizia profilului precum și o productivitate la fel de mică. Procedeul este însă simplu, larg utilizabil și se indică la fabricația de prototip sau unicate.

Precizia obținută: cl. 9÷10 (I.S.O.)

calitatea suprafeței: $R_a = (12,5 ; 6,3 ; 3,2) \mu\text{m}$

Calculul timpului de bază (t_b):

- Urmărind fig.6.3. rezultă:

în cazul frezării cu freză deget-modul a dinților drepți (vezi fig.6.3.a.):

$$t_b = \frac{l_1 + l + l_2}{v_{Sl}} z \quad [\text{mm}] \quad (6.1)$$

în cazul frezării cu freză deget-modul a dinților în "V" (fig.6.3.b):

$$t_b = \frac{l_1 + l + l_2}{v_s} z \quad [\text{mm}] \quad (6.2)$$

Pentru frezarea cu freză disc-modul, relația de calcul este aceeași (idem 6.1.)

(l)- lungimea dintelui (mm)

(l_1) și (l_2) - distanța de pătrundere, respectiv de depășire [mm]

v_{Sl} [m/min] - viteza de avans longitudinal a mesei mașinii

z - numărul de dinți a roții dințate

b) Mortezarea danturii: cunoscută și sub denumirea (Shear-Speed) -prelucrarea simultană a tuturor dinților, se face cu ajutorul unui cap de mortezat cu mai multe cuțite (fig.6.4.)

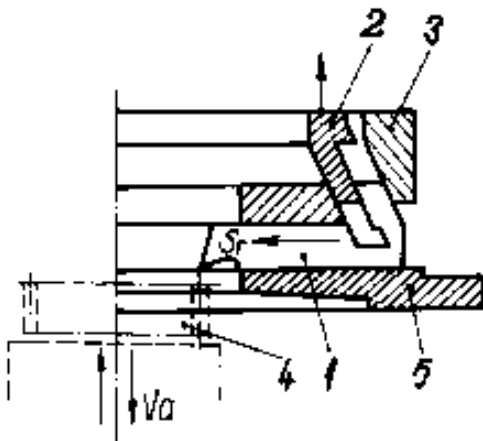


Fig.6.4.

Cuțitele (1), având profilul identic cu cel al golului dintre dinții roții de prelucrat, ca număr egal cu numărul de dinți ai roții, sunt montate în capul port-cuțite (format dintr-un disc (5) cu canale radiale, în care se introduc cuțitele (1). Discul (3), care este conic, menține cuțitele în poziția de lucru, iar discul conic (2) retrage cuțitele spre exterior, la terminarea cursei de lucru. Principalele

mișcări:

- mișcarea de așchiere executată de piesa (4) prin mișcări de translație alternativă, cu viteza de așchiere $v_a=7\div 8$ [m/min];

- mișcarea de avans, executată prin deplasarea radială a cuțitelor, în canalele radiale ale capului, cu o anumită mărime la fiecare cursă activă $S_r=0,05\div 0,5$ (mm/c.d.);

- mișcarea de retragere a cuțitelor, necesară pentru evitarea frecării feței de așezare a cuțitelor pe semifabricatul prelucrat, executată în mișcarea în gol a semifabricatului, prin îndepărtarea cuțitelor de semifabricat în direcție radială (cu 0,5 mm).

În ansamblu, capul stă imobil; pentru executarea mișcării de avans și a mișcării de retragere coada cuțitelor are o formă specială, cu porțiune conică, pe care acționează inelele (2) și (3).

Acest procedeu se aplică numai în cazul producției de serie mare și masă, deoarece fiecare roată dințată necesită construirea unui cap special (costisitor). Productivitatea procedurii este de 8÷10 ori mai mare ca la frezarea cu freză-melc.

Este interesant de reținut: dimensiunile maxime ale roților dințate danturate astfel:

$$d_{\text{ext}} = 25 \text{ (mm)}$$

Timpul de bază se stabilește astfel:

$$t_b = \frac{h}{S_r \cdot n} \quad (\text{min}) \quad (6.3.)$$

unde: h (mm) - înălțimea dintelui

S_r (mm-c.d.) - avansul radial

n (c.d./min) - numărul de curse duble pe minut ale piesei

(semifabricat)

c) Broșarea danturii:

Procedeu este prezentat în fig.6.5.

Acest procedeu se utilizează în producția de masă, la prelucrarea danturilor interioare și exterioare a roților dințate cilindrice. Procedeu constă în broșarea simultană a tuturor dinților dintr-o singură trecere (pe mașini de broșat verticale, cu ciclu de lucru semiautomat). Astfel, golul dinților se execută cu mai multe broșe, egale ca număr cu numărul golurilor dintre dinți. Cozile broșelor (1) se fixează în coroana (2), iar capetele sunt ghidate în placa de ghidare (3). Berbecul inferior (4) ridică coroana (2) împreună cu broșele, care sunt prinse de dispozitivul de prindere din berbecul (5). Piesa (6) se prelucrează în timpul ridicării broșelor de către berbecul superior (5) în timpul în care berbecul inferior (4) se retrage.

La terminarea așchierii, berbecul (5) se oprește și se deplasează în jos până când coroana (2) atinge berbecul (4), urmând ca

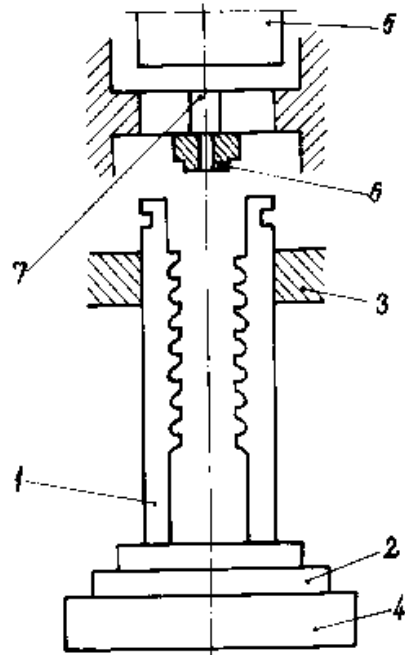


Fig.6.5.

piesa (6) să fie scoasă din dispozitivul ei de prindere (7), ciclul repetându-se, după fixarea unui alt semifabricat.

Avantajul metodei:- productivitate foarte mare (sute de bucăți pe oră)

Precizia: cl. 7-8 (ISO)

6.2.2. Danturarea prin copiere a roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați

Procedeele tehnologice de realizare a danturării prin copiere a roților dințate conice cu dinți drepți sunt.

- frezarea
- rabotarea
- broșarea

Observație generală: prelucrarea danturii roților dințate conice este mult mai dificilă decât prelucrarea celor cilindrice, din următoarele motive:

- toate elementele caracteristice ale dinților variază atât ca mărime cât și ca formă de-a lungul dinților

- danturile, astfel, nu pot fi prelucrate decât cu aproximația cu scule profilate (roțile dințate rezultate se recomandă să nu lucreze la turații mari, de preferință în locuri unde erorile danturii nu produc deranjamente în funcționarea lor).

Frezarea danturii:

În cazul danturii conice drepte, sculele utilizate sunt:

- freze disc-modul
- freze deget-modul
- freze disc cu dinți aplicați

Aceste scule, asigurând o precizie scăzută, se întrebuințează la prelucrările de degroșare, în cazul producției de serie și masă precum și la prelucrarea finală (de profilare) în cazul producției de unicate (în ateliere de întreținere, când nu se impun precizii ridicate.

În fig.6.6. se ilustrează prelucrarea unei roți dințate conice cu freză-disc modul.

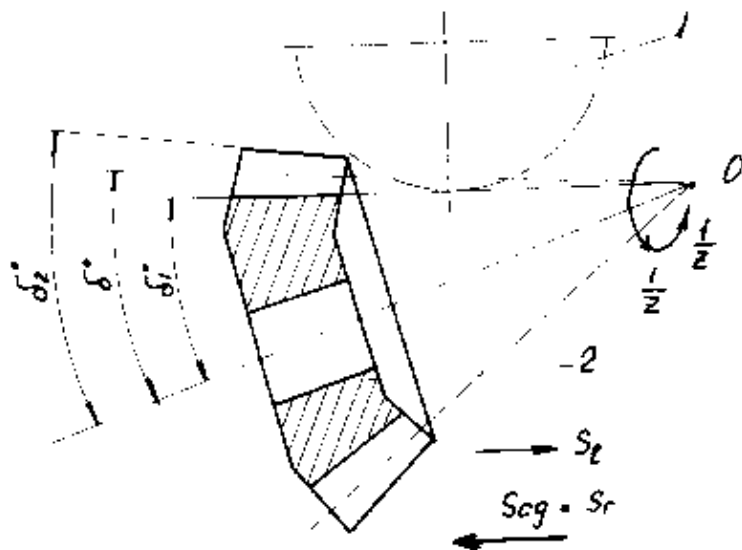


Fig.6.6.

Mașina pe care se execută prelucrarea este o mașină universală de frezat. Scula (1) se fixează pe arborele principal al mașinii, iar piesa (2) în dispozitivul de divizare (cap divizor) aflat pe masa mașinii. Axa piesei, deci și a dispozitivului de divizare este înclinată cu semi-unghiul (δ_1) al conului piciorului dintelui. Dantura se prelucrează la mișcarea de avans a mesei (S_1), după care are loc o mișcare de întoarcere rapidă a mesei (avans al cursei de mers în gol= S_{cg} ; - identic cu avansul de retragere S_r), urmând o divizare cu un dinte.

Se poate prelucra și mai productiv, montând mai multe semifabricate (roți conice) pe masa unui dispozitiv rotativ, de bază.

Procedeele "REVEX"

Posibilitatea de degroșare a roților dințate conice cu dinți drepți cu diametrul până la 355 (mm) și modul până la 8 (mm), cu un cap special de frezat, având diametrul $\varnothing 381$ (mm), este prezentat în fig.6.7.

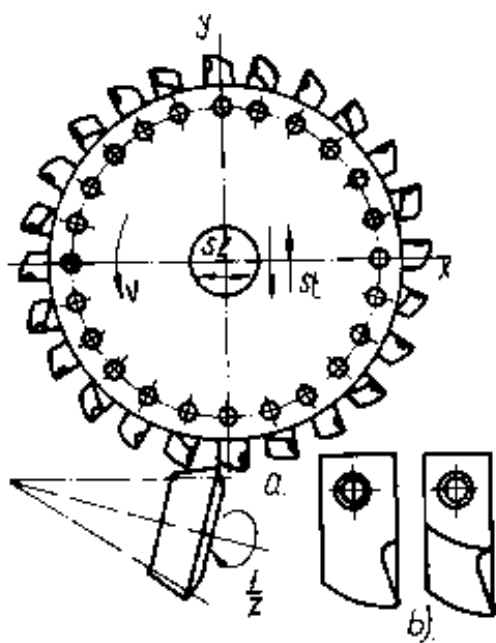


Fig.6.7.

Acest procedeu (REVEX), impune următoarele mișcări principale:

- mișcarea de rotație a capului de frezat cu cuțite, având viteza (v) - constituind viteza de așchiere
- (S_1) - mișcarea de avans longitudinal și de revenire, executată de către sculă
- (S_t) - mișcare de avans de reglare (pe înălțimea dintelui), realizată de sculă
- mișcările de retragere rapidă corespunzătoare celor două avansuri
- rotirea piesei cu pasul unghiular a dintelui ($1/z$) care

constituie mișcarea de divizare.

În conformitate cu această schemă (fig.6.7.) lucrează mașinile semiautomate fabricate de firma "GLEASON" (model nr.7) din SUA. Viteza de așchiere utilizată este $v=(22\div 40)$ m/min; timpul de realizare a unui gol dintre dinți la o trecere este de $(3,5\div 46)$ secunde.

Din punct de vedere constructiv, capul de frezat are 40 cuțite, confecționate din oțel rapid.

Rabotarea după șabloane

Principial, în fig.6.8. se prezintă procedeul de prelucrare cu un cuțit (6.8.a), respectiv cu două cuțite (6.8.b.), după șablon.

(1) - șablonul folosit pentru copiere

Cuțitul (3) execută o mișcare rectilinie-alternativă cu viteza v_p (de prelucrare), respectiv (v_0) de mers în gol (retragere), pe sania de rabotare (4), care prin intermediul rolei (2) se sprijină pe șablonul (1). Acest șablon se execută la scară mărită, transmițând astfel erorile în măsură micșorată asupra piesei. Sania de rabotare execută o rotație ($S \uparrow$) asupra piesei, care constituie o mișcare de avans în jurul axei O și ($S_1 \rightarrow$) în jurul axei C-C, pentru a putea executa copierea după șablon, aceasta fiind deci mișcarea de profilare. Piesa, la rândul ei execută și mișcarea de divizare (cu $1/z$).

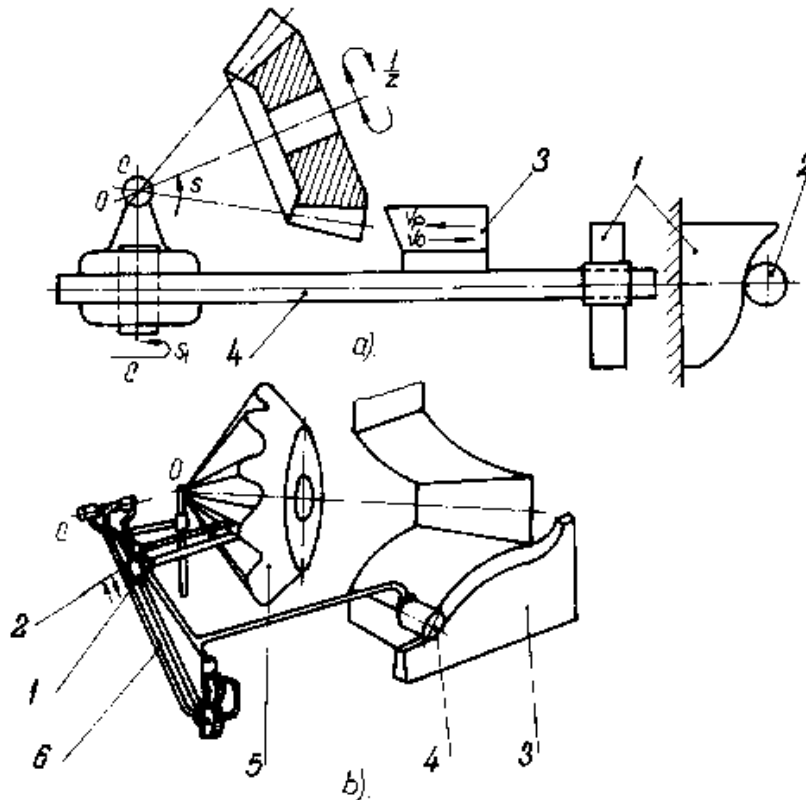


Fig.6.8.

După schema prezentată în fig.6.8.a, se prelucrează separat fiecare flanc al dintelui.

În fig.6.8.b. se prezintă prelucrarea simultană a ambelor flancuri ale unui dinte, cu ajutorul a două scule (cuțite). Mașinile după acest principiu sunt cele cu marca "HEIDENREICH și HARBEK" (R.F.G.) precum și modelul "SA283" (din URSS). Așa cum se vede (din

fig.6.8.b), cele două cuțite de rabotat (1) și (2), legate între ele prin roți dințate, prelucrează simultan ambele flancuri ale unui dinte. Deoarece fiecare punct al șablonului (3) face parte dintr-o dreaptă care trece prin vârful conului (0) și al cuțitului, acesta din urmă va executa numai mișcări rectilinii (alternative). Rola (4) care alunecă de-a lungul șablonului, transmite mișcarea după forma șablonului prin pârghiile (6) la ambele cuțite, piesa (5) rămânând în același timp fixă. Pe astfel de mașini se pot prelucra roți dințate cu diametrul până la 4900 (mm), atât în producție de unicate cât și de serie mică, caracteristică întreprinderilor constructoare de mașini grele (utilaj greu).

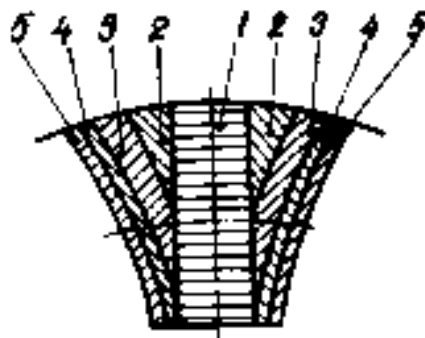


Fig.6.9.

În fig.6.9. se prezintă schema în ordinea efectuării trecerilor la prelucrarea roților dințate conice cu modul mare (4-5 treceri).

Timpul de bază (în cazul mașinilor de prelucrat prin rabotare după șablon) se determină cu relația:

$$t_b = \frac{2,2 \cdot m \cdot z}{s \cdot n} i + \delta \quad [\text{min}] \quad (6.4.)$$

în care: s [mm/c.d.] - avansul

n [c.d./min] - nr. de curse duble pe minut ale cuțitului

i [treceri] - nr. de treceri

δ [min] - timpul pentru deplasări auxiliare și de divizare pentru toată roata dințată

Performanțe tehnologice:

- roțile dințate prelucrate prin rabotare cu două cuțite prin copiere după șablon, având module cuprinse între: $m=[11\div 20]$ mm, se obțin în clasa a 8-a de precizie, având calitatea suprafețelor în jurul valorilor $R_a = [6,3\div 3,2]$ μm .

- pentru module mai mari cuprinse între: $m= [21\div 30]$ mm, se va obține o precizie în clasele (8-9), iar calitatea suprafețelor situată în jurul valorilor de $R_a= [12,5\div 6,3]$ μm .

- de menționat este faptul că și la rabotarea cu un cuțit se obțin aceleași precizii și calități a suprafețelor danturilor prelucrate ca și în cazul folosirii a 2 cuțite la prelucrare

Broșaea circulară

Este cunoscută și sub denumirea de procedeu "REVACYCLE" (dat de firma "GLEASON")

Scula, numită "broșă circulară" este un disc pe care se fixează cuțitele sub formă de segmente, cuțitele fiind astfel profilate încât să execute succesiv degroșarea, semifinisarea și finisarea golurilor dintre dinți.

Principiul de prelucrare a unei roți dințate conice cu dinți drepți se prezintă în fig.6.10.

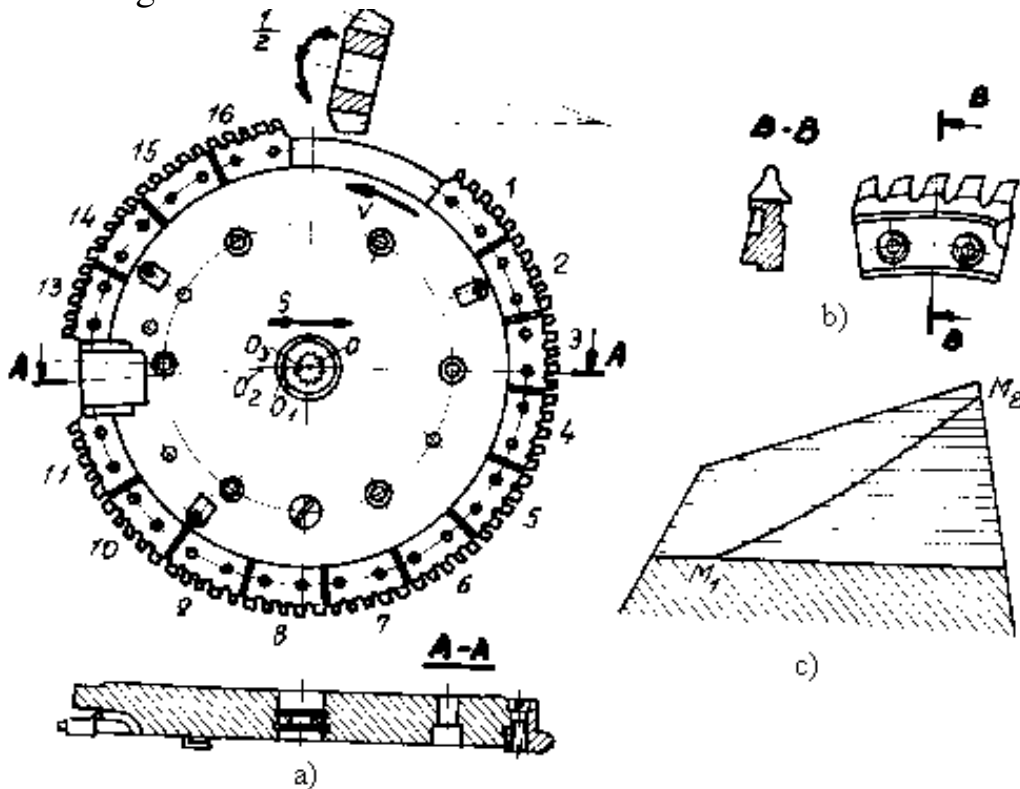


Fig.6.10.

Scula folosită (broșa circulară), așezată pe un ax orizontal, prelucrează succesiv dinții roții. Cuțitele fixate pe disc, realizează goluri din ce în ce mai mari, caracteristic procesului de broșare, obținându-se astfel, la o rotație a sculei, în mod treptat, profilul final al golului.

După trecerea ultimului cuțit de finisare, mașina execută divizarea cu un dinte (la semifabricat), în porțiunea fără cuțite a sculei. Broșa circulară în timpul prelucrării execută o mișcare de rotație cu viteza (v) în jurul axei sale, precum și o mișcare de avans longitudinal (S) până la terminarea prelucrării, după care, continuând rotația se retrage în poziție inițială și reîncepe prelucrarea golului următor, divizarea fiind realizată deja. Pentru a fi posibil acest ciclu de lucru, broșa de construcție specială are montat pe periferia ei 15 buc. segmente, fiecare cu câte 5 cuțite (monobloc) numite și dinți (detalonați) - vezi fig.6.10.b. Fiind în total 16

locuri de segmenti (segmentul nr.12 având rol de teșire). Între segmentele 1 și 16 are loc divizarea cu un dinte (executată de către piesă: 1/z), iar între segmentele 11 și 13 se amplasează cuțitul pentru teșirea dinților în timpul prelucrării.

Diametrul broșei este de 540 mm și pe el se fixează segmentul propriu-zis (din oțel rapid).

Piesa fiind fixă și scula (broșa circulară) în mișcare de rotație cu viteză unghiulară constantă, așchierea începe când centrul broșei se află în punctul "O" (fig.6.10.a.). În continuare, prin intermediul tabelului din fig.6.11. se prezintă schema de prelucrare (inclusiv succesiunea pozițiilor centrului "O", respectiv O-O₁-O₂-O₃-O)

Unghiul de rotație a broșei, în °	-	80°	120°	40°	80°	40°
Centrul broșei	O	O→O ₁	O ₁	O ₁ →O ₂	O ₂ →O ₃	O ₃ →O
Nr. de ordine a segmentelor	-	1-4 (4 segm)	5-10 (6 segm)	11 (1 segm)	13-16 (4 segm)	lipsă
Nr. de ordine a dinților	-	1-20	21-48 sau 21-50	49-55 sau 51-55	50-75	lipsă
Dispunerea vârfurilor cuțitelor pe:	-	Spirală arhimed	Cerc	spirală arhimed.		-
Faza de prelucrare	începutul prelucrării	degroșare		semifinisare	finisare	divizare

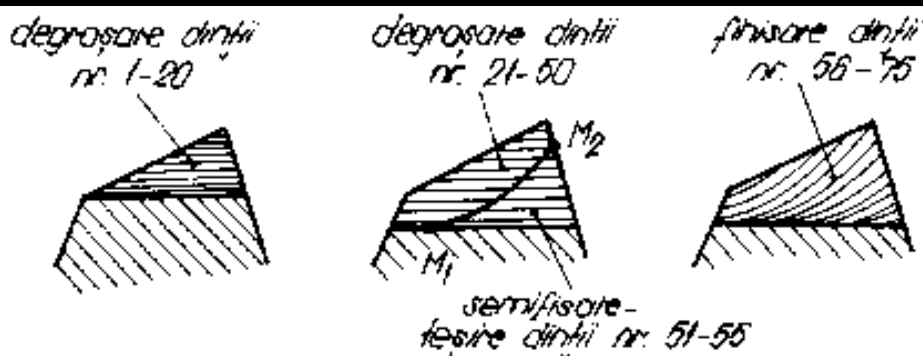


Fig.6.11.

Cuțitele de degroșare lucrează până la adâncimea completă a golului dintelui, așchiile având lățimea egală cu lățimea golului în secțiunea respectivă, lăsând un adaos suficient pentru finisare. În secțiunea axială între doi dinți (vezi fig.6.11. jos) se poate constata urmele de prelucrare la degroșare și finisare. După această schemă lucrează mașinile (semiautomate) de broșat tip "GLEASON" nr.109,

724,725,726 - "Revacycle" (SUA), precum și modelele similare fabricate în URSS.

Recomandări, parametrii tehnologici:

- viteza de aşchiere v [m/min] = 25÷40

- productivitatea $Q=1500\div 2000$ (buc) -până la uzura admisibilă.

$z=11$; $m=5$ mm, la o uzură a dinților de degroşare de 0,5÷1,5 mm.

Broşa circulară (scula) poate fi ascuţită de 7-8 ori.

Calitatea suprafeţei profilului dintelui este:

$$R_a=6,3 \mu\text{m}.$$

Se pot menţiona următoarele:- procesul este folosit în producţia de masă a roţilor conice cu dinţi drepti , având diametrul maxim de circa 250 mm, lăţimea 32 mm și înălţimea maximă a dintelui de 15 mm, mai ales în industria de automobile, unde seriile mari justifică cheltuielile privind executarea sculei (broşei circulare), necesare fiecărui reper în parte.

Pentru module mari(roţi dinţate folosite la direcţia sau grupul conic al autocamioanelor, fie maşinilor grele) se folosesc două broşe circulare, una pentru degroşare, iar cealalta, separat, pentru finisare.

6.2.3. Danturarea prin copiere a roţilor dinţate conice cu dinţi curbi

Pentru a aborda mai uşor acest subcapitol, ne propunem să reamintim o clasificare făcută angrenajelor conice cu dinţi curbi.

A) - După poziţia relativă a celor două roţi care angrenează

- conici elicoidale (axele roţilor se intersectează)

- hipoide (axele roţilor nu se intersectează)

B) - După forma curbei longitudinale a dintelui:

- danturi conice cu dinţi curbi în formă de arc de cerc (hipoidă)

- danturi conice cu dinţi curbi în formă de spirală (logaritmică sau arhimedică)

- danturi conice cu dinţi curbi în formă de evolventă (paloidă)

- danturi conice cu dinţi curbi în formă de epicicloidă alungită (eloidă), episinusoidă, etc.

C) - După forma flancului dintelui, angrenajele (respectiv roţile dinţate propriu-zise)se clasifică în:

- angrenaje cu flancurile dinţilor formate din evolvente corecte, alungite sau scurtate

D) - După înălţimea dintelui:

- cu înălţime constantă

- cu înălţime variabilă

Angrenajele conice cu dantură curbă, după poziția relativă a axelor și sculelor folosite la prelucrare, se mai pot împărți în:

- angrenaje conice elicoidale (spirale) [prelucrate prin: rabotare, frezare cu freză frontală și frezate cu freză conică (angrenaje paloide)]
- angrenaje hipoide

În cazul dantrurării angrenajelor conice cu dinți curbi, metoda copierii profilului, golului se aplică la obținere a dinților în formă de arc de cerc (angrenajele hipoide).

Prin copiere se realizează atât degroșarea cât și finisarea danturii. Metoda copierii la degroșare se utilizează la prelucrarea roților (excluzând pinioanele anegrenajelor conice). Dantura roții se realizează printr-o frezare frontală de profilare, asemenănătoare broșării circulare, cu ajutorul unui cap port-cuțit bilateral, care prelucrează ambele flancuri ale dinților, la o singură rotație a lui (se realizează astfel golul dintre dinți). Această metodă (bilaterală simplă) este cunoscută sub denumirea de procedeu "FORMATE"-GLEASON, bazându-se pe generarea prin profilarea roților conice mari.

Așa cum se observă în fig.6.12., între ultimul și primul cuțit există un spațiu liber, în care se face divizarea de la un dinte la altul, capul portcuțite rotându-se continuu.

Așchiera se efectuează numai cu un avans în adâncime, care poate fi realizat pe două căi:

a) - prin metoda SINGLE CYCLE, realizând dispoziția în trepte a cuțitelor în capul portcuțite, făcând astfel o înălțare treptat crescândă a cuțitelor. Prelucrarea piesei (semifabricat) se face la o singură rotație.

b) - prin metoda CYCLEX, realizată prin mișcări de apropiere a capului portcuțite și a piesei, avansul în adâncime realizându-se prin mișcări de apropiere a capului portcuțite.

Așa cum se vede în fig.6.13., capul portcuțite CYCLEX execută atât degroșarea și finisarea danturii cu cuțite exterioare și interioare grupate în 6 segmente pe periferia discului.

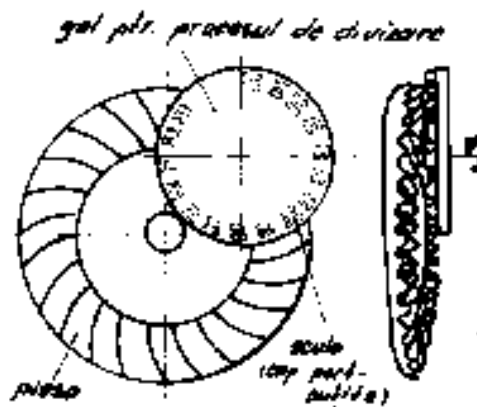


Fig.6.12.

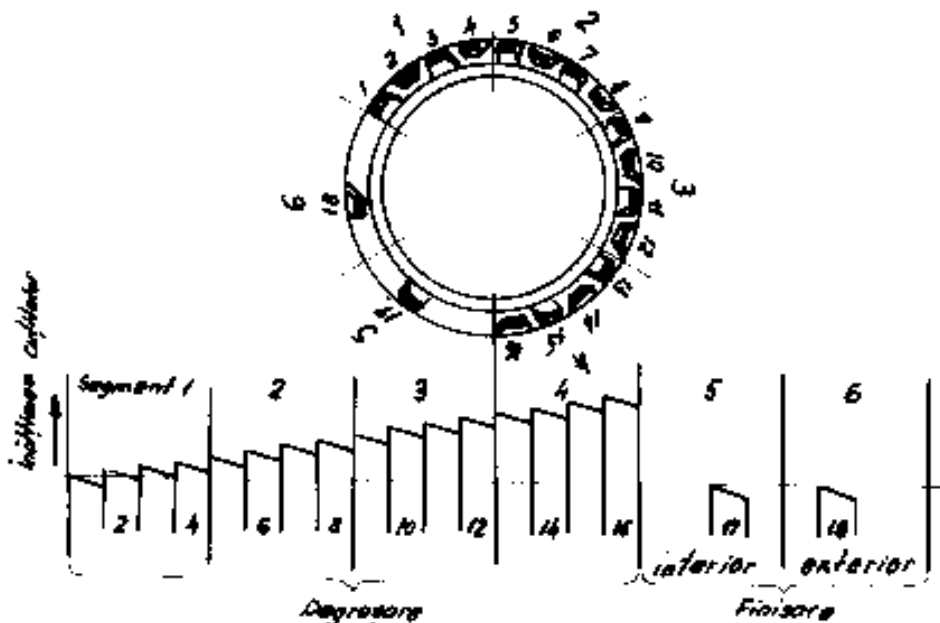


Fig.6.13.

Pe parcursul degroșării, capul portcuțite efectuează mai multe rotații, în timp ce piesa execută, la anumite intervale, mișcări de apropiere față de sculă. După degroșarea competenței a golului, piesa se apropie rapid în poziția de finisare (segmentul 5 și 6), unde stă cât este necesar trecerii cuțitelor de finisat, după care se deplasează în sens invers, evitând intrarea în așchie a cuțitelor de degroșare care au înălțimi mai mari, urmând să se realizeze divizarea.

Observație:

Atât prin metoda (a) fie prin metoda (b) se prelucrează simultan ambele părți laterale ale golului dintre dinți (având lățimea constantă).

Finisarea se execută cu ajutorul unui cap de construcție specială, care asigură o precizie cu $(10\div 20)\%$ mai mare decât la metoda rostogolirii.

De asemenea, putem preciza că durabilitatea sculei față de aceeași metodă (a rostogolirii) este de $(2\div 3)$ ori mai mare.

Se obține o rugozitate a suprafeței flancurilor danturii de $R_a = (6,3\div 0,8)\mu\text{m}$

6.3. (B) Prelucrarea roților dințate prin metoda generării (rostogolire-rulare)

6.3.1. Danturarea prin rostogolire-rulare a roților dințate cilindrice

Așa cum se cunoaște din literatura de specialitate, metoda generării prin rostogolire-rulare se bazează pe posibilitatea obținerii unei

"angrenări" între sculă și roata (semifabricatul) căreia i se execută dantura.

Sculele utilizate sunt: - freza-melc
 - cuțitul roată-morteză
 - cuțitul pieptene

Mașinile utilizate: - mașini de frezat dantura
 - mașini de mortezat dantura

Procedee:

6.3.1.1. Danturarea cu ajutorul frezei-melc

- se bazează pe principiul angrenării unui șurub fără sfârșit (scula) cu o roată dințată (semifabricatul-piesă).

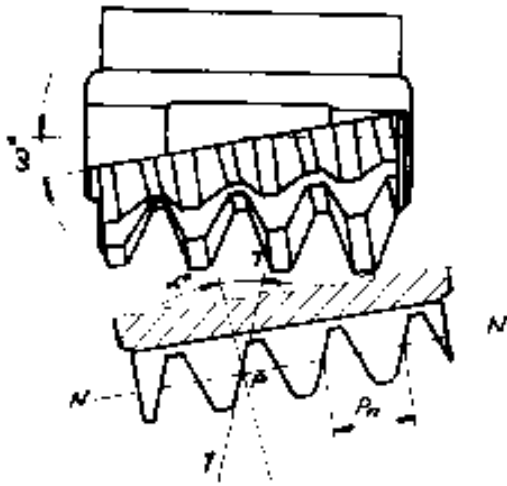


Fig.6.14.

În fig.6.14. se observă cum șurubul este materializat prin freza-melc, iar conturul generator se află la intersecția canalelor cu elicea șurubului.

Secțiunea normală pe elice, realizată prin canalul executat (la unghiul ω°), pune în evidență profilul cremalierii de referință.

Se permite astfel realizarea cu ajutorul frezei-melc a profilelor dinților în evolventă. În timpul rotirii roții dințate (semifabricat piesă), cremaliera materializată de sculă se deplasează în

direcție tangențială la roată, ca rezultat al rotirii frezei-melc în jurul axei sale.

Marele avantaj al frezelor-melc îl constituie proprietatea cremalierii de a angrena cu orice număr de dinți de același modul și unghi de angrenare. Rezultă, că aceeași freză-melc poate fi folosită la prelucrarea semifabricatelor cu număr diferit de dinți, atât dreți cât și înclinați.

Mișcările necesare realizării danturării se observă în fig.6.15. Ele sunt următoarele:

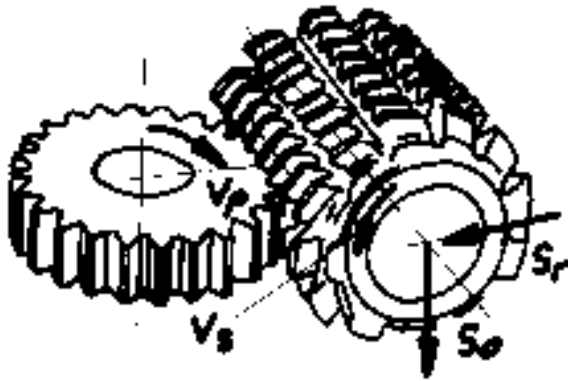


Fig.6.15.

(v_s) - mișcarea principală de așchiere, realizată de sculă (freza-melc)

(v_p) - mișcarea de avans circular, realizată de piesă

(S_r) - avansul radial (în vederea realizării înălțimii dintelui)- realizat de piesă sau de sculă.

(S_a) - avansul axial, necesar pentru realizarea lungimii dintelui (lățimea danturii),

realizat de sculă (freza-melc)

În fig.4.16. se redă schema procesului de frezare cu freze-melc a danturii cilindrice folosind mașinile de frezat prin rulare cu ax vertical (tip FD).

În funcție de modul de realizare a avansurilor la prelucrarea dinților se pot utiliza patru metode de danturare cu ajutorul sculelor tip freze-melc:

1 - metoda axială ($S_r = 0$), scula fiind reglată pe înălțimea dintelui

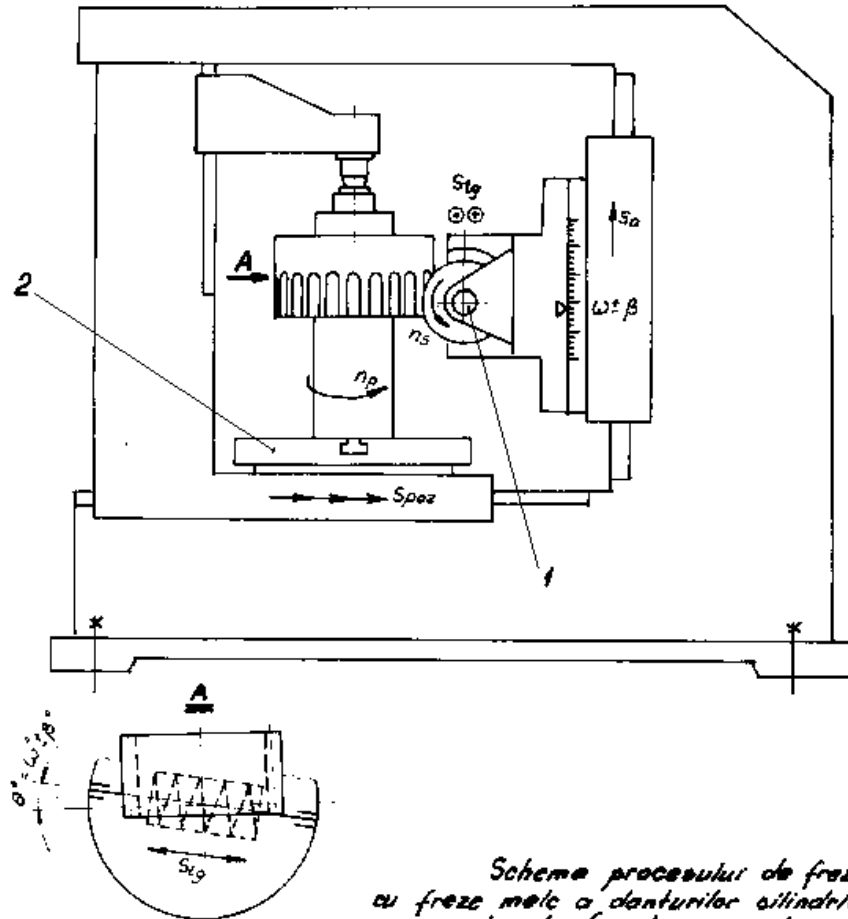
2 - metoda radial-axială ($S_r \neq 0$)

3 - metoda avansului în diagonală fără pătrundere radială ($S_r = 0$) sau metoda în diagonală

4 - metoda avansului în diagonală cu pătrundere radială ($S_r \neq 0$) sau metoda radial- diagonală

Mișcarea de avans în diagonală se obține din compunerea avansului axial (S_a) cu deplasarea (S_{as}) continuă a sculei pe direcția axei ei, obținând: $\vec{S}_d = \vec{S}_a + \vec{S}_{as}$

Metoda radial-axială și radial-diagonală scurtează drumul de atac al frezei și creează condiții de așchiere mai favorabile la atacarea semifabricatului, prelungind durabilitatea muchiilor așchietorare ale sculei.



*Schema procesului de frezare
cu freze melc a danturilor cilindrice
pe mașini de frezat prin rulare, cu
ax vertical*

Fig.4.16.

Metoda frezării în diagonală, ca metodă modernă de prelucrare a dinților roților dințate, asigură în final o condiție de angrenare superioară a danturilor astfel prelucrate, mărind totodată durabilitatea frezei prin faptul că în urma deplasării axiale a sculei crește numărul de tăișuri care participă la așchiere, deci o egalizare a încărcării lor.

În această situație uzura sculei scade cu până la 40%. Întrucât frezarea în diagonală nu poate asigura întotdeauna utilizarea integrală a lungimii frezei melc și deoarece determinarea roților de schimb pentru realizarea avansului s_d prezintă dificultăți, se recurge la deplasarea axială a frezei-melc (dar nu în timpul procesului de așchiere). Acest procedeu denumit "SHIFTING" asigură deplasarea respectivă la un ciclu de prelucrare completă a unei piese sau mai multor piese. Menționăm, că "Shifting"-ul realizat pe cale electrică se poate efectua pe mașina de prelucrat roți dințate cu freză melc tip FD 32 A (U.M.- Cugir).

Frezarea poate fi realizată cu avansul (S_a), opus rotației frezei sau cu avansul (S_a) în același sens cu rotația frezei. Această ultimă metodă este mai productivă și asigură o uzură minimă a frezei.

În funcție de tipul danturii cilindrice (cu dinți dreapți sau înclinați dreapta ori stânga), înclinarea frezei melc se prezintă în fig.6.17.

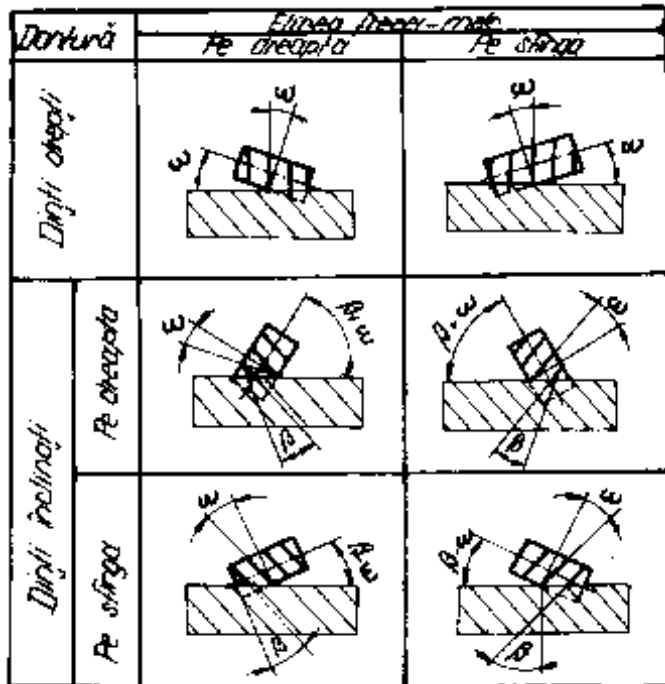


Fig.6.17.

Recomandări:

Utilizând metoda de frezare cu freză-melc se pot realiza danturări de degroșare, semifinisare și finisare, funcție de care se alege freza-melc corespunzătoare. Frezele melc de degroșare se recomandă numai pentru prelucrarea prealabilă a dinților roților dințate cu $m > 6$ mm. În fabricația de serie, importanța cea mai mare revine frezelor de semifinisare, finisarea realizându-se prin șeveruire.

La executarea danturilor cu modul $m < 6$ mm, frezele melc de semifinisare sunt destinate pentru prelucrarea dintr-o singură trecere, urmând ca finisarea să se facă prin șeveruire. La roțile cu $m > 6$ mm se utilizează freza de degroșare, apoi freza de semifinisare, urmând șeveruirea. În producția de unicate și serie mică se utilizează freze melc de finisare de orice modul. Trebuie acordată atenție stabilirii mărimii adaosului de prelucrare, pentru obținerea în final a unei calități corespunzătoare a flancurilor danturii, respectiv pentru evitarea deteriorării tăișurilor sculei.

Adaosul de prelucrare pentru finisare (lăsat după degroșare) se stabilește cu relația:

$$a = 0,2\sqrt{m} \tag{6.5.}$$

Elementele regimului de așchiere:

- S_a [mm/rot.piesă] - avansul
- v_s [m/min] - viteza de așchiere

avansul (S_a) se alege în funcție de rigiditatea și puterea mașinii (cazul degroșării), iar în funcție de calitatea suprafeței (R_a) - în cazul finisării.

- Pentru degroșare: $S_a = 0,7 \div 4$ [mm/rot.piasă]
- Pentru finisare: $S_a = 0,3 \div 12$ [mm/rot.piesă]

La frezarea roților dințate cu freză-melc din oțel rapid se recomandă vitezele prezentate în tabelul din fig.6.18.

- Valorile prezentate în tabel (fig.6.18.) se referă la frezarea în contra-sensul avansului.

- La frezarea în sensul avansului valorile prezentate se pot mări cu 20÷25%.

Avansul radial se stabilește cu următoarea relație:

$$S_r = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3} \right) S_a \quad (6.6.)$$

Viteza de așchiere, [m/min]		
Material	Degroșare	Finisare
Fontă	16-20	20-25
Oțel cu $\sigma_r < 60 \text{ daN/mm}^2$	25-28	30-35
Oțel cu $\sigma_r > 60 \text{ daN/mm}^2$	20-25	25-30
Bronz	25-40	25-40
Mase plastice	25-50	25-50

Fig.6.18.

Normarea tehnică:

date necesare:

q - nr. de începuturi ale frezei-melc

z - nr. de dinți ai piesei

n_s - turația sculei (frezei-melc)

S_a, S_r - avansurile de lucru

l_1 - distanța de pătrundere

l_2 - distanța de depășire

i - nr. de treceri

- în cazul frezării axiale (fig.6.19.):

$$t_b = \frac{B + l_1 + l_2}{S_a \cdot n_s \cdot q} \cdot z \cdot i \quad [min] \quad (6.7.)$$

- în cazul frezării radial-axiale (fig.6.20.):

$$t_b = \left(\frac{h^1}{S_r} + \frac{B + 2 \cdot l_2}{S_a} \right) \frac{z \cdot i}{n_s \cdot q} \quad [min] \quad (6.8.)$$

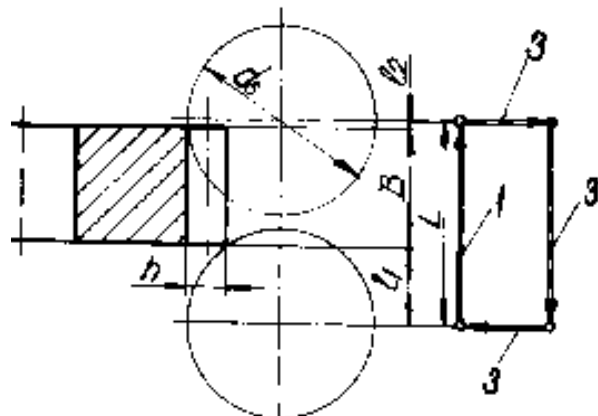


Fig.6.19.

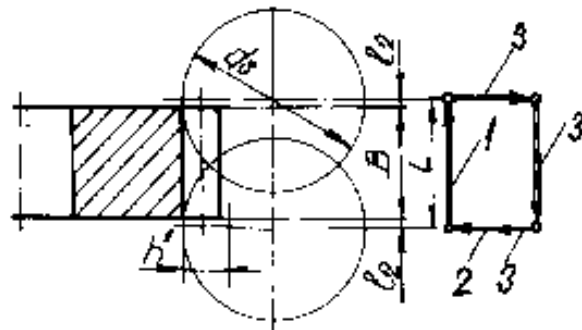


Fig.6.20.

- Distanța de pătrundere (l_1) se calculează astfel:

$$l_1 = (1,1 \div 1,2) \sqrt{h(d_s - h)} \quad [\text{mm}] \quad (6.9.)$$

- Distanța de depășire (l_2):

$$l_2 = (2 \div 3) \quad [\text{mm}] \quad (6.10.)$$

În vederea măririi productivității prelucrării se impune:

- lucru cu frezele melc cu două începuturi, la care productivitatea crește, față de freza cu un început cu 25÷30%, alegerea mașinilor de frezat (cât mai rigide), rezistența la vibrații (care să permită utilizarea avansurilor axiale mari $S_a = 6 \div 8$ mm/rot.piesă), utilizarea frezelor melc cu dinți demontabili din carburi metalice (care permit folosirea vitezelor de așchiere până la 100 m/min).

La frezarea cu freză-melc, danturile realizate se încadrează în clasa 6÷9 de precizie (ISO).

Rugozitatea: $R_a = 6,3 \div 3,2$ (μm) la degroșări și semifinisări

la finisare: $R_a = 1,6 \div 0,8$ (μm)

6.3.1.2. Danturarea cu ajutorul cuțitului roată-morteză

Procedeul vine să completeze acolo unde nu se poate pătrunde cu ajutorul frezei-melc (interioare și cu foarte mici canale de degajare).

Domenii de utilizare: - danturarea sectoarelor dințate, roților dințate cu guler sau a blocurilor de roți dințate, danturi interioare, roți dințate cu dinți în "V", fără canale de degajare.

În fig.6.21.a se prezintă schema de mortezare a danturilor roților dințate cu dinți drepți, iar în fig.6.21.b. prelucrarea prin mortezare a danturilor cilindrice înclinate.

Profilul dintelui se obține ca o înfășurătoare a pozițiilor succesive ale muchiiilor tăietoare ale roții de mortezat și ca urmare, erorile dinților sculei se transmit direct dinților piesei.

Mișcările de lucru:

v_1 [m/min] - mișcarea principală de așchiere - viteza rectilinie alternativă realizată de sculă

v_2 [m/min] - mișcarea de retragere, de îndepărtare a sculei (sau piesei), la cursa de mers în gol

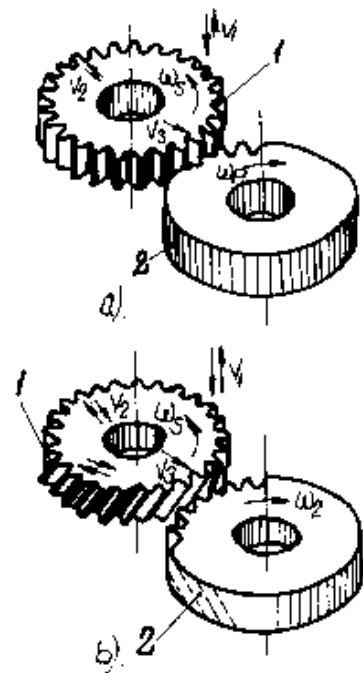


Fig.6.21.

S_r [mm/c.d.sculă] - mișcarea de avans radial sau de pătrundere, realizată de sculă cu viteza (v_3) acest avans, după realizarea înălțimii (h) a dintelui se întrerupe

ω_s - mișcarea de rotație a sculei cu viteză unghiulară

ω_p - mișcarea de rotație cu viteză unghiulară a piesei

(ω_s) și (ω_p) - realizează mișcarea de rostogolire

$\omega_{supl.}$ - mișcarea de rotație suplimentară a sculei (cu viteză unghiulară) - combinată cu mișcarea principală de așchiere, face ca un punct de pe tăiș să descrie o mișcare elicoidală. Aceasta este mișcarea care permite realizarea danturilor cu dinți înclinați, pasul mișcării elicoidale fiind egal cu cel al elicei dinților (cazul din fig.6.21.b.).

Rostogolirea fără alunecare se exprimă prin relația de legătură:

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{z_s}{z} \quad (6.11.)$$

unde: n_p și n_s - turația piesei respectiv a sculei

z_s - nr. de dinți ai sculei

z - nr. de dinți al piesei

Roțile dințate cu module mici ($m \leq 2$ mm) se execută dintr-o trecere, iar roțile cu $m > 2$ mm din mai multe treceri ($i = 2 \div 6$) pentru $m = 4 \div 40$ (mm).

Viteza de așchiere, egală cu viteza de deplasare a sculei, pentru cuțite-roată din oțel rapid este:

$$v_1 = 14 \div 30 \quad (\text{m/min})$$

- avansul circular: $S_c = 0,15 \div 0,5$ [mm/c.d.sculă]

Pentru mortezarea danturilor interioare închise, cu dinți drepti sau înclinați, se impune realizarea unui canal la capătul închis pentru a permite ieșirea sculei și a evita izbirea sculei de partea frontală (de capăt) a cărui lățime "b" variază între: $b = 5,5 \div 10$ (mm), în funcție de modul. La roțile cu dinți înclinați au valori mai mari (pentru "b"), decât la cele cu dinți drepti.

Normarea tehnică:

Timpul de bază, atât la mortezarea danturii exterioare cât și interioare, se calculează cu relația:

$$t_b = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{n_{cd} \cdot S_c} i + \frac{t}{n_{cd} \cdot S_r} \quad [\text{min}] \quad (6.12.)$$

unde: n_{cd} - nr. de curse duble ale sculei într-un minut

i - nr de treceri

t [mm] - adâncimea de așchiere

pentru: $i = 1$ $t=h$ - este egală cu înălțimea dintelui

pentru: $i = 3$ $t_1=1,4$ m; $t_2=0,8$ m și $t_3=0,05$ m

numărul de curse duble pe minut n_{cd} se determină cu relația:

$$n_{cd} = \frac{1000 \cdot v_1}{2 \cdot L} \quad (6.13.)$$

unde L [mm] - lungimea cursei sculei este:

$$L = B + l_1 + l_2$$

l_1 și l_2 - distanța de pătrundere și de depășire de lungime

Mortezarea cu cuțit-roată asigură precizia roții în clasa 6÷8 (ISO) și o calitate a suprafeței de $R_a = 3,2$ μm .

Ca tendință modernă, în vederea ridicării productivității procedurii, se recomandă mărirea rigidității mașinilor de mortezat cu cuțit-roată și a vitezei mișcării principale până la 100 (m/min), utilizarea sculelor din carburi metalice și mărirea avansului circular (S_c) prin micșorarea adâncimii pe trecere (fiind favorabil durabilității sculei).

6.3.1.3. Danturarea cu ajutorul cuțitului-pieptene

Metoda se aplică la prelucrarea danturii exterioare în cazul roților cu dinți drepecți, în special a celor cu precizie ridicată după normele de contact, precum și a roților dințate cu dinți înclinați.

În producția de unicate și de serie mică metoda se utilizează la prelucrarea roților dințate cu modul mare.

Mortezarea cu ajutorul cuțitului-pieptene se bazează pe generarea flancului dintelui cu cremaliera de referință a cărei profil corespunde cu profilul sculei, din care cauză mortezarea cu cuțit-pieptene se mai numește și "mortezare cu cuțit-cremalieră".

Urmând schema din fig.6.22. se observă, că:

- piesa (1) de prelucrat se rostogolește pe cuțitul-pieptene (2), generând flancul dintelui în timp ce cuțitul execută o mișcare rectilinie alternativă, în vederea realizării dintelui pe lungimea lui. după generarea unuia sau mai multor dinți, roata execută o mișcare de revenire, corespunzătoare numărului de pași, iar dantura începe din nou.

Sunt necesare două mișcări principale:

- mișcarea de așchiere, realizată de sculă

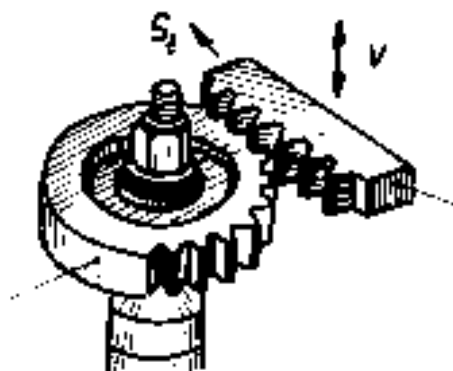


Fig.6.22.

- mișcarea de generare (de rostogolire-rulare) a profilului danturii, combinând rotația cu o translație (efectuată de piesă).

După modul de realizare a mișcării de rostogolire-rulare se deosebesc două procedee:

1- "MAAG" - la care roata de prelucrat execută mișcarea de rotație și de translație conjugată a suportului acesteia.

2- "SUNDERLAND" pe mașini de tip PARKINSON - la care roata de prelucrat execută mișcarea de rotație în jurul axei sale, iar mișcarea de translație o execută scula așchiitoare.

Observație: - în ambele cazuri se lucrează pe principiul divizării discontinue, datorită lungimii limitate a sculei.

Procedeul "MAAG" este teoretic prezentat în fig.6.23.

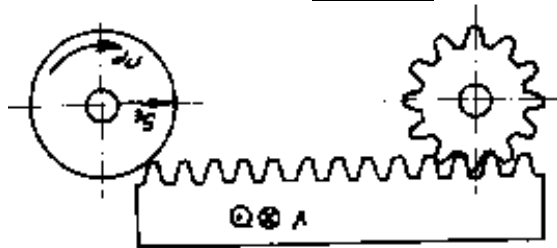


Fig.6.23.

numai mișcarea rectilinie-alternativă, iar semifabricatul (2) execută atât mișcarea de avans tangențial (S_t) cât și mișcarea de rotație (n_p) care se realizează, de asemenea, pentru un anumit unghi (fig.6.24./b,c,d). În prima fază, roata începe să angreneze (fig.6.24/a) cu scula pieptene și succesiv sunt prelucrați dinții, până ce roata se rostogolește până la celălalt capăt al sculei-pieptene (fig.6.24/b), fiind prelucrați un număr (z_K) de dinți. În această poziție se scoate roata din angrenarea sa cu scula pieptene și este adusă din nou la capătul sculei (fără ca piesa să se rotească). Din poziția finală, de unde s-a terminat primul dinte, începe un nou ciclu (fig.6.24/c), până ce din nou roata ajunge la celălalt capăt al sculei, când roata este terminată (fig.6.24/d).

Piesa are axa în poziție verticală. Datorită lungimii limitate a sculei, se disting patru etape în cazul obținerii unei danturii complete (vezi fig.6.24./a,b,c,d).

- Cuțitul pieptene (1) execută

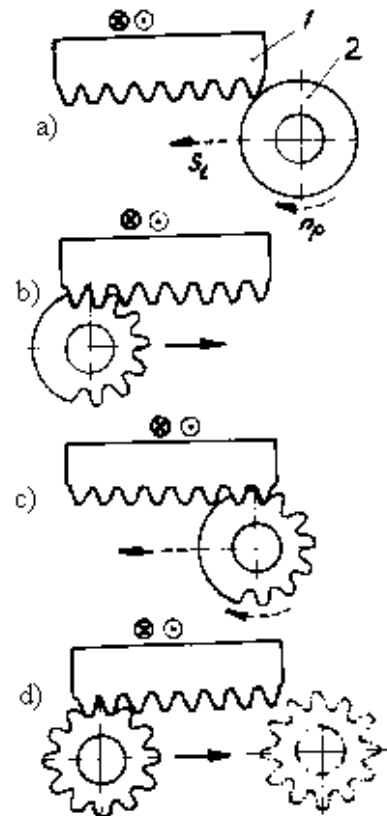


Fig.6.24.

Pentru creșterea productivității (și de la caz la caz), este indicat să se facă degroșarea dinților roții printr-un procedeu mai productiv (cu

freză melc cu mai multe începuturi sau prin alt procedeu) și numai operația de prefinisare se face prin mortezare cu cuțit roată sau pieptene.

- Procedeuul "SUNDERLAND", executat pe mașina tip PARKINSON, este prezentat sub formă de ciclu de lucru în fig.6.25.

Pe mașina tip PARKINSON, piesa se fixează cu axa în plan orizontal, scula executând în plus și mișcarea de translație.

Concluzii:

Din analiza ciclurilor de lucru a celor două mașini, după procedeele "MAAG" și "SUNDERLAND", se constată că pentru prelucrarea integrală a flancurilor dinților, scula sau piesa trebuie să realizeze: mișcarea principală de așchiere (scula), cu o viteză $v_s = v_a$, mișcarea de generare (S_t) [mm/c.d.sculă], condiționată de rotdogolirea fără alunecare a dreptei pe cercul de divizare, precum și mișcarea de avans radial (S_r) [mm/c.d.sculă], necesară pătrunderii (numai în cazul procedeuului "Sunderland"), mișcarea care durează până ce ajunge la adâncimea dinților de prelucrat.

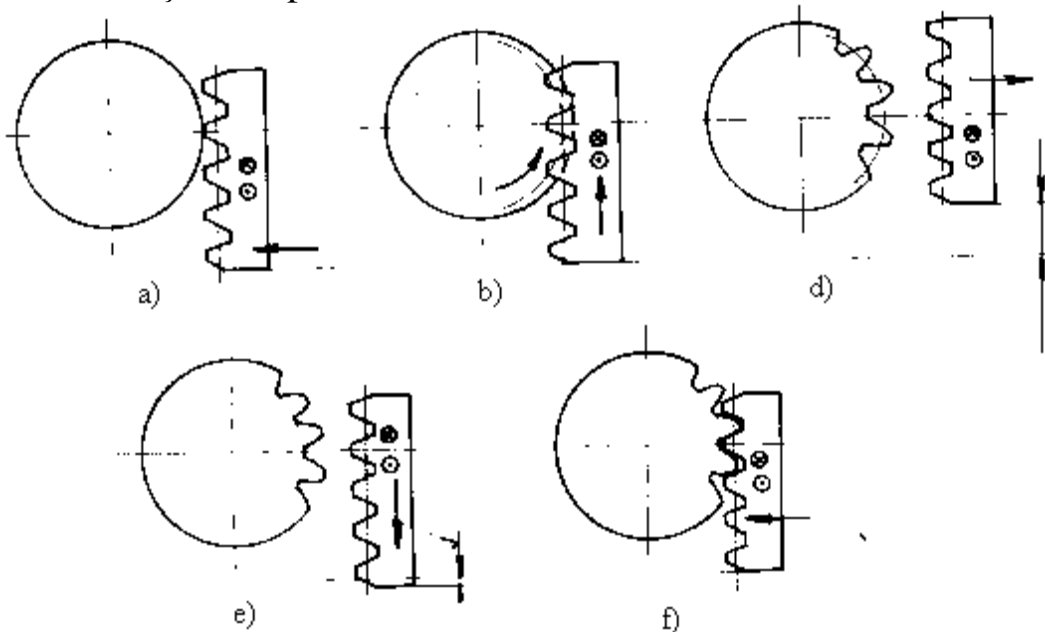


Fig.6.25.

Ambele mișcări de avans se execută cu intermitență.

Pentru realizarea danturilor cu dinți înclinați, cremaliera se înclină cu unghiul (β°) de înclinare, cu o precizie de $\pm (1 \div 1,5)$ min.

Timpu de bază (t_b), la mortezarea danturii cu cuțit-pieptene, se determină cu relația:

$$t_b = \frac{n_0 \cdot z \cdot i}{0,7 \cdot n_{cd} \cdot z_c} + \frac{h}{n_{cd} \cdot S_r} + z \cdot t_x \cdot i \quad [\text{min}] \quad (6.14.)$$

unde: z - nr. de dinți ai roții de prelucrat
 i - nr. de treceri
 n_{cd} - numărul de curse duble pe minut ale sculei
 z_c - nr. de dinți tăiați pe ciclu
 h - înălțimea dintelui roții
 S_r - avansul radial (mm/min)
 t_x - timpul necesar divizării (la deplasarea inversă)

În relația (6.14.) pentru $i=1$ coeficientul (0,7) se înlocuiește cu coeficientul 1.

Procedeeul, comparat cu roata de mortezat, este mai avantajos ca precizie, mai ridicată a pasului, datorită unei execuții mai corecte și mai simple a sculelor. De asemenea, în comparație cu frezarea cu freza-melc, prelucrarea cu cuțit pieptene este mai precisă (tot datorită sculei).

Dantura exterioară, astfel prelucrată, rezultă în clasa 5÷8 de precizie (ISO) având rugozitatea flancurilor $R_a=1,6 \mu\text{m}$ în cazul degroșării și $R_a=0,8 \mu\text{m}$ în cazul finisării.

6.3.2. Danturarea prin rostogolire-rolare a roților dințate conice cu dinți drepecți și înclinați

Obținerea prin generare a profilului evolventic la roțile dințate conice se aseamăna cu generarea aceluiași profil la roțile dințate conice.

Astfel (la dantura conică), pentru a genera prin rostogolire dintele unei roți este necesar ca mașina-unealtă să realizeze angrenarea dintre roata plană generatoare (imaginară) și roata conică propriu-zisă.

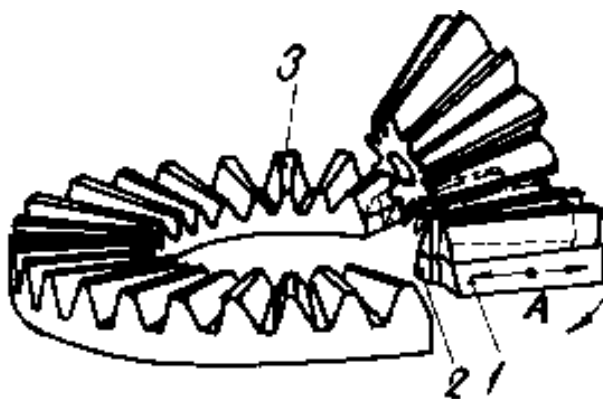


Fig.6.26.

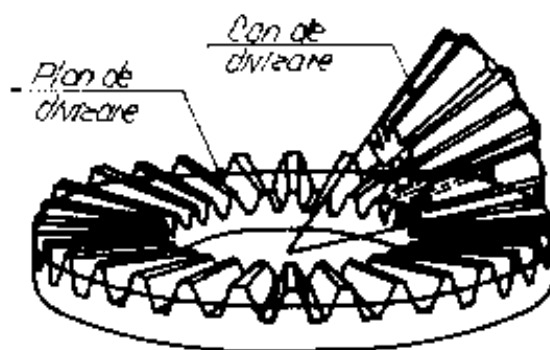


Fig.6.27.

Așa cum se vede din fig.6.26., roata plană generatoare imaginară (3) a cărei dinte este materializat de muchiile tăietoare ale sculelor (1) și (2), în mișcarea ei de-a lungul dintelui (roții plane imaginare) așchiază formând (generând) flancurile semifabricatului (piesei).

Conul de divizare al piesei se rostogolește pe planul de divizare al roții plane (vezi fig.6.27.). De regulă se materializează numai un dinte

(respectiv un gol) al roții plane pe scula așchietoare, ceea ce impune divizarea.

Așchiera golului dintre dinți se realizează în general cu scule cu flancuri rectilinii. Forma flancului se realizează prin rostogolirea piesei pe roata plană genaratoare, ale cărei flancuri sunt materializate de muchiile așchietoare ale sculelor.

Se cunosc în principal următoarele trei procedee de prelucrare:

1. - Rabotarea cu un cuțit (procedeul "BILGRAM")
2. - rabotarea cu două cuțite (procedeul "GLEASON") pe mașini tip HEIDENREICH-HARBECK
3. - Frezarea cu două freze disc întrepătrunse (procedeul BEALE)

6.3.2.1. Rabotarea cu un cuțit (procedeul BILGRAM)

Se bazează pe rostogolirea conului de divizare a roții de danturat

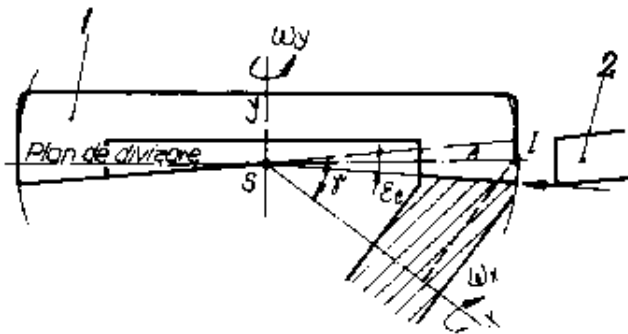


Fig.6.28.

pe planul de divizare al roții plane imaginare (planul de rostogolire), notat cu (1) în fig.6.28. și care este fixat pe batiul mașinii, dinții fiind generați de cuțitul de rabotare (2), aflat în mișcare rectilinie-alternativă.

Principiul de funcționare al unei mașini de rabotat cu un cuțit (după procedeul BILGRAM) este prezentat în fig.6.29.

Mișcarea principală de așchiere este executată de către cuțitul (1), iar piesa (2), execută

mișcarea de rotație în jurul axei I-I, precum și de rostogolire în jurul axei II-III.

Rostogolirea se execută cu ajutorul conului de rostogolire (3) al cărui unghi corespunde unghiului conului de

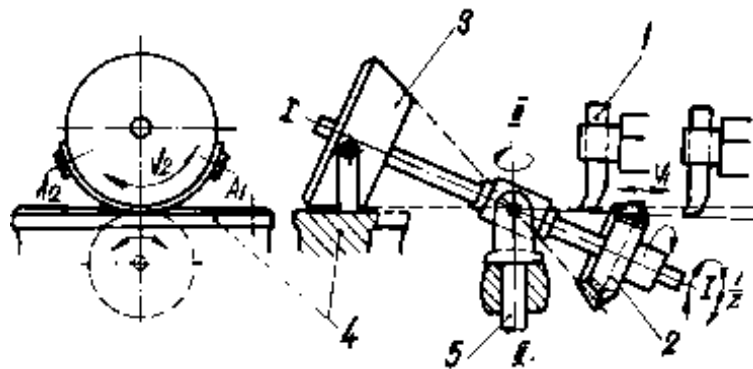


Fig.6.29.

divizare al piesei de prelucrat, acționat de benzile metalice A_1 și A_2 . Benzile asigură rostogolirea fără alunecare, având capetele fixate de roata plană (4) și de conul de rostogolire (3). Dinții piesei (2) sunt așchiați succesiv, treptat și la fiecare cursă a sculei piesa efectuează automat o

rotire corespunzătoare unui pas, aceasta constituind mișcarea de divizare. Arborele (5), care coincide cu vârful conului de divizare, execută o mișcare înceată în jurul axei II-III.

Acest procedeu (BILGRAM) se aplică în producția de serie mică a roților dințate conice, cu modul $m=(0,5\div 20)$ mm și diametrul până la 1100 mm. Roțile dințate cu $m=3\div 10$ (mm) se realizează în clasa 7 (I.S.O.) de precizie și rugozitatea flancului $R_a = 1,6\div 0,8$ (μm). Danturile cu modul mai mare, $m=11\div 20$ (mm) se obțin în clasa 7 \div 8 (I.S.O.) de precizie și rugozitate $R_a = 6,3\div 1,6$ (μm).

Procedeul fiind de productivitate scăzută, este înlocuit cu rabotarea cu două cuțite.

6.3.2.2. Rabotarea cu două cuțite (procedeul GLEASON) pe mașini GLEASON, SARATOV și HEIDENREICH-HARBECK

Așa cum se observă din fig.6.30., procedeul se bazează pe rostogolirea conului de divizare la piesei (3) pe conul de divizare al roții plane (1), care are unghiul la vârf egal cu $180^\circ - \epsilon_c^\circ$ (și nu 180° ca la procedeul BILGRAM).

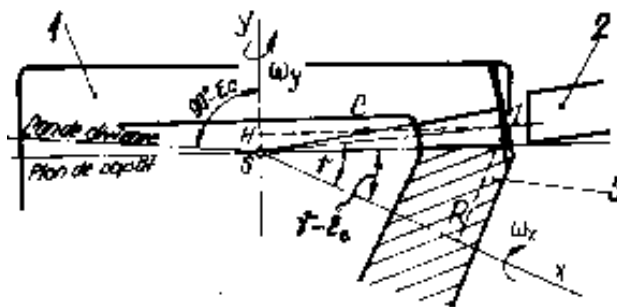


Fig.6.30.

Cele două flancuri ale roții plane sunt înlocuite procesul de așchiere prin cuțite de rabotare cu flancul rectiliniu. Schema de principiu este prezentată în fig.6.31.

Roata plană, materializată de cele două cuțite și roata de prelucrat se rotesc în timpul procesului de danturare cu aceeași viteză, pe cercurile lor de divizare, ca două roți în angrenare. Mișcarea de rostogolire se realizează prin rotirea suportului port-sculă (4) împreună cu tamburul de rostogolire (1) al mașinii și prin rotirea piesei (3).

Mișcările necesare realizării unui dinte prin prelucrarea lui pe ambele flancuri (conform fig.6.31.) sunt:

v_a - viteza mișcării rectilinii-alternative, care constituie mișcarea de așchiere

v_o - viteza de mers în gol, realizată de cuțite

v_r - mișcarea alternativă de rotație a tamburului de rostogolire împreună cu capul port-cuțite

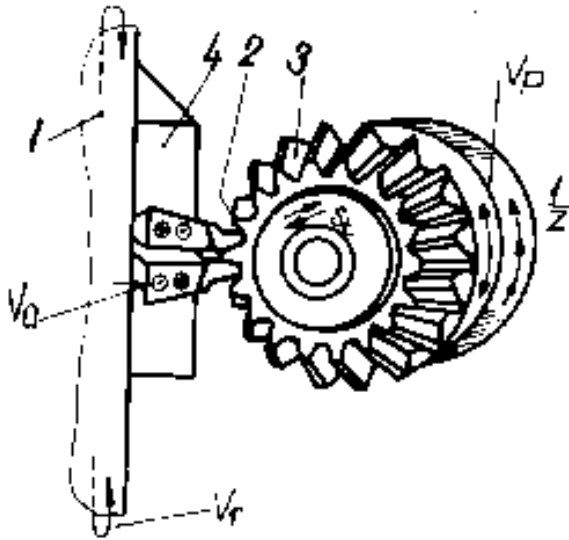


Fig.6.31.

S_r - avansul de rulare

V_p - mișcarea de rotație a piesei în jurul axei sale

S_t - mișcarea de avans și de retragere la începutul și sfârșitul prelucrării unui dinte (realizată de piesă), permițând la sfârșitul unui ciclu de prelucrare (pe dinte) realizarea divizării cu un pas ($1/z$)

$1/z$ - mișcarea de divizare periodică, realizată de roata de prelucrat, după ieșirea ei din angrenare cu cuțitele așchietoare.

Rabotarea ambelor flancuri ale unui dinte cu două cuțite se aplică la degroșarea unui dinte, la finisarea din brut și la finisarea roților anterior degroșate; în acest caz, piesa este rotită la divizare cu câte un dinte.

În vederea măririi productivității la degroșare se procedează prin atacarea a două goluri cu două cuțite de construcție specială (vezi fig.6.32.), piesa fiind rotită la divizare cu doi dinți.

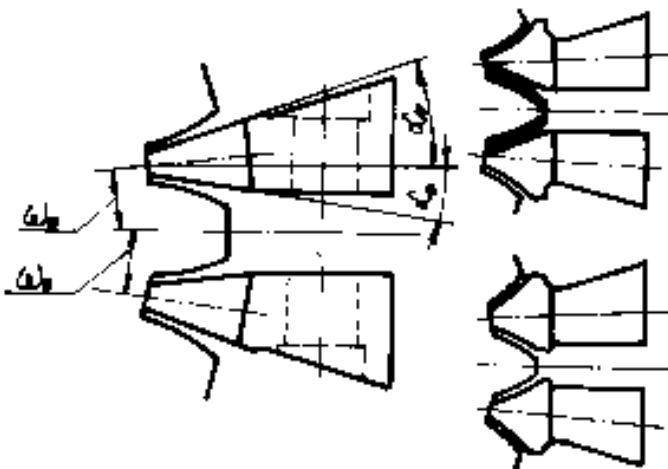


Fig.6.32.

Atfel, productivitatea mașinilor de rabotat roți conice este bună, timpul de lucru la finisare variind în medie între 0,4 min/dinte pentru $m=1\div 3$ (mm) și 0,8 min/dinte pentru module mijlocii ($m=4\div 7$ mm).

Normarea tehnică:

$$t_b = \frac{t_d \cdot z \cdot i}{60} \quad [\text{min}] \quad (6.15.)$$

unde: t_d - timpul necesar prelucrării unui dinte (sec)

S_r [sec/dinte] - avansul

i - nr. de treceri

timpul (t_d) necesar prelucrării unui dinte:

$$t_d = \frac{n_{c.d.l.}}{n_{cd}} \quad [\text{min}] \quad (6.16.)$$

$n_{c.d.l.}$ - nr. de curse duble pentru prelucrarea unui dinte;

$n_{c.d.}$ - numărul de curse duble pe minut

$$n_{cd} = \frac{1000 \cdot v_a}{2(B + b_1 + b_2)} \quad (6.17.)$$

unde: v_a - viteza de aşchiere [m/min]

B [mm] = $b_1 + b_2$

b_1 - distanţa de pătrundere [mm]

b_2 - distanţa de ieşire [mm]

În urma prelucrării de rabotare cu două cuţite se obţin precizii încadrate în clasa 7-8 (I.S.O.), iar calitatea suprafeţei flancurilor $R_a = 6,3 \div 3,2 \div 1,6$ (μm).

La prelucrarea danturii conice înclinată se necesită deplasarea suportului cuţitelor din poziţia lor radială precum şi o înclinare a lor corespunzătoare unghiului de rabotare.

6.3.2.3. Frezarea cu două freze-disc întrepătrunse (procedeul BEALE)

Se aplică la realizarea danturilor roţilor dinţate conice cu dinţi conice cu dinţi drepecţi pe maşinile semiautomate de frezat.

Datorită dezvoltării de către diferite firme a procedeului pe maşini proprii, dantura realizată poartă diferite denumiri specifice:

- "coniflex" - pe maşini tip "Gleason" (S.U.A.)
- "Konvoid" - în cazul maşinii "Modul" (R.D.G.)
- "Sferoid" - pe maşina "Klingelnberg" (S.U.A.)
- fără denumire - pe maşina "5 P-23" (U.R.S.S.)

În fig.6.33. se prezintă schema de prelucrare.

Dantura se realizează cu două freze-disc (2) ale căror tăişuri au profil rectiliniu şi materializează un dinte al roţii plane, frezele fiind înclinate una faţă de cealaltă în direcţia înălţimii dintelui cu unghiul ($2\alpha_0$), iar poziţia lor în lungul dintelui corespunde direcţiei flancurilor a doi dinţi

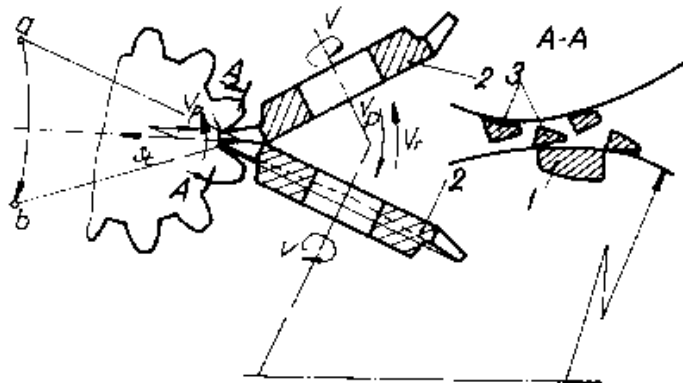


Fig.6.33.

învecinați. Golul dintre dinți e degroșat de cele două freze printr-un avans de pătrundere în piesă (S_t), realizat de piesă sau de retragere (la terminarea prelucrării unui dinte), în timp ce piesa este fixă.

Așchiile se îndepărtează prin rostogolire, când conul de divizare al piesei se rostogolește pe planul de rostogolire. În acest timp, axa conului se deplasează de la poziția (a) peste cea mediană, la poziția (b) (vezi fig.6.33.).

Viteza mișcării de rotație alternativă (v_r) a tamburului de rostogolire, care poartă pe el freza-disc, este legată de viteza mișcării de rotație a piesei (v_p); astfel realizând mișcarea de rostogolire.

În timpul așchierii frezele nu efectuează nici un avans în lungul dintelui, datorită diametrului lor mare. Când golul a fost complet prelucrat, are loc retragerea piesei (S_t), apoi rostogolirea în sens invers și la urmă divizarea (realizată de piesă).

Frezele disc (vezi fig.6.34.) sunt echipate cu 20÷25 de cuțite de construcție simplă. Așa cum se observă în fig.6.34.c, în urma prelucrării (deorece tășurile sculelor formează un con interior), se obține o bombare ΔS a profilului longitudinal al dintelui.

Această valoare a bombării (ΔS) se calculează cu relația:

$$\Delta S = \frac{b^2 \cdot \sin \gamma_b}{4d_s} \quad (6.18.)$$

unde: γ_b - este unghiul de bombare al cuțitului (vezi fig.6.34.b)

Totodată, în funcție de diametrul (d_s) al frezelor-disc (și în lipsa avansului de-a lungul dintelui) se va obține o adâncire (Δh) în lungul dintelui (vezi fig.6.34.c.).

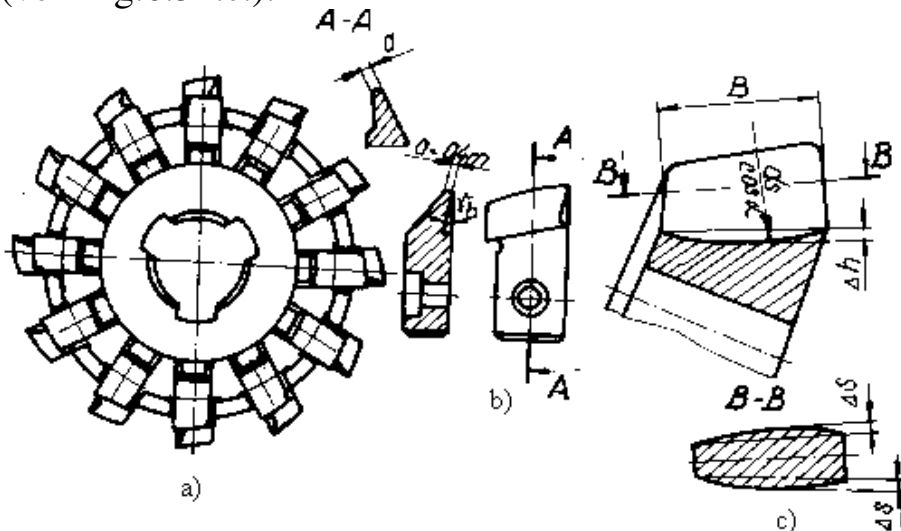


Fig.6.34.

$$\Delta h = \frac{B^2 \cdot \cos \alpha}{4d_s} \quad (6.19.)$$

unde: B - lungimea dintelui

α - unghiul de antrenare

Deoarece în cursul frezării flancurilor dinților prin rostogolire, muchiile așchietoare drepte ale frezei-disc ajung de mai multe ori în contact cu flancul dintelui decât ajunge flancul cuțitelor la rabotare, productivitatea procedurii este mai mare și gradul de netezime al suprafeței frezate este mai ridicat.

Se obține: $R_a = 1,6 \div 0,8$ (μm)

(față de $R_a = 6,3 \div 1,6$ μm - la rabotare)

Ca indice de productivitate se poate preciza că prelucrarea unui dinte necesită între $8 \div 70$ (s), în funcție de mărimea modulului [$T_u = 70$ (s) pentru $m=10$ (mm)].

6.3.3. Danturarea prin rostogolire a roților dințate conice cu dinți curbi

În acest caz al danturilor conice curbe se aplică atât generarea discontinuă cât și generarea continuă prin rostogolire.

Privitor la scula utilizată, metodele de prelucrare se împart în două categorii:

- cu capete portcuțite
- cu freze melc-conice

Procedee de prelucrare:

- prin generare discontinuă: - procedeul "BÓTCHER-GLEASON" (dantura având curba longitudinală a dinților în formă de arc de cerc) se folosesc capete-portcuțite

- prin generarea continuă: (cu capete portcuțite sau freze-melc conice)

procedeele:

- "SPIROMATIC"; "KLINGELNBERG" și "FIAT-MAMMANO" (cazul curbei longitudinale a dinților: epicicloida sau hipocicloida alungită - dantura eloidă)

- "KLINGELNBERG" (cazul danturii paloide-evolvente), folosind freza-melc.

6.3.3.1. Prelucrarea danturilor conice elicoidale cu dinți curbi în arc de cerc "BÓTCHER-GLEASON"

-se face prin rostogolire periodică (discontinuă) cu capete portcuțite.

Spre deosebire de procedeul FORMATE (copiere), unde piesa nu executa nici o mișcare de rostogolire în timpul procesului de așchiere, la acest procedeu ("BÖTCHER-GLEASON"), dintele se realizează prin înfășurarea profilului de către pozițiile succesive ale muchiilor așchietoare, piesa rostogolindu-se pe roata plană imaginată.

În fig.6.35. este prezentat principiul metodei:

Scula (1) este formată dintr-o freză frontală în care sunt montate un număr de cuțite (2) cu tășuri rectilinii. În timpul rotirii frezei în jurul axei sale (direcția "A"), cuțitele descriu un dinte al roții plane generatoare imaginată.

În scopul generării flancurilor dintelui roții prelucrate (4), roata plană se rotește în jurul axei sale (direcția "B"), datorită rotirii tamburului de rostogolire (5), pe care este montat excetric axul de fixare al sculei. Această sculă (freză cap-portcuțit) pe lângă mișcarea de rotație în jurul axei sale ("A") are deci și o mișcare de rotație corespunzătoare roții plane generatoare. Roata de prelucrat (piesa) se rotește în așa fel (direcția "C"), încât să se realizeze exact raportul de transmitere cu roata plană generatoare.

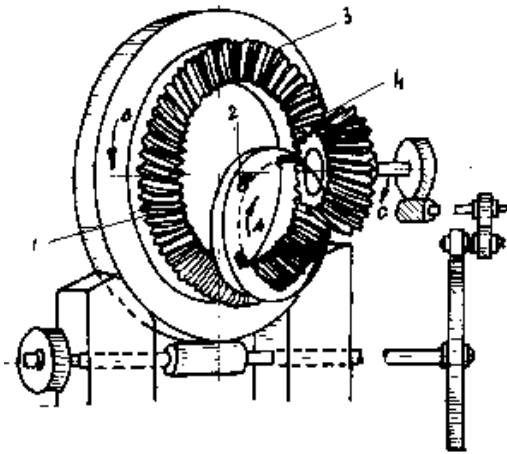


Fig.6.35.

Roata plană generatoare (3) și roata generată (4) se rotesc numai cât este nevoie pentru generarea unui gol dintre dinți, după care roata plană și roata conică sunt rotite înapoi în poziția inițială cu viteză mărită (avans rapid), în vederea relizării divizării cu un dinte, după care urmează un nou ciclu de prelucrare.

Caracteristic frezării roților dințate conice cu dinți în arc de cerc este posibilitatea obținerii formei evolventice a flancului dinților, datorită mișcării de rostogolire, executată de leagănul mașinii pe care este fixat capul portsculă.

Capul de frezat portcuțit este prezentat în fig.6.36.

El se compune dintr-un disc suport și un număr de cuțite, montate pe partea lui frontală. Unele sunt montate pe o rază exterioară (prelucrând flancurile

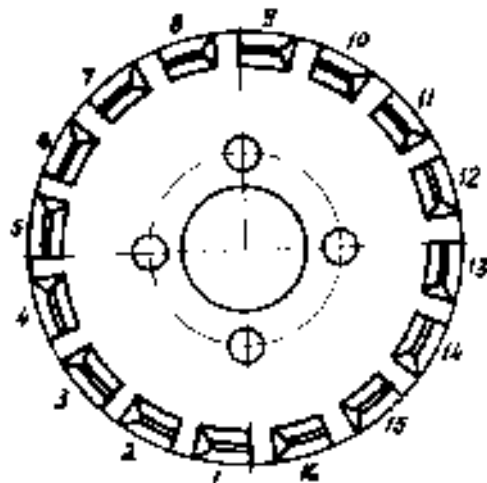


Fig.6.36.

convexe ale dinților), iar celelealte, pe o rază interioară (prelucrând flancurile concave ale dinților).

La capetele port-cuțite de degroșare, numărul de cuțite este de la $8 \div 32$, iar la capetele de finisare $8 \div 20$. Decalarea cuțitelor, a vârfurilor lor (interioare sau exterioare) este mai mică la degroșare și mai mare la finisare, datorită adaosului de prelucrare la finisare, care (în funcție de modulul roții) se alege de $0,25 \div 0,5$ mm.

Prelucrarea prin frezare a roților dințate conice cu dinți curbi în formă de arc de cerc pe mașini universale tip "Gleason" se poate executa prin metodele: unilaterală, bilaterală simplă (formate), bilaterală dublă (Duplex) și metoda "Unitool".

6.3.3.2. Prelucrarea danturilor conice elicoidale cu dinți curbi diferit de arc de cerc

- Se utilizează generarea continuă prin rostogolire
- Profilarea flancurilor dinților se realizează prin formarea treptată, în direcția profilului și a lungimii dintelui, a tuturor dinților roții. Nefolosind dispozitive de divizare, se simplifică construcția mașinii, crește productivitatea și se îmbunătățesc condițiile de așchiere, totodată prin dispariția erorilor de divizare crește precizia.

În fig.6.37. se prezintă schema generală a procesului de danturare prin rostogolire continuă.

Rotirea piesei (1) este legată de mișcarea capului port-sculă cu mai multe începuturi (2), pe care se montează capul portcuțite (3). Forma liniilor flancurilor roții plane rezultă din suprapunerea mișcărilor roții plane (4) și a sculei (3).

Mișcarea roții plane este întotdeauna o rotație uniformă. Între mișcarea sculei și capul port-pieșă există o legătură rigidă prin mecanisme, care face ca piesa să se rotească (corespunzător raportului

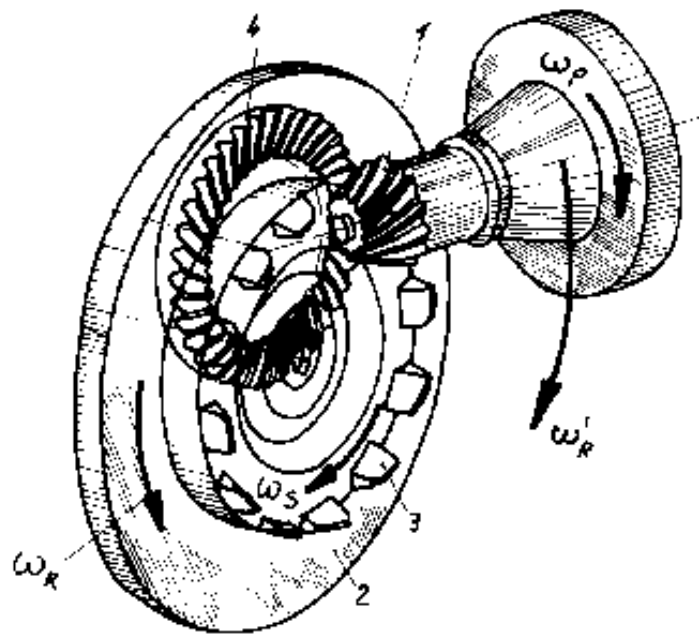


Fig.6.37.

de transmitere) între numărul de începuturi ale sculei și numărul de dinți ai piesei.

Pentru profilarea corectă a flancurilor, capul port-piesă și capul port-sculă mai execută și o mișcare de rostogolire (ω_r și ω_r'). Procesul de danturare se realizează printr-o degroșare prealabilă până la adâncimea dintelui, cu un avans de pătrundere și fără mișcare de rostogolire, după care se suprapune mișcărilor existente mișcarea de rostogolire.

Prelucrarea danturilor eloide (epicicloidă alungită)

Schema de realizare a danturii se prezintă în fig.6.38.

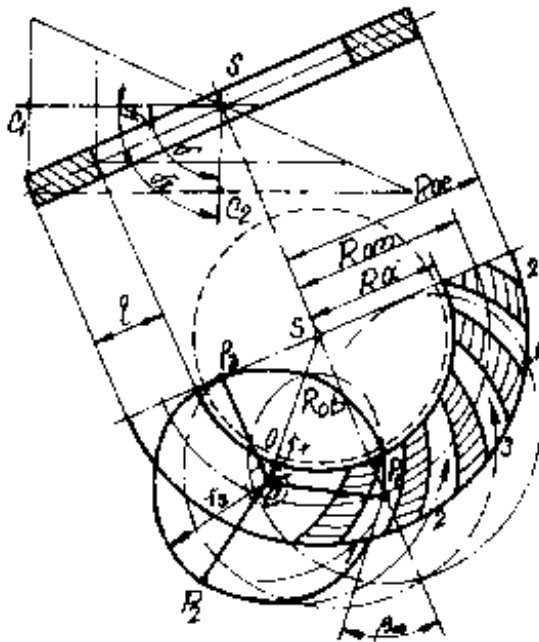


Fig.6.38.

Rostogolirea are loc între cercul de rază (r_r), solidar cu scula și cercul de rază (R_{ob}) - cerc de bază, solidar cu roata plană. Dacă cercul R_{ob} este imobil, cercul de rază (r_r) se rostogolește pe el și punctele P_1 , P_2 și P_3 plasate pe diametrul sculei ($r_s > r_r$) descriu față de roata plană cu lățimea (l) epicicloide. Dacă axele cercurilor cu rază (r_r) și (R_b) rămân fixe în spațiu (deci scula și suportul reprezentând roata plană nu-și schimbă poziția), iar scula se rotește, atunci se va roti și roata plană generatoare și în consecință se

va roti și roata conică generată (piesa), într-un raport determinat de numărul de dinți ai roții plane generatoare și ale roții conice. Generarea danturii decurge deci prin divizare continuă.

Ca și la roțile conice cu diți în arc de cerc, pentru generarea prin înfășurare a flancului dintelui roții conice pe înălțimea lui, este necesară mișcarea relativă de rostogolire între sculă și dantura generată, pentru care scula primește o mișcare de rotație în jurul axei centrale (S).

În fig.6.39. se pot urmări cele trei mișcări [(1),(2) și (3)] continui în vederea realizării danturii eloide.

- (1) - mișcarea de rotație a capului portcuțite (S) în jurul axei lui
- (2) - mișcarea circulară de divizare a semifabricatului
- (3) - mișcarea circulară (foarte lentă) a capului portcuțit în jurul axei roții-plane (O).

Dantura eloidă se poate realiza prin următoarele procedee:

- a) - SPIROMATIC
- b) - KLINGERNBERG
- c) - FIAT-MAMMANO

a) Procedeul SPIROMATIC (realizat pe mașina tip "Oerlikon" - Elveția)
Capul portcuțite (3, 4 și 5) sunt grupate câte trei într-un număr de cinci grupe, așezate fiecare pe altă spirală. Primul cuțit din grupă (3) așchiază (degroșează) golul, iar celelalte două (4) și (5) finisează flancurile, unul lucrând pe exterior, celălalt pe interior (vezi schema de așchiere a dinților - fig.6.41.).

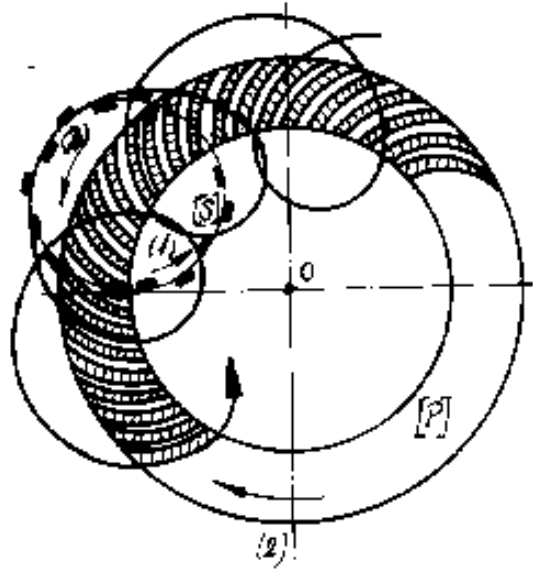


Fig.6.39.

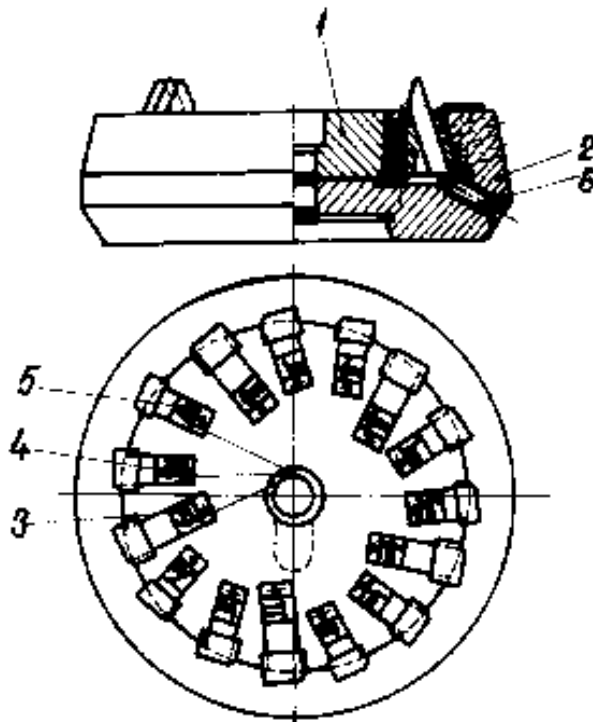


Fig.6.40.

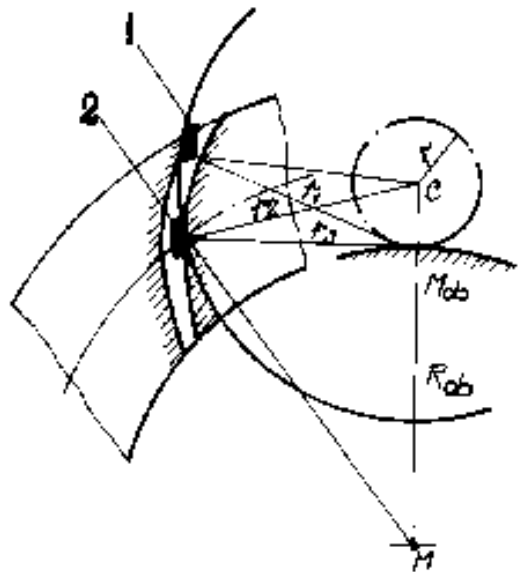


Fig.6.41.

b) Procedeul KLINGELNBERG

Are la bază același procedeu de generare ca și procedeul SPIROMATIC, dinții curbi pe care-i generează având de asemenea ca traiectorie epicycloida alungită.

Ca specific, în cazul de față, golurile dintre dinți ale roții de prelucrat sunt generate de două capete portcuțite ale căror cuțite se întrepătrund, fiind montate una încealaltă (vezi fig.6.42.).

Capul multicuțit este alcătuit din corpul exterior (1) și corpul interior (2), care se rotesc între ele datorită unui mecanism excentric.

Pe ambele capete sunt grupate două cuțite. Cuțitul (3) prelucrează flancul interior (fiind numit cuțit interior); cuțitul (5) și (4) sunt cuțite de mijloc pentru degroșarea golului, iar cuțitul (6) este cuțit exterior, pentru finisarea flancului exterior.

Întrucât capetele portcuțite (1) și (2) au cercuri de bază și de rulare diferite, flancul exterior se realizează cu o curbura mai mare decât flancul interior, realizându-se o bombare a flancului pe lungimea dintelui.

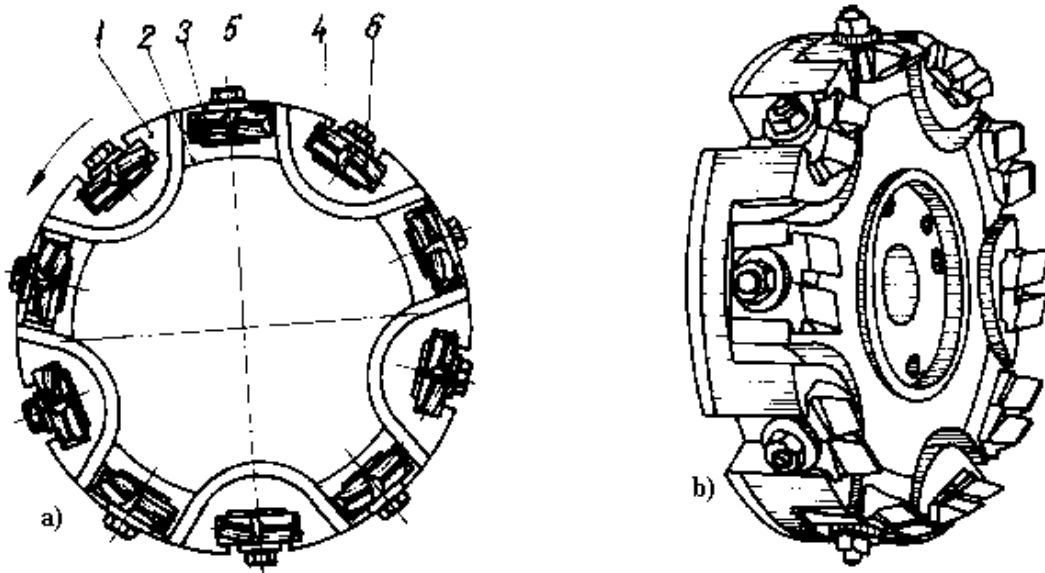


Fig.6.42. a și b

După acest procedeu, utilizat pe mașinile KLINGELNBERG, se prelucrează roți cu diametrul maxim de divizare de 630 mm cu module normale (până la 8 mm).

c) Procedeu FIAT-MAMMANO

Utilizează un cap multicuțite de construcție asemănătoare (ca la procedeu Klingelberg), dar cu o altă dispunere a cuțitelor. Se utilizează pe mașinile de tip FIAT. Prin acest procedeu se realizează danturi curbe cu înălțimea constantă a dintelui. Capul portcuțit frontal are cuțite reglabile dispuse după o spirală, astfel încât la o rotație completă a sculei se prelucrează un gol de dinte și prin divizare continuă se trece la prelucrarea golului următor.

Scula (în vedere) este reprodusă în fig.6.43.

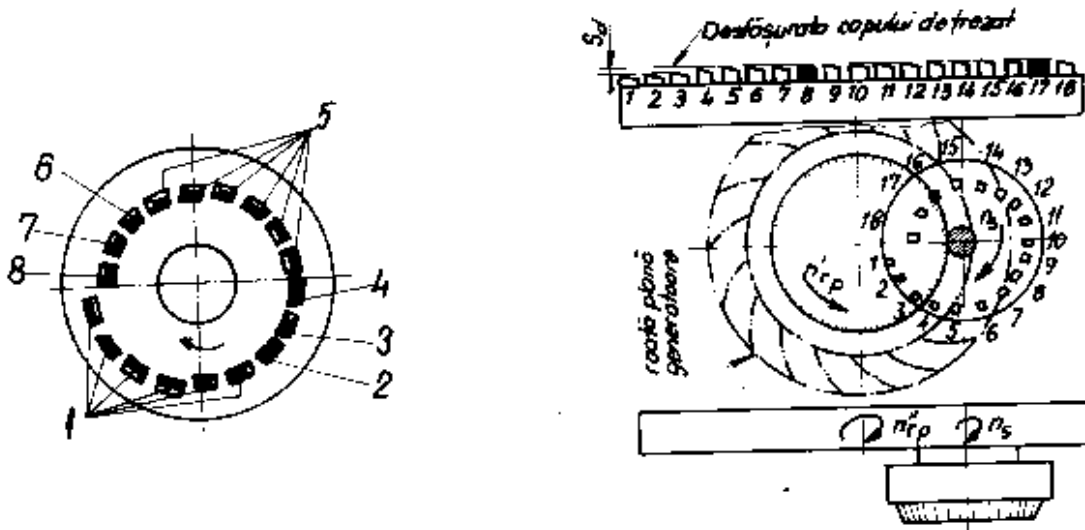


Fig.6.43.

Generarea are loc ca la procedeul Spiromatic, cu diferența că nu sunt mai multe grupe de 3 cuțite, ci un singur grup de cuțite (18 cuțite). Așa cum rezultă din fig.6.43. s-au notat, după cum urmează: (1) cuțitele de degroșare dintre care cuțite nr.(1), (2), (3) au înălțimi diferite. Cuțitele nr. (4)÷(6) sunt suplimentare, pentru prelucrarea flancului interior (convex); (2) și (4) (cuțitele nr.7 și 9) sunt cuțite interioare de corecție, care îmbunătățesc numai calitatea suprafeței flancului, (3) - (cuțitul nr.8.) este pentru finisare interioară; (5) - grupul de cuțite suplimentare pentru flanc exterior (cuțitele nr 10÷15); (6) și (8) cuțite exterioare de corecție (cuțitele nr.16 și 18); (7) - cuțit exterior de finisare (cuțitul nr.17). De menționat, că cuțitele 6÷10 au aceeași înălțime.

Prelucrarea danturilor paloide (profil evolventic) (procedeul Klingelnberg)

Să urmărim din nou fig.6.38. (la subcapitolul 6.2.3.2.). Dacă (r_s) tinde la infinit ($r_s \rightarrow \infty$), se obține o dreaptă care rulează pe cercul de bază (R_{ob}), și ca urmare traiectoria directoare a dinților este o evolventă.

În fig.6.44. se prezintă roata plană a danturii paloide, unde punctele M,N și P descriu evolvente echidistanțate.

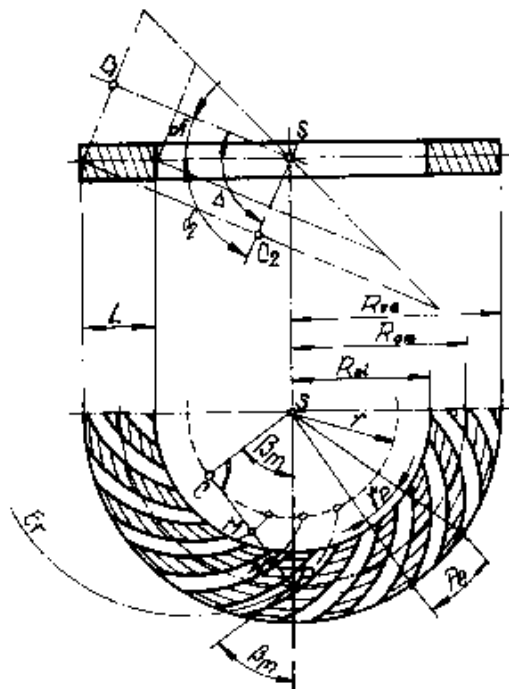


Fig.6.44

Ca urmare, la roata plană golurile dintre dinți sunt constante de-a lungul lor. Aceasta a permis înlocuirea dinților rectilini ai roții plane cu dinți curbi, linia flancului fiind o evolventă șirotirea unui profil de cremalieră, tangent la un cilindru cu raza (SC), în jurul acestuia. Profilul generează dinții, care în secțiune tangentă la cilindru reproduc profilul cremalierii, constatnt în permanență. Pentru realizarea profilului cremalierii s-a propus (de către SCHICHT și PREIS) utilizarea frezei melc.

Urmărind schema din fig.6.45., se constată că dacă un con cu elice (1) este rotit în jurul axei sale (S) (mișcarea II), astfel ca viteza periferică a cercului care trece prin vârful conului să fie egală cu viteza de deplasare a unui punct (C) al elicei situat pe generatoarea conului (mișcarea III), atunci urma conului pe plan va fi un inel circular, iar urmele elicelor vor fi evolvente ale cercului care trece prin vârful conului și care se va roti cu mișcarea (IV), mișcarea platoului portsculă în vederea descrierii evolventei în toată lățimea ei (L).

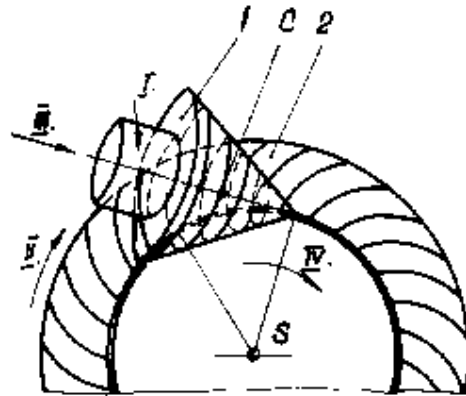


Fig.6.45.

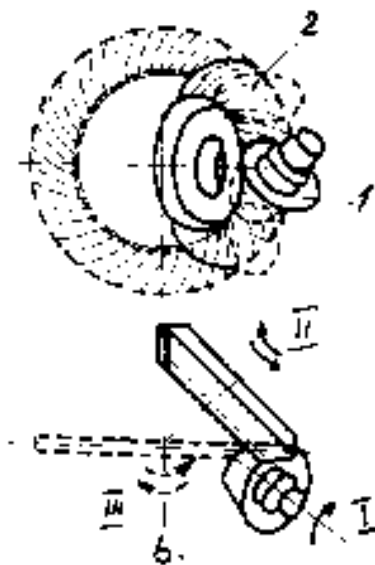


Fig.6.46.

În fig.6.46. rezultă mișcările de rotație uniforme necesare generării danturii paloide.

(I) - mișcarea de rotație a frezei-melc (1) în jurul axei sale

(II) - mișcarea de rotație a corpului roții de danturat în jurul axei sale

(III) - mișcarea de rotație a platoului portsculă în jurul axei sale, care este axa roții plane, pentru ca freza melc să prelucreze dantura pe toată lățimea și adâncimea ei.

(IV) - mișcarea de rotație a platoului portsculă în jurul axei sale, care este axa roții plane, pentru ca freza melc să prelucreze dantura pe toată lățimea și adâncimea ei.

Pinionul și coroana pot fi danturate complet, dintr-o singură operație, fapt care constituie un mare avantaj al procedurii la serii mici.

La serii mari se recomandă o degroșare și o finisare separată.

6.4. Prelucrarea de finisare a danturii

Urmărește îmbunătățirea parametrilor de precizie și calitate a suprafeței flancurilor dinților, diminuarea defectelor din stratul superficial, (apărute în procesul de așchiere a danturilor), fie cele

rezultate în urma tratamentelor termice sau termochimice aplicate materialului roților dințate.

Finisarea danturilor urmărește realizarea unui angrenaj care să lucreze precis, fără zgomot, în condiții de durabilitate ridicată.

Recomandare generală:

- prelucrări de finisare se aplică roților dințate realizate în clasa a 7 de precizie și cu rugozitate de cel puțin: $R_a = 3,2 \mu\text{m}$.

Finisarea danturilor se grupează în două categorii distincte:

- finisarea roților dințate netratate termic
- finisarea roților dințate tratate termic

6.4.1. Prelucrări de finisare a danturilor netratate termic

Se face prin următoarele procedee:

- șeveruirea
- rularea
- rodarea

6.4.1.1. Șeveruirea danturilor:

Este cea mai eficientă metodă de prelucrare de finisare a roților dințate netratate termic, atât cilindrice cât și conice, permițând o ridicare importantă a preciziei parametrilor dinților și micșorarea rugozității flancurilor. Așa cum se cunoaște de la proiectarea sculelor, scula folosită este fie un șever-cremalieră, fie șever-melc, sau un șever disc.

Cea mai răspândită este prelucrarea cu șever-disc. Ea se aplică roților dințate cilindrice.

Așa cum se vede în fig.6.49. axele roții de prelucrat și a șeverului-sculă sunt încrucișate.



Fig.6.47.

Scula șever-disc (1) se montează (fig.6.48.) pe o mașină de șeveruit, iar piesa (2) se așează pe masa (3) a mașinii într-un dispozitiv.

În fig.6.49. se prezintă schema șeveruirii roții dințate (2) cu șever-disc (1).

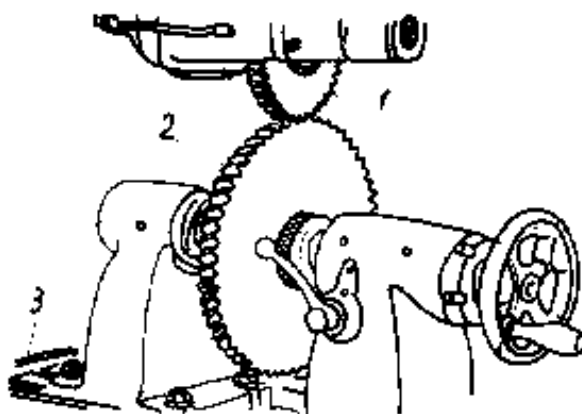


Fig.6.48.

Pentru realizarea aşchierii, şeverul (1) se roteşte (mişcarea I) şi totodată antrenează în rotaţie (mişcarea II) roata de prelucrat (2). Ambele mişcări sunt reversibile. Îndepărtarea de aşchie se face datorită muchiilor canalelor de pe flancul dintelui şeverului, după linia care uneşte punctele de contact ale profilelor dinţilor şeverului (1) şi roţii (2) - vezi fig.6.49.b.

Pentru îndepărtarea de aşchie pe toată lungimea dintelui, roata de prelucrat execută o deplasare longitudinală (mişcarea III) pentru realizarea alunecării dintre piesă şi sculă. După fiecare trecere, axa roţii execută un avans radial (mişcarea IV).

Unghiul (φ°) dintre axele celor două roţi în angrenare este unghiul de încrucişare şi are în mod obişnuit 15° . Când roata prelucrată are dinţi dreapţi, şeverul are dinţi înclinaţi cu unghiul (φ°), iar la prelucrarea roţilor dinţate cilindrice cu dinţi înclinaţi (la unghiul β_p°), şeverul poate avea dinţi dreapţi sau înclinaţi cu unghiul β_s° , dar cu altă mărime decât unghiul de înclinare al dinţilor roţii.

Unghiul (φ°) de încrucişare al axelor se determină cu relaţia:

$$\varphi^\circ = \beta_p^\circ \pm \beta_s^\circ \quad (6.20.)$$

Sensul plus (+) se foloseşte la acelaşi sens al unghiurilor de înclinare, iar semnul minus (-) în caz contrar.

Este necesar să se asigure în timpul şeveruirii o presiune (p) de contact între piesă şi sculă, precum şi o deplasare laterală relativă între piesă şi sculă în vederea ridicării de aşchii foarte fine.

Această deplasare relativă crează de fapt viteza de aşchiere (v_a).

Astfel:

$$v_a = v_p \sin \beta_p^\circ \pm v_s \sin \beta_s^\circ \quad (6.21.)$$

unde: (v_a) şi (v_p) sunt vitezele liniare ale piesei şi şeverului.

Din fig.6.50., rezultă componentele vitezelor (v_p), respectiv (v_s).

- componentele normale pe direcţia dinţilor:

$$v_p' = v_p \cos \beta_p \quad \text{şi} \quad v_s' = v_s \cos \beta_s \quad (6.22.)$$

- componentele paralele cu direcţia dinţilor:

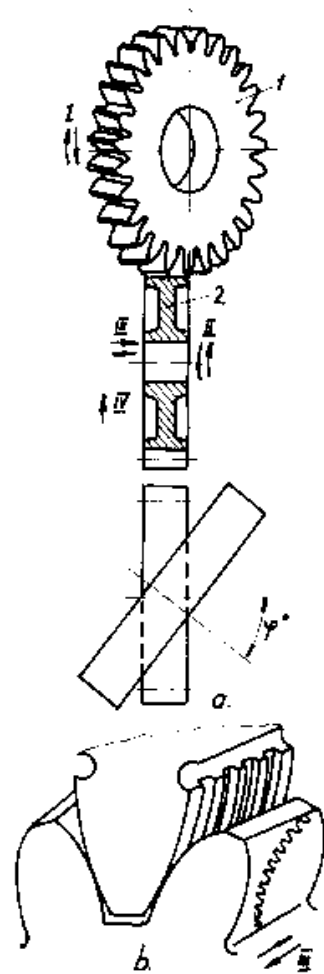


Fig.6.49.

$$v_p'' = v_p \sin \beta_p \text{ și } v_s'' = v_s \sin \beta_s \quad (6.23.)$$

Deoarece componentele normale pe dinți sunt egale, rezultă:

$$v_p' = v_s' \quad (6.24.)$$

(condiție ca dinții să angreneze)

de aici rezultă:

$$v_p \cos \beta_p = v_s \cos \beta_s \quad (6.25.)$$

de unde:

$$v_p = \frac{v_s \cdot \cos \beta_s}{\cos \beta_p} \quad (6.26.)$$

Întroducând valoarea lui (v_p) din relația (6.26.) în relația (6.21.) vom obține:

$$v_a = v_s (\cos \beta_s \operatorname{tg} \beta_p \pm \sin \beta_s) \quad (6.27.)$$

Avansul radial (S_r) la șeveruire se definește ca fiind mărimea de apropiere a axei sculei de cea a piesei, după fiecare cursă longitudinală a mesei (mișcarea IV-fig.6.49.). Ea are o deosebită însemnătate pentru precizia șeveruirii, durabilitatea șeverului, calitatea suprafeței și productivitatea prelucrării.

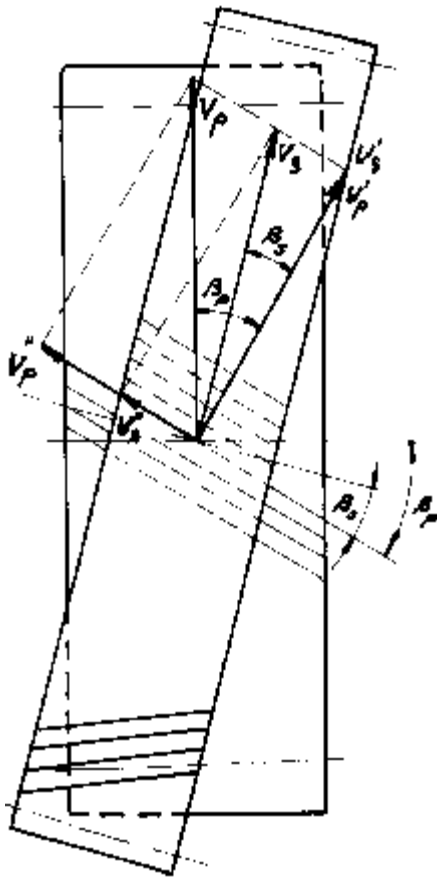


Fig.6.50.

Avansul longitudinal (S_l) se definește ca fiind deplasarea roții la o rotație a ei. Se exprimă cu relația:

$$S_l = \frac{v_1}{n_p} \quad [\text{mm/rot}] \quad (6.28.)$$

unde (v_1) - este viteza de deplasare a mesei [mm/min], întrucât există raportul:

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{z_s}{z_p} \quad (6.29.)$$

se obține:

$$S_l = v_1 \frac{z_p}{n_s \cdot z_s} \quad (6.30.)$$

Se disting trei procedee de șeveruire:

- șeveruirea paralelă sau longitudinală
- șeveruirea în diagonală sau oblică
- șeveruirea tangențială sau transversală

a.) șeveruirea paralelă sau longitudinală
(vezi fig.6.51.)

(1) - scula șever

(2) - roata de prelucrat

La acest procedeu, roata de prelucrat (2) execută o mișcare rectilinie-alternativă pe direcția axei ei, la sfârșitul fiecărei curse deplasându-se cu avans radial (S_r).

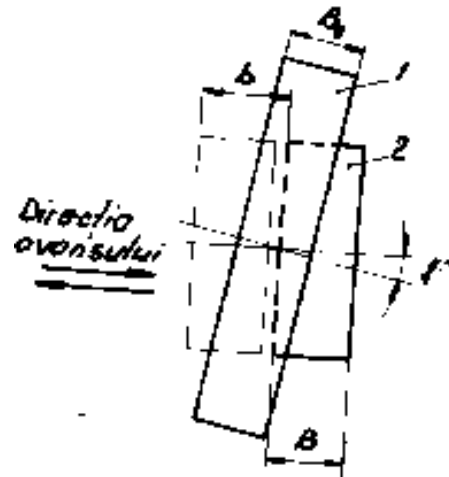


Fig.6.51.

b.) șeveruirea în diagonală sau oblică
(fig.6.52.)

Roata de prelucrat (2) se deplasează în mișcare rectilinie-alternativă sub un unghi (ϵ°) față de axa ei. Punctul de contact șever-piesă se deplasează dintr-o parte a șeverului în cealaltă parte, ceea ce face ca durabilitatea lui să crească cu 50÷80%, iar datorită micșorării cursei mesei, productivitatea să crească cu 60÷80%.

Unghiul diagonalei se determină cu relația:

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{B_{as} \sin \gamma}{B - B_{as} \cos \gamma} \quad (6.31.)$$

unde: B - lățimea roții

γ - unghiul de încrucișare

B_{as} - lățimea activă a șeverului

$$B_{as} = (0,75 \div 0,8) B_s \quad (6.32.)$$

în care B_s - lățimea propriu zisă a șeverului
Cursa mesei (b) se va stabili astfel:

$$b = \frac{B \cdot \sin \gamma}{\sin(\epsilon + \gamma)} \quad (6.33.)$$

c.) șeveruirea tangențială sau transversală
(fig.6.53.)

Deplasarea roții are loc normal pe axa ei. Cursa mesei (b) de determină cu relația:

$$b = B \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (6.34.)$$

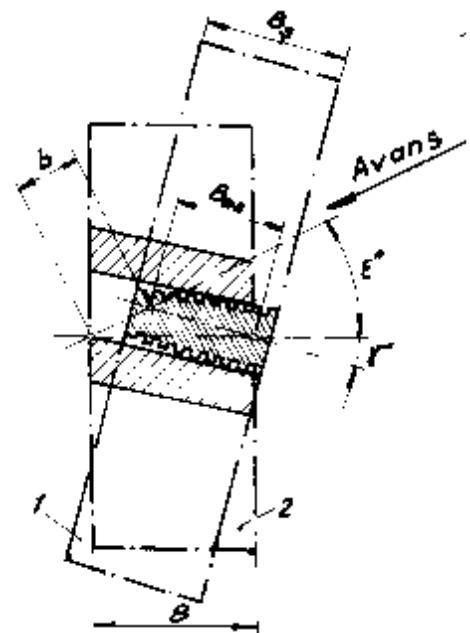


Fig.6.52.

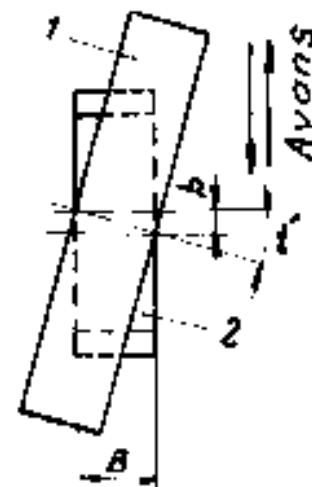


Fig.6.53.

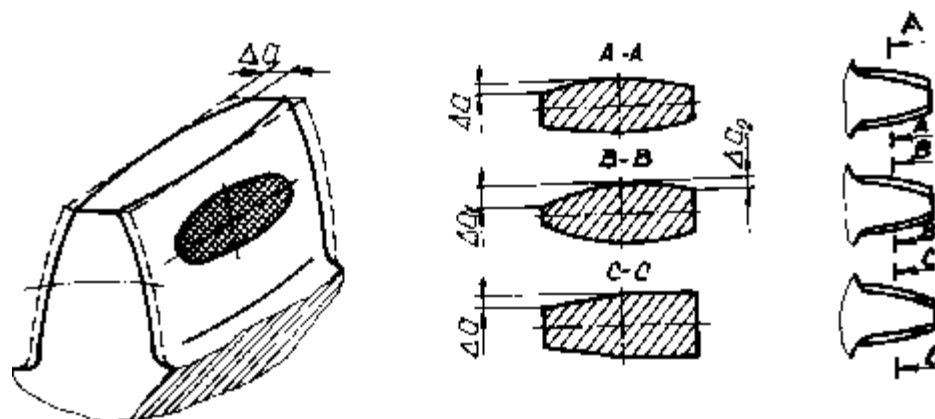


Fig.6.54.

Pentru a elimina orice posibilitate de a solicita dinții roții la extremități, se utilizează șeveruirea bombată, cu bombarea pe flanc $\Delta_a = 0,05 \div 0,025$ (mm) pentru roți mari și 0,01 pentru roți mici, solicitarea având loc în porțiunea de mijloc al dintelui (fig.6.54.)

Mecanismul de realizare a bombării prin procedeul "balansării" roții se prezintă în fig.6.55, iar mașina în fig.6.56.

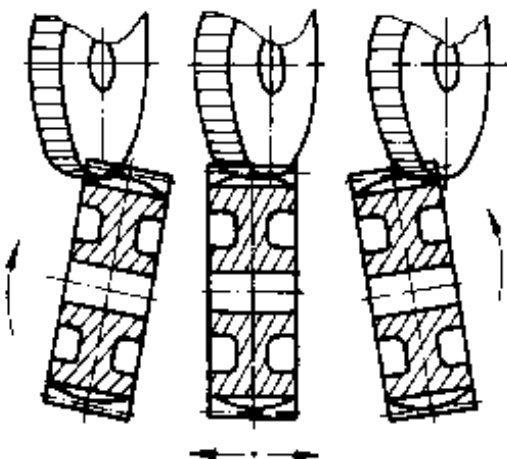


Fig.6.55.

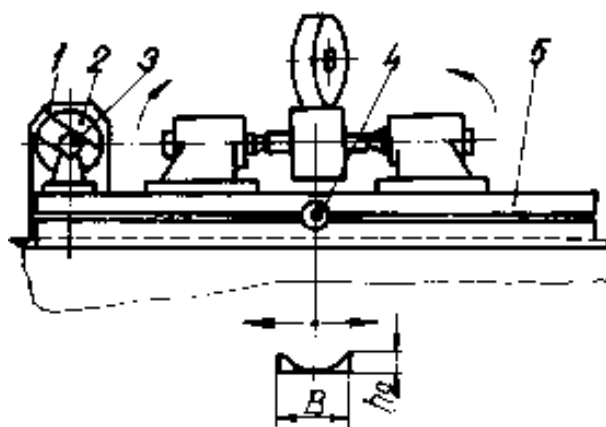


Fig.6.56.

Șeveruirea roților dințate conice:

cu toate că asigură o precizie ridicată, o calitate superioară suprafeței, productivitate ridicată și un utilaj simplu, nu a primit încă o răspândire largă.

În fig.6.57.se prezintă schema șeveruirii roților dințate conice.

Viteza de așchiere (v_a) se determină astfel:

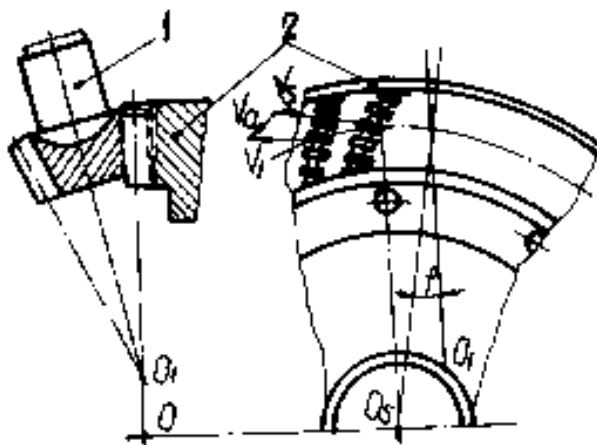


Fig.6.57.

$$v_a = v_s \frac{\sin \beta_p}{\cos \rho} \quad (6.35.)$$

unde: v_s - viteza de rotație a șeverului (2)

β_p - unghiul mediu de înclinare a dinților curbi ai roții conice de prelucrat (1)

ρ - unghiul de înclinare a liniei de contact a conului de divizare a roții față de linia radială a șeverului

Prelucrarea are loc cu viteze de $15 \div 20$ (m/min) (cu șeverul din fig.6.58.), putându-se prelucra 250÷300 roți dințate până la ascuțirea sculei

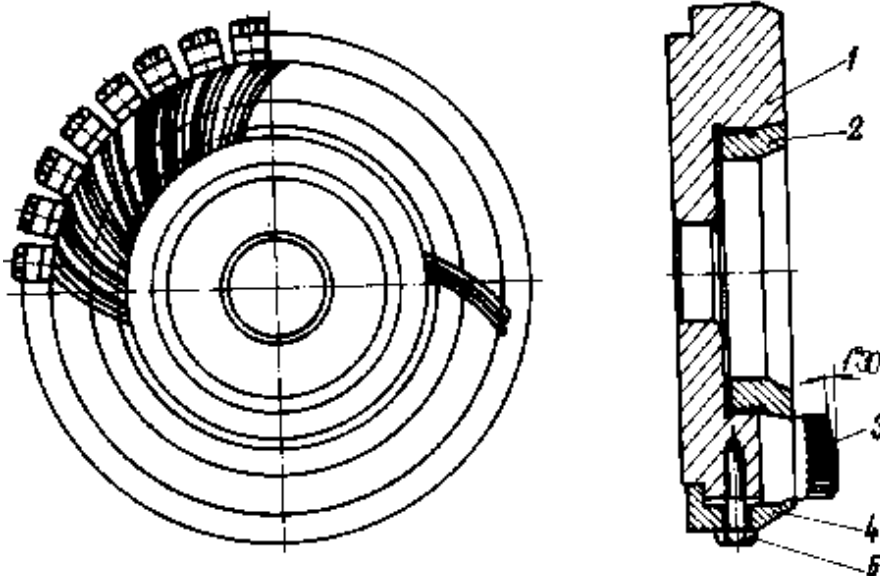


Fig.6.58.

Parametrii tehnologici:

Adaosul de prelucrare pentru șeveruire este în general în funcție de modul:

- pentru roțile dințate cilindrice și dinți drepecți:

$$a = 0,10 \div 0,22 \text{ (mm)}$$

- pentru roțile cilindrice cu dinți înclinați:

$$a = 0,15 \div 0,30 \text{ (mm)}$$

Numărul curselor de calibrare este: $i_c = 4 \div 6$, pentru clasa a 6-a de precizie (ISO), respectiv $i_c = 2 \div 6$, pentru clasa a 7-a de precizie (ISO).

Normarea tehnică:

- timpul de bază:

$$t_b = t \cdot n \quad [\text{min}] \quad (6.36.)$$

unde:

t [min] - timpul pentru o cursă a mesei

n - nr. de curse a mesei

$$t = \frac{L}{S_1 \cdot n_p} = \frac{L \cdot z_p}{S_1 n_s z_s} \quad [\text{min}] \quad (6.37.)$$

unde: (L) - este mărimea cursei mesei [mm]. Numărul de curse efectuate de masă se determină cu relația:

$$n = \frac{a_r}{S_r} + n_0 \quad (6.38.)$$

în care (a_r) este adaosul radial (mm).

Prin șeveruire se obțin clasele 5÷7 de precizie și rugozitatea $R_a = 1,6 \div 0,4$ (μm)

6.4.1.2. Rularea danturilor

Se aplică danturilor roților dințate cilindrice netratate termic, având duritatea sub 30 HRC. Scopul este îmbunătățirea calității suprafeței dintelui și îmbunătățirea calității mecanice, ca urmare a deformațiilor plastice al stratului superficial al dintelui, în urma presiunii radiale exercitate.

Conform schiței din gig.6.59., roțile etalon (1) și (3), călite la HRC 56-58, exercită presiunea pe roata piesă (2). Crește precizia și duritatea superficială în urma ecruisării suprafeței flancului dintelui. Piesa (2) primește mișcarea de la roata etalon conducătoare (1). Pentru egalizarea prelucrării (pe ambele flancuri ale dintelui), rularea se efectuează prin rotirea în ambele sensuri. Presiunea roților (3) se realizează hidraulic sau pneumatic (prin dezvoltarea unei forțe de împingere F).

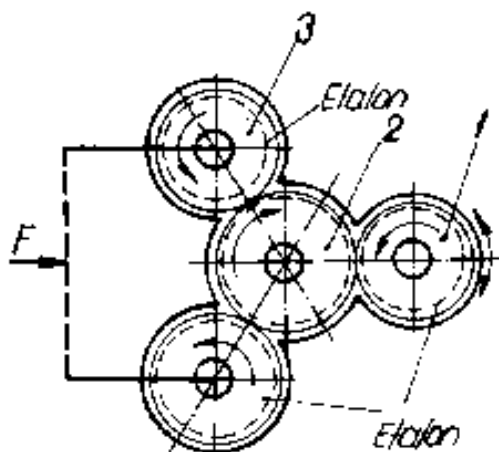


Fig.6.59.

Durata rulării unei roți cu $m_n = 2 \div 5$ mm este de cca. 10÷30 sec. Pentru rulare, practic nu se lasă adaos de prelucrare. Presiunea radială trebuie să fie de 2÷10 (daN/cm^2), iar numărul de rotații a roții etalon conducătoare $n_c = 140 \div 500$ (rot/min). Cu un set de roți etalon se pot rula cca. 100.000 de buc. de roți dințate.

6.4.1.3. Rodarea danturilor

Este o operație de finisare a danturii roților dințate cilindrice și conice, urmărind ameliorarea contactului dintre dinții roților dințate în angrenare și îmbunătățirea calității suprafeței flancurilor dinților. Rodarea nu urmărește creșterea preciziei danturii, însă zgomotul în

angrenaje scade, ca urmare a micșorării erorilor ciclice a roții. Procedeu se utilizează frecvent în producția de serie mică.

Operația de rodare constă în rularea roții ce urmează a fi finisată cu una sau mai multe roți conjugate, folosindu-se în timpul rulării un abraziv cu granulație foarte fină, care accelerează procesul rodării. Roțile se rodează pe mașini de danturat prin rostogolire, pe standuri speciale de rodat, fie după montarea lor în subansamblele din care fac parte.

Viteza de rodare este mică, $v=0,25\div 0,4$ (m/s). Sarcina periferică pe lățimea dintelui se recomandă a fi de $1\div 5$ (daN/cm²). Stratul de material (metal) îndepărtat este de $0,02\div 0,03$ (mm). Durata rodării roților dințate cilindrice cu $m=2\div 5$ (mm) este de $5\div 10$ (min).

Rodarea dinților roților conice se utilizează la pinioanele conice cu număr mic de dinți, după danturarea de finisare, pe mașini speciale de rodat, care permit rodarea unei roți conice cu diametrul până la max.500 mm.

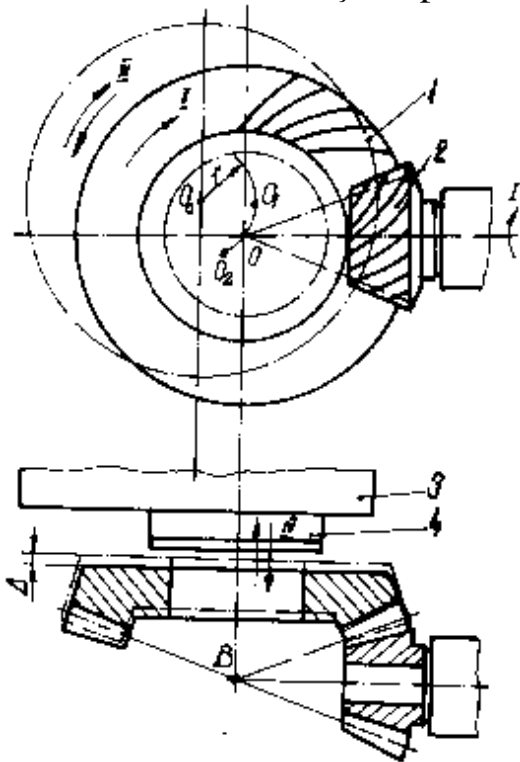


Fig.6.60.

În mod obișnuit, rodarea se face cu roată conică de rodat care înlocuiește roata conjugată, realizând o pereche cu roata ce urmează a se roda.

Prelucrarea are loc în condițiile unei angrenări fără joc, după schema din fig.6.60.

Piesa (2) este fixată în axul conducător care se rotește continuu (mișcarea I), fiind în angrenare cu roata de rodat etalon (1) fixată în axul condus al mașinii, și care execută o mișcare de rotație (II) în cămașa (4). Aceasta este fixată excentric pe tamburul (3), care primește o mișcare

de oscilație în jurul axei O_0 , astfel încât axa roții etalon se deplasează între punctele O_1 și O_2 după un arc de cerc cu raza ($r=e$). Ajuns în aceste puncte, axul condus execută o mișcare axială Δ , asigurând angrenarea fără joc a piesei și sculei. Durata rodajului este de $0,7\div 1,0$ (min/buc), scula de rodat fiind utilizabilă la rodarea a $500\div 1000$ de pinioane conice.

6.4.2. Prelucrări de finisare a danturilor tratate termic

În principal, operațiile prin care se poate asigura finisarea danturilor roților dințate tratate termic sunt:

- rectificarea
- rodarea
- honuirea

6.4.2.1. Rectificarea danturii roților dințate

Este o metodă de bază utilizată la finisare. Astfel se pot corecta și abaterile prelucrărilor anterioare, precum și cele rezultate în urma tratamentelor termice. Rezultă danturi în clasa 5÷7 de precizie (ISO), cu rugozitatea $R_a = 1,6 \div 0,8 \mu\text{m}$. Un neajuns al acestei metode este productivitatea sa scăzută, utilajul complicat și scump. Atunci când condițiile de așchiere (regimurile) nu sunt corect stabilite, pot apărea defecte (chiar înrăutățirea calității suprafeței flancurilor) ducând la micșorarea durabilității roții.

În vederea obținerii unui rezultat bun este necesară alegerea adecvată a următoarelor trei probleme:

- caracteristica discului de rectificat
- regimul de așchiere
- lichidul de răcire-ungere

Metodele de rectificare folosite sunt:

- A. - rectificarea prin copiere
- B. - rectificarea prin rostogolire-rulare

A. - rectificarea prin copiere

Se face cu ajutorul discurilor profilate după forma golului dintre dinții roții, cu ajutorul diamantelor industriale, care execută o mișcare după evolventa profilului dinților.

Procedee:

a.) - folosind pietre abrazive care rectifică cu o singură parte laterală, care are profilul în evolventă (vezi fig.6.61.)

Se folosesc două pietre de rectificat, așezate fiecare într-un gol, la distanțe de unul sau mai mulți dinți, rectificând profiluri opuse.

b.) - folosind pietre abrazive care rectifică ambele părți laterale în evolventă (procedeul ORCUTT)

Schema acestui procedeu este prezentată în fig.6.62.

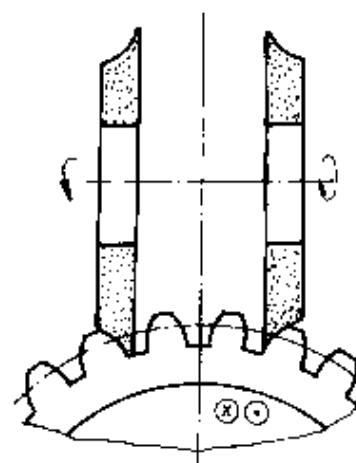


Fig.6.61.

c.) - folosind piatră abrazivă care rectifică numai unul din flancurile golului (procedeul SFEDR) (vezi fig.6.63.)

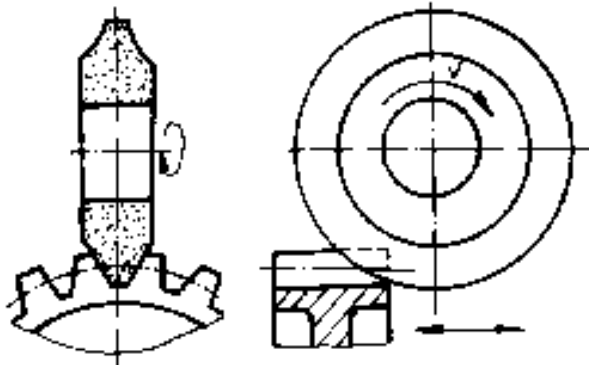


Fig.6.62.

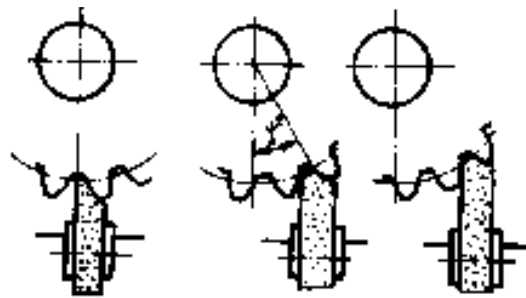


Fig.6.63.

Indiferent de procedeul folosit, sunt necesare:

- mișcarea de rotație a discului în jurul axei sale
- mișcarea de deplasare axială a suportului port-piesă

În cazul danturilor înclinate, axa pietrei abrazive se înclină față de axa piesei cu unghiul de înclinare al dinților roții care se prelucrează, iar mișcarea de translație axială a suportului-portpiesă este conjugată cu o mișcare de rotație a roții de rectificat.

La degroșare, se rectifică la fiecare cursă grosimea maximă de material, fără să se încălzească peste măsură piesa. Degroșarea se oprește când adaosul pentru finisare este de $50 \mu\text{m}$ pe grosimea dintelui. La ultima trecere grosimea stratului de rectificat trebuie să fie foarte mică (piatra să "scânteieze" doar), în vederea obținerii unei precizii geometrice și calitate superioară a flancurilor.

Prin copiere se pot rectifica roți dantate cilindrice cu dinți drepi și înclinați cu diametrul $d = 12 \div 1800$ (mm), dantura dreaptă de $d = 90 \div 70$ (mm) și cu dantura interioară înclinată cu $d = 250 \div 1600$ (mm). Precizia realizată corespunde clasei 6÷7 de precizie (ISO). Este o metodă productivă de finisare, și de aceea rectificarea de copiere se aplică în producția de serie.

B. - Rectificarea danturilor prin rostogolire-rolare

Flancul cremalierii generatoare se materializează pe corpul abraziv în formă de disc sau taler, ori folosind un melc abraziv. Ca și la danturare, rectificarea prin rostogolire-rolare se poate executa intermitent sau continuu.

Rectificarea intermitentă se execută cu unul sau două discuri, după mai multe procedee, pe mai multe mașini. Indiferent de procedeu și mașină, rectificarea cu scule-disc sau taler are câteva puncte comune:

- generarea profilului în evolventă se face după schema cu dreaptă fixă
- divizarea necesară prelucrării tuturor flancurilor dinților se face discontinuu (periodic);
- viteza de aşchiere este realizată de sculă (prin rotație);
- în vederea îndepărtării întregului adaos de prelucrare este necesar un avans de pătrundere.

Procedee:

a) Procedeul NILES (vezi fig.6.64.)

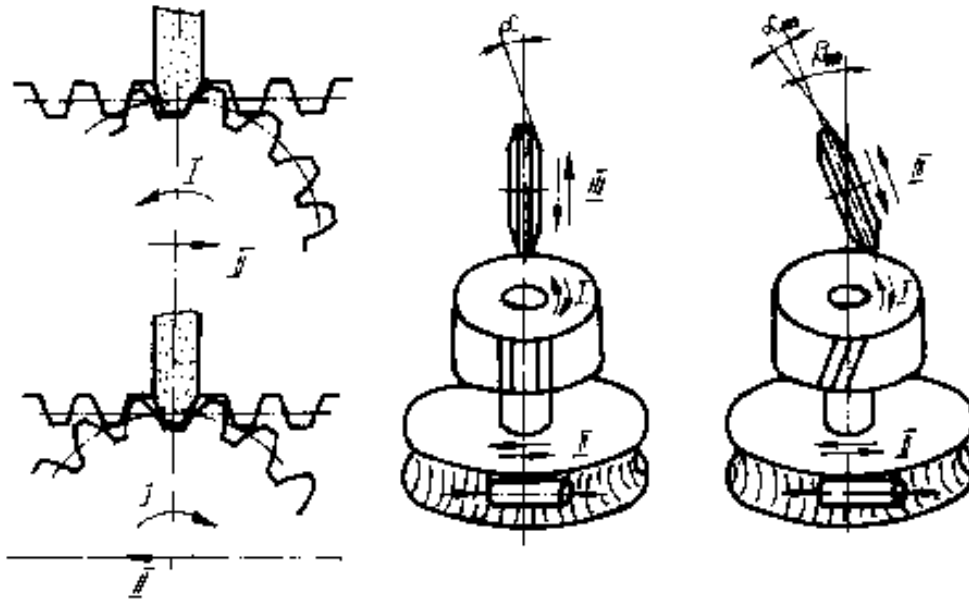


Fig.6.64.

Corpul abraziv are forma unui disc profilat biconic, astfel încât în secțiunea radială apare profilul cremalierii generatoare.

Conform schemei (fig.6.64.), mișcările necesare sunt:

- I.- mișcarea de rotație a piesei în jurul axei sale
- II.- mișcarea de translație în lungul cremalierii
- III.- mișcarea de avans longitudinal.

După executarea unui gol, discul se retrage, permițând divizarea. Ciclul de lucru se prezintă în fig.6.65.

Aici se pornește cu rectificarea flancului stâng al unui gol, după care mișcarea de rostogolire își schimbă sensul automat; masa cu roata dințată se rotește până la compensarea diferenței dintre grosimea pietrei și lățimea golului

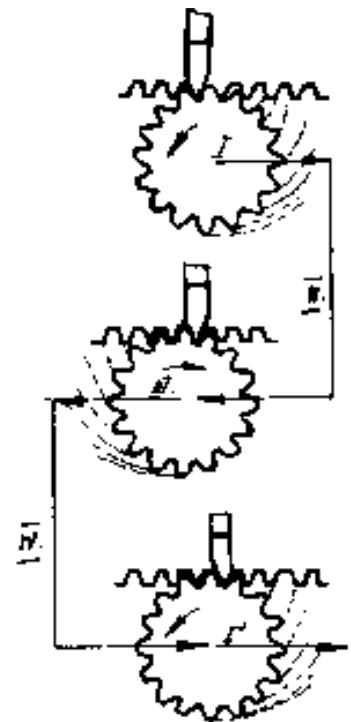


Fig.6.65.

dintelui, flancul drept ajungând în contact cu piatra, pentru a continua rectificarea. După rectificarea flancului drept, sania mesei se deplasează cu o mișcare rapidă spre stânga pentru efectuarea divizării cu un dinte, după care piatra ajunge (după înapoierea mesei în poziția de rectificare) în fața golului următor, începând rectificarea flancului stâng al golului. Precizia roții dințate corespunde clasei 5-6 (ISO).

Asemănător procedurii "NILES" se mai practică des și procedeul "PRATT-WITNEY" (care utilizează o piatră disc biconică de grosime egală cu cea a golului cremalierii generatoare teoretice a danturii de prelucrat.

De asemenea, un alt procedeu asemănător este procedeul "KOLB", care folosește o piatră-disc, cu unghiul profilului și grosimea egale cu ale golului cremalierii generatoare a danturii de prelucrat.

La toate procedeele amintite mișcarea de rostogolire este încetă, în timp ce cursa longitudinală se execută rapid.

b.) Procedeul LEES-BRADNER
(vezi fig.6.66.)

Se utilizează o piatră abrazivă-disc de diametru mare (500 mm) și care astfel numai execută mișcarea de avans longitudinal în cursa sa longitudinală.

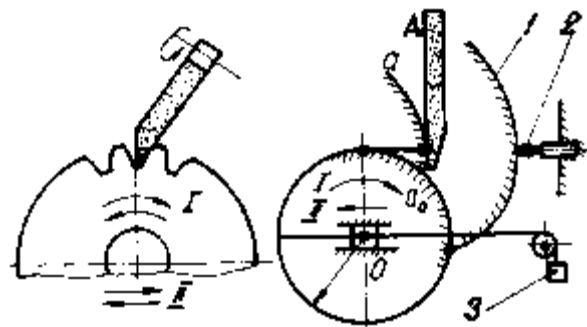


Fig.6.66.

Deoarece lanțul de rostogolire este foarte scurt, precizia roților corespunde claselor de precizie 3÷4 (ISO).

c.) Procedeul MAAG

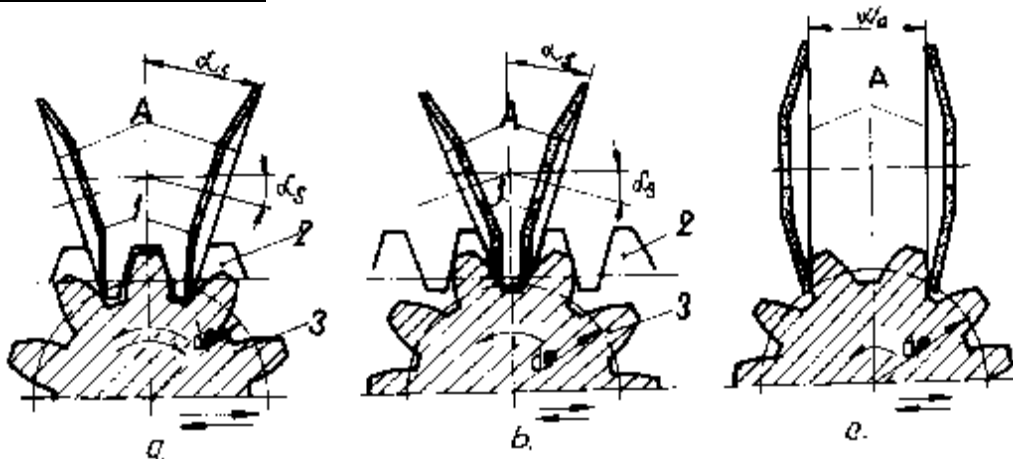


Fig.6.67.

Materializarea flancurilor cremalierii generatoare se face prin suprafețele frontale a două pietre taler, care rectifică flancurile aceluiași gol. Metoda se numește "rectificarea la 15°" (vezi fig.6.67.a și b.)

În fig.6.67.c se vede metoda de "rectificarea la 0°", adică a două flancuri neomoloage.

În timpul de operației de rectificare, cercul de divizare al danturii se rostogolește fără alunecare pe linia de divizare a discurilor abrazive. principiul de generare pe o mașină tip "MAAG" se poate urmări în schema din fig.6.68.

Rostogolirea fără alunecare a cercului de divizare a roții (1) pe dreapta de divizare a sculei este realizată prin rotirea tamburului (3), antrenat de deplasarea saniei transversale (2) prin intermediul benzilor metalice (5) fixate pe cadrul (4).

În decursul acestei mișcări se generează profilul dintelui. Pentru prelucrarea flancului dintelui pe toată lungimea "B" a acestuia, întreg ansamblul fixat pe sania longitudinală execută mișcarea de avans longitudinal S_1 (mm/c.d.) (mișcarea III). După fiecare cursă dublă efectuată de masa longitudinală se execută divizarea. Rostogolirea este rapidă, iar cursa longitudinală este încetă.

Cu aceeași mașină se pot rectifica și dinți înclinați. Precizia de rectificare pe mașinile "MAAG" se caracterizează prin abaterea de simetrie a profilului de 0,003 (mm) și eroarea maximă de profil de $0,004 \div 0,006$ (mm).

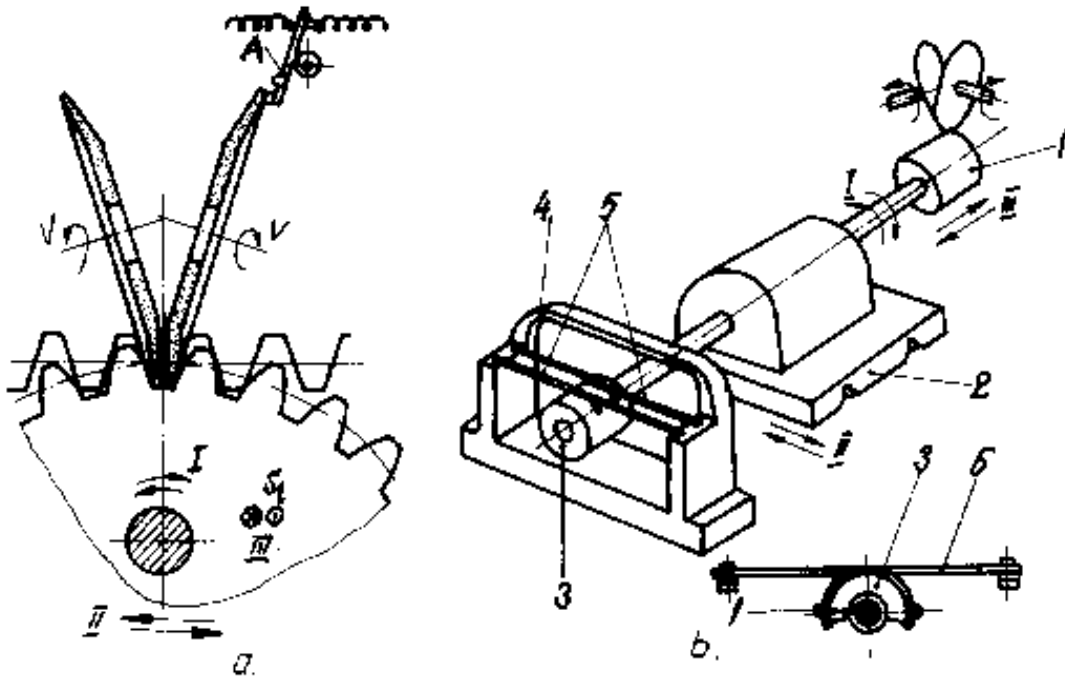


Fig.6.68.

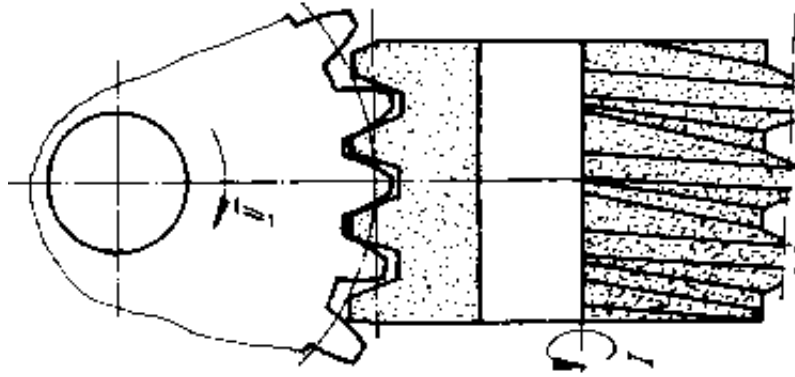
d.) Procedeul REISHAUER

Fig.6.69.

Procedeul Reishauer are productivitatea mai ridicată decât cea obținută la rectificarea după celelalte procedee (prin divizare intermitentă).

Ea se realizează printr-o conjugare a mișcării de rotație a roții dințate cu cea a pietrei, care este un melc (fig.6.69.).

Rectificarea se face printr-o rostogolire continuă a melcului pe roata dințată, fără divizare. Deoarece profilul melcului se modifică relativ repede prin uzură, rectificarea cu melcul abraziv este indicată pentru degroșare sau la danturare de precizie nu prea mare. Danturile cu modul $m < 0,8$ (mm) se pot prelucra "din plin". Cu toate acestea, însă se pot obține precizii ridicate (cl. 3÷4 ISO).

Procedul permite rectificarea roților dințate cu $d = 10 \div 700$ (mm), lungimi mai mici de 280 (mm) și module $m = 0,5 \div 7$ (mm). Turația melcului (sculă) $n_s = (1600 \div 1900)$ rot/min. Făcând o comparație, procedeul Reishauer este de cca. 2÷3 ori mai productiv decât procedeul Niles.

Rectificarea danturii roților dințate conice

Rectificarea se aplică roților dințate conice, datorită modificării grosimii dinților în urma tratamentului termic aplicat (Secțiune variabilă de-a lungul dintelui). Procedeul a luat o răspândire tot mai mare la prelucrarea roților cu duritate mare (călite la 56÷65 HRC), clasa de precizie 5-6 (ISO).

Prelucrarea dinților drepti se bazează pe prelucrarea prin rostogolire cu unul sau două discuri taler (fig.6.70.).

După execuția flancurilor unui dinte și după retragerea

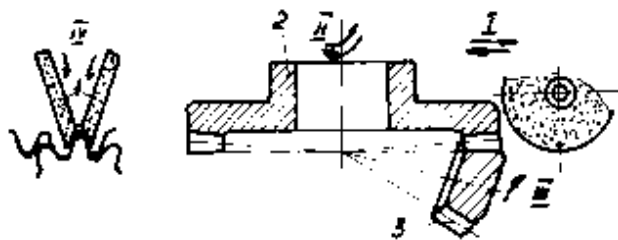


Fig.6.70.

rapidă a sculei, roata de prelucrat (3) execută divizarea.

Rectificarea danturilor conice curbe se execută prin rostogolire cun un disc-oală, după schema din fig.6.71. (asemănător ca mișcări cu prelucrarea prin frezare cu cap portcuțite).

În fig.6.72. se prezintă câteva scheme de rectificare a dinților curbi a unei roți conice. Adaosul de prelucrare pe grosimea dintelui este egal cu $0,25 \div 0,35$ (mm), iar viteza de așchiere $v=18 \div 25$ (m/s) pentru discuri (oală-disc) și $v=30 \div 35$ (m/s) pentru discuri oală-conice..

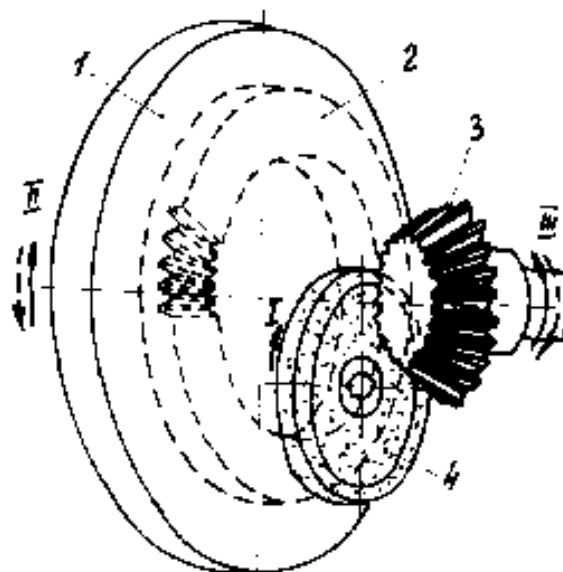


Fig.6.71.

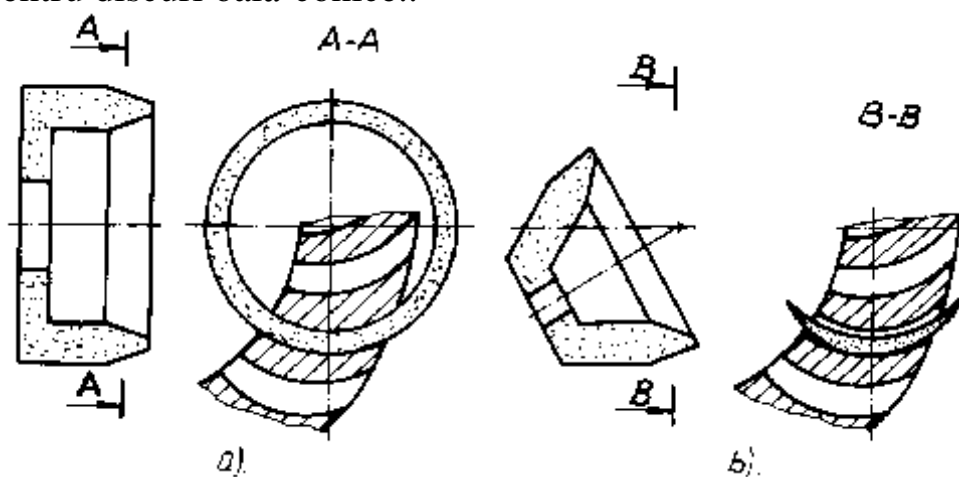


Fig.6.72.

6.4.2.2. Rodarea danturilor roților dințate tratate termic

Se execută ca și în cazul roților dințate netratate termic cu scopul măririi preciziei danturii și a calității suprafeței flancurilor dinților (clasa 6÷7 ISO și $R_a=0,1\div0,05 \mu\text{m}$).

Rodarea se aplică după rectificarea danturii, pentru mărirea calității suprafeței și îndepărtarea unor defecte din stratul superficial, apărute după rectificare și presupune existența unei scule de rodat.

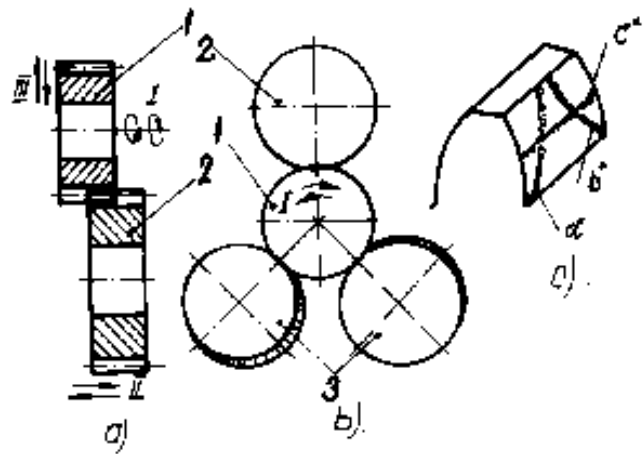


Fig.6.73.

În fig.6.73. se prezintă doar două scheme de rodare a dinților roților dințate cilindrice, unde piesa (1) angrenează cu scula de rodat (2).

După schema din fig.6.73.a. roata de prelucrat (1) se consideră roata conducătoare, scula de rodat (2) efectuând pe lângă mișcarea de rotație și o mișcare axială (II) rectilinie-alternativă, în timp ce roata (1) execută mișcări alternative rectilinii (III), datorită căreia se elimină influența negativă asupra calității rodării a vitezelor nule de alunecare (în polul angrenării).

După schema din fig.6.73.b. roata de prelucrat (1) angrenează cu trei scule de rodat (trei roți), dintre care două roți (3) cu dinți înclinați, și una (2) cu dinți drepți. Axele sculelor cu dinți înclinați se intersectează sub un unghi de $10^\circ\div20^\circ$.

Contactul roții de prelucrat cu sculele cu dinți înclinați se face după liniile (a*) și (b*) (fig.6.73.c.), iar cu scula cu dinți drepți după linia (c*). Roata de prelucrat execută o mișcare de rotație cu $n_p=150\div300$ (rot/min) și o mișcare alternativ-axială cu $40\div200$ (c.d./min).

Rodarea cu eficacitate maximă se obține la viteze ale roții prelucrate $v_p=(20\div40)$ m/min, utilizându-se o pastă abrazivă (40% electrocorindon cu granulația de $180\div280$ și 60% vaselină), pe mașini speciale de rodat, cu sculă de rodat sau cu roata pereche (conjugată). Presiunea de contact este de $p=1\div2$ (daN/cm²), exercitată pe lățimea dintelui.

Rodarea danturilor roților dințate conice tratate termic - se utilizează ca mijloc de îmbunătățire a calității suprafeței flancului și a petei de contact, eliminarea erorilor apărute după tratamentul termic și micșorarea nivelului de zgomot al angrenajului, realizându-se mașini speciale de rodat, pe fiecare flanc al dinților separat.

Schema de lucru este prezentată în fig.6.74. (mașina de rodat Gleason)

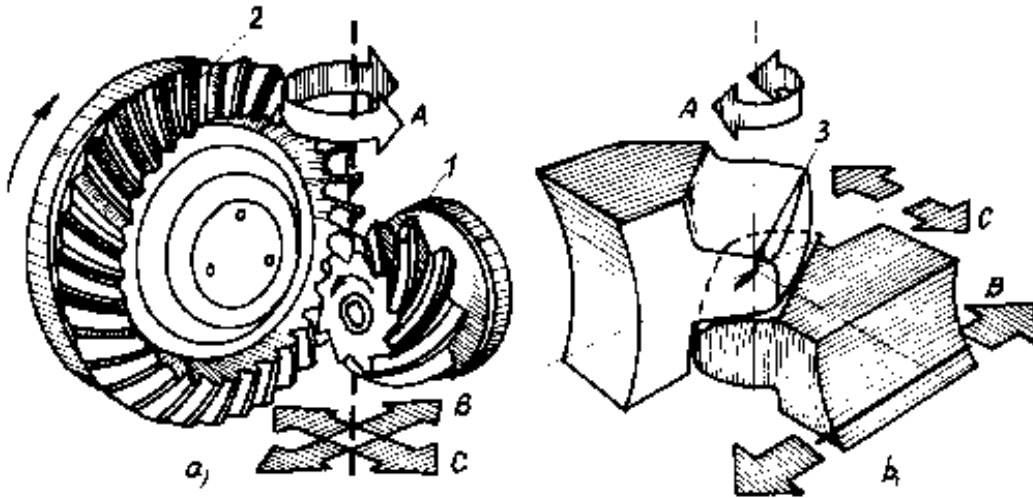


Fig.6.74.

Mașina de rodat (tip Gleason) lucrează cu roți pereche. Pinionul (1) fixat în păpușa conducătoare, execută o mișcare de rotație în jurul axei sale, o mișcare de rotație (A) și o deplasare (C). Roata (2) fixată în axul condus, în timp ce se rotește, se deplasează în lungul axei pinionului (săgeata B).

În fig.6.75. se prezintă schema rodării dinților roților dințate conice în angrenare în absența mișcării de rotație (A) (din fig.6.74.).

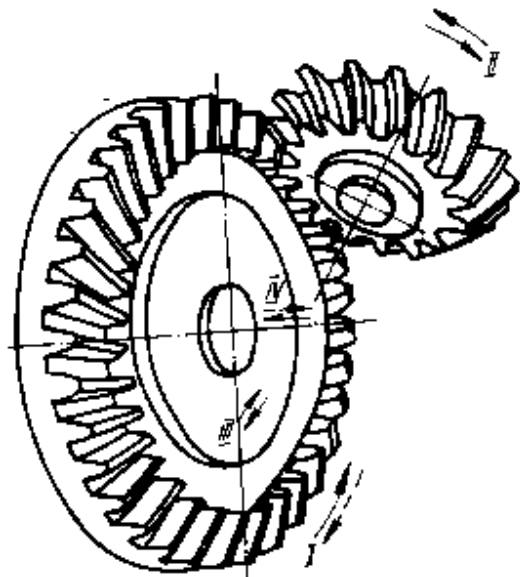


Fig.6.75.

Roțile se rotesc în jurul axelor lor (mișcarea I și II) și execută simultan mișcările oscilatorii (III) și (IV) modificându-și neconținut poziția relativă a dinților. Datorită mișcării oscilatorii (III), zona de contact al dinților se deplasează în lungul dinților, iar datorită mișcării (IV) aceasta se deplasează pe înălțimea lor, acoperind întreg flancul. Rodarea se execută în prezența unei paste abrazive, contactul dinților asigurându-se printr-un moment rezistent aplicat arborelui condus. Mărimea stratului de metal îndepărtat prin rodare ajung până la 0,03 (mm), timpul de rodaj fiind de 1÷3 minute.

6.4.2.3. Honuirea dinților roților dințate tratate termic

Este o metodă de înaltă productivitate aplicată la netezirea flancurilor dinților, permițând ridicarea calității suprafeței ($R_a=1,6\div 0,4 \mu\text{m}$) și micșorarea zgomotului în angrenaj.. De asemenea prin honuire se îndepărtează oxizii proveniți din tratamentul termic, putând corecta micile deformări ale pasului și ale excentricității. Spre deosebire de rectificare, la honuire nu se produce o încălzire mai pronunțată a flancului, evitându-se astfel eventualele fisuri, arsuri sau "pete moi", ce ar putea să apară în cazul supraîncălzirii locale, roțile dințate honuite fiind lipsite de efectele modificării microstructurii și a tensiunilor interne.

Adaosul de prelucrare pe flancul dintelui se lasă de $0,01\div 0,02(\text{mm})$ până la $0,05 \text{ mm}$.

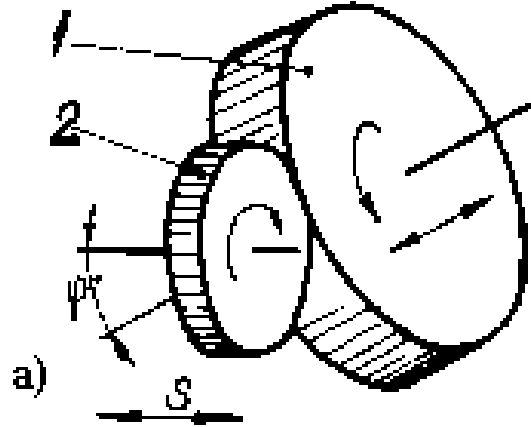


Fig. 76.a.

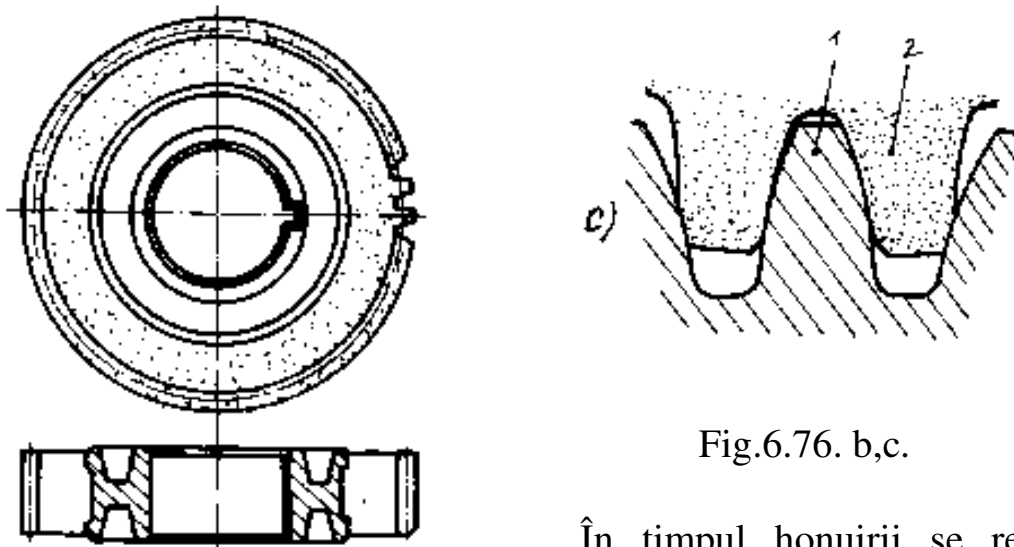


Fig.6.76. b,c.

În timpul honuirii se realizează angrenarea dintre roata de honuit (2) și scula (1) - discul de honuit (conform fig.6.76.a.). Scula de honuit este realizată sub forma unei roți dințate cilindrice cu dinți drepte sau înclinați (fig.6.76.b.), care angrenează piesa după schema din fig.6.76.c., păstrând un joc la fund de $0,2 \text{ mm}$.

Discul abraziv și roata se rostogolesc în ambele sensuri, având ambele deplasări axiale (sau numai una din ele), în funcție de modelul mașinii de honuit pe care se realizează prelucrarea. Honuirea se realizează în două variante:

- a) honuirea unilaterală (fig.6.77.a)

b) honuirea bilaterală (fig.6.77.b)

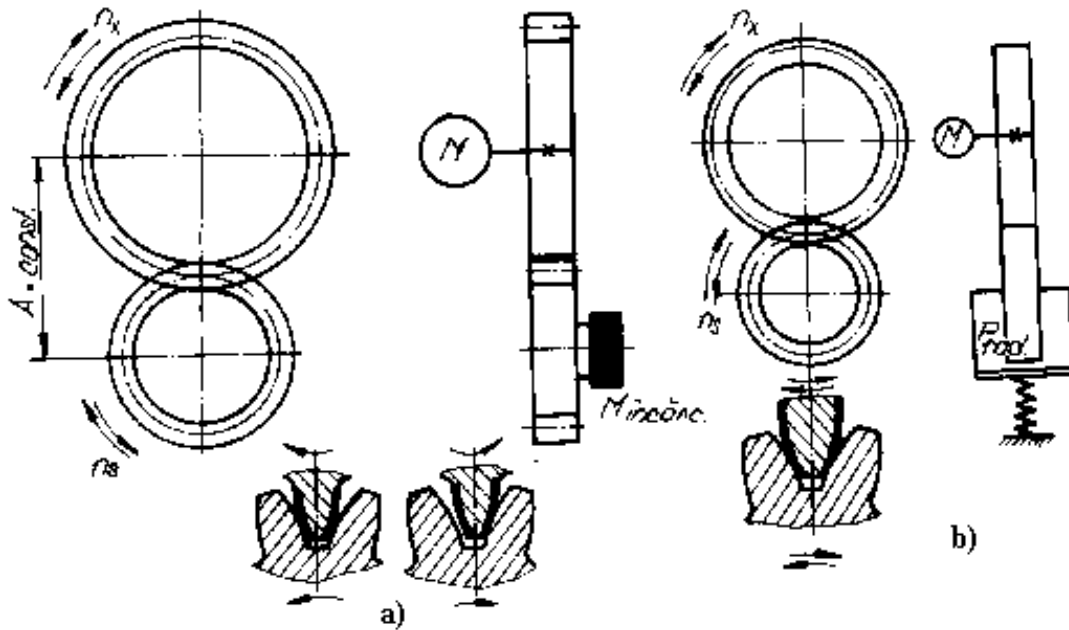


Fig.6.77.

În primul caz se recurge la încărcarea tangențială cu sarcină, datorită unui moment.

$M_{încărc.} = 0,15 \div 1,5$ (daN.m) aplicat la roată, iar în al doilea caz se utilizează încărcarea radială a roții de prelucrat cu sarcină radială:

$F_{rad.} = 1 \div 40$ (daN), forța radială optimă fiind în jurul valorilor:
 $F_{rad.opt.} = 15 \div 20$ (daN)

Viteza periferică, parametru de bază al regimului de așchiere, cu influență directă asupra productivității prelucrării, poate atinge valori de $5 \div 15$ (m/s) la honuirea roților dințate utilizate în construcția de automobile și mașini-unelte. La prelucrarea roților dințate de foarte mare precizie se utilizează viteze de $10 \div 15$ (m/s), pentru îmbunătățirea calității suprafeței.

Ca lichid de răcire-ungere se utilizează petrolul lampant.

Operația de honuire a roților dințate se aplică pentru prelucrarea roților dințate cu modul $m = 2 \div 6$ (mm); diametrele (d) cuprinse între $d = 30 \div 500$ (mm) și lățimi $b \leq 150$ (mm).

CAPITOLUL 7

7. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE DE MARE PRODUCTIVITATE

7.1. Generealități

Din literatura de specialitate, referindu-se la analiza eficienței utilizării mașinilor-unelte universale, cu comandă numerică sau a mașinilor-unelte automate (MUA), rezultă rentabilitatea justificată a folosirii lor un număr mai mare de piese, cheluielile fiind minime.

Deci, este firesc ca în prezentul capitol să ne ocupăm de categoria mașinilor unelte automate (în special a celor de fabricație românească- cu care sunt dotate unitățile industriale), precum și aspecte ale tehnologiilor pe linii automate.

7.2. Proiectarea proceselor tehnologice pe strungurile automate monoax cu cap revolver (tip SARO)

7.2.1. Considerații teoretice de bază

Strungurile automate cu cap revolver, în general și în special cele din familia SARO (de producție românească), sunt destinate pentru prelucrarea din bară calibrată sau din semifabricate individuale a pieselor de formă mai complexă, care necesită un număr mare de faze, în special prelucrări interioare cu scule axiale (găuriri, alezări, strunjiri interioare, filetări, etc.).

Aceste strunguri (din familia “SARO”), se caracterizează printr-un cap revolver în care se pot fixa mai multe portscule și un număr de 2÷5 sănii transversale (strungul SARO-16/b- are 5 sănii transversale).

Axa capului revolver poate fi orizontală și perpendiculară pe axa arborelui principal fie orizonatală și paralelă cu arborele principal sau verticală. În cazul de față, axa capului revolver este orizontală și perpendiculară pe axa arborelui principal (sistem Brown-Sharpe).

7.2.2. Metodica de proiectare a proceselor tehnologice

Constă în elaborarea planului de operații (principalul document tehnologic), pentru un reper dat.

Se are în vedere proiectarea ciclului de funcționare automată a sistemului tehnologic. În vederea acestui scop, se va respecta următorul traseu:

- stabilirea succesiunii fazelor să se facă în mod obișnuit (clasic) ca pentru orice proces tehnologic;
- după stabilirea acestei succesiuni (a fazelor) să se treacă la optimizarea lor (ca număr minim și ordine tehnologic-optimală)
- determinarea parametrilor regimurilor de așchiere (optimi) se va face analitic sau pe bază de tabele (conform tabelului I. fig.7.1.)
- se vor determina o serie de parametri necesari reglării sistemului tehnologic fie proiectării și realizării camelor. Acești parametri se vor calcula conform metodologiei prezentate în continuare:

Durata de lucru a fiecărei (I) scule, exprimată în număr de rotații ale axului principal (N_i);

$$\text{astfel: } N_i = \frac{L_i}{S_i} \quad [\text{rot}] \quad (7.1.)$$

unde: S_i [mm/rot] - avansul de lucru al sculei
 L_i [mm] - cursa de lucru a aceleași scule

Viteza de așchiere

Operații	Oțel extra-moale	Oțel moale 35 la 50 daN	Oțel semidur 60 la 70 daN	Oțel dur 80 la 90 daN	Ala mă	Al
Strunjit longitudinal	80 la 100	50 la 60	40 la 45	25 la 35	150	150
Strunjit profilare	80 la 100	50 la 60	40 la 45	25 la 35	150	150
Găurire	40 la 60	35 la 45	20 la 35	15 la 25	120	120
Alezare	40 la 60	35 la 45	20 la 35	15 la 25	120	120
Strunjit transversal	40 la 60	35 la 45	20 la 35	15 la 25	120	120
Filetare	20 la 30	10 la 15	6 la 12	5 la 9	60	60
Avansul admis în mm/rotație a arborelui principal						
Strunjire	0,10/0,30	0,08/0,25	0,06/0,20	0,05/0,15	0,10/0,40	0,10/0,40

longitud.						
Frezare adâncă	0,10/0,30	0,08/0,25	0,06/0,20	0,05/0,15	0,10/0,40	0,10/0,40
Strunjire profilare	0,01/0,05	0,01/0,05	0,01/0,04	0,01/0,03	0,02/0,06	0,02/0,060
Strunjire transvers	0,03/0,08	0,02/0,06	0,02/0,06	0,01/0,05	0,05/0,10	0,05/0,100
Centruire	0,10/0,30	0,08/0,25	0,06/0,20	0,04/0,15	0,10/0,40	0,10/0,400
Găurire	0,10/0,30	0,08/0,25	0,06/0,20	0,04/0,15	0,10/0,40	0,10/0,400
Alezare	0,20/0,80	0,15/0,60	0,10/0,50	0,05/0,40	0,20/0,80	0,20/0,800
Raport de filetare	5	5	5	5	2,5	2,5

Fig.7.1.

$$L_i = l_i + l^* \quad (7.2.)$$

unde: l_i [mm] - lungimea suprafeței care se prelucrează cu o anumită sculă

l^* [mm] - distanța de siguranță necesară evitării ciocnirii sculei de piesă în mișcarea de avans rapid

* se poate lua $l = 0,5 + 1$ [mm]

În cazul filetării cu avans forțat vom avea:

$$N_i' = \frac{L_i}{P} \cdot u \quad ; \quad N_i'' = \frac{L_i}{P} \cdot u \quad (7.3.)$$

P [mm] - pasul filetului

N_i - nr. de rotații la cursa de filetare

N_i'' - nr. de rotații la retragerea sculei de filetat

u - raportul de reducere a turației de lucru (la filetare) față de turația la care se realizează retragerea sculei.

Durata așchierii piesei (măsurată în număr de rotații ale axului principal) se determină cu relația:

$$N = \sum_{i=1}^{q_n} N_i \quad [\text{rot}] \quad (7.4.)$$

în care: q_n - nr. sculelor care nu se suprapun în timpul prelucrării

Determinarea unghiurilor de pe camă corespunzătoare curselor de gol sau de lucru se face astfel:

$$\sum_{i=1}^q \alpha^{\circ} = D - \sum_{i=1}^a \beta_i \quad (7.5.)$$

unde: a - nr. mișcărilor de gol

$\alpha^{\circ}_I, \beta^{\circ}_I$ - diviziunile corespunzătoare curselor de lucru (respectiv de gol)

D - nr. de diviziuni în care se împarte periferia camei (D=360 diviziuni- la strungurile de tip SARO)

q - nr. sculelor pe camă

În vederea determinării diviziunilor corespunzătoare mișcărilor de gol se estimează mai întâi timpul total necesar prelucrării piesei cu ajutorul relației:

$$\tau = \frac{N}{n} \cdot 60 + \sum_{i=1}^a \tau_{gi} \quad (7.6.)$$

n [rot/min] - viteza de rotație a axului principal

τ_{gi} [sec] - timp de gol

Se vor lua (pentru SARO 6/b) după cum urmează:

- defacerea, avansarea și strângerea barei..... 0,5 [sec]
- schimbarea sensului de rotație al arborelui principal... 0,25 [sec]
- rotirea turelei..... 0,5 [sec]
- retragerea cuțitului de retezat..... 0,5 [sec]

Pentru timpul calculat τ (conform relației 7.6.) se lucrează cu tabelul II fig.7.2.

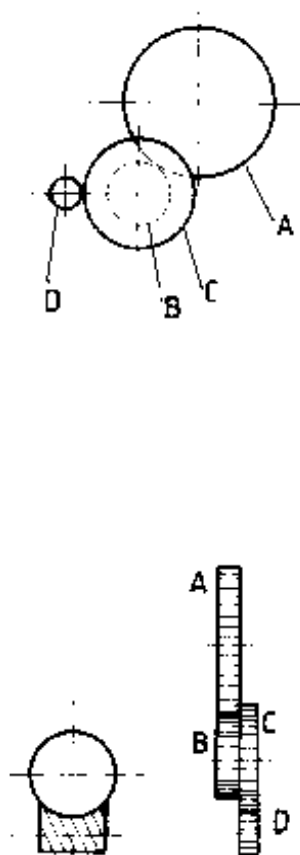
Unghiurile (β_i) se pot determina cu ajutorul datelor din tabelul III. fig.20.3., deci se poate calcula:

$$\left(\sum_{i=1}^a \beta_i \right)$$

Care sunt mișcărilor de gol (neproductive), pentru care trebuie stabilite unghiurile (β_i):

- alimentare cu semifabricat (inclusiv defacerea și strângerea barei)
- rotirea capului revolver
- inversarea sensului de rotație al axului principal (dacă e cazul, ca la filetare). Se recomandă 4°.
- retragerea cuțitului de retezat (sfârșit de ciclu) [aici se recomandă unghiul constant de 12°]

Numărul total de rotații ale axului N_i , corespunzător timpului total de prelucrare a piesei (corespunzător unei rotiri cu 360° ale axului cu came), se determină cu relația: (7.7.).



Numărul de dinți al roților de schimb				Tim t_p [sec]	Numărul de dinți al roților de schimb				Tim t_p [sec]
A	B	C	D		A	B	C	D	
80	40	75	30	3	50	75	60	90	34
80	40	90	50	4	50	60	45	90	36
75	50	80	40	5	40	80	55	70	38
75	60	80	40	6	50	75	45	80	45
60	75	80	30	7	60	70	40	100	44
50	80	90	30	8	50	90	45	80	48
80	40	50	60	9	60	70	30	90	52
40	80	90	30	10	40	75	45	90	56
60	75	85	50	11	45	90	40	80	60
80	70	55	50	12	55	80	30	90	65
80	55	50	65	13	30	70	45	90	70
80	40	50	90	14	30	75	45	90	75
45	90	80	40	15	45	80	30	90	80
75	40	45	90	16	45	75	25	90	90
70	40	45	90	17	30	80	40	100	100
75	45	40	80	18	45	80	24	100	110
70	55	50	85	20	40	80	25	100	120
50	80	60	55	22	40	90	25	100	135
75	60	40	80	24	30	75	25	100	150
75	65	40	80	26	30	80	25	100	165
40	80	75	70	28	30	90	25	100	180
50	80	60	75	30	24	80	25	100	200
75	60	30	80	32					

Viteza rapidă constantă=10 rot/min Arbore cu came

Fig.7.2.

Grade necesare pentru: 1. rotație a turelei și alimentare				
Timpul de lucru în secunde	Sfârșitul urcării și începutul urcării următoare pe aceeași rază și alim.	Raza sfârșitului urcării mai mare ca raza începutului urcării următoare		
		Pentru raza de început urcare de:		
		70-92,5	55-70	40-55
3	68	68	68	68
4	53	53	53	53
5	44	44	44	44
6	38	38	38	38
7	34	34	34	34
8	31	31	31	31
9	28	28	28	28
10	26	26	26	26
11	23	23	23	23
12	21	21	21	21
13	20	20	20	20
14	19	19	19	19
15	18	18	18	18
16	17	17	17	17
17	16	16	16	16
18	15	15	15	15
20	14	14	14	15
22	14	14	14	15
24	13	13	13	15
26	12	12	12	15
28	12	12	12	15
30	11	11	12	15
32	11	11	12	15
34 la 38	10	11	12	15
40 la 48	9	11	12	15
52 la 70	8	11	12	15
75 la 110	7	11	12	15
120 la 200	6	11	12	15

Fig.7.3.

$$N_i = \frac{360 \cdot N}{\sum_{i=1}^q \alpha_i^0} \quad [\text{rot}] \quad (7.7.)$$

unde $\sum_{i=1}^q \alpha_i^0$ se va calcula cu relația (7.5.).

Timpul total necesar prelucrării piesei (recalculat pe baza tabelului II- unde se găsesc și roțile de schimb) se exprimă astfel:

$$\tau_r = \frac{N_T \cdot 60}{n} \quad [\text{sec}] \quad (7.8.)$$

Timpul total astfel calculat τ_r , trebuie rotunjit la cea mai apropiată valoare τ_a găsită cu ajutorul tabelului II (fig.7.20.).

Dacă $\tau_a \neq \tau_r$ trebuie modificat datele precedente astfel:

- a) Dacă $\tau_a \neq \tau_r$, atunci ar trebuie să se mărească numărul gradelor neproductive pentru a se obține timpul τ_a .

Se va proceda astfel:

- deoarece timpul productiv (de bază) τ_b este mereu constant:

$$\tau_b = \frac{N \cdot 60}{n} \quad [\text{sec}] \quad (7.9.)$$

va rezulta că timpul de gol total va fi:

$$\tau_{gt} = \tau_a - \tau_b \quad (7.10.)$$

pentru a transforma acest timp neproductiv în număr total de grade (neproductive), se va utiliza relația:

$$[s] \beta_i = \frac{\tau_{gt} \cdot 360}{\tau_a} \quad (7.11.)$$

întrucât inițial am avut $\sum_{i=1}^a \beta_i^0$, rezultă că diferența suplimentară de grade neproductive $\Delta \beta_I$ va fi:

$$\Delta \beta_i = [s] \beta_i - \sum_{i=1}^a \beta_i \quad (7.12.)$$

aceasta (relația 7.12.), trebuie repartizată în mod corespunzător la valorile inițiale ale unghiurilor neproductive.

- b) Dacă $\tau_a < \tau_r$, atunci trebuie mărită productivitate (adică unul din parametrii: - avansul sau avansurile de lucru

- întrucât numărul de grade neproductive trebuie să rămână aceleași (nemicșorate), adică $\sum_{i=1}^a \beta_i^o$, rezultă că timpul total neproductiv τ_{gt} va fi:

$$\tau_{gt} = \frac{\sum_{i=1}^a \beta_i \cdot \tau_a}{360} \quad (7.13.)$$

astfel timpul de bază recalculat va deveni:

$$\tau_{br} = \tau_a - \tau_{gt} \quad (7.14.)$$

la acest timp va corespunde un număr de rotații recalculat (N_r) ale arborelui principal:

$$N_r = \frac{\tau_{br} \cdot n}{60} \quad (7.15.)$$

întrucât inițial se calculase un număr N de ture, rezultă, că diferența de ture:

$$\Delta N = N - N_r \quad \text{trebuie eliminată.}$$

Această eliminare se poate face scăzând ΔN din numărul N_i de ture corespunzătoare unei singure faze, sau scăzând ΔN din numerele N_i de ture corespunzătoare mai multor faze. Această modificare, evident, atrage după sine și schimbarea avansului conform relației (7.1.).

$$N_i = \frac{L_i}{S_i} \quad [\text{rot}]$$

- cunoscându-se unghiurile β_i se poate determina suma $\sum_{i=1}^q \alpha_i^o$.

- unghiurile α_i corespunzătoare curselor de lucru se pot determina acum folosind relația:

$$\alpha_i = \frac{N_i \left(D - \sum_{i=1}^a \beta_i \right)}{N} \quad (7.16.)$$

unde: N_i , N (sau N_r), β_i au valorile definitive (conform celor două cazuri).

Referitor la proiectarea camelor, razele de început (R_i) și de sfârșit (R_s) de cursă pe camă, se calculează astfel:

$$R_{Si} = R_{fi} + h \quad (7.17.)$$

$$\text{unde: } h = L_i - u_l \quad (7.18.)$$

în care: indicele "i" se referă la faza "i".

u_1 - este raportul brațelor pârghiei de transmitere a mișcării de la camă la sania (se ia în mod obișnuit $u_1 = 1$).

Razele de început și sfârșit de cursă se pot determina cunoscându-se dimensiunile ansamblurilor sculă-portsculă, precum și cunoscând schema de prelucrare, după care capul revolver este la distanța cea mai mică față de fața frontală a axului.

Considerând că pentru faza “K”, capul revolver este în poziția cea mai apropiată față de ax (conform fig.7.4.), va rezulta, că raza de sfârșit a camei pentru această fază va fi maximă, deci:

$$R_{SK} = R_{max} \tag{7.19.}$$

R_{max} - constantă a mașinii (diametrul semifabricatului-disc necesar confecționării camei)

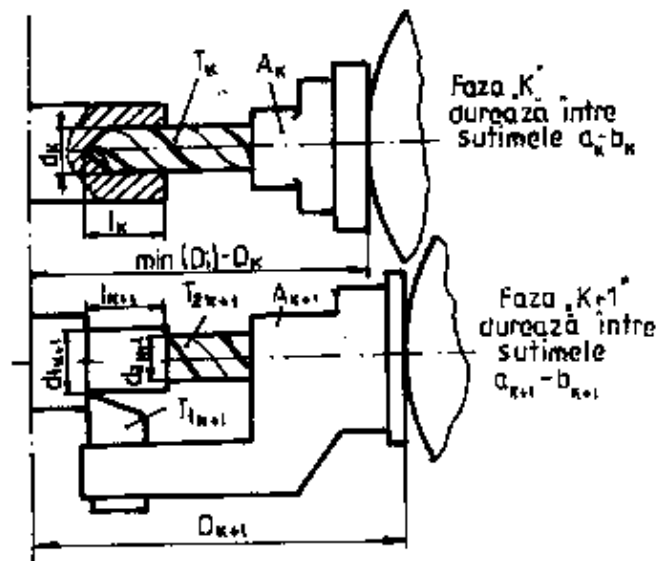


Fig.7.4.

rezultă deci imediat:

$$R_{IK} = R_{SK} - h_K \tag{7.20.}$$

Pentru celelalte faze, razele de sfârșit și de început de cursă se determină astfel:

$$R_{SK+1} = R_{SK} - (D_{K+1} - D_K) \tag{7.21.}$$

$$R_{IK+1} = R_{SK+1} - h_{K+1}$$

relațiile (7.21.) se referă la faza imediat următoare lui “K”, adică “K+1”, fiind valabile și pentru celelate (vezi fig.7.8.).

Construcția camei:

Așa cum se vede din (fig.7.5.), curba de profilare a porțiunii de urcare pe camă, corespunzătoare avansului tehnologic, acesta trebuie să fie o spirală (arhimedică).

În fig.7.6. se observă porțiunile de urcare și coborâre rapidă ale camelor. Acestea se construiesc după șabloanele mașinii. Dup metodologia prezentată (anterior) se pot construi atât cama capului revolver, cât și camele care comandă celelalte sănii.

În fig.7.7., tabelar se dau date suplimentare legate (necesar) de proiectarea camelor (specifice strungului automat SARO 16/b).

Planul de operații (model) este prezentat în tabelul IV. fig.7

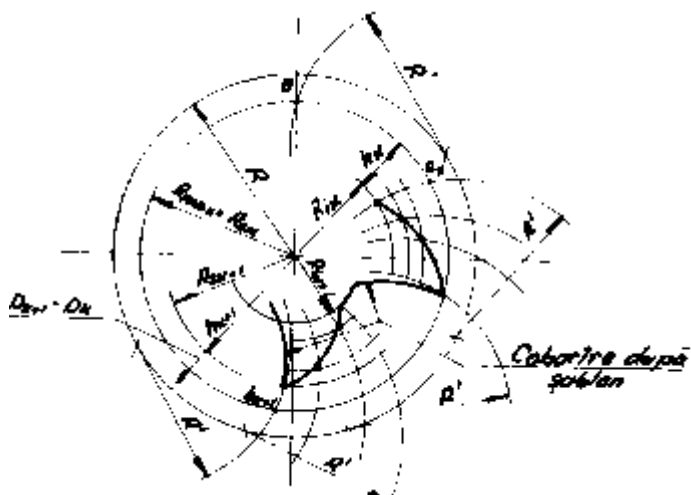


Fig.7.5.

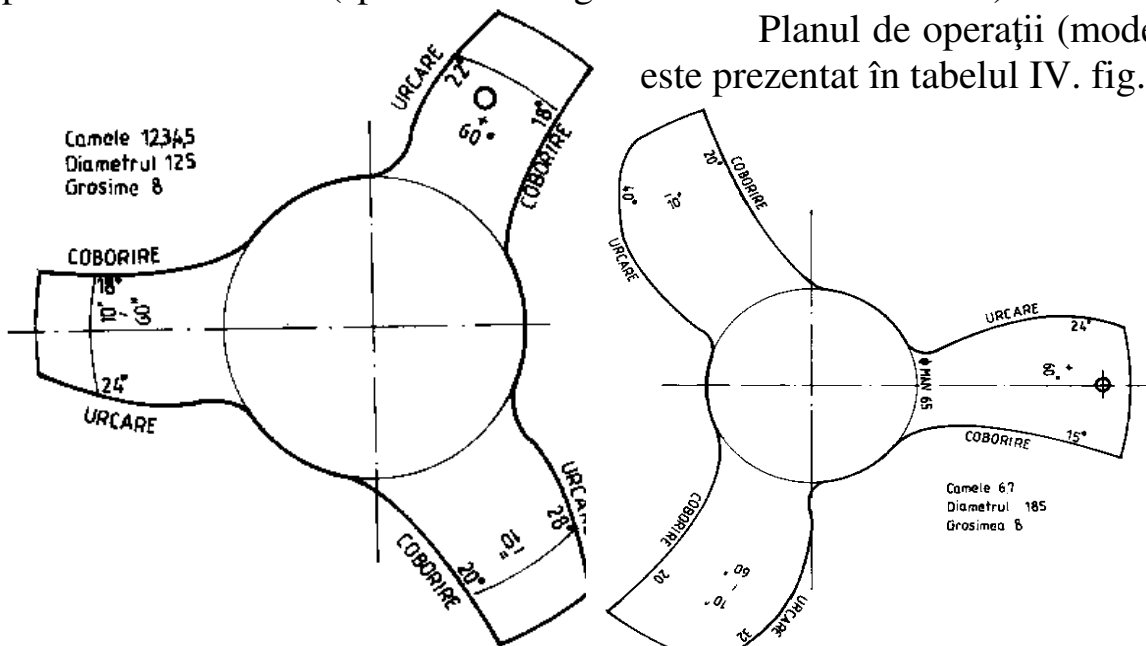
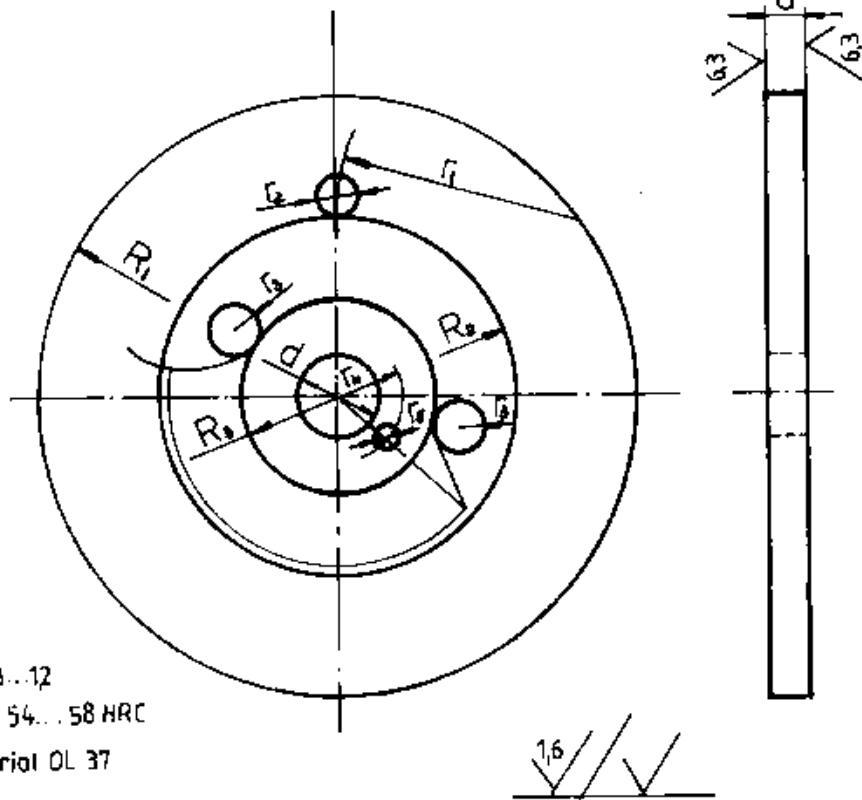


Fig.7.6/a.

Fig.7.6/b.

**CAME PENTRU STRUNG
AUTOMAT
SARO 16b și SARO 25**



	R_1	R_2	R_3	d	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	a
Camă cap revolver	120	92,5		$32^{+0,025}$	95		8,5	22	$7^{+0,1}$	8
Camă supl. pt. sup. Spate	120	92,5		$32^{+0,025}$	95		8,5	22	$7^{+0,1}$	8
Camă suport spate	105	62,5	32,5	$28^{+0,021}$	85	16	8,5	22	$7^{+0,1}$	8
Camă suport față	105	62,5	32,5	$28^{+0,021}$	85	16	8,5	22	$7^{+0,1}$	8
Camă suport vertical	105	62,5	32,5	$28^{+0,021}$	85	16	8,5	22	$7^{+0,1}$	8

CONDIȚII TEHNICE

- 1- Circumferința camei este împărțită în 360°
- 2- Curbele de lucru se vor construi după spirala lui Arhimede
- 3- Curbele de urcare și coborâre rapidă după șablonul
- 4- Toleranțele curbelor: unghiulare ± 15 ; liniare $\pm 0,1$
- 5- Muchiile se vor rotunji $R0,3$
- 6- Tratamentul se va face după încercarea camei pe mașină
- 7- După tratament perimetrul camei se va curăța

Fig.7.7.

7.3. Procedee tehnologice de prelucrare pe linii automate

Prin linie tehnologică automată se înțelege o succesiune de mașini-unelte cu funcționare automată (cel mai frecvent se întâlnesc mașinile-unelte agregat), cu funcționare simultană și totodată sincronă în scopul prelucrării totale sau parțiale a unor semifabricate, fără participarea omului, doar sub supravegherea lui.

Totalitatea mașinilor-unelte, unde se desfășoară prelucrările propriu-zise alcătuiesc posturile de lucru ale liniei automate.

În afara posturilor de lucru, linia automată mai conține și posturi de control, de deservire, de curățire, reparare, rotirea piesei, staționare intermediară, etc. Aceste posturi se mai numesc neactive.

De asemenea, orice linie automată mai dispune de mecanisme de strângere a semifabricatului, de rotire a acestuia (dacă este cazul), precum și de transport (linia de transfer a piesei de la un post la altul).

Pe linia de transfer, semifabricatul poate avea o deplasare intermitentă (pentru prelucrări de burghiere, lărgire, alezare, filetare, etc.).

Tipul mașinilor-unelte utilizate influențează metoda de transport, ca de altfel și ritmul liniei. Sistemele de transport pot fi foarte diferite, de la simple tuburi și jgheaburi, până la cele mai complicate linii de transfer. Cele mai întâlnite sisteme de transport sunt:

- benzile transportoare, căile cu role, conveierele, etc. Sunt necesare și mecanisme sau dispozitive de împingere și deplasare forțată și dirijată, acționate mecanic, electric, hidraulic sau pneumatic.

După cum se știe, în baza programului (volumului) anual de fabricație N [buc/an], se poate stabili cât trebuie să fie productivitatea liniei tehnologice (Q_1).

Astfel:

$$Q_1 = \frac{1}{R_1} \quad (7.22.)$$

unde:

R_1 [min/buc] este ritmul liniei

În situația în care echipamentele tehnologice din linie au o productivitate bine cunoscută q_m [buc/min], atunci numărul de fluxuri (n_f) (lucru în paralel) se poate determina astfel:

$$n_f = \frac{1}{q_m \cdot R_1} \quad (7.23.)$$

În cazul liniilor tehnologice automate cu număr mare de mașini, pentru evitarea întreruperilor totale în funcționarea liniei automate,

acestea se împart în sectoare (mai ales liniile cu sistem de transport rigid al pieselor), prevăzute fiind cu stocuri de semifabricate.

De exemplu, la prelucrarea diferitelor găuri filetate ale unui bloc-motor (de la motorul unui autocamion) acesta se poate realiza (vezi fig.7.8.) pe o linie automată alcătuită din trei sectoare (excluzând aici celelalte prelucrări). De regulă, această linie automată este alcătuită din mașini-unelte agregat bilaterale echipate cu capete de găurit și filetat multi-ax (fig.7.9.)

Între sectoare sunt prevăzute posturi cu dispozitive de rotire a blocului-motor în vederea obținerii pozițiilor necesare prelucrărilor.

De asemenea la începutul primului sector (I) și sfârșitul ultimului sector sunt prevăzute posturi pentru încărcarea respectiv descărcarea manuală a blocurilor-motoare.

Deplasarea blocului de la un post la altul se realizează la intervale de timp egale cu ritmul liniei (R_1), prin tragerea blocului pe două ghidaje dispuse în lungul liniei, cu ajutorul unor pârghii cu clicheți, acționate hidraulic.

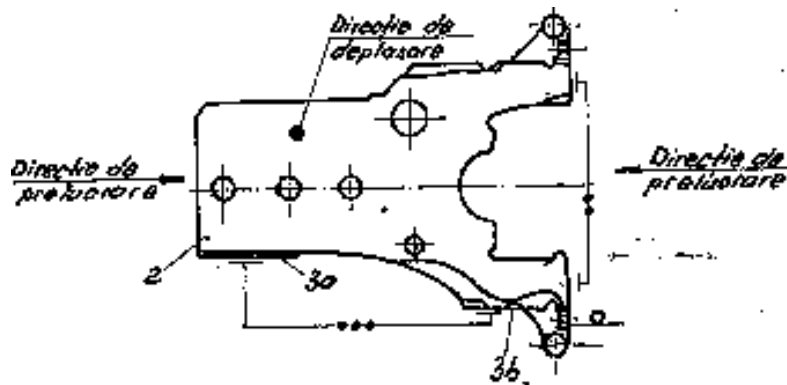


Fig.7.8.

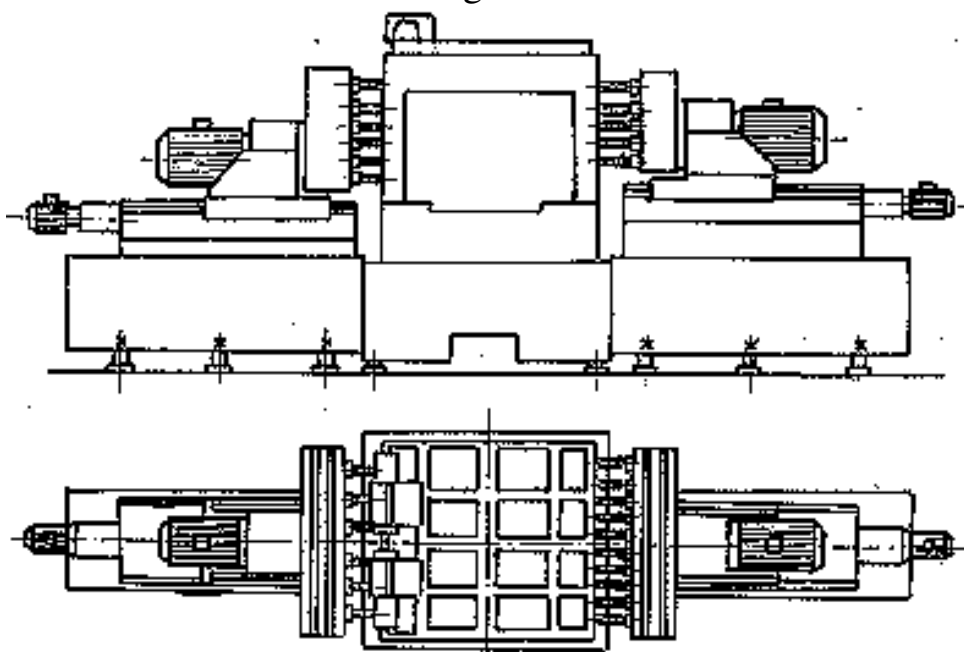


Fig.7.9.

În fig.7.10. se prezintă primul sector (I) al liniei, având 12 posturi de lucru (de la I-1 la I-12), fără postul de încărcare.

În acest prim sector (I) al liniei se realizează operații de burghiere, lamare, lărgire, teșire, controlul prezenței găurilor, curățirea pneumatică (suflare) a așchiilor, filetarea cu tarodul. Poziția semifabricatului este cea din fig.7.8. Agregatele din acest sector sunt agregate bilaterale asemănătoare (vezi fig.7.9.).

Sectorul al II-lea al liniei (II) are 11 posturi de lucru (în afară de postul de trecere de la sectorul I la II unde se face schimbarea poziției de deplasare a piesei pe linie).

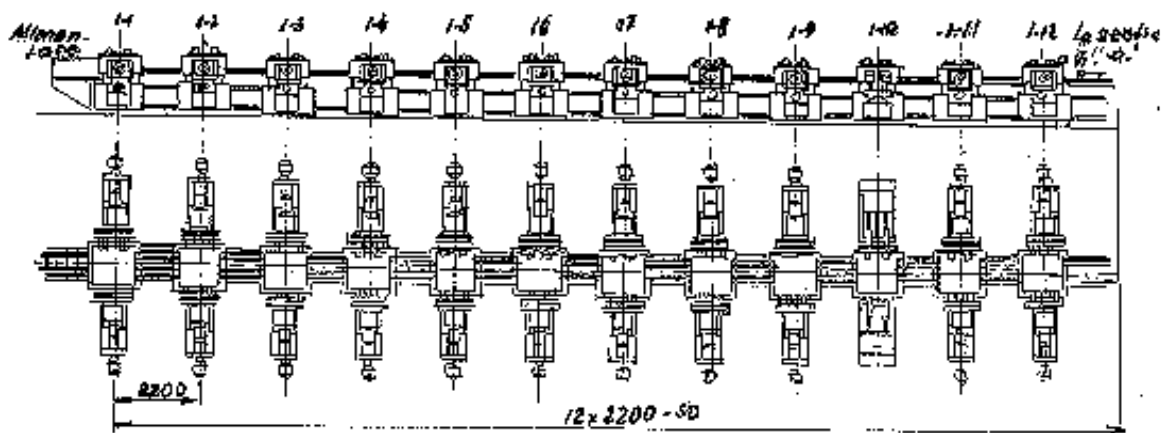


Fig.7.10.

În fig.7.11. se poate vedea sectorul II al liniei.

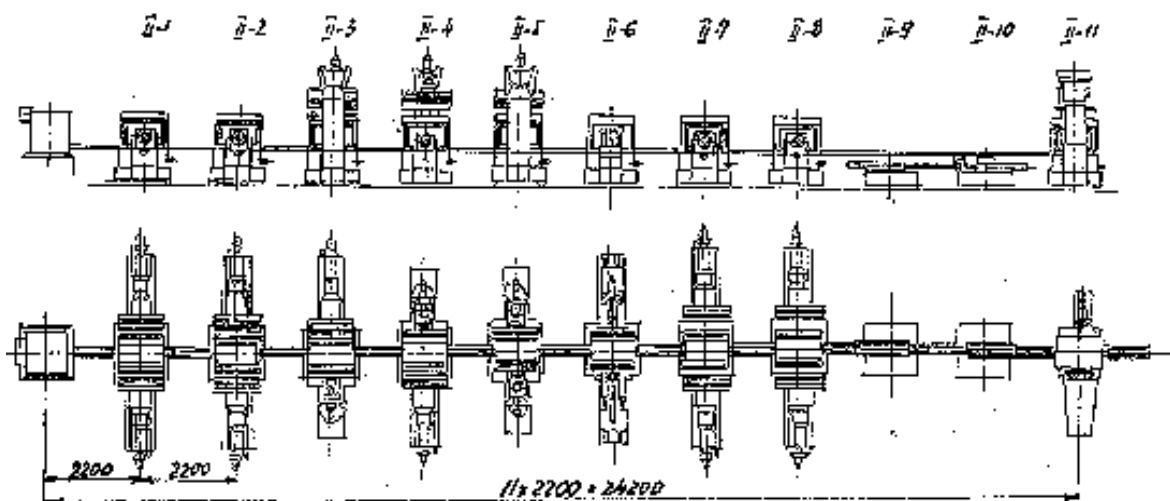


Fig.7.11.

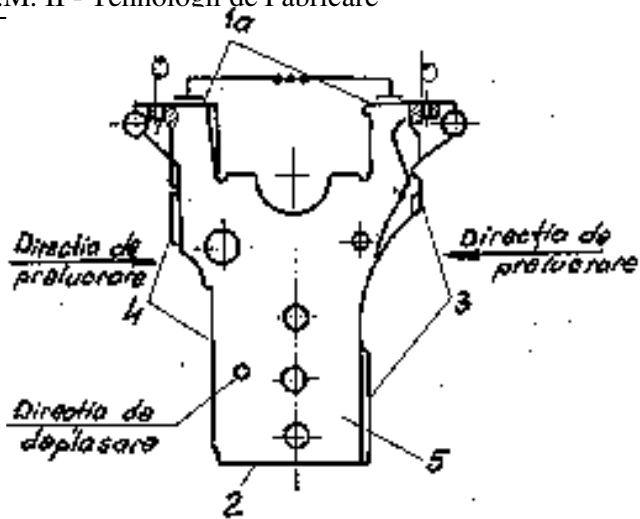


Fig.7.12.

Aici se execută prelucrări de burghiere, burghiere, lamare, lărgire, controlul prezenței găurilor, suflarea așchiilor, teșire și tarodare (filetare). La ultimele posturi se execută operația pregătitoare în vederea prelucrării pe ultimul sector (curățirea manuală a blocului, montarea unor capace și strângerea șuruburilor

acestora). Poziția, în această situație, a blocului motor este cea redată în fig.7.12.

Al treilea sector al liniei (fig.7.13.) are 8 posturi de lucru și un post de rezervă. La capătul de intrare se află postul de schimbare a poziției blocului, iar la capătul de ieșire este postul de descărcare manuală a blocului.

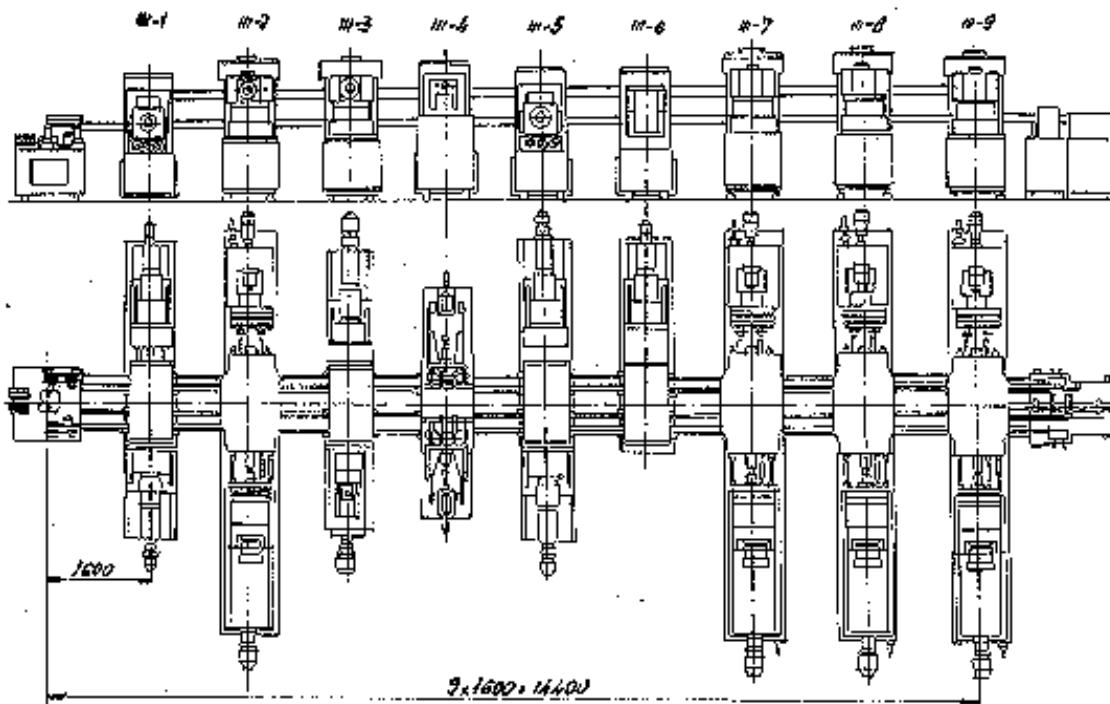


Fig.7.13.

Poziția de lucru a blocului este redată în fig.7.14.

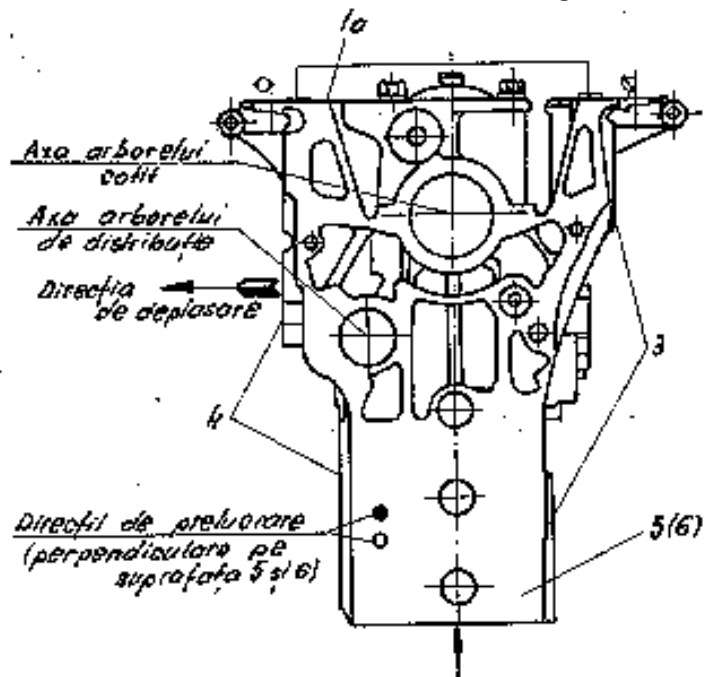


Fig.7.14.

Pe această porțiune a liniei (sectorul III) au loc prelucrări de burghiere, lărgire, lamare, teșire, tarodare, strunjire, etc. Și aici sunt prezente posturile de control al prezenței găurilor și curățire de așchii.

Pentru agregatele de burghiat ciclograma de funcționare este următoarea: - ridicarea și strângerea blocului în dispozitivul fix; avansul rapid al unităților laterale (din dreapta și stânga); avansul tehnologic al unităților laterale; retragerea rapidă al unităților laterale; slăbirea și coborârea blocului. Ciclogramele celorlalte agregate sunt cu structuri identice. Desigur, așa cum s-a mai amintit, la agregate se folosesc sculele combinate. Legat de normele de exploatare se amintește că durabilitatea sculelor se recomandă a fi mai mică de 4 ore.

Este însă recomandat ca în cadrul unui sector al liniei tehnologice să se execute operații asemănătoare, iar bazele tehnologice să fie aceleași.

Desigur, nu se omite a fi amintită contribuția roboticii prin proiectarea roboților industriali, meniți să înlocuiască munca manuală (la cap de sector sau linii), fie să înlocuiască prezența factorului uman în zone dificile ca acces sau cu periclitate sporită. Aceasta constituie o problemă de mare perspectivă în viitorul tehnologiilor de mare productivitate.

BIBLIOGRAFIE - PARTEA I

1. ALBU, A.; JEICAN, C; GRUITA D.; MORAR, L. - "Programarea asistată de calculator a mașinilor-unelte", Editura Tehnică, București, 1980
2. AELENEI, M.; GHEGHEA, I. - "Probleme de mașini-unelte și așchiere", vol. I și II, Editura Tehnică, 1978
3. BASTUREA, GH.; DODON, E. - "Comanda numerică a mașinilor-unelte", Editura Tehnică, București, 1976
4. BARANOV, B.A. ș.a. - "Normarea tehnică în uzinele constructoare de mașini", Editura Tehnică, București, 1960
5. BOLLINGHAUS, T. - Manufacturing Engineering, Springer Handbook of Mechanical Engineering, 2009
6. BOTEZ, E. - "Mașini unelte", vol. II, Automatica, Editura Tehnică, București, 1972
7. BOTEZ, E.; DROIN Al. - "Tehnologia programării numerice a mașinilor-unelte", Editura Tehnică, București, 1973
8. BRAGARU, A.; ș.a. - SEFA - DISROM - "Sistem și metodă , teoria și practica proiectării dispozitivelor, pentru prelucrări pe mașini-unelte", Editura Tehnică, București, 1982
9. CALEA, G.; DRIMER, D.; AMZA, G.; GLADCOV, P. - "Tehnologie mecanică (pentru secțiile de subingineri)" Editura didactică și pedagogică - București, 1978
10. CHIRIACESCU, S.T. - " Stabilitatea în dinamica așchierii metalelor" București, Editura Academiei RSR - 1984
11. CHIRIACESCU, S.T. - "Automatizarea proceselor tehnologice" Universitatea Brașov, 1975
12. CIOCÂRDIA, C.; UNGUREANU, I. - "Bazele cercetării experimentale în tehnologia construcțiilor de mașini", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
13. DUMUTRAȘ, C.; MILITARU, C. - "Așchiera metalelor și fiabilitatea sculelor așchietoare", Editura Tehnică, București, 1983
14. DEACU, L.; PAVEL, GH. - "Vibrații la mașini-unelte", Editura "Dacia" - Cluj-Napoca 1977
15. DRAGHICI, G. - "Bazele teoretice ale proiectării proceselor tehnologice în construcția de mașini", Editura Tehnică, București, 1971
16. DRAGHICI, G. - "Tehnologia construcțiilor de mașini", Editura didactică și pedagogică, București, 1977

- 17.DRAGHICI, G. - "Tehnologia tip a pieselor plane, în axe încrucișate, cu profil complex și elicoidal", Editura Tehnică, București,1977
- 18.DRAGHICI, G.; BUZATU, C. - "Îndrumar TCM pentru lucrări practice" Universitatea Brașov, 1978
- 19.ENACHE, Șt.. - " Calitatea suprafețelor prelucrate", Editura Tehnică, București, 1966
- 20.ENACHE, Șt.; BELOUSOV, V. - "Proiectarea sculelor așchietoare" Editura didactică și pedagogică, București, 1983
- 21.EPUREANU, A. - "Tehnologia fabricației mașinilor", Universitatea Galați, 1978
- 22.EPUREANU, Al.; PRUTEANU, O.; GAVRILAȘ, I. -"Tehnologia construcției de mașini", Editura didactică și pedagogică, București, 1983
- 23.GAVRILAȘ,I., ș.a. - "Tehnologii de prelucrare cu scule din materiale dure și extradure", Editura Tehnică, București, 1977
- 24.GAVRILAȘ,I., VIOCU,N. - "Tehnologia pieselor tip arbore, bucsă și disc pe mașini-unelte clasiceși cu comandă program", Editura Tehnică, București,1975
- 25.GAVRILAȘ,I. - "Precizia de prelucrare a pieselor prin așchiere cu secțiune verticală", Buletinul I.P.B. - 1973
- 26.GAVRILAȘ,I., VIOCU,N. - "Tehnologia de fabricație a roților dințate pe mașini-unelte clasice și cu comandă program", Editura Tehnică, București, 1983
- 27.GHEGHEA,I., TABARA,V., DORIN,Al., SANDU, A. - "Exploatarea și întreținerea mașinilor-unelte cu comandă după program", Editura Tehnică, București, 1975
- 28.GRAMA, L. - Tehnologia fabricării mașinilor - Curs - Vol.I. Institutul de Învățământ Superior Tg. Mureș, 1984
- 29.GRAMA, L. - Tehnologia Fabricării Mașinilor - Curs - Vol.II. Institutul de Învățământ Superior Tg.Mureș,1984
- 30.GRAMA, L. - "Tehnologia fabricării mașinilor" - Îndrumar de laborator, Institutul de Subingineri Tg. Mureș, 1985
- 31.GRAMA, L. - Tehnologia Construcției de Mașini-Tehnologii de Fabricare - Îndrumar de laborator, Universitatea Petru Maior Tg.Mureș, 1997
- 32.GRAMA, L. Tehnologii de Fabricare în Construcția de Mașini Editura Veritas, 1999 ISBN 973-97357-4-6
- 33.GROOVER, M.P., Fundamentals of modern manufacturing, Materials, Processes and Systems,Second Edition, USA 2002, ISBN 0-471-40051-3

- 34.HOLLANDA, D. - "Așchiere și scule așchietoare", Institutul de Învățământ Superior Tg. Mureș, 1982
- 35.HORVÁTH, M. - "Módszer egyélú forgácsolószerszámok úrtartalmának számítására", Gépgyártástechnológia, VIII.12 (dec) 556-560 (1967)
- 36.IVAN, N.V. - "Tehnologia fabricării mașinilor" vol 1, Universitatea Brașov, 1980
- 37.IVAN,N.V., PIUKOVICI,I., BUZATU,C. - "T.F.M. - îndrumar pentru lucrări practice", Universitatea Brașov, 1979
- 38.KALPAKJIAN, S. Manufacturing Engineering & Technology (6th Edition), 2010, ISBN 978-98106-814-49
- 39.LAZARESCU, D.I.- "Teoria așchierii metalelor și proiectarea sculelor" Editura Didactică și Pedagogică , București, 1964
- 40.NANU, A. ș.a. - "Manualul inginerului mecanic, Tehnologia construcției de mașini", Editura Tehnică, București, 1972
- 41.NICHICI,A., POPOVICI,V., NICA,M., ACHIMESCU,N., POPA,N., PAULESCU, Gh. - "Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini", Editura Facla, Timișoara, 1983
- 42.PETRICEANU, Gh. - "Tehnologia construcției de mașini", I.P.Cluj - 1969
- 43.PETRICEANU,Gh., GYENGE,Cs., MORAR,L. - "Tehnologia construcției de mașini, Îndrumar" - I.P.Cluj, 1974
- 44.POLLACK, H.W. - "Manufacturing and machine-tool operations (Second Edition)", 1979, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey - 07632-
- 45.PICOS,C., COMAN,Gh., SLATINEANU,L., GRAMESCU, T. - "Prelucrabilitatea prin așchiere a aliajelor feroase", Editura Tehnică, 1981
- 46.PICOS,C. - "Tehnologia construcției de mașini", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
- 47.PICOS,C., AILINCAI,Gh., BOHOSIEVICI,C., PRUTEANU,O., COMAN,Gh., BRANA,V., PARASCHIV,D. - "Calculul adaosurilor de prelucrare și al regimurilor de așchiere", Editura Tehnică, București,1974
- 48.PICOS,C., COMAN,Gh., PRUTEANU,O., BADEA, V. - "Tehnologia construcției de mașini, Probleme", Editura Didactică și Pedagogică, București,1976
- 49.PICOS,C., COMAN,Gh., DOBRE,Gh., PRUTEANU,O., RUSU,C., RUSU,St., TRUFINESCU,St.- "Normarea tehnică pentru prelucrări prin așchiere" Vol.1.- Editura Tehnică, 1979 și vol.2. Editura Tehnică, 1982

50. POPOVICI, C., SAVII, Gh., KILLMAN, V. - "Tehnologia construcției de mașini", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1967
 51. PRUTEANU, O., EPUREANU, Al., BOHOSIEVICI, C., GYENGE, Cs. - "Tehnologia fabricării mașinilor", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
 52. POPESCU, I., FETCHE, V. - "Regimuri de așchiere pentru prelucrări pe mașini-unelte" Vol. I, I.I.S.- Sibiu - 1980
 53. POPESCU, I., DIRZU, V. - "Regimuri de așchiere pentru prelucrări pe mașini-unelte" Vol. II, I.I.S.- Sibiu - 1980
 54. RĂDULESCU, Al., VLASE, A., NEAGU, C. - "Bazele tehnologiei mașinilor-unelte", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
 55. RĂDULESCU, V. R., ZGURA, Gh., UNGURELU, L., I. UNGUREANU - "Probleme de tehnologia construcțiilor de mașini", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
 56. SCHMIDT, R., BRECHER, C. - Self-optimising Systems, Integrative Production Technology, 2012
 57. SCSSHLOSSER, R., KLOCKE, F., LUNG, D. - Sustainability in Manufacturing – Energy Consumption of Cutting Processes, 2011
 58. STURZU, A., BĂDESCU, Gh., MILITARU, C., BRAGARU, A. - "Îndrumător practic uzinal și de laborator pentru controlul preciziei de prelucrare în construcția de mașini". Editura Tehnică, București, 1976
 59. TIRPE, Gh. - "Precizia prelucrării prin așchiere", Editura Tehnică, București, 1972
 60. TOLCENOV, T. V. - "Normarea tehnică în construcția de mașini", IDT, București, 1960
 61. TACHE, V., BRAGARU, A. - "Dispozitive pentru mașini-unelte, proiectarea schemelor de orientare și fixare a semifabricatelor", Editura Tehnică, București, 1976
 62. VLASE, A., STURZU, A., MIHAIL, A., BERCEA, I. - "Regimuri de așchiere, adaosuri de prelucrare și norme tehnice de timp", Editura Tehnică, 1983
 63. WANG, C., YAOXIONG, H., CONGXIN, L. - A manufacturing model of helical groove on rotary burr and universal post processing method, The International Journal of Advanced Manufacturing, 2006
- ***1] Dicționar cronologic al științei și tehnicii universale - Editura științifică și enciclopedică, București, 1979
- [www1] Documentație de specialitate - Internet, disponibil online:: www.springerlink.com

PARTEA II

– Tehnologii electrofizice și cu energie concentrată –

8. TEHNOLOGII NECONVENTIONALE CU ÎNDEPĂRTARE SAU CU DEPUNERE DE MATERIAL

8.1. Eroziunea electrică (electroeroziunea)

Se bazează pe acțiunea erozivă complexă a unor descărcări electrice amorsate în mod repetat, descărcări care apar între electrodul piesă și electrodul sculă în prezența unui lichid dielectric.

Astfel, dacă între electrozi se aplică o tensiune mai mare decât tensiunea de străpungere, care este determinată de distanța dintre aceștia, va apărea o descărcare electrică. În dreptul celui mai puternic câmp electric se formează un canal ionizat care, fiind bun conducător, permite trecerea curentului electric. În primele momente ale descărcării se produc o serie de fenomene al căror rezultat este un canal de plasmă (gaz puternic ionizat la temperaturi de 8.000÷12.000 K), care leagă cei doi electrozi.

Considerații electro-fizice în definirea procesului de eroziune

Eroziunea electrică este posibilă numai în următoarele condiții fizice:

a) introducerea directă a energiei electrice la suprafața obiectului prelucrat

- în acest scop se impune utilizarea unor materiale electroconductoare pentru obiectul de prelucrat (piesa) și pentru electrod (scula) care se caracterizează la tensiunea sursei de alimentare și realizarea condițiilor necesare pentru amorsarea descărcărilor electrice prin străpungere sau prin întreruperea unui contact.

b) introducerea dozată a energiei electrice prin impulsuri în zona: electrod - agent dielectric – obiect prelucrat.

- se realizează astfel o condiție necesară pentru localizarea acțiunii energiei descărcării și pentru dirijarea prelevării de material (din piesă). Pentru ca o eventuală dozare continuă a energiei electrice, la care efectul termic al descărcării se propagă treptat în întregul volum al obiectului de prelucrat, prelevarea nemaiputând fi localizată și nici dirijată, durata descărcărilor se limitează la valori sub 10^{-1} s.

c) polarizarea descărcărilor electrice în impuls

- în acest mod se ajunge la prelucrarea materialului, atât de la obiect (piesa) cât și de la electrod (scula). Evident se urmărește ca prelevarea materialului electrodului să fie mult mai mică (uzura relativă a electrodului – sculă să fie neglijabilă în raport cu cea a obiectului – piesă). Fenomenul se poate dirija prin conectarea obiectului și a electrodului la polaritățile corespunzătoare, fie utilizarea ca electrod a unor materiale cu rezistențe erozive mari și formarea pe suprafața acestora a unor pelicule protectoare contra eroziunii.

d) restabilirea continuă a stării inițiale în intervalul eroziv

- se urmărește ca descărcările să se poată repeta în timp, în condiții practic identice. Este necesar, astfel, să se impună asigurarea unei evacuări eficiente a produselor eroziunii și restabilirea distanței de amorsare a descărcărilor.

Studiul diagramei de impulsuri, de tensiune (V) respectiv curent (I), în arcul de descărcare electro – eroziv se face analizând diagramele din fig.8.1.1.

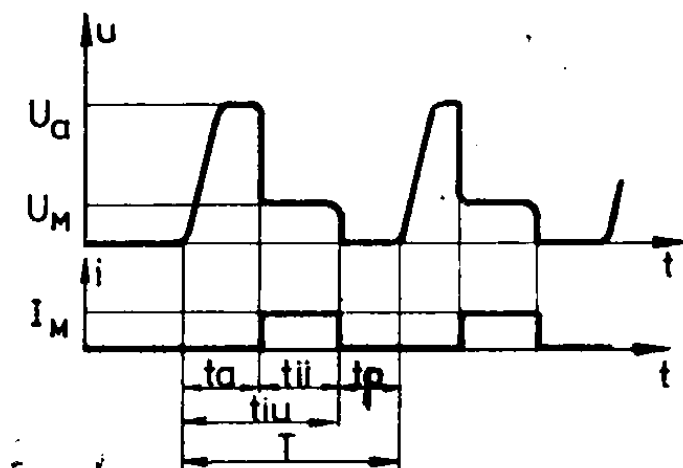


Fig.8.1.1.

Datorită mecanismului amorsării descărcărilor și a caracteristicilor circuitului de alimentare, variațiile tensiunii (V) și ale curentului electric (I) nu sunt simultane, ceea ce impune necesitatea diferențierii impulsurilor de tensiune de cele de curent.

Parametrii descărcării în impulsuri:

t_{iu} – durata impulsului de tensiune

t_{ii} – durata impulsului de curent

t_a – timpul de amorsare a descărcării

t_p – durata pauzei dintre impulsuri

T – perioada impulsurilor

$$T = t_{iu} + t_{ii} \quad (8.1)$$

U_a – tensiunea de amorsare a descărcărilor

U_M – valoarea tensiunii în momentul descărcării

I_M – valoarea curentului în timpul descărcării

Pentru ca descărcările să aibă loc separat, este necesar ca durata pauzei (t_p) dintre impulsuri, să fie mai mare decât timpul pentru deionizarea punții conductoare a descărcării și decât duratele proceselor electrice tranzitorii, determinate de caracterul capacitiv sau inductiv al circuitului de alimentare.

Mărimea caracteristică importantă a impulsurilor este coeficientul de umplere (raportul dintre durata și perioada impulsurilor), numit și coeficient al impulsurilor de curent K_i .

Expresia acestuia este:

$$K_i = \frac{t_{ii}}{T} = t_{ii} f \quad (8.2)$$

în care: $f = \frac{1}{T}$, este frecvența impulsurilor (s^{-1})

Aplicarea energiei în impuls, din punct de vedere fizic, permite concentrarea în timp a unei energii și puteri mari. Astfel, puterea maximă a impulsurilor P_M , este mai mare decât puterea medie a sursei P_m , conform relației:

$$P_M = \frac{1}{k_i} \times P_m \quad (\text{kw}) \quad k_i < 1 \quad (8.3)$$

În funcție de modul de amorsare și de caracterul descărcărilor electrice în impuls, se disting două variante de bază ale procedurii de prelucrare prin eroziune electrică:

1)– *prelucrarea cu descărcări amorsate prin străpungerea unui mediu dielectric*; acesta are două alternative:

- prelucrarea prin eroziune elastică *cu descărcări prin scânteie*, cu durata impulsurilor de curent $t_{ii} = 10^{-4} - 10^{-7}$ s, având coeficientul de umplere $K_i < 0,1-0,2$
- prelucrarea prin eroziune electrică *cu descărcări cu arc*, în care caz durata impulsurilor $t_{ii} = 10^{-1} - 10^{-4}$ s, iar coeficientul de umplere având valoarea $K_i > 0,2$

Nu există o diferență netă între cele două alternative. În primul caz descărcările în impuls ajung în stadiul de scânteie – arc, iar în al doilea, până în stadiul de arc nestaționar.

Între piesă și electrod există un spațiu (interstițiu) aproximativ de 0,01-0,5 mm, ocupat de mediul dielectric. Obiectul prelucrării și electrodul se conectează la ieșirea unui generator de impulsuri de tensiune. Pentru amorsarea descărcărilor se impune corelarea mărimii interstițiului și a rigidității dielectrice a mediului cu tensiunea de mers în gol a generatorului. Fiecare descărcare se amorsează în locul unde condițiile sunt cele mai favorabile, adică la valoarea minimă a interstițiului real.

Descărcările electrice în impuls sunt însoțite de efecte erozive la obiectul prelucrării și la electrod. Pentru ca eficiența erozivă a descărcărilor să fie cât mai ridicată, este necesar ca mediul dielectric să aibă astfel de proprietăți, încât să permită realizarea concentrării și localizării descărcărilor, precum și a răcirii eficiente a electrozilor.

2)-prelucrarea prin eroziune electrică prin contact

Aceasta are loc cu descărcări în arc nestaționar, amorsate prin ruperea contactelor electrice parcurse de curentul electric. Contactele sunt stabilite temporar între electrod și obiectul de prelucrat. În acest caz, în mod obligatoriu, este necesară exercitarea unei presiuni de contact și asigurarea mișcării relative între electrod și obiectul de prelucrat.

Generarea suprafețelor prin eroziune electrică

Electroeroziunea permite toate metodele de generare a suprafețelor cunoscute, integrarea urmei, rularea și mai ales copierea. Aceasta este și cea mai utilizată, electrodul având forma conjugată a suprafeței de prelucrat și execută o simplă mișcare liniară de avans.

În cazul acestei metode de generare prin copiere, are loc selectarea procesului de amorsare a descărcărilor, constând din localizarea descărcărilor în porțiunile cu interstițiu minim real minim. Această proprietate de selectivitate se poate exprima printr-o dependență funcțională a prelevării, la un impuls (μ), față de mărimea interstițiului (s):

$$\mu = f(s) \quad (8.4)$$

Descărcările electrice în impuls pot fi amorstate numai între anumite mărimi ale interstițiului, cuprinse între o valoare s_{\max} , până la care se produce amorstarea descărcărilor și interstițiul s_{\min} , de scurtcircuitare.

Scurtcircuitul poate avea loc la contactul direct al electrodului cu obiectul (interstițiul), sau prin intermediul particulelor conductoare produse ale eroziunii, care se află în interstițiu. Rezultă că dependența (8.4) are un caracter discontinuu:

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \text{ pentru } s > s_{\max} \text{ sau } s < s_{\min} \\ \mu &= f(s) \neq 0 \text{ pentru } s_{\max} > s > s_{\min} \end{aligned} \quad (8.5)$$

Prelevarea de material are loc numai în intervalul (s_{\max}, s_{\min}) ; astfel, la un impuls se va preleva cantitatea de material corespunzătoare craterului (I), fig.8.1.2.a), în care s_i și s_j reprezintă interstiții corespunzătoare straturilor i, j

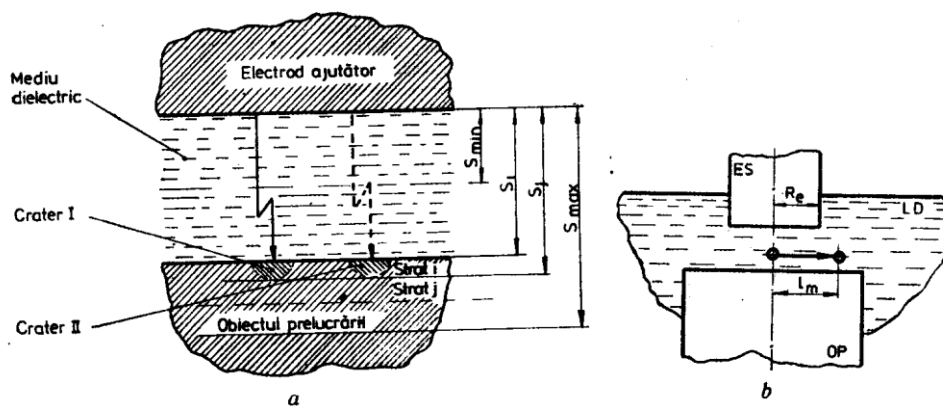


Fig.8.1.2.

După ce s-a produs prelevarea de material, craterul (I), interstițiul a crescut de la s_i la s_j , următorul impuls va avea loc la $s_i < s_j$ (craterul II), ..., până nu se îndepărtează tot stratul i . Un proces analog va avea loc în stratul j și în straturile următoare, până când în obiectul prelucrării se obține forma conjugată a electrodului.

Descrierea mecanismului fizic al prelucrării

La eroziunea electrică, descărcările în impuls sunt caracterizate prin transformarea energiei electrice în stare concentrată, în energie termică și mecanică, densitatea volumică a acesteia atingând valori până la 30.000 I/mm^3 , iar cea de putere 300 kw/mm^3 .

La suprafața anodului, energia de dislocare este determinată de vitezele electronilor:

iar la suprafața electrodului energia de dislocare este determinată de energiile ionilor pozitivi:

unde: v și m sunt viteza, respectiv masa unui electron.

V_+ și M sunt viteza și masa unui ion pozitiv.

La un interstițiu de $0,1 \text{ mm}$, 90% din energie se repartizează în zonele de interacțiune (adâncimea acestor zone este de ordinul 10^{-3} mm). Numai 10% din energie se repartizează pe lungimea coloanei descărcării.

Procesele fizico – chimice care au loc sub acțiunea descărcării electrice în impuls scot în evidență următoarele fenomene specifice:

- fenomenul termic: - este determinat de cedarea bruscă a energiei cinetice a sarcinilor electrice în mișcare (relațiile 8.6 și 8.7). Ca urmare are loc îndepărtarea de material sub formă de topire lentă sau violentă (rapidă), vaporizare liniștită sau rapidă, ori o combinație de topire și vaporizare.

Crescând durata impulsurilor, prelevarea prin vapori este înlocuită treptat prin procesul mai eficient, de îndepărtare în stare lichidă sub formă de picături, fapt ce determină o creștere sensibilă a cantității de metal prelevat cu aceeași cantitate de energie (fig.8.1.3.a)

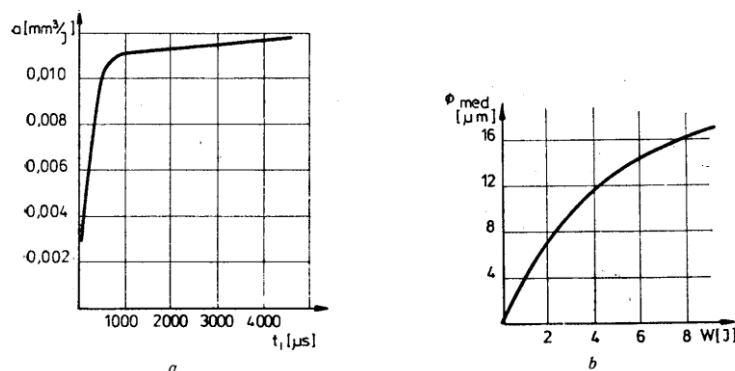


Fig.8.1.3.

Sub acțiunea forțelor care însoțesc descărcarea în impuls, materialul în stare de vapori sau de picături de lichid este expulzat în interstițiu, unde se solidifică sub forma unor mici particule, a căror mărime este dependentă de energia descărcării în impuls (fig.8.1.3.b).

- fenomenul mecanic, este determinat de existența, în masa metalică a obiectului de prelucrat, a unor bule de gaze, care, datorită dilatației termice, expulzează particulele, determinând aglomerarea particulelor de diferite dimensiuni, în interstițiu.

Volumul particulelor expulzate din crater se distribuie în jurul acestuia după o lege logaritmică, distanța de expulzare fiind cuprinsă, de regulă, între 1-10 mm.

- fenomenul electrodinamic, este produs de rezistența sarcinilor electrice în mișcare, aflate în canalul descărcării electrice. În acesta apar curenți electrice variabili în timp. Totodată, între cei doi electrozi apare un câmp electromagnetic și implicit forțe electrodinamice care acționează asupra sarcinilor electrice în mișcare.

Deoarece aceste sarcini apar și la suprafața electrozilor, prelevarea de material se poate produce și ca urmare a forțelor din câmpul electromagnetic.

Procesele termice au un rol determinant în prelevarea de metal, astfel prelucrabilitatea diferitelor materiale este caracterizată prin proprietățile lor termofizice. În acest scop se utilizează criteriul lui Palatnik (II), al proporționalității timpului de topire a unui volum de metal, păstrându-se constante celelalte condiții de prelucrare, adică:

$$\pi = c \cdot \varphi \cdot \lambda \cdot \theta_t^2 \quad (8.8)$$

în care: c – căldura specifică

φ - densitatea

λ - coeficientul de conductivitate termică

θ_t – temperatura absolută de topire

Prelucrabilitatea prin eroziune electrică a unui material este invers proporțională cu criteriul lui Palatnik (II). O parte din energia termică a descărcării se repartizează pe lungimea canalului ionizat, pe suprafața cilindrică a acestuia având loc procesul de piroliză

a lichidului dielectric, proces însoțit de formarea unei cantități mari de gaze sub presiune. Ca urmare, se formează unda de șoc mecanică, al cărui centru este canalul ionizat al descărcării și care antrenează în mișcare produsele solide și gazoase ale eroziunii.

Unda de șoc poate fi provocată și de descărcările accidentale, având efecte negative asupra prelucrării, deoarece consumă energie fără a produce prelevare, fie degradează suprafața electrozilor (fig.8.1.4.)

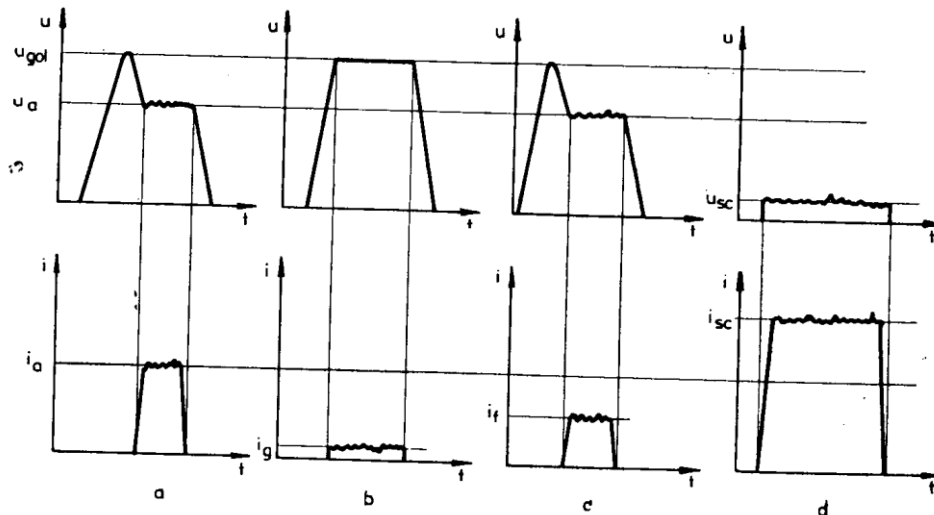


Fig.8.1.4.

Descărcarea normală (8.1.4.a) are loc la valori ale interstițiului date de relația:

$$S = \frac{U}{E_s} \quad (8.9)$$

unde: s – valoarea interstițiului

U – tensiunea aplicată celor doi electrozi

E_s – rigiditatea dielectrică a mediului din interstițiu

Pe lângă prelucrarea provocată de energia descărcării, unda de șoc creată va îndepărta produsele eroziunii din interstițiu.

Descărcarea în gol (8.1.4.b) are loc la următoarele valori ale interstițiului:

$$S > \frac{U}{E_s} \quad (8.10)$$

Aceste descărcări nu provoacă prelevare, consumând însă energie datorită faptului că valoarea curentului electric nu este nulă, iar undele de șoc provocate de aceste descărcări sunt neglijabile.

Descărcarea fictivă (8.1.4.c) are loc între particule gazoase sau solide încărcate electric (fig.8.1.5.a)

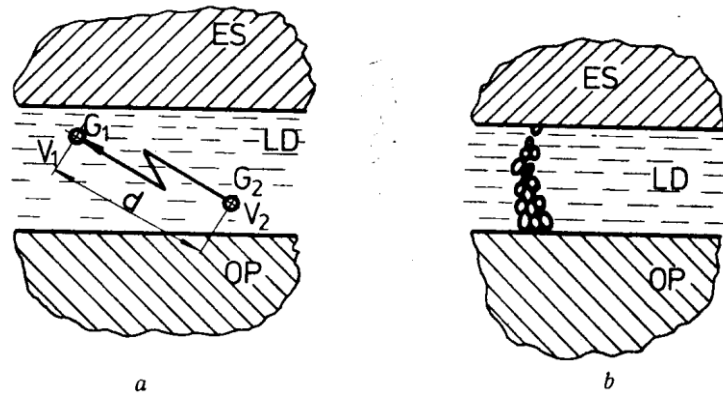


Fig.8.1.5.

Aceste particule θ_1 și θ_2 încărcate la potențialele V_1 și V_2 și care se află la o distanță (d) între ele, fac ca descărcarea electrică să apară atunci când e satisfăcută inegalitatea:

$$\frac{V_1 \cdot V_2}{d} = E_{1-2} \geq E_s \quad (8.11)$$

Aceste descărcări consumă energie electrică, deși curentul are valori mai mici decât curentul electric normal. Unda de șoc a acestor descărcări influențează mișcarea particulelor în interstițiu. Descărcarea în scurtcircuit (fig.8.1.4.d) are loc fie în cazul în care mărimea interstițiului este nulă, fie când în interstițiu apar aglomerări de particule prelevate, dar neândepărtate (fig.8.1.5.a).

Descărcarea se transformă în arc staționar, valoarea curentului depășind mult valoarea necesară prelucrării. Teoretic, se poate considera $U \approx 0$. datorită acestor descărcări pe suprafața electrozilor apar arsuri, transformări structurale și fisuri nedorite. Unda de șoc a acestor descărcări este neglijabilă, datorită absenței situației explozive. Deplasarea unei particule este caracterizată prin mărirea deplasării sale libere (l_m), adică distanța medie la care se poate deplasa sub acțiunea unei unde de șoc fără a se ciocni cu o altă particulă (fig.8.1.2.b).

Astfel, se pot considera, două situații limită:

$$\begin{aligned} I_m &> R_e \\ I_m &\leq R_e \end{aligned} \quad (8.12)$$

În primul caz, evacuarea produselor eroziunii decurge în bune condiții, interstițiul neaglomerându-se cu impurități, iar în al doilea caz, particulele nu pot părăsi interstițiul creând aglomerări care conduc la descărcări fictive sau chiar în regim de scurtcircuit. Gazele produse în timpul descărcărilor se evacuează, în baza forțelor ascensionale. Urmărind ca procesul de prelevare să fie stabil, este necesar ca volumul de produse ale eroziunii, transportat sub acțiunea undelor de șoc în afara interstițiului, într-un anumit timp, să fie egal cu volumul de produse ale eroziunii care rezultă în acel timp, în cadrul procesului.

În caz contrar, procesul decurge instabil, având loc periodic aglomerări de produse și scurtcircuitări ale electrozilor. Produsele lichide sau dizolvate ale pirolizei, se deplasează împreună cu lichidul de lucru, formând un tot cu acesta și schimbându-i treptat proprietățile.

Fenomenele erozive similare cu cele de la obiectul prelucrării au loc și la electrod. Eroziunea minimă a electrodului se realizează prin conectarea la polaritatea optimă (în funcție de stadiile respective ale descărcării) și prin utilizarea unor materiale cu valori cu valori ridicate ale criteriului Palatnik. În mod obișnuit, se folosesc materiale cu o bună conductivitate termică sau cu o temperatură de topire ridicată (conform tabelului 8.1).

Tabelul 8.1

Material	Căldură specifică C	Masa specifică ρ	Conductivitatea termică λ	Temperatura de topire 0t	Temperatura de fierbere 0t
Aluminiu	0,22	2,7	0,48	933	2 543
Argint	0,0566	10,93	1,05	1 233	2 450
Beriliu	0,45r	1,848	0,38	1 550	3 043
Crom	0,11	7,19	0,16	1 823	2 473
Cobalt	0,104	8,85	0,18	1 763	2 673
Cupru	0,092	8,93	1,00	1 357	2 855
Fier	0,108	7,86	0,19	1 798	3 160
Grafit	0,40	1,80	0,25	3 600	4 827
Nichel	0,106	8,85	0,22	1 725	3 110
Aur	0,0308	19,25	0,78	1 336	2 980
Plumb	0,03	11,34	0,08	600	2 023
Wolfram	0,032	19,28	0,45	3 650	5 800
Zirconiu	0,067	6,57	0,05	2 125	3 853

Reducerea uzurii electrozilor se poate realiza fie prin formarea unei pelicule de grafit cristalizat, fie prin utilizarea unor impulsuri cu o formă diferită de cea dreptunghiulară (de ex. – trapezoidală), care să reducă solicitarea termică a electrozilor.

Repartizarea energiei între electrozi nu este egală. La materiale identice ale electrozilor, s-a constatat experimental că prelevarea are loc cu preponderență la electrodul

conectat la un anumit pol, deci un efect de polaritate. Astfel, în cazul prelucrării cu descărcări în scânteie sau scânteie – arc, conectarea optimă este: - obiectul de prelucrat la anod și electrodul sculă la catod, adică în polaritate directă. La prelucrarea cu descărcări în arc nestaționar se utilizează conectarea în polaritate inversă, obiectul la catod și electrodul – sculă la anod.

Tehnica prelucrării – aspecte tehnologice

În cazul de față (fig.8.1.6.), plasma este formată din atomi metalici (M), din ioni pozitivi (M^+) și din electrozi (e^-). Ultimele două elemente sunt produse de șocurile violente pe care le suportă atomii (M) purtați la temperaturi înalte. În prezența plasmei se formează un canal prin care se produce descărcarea propriu-zisă a unui curent de densitatea ridicată. Temperatura mare din interiorul canalului (aproximativ 50.000 K) produce expansiunea rapidă a acestuia, simultan cu vaporizări care apar la suprafața electrozilor. Bula de gaz formată, a cărei presiune a crescut foarte mult, suferă o dilatare explozivă, iar metalul topit este aruncat în afara craterului, solidificându-se în lichid sub formă de mici sfere care rămân în suspensie.

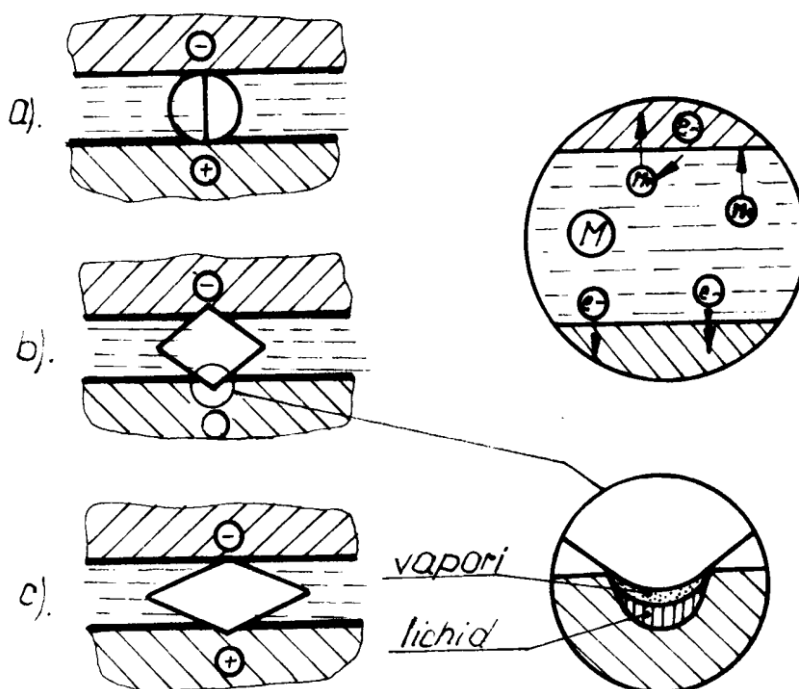


Fig.8.1.6.

Procesul de eroziune se manifestă asimetric la cei doi electrozi, fiind influențat de:

- proprietățile fizico-chimice ale materialelor
- durata descărcării
- intensitatea descărcării
- natura lichidului dielectric

Printr-o alegere optimă a acestor parametri, se poate ajunge la o asimetrie foarte convenabilă:

- 99,5% eroziune la electrodul piesă
- 0,5% eroziune la electrodul – sculă

Mașinile de prelucrat prin electroeroziune au unele elemente asemănătoare celor clasice:

- batiu, ghidaje și părți specifice, determinate de condițiile în care se face prelucrarea

Aceste părți specifice sunt:

- echipamentul electric generator de impulsuri
- reglatoare de avans
- sistem de circulare – recirculare a lichidului dielectric

În fig.8.1.7. este prezentată schematic o mașină de prelucrat prin electroeroziune, inclusiv componența elementelor ei.

Generatoarele electrice creează impulsuri cu anumiți parametri care vor caracteriza de fapt diferite procedee. Astfel, la prelucrarea prin scânteii electrice se folosesc generatoare dependente, la care parametrii de impuls – frecvență, polaritate, amplitudine și durată depind de starea fizică a spațiului de eroziune.

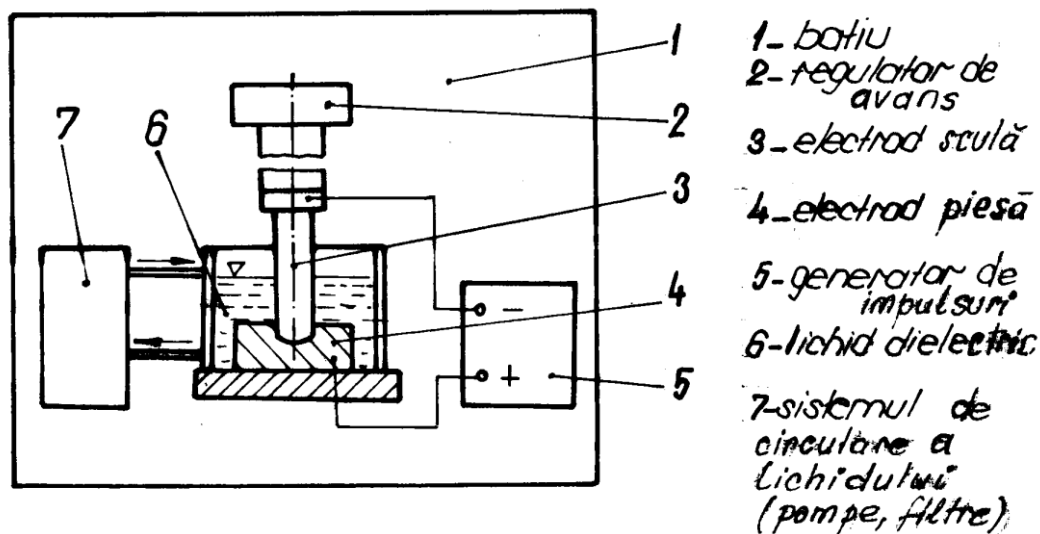


Fig. 8.1.7

În fig.8.1.8 se reprezintă câteva scheme de generatoare la care atât curentul (I) cât și tensiunea (U) variază alternativ.

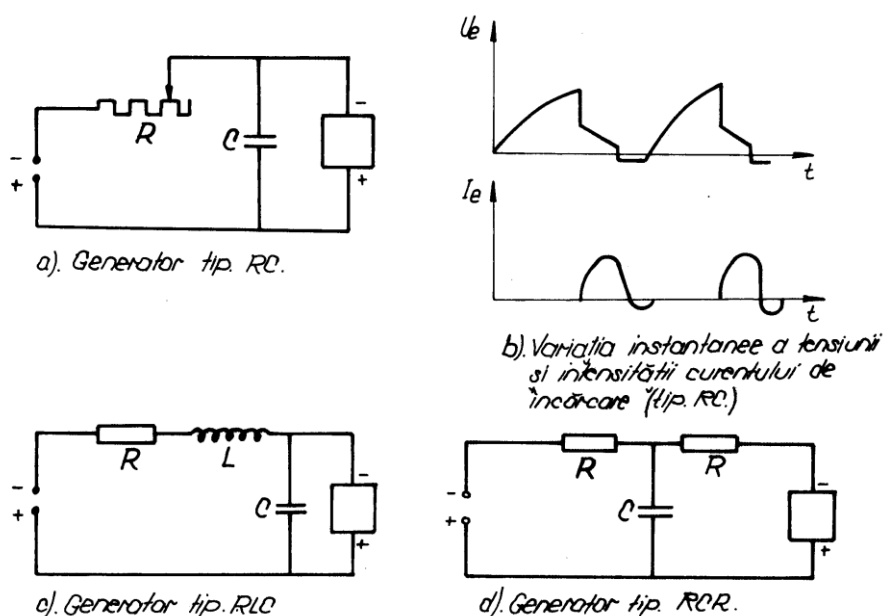


Fig.8.1.8

Funcțiile principale ale generatorului sunt:

- obținerea unei tensiuni suficiente pentru amorsarea și întreținerea descărcării,
- limitarea curentului de descărcare
- limitarea duratei descărcării
- obținerea frecvenței optime a descărcărilor

Reglarea distanței dintre electrozi (piesă – sculă) se face cu sisteme de regatoare electromagnetice, cu tiratroane, cu mecanisme diferențiale, etc. Electrozii–sculă au o importanță deosebită asupra modului de prelucrare influențând substanțial productivitatea și calitatea suprafeței prelucrate. Materialul lor se alege în funcție de: materialul piesei, natura prelucrării, modul de circulație al lichidului în spațiul interstițiului dintre electrozi, etc.

O viteză prea mare a dielectricului în zonă produce uzura accentuată a electrodului–sculă. Materialele cele mai des utilizate în confecționarea electrozilor sunt: cuprul, grafitul, cuprul grafitat și alama.

Dielectricul asigură localizarea energiei asupra zonei de prelucrat, permițând totodată desfășurarea descărcărilor în canale stabile și bine definite. El trebuie să fie neutru din punct de vedere chimic, să nu fie toxic, să asigure o răcire cât mai bună a electrozilor. În funcție de domeniul de aplicare al procedurii electroeroziv se folosesc următoarele lichide:

- petrol lampant
- alcool etilic sau metilic
- soluții și suspensii apoase
- apă deionizată

Se poate menționa uleiul cu silicon, care dă rezultate foarte bune atât în privința productivității, cât și a calității suprafeței prelucrate (dezavantajele fiind doar ca preț de cost).

Suprafața obținută (prelucrată) este cu aspect mat, omogen, lipsesc urme de prelucrare, microfisuri, putându-se aplica cu succes operații ulterioare de lustruire. Efectul termic asupra stratului superficial prezintă de asemenea un real interes.

La degroșări se produce o ușoară modificare structurală, dar avându-se în vedere că ulterior se fac prelucrări de finisare care înlătură cea mai mare parte a stratului influențat, se poate considera un fenomen minor. Totuși se face remarcată o mică durificare a stratului exterior, care în ultimă instanță joacă un rol protector.

Etapele proiectării unui proces tehnologic de prelucrare prin electroeroziune sunt:

- stabilirea materialului și a dimensiunilor electrodului-sculă
- alegerea lichidului dielectric
- stabilirea adaosurilor de prelucrare și a numărului de treceri
- stabilirea regimurilor de lucru
- calculul timpului de prelucrare pe mașină (normarea tehnică)

Parametrii regimului de lucru sunt:

- tensiunea de alimentare
- intensitatea curentului de scurtcircuit
- rezistența
- capacitatea

Energia unei descărcări singulare:

Unde:

$C[\mu F]$ – capacitatea condensatorului

$U_c[V]$ – tensiunea la bornele condensatorului

La prelucrările de degroșare, unde se urmărește obținerea unui debit de material erodat cât mai mare, se utilizează energii de descărcare mari.

La prelucrările de finisare, unde calitatea suprafeței este obiectivul principal, se vor folosi valori sensibil micșorate ale energiei (mărind simultan frecvența descărcărilor).

În fig.8.1.9. și 8.1.10 se indică modul de variație a debitului de material erodat $D[\text{mm}^3/\text{min}]$, în funcție de capacitatea condensatorului $C[\mu\text{F}]$, respectiv tensiunea din zona de lucru $U[\text{V}]$.

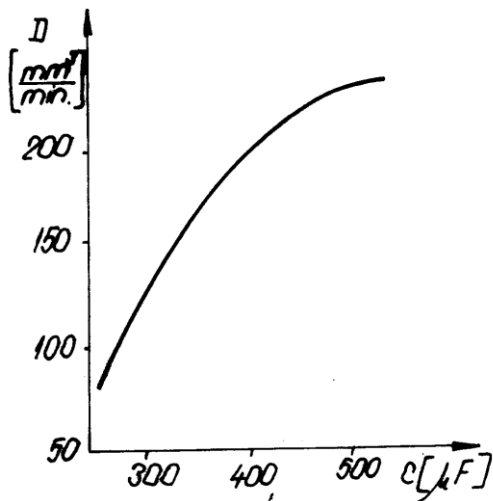


Fig.8.1.9.

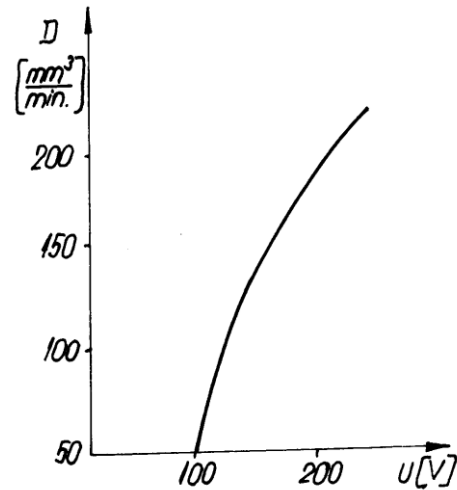


Fig.8.1.10.

În monograma din fig.8.1.18. se dau orientativ valorile parametrilor de lucru pentru operațiile de degroșare.

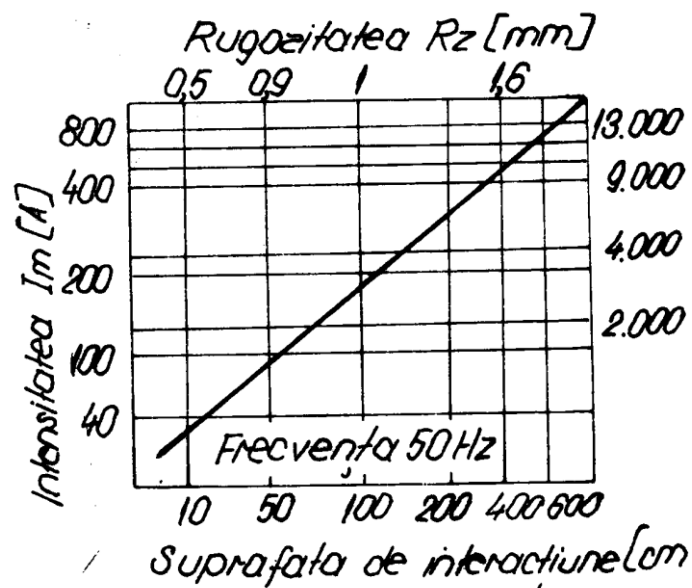


Fig.8.1.18.

8.1.1. Prelucrarea prin scânteii electrice

Specific acestui procedeu este utilizarea generatoarelor electrice dependente și a polarității directe (scula-catod, piesa-anod). Impulsurile sunt asimetrice și de sens variabil (conform fig.8.1.1.b).

Datorită acestor caracteristici, procedeul se aplică îndeosebi la prelucrări de finisare, dar se pot prelucra cu bune rezultate filiere și matrițe din oțeluri înalt aliate, piese din carburi metalice, orificii străpunse sau nestrăpunse, precum și extragerea sculelor rupte din piese.

În tabelul din fig.8.1.12. se dau parametrii electrici și rugozitățile obținute pentru diferite prelucrări.

Tipul prelucrării	Regim electric	Rugozitatea Ra[μm]	
		Materialul prelucrat	
		Oțel	Carburi metalice
Degroșare	U = 220V C = 400 μF	25-50	12,5-25
Semifinisare	U = 220V C = 15 μF	6,3-12,5	3,2-6,3
Finisare	U = 220V C = 0,15 μF	1,6-3,2	0,4-1,6

Fig.8.1.12.

Totuși, avem și dezavantaje ale metodei. Acestea sunt:

- uzura electrodului sculă
- debitul de material erodat relativ mic
- dependența caracteristicilor electrice de interstițiul dintre electrozi.

8.1.2. Prelucrarea prin impulsuri electrice

Dezavantajele metodei precedente (prelucrarea prin scânteii) s-au eliminat prin folosirea generatoarelor electrice independente și a polarității inverse:

-scula → anod respectiv piesa → catod

Impulsurile sunt unipolare, diferind față de cele utilizate la prelucrarea prin scânteie, atât prin amplitudine cât și prin frecvență.

Energia descărcărilor (W) este considerabil mai mare, ea se poate scrie sub forma:

$$W = k \cdot U \cdot I \cdot t \quad [\text{cal}] \quad (8.13)$$

Unde: U [V] – tensiunea curentului de impuls

I [A] – intensitatea curentului de impuls

t [s] – durata unui impuls ($t = 10^{-2} \div 10^{-3}$ s)

K – coeficient de transformare

În consecință, debitul de metal erodat crește de $3 \div 5$ ori, dar scade (calitatea suprafeței obținute datorită cavitațiilor mai adânci generate de impulsuri).

Prelucrarea prin impulsuri electrice se aplică la degroșări (matrițe), diferite forme de turnare și presare, etc.

8.1.3. Prelucrarea electromecanică a metalelor

Metoda caută să creeze condiții mai bune de detașare a așchiilor (așchiere mecanică) prin acțiunea termică a curentului electric în zona de așchiere.

Se cunosc două principale moduri de încălzire a pieselor în vederea prelucrării:

- a) încălzirea totală a pieselor (în cuptor, cu flacără sau cu rezistență)
- b) încălzire locală a piesei (prin inducție, cu arc electric, cu plasmă, cu curenți de înaltă frecvență).

Metodele de încălzire totală a pieselor au dezavantajul înlesnirii apariției deformațiilor piesei în timpul răcirii. De asemenea, condițiile de lucru și de securitate pentru operatorul uman sunt mai dificile.

Metodele de încălzire locală a piesei elimină aceste minusuri, reușesc să concentreze în mod optim căldura în zona de lucru. Desfășurarea procesului tehnologic este mai bună.

Criteriile de stabilire ale metodelor de încălzire adoptate sunt:

- încălzirea locală să se facă cât mai aproape de zona de așchiere
- posibilitatea reglării ușoare și rapide a temperaturii
- posibilitatea adaptării mașinilor – unelte

- instalațiile suplimentare să fie ușor manevrabile și să asigure securitatea operatorului uman
- să nu fie influențate proprietățile fizico – mecanice ale materialului piesei.

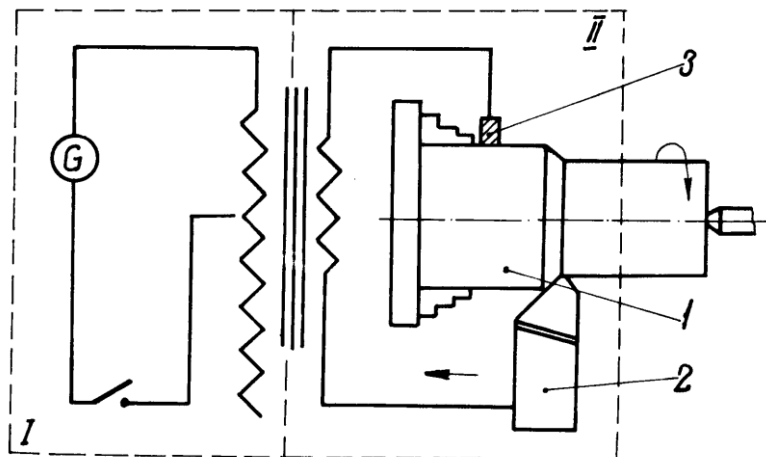


Fig.8.1.13

În fig.8.1.13 se prezintă cazul de aplicare al principiului prelucrării electro – mecanice, la strunjirea metalelor.

(I)– reprezintă circuitul primar

(II)– reprezintă circuitul secundar

(1)– piesa

(2)– scula

(3)– tija (de cupru) aflată în permanent contact cu piesa (ca o perie colectoare)

Căldura degajată în zona de așchiere va fi determinată de deformația metalului și frecările care apar între piesă și sculă (Q_1) cât și de curentul electric din secundar conform legii Joule (Q_2).

$$\text{astfel: } Q_1 = \frac{F_z \cdot v}{427} \quad [\text{cal/s}] \quad (8.14)$$

unde: F_z [daN] – forța principală de așchiere

v [m/min] – viteza de așchiere

$$Q_2 = 0,24 \cdot U \cdot I \cdot t \quad [\text{cal/s}] \quad (8.15)$$

unde: I [A] – intensitatea curentului din circuitul secundar

U [V] – tensiunea curentului din circuitul secundar

t [s] – timpul de trecere al curentului

Curentul electric utilizat poate fi continuu sau alternativ. Tensiunea din circuitul secundar variază în limite de 0,5÷2 (V) iar intensitatea 40÷800 (A). În aceste condiții, căldura sporită care se dezvoltă în zona de așchiere, îmbunătățește proprietățile plastice ușurând detașarea așchiilor.

Când stratul superficial atinge temperatura de 800°C, rezistența la așchiere scade cu 20÷40%, putându-se lucra cu vitezele de până la 100 (m/min). În aceste condiții, productivitatea crește de 2÷3 ori. Dacă cuțitul are un sistem propriu de răcire, durabilitatea sa crește cu până la 60%.

În fig.8.1.14, apar câteva din rezultatele unor cercetări în acest domeniu.

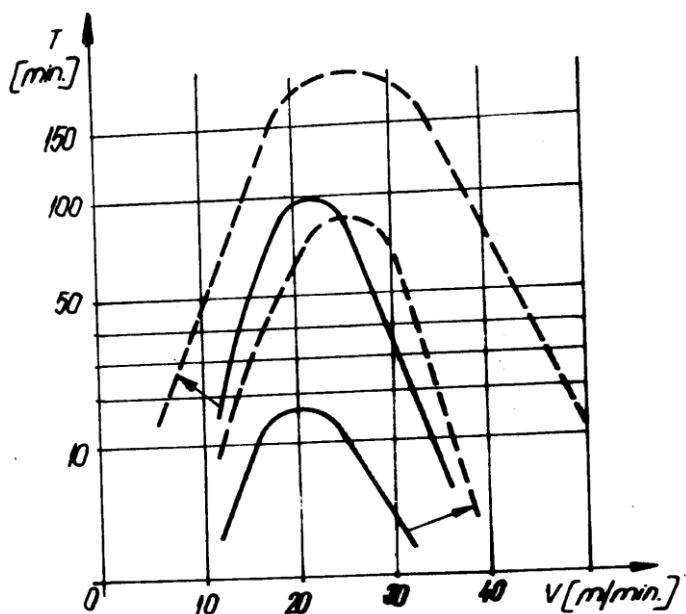


Fig.8.1.14

Curbele cu linie continuă prezintă prelucrarea în condiții clasice. Curbele cu linie întreruptă rezultă în urma prelucrării electromecanice (s-a folosit ca piesă un oțel înalt aliat cu 0,3%C; 10%Mg; 11%Cr, iar scula a fost prevăzută cu plăcuță din carbură metalică: tungsten – titan).

Curentul a avut următorii parametri: $U = 1 \div 2$ (V), $I = 400 \div 600$ (A). Încălzirea piesei, în aceste condiții a permis mărirea vitezei de așchiere cu $20 \div 75\%$ și îmbunătățirea calității suprafeței cu o clasă (de calitate). De exemplu, în cazul prelucrării danturii cu freză disc – modul, prin aplicarea acestei metode s-a obținut creșterea productivității de 10 ori, iar calitatea suprafeței flancurilor s-a îmbunătățit cu două clase.

Principalele avantaje ale acestui procedeu sunt:

- îmbunătățirea rugozității suprafeței
- mărirea durtății și a rezistenței la uzură a stratului superficial al piesei
- mărirea durabilității cuțitelor
- mărirea productivității

Concluzie finală, privind metoda generală a prelucrării electroerozive

În fig.8.1.15 se dau câteva exemple de prelucrări prin electroeroziune, ilustrând posibilitățile largi ale acestei metode.

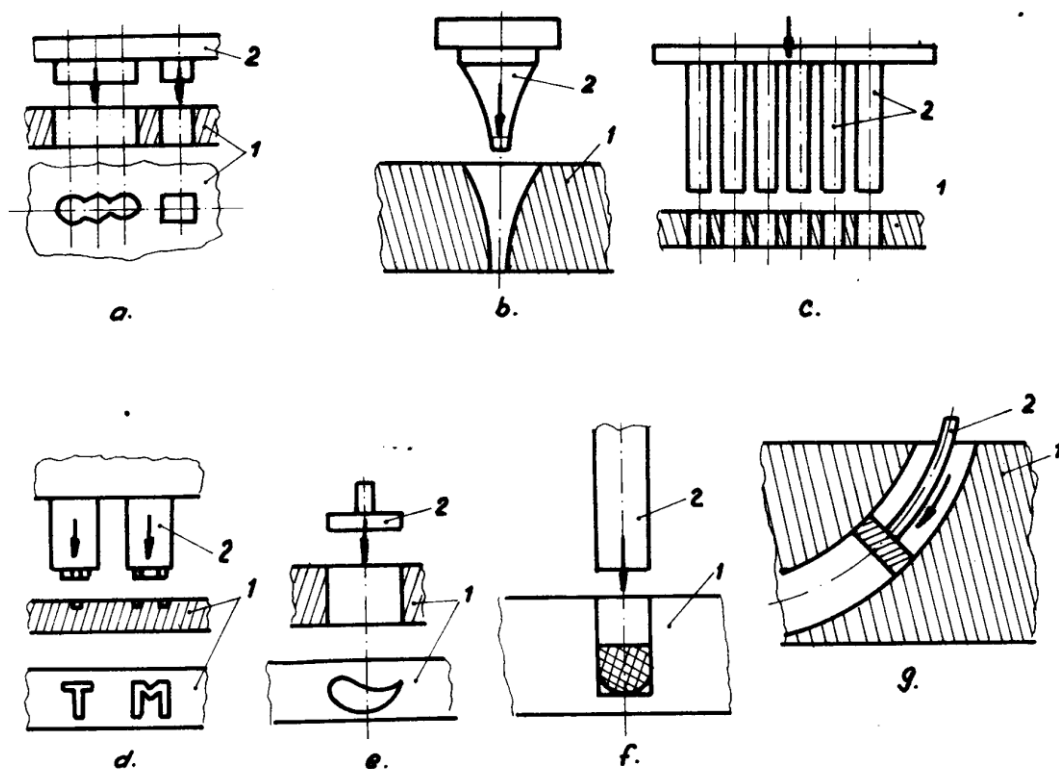


Fig.8.1.15

- (1)-piesa de prelucrat
- (2)-electrodul – sculă
- (a) și (b) – prelucrarea orificiilor simple și complexe
- (c)-perforarea simultană a mai multor orificii
- (d)-prelucrarea cavităților complexe și gravarea
- (e)-prelucrarea filierelor și a fantelor complexe
- (f)-îndepărtarea sculelor rupte din găuri
- (g)-profilarea interioară; prelucrarea orificiilor curbilinii

8.2. Eroziunea electrochimică

8.2.1. Generalități

Încă din anul 1834 , Faraday a enunțat legea care stabilește proporționalitatea tensiunii dintre electrozi și cantitatea de materie depusă sau înlăturată de pe aceștia .

Principiul și-a găsit aplicabilitate industrială largă abia în ultimele decenii . Prelucrarea prin eroziune electrochimică prezintă următoarele avantaje principale :

- productivitate ridicată ;
- inexistența transformărilor structurale și a tensiunilor superficiale ;
- obținerea unor suprafețe cu calități ridicate ;
- eliminarea prelucrărilor ulterioare ;
- uzura sculei inexistentă .

Aplicațiile industriale ale principiului sunt :

- curățirea suprafețelor de oxizi metalici ;
- netezirea suprafețelor plane (superfinisarea electrochimică) ;
- reducerea și prelucrarea pieselor metalice , etc .

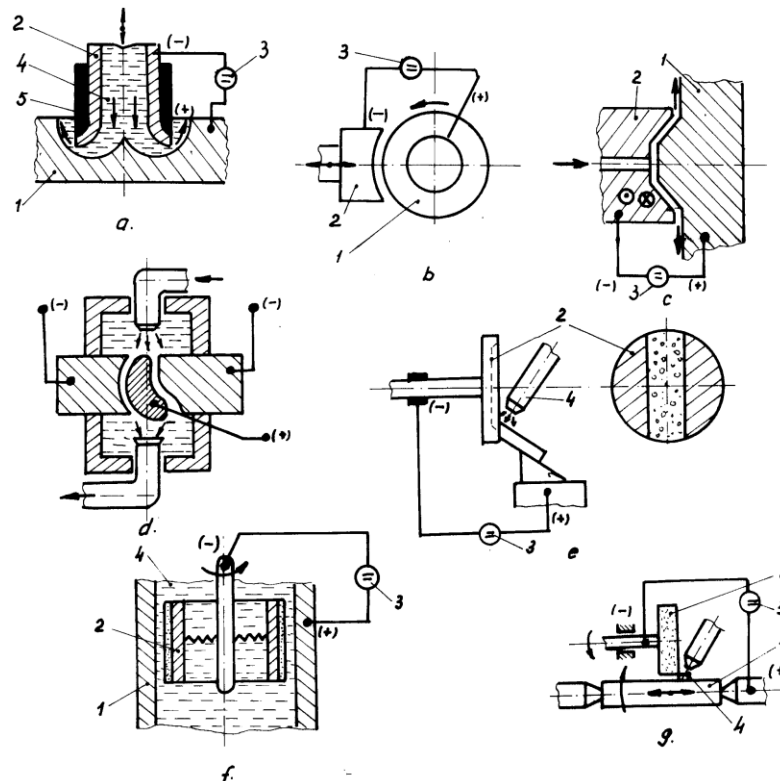


Fig.8.2.1

În figura 8.2.1 se ilustrează câteva din operațiile frecvent executate prin procedul electrochimic .

- a) – găurirea electrochimică ;
- b) – strunjirea electrochimică ;
- c) – prelucrarea de lustruire a suprafețelor plane Ș
- d) – prelucrarea prin copiere a suprafețelor complexe și profilate (matrițe pentru forjare sau matrițare) sau a profilelor active ale paletelor de turbine ;
- e) – ascuțirea sculelor ;
- f) – finisarea prin honuire electrochimică a suprafețelor interioare ;
- g) – rectificarea electrochimică .

8.2.2. Prelucrarea electrochimică propriuzisă

Fenomenul care stă la baza desfășurării procedului de dizolvare electrochimică se prezintă în figura 8.2.2.1.

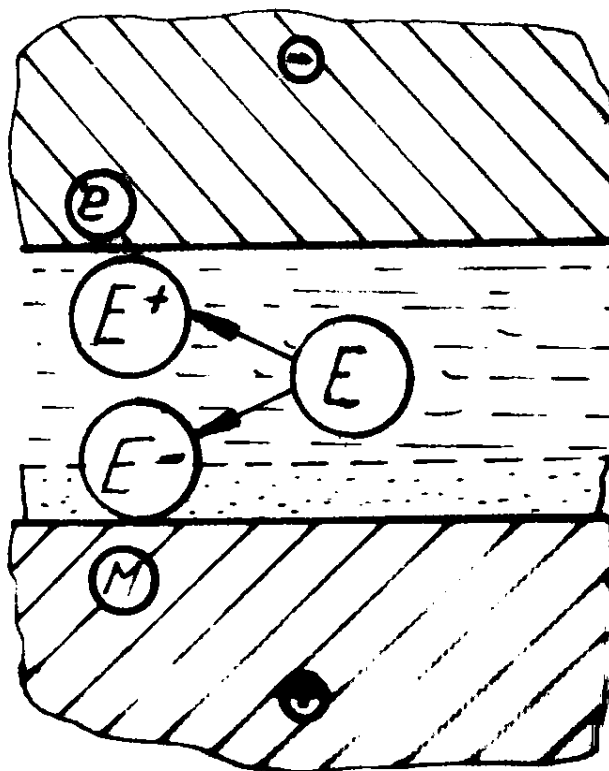


Fig.8.2.2.1

Electrolitul (E) disociază în ioni și se află în interstițiul dintre cei doi electrozi . Sub acțiunea curentului electric (continuu) acești ioni se deplasează la cei doi poli unde se neutralizează . Cum electronii anodului sunt mai slab legați , ei își pierd stabilitatea trecând în circuitul exterior . Dacă electrolitul se află în stare statică , materialul îndepărtat pe de o parte și fenomenele secundare (de atac asupra electrozilor) pe de altă parte , vor tulbura continuarea fenomenului , prelucrarea ne mai având loc .

Deci , trebuie distrusă acea peliculă pasivă (3) , formată la nivelul anodului . Repunerea în condițiile inițiale se poate face prin : agitare , mărirea concentrației , creșterea temperaturii și a presiunii electrolitului .

Cantitatea de substanță prelevată ca urmare a acțiunii electrochimice a curentului este :

$$m = k I t = \left[\frac{1}{F} \frac{A}{n} \right] I t \quad [\text{g}] \quad (8.2.2.1)$$

unde :

$I_{[A]}$ - intensitatea curentului ;

$t_{[\text{ore}]}$ - timpul de trecere a curentului ;

k - echivalentul electrochimic , $\left[\frac{1}{F} \frac{A}{n} \right]$;

F - constanta lui Faraday $(F = 96500 \frac{\text{culombi}}{\text{echiv.gram}})$;

A - greutatea atomică ;

n - valența substanței .

Dintre soluțiile electrolitice amintim :

- clorura de sodiu ;
- azotatul de sodiu ;
- clorura de potasiu , etc.

Concentrațiile variază în limitele de 12 ÷ 24 % , fiind determinate de precizia și viteza de prelucrare .

Temperatura optimă de lucru a electrolitului este de $+20^{\circ}\text{C}$, dar datorită fenomenelor complexe care au loc, acestea se situează în jurul a $+40^{\circ}\text{C}$.

Deoarece moleculele de apă micșorează viteza de deplasare a ionilor este necesar ca electrolitului să i se imprime viteze de până la $70 \div 80$ (m/s). Această mișcare influențează și modul de evacuare a particulelor de metal, evitând fenomenul de pasivizare. Presiunile sub care se află lichidul în zona de lucru sunt în jur de $10 \div 20$ (daN / cm^2). Schema de principiu a unei mașini universale de prelucrare electrochimică este dată în figura 8.2.2.2.

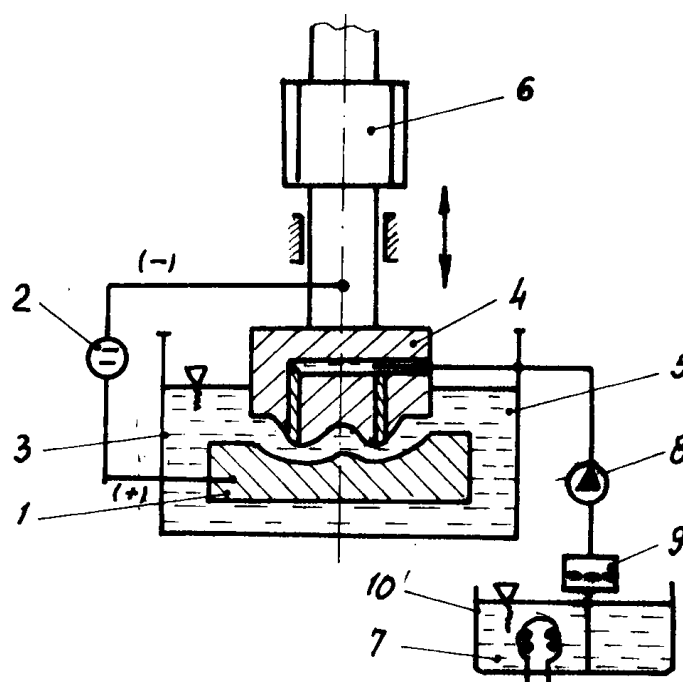


Fig.8.2.2.2

Piesa de prelucrat (1), conectată la polul pozitiv al sursei de curent continuu (2) este scufundată în electrolitul (3), împreună cu electrodul-sculă (4), legat la borna minus a sursei de curent continuu. Piesa de prelucrat și electrodul-sculă sunt cufundați în baia (5). Pentru menținerea constantă a distanței dintre electrodul-sculă și piesa de prelucrat, mașina dispune de un regulator de avans (6), care este elementul cel mai important al instalației. Pentru răcirea forțată a sculei, precum și pentru depasivizare, mașina mai dispune de o instalație de răcire (7) și de o instalație de recirculare a electrolitului, formată din pompa (8), filtrul (9) și rezervorul de electrolit (10). Ca surse de curent se folosesc generatoarele sau redresoarele de curent continuu cu tensiuni de $5 \div 40$ (V) și curenți de $300 \div 30.000$ (A). Electrozii (catozii) se confecționează din materiale rezistente la agenții corozivi și în același

timp electroconductoare , ca : aliaje speciale anticorozive , alamă , cupru , oțeluri inoxidabile , grafit , bronzuri , aluminiul și aliajele sale , etc .

În tabelul I/2 se dau câteva caracteristici pentru unele operații de prelucrare electrochimică .

Tabelul I/2

Caracteristici	Lustruirea electrochimică a materialelor feroase	Găurire electrochimică	Netezire electrochimică	Profilare electrochimică
Tensiunea la electrozi [V]	12 – 14	10 – 25	10 – 15	5 – 20
Densitatea de curent [A/dm ²]	40 – 60	10.000 – 14.000	400 – 1.000	20 – 150
Randamentul [%]	80	80 – 90	80 – 90	65 – 90
Distanța dintre electrozi [mm]	25 – 200	0,1 – 0,5	0,2 – 5	0,1 – 0,5
Calitatea suprafeței Ra [μm]	Cu două clase superioare celei inițiale	6,3 – 0,8	6,3 – 0,8	1,6 – 0,2

Trebuie acordată atenție sporită preciziei și calității electrodului-sculă , acesta determinând precizia și calitatea formei pe care o imprimă piesei . De asemenea , având în vedere presiunile mari la care se lucrează , mașinile trebuie să fie robuste (rigide).

8.2.3. Lustruirea electrochimică

Procedeul a găsit un vast câmp de aplicare pentru piese ca : palete de turbine , țevi , scule așchietoare , roți dințate , etc .

În figura 8.2.3.1 se prezintă schema de principiu al procedeeului .

La nivelul suprafeței piesei care se lustruiește , se formează pelicula pasivă (2).

Grosimea acesteia este neuniformă , fiind mai mare în zona cavitațiilor și mai mică la vârful microasperităților . Acest fapt conjugat cu concentrațiile diferite ale câmpului electric , care sunt mai mari în zona vârfurilor (liniile 1) demarează

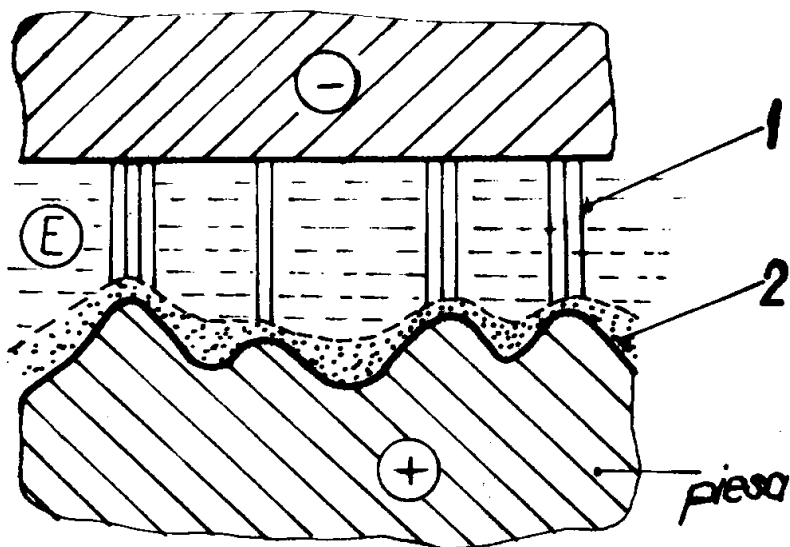


Fig. 8.2.3.1

fenomenul de dizolvare anodică , tocmai în aceste zone . Astfel , pentru a obține rugozitatea $Ra = 0,1 \div 0,8 \mu\text{m}$, este necesar ca înainte de lustruire să avem $Ra = 1,25 \div 0,63 \mu\text{m}$. Un dezavantaj al acestui procedeu îl constituie timpul de prelucrare considerabil mărit la obținerea suprafețelor foarte fine . Acest inconvenient poate elimina prin aplicarea electroeroziunii la degroșare și a lustruirii electrochimice de finisare (reducerea timpului este de cca. 5 ÷ 6 ori).

8.2.4. Profilarea electrochimică

Profilarea electrochimică urmărește reducerea formei electrodului sculă pe piesă. Schema de principiu este prezentată în figura 8.2.4.1 .

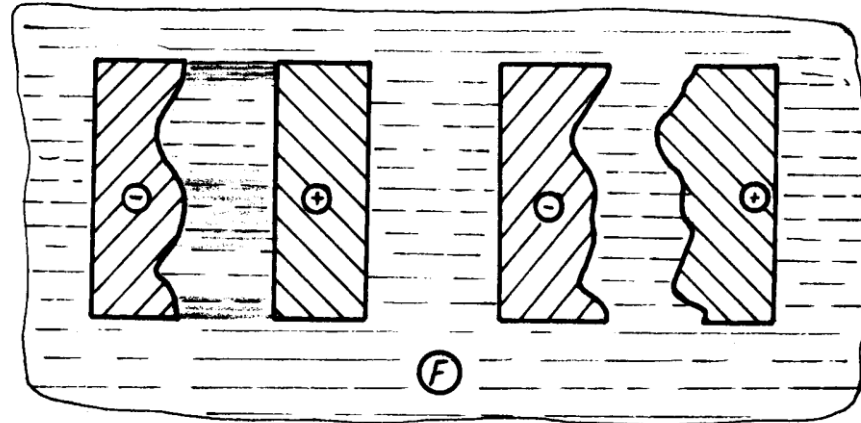


Fig. 8.2.4.1

În prima fază se produce dizolvarea anodică în zonele unde distanțele sculă-piesă sunt minime , iar după egalarea acestora materialul se înlătură uniform de pe întreg profilul .

În figură , prin linii mai dese sau mai rare s-a încercat să se sugereze și modul în care variază densitatea câmpului electric.

8.2.5. Găurirea electrochimică

Procedeul electrochimic se aplică cu succes la găuriri , frezări , strunjiri , rectificări .

În figura 8.2.5.1a se prezintă schema de principiu a găuririi electrochimice .

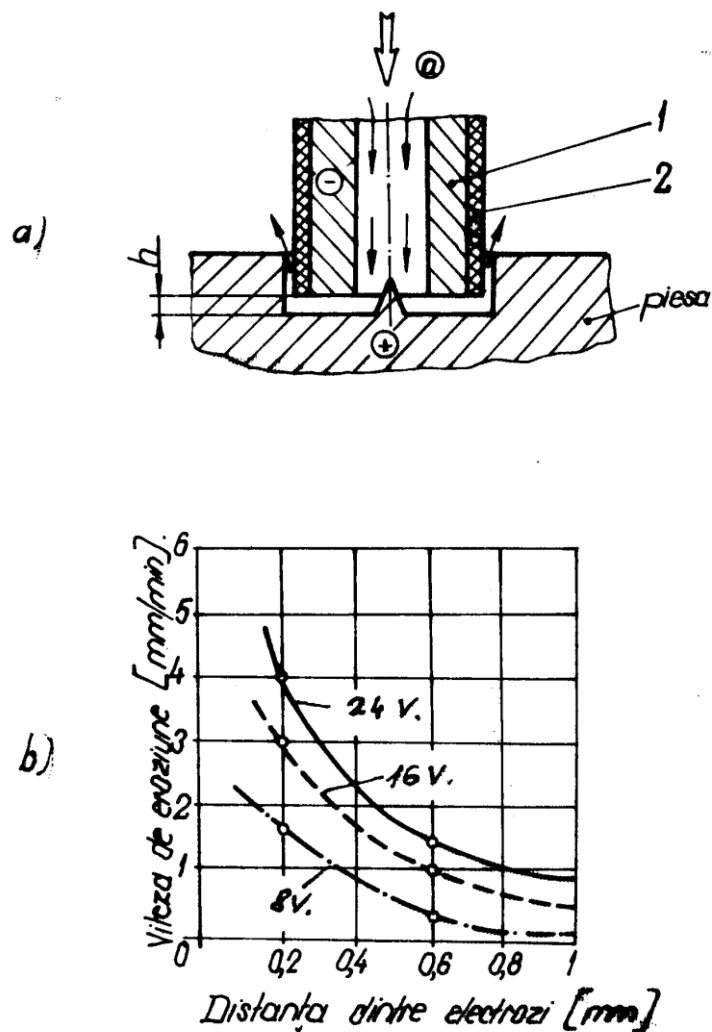


Fig. 8.2.5.1

Electrodul-sculă (1) de formă tubulară este izolat în exterior (2) pentru a nu produce dizolvarea în zonele laterale . Prin interior circulă sub presiune electrolitul care asigură și eliminarea particulelor de metal . Mișcarea de avans (a) are ca scop menținerea constantă a interstițiului (h) dintre electrozi .

În figura 8.2.5.1 b se indică pe grafic interdependența dintre distanță și viteza de eroziune , pentru diferite valori ale tensiunii .

8.2.6. Rectificarea electrochimică

Procedeul prezintă unele avantaje care determină aplicarea ei în domenii tot mai diverse . Aceste avantaje sunt :

- rapiditate și eficiență la prelucrarea materialelor foarte dure (față de rectificarea clasică) ;
- uzura discului practic nulă ;
- posibilitatea rectificării pieselor cu pereți subțiri (forțele care intervin în prelucrare sunt mult inferioare celor de la rectificarea clasică) .

Discurile-electrod sunt executate din : alamă , cupru , dar mai ales din grafit , datorită prelucrabilității și preciziei de prelucrare a acestuia . Mai prezintă avantajul că nu se distrug local în zonele unde apar descărcări electrice , temperaturile de aici fiind inferioare celei de elaborare a grafitului (+3.000⁰C).

Se poate menționa fenomenul de durificare superficială a discului , ceea ce evident , conduce la mărirea durabilității acestuia .

Pentru o mai bună irigare cu electrolit a zonei de lucru se folosesc discuri de grafit având prevăzute găuri radiale. Dacă presiunea inițială de injectare este de 15 (daN /cm²), iar viteza periferică a sculei de 60 (m/s) , forța centrifugă măbind atât presiunea cât și viteza .

În figura 8.2.6.1 se prezintă variația debitului de material erodat (Q) în funcție de intensitatea și viteza periferică a discului (V) , la prelucrarea oțelului „vaspalloy”.

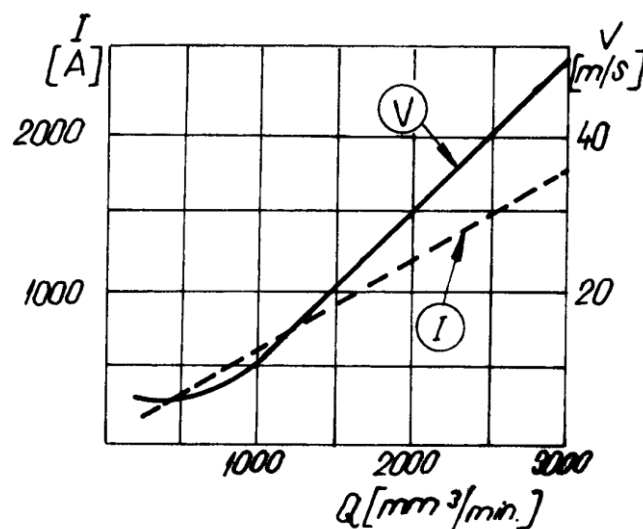


Fig. 8.2.6.1

8.3. Eroziunea complexă

Pentru a înțelege scopul eroziunii complexe , se vor compara cele două tipuri de eroziuni , cea electrică și electrochimică . Astfel , *eroziunea electrică* , permite obținerea unei precizii dimensionale și a unei calități superioare a suprafeței de prelucrare , dar cu o productivitate inferioară în timp ce *eroziunea electrochimică* este mult mai productivă , doar că precizia mai redusă .

Era previzibilă o încercare de a combina cele două avantaje , ale procedeelor anterior enumerate , însă dificultatea apărută s-a datorat principiilor opuse care stau la baza desfășurării proceselor lor . Dacă la prelucrarea prin eroziune electrică lichidul întrebuințat are caracteristici dielectrice , în schimb la procedeul electrochimic lichidul este electroconductor .

S-a ajuns la un compromis , respectiv folosind un lichid semidielectric , acesta stând la baza *procedeului complex* , la care prelevarea de material este consecința acțiunii simultane a dizolvării anodice și a descărcărilor electrice prin impulsuri nedirijate cvasistaționare. Acestea au loc la nivelul microaspirațiilor între electrodul sculă (catod) și obiectul supus prelucrării - piesa (anod) , într-un mediu de lucru cu proprietăți speciale (electrolit) . Procesul prelevării este condiționat de formarea peliculei pasivante insolubile , având proprietăți dielectrice și mecanice ridicate , de existența unei presiuni între electrozi , combinată cu o mișcare relativă între aceștia , în scopul depasivizării forțate mecanic.

Ca rezultată a acestor acțiuni cumulate , are loc eroziunea obiectului prelucrat (a piesei) , iar în parte (mult mai puțin) a electrodului sculă .

8.3.1. Prelucrarea prin eroziune chimico-electrică (anodo-mecanică)

În cadrul acestui procedeu se încadrează atât erodarea datorită dizolvării anodice cât și cea determinată de descărcările electrice prin impulsuri . Prelevarea de material are loc la suprafața de contact electrod-sculă (catod) și electrod-piesă (anod) , în prezența electrolitului. În această zonă se formează o peliculă pasivă cu proprietăți mecanice deosebite , care este înlăturată prin mișcarea relativă a celor doi electrozi .

Schema de principiu a prelucrării este arătată în figura 8.3.1.1.

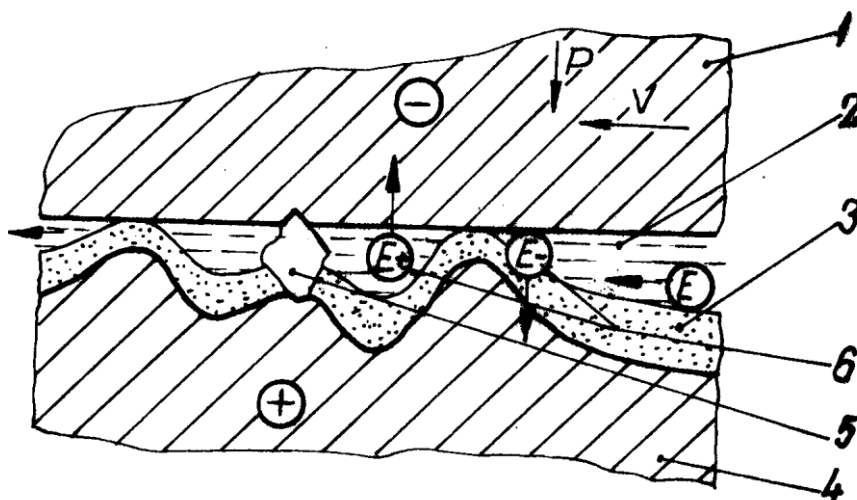


Fig. 8.3.1.1

În interstițiul dintre electrodul-sculă (1) și piesa (4) au loc atât descărcări electrice cu impulsuri (5) cât și fenomenul de dizolvare anodică (6) cu formarea unei pelicule pasive (3). Datorită mișcării relative (V) a celor doi electrozi, se produce distrugerea peliculei insolubile în vârful microasperităților. Astfel se creează în aceste zone condiții pentru un nou ciclu eroziv care, în final, va conduce la o uniformizare a microprofilului suprafeței. Productivitatea și calitatea suprafeței prelucrate sunt influențate de următorii parametrii:

- intensitatea și tensiunea curentului electric;
- viteza periferică (V);
- presiunea dintre electrozi (p);
- calitatea electrodului (E) și debitul acestuia în zona de lucru.

Prin modificarea parametrilor electrice se poate obține accentuarea fenomenelor de dizolvare anodică (vezi graficul din figura 8.3.1.2) în zona (a), a descărcărilor electrice în zona (c), precum și un domeniu în care acestea coexistă (zona b). Tot în aceeași figură sunt indicate cele trei zone determinate de densitatea curentului electric (A,B,C).

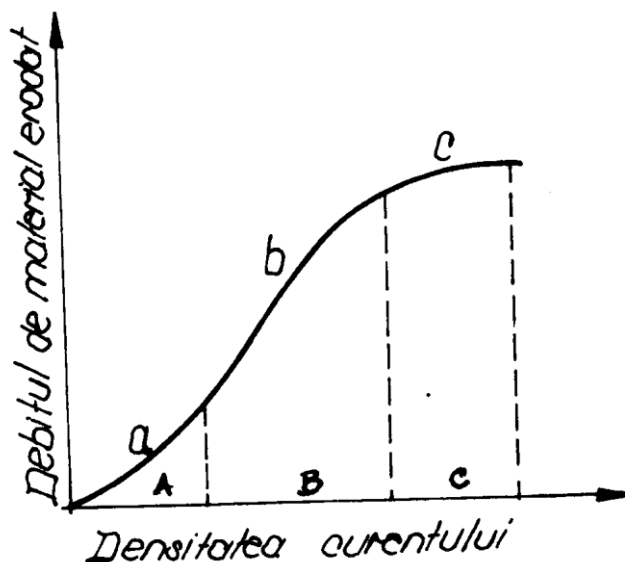


Fig. 8.3.1.2

Acest procedeu se pretează bine la prelucrări ca :

- rectificarea suprafețelor plane ;
- ascuțirea sculelor prevăzute cu pastile din carburi metalice ;
- debitarea semifabricatelor din materiale greu prelucrabile ;
- profilarea suprafețelor cilindrice sau plane.

În figura 8.3.1.3 se dă schema de principiu a ascuțirii sculelor prin procedeul anodo-mecanic.

Discul din oțel , fontă ori cupru (1) , este prevăzut pe fața frontală cu canale având rolul de a repartiza uniform electrolitul în zona de lucru . Acest disc , conectat la polul negativ al sursei de curent continuu prin intermediul colectorului (4) , execută o mișcare de rotație (n) . Pentru a asigura o presiune constantă , există un sistem de reglare cu șurub și arc (5) . Prin diuza (2) se asigură debitul optim de electrolit ($8 \div 10$ l/min). Dintre soluțiile utilizate . o mai largă răspândire o are silicatul de sodiu .

Avantajul procedurii este asigurarea preciziei , productivității ridicate și calității superioare a suprafeței prelucrate , lucru care determină o durabilitate ridicată față de ascuțirea cu disc abraziv .

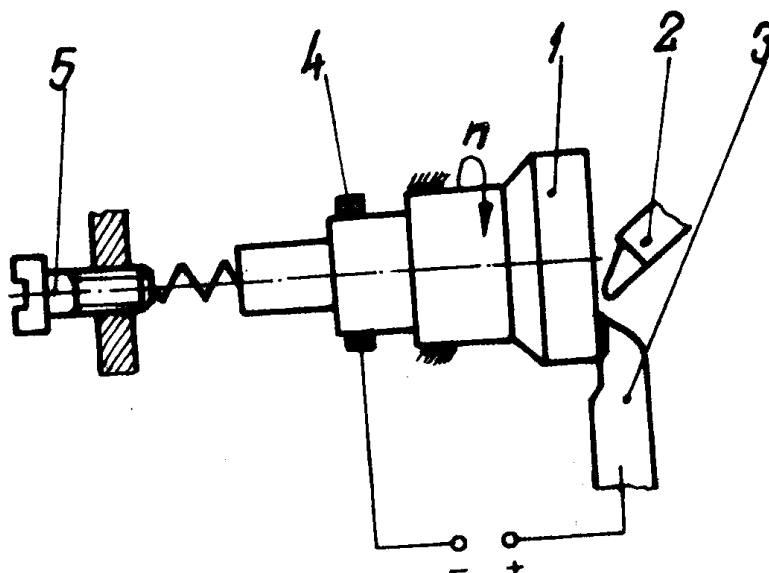


Fig. 8.3.1.3

În tabelul I/3 se dau principalii parametri la câteva operații realizate prin procedeul anodo-mecanic.

Tabelul I/3

Operația	Regim de lucru		Viteza relativă [m/s]	Debit de material erodat [mm ³ /min]	Precizia de prelucrat	Rugozitatea Ra [μm]
	Tensiune [V]	Densitate de curent [A/cm ²]				
Debitare cu disc	20 – 24	100 – 500	15 – 20	8 – 25	3 – 4	50 – 12,5
Profilare	16 – 20	10 – 150	5 – 10	100 – 200	1 – 2	3,2 – 0,8
Rectificare :						
- degroșare	16 – 20	8 – 15	20 – 25	10 – 20	2 – 3	3,2 – 1,6
- finisare	12 – 16	3 – 7	20 – 30	2 – 15	1 – 2	0,8 – 0,2

8.3.2. Prelucrarea prin eroziune electrochimică abrazivă

Procedeul este caracterizat de acțiunea simultană a dizolvării anodice și a detașării mecanice de așchii, produsă de un disc abraziv. Schema procedeului este prezentată în figura 8.3.2.1.

Discul electroconductor (1) pe a cărei suprafață se află granulele abrazive (2), are o mișcare relativă față de piesă. Astfel se produce fragmentarea stratului depasivant (3) la vârful microasperităților, simultan cu răzuirea acestor extremități de către abraziv. Procesul eroziv va continua tocmai în aceste zone, deoarece în cavități pelicula pasivă împiedică fenomenul de dizolvare anodică. Pe lângă productivitatea ridicată: $300 \div 500 \text{ [mm}^3/\text{min]}$, a acestui procedeu, vom mai menționa precizia mare care se poate obține precum și calitatea foarte fină a suprafeței prelucrate ($R_a = 0,05 \div 0,2 \text{ }\mu\text{m}$). Datorită acestor avantaje, rectificarea electrochimică abrazivă se aplică cu bune rezultate la ascuțirea sculelor așchietoare prevăzute cu pastile din carburi metalice sau a oțelului rapid supercarburat. Principal, schema ascuțirii este

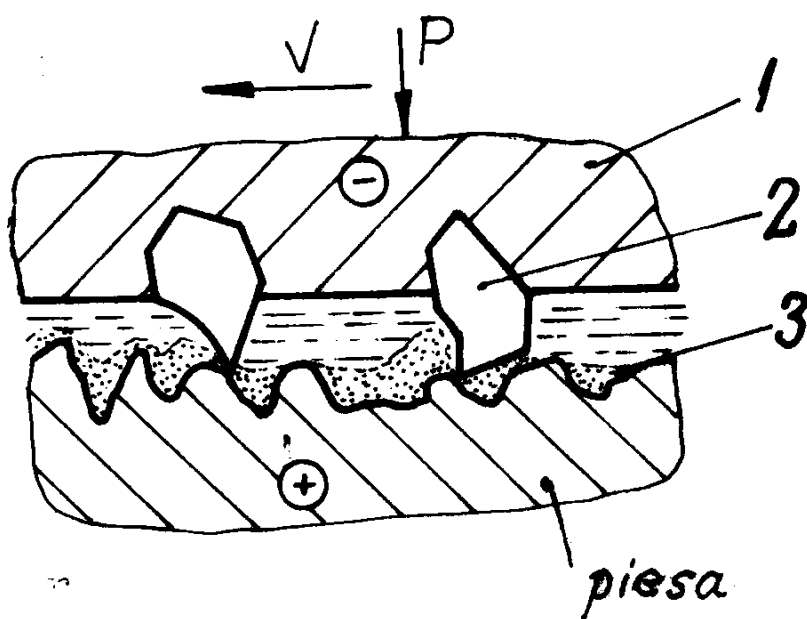


Fig. 8.3.2.1

asemănătoare cu cea de la prelucrarea anodomecanică (vezi figura 8.3.1.3), diferența constând în folosirea unui disc abraziv. Electrolitul cel mai utilizat este soluția de clorură de sodiu. În ceea ce privește ponderea celor două fenomene în procesul eroziv, se apreciază la

circa 70 ÷ 95 % aportul fenomenelor electrochimice , restul datorându-se celor de abraziune mecanică . Utilizarea discului sculă din diamant , având ca liant bronzul , se dovedește a fi avantajoasă datorită uzurii considerabil micșorate precum și a posibilității executării dintr-o singură operație a degroșării și finisării .

În tabelul din figura 8.3.2.2 se dau diagramele de uzură aferente procedeei clasice și celui electrochimic abraziv la prelucrarea carburii de tungsten .

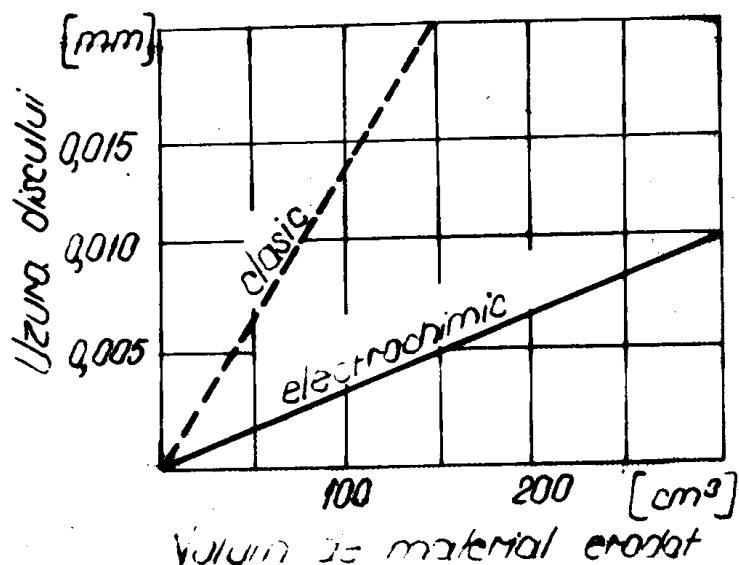


Fig. 8.3.2.2

Avantajul calitativ al acestui procedeu se poate observa comparativ în tabelul II/3 (între ascuțirea mecanică și cea electrochimică) .

Ca rentabilitate a acestui procedeu se poate aminti că el se amortizează după primele 100.000 de ascuțiri .

Tabelul II/3

Parametrii urmăriți	Ascuțire	
	Mecanică	Electrochimică
Durata prelucrării [h]	24	44
Volumul de material erodat [cm ³]	117	400
Debitul de material erodat [cm ³ /h]	4,9	9,1
Uzură totală a discului [mm]	0,015	0,017
Uzura orară a discului [mm/h]	0,00625	0,000387

8.4. Eroziunea cu ultrasunete

8.4.1. Prelucrarea prin eroziune abrazivo-cavitațională în câmp ultrasonic

Ultrasunetele sunt vibrații acustice ale căror frecvențe nu aparțin intervalului $10.000 \text{ Hz} \div 16 \text{ kHz}$ ci unor frecvențe imediat superioare (între $16 \div 30 \text{ kHz}$).

În mediile pe care le străbat, vibrațiile ultrasonice declanșează fenomene ca :

- ridicarea temperaturii ;
- favorizează unele reacții chimice ;
- transportă și concentrează energii considerabile ;
- reflexie ,refracție , difuziune , ș.a .

Datorită acestor proprietăți , ultrasunetele și-au găsit utilizare și la prelucrările prin eroziune abrazivă și cavitațională a unor materiale . Acesta este una din aplicațiile active în care energiile sunt suficient de mari pentru a produce modificări în structura mediului pe care îl străbat .

La prelucrarea abrazivo-cavitațională se folosesc în special emițătoare magnetostrictive , a căror funcționare se datorează modificării dimensiunilor unui corp feromagnetic care se află într-un câmp magnetic variabil (se mai cunosc și alte tipuri de emițătoare . piezoelectrice și hidrodinamice) .

Schema de principiu a instalației de prelucrare cu ajutorul ultrasunetelor este redată în figura 8.4.1.1 .

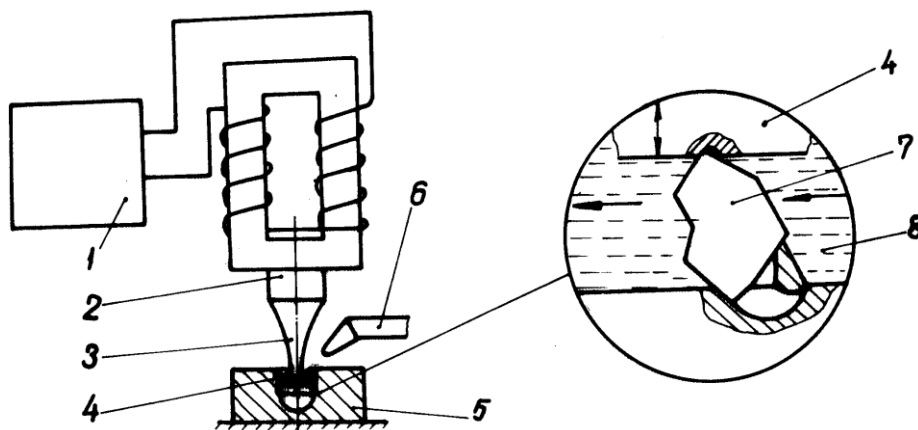


Fig. 8.4.1.1

- (1) – generator de înaltă frecvență ;
- (2) – vibrator magneto-strictiv ;
- (3) – traductor ;
- (4) – sculă ;
- (5) – piesă ;
- (6) – instalație pentru circularea suspensiei ;
- (7) – particulă abrazivă ;
- (8) soluție lichidă .

Vibratorul magneto-strictiv transformă energia câmpului magnetic variabil în energie mecanică de vibrație , care este amplificată prin intermediul traductorului (3) . Fenomenul intim de erodare se datorează transmiterii energiei cinetice a sculei (care vibrează cu frecvență ultrasonică) particulelor abrazive (7) care se află în suspensie în lichidul (8) , acesta având o mișcare dirijată . Datorită șocurilor repetate care sunt transmise prin particulele abrazive la suprafața piesei , aici apar microfisuri și desprinderi de material , care sunt îndepărtate prin circulație forțată a emulsiei . Acest fenomen eroziv – este însoțit și de cavitația ultrasonică în mediu lichid , care grăbește distrugerea materialului din zona de lucru . Particulele abrazive trebuie să aibă o duritate cel puțin egală cu cea a materialului supus erodării .

În figura 8.4.1.2 a și b se prezintă cele două metode de prelucrare ultrasonică :

- a. – prelucrarea cu suspensie abrazivă ;
- b. – prelucrarea fără suspensie abrazivă .

Piesa (1) , supusă prelucrării , așezată pe masa (2) a mașinii este acționată cu o sculă (3) numită concentrator, care vibrează cu o frecvență cuprinsă între $16 \div 30 \text{ kHz}$, prin intermediul unui traductor ultraacustic (4) , legat la un generator de înaltă frecvență (5) . Pentru a se produce prelucrarea , care are loc prin prelevarea de material și prin copierea formei sculei (7) ,este necesar ca aceasta din urmă să fie apăsată pe piesă cu o presiune relativ joasă de circa $0,5 \div 4 \text{ (daN/cm}^2\text{)}$, prin intermediul unui sistem de avans , iar la locul prelucrării să fie adusă o suspensie abrazivă (6) care la joacă rolul de agent eroziv .

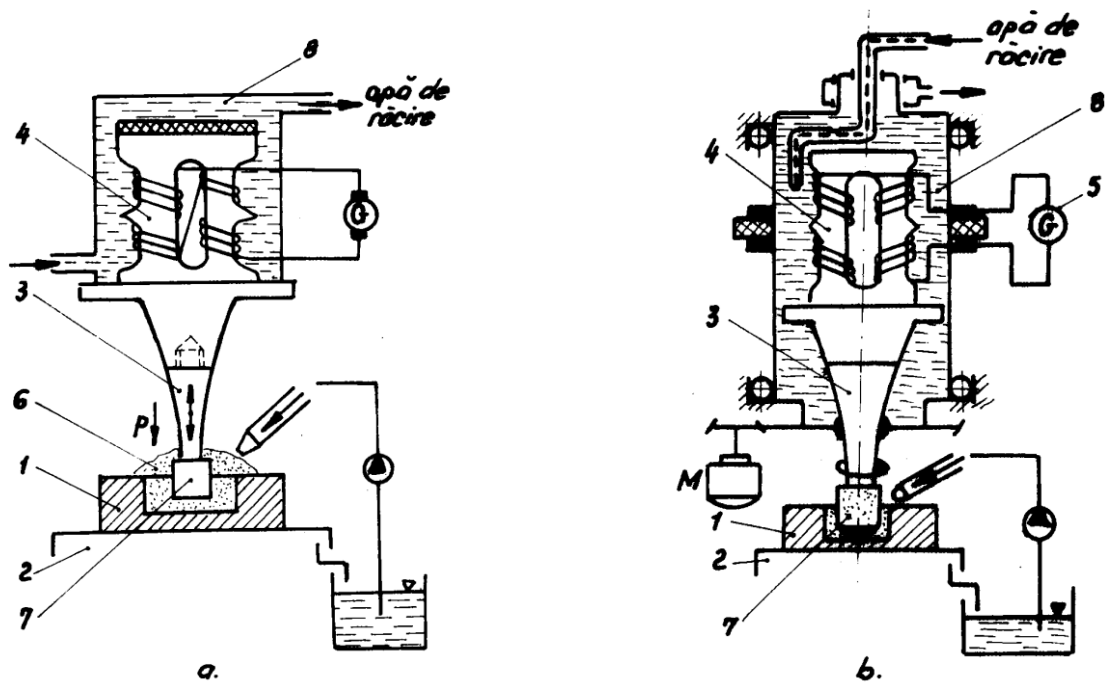


Fig. 8.4.1.2

Modelul prelucrării prin ultrasunete fără suspensie abrazivă (figura 8.4.1.2 b) s-a impus relativ recent . În locul folosirii suspensiei abrazive se folosește o sculă impregnată cu praf de diamant (7) , la sculă existând o mișcare suplimentară de rotație . Condițiile prelucrării în acest scop sunt și ele schimbate , în sensul că amplitudinea de oscilație a sculei este mai mică , nedepășind $15 \mu\text{m}$, pentru a nu periclita scula . Presiunea dintre sculă și piesă are valori mari ajungând până la 30 daN/cm^2 , scula rotindu-se cu o turație de 2.000 rot/min . Locul prelucrării este alimentat de data aceasta numai cu lichid de răcire (8) . La ambele tipuri de prelucrări , productivitatea (Q) este o funcție de frecvența vibrațiilor ultrasonice ale sculei , de amplitudine de vibrație (A) , de presiunea de contact dintre piesă și sculă și bineînțeles de modul de alimentare cu suspensie abrazivă și caracteristicile acesteia (k) .

Prelucrarea în câmp ultrasonic se pretează la materiale dure , extradure și fragile la care metodele clasice nu se pot aplica . Astfel se utilizează la prelucrarea filierelor , a materialelor metalo-ceramice , a mineralelor prețioase naturale sau sintetice , etc .

La stabilirea parametrilor de lucru trebuie să se aibă în vedere factorii care influențează productivitatea .

Aceștia sunt :

- viteza de vibrație (V_9 , prin frecvență și amplitudine :

$$V = \frac{4fA}{1.000} \quad [\text{m} / \text{s}] \quad (8.4.1.1)$$

unde : f [Hz] – frecvența vibrațiilor ;

A [mm]- amplitudinea oscilațiilor

Se recomandă ca viteza (V) să fie cuprinsă în intervalul : $1 \div 7$ (m / s).

- abrazivul . prin mărimea particulelor , natura și concentrația lor în lichid .

Se folosește ca material abraziv : carbura de bor , carbura de siliciu sau electrocorindon la o concentrație volumică de $20 \div 40$ % , în apă .

- natura lichidului și modul de circulare al acestuia . De obicei se folosește apă cu soluție de săpun , iar pentru o mai bună circulație se folosesc pompe de vidare , care realizează aplicarea prin vacuum .
- proprietățile fizico-mecanice ale materialului de prelucrat (fragilitatea are un rol hotărâtor);
- secțiunea sculei și adâncimea de prelucrare ;
- presiunea statică între sculă , abraziv și piesă (aceasta variază între limitele de $1 \div 5$ daN / cm^2).

Dintre factorii care influențează precizia de prelucrare se amintesc :

- uzura sculei ;
- granulația abrazivului . Modul în care influențează mărimea granulelor asupra preciziei (R_a) pentru diferite materiale (vezi figura 8.4.1.3) ;
- precizia utilajului .

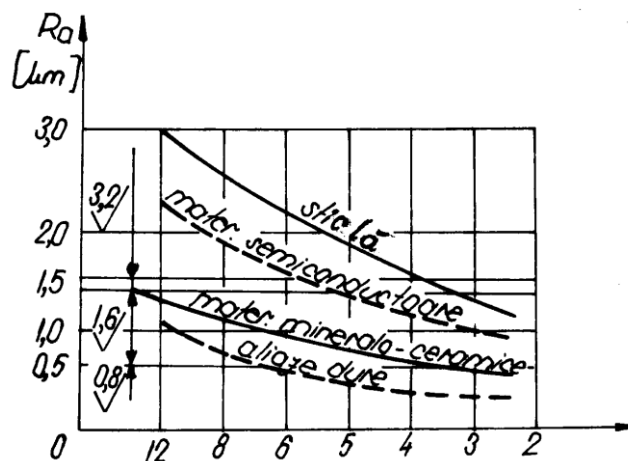


Fig.8.4.1.3

Mașinile unelte pe care se face prelucrarea abrazivo-cavitațională în câmp ultrasonic se compun , în general , din următoarele elemente :

- batiu ;
- sănii (cu lanțuri cinematice pentru mișcări auxiliare) ;
- bloc ultrasonic ;
- sistem de avans al capului de lucru ;
- sistem de circulație a suspensiei abrazive ;
- echipament electric de alimentare și producție .

În vederea stabilirii prelucrării unui material , printr-o metodă sau alta , criteriul economic trebuie să stea la baza deciziei . Dacă se are în vedere și prelucrarea în câmp ultrasonic , nu vor fi omise și dezavantajele acestei metode :

- consum mare de energie ;
- uzura considerabilă a sculei la prelucrarea aliajelor dure ;
- productivitatea relativ scăzută ;
- posibilitatea prelucrării pieselor cu suprafețe și adâncimi mici .

8.4.2. Prelucrarea cu flux de electroni

Principiul de bază la prelucrarea cu flux de electroni constă în transformarea energiei cinetice a electronilor în energie calorică , prin frânarea acestora pe suprafața piesei de prelucrat . În acest scop , se folosesc fascicule de electroni cu densitate și energii cinetice ridicate , accelerați și focalizați pe suprafața piesei de prelucrat , care se găsește într-un spațiu vidat .

Dezvoltarea actuală a prelucrărilor cu flux de electroni se datorește nevoilor deosebite , în special în tehnica nucleară , în construcțiile aeronautice , în construcția rachetelor precum și în domeniul de vârf ale construcției de mașini .

Schema bloc a unei instalații de sudură cu flux de electroni , este redată în figura 8.4.2.1 .

Electronii produși prin emisie termoelectrică de către termocatodul (c) sunt conduși prin electrodul de comandă W (cilindrul Wehnelt) și anodul de accelerare (A) prin sistemul de focalizare format din bobina de focalizare (FB) , apoi prin bobina de deflexie (BD) pe suprafața piesei (P) așezată în dispozitivul (T) . Operația de prelucrare se desfășoară în cameră vidată și este urmărită printr-un vizor de către operatorul uman aflat în exterior .

Electronii emiși străbat o diferență de potențial (U) și preiau de la câmpul electric o energie cinetică dată de relația :

$$neU = n \frac{mv}{2} \quad [\text{J}] \quad (8.4.2.1)$$

unde : n – numărul de electroni ,

e – sarcina electrică a unui electron (în c) ,

m – masa unui electron (în kg) ,

v – viteza electronilor [m/s]

8.5. Eroziunea cu radiații

Acest procedeu se bazează pe acțiunea erozivă a unui fascicul de radiații de mare energie, focalizat puternic la locul de prelucrare cu ajutorul unor lentile electrice, magnetice și electromagnetice pentru radiații corpusculare, sau cu lentile optice, în cazul radiațiilor electromagnetice luminoase.

În practica industrială, cele mai răspândite tehnologii cu radiații sunt :

- a) prelucrările cu fascicule de fotoni (laserul);
- b) prelucrările cu fascicule de electroni.

Prelucrarea cu fascicul de ioni este utilizată mai restrâns.

8.5.1. Principiul fizic al prelucrării – generalității

După cum cunoscut, undele electromagnetice pot interacționa cu un sistem atomic (moleculă, atom sau ion), producând variația energiei interne a acestuia, aceasta crescând până la o valoare bine determinată, după care revine la starea fundamentală inițială eliberând energie sub formă de radiație.

Notând: n – starea fundamentală;

m - starea cuantificată superioară,

se poate scrie relația :

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n \quad (8.5.1)$$

în care : E_m și E_n sunt energiile stărilor excitate, respectiv fundamentală a sistemului atomic considerat;

h – constanta lui Planck.

Emisia de radiație se produce cu frecvența ν_{mn} dată de relația (8.5.1), în două moduri:

a) - cazul în care câmpul undei electromagnetice care interacționează cu sistemul atomic, aflat în starea energetică superioară este nul. În acest caz, procesul de trecere a sistemului la starea fundamentală, urmat de emisia de radiație, se numește emisie spontană.

b) – cazul în care emisia sistemului atomic aflat în starea excitată acționează câmpul undei electromagnetice, cu frecvența ν , egală cu frecvența ν_{mn} , corespunzătoare tradiției considerate. Atunci, sistemul atomic va emite o undă care se găsește într-o relație de fază bine determinată cu unda incidentă. În acest caz, procesul descris determină apariția așa-numitei emisii induse sau stimulate. Unda astfel emisă este capabilă să stimuleze un alt sistem atomic, reacția continuându-se în acest fel, amplificând unda incidentă.

Pe această bază s-au putut concepe și construi generatoarele și amplificatoarele cuantice de radiații.

În anul 1960 s-a reușit pentru prima dată să se realizeze amplificarea luminii prin stimularea emisiei de radiație, în spectrul vizibil în interiorul unui cristal de rubin, cu lungime de undă de 6943 \AA . Practic la acea dată, se poate considera că s-a născut primul „laser” de laborator. De atunci, dinamica dezvoltării ascendente a generatoarelor și amplificatoarelor cuantice a evoluat de o manieră fără precedent, rezolvând nesperat de bine probleme din cele mai diverse sectoare de activitate umană.

În anul următor (1961) apare generatorul cuantic cu gaz (heliu și neon), având performanțe superioare generatorului de rubin, mai ales în privința monocromaticității luminii emise. Lumina emisă de acest nou dispozitiv avea lungimea de undă de 11.530 \AA , într-o lărgime de bandă de aproximativ 1000 de ori mai mică decât lărgimea de bandă a liniei de 6.943 \AA (emisă de generatorul cuantic cu rubin).

În vederea desfășurării fenomenului laser, este necesară o cavitate rezonantă care să conțină un mediu activ. O astfel de cavitate trebuie să fie constituită dintr-o incintă, având dimensiunile de ordinul lungimii de undă a radiației. Dacă dimensiunile cavității rezonante sunt de ordinul centimetrilor, în acest domeniu de lungimi de undă, frecvențele proprii ale modurilor de vibrație care pot fi luate în considerare se deosebesc mult între ele.

Cavitatea poate fi considerată pentru un număr mic de moduri sau chiar pentru unul singur. S-au efectuat încercări cu radiații având lungimea de undă de circa 1 mm (10^7 \AA), încercările de a coborî sub această limită fiind dificile.

Lungimile de undă din domeniul optic sunt cu aproximativ trei ordine de mărime mai mici, deci practic, imposibil de construit cavități de 10^{-3} mm . Datorită acestui fapt, s-a recurs la constituirea unor cavități de rezonanță, având dimensiunile mult mai mari decât lungimea de undă utilizată. O asemenea cavitate, construită după modelul cavităților

utilizate în domeniul microundelor (sub forma unei incinte închise), poate să suporte un număr foarte mare de moduri de oscilație. Cavitataea respectivă este indicat să aibă o asemenea formă, încât majoritatea modurilor de vibrație să sufere pierderi foarte mari în cavitataea, astfel încât să se manifeste ca fiind eficace numai un număr restrâns de moduri sau chiar unul singur.

În cavitataea care reprezintă etalonul Fabry-Perot, prin reflecții repetate ale unei luminoase între cele două plăci reflectante, se pot selecționa câteva din numărul foarte mare de moduri de vibrație posibile .

Mediul activ conținut într-o astfel de cavitataea poate fi excitat într-un anumit mod :- iradiere cu lumină (porupaj optic), descărcare electrică în gaz și ciocnituri de electroni. Acesta (mediul), e dus astfel în situația de a îndeplini condiția de autooscilație, prin care (în cantitatea respectivă) va apare o undă staționară. În afara cavității unda va avea înalte calități de direcționalitate, monocromaticitate, coerență și intensitate.

Soluția care s-a adoptat pentru realizarea unor cavități care s-a adoptat pentru realizarea unor cavități de rezonanță corespunzătoare a constat în găsirea mijlocului de a sincroniza un număr mare de sisteme atomice, care să poată lucra împreună, cu un efect însumat, pentru a produce o undă intensă, monocromatică și coerentă.

În cavități de rezonanță cu dimensiuni mult mai mare decât lungimea de undă utilizată pot avea loc un număr foarte mare de moduri de oscilație într-un interval de frecvență stabilit .

Numărul de moduri de oscilație pentru o formă potrivit fenomenului Lorentz, a limitei speciale este dat de relația :

$$P = \frac{8\pi\nu^2 \cdot V \cdot \Delta\nu}{c^2} \quad (8.5.1.1)$$

în care :

ν - frecvența liniei spectrale considerate ;

V – volumul cavității rezonante;

c – viteza luminii;

$\Delta\nu$ - semilărgirea liniei spectrale.

Dacă dimensiunile cavității de rezonanță sunt foarte mari, în comparație cu lungimea de undă, atunci numărul de moduri din intervalul de frecvență și unitatea de volum nu poate fi redus substanțial. În schimb, dacă lungimea de undă, în comparație cu dimensiunile principale ale zonei în care se propagă, se pot elimina, prin utilizarea proprietăților de direcționalitate ale propagării undei dorite, majoritatea modurilor de oscilație care nu interesează.

Astfel, dacă se consideră o cavitate de $V=1\text{ cm}^3$, lungimea de undă $1\mu\text{m}$ și lărgimea liniei spectrale $\Delta\nu=1\text{ cm}^{-1}$, rezultă un număr de 10 moduri de vibrație.

Există și cavități de rezonanță de formă specială, analoagă cu interferometrul Fabry-Perot, constituite dintr-o incintă de formă oarecare, având pereți transparenti, cu excepția a doi pereți opuși (care este necesar să fie plane paralele opuse), cu reflexia totală. Unda de lumină se reflectă între aceste plane (oglinzi), selectându-se numai o mică parte din numărul mare de moduri de oscilație.

Pentru ca fenomenele descrise să poată fi folosite în scopul amplificării luminii prin stimularea emisiei de radiație și pentru ca această radiație, odată generată, să poată părăsi cavitatea în care s-a format în scopul utilizării ei, este necesar ca una din oglinzi să fie semitransparentă, sau să aibă un orificiu în centrul ei.

Într-o cavitate de rezonanță de tip Fabry-Perot, în care se propagă o undă luminoasă, dacă pentru calcul se adoptă numai punctul de vedere geometric, pot fi luate în considerare numai razele care se propagă paralel cu axul cavității.

Unda care trece prin mediu între cele două oglinzi, este amplificată, dar concomitent ea pierde o parte din putere datorită fuziunii mediului. Difracția care apare la marginea oglinzilor cavității contribuie, de asemenea, la mărirea pierderilor. Rezultă că efectul de amplificare se produce dacă puterea pierdută este mai mică decât puterea dobândită prin fenomenul de emisie, la trecerea undei prin mediul activ.

8.5.2. Prelucrarea cu fascicule de electroni (laser)

8.5.2.1. Prelucrarea prin vaporizarea materialelor

Radiația laser poate fi utilizată și cu scopul vaporizării unor materiale .

În locul de impact al radiației laser cu materialul se produce o schimbare de fază a acestuia, dacă puterea absorbită pe unitate de suprafață depășește o anumită valoare de prag, în funcție de proprietățile fizice și chimice ale materialului studiat. În vederea obținerii unui efect cât mai pronunțat la ieșirea din cavitatea de rezonanță, radiația este concentrată cu ajutorul unor lentile optice, confecționate din sare, germaniu sau galiu. Dacă lentila are distanța focală „f”, în planul focal se obține o pată luminoasă cu diametrul „S”, conform relației :

$$S = f \cdot \Theta \quad (8.5.2.1)$$

în care θ este divergența fasciculului.

Divergența minimă a unui fascicul de lumină este o funcție de lungimea de undă și de diametrul fasciculului. Pentru fenomenul de difracție se aplică criteriul Rayleigh în condiții de coerență spațială :

$$\theta_{\min} = \frac{1,22}{R} \quad (8.5.2.2)$$

în care R este diametrul fasciculului (apertura).

Fluxul mediu energetic (iluminarea medie) prin unitatea de arie, când energia radiantă este focalizată de lentilă, poate fi exprimat cu ecuația :

$$F_m = \frac{\varepsilon}{\pi S^2} = \frac{\varepsilon}{\tau \pi f^2 \Theta^2} \quad (8.5.2.3)$$

în care :

ε - energia impulsului laser,

τ – durata impulsului (o parte din fluxul laser incident este reflectat de suprafața materialului);

$\varepsilon_a = \varepsilon [1-R]$ – energia care este absorbită de către material;

R – factorul de reflexie a suprafeței materialului.

Procesele de interacțiune dintre impulsul laser și atomii sau moleculele substanței pot produce o creștere substanțială a temperaturii materialului iradiat. Timpul în care crește temperatura materialului, ca urmare a iradierii lui cu laser, este de ordinul 10^{-13} s (aproximativ egal cu ordinul de mărire al timpului între două ciocniri succesive ale electronului într-un conductor).

Încălzirea produsă în zona de interacțiune difuzează prin conducție, proporțional cu conductibilitatea termică a materialului.

Ordonata z_e a frontului termic se poate exprima cu relația :

$$Z_e = (4at)^{1/2} \quad (8.5.2.4)$$

unde : a –constantă.

Din relațiile (8.5.2.3) și (8.5.2.4), rezultă că frontul termic pătrunde în material pe o adâncime de ordinul micronilor, iar unda luminoasă pe o adâncime de ordinul sutelor de angstromi. Efectul pătrunderii frontului termic se manifestă prin modificarea proprietăților fizice ale materialului în diferite zone, sub efectul energiei pulsului laser, fiind dependentă de repartiția spațială și temporală a acestora.

Între difuzivitatea termică a materialului (k) și conductivitatea termică (a) există relația :

$$k = a \cdot c \quad (8.5.2.5)$$

Legătura între energia impulsului laser absorbit (ε_a) și flux (F_0) există relația :

$$F_0 = \varepsilon_a / S \quad (8.5.2.6)$$

Temperatura superficială a materialului supus radiației crește cu energia absorbită (ε_a), un timp limitat, perioadă în care energia este suficientă pentru a produce căldura la acre apare

vaporizarea . realizarea vaporizării pe o arie dorită este un proces pretențios, necesitând reglarea parametrilor fizici ai procesului în limite foarte restrânse.

Criteriul de eficiență a procesului de vaporizare se poate defini prin expresia randamentului acestei operații :

$$\eta_{v(e)} = \frac{\text{Energia.laser.care.produce.efectiv.vaporizarea}}{\text{Energia.fasciculului.ui.laser}} \quad (8.5.2.7)$$

Randamentul pe întreg ansamblul instalației :

$$\eta_{v(e)} = \frac{\text{Energia.laser.care.produce.efectiv.vaporizarea}}{\text{Energia.absorbită.de.întreaga.instalațns}} \quad (8.5.2.8)$$

Pentru procesele de topire, vaporizare, tăiere, găurire și sudare cu laser, factorul de reflexie al suprafeței R are mare importanță. În funcție de acesta, energia absorbită se poate scrie:

$$\varepsilon_a = [1-R] \cdot \varepsilon \quad (8.5.2.9)$$

În cazul metalelor, valorile numerice ale lui R sunt foarte mari.

În practică, materialele cu reflexivitate ridicată, care urmează să fie supuse radiației laser, se acoperă în prealabil cu straturi subțiri de vopsea , sau oxizi și se lipesc pe aceste suprafețe foi subțiri de hârtie mată, iar dacă este posibil se afumă.

La vaporizare, stratul care vine la început în contact cu raza laser este rece și e reflectată puternic. Pentru straturile următoare, reflexia are valori mult mai mici, deci absorbția este mai eficientă, materialul fiind încălzit, în continuare, în straturile următoare, prin conductibilitate termică.

Masa totală de material vaporizat se poate exprima cu relația :

$$m = \Theta \cdot S \cdot C \quad (8.5.2.10)$$

unde : - τ – durata impulsului luminos;

- S – suprafața de pe care se vaporizează substanța.

Depunerea de materiale în straturi foarte subțiri și cu o puritate înaltă, poate fi considerată drept o consecință a posibilităților oferite de evaporare.

8.5.2.2. Tăierea (debitarea) cu radiații

Operația tehnologică de tăiere-debitare cu ajutorul laserului, are o pondere însemnată în industria constructoare de mașini (electrotehnică și electronică), a lemnului și a maselor plastice, în industria confecțiilor (textile și de pielărie).

Se utilizează, în domeniile anterior amintite, mai ales laserii cu CO₂ sau cu argon ionizat. Puterea uzuală a acestor laseri este cuprinsă în domeniul 10¹- 10³ w.

În figura 8.5.2.2 se prezintă schița de principiu a unei instalații laser, folosită la debitare.

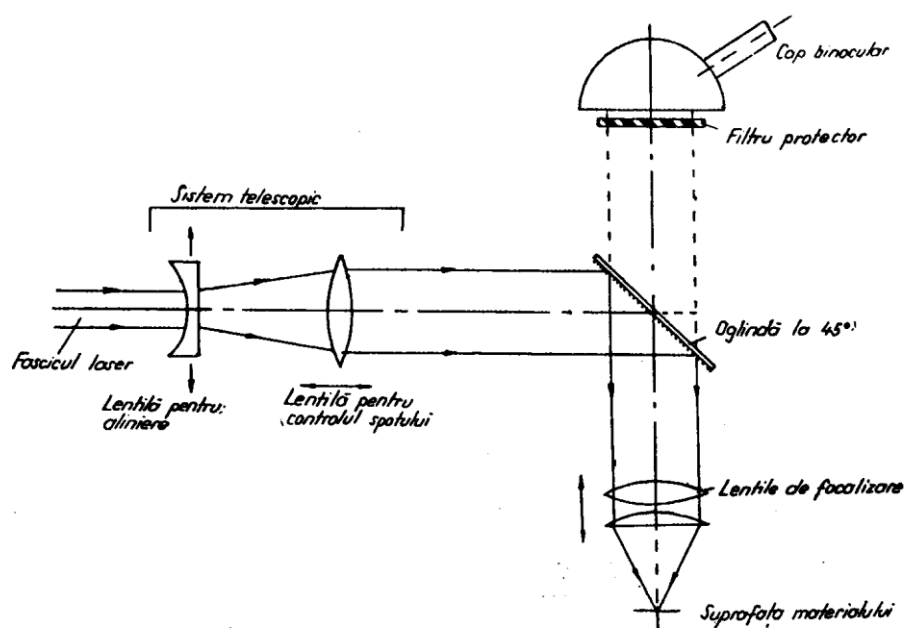


Fig.8.5.2.2

Cu ajutorul unei astfel de instalații, o radiație de mare densitate de energie poate fi focalizată asupra unei piese de prelucrat, astfel încât să producă topirea și vaporizarea oricărui material.

Radiația poate fi reglată sub raportul energiei, a duratei impulsului și a focalizării, operație combinată cu posibilitatea deplasării în plan a unei mese de lucru, pe care se află piesa de prelucrat.

Pe măsura creșterii cerințelor industriale se vor aduce noi perfecționări ale tehnicilor și instalațiilor utilizate.

8.5.2.3. Sudarea cu radiații.

Pentru sudare se pot folosi fie laseri cu fascicul continuu, folosind figura prezentată anterior (fig.8.5.2.2), fie laseri cu impulsuri (fig.8.5.2.3.1), ambele asigurând o bună calitate.

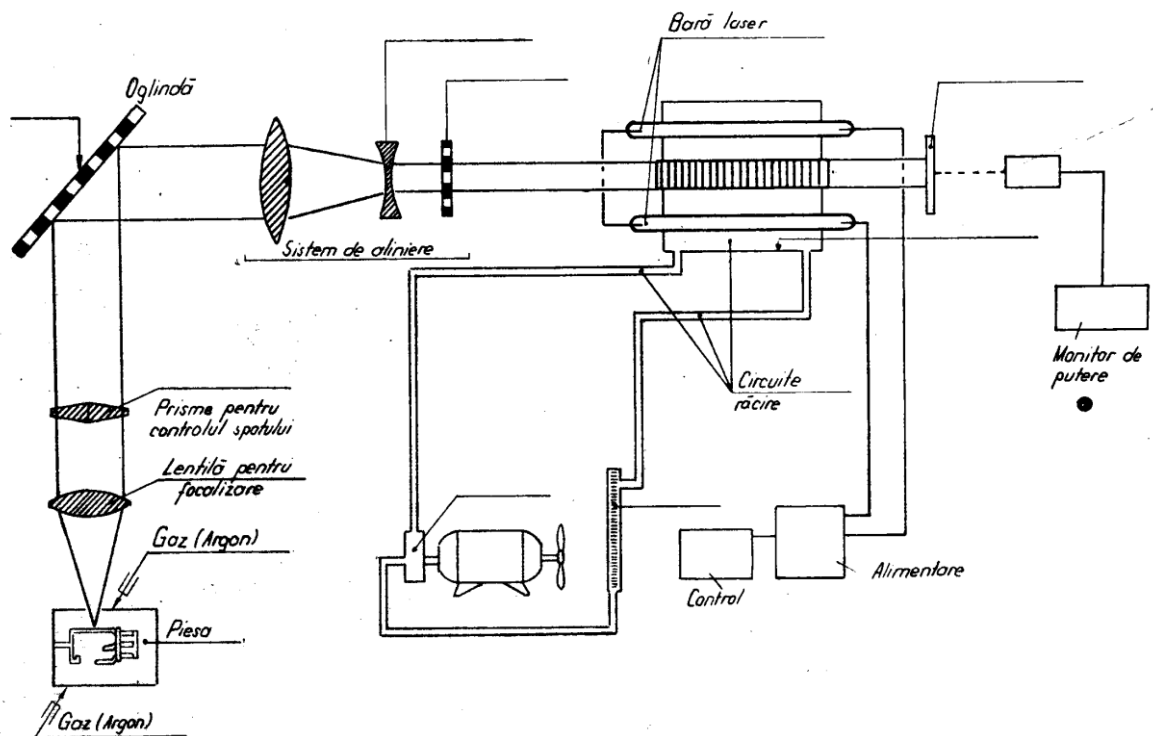


Fig.8.5.2.3.1

Pentru laseri cu impulsuri, mediul activ poate fi constituit din rubin sau sticlă dopată cu Nd, utilizându-se pulsuri de durate relativ mari pentru micșorarea efectului de vaporizare a metalului. Spre exemplu (tabelul V.1), pentru suduri efectuate cu un laser cu sticlă cu Nd, paleta valorilor este destul de diversificată.

Tabelul V.1

Material1	Grosime maximă (mm)	Material	Grosime maximă (mm)
Al-Al	0,508	Ni-Cu	1,524
Au-Al	0,762	Ni-Ni	0,762
Au-Au	0,762	Inox-Cu	0,702
Covar-Al	0,508	Inox-Inox	2,54
Covar-Cu	0,762	Inox-Ta	0,762
Covar-Covar	0,508	Ta-Ni	0,508
Mb-Mb	0,508	W-Mb	0,508
Ni-Cr-Mb	2,54	W-W	0,812

La sudurile executate cu laseni cu CO₂ se pot remarca unele avantaje (rezistență ridicată la oboseală, cordon de sudură omogen, zonă influențată termic redusă) ; valorile obținute la sudarea prin suprapunere cu un laser cu CO₂ de 250 W și respectiv 20 KW au un registru destul de larg.

Tabelul V.2

Material1	Grosime (mm)	Material	Grosime maximă (mm)
Inox	0,25	889	0,71
Inox	0,25	250	1,01
Ti	0,25	1.270	0,56

Suduri cap la cap cu laser cu CO₂ de 20 KW

Material1	Grosime (mm)	Material	Grosime maximă (mm)
Inox	20	1.270	20
Inox	13	2.540	20
Inox	9	760	8

Ca exemple de aplicare pentru industria confecțiilor (fig.8.5.2.3.2, a) în care se disting tipar-detaliu (1), grupuri de tipare (2), masa de lucru (3), se pot remarca următoarele: pentru croirea unor elemente de confecții prin metoda clasică este necesar ca după așezarea așa-numitului „șpan” (format din straturi suprapuse) să se treacă la operația denumită „încadrare”, prin care se înțelege așezarea, și desenarea pe primul strat a conturilor ce urmează a fi tăiate după care se fac tăieturi suplimentare prin modele (liniile punctate) pentru a da posibilitatea manipulării materialului în vederea tăierii cu banda circulară.

Astfel, operația impune tăieri suplimentare, fără a se putea urmări fiecare contur și șpan, pentru a se respecta operația de încadrare . Prin utilizarea laserilor , aceste inconveniente

sunt înlăturate.

În industria marochinăriei, tăierea se face cu ajutorul unor conture tăietoare profilate (fig.8.5.2.3.2,b).

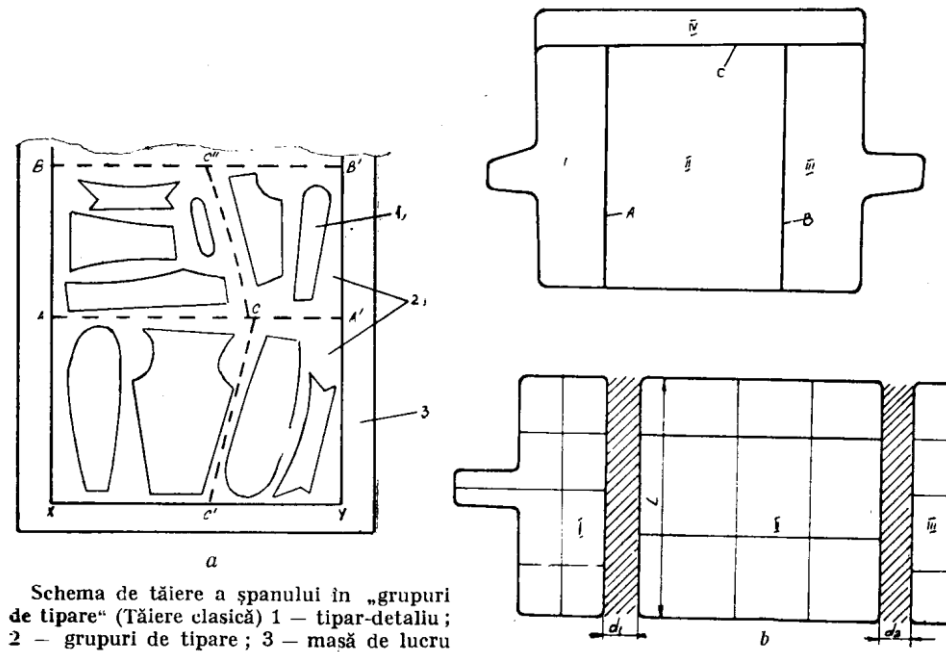


Fig.8.5.2.3.2

Dezavantajele metodei constau în pierderi de material prin punțile d_1 și d_2 , ca urmare a distanței ce trebuie lăsată între aceste contururi. La uzarea sau deteriorarea minimă a oricărui contur, acesta nu se mai poate reutiliza, deoarece pierderile din înălțime poate fi încadrat în procesul de tăiere împreună cu contururi de altă înălțime. În cazul utilizării laserului, se elimină punțile de material, deoarece o tăietură poate realiza marginea a două contururi, adiacente, iar în privința contururilor de tăiere, acestea sunt eliminate.

8.5.2.4. Prelucra cu fascicul de electroni.

Aplicațiile fascicului de electroni se folosesc în domeniul găuririi și sudurii materialelor metalice sau nemetalice, acestea posedând o energie cinetică de concentrație foarte mare, datorită vitezei ridicate cu care sunt antrenați și apoi focalizați electronii asupra materialului de prelucrat. Principiul, prelucrării cu fascicul de electroni constă în transformarea energiei cinetice a fascicului în energie termică.

Pentru producerea fascicului de electroni se folosește un tun electronic, constituit în principal dintr-o triodă (fig.8.5.2.4.1).

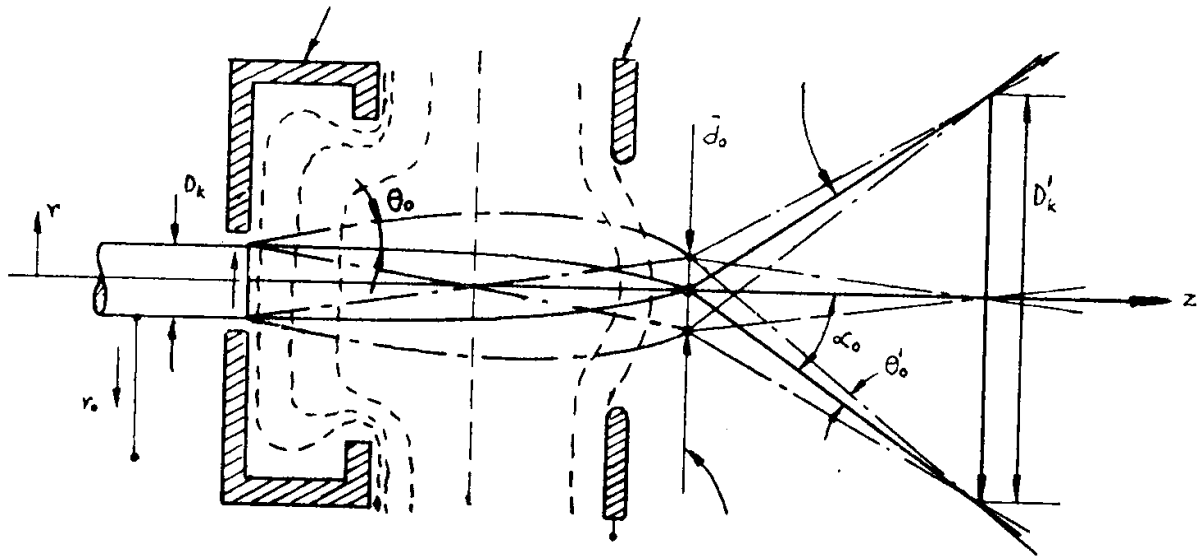


Fig.8.5.2.4

Catodul, format dintr-un filament incandescent de wolfram, eliberează electroni prin emisiune termoelectrică, precum și electroni cu un potențial negativ ridicat. Grila polarizată negativ față de filament generează un câmp electrostatic a cărui configurație prefocalizează simultan electronii și produce un fascicul convergent, care traversează anodul fără să-l lovească.

Electronii ating viteza maximă în raport cu potențialul de accelerare, abia după trecerea prin anod, procesul desfășurându-se într-o atmosferă cu un vid mai mare decât 10^{-4} mm Hg, iar pentru unele cazuri fără vid.

Indiferent de unghiul sub care electronii părăsesc catodul, intersecțiile traiectoriilor lor generează un cerc de diametru d_0 , care se găsește în planul focal, unde intensitatea fasciculului este maximă. Unghiul Θ_0 (fig.8.5.2.4) corespunde imaginii catodului.

Datorită faptului că particulele cu sarcină negativă pot fi accelerate într-un câmp electrostatic, obținându-se viteze destul de mari și energii superioare celor furnizate de sursa emițătoare, fasciculul de electroni este superior multor surse de căldură cunoscute la ora actuală.

Pentru a obține vaporizarea materialului piesei de prelucrat, este necesară o anumită energie, determinată cu relația:

$$E_v = c(T_t - 20) - c(T_e - T_t) - c_f - c_v \quad (8.5.2.4.1)$$

în care E_v este energia specifică pentru vaporizare; c - căldura specifică ;
 c_t - căldura de topire; c_v - căldura de vaporizare; T_t -temperatura de topire; T_e - temperatura de fierbere.

Pentru calculul volumului materialului îndepărtat în unitatea de timp se utilizează relația:

$$G = \eta \frac{P}{E_v} \quad [cm^3/s] \quad (8.5.2.4.1)$$

în care P este puterea furnizată; E_v - energia specifică necesară pentru vaporizare; η - randamentul procesului de îndepărtare.

Prelucrarea materialelor cu fascicul de electroni este un procedeu cu precizie mare, diametrul cercului din planul focal variind între 0,025 și 1 mm. În acest sens, se preconizează atingerea unor rezultate mai bune, astfel încât câmpul de toleranță să fie de ordinul sutimilor de microni.

Tehnici specifice.

Indiferent de tipul constructiv, instalațiile folosite la prelucrarea cu fascicul de electronii se compun din:

- *sistemul electrono-optic*, care prin intermediul proiectorului de electroni generează și accelerează fasciculul ce va fi focalizat de lentilele electromagnetice ale sistemului de focalizare;

- *sursa de alimentare cu energie electrică*, având rolul de a menține stabilitatea tensiunii cu precizie de circa 0,01 la sută pentru stabilizarea diametrului d_0 a petei de focalizare, în timpul prelucrării;

- *sistemul de vidare*, format din pompe de vidare preliminar și pompe de vidare înaintat, care are rolul de a asigura limitarea dispersiei fasciculului și apariția produselor de ionizare

- *dispozitivele auxiliare*, îndeplinind rolul de asigurare a deplasării relative dintre fasciculul de electroni și piesa de prelucrat. Prezentarea schematică (fig. 8.5.2.4.1) a

câtorva instalații de prelucrare cu fascicul de electroni oferă posibilitatea aprecierii variantei celei mai avantajoase.

Primul tip de instalație (fig. 8.5.2.4.1,a) este folosit pentru prelucrarea pieselor unicat sau de serie mică, iar al doilea (fig. 8.5.2.4.1, b) ca urmare a flexibilității mari poate fi utilizată pentru producții de serie medii sau mari.

Spre exemplu, pentru piese mici, productivitatea mașinii este de 2000 piese /8 ore. Ultimul tip de instalație (fig. 8.5.2.4.1, c) reprezintă o mașină cu producție continuă, utilizată în producția de serie sau masă, a cărei productivitate posibilă este de circa 20 m /mm la sudarea benzilor bimetalice.

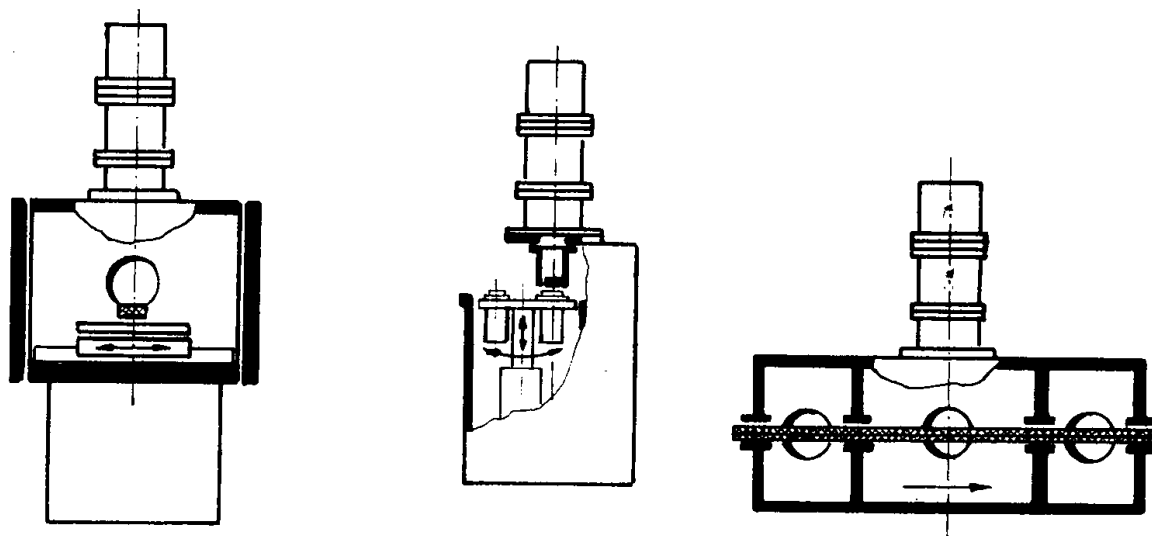


Fig.8.5.2.4.1

În momentul de față se efectuează cercetări asidue pentru realizarea unei instalații cu fascicul de electroni fără cameră de vid (fig.. 8.5.2.4.2), a cărei construcție nu este prea complicată.

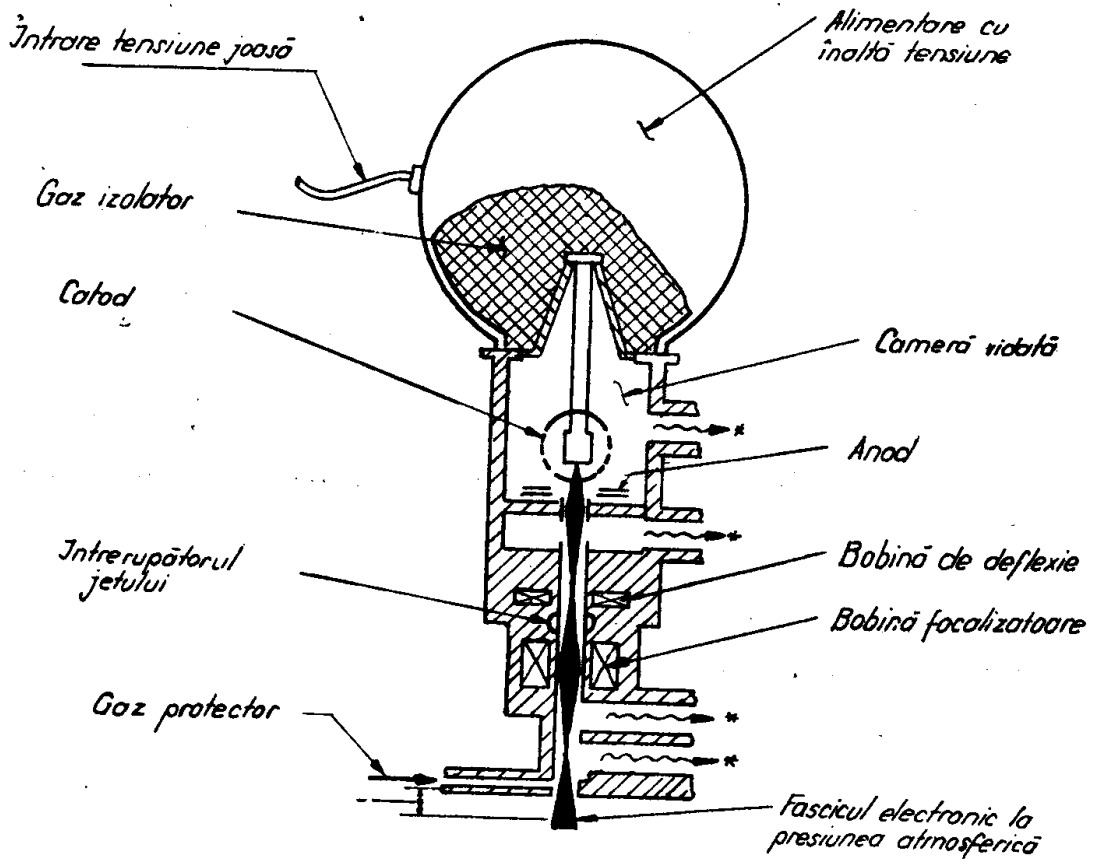


Fig.8.5.2.4.2

Instalația presupune existența unor dispozitive, îndeplinind rolul de oprire a dispersiei fascicului de electroni în atmosferă (camere cu presiune în creștere). În acest caz, diametrul fascicului ajunge la circa 1 mm, iar unghiul său de divergență este sub 2° . Pentru a împiedica complet pătrunderea aerului exterior și a vaporilor rezultați în urma operațiilor efectuate, se adaugă o cameră suplimentară, în care se insuflă heliu, recuperat în proporție de 80 la sută.

8.6. Eroziunea cu plasmă

8.6.1. Diferite procedee de prelucrare cu plasmă

În comparație cu prelucrarea prin așchiere clasică, unde are loc un consum mare de scule, la procedeul prelucrării mecanice folosind preîncălzirea locală cu jet de plasmă termică, acest consum de scule este extrem de redus .

Literatura de specialitate menționează din ce în ce mai des obținerea unor oțeluri cu rezistența la rupere mergând până la 900 ... 1200 daN/mm² și cu structură metalografică deosebită. Se poate presupune de la bun început că aceste materiale nu vor putea fi prelucrate decât cu ajutorul electrotehnologiilor (inclusiv a folosirii plamei termice la prelucarea metalelor dure și a aliajelor acestora).

Analizând statistic datele tabelare, rezultă că prelucrarea cu plasmă termică începe să fie din ce în ce mai folosită în construcția de mașini, datorită avantajelor pe care le oferă, îndeosebi în cazul prelucrării oțelurilor înalt aliate, a materialelor dure, precum și la reducerea importantă a consumului de scule.

Legat de acest ultim aspect al consumului de scule, analizarea raportului “r” (8.6.1) dintre durabilități vine în sprijinul argumentării anterioare.

Astfel, dacă:

$$r = \frac{T_p}{T_n} \quad (8.6.1)$$

unde:

T_p - durabilitatea sculelor la așchiera cu preîncălzire (în cazul de față cu plasmă)

T_n - durabilitatea acelorași scule în cazul prelucrării fără încălzire.

Acest factor “r” crește rapid cu valoarea vitezei de așchiere (scăzând T_n), ajungând la unele materiale către valori foarte mari (teoretic tinzând spre infinit), din cauza incapacității sculelor de a le prelucra la temperatura nominală.

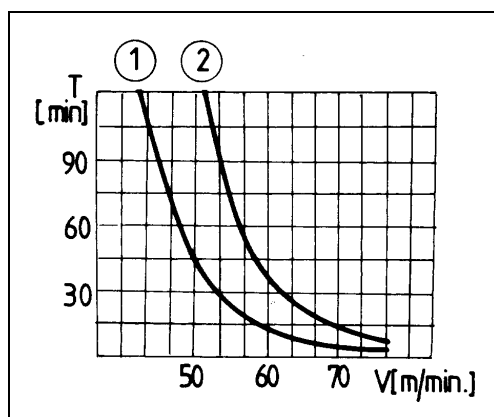


Fig. 8.6.1.

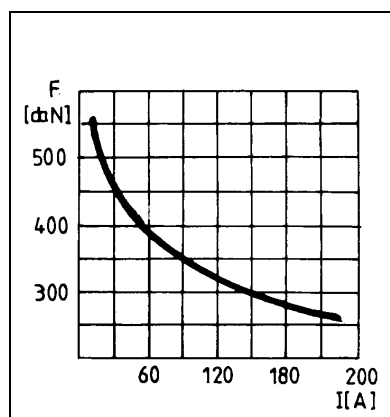


Fig. 8.6.1.1.

Scăderea durabilității în funcție de viteza de așchiere, se poate observa în graficul din fig. 8.6.1, în paralel pentru cele două tipuri de prelucrări.

curba 1 - reprezintă durabilitatea funcție de viteză în cadrul prelucrării clasice (fără preîncălzire) ;

curba 2 - reprezintă variația durabilității în cazul preîncălzirii locale cu jet de plasmă.

Avantajul prelucrării mecanice folosind preîncălzirea locală cu jet de plasmă se poate estima și prin scăderea considerabilă a valorii forței de așchiere (fig. 8.6.1.1.).

Reiese că prin mărirea curentului din arcul de plasmă $I(A)$, rezultă o scădere apreciabilă a forței de așchiere, ceea ce conduce și la o micșorare a puterii consumate prin așchiere.

8.6.2. Utilizarea plasmei termice la prelucrarea dimensională și prin așchiere asistată

Principalele direcții de utilizare a plasmei termice

8.6.2.1. Găurirea cu plasmă;

8.6.2.2. Canelarea cu plasmă;

8.6.2.3. Cilindrarea - strunjirea exterioară cu plasmă;

8.6.2.4. Filetarea cu plasmă;

8.6.2.5. Rabotarea asistată cu jet de plasmă;

8.6.2.6. Frezarea asistată cu jet de plasmă;**8.6.2.7. Strunjirea asistată cu jet de plasmă.****8.6.2.1. Găurirea cu plasmă**

Așa cum arată diverși autori în literatura de specialitate [67], găurirea cu plasmă este eficientă la prelucrarea tablelor metalice, rezultate bune obținându-se prin folosirea arcului transferat.

Conform [94], durata perforării unui orificiu printr-o tablă de aluminiu de 30 mm este de numai 10 secunde, pentru o tablă cu grosimea de 80 mm sunt necesare 20 secunde, iar pentru tablele de grosimi între 100 ÷ 150 mm viteza de găurire este încă relativ ridicată (1÷2 minute).

Tabel 8.6.2.1

Diametrul minim [mm]	Înclinația [grade]	Durata de ardere [s]	Distanța arzător-piesă [mm]	Debit de azot [m ³ /min]
3,2	30°	0,5	12,5	180
6,4	20°	1,5	12,5	180
9,5	2°	3,0	12,5	180
11,0	45°	5,0	12,5	180
11,0	20°	3,0	25,0	157
12,5	4°	5,0	25,0	157

Ca mediu plasmagen se utilizează diferite amestecuri de argon și hidrogen.

O modificare a debitului de hidrogen are implicații puternice asupra formei orificiului și a vitezei de lucru, în timp ce debitul de argon are o influență redusă. forma și geometria orificiilor care se obțin depind de puterea introdusă în arcul de plasmă, de distanța între generator și piesă, de debitul gazului plasmagen și de asemenea de timpul total de ardere al arcului. Pentru un arc alimentat cu 250 A, utilizat la perforarea tablelor de oțel nealiat de 10mm grosime, rezultatele [95] sunt prezentate în tabelul 8.6.2.1.

8.6.2.2. Canelarea cu plasmă

Prin poziționarea înclinată a generatorului de plasmă, se evită aruncarea metalului topit în adâncitura rămasă în spatele acestuia, obținându-se caneluri cu diferite forme și dimensiuni în funcție de parametrii regimului utilizat. astfel, în fig. 8.6.2.2. se poate observa forma canelurilor rezultate în funcție de puterea generatorului de plasmă.

Amestecul de gaz plasmagen utilizat este compus din 85 % N_2 și 15 % H_2 , iar viteza de avans a fost de 1,5 m/min. Caracteristicile acestui proces sunt debitele mari de gaz, precum și diametrele ajutorajului, care în acest caz sunt mai mari decât în cazul tăierii. Repetând operația, cu o decalare a poziției generatorului la fiecare trecere, se va îndepărta stratul superficial de metal printr-un proces asemănător rabotării. Rolul cuțitului, în cazul utilajelor de așchiere mecanică este preluat de jetul fierbinte al generatorului.

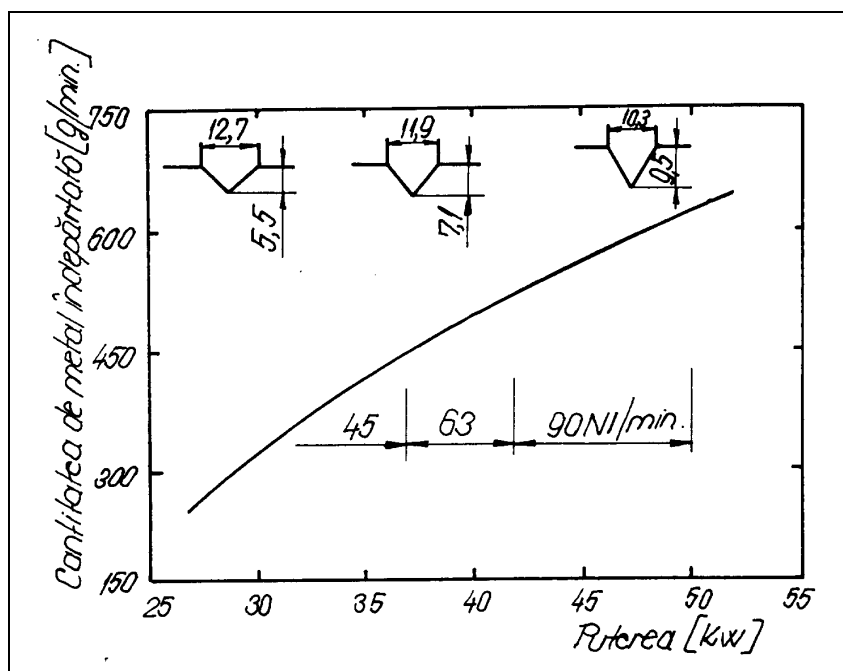


Fig. 8.6.2.2.

După îndepărtarea grosimii dorite, se poate face o trecere, utilizând un regim mai puțin intensiv, având rolul de a finisa (netezi) suprafața prelucrată.

8.6.2.3. Cilindrarea - strunjirea exterioară cu plasmă

Aplicarea procedurii îndepărtării dimensionale de material cu ajutorul plasmăi termice la corpurile de rotație, a introdus și dezvoltat în ultimii ani procedeul de “strunjire cu plasmă”.

Acest procedeu neconvențional se aplică îndeosebi la corpurile dure, dificil de prelucrat prin procedee mecanice clasice (oțeluri termorezistente, aliaje de nichel etc.). Chiar și în cazul oțelurilor obișnuite, aplicarea acestui procedeu este rentabilă, întrucât se obțin productivități de aproximativ zece ori mai mari decât în cazul tehnologiilor clasice [78].

Amestecul plasmagen al arcului, considerat optim pentru această aplicație este compus din 80 % N_2 și 20 % H_2 . Adăugarea oxigenului mărește mult productivitatea, însă are repercursiuni negative asupra consumului de electrod și a calității suprafeței prelucrate.

O importanță tehnologică deosebit de mare o are poziționarea generatorului de plasmă în raport cu piesa prelucrată, acest parametru unghiular determinând productivitatea și calitatea prelucrării (fig. 8.6.2.3).

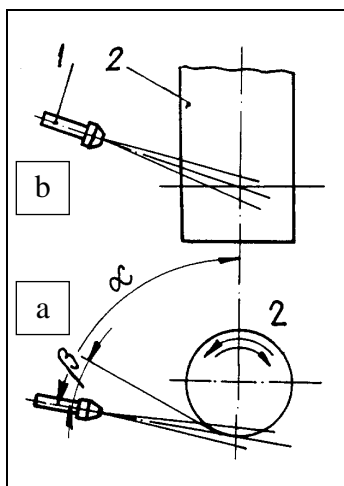


Fig. 8.6.2.3.

Conform unor cercetători [76], poziționarea plasmatronului în partea inferioară a piesei (fig.8.6.2.3.b), asigură avantajul ușurării îndepărtării de material topit prin efectul gravitației.

Alți autori [78] consideră că este preferabilă poziționarea în partea superioară a piesei (fig.8.6.2.3.a), fapt care asigură o calitate mai bună a suprafeței în urma prelucrării. Unghiul

de degajare recomandat este $\gamma^\circ = 10^\circ \div 15^\circ$. Viteza de lucru crește considerabil dacă unghiul de așezare devine negativ. Toleranțele de execuție, starea suprafeței și calitatea metalurgică a pieselor astfel prelucrate depind de valorile parametrilor procesului.

Acestea sunt: avansul arzătorului, viteza de rotație a piesei, grosimea stratului îndepărtat, puterea și unghiurile de poziționare. Este de dorit ca adâncimea zonei influențate termic să fie cât mai redusă. În unele cazuri se recomandă o prelucrare mecanică ulterioară, cu scopul îndepărtării stratului afectat termic, urmărind finisarea acestuia.

8.6.2.4. Filetarea cu plasmă

Filetarea cu plasmă se efectuează pe strunguri adaptate acestui scop, în care caz generatorul de plasmă este așezat tangențial la suprafața piesei de prelucrat și înclinat cu câteva grade în direcția avansului (fig. 8.6.2.4.).

Dacă unghiul de înclinație este prea mare, se poate produce scurgerea inelară a materialului topit, dar în situația unui unghi de înclinație prea mic se produce împrôșcarea metalului topit pe suprafața deja finisată.

Aplicarea filetării se face la oțeluri refractare utilizate în construcția de tractoare și în industria aeronautică [10], viteza de prelucrare fiind de 5÷10 ori mai mare decât prin așchiere.

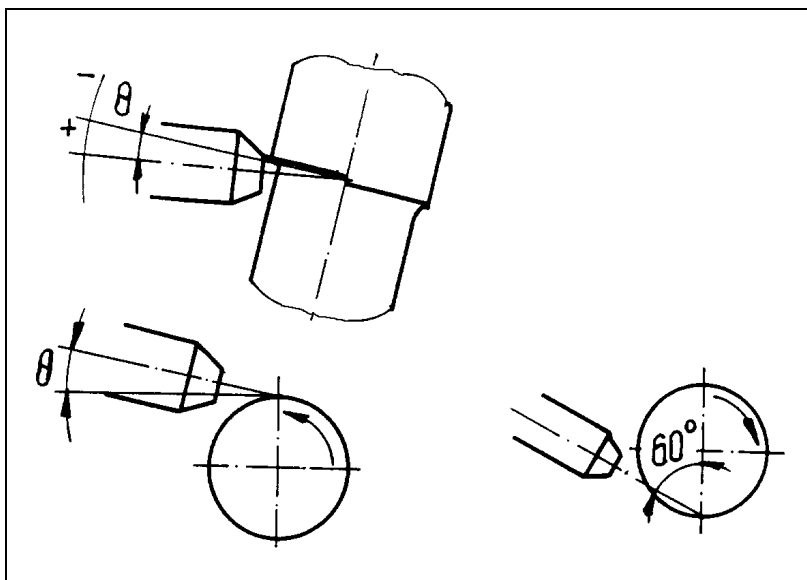


Fig.8.6.2.4.

Astfel, la aluminiu, alamă și oțeluri carbon, volumul de material prelevat în unitatea de timp este asemănător cu cel la strunjirea sau filetarea obișnuită, dar calitatea suprafeței este mai scăzută.

8.6.2.5. Rabotarea asistată cu jet de plasmă

Fiind o operație tipică cu caracter de degroșare, suprafața materialelor cu crustă dură este preîncălzită cu jet de plasmă, avantajul fiind mărirea adâncimii de așchiere precum și reducerea considerabilă a forțelor de așchiere. Așchiile, de regulă de curgere, fac ca suprafața să prezinte o rugozitate mai bună (calitativ).

8.6.2.6. Frezarea asistată cu jet de plasmă

În cazul frezării asistate cu jet de plasmă, scula (freza) având tăișuri multiple așchiază acea lățime de material preîncălzită cu jet de plasmă.

În acest caz “pata termică” trebuie să fie proporțională ca suprafață, cu caracteristicile constructive ale frezei (cilindrică, cilindro-frontală). Adâncimea de așchiere depinde de zona influențată termic a jetului de plasmă, așchia fiind de fapt un material plastifiat, degajat mecanic de tăișul sculei.

8.6.2.7. Strunjirea asistată cu jet de plasmă

Este cea mai folosită metodă în cadrul procedurii de prelucrare cu încălzire limitată cu jet de plasmă (fig.8.6.2.7.).

Adaptarea parametrilor este specifică suprafețelor de revoluție, dispozitivul-suport plasmatron trebuie să corespundă cerințelor de prelucrare pe strungurile utilizate, iar viteza de încălzire să fie corelată cu diametrul piesei, turația arborelui principal și avansul saniei port-cuțit a căruciorului strungului.

Strunjirea asistată cu jet de plasmă, constituie de fapt subiectul prezentei lucrări.

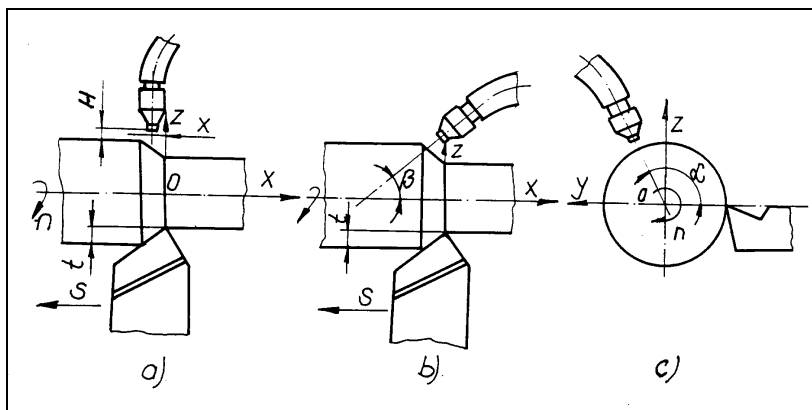


Fig.8.6.2.7.

8.6.3. Elemente ale principiului aşchierii cu preânmuire cu plasmă. Avantajele metodei

Conform școlii engleze [114], [115] prezentate de firma PERA CUTFAST, respectiv BOC Limited și sintetizate în materialul [97], se poate vorbi deja de procedeul “HoMach Systems”, ca denumire proprie, caracteristică aşchierii cu preânmuire.

În fig. 8.6.3., cu linie continuă se poate urmări variația forței de aşchiere, în funcție de intensitatea $I(A)$ a curentului prin arcul de plasmă, respectiv temperatura suprafeței preânmuiate sub acțiunea jetului de plasmă (linia întreruptă), la duritatea inițială de 75÷85 Shore “C”. Condiții de lucru: $v = 40$ m/min, $s = 0,35$ mm/rot, $t = 3$ mm. Schema de principiu este prezentată în fig. 8.6.3.1.

Din fig. 8.6.3. se observă că forța de aşchiere scade la 50 % pentru un curent de 225 A, față de aşchiera la rece. Semifabricatul a fost un oțel rotund turnat în model ușor fuzibil a cărui crustă de pe urma turnării trebuie îndepărtată. Firma a recomandat temperatura de 450° la suprafață, valoare după care prelucrabilitatea prelucrării se îmbunătățește simțitor.

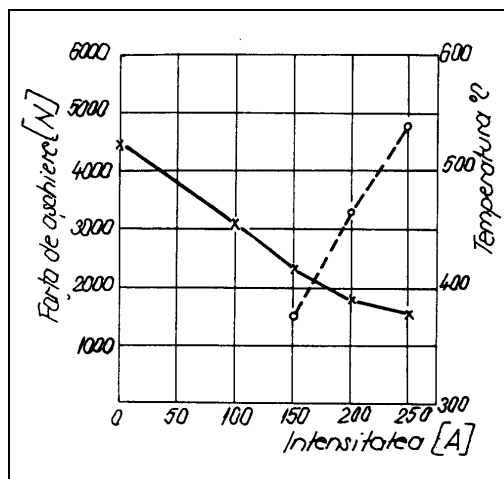


Fig. 8.6.3.

Constatările arată că în fața tășului sculei așchietoare, temperatura piesei (materialului prelucrat) trebuie să se situeze în domeniul $300\div 700^{\circ}\text{C}$. Mare parte din energie se disipă în așchie, care de fapt se îndepărtează. De aceea, lucru deosebit de important, suprafața deja prelucrată nu se încălzește la temperaturi deasupra zonei de $60\div 120^{\circ}\text{C}$. Se specifică totodată că la astfel de valori ale temperaturii nu apar transformări structurale sau variații ale durtății.

Printre principalele avantaje se pot enumera așchiabilitatea de $5\div 10$ ori mai ușoară în comparație cu strunjirea clasică. Instalația cu plasmă se poate adapta ușor mașinii unelte respective, ceea ce reprezintă cheltuieli relativ mici de investiție. Locul ocupat de astfel de instalații este de asemenea minim. Manipularea întregii instalații nu necesită personal special calificat. Având un consum de $3\div 15$ l/min de argon (gazul folosit în plasmatron) rezultă că duce la creșterea exagerată a costurilor.

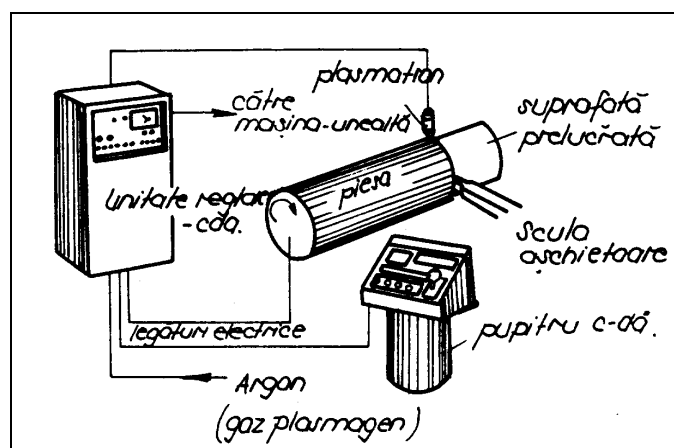


Fig. 8.6.3.1.

Tabelul 8.6.3.

Nr. crt.	Material	Piesă	Operație	C*
1.	Oțel rapid	rolă de filetare de 138 mm diametru	îndepărtarea filetului uzat	20,0 ori
2.	En 31, în stare laminată 360 VPN	bară de 110 mm diametru	degroșat la strung	2,6 ori
3.	Oțel turnat rezistent la uzură	rolă de 127 mm diametru	degroșat și finisat la strung	2,2 ori
4.	Aliaj de nichel forjat	inel de 355 mm diametru	degroșat la strung	7,6 ori
5.	Oțel inoxidabil 18/8	bară de 120 mm diametru	degroșat la strung	6,0 ori
6.	Oțel inoxidabil (înmuiaț)	fus de 76 mm diametru	degroșat la strung	5,3 ori
7.	Aliaj nichel de turnătorie	calotă de piston	strunjire și canelare	3,4 ori
8.	Oțel mangan 11-14 %	inel de 406 mm diametru	frezare și alezare	1,7 ori
9.	Oțel crom 5 %	mandrină de 63 mm diametru	strunjire de copiere	6,4 ori
10.	Fontă	roată de transmisie de 177 mm diametru	strunjire și canelare	2,7 ori
11.	Fontă centrifugată	cămașă de cilindru	strunjirea diametrului exterior	5,5 ori
12.	Fero-nichel călit	rolă de 280 mm diametru	degroșat la strung	1,6 ori
13.	Aliaj nichel	bară forjată de 228 mm diametru	finisat la strung	3,4 ori
14.	Fontă fero-nichel	bucșă de 406 mm diametru	strunjire și frezare	58,0 ori
15.	Oțel, 444 VPN	fus de 254 mm diametru	strunjire prin copiere	3,6 ori
16.	Oțel inoxidabil depozitat la sudură	calotă de furnal de 7000 mm diametru	îndepărtarea a 3 mm din adaosul de la sudare	6,0 ori

unde:

C^* - Coeficientul de creștere a vitezei de îndepărtare a metalului

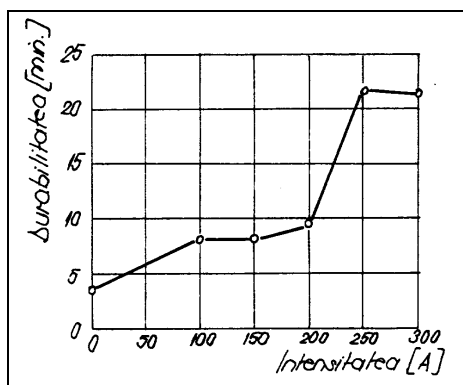


Fig. 8.6.3.2.

Procedeul este justificat la prelucrarea aliajelor greu prelucrabile prin metode clasice, îndeosebi datorită durtății ridicate a suprafeței de așchiat (54÷56 HRC). De exemplu, un astfel de material s-a prelucrat cu o viteză $v = 42$ m/min, avans $s = 0,37$ mm/rot., adâncimea de așchiere $t = 4÷6$ mm, cu o plăcuță mineralo-ceramică tip RNGN 250800. Referitor la durabilitatea sculei, în acest caz, ea se dublează la folosirea unui curent de 100 A în arcul de plasmă, atingând o valoare de 5 ori mai mare la un curent de $I_A = 250$ A. (fig. 8.6.3.2.)

În exemplul dat de PERA CUTFAST [115] la prelucrarea după principiul “HoMach” a unui inel de oțel călit ($\varnothing 5500$) cântărind 22,35 tone și acoperit parțial cu o depozitare de sudură de oțel inoxidabil (duritate până la 60 HRC), uzinarea a fost posibilă cu o viteză de îndepărtare a materialului de 6 ori mai mare decât în cazul așchierii clasice, durabilitatea sculelor așchietoare a fost sporită de 25 ori. Aceste date sunt concretizate în tabelul 8.6.3.

8.6.4. Măsurarea forțelor de aşchiere la strunjirea asistată cu plasmă a oțelurilor înalt aliate

SCOPUL URMĂRIT:

- pregătirea mașinii unelte în vederea prelucrării asistate cu jet de plasmă.
- dotarea cu aparatură necesară.
- stabilirea programului - set experimentări - ordonarea parametrilor de influență ai procesului de prelucrare și stabilirea modelului matematic al prelucrării.
- efectuarea măsurătorilor și ridicarea diagramelor experimentale.
- elaborarea unui model matematic de reprezentare și optimizare a mărimilor rezultate în funcție de variabilele independente.
- concluzii privind rezultatele obținute.

8.6.4.1. Aparatura folosită

Instalația folosită este de proveniență românească (I.T.P.-55), inclusiv a plasmatroanelor GPT200 și GPT400. Gazul plasmagen folosit este argonul industrial (puritate 99%, cu buletin de analiză pentru fiecare încărcare) obținut de la fabrica de argon S.C. "AZOMUREȘ" Târgu-Mureș.

Suportul plasmatronului s-a montat pe căruciorul strungului românesc SNB-400, aflat în dotarea laboratorului de T.C.M. (Universitatea "Petru Maior" din Târgu-Mureș).

Montajul: strung - unitate de comandă și plasmatron, se poate vedea în fig. 8.6.4.1.

Instalația experimentală, standul funcțional (din cadrul laboratorului) se prezintă în fotografia din fig. 8.6.4.1.

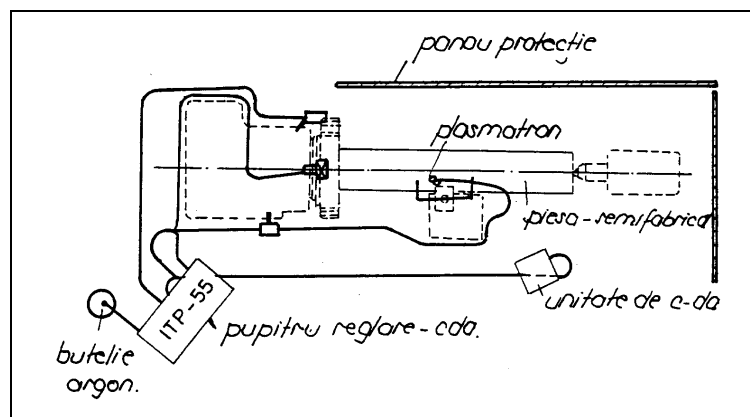


Fig. 8.6.4.1.

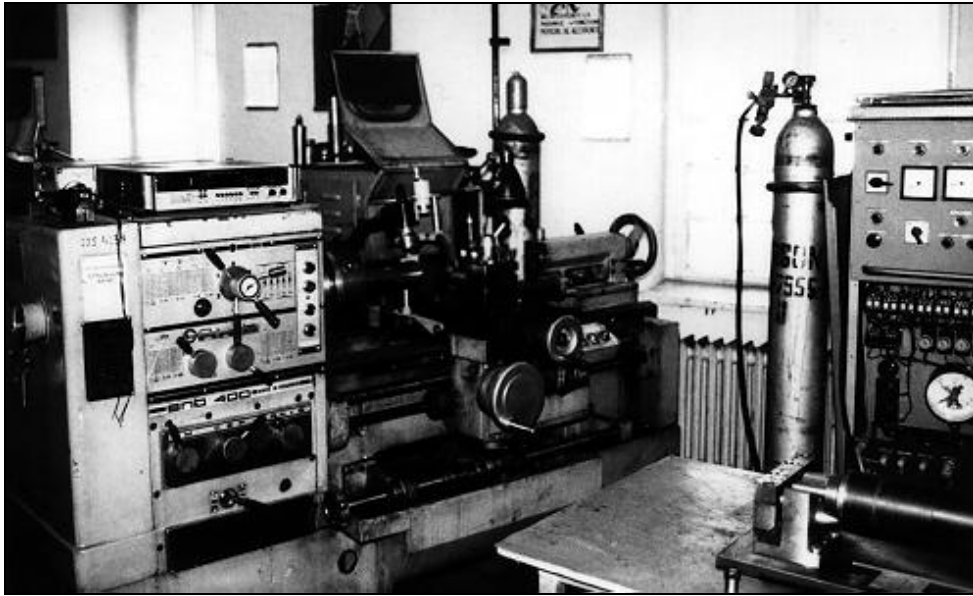


Fig. 8.6.4.2.

Dispozitivul suport plasmatron montat pe strung se distinge în fig. 8.6.4.3.



Fig. 8.6.4.3.

Așa cum se vede în schema din fig. 8.6.4.4., a suportului plasmatron (variantea îmbunătățită), soluția constructivă nou adoptată prevede posibilitatea înclinării cu încă un unghi suplimentar de incidență (mișcarea “H”), în funcție de parametrii tehnologici ceruți.

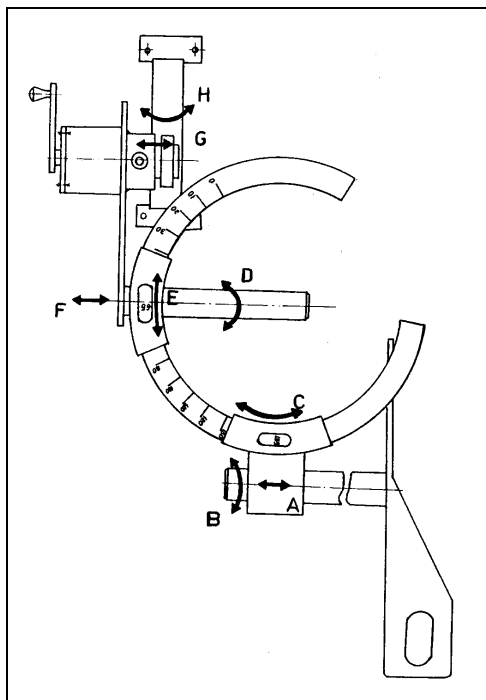


Fig. 8.6.4.4.

În vederea evitării depunerilor pe pereții de răcire a duzei plasmatronului, răcire ce se face cu coloană de apă în circuit deschis de la rețea, s-a conceput, proiectat și executat o instalație complexă de vehiculare-răcire în circuit închis cu apă distilată.

Instalația de răcire poate fi conectată, în cazurile mai pretențioase la pupitrul I.T.P.-55, așa cum se prezintă în fig. 8.6.4.5.

Instalația de răcire în circuit închis este prevăzută cu termometre de control intrare-ieșire, radiator-schimbător de căldură, motor de antrenare și pompă prevăzută cu manometru. Vederea în detaliu este prezentată în fig. 8.6.4.6.

În vederea măsurării componentelor forțelor de așchiere, ca etalon principal al prelucrării, s-a proiectat și executat un dispozitiv suport sculă, folosind în locul traductoarelor tensometrice rezistive, traductoare inductive fără contact, mult mai adecvate măsurătorilor din cadrul proceselor termice, așa cum e cazul la prelucrarea mecanică cu plasmă (P.M.P.)

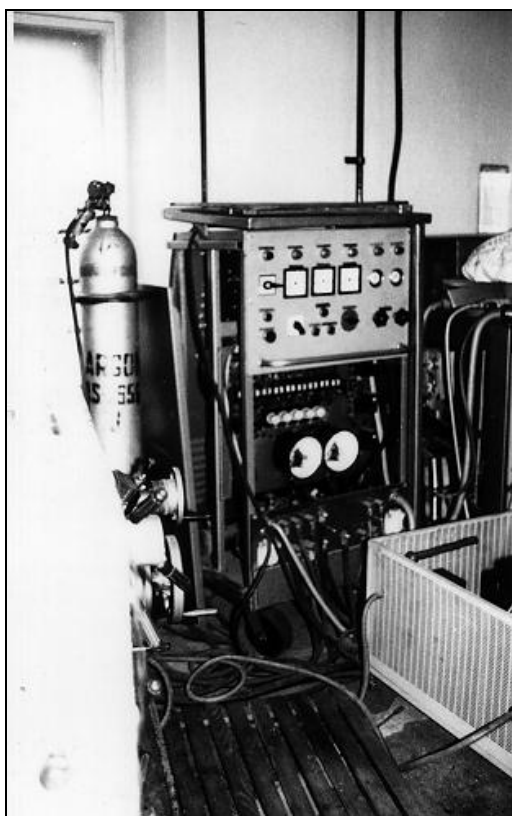
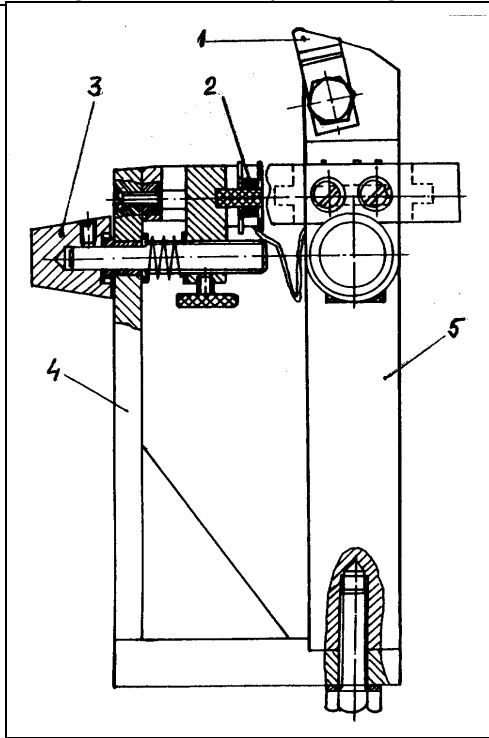


Fig. 8.6.4.5.



Fig. 8.6.4.6.

Ansamblul dispozitivului suport sculă, de măsurare a componentelor F_z , F_y , F_x , ale forței de așchiere se prezintă în fig. 8.6.4.7.



- 1 - plăcuță așchietoare schimbabilă
- 2 - traductor inductiv fără contact
- 3 - buton de reglare fină
- 4 - corp suport dispozitiv sculă
- 5 - corp sculă așchietoare

Fig. 8.6.4.7.

De menționat că acest dispozitiv a fost conceput și executat în cadrul laboratorului de T.C.M., special pentru a servi la măsurătorile din cadrul experimentelor efectuate în cadrul tezei.

Scula poate fi dotată (în sistem de prindere interschimbabil) fie cu plăcuțe din carburi metalice, fie mineralo-ceramice.

Întregul ansamblu se poate vedea în fig. 8.6.4.8.

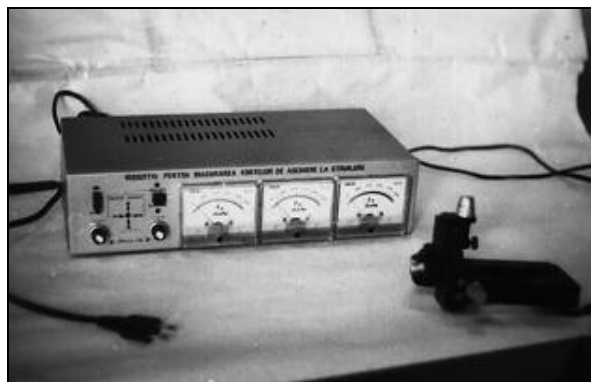


Fig. 8.6.4.8.

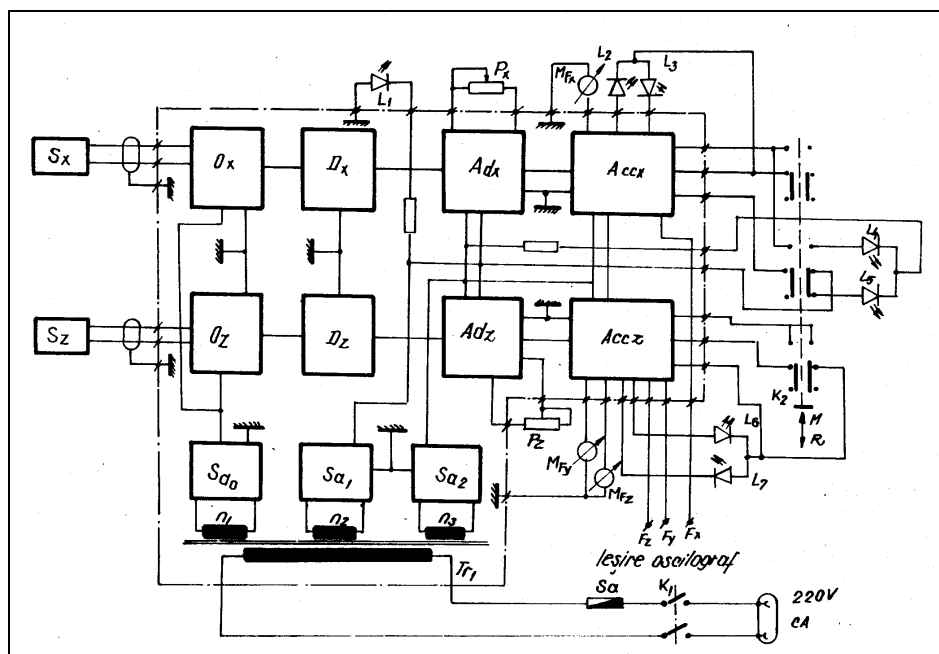


Fig. 8.6.4.9.

Un alt element al aparaturii folosite a fost dispozitivul pentru măsurarea forțelor de așchiere, proiectat și executat special pentru adaptarea la suportul sculă anterior prezentat, cât și pentru cazul particular al prelucrării mecanice cu plasmă termică în cazul strunjirii.

Schema bloc a acestui dispozitiv original de concepție proprie, este prezentat în fig. 8.6.4.9.

Întrucât pe dispozitiv se pot citi valorile componentelor F_z , F_y , F_x (daN) ale forței de așchiere, înregistrarea acestora în vederea ridicării unor diagrame de variație s-a făcut cu ajutorul înregistratorului (tip K-100) de proveniență germană (Carl Zeiss Jena), aflat în dotarea laboratorului (fig. 8.6.4.10.).

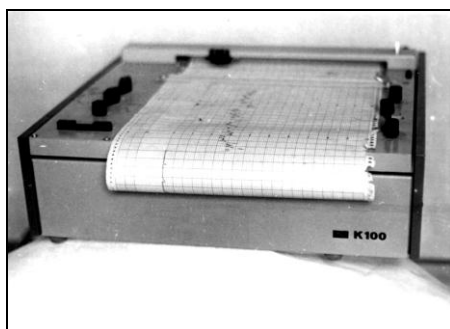


Fig. 8.6.4.10.

Standul, așa cum a fost amenajat în forma finală pentru determinările propuse în cadrul capitolului este prezentat în fig.8.6.4.11.

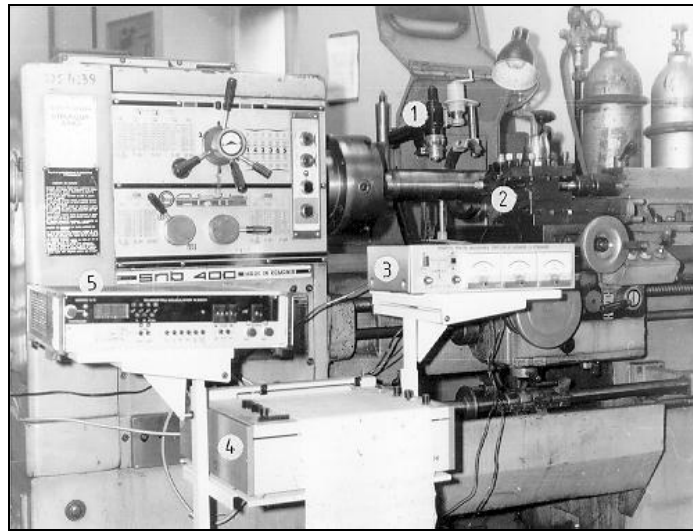


Fig. 8.6.4.11.

unde:

- 1 - plasmatron (GPT 400)
- 2 - ansamblu sculă-suport cu traductor de forță
- 3 - dispozitiv pentru măsurarea forțelor de așchiere
- 4 - înregistrator oscilograf (K100)
- 5 - torometru electronic cu înregistrare, afișare și memorare

8.6.5. Prelucrarea oțelului 33M₀C_r11(STAS 791-80) asistat de jetul de plasmă

Rezultatele măsurătorilor sunt cuprinse în tabelul 8.6.5.

Tabelul 8.6.5

Nr. crt.	Regimul de lucru				Componentele forței de așchiere		
	t [mm]	s [mm/rot]	v [m/min]	I _a [A]	F _z [daN]	F _y [daN]	F _x [daN]
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	2	0,5	60	250	65	25	17
2.	3	0,5	60	250	100	43	22
3.	4	0,5	60	250	150	49	30
4.	5	0,5	60	250	235	86	47
5.	6	0,5	60	250	351	121	89
6.	2	0,375	60	250	40	22	12
7.	3	0,375	60	250	60	41	20
8.	4	0,375	60	250	92	45	32
9.	5	0,375	60	250	142	88	41
10.	6	0,375	60	250	212	112	60
11.	2	0,25	60	250	32	12	7
12.	3	0,25	60	250	48	24	16
13.	4	0,25	60	250	72	46	24
14.	5	0,25	60	250	107	52	34
15.	6	0,25	60	250	162	90	51
16.	3	0,375	76	250	68	43	23
17.	3	0,375	100	250	85	51	32
18.	3	0,375	120	250	105	82	41
19.	3	0,375	152	250	142	109	63
20.	3	0,25	120	200	95	62	45
21.	3	0,25	120	220	74	54	36
22.	3	0,25	120	240	56	43	27
23.	3	0,25	120	260	45	38	24
24.	3	0,25	120	280	36	26	17

Variația forței de așchiere $F(t)$, precum și a componentelor F_x , F_y , F_z , în funcție de diferite valori ale avansurilor și a curentului (I_a) din arcul de plasmă sunt redată în diagramele din fig. 8.6.5.1., 8.6.5.2., 8.6.5.3. și 8.6.5.4.

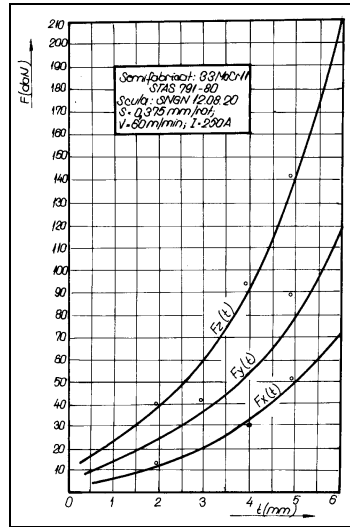


Fig. 8.6.5.1.

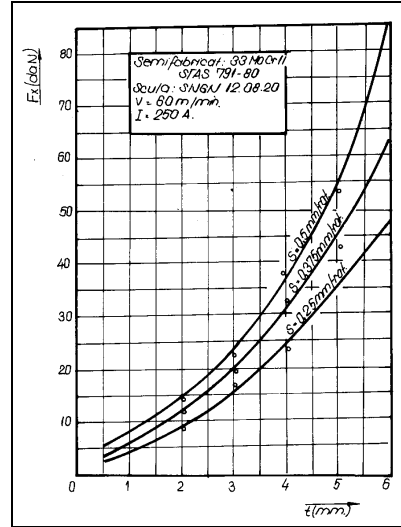


Fig. 8.6.5.2.

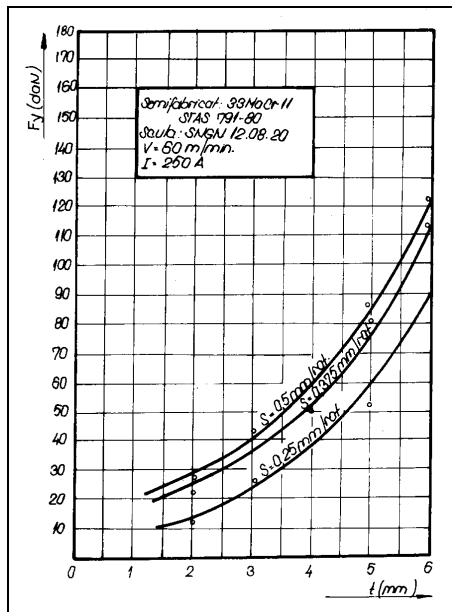


Fig. 8.6.5.3.

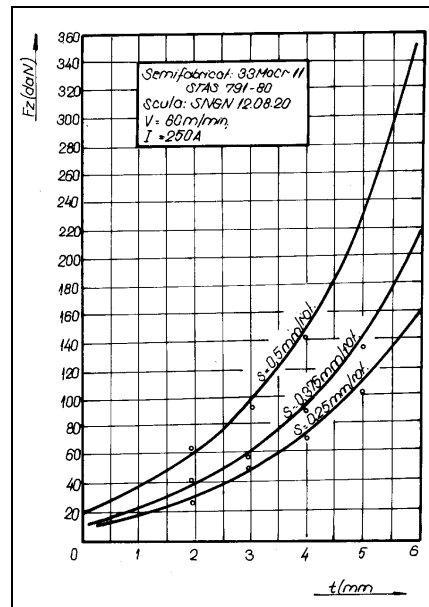


Fig. 8.6.5.4.

Dependența componentelor forței de așchiere în funcție de avansul (s), pentru diferite valori ale adâncimii de așchiere (t), ale vitezei (v) și ale curentului din arcul de plasmă (I_a) se ilustrează în diagramele din fig. 8.6.5.5., 8.6.5.6., 8.6.5.7. și 8.6.5.8.

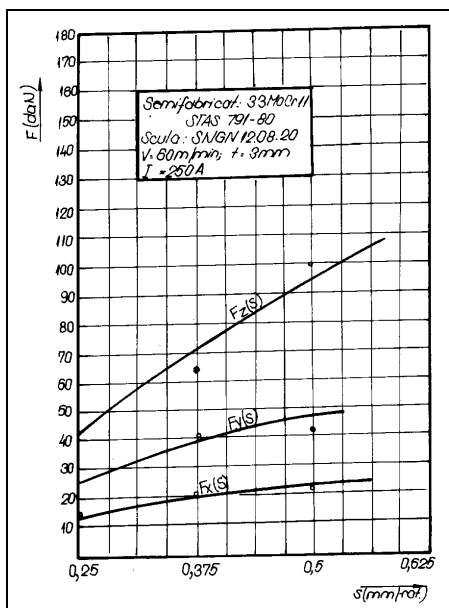


Fig. 8.6.5.5.

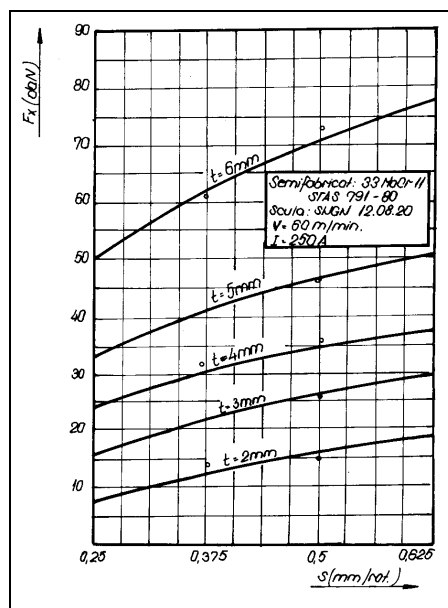


Fig. 8.6.5.6.

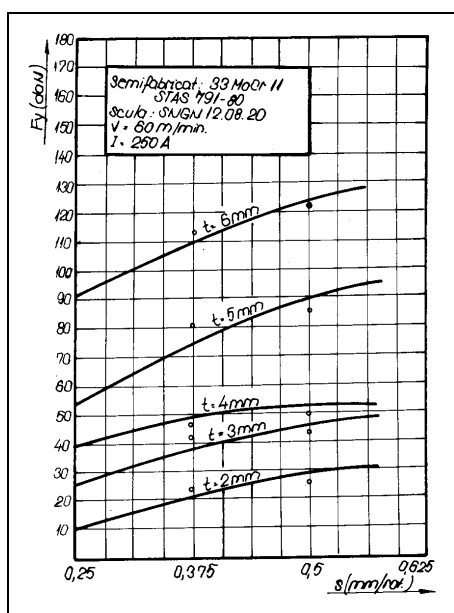


Fig. 8.6.5.7.

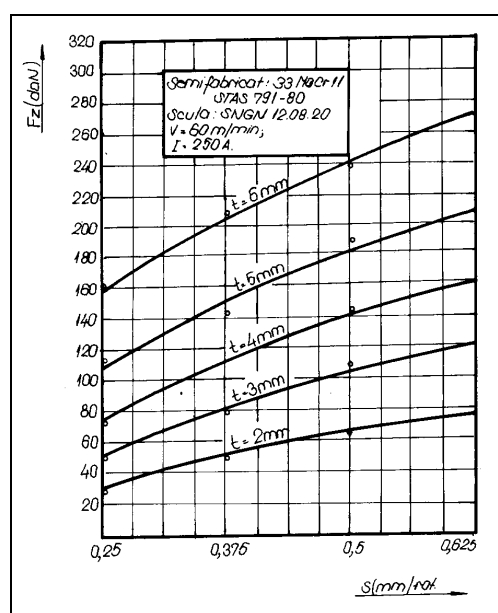


Fig. 8.6.5.8.

Influența vitezei de așchiere (v) asupra mărimii componentelor forței de așchiere F_x , F_y , F_z este prezentată în fig. 8.6.5.9. În fig. 8.6.5.10. este redată variația componentelor forței de așchiere în funcție de creșterea curentului I_a .

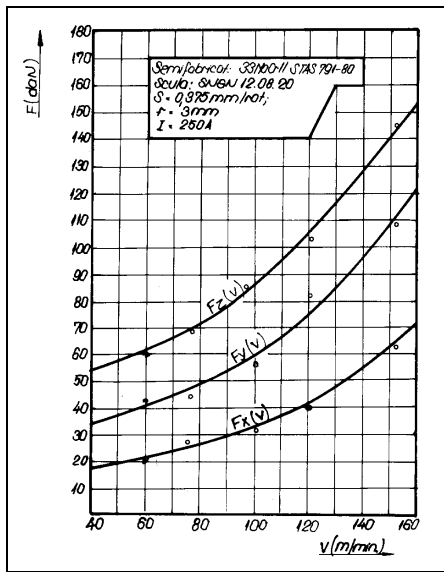


Fig. 8.6.5.9.

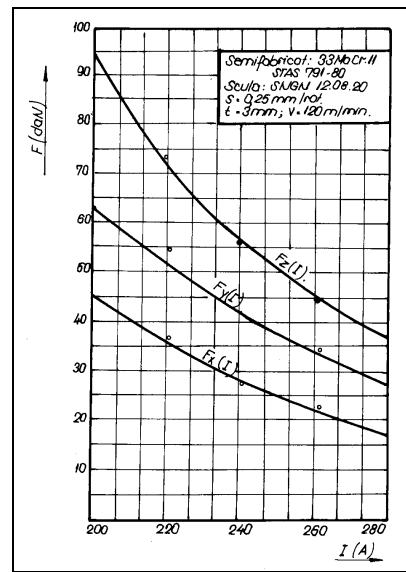


Fig. 8.6.5.10.

Diferite valori ale adâncimii de așchiere (t), avansului de lucru (s), vitezei de așchiere (v), curentului din arcul de plasmă (I_a), produc previzibile variații ale componentelor forței de așchiere, ilustrate în graficele din fig. 8.6.5.11., 8.6.5.12. și 8.6.5.13.

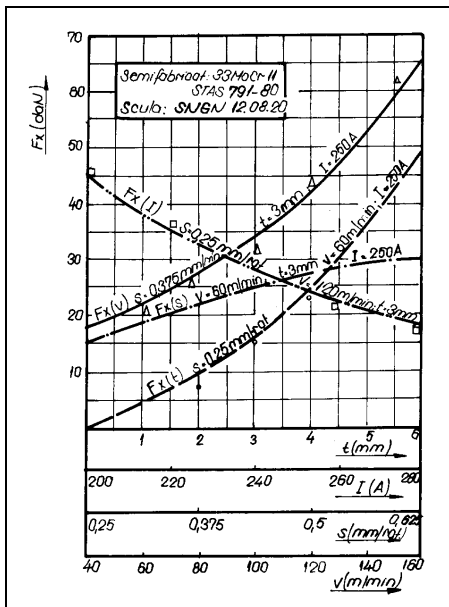


Fig. 8.6.5.11.

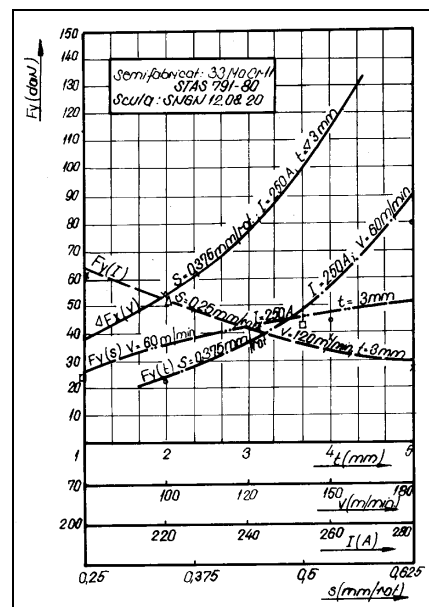


Fig. 8.6.5.12.

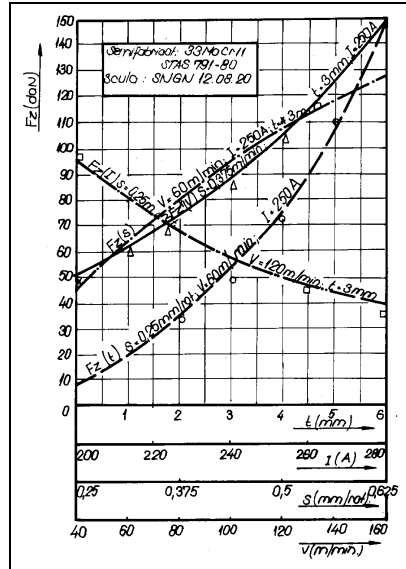
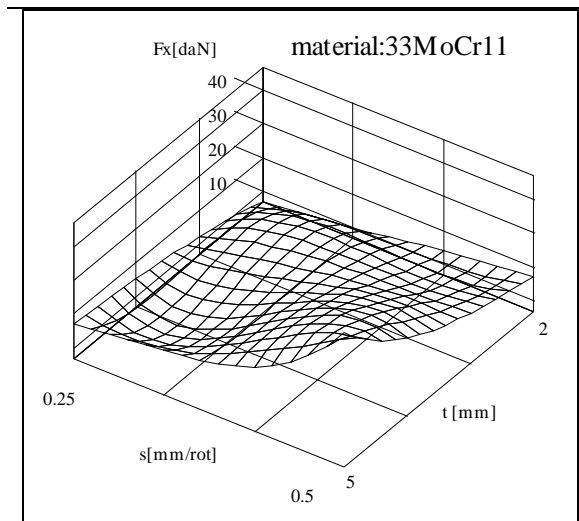
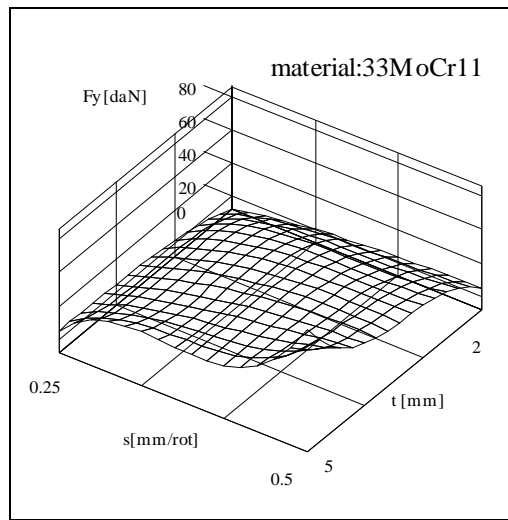
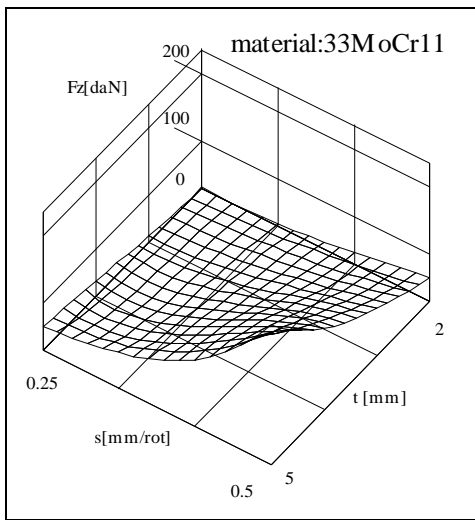


Fig. 8.6.5.13.

8.6.6. Interdependența parametrilor electro-tehnologici la prelucrarea asistată a oțelului 33M₀C_r11

- forța de așchiere $F_z, F_y, F_x \rightarrow f(t, s)$ pentru: $v = 60$ [m/min]
 $I = 250$ [A]



8.6.7. Sistemul automat micro-procesat de reglare optimă a parametrilor electro-tehnologici la strunjirea asistată cu jet de plasmă

Așa, cum se observă din schema bloc prezentată în fig. 8.6.7., urmărind maximizarea indicelui de performanță (I_p), printre mărimile fixate (M_1) sunt tocmai parametrii tehnologici, prezenți în expresia matematică a I_p (relația 8.6.7.).

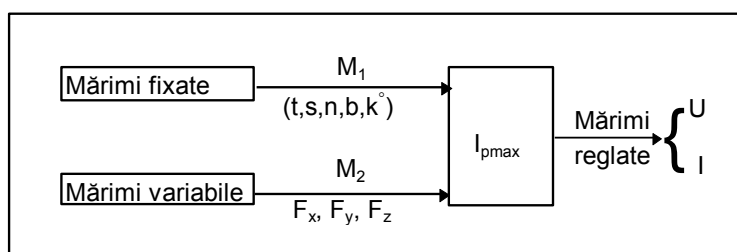


Fig. 8.6.7.

$$I_p = \frac{19,163 \cdot 10^{-3} \cdot \eta \cdot U \cdot I \cdot C_v^m \cdot v^{-1} \cdot m^{-1} \cdot t}{c \cdot d_p \cdot T_p \cdot \sin \chi \left[C_s + \frac{C_e \cdot P_s \cdot t_s}{60} + C_t \left(t_r + \frac{C_v^m}{v^m} \right) + \frac{C_e \cdot P_v \cdot C_v^m}{60 \cdot v^m} + Q \cdot \frac{C_v^m}{v^m} \cdot C_g \right]} \quad (8.6.7.)$$

în care:

- C_s [lei] - costul sculei;
- C_t [lei/min] - retribuiția orară a lucrătorului;
- C_e [lei/kWh] - costul energiei electrice;
- P_s [kW] - puterea consumată în timpul schimbării piesei;
- t_s [min] - timpul de schimbare a piesei, reglare dimensională, etc.;
- η - randamentul de încălzire;
- c [kJ/kg·grad] - căldura specifică a materialului de prelucrat.
- P_v [kW] - puterea consumată în timpul prelucrării efective;
- t_r [min] - timpul de reascuțire a sculei;
- Q [dm³/min] - debitul de gaz plasmagen;
- C_g [lei/dm³] - costul gazului plasmagen.

- t [mm] - adâncimea de așchiere;
 T_p [$^{\circ}$ C] - temperatura de plastifiere;
 d_p [mm] - diametrul piesei strunjite;
 χ° - unghiul de atac principal al sculei.
 U [V] - tensiunea de lucru;
 I [A] - intensitatea curentului.
 C_v - coeficient în funcție de viteza de așchiere
 v [m/min] - viteza de așchiere
 m - exponent în funcție de materialul sculei așchietoare

Mărimile variabile (M_2) conțin expresiile componentelor forțelor de așchiere (F_x , F_y , F_z), iar cele rezultate sunt parametrii electrici (U) și (I) ai arcului de plasmă, în interdependența lor electro-tehnologică.

Trebuie astfel deduse funcțiile:

$U(M_1, M_2)$ și $I(M_1, M_2)$

Reamintim expresiile componentelor forței de așchiere la preîncălzirea cu jet de plasmă:

$$\begin{aligned}
 F_{x_p} &= \frac{C_{F_{xp}} \cdot t^{x_{F_{xp}}} \cdot s^{y_{F_{xp}}} \cdot v^{z_{F_{xp}}}}{I_a^{W_{F_{xp}}}} \text{ [daN]} \\
 F_{y_p} &= \frac{C_{F_{yp}} \cdot t^{x_{F_{yp}}} \cdot s^{y_{F_{yp}}} \cdot v^{z_{F_{yp}}}}{I_a^{W_{F_{yp}}}} \text{ [daN]} \\
 F_{z_p} &= \frac{C_{F_{zp}} \cdot t^{x_{F_{zp}}} \cdot s^{y_{F_{zp}}} \cdot v^{z_{F_{zp}}}}{I_a^{W_{F_{zp}}}} \text{ [daN]}
 \end{aligned} \tag{8.6.7.1}$$

Interesează mărimea vitezei de variație în timp a mărimilor variabile și reglate, adică:

$$\begin{aligned}
 &\left\{ \frac{dF_x}{d\tau}; \frac{dF_y}{d\tau}; \frac{dF_z}{d\tau} \right. \\
 &\left. \left\{ \frac{dU}{d\tau}; \frac{dI}{d\tau} \right. \right.
 \end{aligned} \tag{8.6.7.2}$$

În prima etapă trebuie deduse funcțiile:

$U(M_1, M_2)$ și $I(M_1, M_2)$

Pentru dependența: $I_a(M_1, M_2)$

$$I_a = f(F_x, t, s, v) ; \quad I_a = \left(\frac{C_{F_{xp}} \cdot t^{x_{F_{xp}}} \cdot s^{y_{F_{xp}}} \cdot v^{z_{F_{xp}}}}{F_{xp}} \right)^{\frac{1}{W_{F_{xp}}}} \quad (8.6.7.3)$$

$$I_a = f(F_y, t, s, v) ; \quad I_a = \left(\frac{C_{F_{yp}} \cdot t^{x_{F_{yp}}} \cdot s^{y_{F_{yp}}} \cdot v^{z_{F_{yp}}}}{F_{yp}} \right)^{\frac{1}{W_{F_{yp}}}} \quad (8.6.7.4)$$

$$I_a = f(F_z, t, s, v) ; \quad I_a = \left(\frac{C_{F_{zp}} \cdot t^{x_{F_{zp}}} \cdot s^{y_{F_{zp}}} \cdot v^{z_{F_{zp}}}}{F_{zp}} \right)^{\frac{1}{W_{F_{zp}}}} \quad (8.6.7.5)$$

Coeficienții:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{F_{xp}}, C_{F_{yp}}, C_{F_{zp}} \\ x_{F_{xp}}, x_{F_{yp}}, x_{F_{zp}} \\ y_{F_{xp}}, y_{F_{yp}}, y_{F_{zp}} \\ z_{F_{xp}}, z_{F_{yp}}, z_{F_{zp}} \\ W_{F_{xp}}, W_{F_{yp}}, W_{F_{zp}} \end{array} \right.$$

au fost stabiliți și sunt prezentați tabelar (tabelul 8.6.7).

Tabelul 8.6.7.

Componente ale forței de așchiere	Valorile constantelor	Oțelul prelucrat		
		38SiCr15	33MoCr11	20Cr130
F _x	C _{Fxp}	904,7	8985	591
	x _{Fxp}	1,23	1,34	1,53
	y _{Fxp}	0,7	1,26	1,06
	z _{Fxp}	1,33	1,43	0,45
	W _{Fxp}	1,82	2,24	0,68
F _y	C _{Fyp}	36451	1850	643
	x _{Fyp}	0,82	1,07	1,5
	y _{Fyp}	0,49	0,93	1,13
	z _{Fyp}	0,60	1,24	0,62
	W _{Fyp}	1,79	1,79	0,77
F _z	C _{Fzp}	8151,7	16366,40	326
	x _{Fzp}	1,35	1,41	1,36
	y _{Fzp}	1,25	0,96	1,1
	z _{Fzp}	1	1,06	0,76
	W _{Fzp}	1,58	2,84	0,7

Pentru dependența U(M₁, M₂):

- se folosește relația :

$$s \cdot t = \frac{19163 \cdot 10^3 \cdot \eta \cdot U \cdot I}{\rho \cdot n \cdot d_p \cdot c \cdot T_p^\circ} \quad [\text{mm}^3/\text{rot}] \quad (8.6.7.6)$$

și rezultă valoarea tensiunii U = f(I_a) astfel:

$$U = \frac{\rho \cdot n \cdot d_p \cdot c \cdot T_p \cdot s \cdot t}{19163 \cdot \eta \cdot I_a} \quad (8.6.7.7)$$

Se poate înlocui valoarea lui (I_a), folosind oricare din relațiile (8.6.7.3), (8.6.7.4) sau (8.6.7.5), care introduse în relația (8.6.7.7) duc la:

$$U = \frac{\rho \cdot n \cdot d_p \cdot c \cdot T_p \cdot s \left(1 - \frac{y_{F_{xp}}}{W_{F_{xp}}} \right) \cdot t \cdot 1 - \frac{x_{F_{xp}}}{W_{F_{xp}}} \cdot \frac{1}{F_{xp} W_{F_{xp}}}}{19163 \cdot \eta \cdot C_{F_{xp}} \cdot \frac{1}{W_{F_{xp}}} \cdot v \cdot \frac{z_{F_{xp}}}{W_{F_{xp}}}} \quad (8.6.7.8)$$

Folosind dispozitivul suport port-sculă (prezentat la capitolul 4), cu ajutorul căruia s-au măsurat și înregistrat componentele F_x , F_y , F_z , de asemenea turometrul electronic (ca traductor de turație) pentru turația (n), ca mărimi introduse în interfața paralelă de intrare a unui calculator de proces (PC-486), se pot corela mărimile electrice (U) și (I) ca valori provenite de la interfața paralelă de ieșire, reglând intensitatea ori tensiunea în arcul de plasmă al plasmatronului.

Schema bloc a sistemului micro-procesat este prezentat în fig. 8.6.7.1.

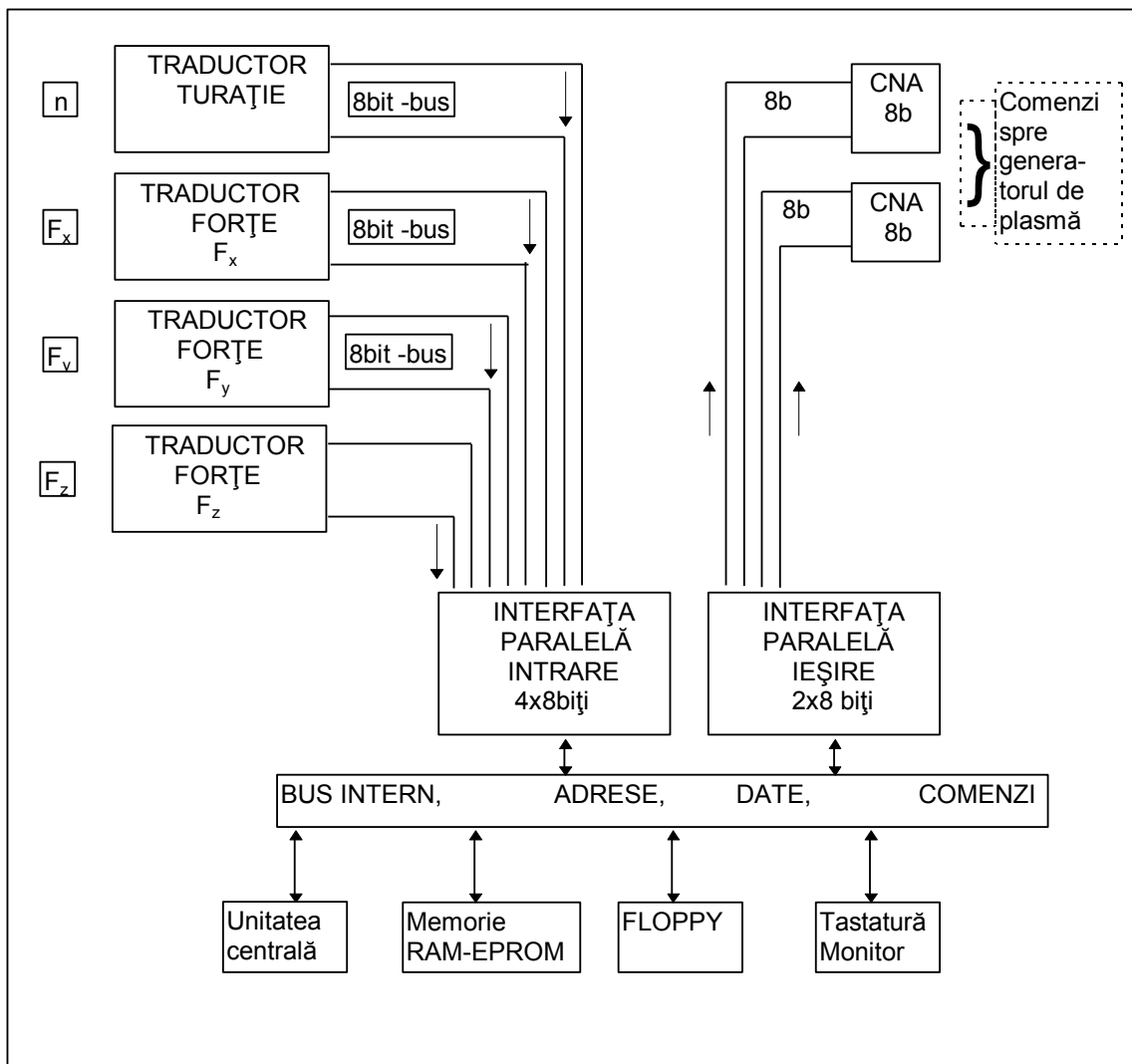


Fig. 8.6.7.1.

Parametrii de ieșire (U), respectiv (I), către generatorul de plasmă (plasmatron), se realizează cu ajutorul convertoarelor numeric-analogice (C.N.A.)

Din punct de vedere tehnologic, problema esențială în procesul prelucrării mecanice cu plasmă se rezumă la o corectă reglare a preîncălzirii stratului superficial, astfel încât adâncimea de așchiere (t) să corespundă pe cât posibil cu grosimea stratului preînmuiat.

Din expresia curentului (I_a) în arcul de plasmă (8.6.7.3), (8.6.7.4) , (8.6.7.5) reiese corelarea parametrilor tehnologici ai prelucrării mecanice (t), (s), (v) cu cel electric al încălzirii prin arc. O asemenea dependență se observă și în expresia tensiunii (U), sub care funcționează arcul de plasmă.

Analizând schema bloc (fig. 8.6.7.1) este evident că mărimea uneia din componentele forței de așchiere, poate fi considerată ca o valoare superioară sau inferioară a restricției privind gradul de preînmuiere (preîncălzire), reglând astfel în circuitul (I), în principal, în vederea obținerii efectului dorit: adâncimea de așchiere să nu depășească grosimea stratului preînmuiat termic.

S-a ajuns astfel la necesitatea conceperii și construirii unui ansamblu sculă-dispozitiv de măsură-sistem automat de reglare optimală, de fapt un sistem de comandă adaptivă.

Schema bloc a sistemului de conducere adaptivă a ansamblului: mașina-unealtă, piesă, ansamblu sculă-dispozitiv de măsură-sistem automat de reglare și comandă, echipament instalație, plasmatron, se prezintă în fig. 8.6.7.2

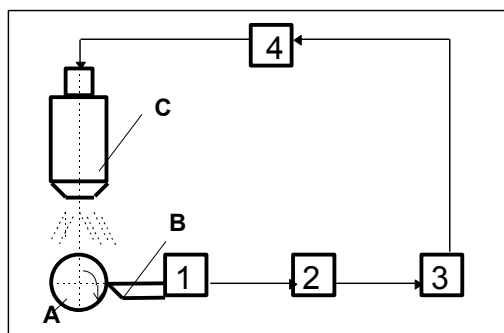


Fig. 8.6.7.2.

unde:

A - piesa de prelucrat;

B - scula (ansamblu prevăzut cu traductori inductivi de măsură);

C - plasmatron;

1 - suport sculă;

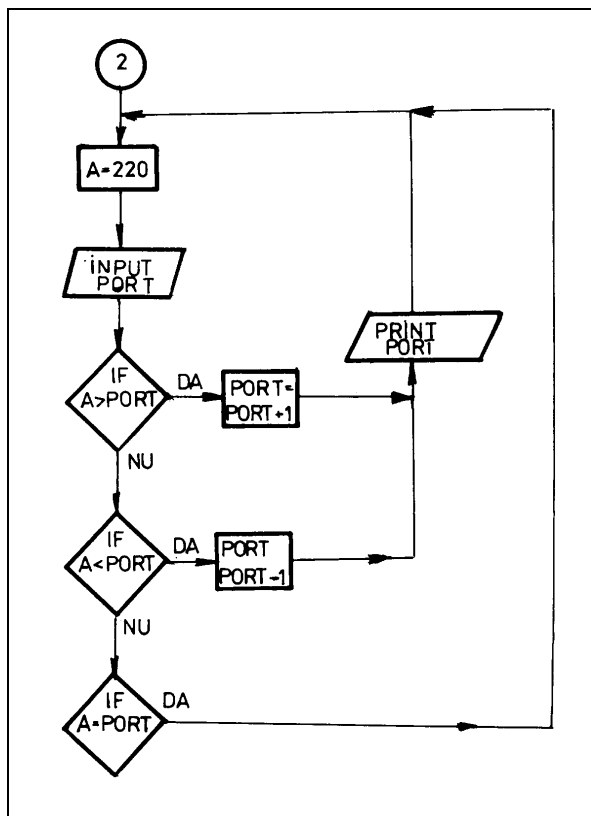


Fig.8.6.7.3.b.

Standul de încercări, urmărind acest scop (de conducere adaptivă a procesului de prelucrare - P.M.P.) este prezentat în fig.8.6.7.4.



Fig.8.6.7.4.

- 1 - plasmatron (GPT 400)
- 2 - ansamblu sculă-suport cu traductor de forțe (inductivi, fără contact)

- 3 - dispozitiv pentru măsurarea forțelor de așchiere (legat în circuit adaptiv de reglare-comandă)
- 4 - tuometru înregistrator
- 5 - înregistrator oscilograf (K100)
- 6 - unitate centrală cu tastatură (IBM PC 486)
- 7 - monitor calculator

9. TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE FĂRĂ ÎNDEPĂRTARE DE MATERIAL

9.1. Deformarea plastică la mare viteză

9.1.1. Generalități

Tehnica modernă impune utilizarea unor materiale cu performanțe superioare, mai ales în ceea ce privește rezistența la duritate, a căror deformare plastică este greu de realizat, iar uneori chiar imposibil. În unele cazuri, utilajul convențional de deformare plastică, fie că nu se poate întrebuința, fie că nu asigură precizia impusă de condițiile de utilizare: anumite componente din construcțiile aerospațiale și centralele nucleare, având dimensiuni foarte mari nu puteau fi prelucrate cu ciocanele de forjă clasice (cu abur) existente, a căror viteză de lovire nu depășește 10 m/s.

Pentru deformarea plastică la mare viteză limitele tehnologiei clasice sunt înlăturate, în cea mai mare parte, prin dezvoltarea unor forte de inerție superioare, de valori mari, capabile să deformeze plastic materialul în condiții mai avantajoase din punct de vedere al prelucrării. Pentru a obține viteze de lovire mari, respectiv energii de prelucrare ridicate, au fost dezvoltate o serie de *metode neconvenționale* de prelucrare la mare viteză, metode bazate pe surse de energie chimică, electrică și mecanică, situație în care energia de prelucrare disponibilă poate crește de zeci și sute de ori față de cazurile clasice. Din punct de vedere tehnic s-au impus următoarele metode:

- *deformarea prin explozie*, metodă relativ veche (circa 100 de ani) care s-a impus și răspândit în special în ultimii 30 de ani. Ținând seama de natura explozibilului și de durata undei de șoc dezvoltate, sub aspect tehnic se deosebesc trei metode de deformare prin explozie: cu explozibili brizanți (violenți) ; cu explozibili lenți (propulsori) ; cu amestec de

gaze explozibile;

- *deformarea pneumatico-mecanică*, cunoscută din 1948, dar care în tehnică a început să fie folosită din anul 1958. Se bazează pe principiul destinderii adiabatice a unui gaz care pune în mișcare un piston;

- *deformarea electro-hidraulică*, bazată pe principiul descărcării unei energii electrice într-un mediu lichid, prin intermediul căruia se transmite presiunea piesei de prelucrat. A început să fie utilizată industrial din anul 1950. Din punct de vedere tehnic sunt două metode electro-hidraulice : descărcare în fuzibil, descărcare în scânteie;

-*deformarea prin impulsuri magnetice*, bazată pe descărcarea prin șoc a unei energii magnetice orientate, într-o piesă ce urmează a fi deformată .

Alegerea metodei de deformare adecvate se face în funcție de următoarele elemente: posibilitatea de a realiza forma și detaliile dorite; dimensiunea piesei; natura materialului de lucru ; mărimea seriei de fabricație; costul SDV-urilor; alte considerente de natură tehnologică și economică. O situație comparativă a metodelor de prelucrare prin deformare plastică la mare viteză (tabelul 9.1) evidențiază unele caracteristici relevante.

Tabelul 9.1

Detalii		Explozie			Pneumatico-mecanică	Electro-hidraulică		Impulsuri magnetice
		Explozivi brizanți	Explozivi lenți	Amestec de gaze		Descărcare în fuzibil	Descărcare în scânteie	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Caracteristicile sursei	Metoda de eliberare a energiei	detonație chimică	ardere chimică	ardere chimică	supapă rapidă	vaporizarea fuzibilului	ionizarea mediului	descărcarea în câmp magnetic
	Mediul de transfer al energiei	apă, aer, nisip	aer, apă	gaz	aer	apă, aer	apă, aer	Aer
	Viteza unde de șoc m/s	1.000 – 8.000	400 - 300	400 – 3.000	20 - 70	7.000	7.000	3.500 – 7.000
	Durata unde de șoc	microsecunde	milisecunde	milisecunde	milisecunde	microsecunde	microsecunde	microsecunde
	Viteza de deformare a produsului m/s	20 - 130	15 - 70	30 - 35	15 - 200	15 - 200	15 - 200	15 - 200
Adaptabilitatea	Locul de montaj	izolat	separat	separat	fără restricții	separat	separat	separat
	Dimensiunile limită ale piesei de prelucrat	circa 5 m	2 m	2 m	1 m	3 m	1,5 m	1 m
	Complexitatea formei	bună	bună	rezonabilă	Excelentă	bună	bună	rezonabilă
	Procese tehnologice în care se aplică	ambutisare adâncă, presare pulberi, tăiere, expandare, lipire, calibrare, ștemuire	compactizare, calibrare, aşchiere, ambutisare ușoară	ambutisare ușoară, profilare, calibrare	compactizare, extrudare, forjare refulare, îndreptare	ambutisare ușoară, îndreptare, calibrare	ambutisare ușoară, îndreptare, calibrare expandare	gâtuire, expandare, țevi, fretare, lipire, etanșare
Factori de selecție ai metodei	Avantajul principal	piese de dimensiuni mari	SDV –uri de mână	controlul ușor al presiunii	forjare de precizie	reproductibilitate	exploatare ușoară	prelucrare ușoară a produselor tubulare
	Costul investiției	mic - mediu	mic	mediu	mediu - mare	mediu - mare	mediu - mare	mediu - mare
	Costul SDV-urilor	mic	mediu	mare	mediu	mediu	mediu	mare
	Costuri de exploatare	mare	mic - mediu	mare	mic	mediu	mediu	mare
	Costul energiei	mic - mediu	mediu -mare	foarte mic	mic	mic	mic	mic
Viteza maximă de lucru bucăți/oră	4	12	2	300	360	360	19.000	

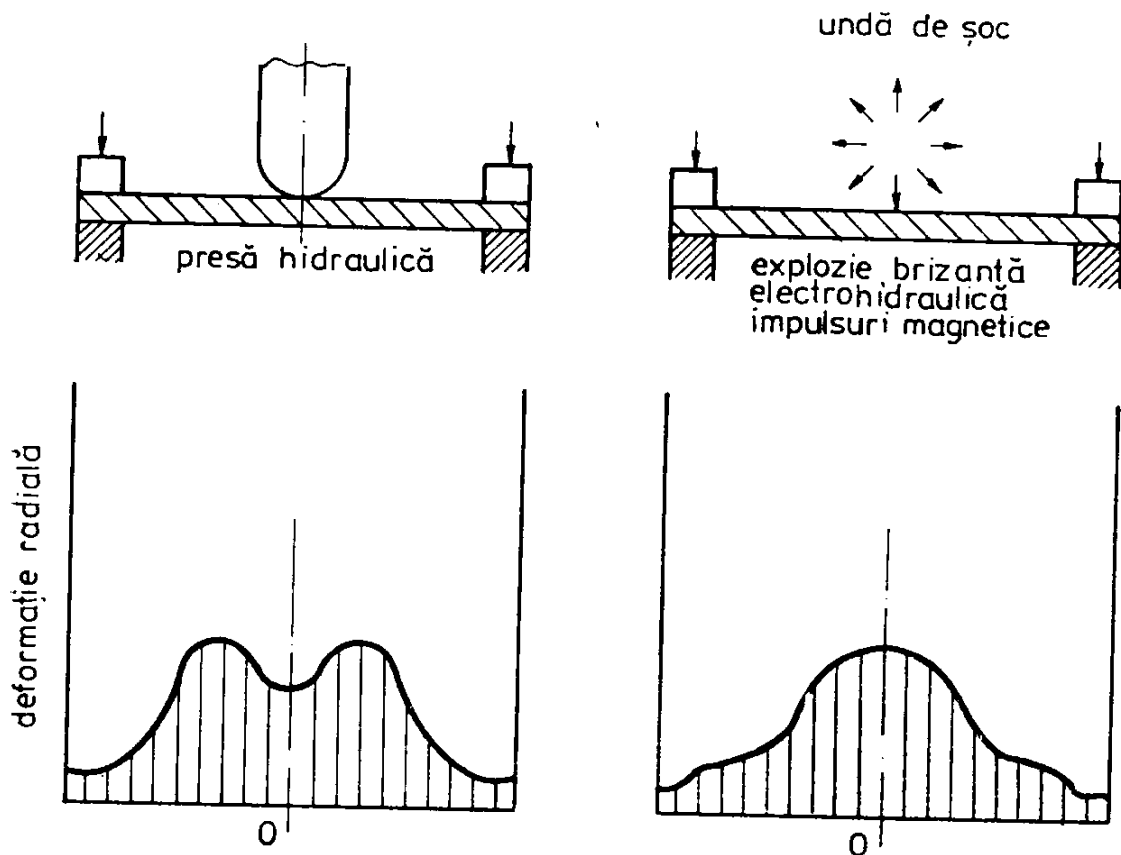


Fig.9.1.1.

Se observă că metodele de deformare la mare viteză sunt deosebit de eficiente în cazul ambutisării adânci, ștanțării, matrițării, ambutisării ușoare a tablelor.

În general, toate metodele de deformare plastică la mare viteză comportă, în cazul unor serii mici sau mijlocii de fabricație, investiții mult mai reduse și consumuri energetice mai mici decât în cazul deformării convenționale. O asemenea situație este valabilă în special când dimensiunile produsului finit sunt mari și foarte mari, caz în care investițiile convenționale sunt foarte mari.

Un alt avantaj major al deformării plastice cu mare viteză este posibilitatea de a obține piese cu forme complicate printr-o singură operație. La procedeele convenționale modul de distribuție a deformărilor este limitat, în timp ce la deformarea la mare viteză se poate obține distribuția dorită a deformării, în funcție de necesități (fig. 9.1.1.).

Acest lucru este posibil, desigur, numai atunci când se cunoaște bine teoria procesului de deformare și tehnica de lucru.

9.1.2. Elemente de bază din mecanica deformării – tehnici de deformare

Deoarece prin procedee neconvenționale deformarea plastică este foarte rapidă, în calculele teoretice trebuie să se țină seama de forțele de inserție. Prin urmare, deformarea se realizează prin propagarea undelor elastice și plastice în materialul de deformat și prin reflectarea lor la diverse interfețe de lucru.

Deși în majoritatea cazurilor practice fenomenele sunt spațiale, totuși, din considerente metodologice, se va prezenta mecanismul de deformare care are loc într-un caz particular și anume, acela al evoluției liniare. Astfel, deformarea plastică-dinamică în cazul unidimensional este guvernată de ecuația:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{\rho} \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (9.1.2.1)$$

în care u reprezintă deplasarea unei particule ; σ - tensiunea ; ε -deformația; ρ - densitatea inițială; x -coordonata materială (inițială) a particulei; t - timpul. Proprietățile elasto-plastice ale materialului sunt caracterizate printr-o relație de forma:

$$\sigma = f(\varepsilon) \quad (9.1.2.2)$$

în care f este o funcție strict crescătoare, descriind ecrusarea. În domeniul elastic această funcție se reduce la $\sigma = E\varepsilon$, iar viteza de propagare a undelor elastice se exprimă cu ajutorul relației:

$$C_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (9.1.2.3)$$

În cazul deformării plastice, viteza undelor este mult mai mică, posibil de determinat cu relația:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho} * \frac{\partial \sigma}{d\varepsilon}} \quad (9.1.2.4)$$

și se calculează utilizând formula (9.1.2.2). Deci, viteza de propagare a undelor este dată de panta curbei din formula (9.1.2.2).

În cazul unor încărcări foarte rapide, calculele de deformare nu pot fi făcute cu ajutorul undelor de accelerație, descrise mai sus, ci cu ajutorul undelor de șoc. În acest caz, viteza de propagare se obține din relația:

$$C_s = \sqrt{\frac{1}{\rho} * \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}} \quad (9.1.2.5)$$

în care $\sigma_1 - \sigma_2$ este saltul tensiunii pe frontul undei de șoc. Saltul corespunzător și al deformației și al vitezei rezultă din ecuațiile:

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= C_s(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \\ C_s \rho &= (V_1 - V_2) = -(\sigma_1 - \sigma_2) \end{aligned} \quad (9.1.2.6)$$

În ceea ce privește mecanismul deformării elasto-plastice, trebuie ținut seama de faptul că deformarea, în timpul încărcării, se realizează prin mecanismul de propagare a undelor plastice, iar descărcarea care urmează se realizează prin unde elastice; mecanism complicat de interacțiunea dintre undele plastice de încărcare și cele elastice de descărcare.

Privind rezistența opusă de metal la deformare plastică se constată că aceasta depinde de natura materialului, temperatură, distribuția forțelor de deformare și de viteza deformării plastice. Există materiale care se deformează dinamic, practic în aceleași condiții ca în deformările lente. În acest caz, descrierea comportării materialului poate fi realizată cu ajutorul teoriilor menționate Există însă și materiale care, atunci când sunt deformate foarte rapid, posedă o limită de curgere de 2—3 ori mai mare decât limita lentă (statică) de curgere. Pentru asemenea materiale relația (9.1.2.2) nu mai este satisfăcătoare, fiind înlocuită cu ecuația:

$$\varepsilon = \left[\frac{1}{E} + \Phi(\sigma, \varepsilon) \right] \sigma + (\sigma, \varepsilon) \quad (9.1.2.7)$$

în care: ε - este viteza de deformare, iar σ - este viteza tensiunii (derivata obiectivă a tensorului tensiunii în raport cu timpul).

Coefficienții menționați (9.1.2.7) descriu proprietățile plastice și vâscoase ale materialului : $\Phi(\sigma, \varepsilon)$ descrie proprietățile plastice, în sens clasic, iar $\Psi(\sigma, \varepsilon)$ descrie proprietățile vâscoase. Cu un astfel de model matematic (9.1.2.7) se poate descrie creșterea limitei de curgere, de 2-3 ori în cazul unor materiale care se deformează la viteze mari. În cazul unor viteze de încărcare extrem de mari, limita de curgere poate să crească de câteva zeci de ori.

Mai trebuie avut în vedere că, în zonele de discontinuitate, undele de tensiune se interferează, se reflectă, se refractă și se compun, producându-se efecte de care este necesar să se țină seama. Astfel, dacă la interfața dintre două materiale sosește o undă incidentă de tensiune de amplitudine σ_i , atunci tensiunea σ_r a undei reflectate și tensiunea σ_t a undei transmise sunt date de ecuațiile:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_i(\rho_2 CL_2 - \rho_1 CL_1)}{\rho_1 CL_1 + \rho_2 CL_2}$$

$$\sigma_t = \frac{2\sigma_i \rho_2 CL_2}{\rho_1 CL_1 + \rho_2 CL_2} \quad (9.1.2.8)$$

în care indicii 1 și 2 se referă la cele două medii, iar CL este viteza undei longitudinale.

9.2. Prelucrarea de deformare prin explozie

Mecanismul încărcării dinamice este foarte complex, deci este important să se cunoască bine aspectele teoretice ce descriu fenomenele fizice și mecanice care au loc, astfel încât să se poată folosi cât mai optim posibilitățile oferite de fiecare material, iar atunci când este nevoie să se obțină materiale cu proprietăți noi. De asemenea, este necesar să se acționeze pentru cunoașterea și, mai ales, pentru perfecționarea tehnicilor utilizate pentru deformarea plastică la mare *viteză*. O asemenea cerință devine imperioasă în momentul de față când industria modernă are nevoie de piese (subansamble) de dimensiuni mari și forme tot mai complexe.

Din punct de vedere al utilizării explozibilului (brizant sau lent) există două moduri de amplasare față de piesa de lucru: *în contact direct* (folosită, de regulă la tăierea, sudarea, și placarea unor metale) și *în contact indirect*.

(Spre exemplu, se consideră o deformare prin explozie în contact indirect cu piesa de lucru, mediul cuplant fiind apa (fig. 9.2.1, a), care se utilizează de obicei la formarea unor piese prin deformare plastică în spații cavitaționale.

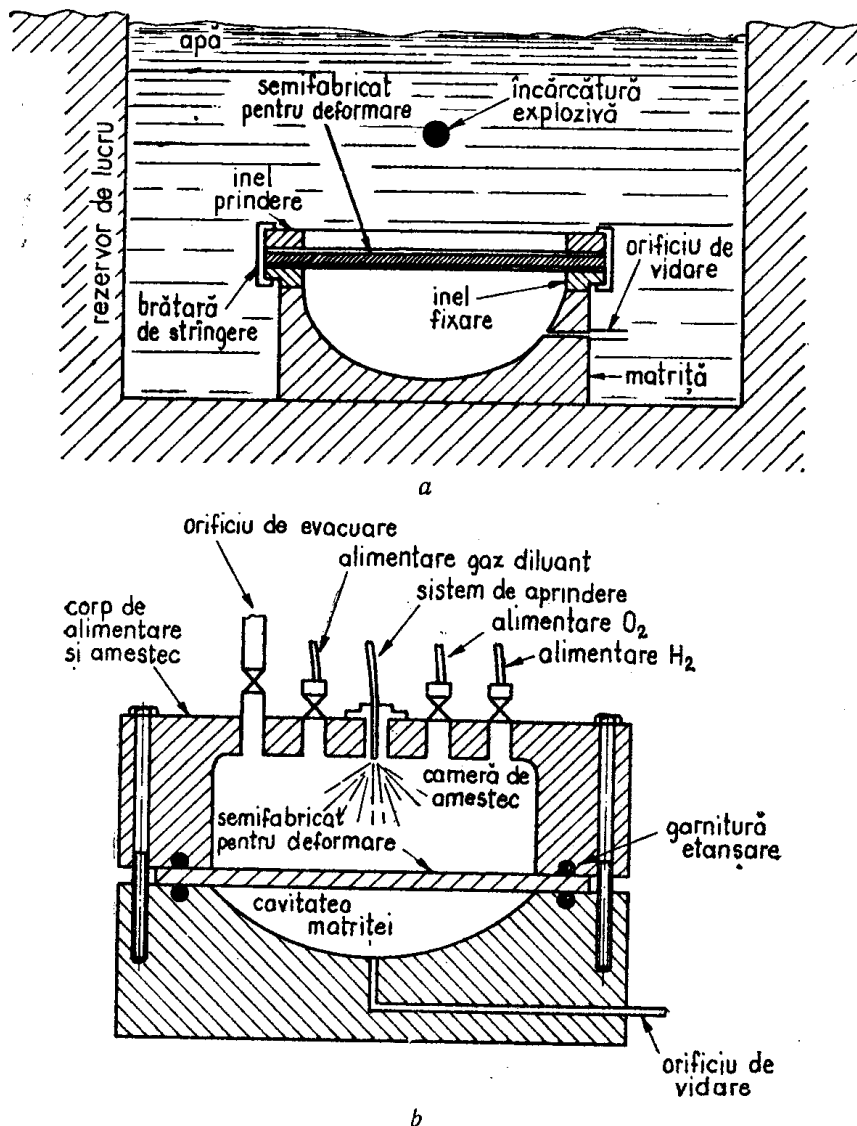


Fig.9.2.1

Tot în categoria deformării prin explozie intră și deformarea prin intermediul utilizării amestecurilor combustibile (Ic gaze (fig. 9.2.1, b), în care caz eliberarea energiei de deformare se poate face prin contact direct sau indirect cu piesa de lucru.

Energia utilizată în deformarea prin explozie este de natură chimică, iar condițiile de eliberare a acesteia - presiune, viteză, timp - depind de natura și cantitatea încărcăturii explozive, Explozibiliu lenți dezvoltă presiuni de ordinul zecilor de daN/mm^2 și viteze de 400—3.000 m/s, iar cei brizați presiuni de ordinul miilor de daN/mm^2 și viteze de propagare de 1.000 – 8.000 m/s. Presiunea maximă a undei de șoc p_m , într-un punct situat la distanța R de centrul unei încărcături sferice, se poate determina cu relația:

$$P_m = K \left(\frac{m^{1/3}}{R} \right)^\alpha [\text{daN/cm}^2] \quad (9.2.1)$$

în care m este masa încărcăturii (kg) R - distanța de la încărcătură la punctul unde se măsoară presiunea ; K și α sunt constante, care depind de tipul explozibilului utilizat. Există alte condiții de lucru și de eficacitate economică (tabelul 9.1) care evidențiază avantajele sau dezavantajele uneia sau alteia dintre metode.

Este de menționat faptul că deformarea prin explozie se folosește nu numai la formarea unor piese, ci și la corectarea formei și dimensiunilor unor piese în scopul încadrării acestora în clase de toleranțe strânse, De asemenea, prin folosirea expansiunii prin explozie se pot realiza produse cu forme complexe, foarte greu de obținut prin metode convenționale. O aplicație importantă a formării prin explozie o constituie presarea unor materiale, de genul pulberilor metalice, refractare, cermeturi, carburilor dure etc., caz în care se pot obține produse cu forme complicate și foarte bine finisate, de densitate apropiată de cea teoretică. În același timp, se pot realiza ușor materiale compozite stratificate.

În țara noastră, deformarea plastică prin explozie a început să fie utilizată la realizarea sudurilor de placi și de țevi și pentru ambutisare adâncă.

9.3. Prelucrarea prin deformare pneumo-mecanică

Această metodă se bazează pe dilatarea bruscă (adiabatică) a unui gaz comprimat, folosit, de regulă, într-un circuit închis. Gazul este comprimat, închis, iar apoi eliberat pentru a pune în mișcare două pistoane, ce se apropie și depărtează simultan. Pe acest principiu s-au construit ciocane de forjare într-o multitudine de puteri și dimensiuni, care pot fi simplu și precis manevrate eroarea prin care se realizează lovitura este de cel mult 3 la sută, din cea prevăzută de operator.

Ecuția eficienței energetice a sistemului poate fi scrisă sub forma :

$$\frac{E_L}{E_C} = 1 - \left(\frac{F_L}{F} \right)^2 \quad (9.3.1)$$

în care E_C este energia cinetică a sistemului mecanic mobil înainte de lovire;

E_L - energia utilizată pentru deformarea produsului ; F_L - forța de lovire a produsului ;

F — forța maximă care apare în sistem în urma dilatării bruște a gatelor.

Valoarea forței F se determină din relația:

$$E = (P_1 - P_2) AS \quad (9.3.2)$$

în care F reprezintă energia eliberată în sistem ; P_1 și P_2 - presiunea gazului pe piston, înainte și după relaxare; A - aria pistonului ; S - cursa pistonului.

Procedeele pneumatico-mecanic se utilizează pentru operații de forjare, extruziune, presare și ambutisare.

Prin forjare pneumatico-mecanică se poate prelucra aproape orice metal (metale și aliaje refractare, oțeluri inoxidabile și aliate, aliaje de aluminiu și titan etc.), în forme și geometrii foarte complexe și la toleranțe strânse. Toleranțele strânse se obțin pe baza faptului că operatorul poate controla precis descărcarea energiei. Spre exemplu, prin extruziune, pot fi prelucrate în bare și profile metale refractare, aliaje de cupru, aluminiu și oțel, aliaje de wolfram etc., care sunt, foarte greu de prelucrat pe cale convențională, sau ar cere mașini de prelucrat convenționale de dimensiuni foarte mari.

În cazul presării se pot compacta metale și materiale pulverulente. Ambutisarea se realizează, de asemenea, în condiții avantajoase. Exemple de produse realizate prin procedee pneumatico-mecanice: palete și statoare de turbină, componente de rachete, carcase de mașini, roți dințate, sape de foraj adânc.

În țara noastră, tehnologia deformării pneumatico-mecanică la mare viteză a început să se aplice industrial cu foarte bune rezultate, pe baza utilajului „Dynamak” și „Hermes”.

9.4. Prelucrarea prin deformare electro-hidraulică

Metoda se bazează pe transformarea energiei electrice în energie mecanică, într-un mediu lichid. Dacă scânteia electrică este descărcată într-un lichid, atunci se produce o undă de șoc și, deci, presiuni care pot fi utilizate pentru deformarea plastică a metalelor. Există două asemenea procedee: descărcarea unei capacități electrice printr-un conductor fuzibil

descărcarea unei capacități electrice între doi electrozi (tensiunile de lucru sunt cuprinse între 10.000 – 30.000 V). Folosirea conductorului fuzibil este mai avantajoasă prin faptul că, în funcție de forma și de dimensiunea acestuia, se poate dirija mai precis explozia. În același timp, această metodă prezintă dezavantajul că la fiecare piesă deformată trebuie înlocuit fuzibilul.

Instalația cu conductori fuzibili (fig. 9.4.1) este relativ simplă și asigură o eficiență economică acceptabilă.

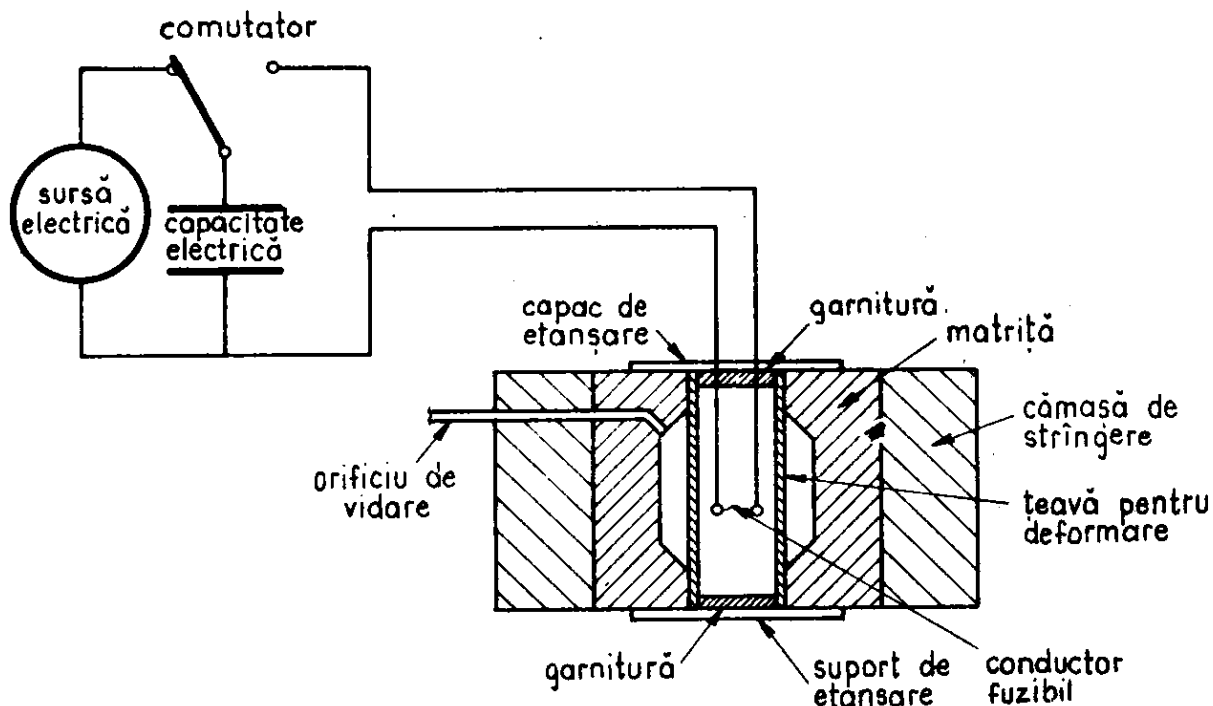


Fig.9.4.1

Energia disipată este egală cu cea înmagazinată în capacitatea electrică, respectiv are valoarea:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (9.4.1)$$

în care W este energia ; C - capacitatea ; V - tensiunea.

Capacitatea este capabilă să înmagazineze energii de până la $40 \cdot 10^3$ Joules, timpul de descărcare fiind de ordinul microsecundelor iar energia eliberată prin șoc extrem de mare. Un exemplu de deformare plastică prin procedeul electro-hidraulic pentru cazul expansiunii sferice fără matrită, al expansiunii unei țevi fără matrită și al expansiunii unei țevi într-o matrită (fig. 9.4.2) sugerează suficient de edificator fenomenul.

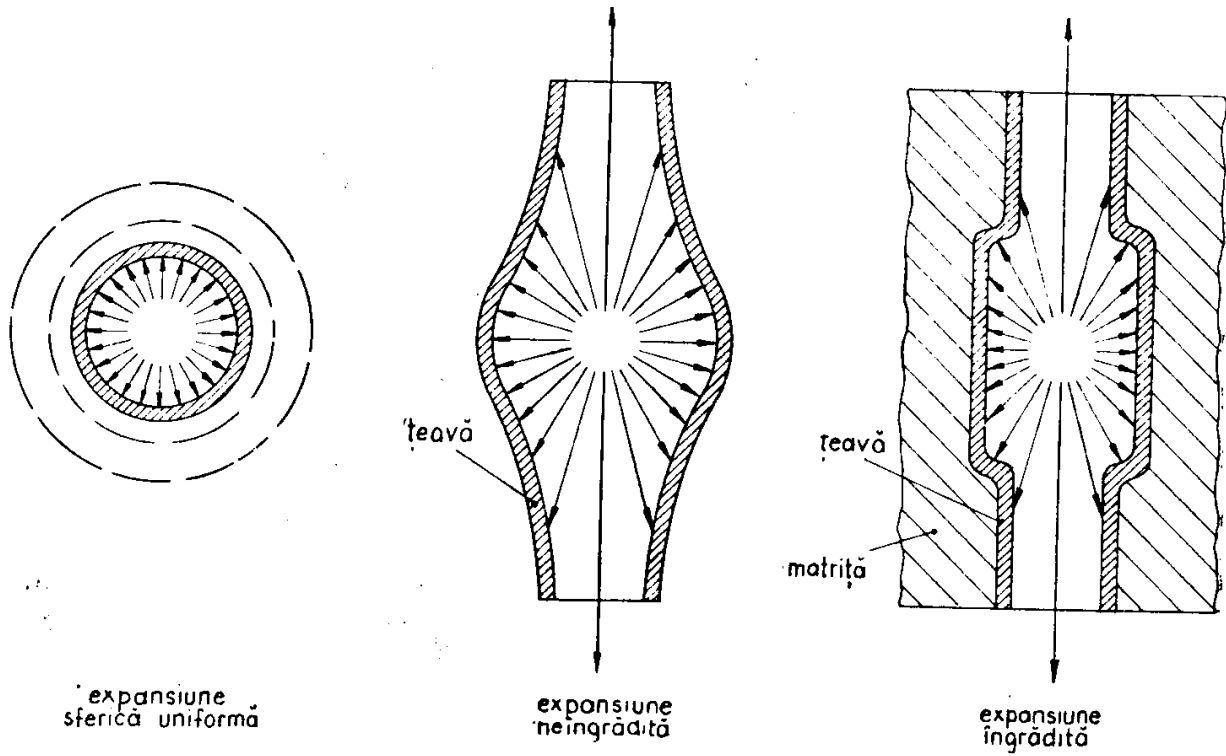


Fig.9.4.2

Prin această tehnologie se realizează operații de ambutisare adâncă și ușoară; îndoire și profilare, găurire etc. obținându-se produse în forme complexe din materiale greu și ușor deformabile .

9.5. Prelucrarea de deformare prin impulsuri magnetice

Presiunea dezvoltată de impulsul magnetic poate ajunge până la 400 daN/mm² și variază în funcție de intensitatea câmpului magnetic (fig. 9.5.1, a), corelație care are o evoluție liniară.

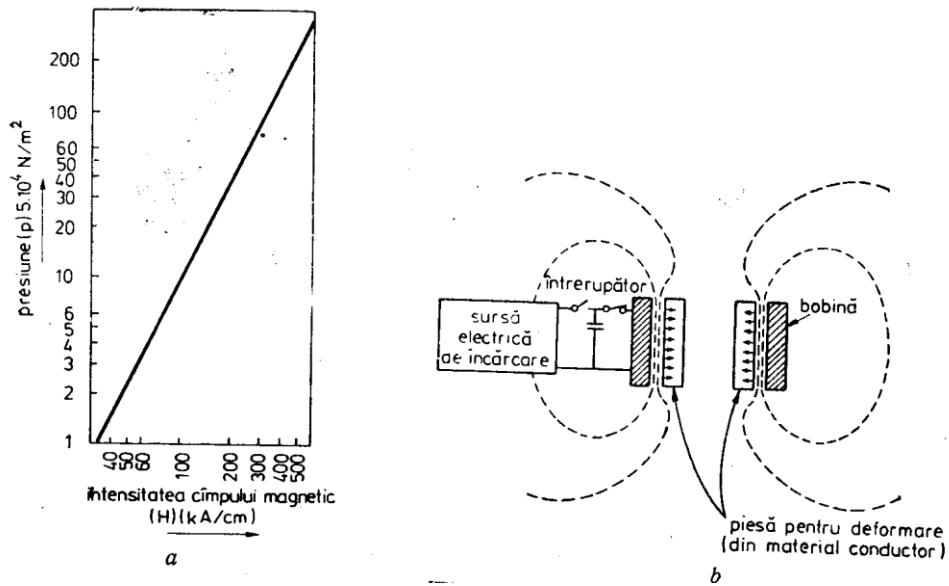


Fig.9.5.1

O instalație se compune, în principal, dintr-un circuit electric având ca elemente constitutive: o capacitate electrică, un comutator, o bobină și o sursă de putere electrică (fig. 9.5.1, b).

Acest tip de circuit va furniza un curent care poate fi reprezentat printr-o oscilație rapid amortizată, căreia îi corespunde o anumită presiune pe piesa de lucru (fig. 9.5.2).

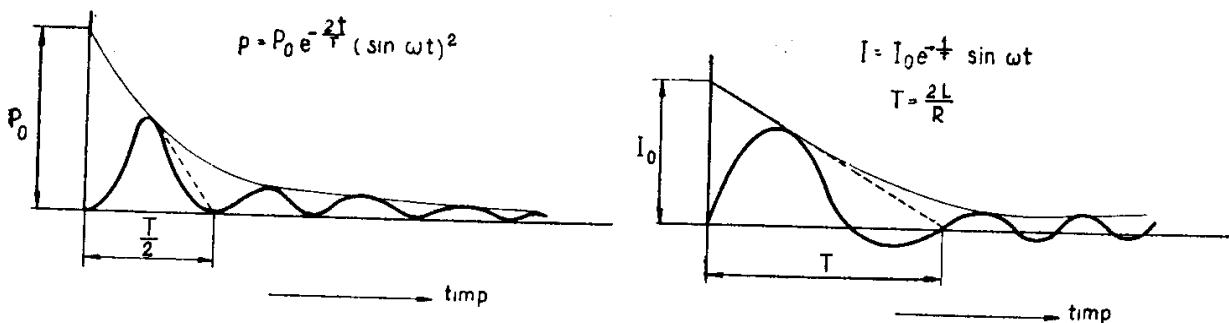


Fig.9.5.2

Interacțiunea dintre câmpul magnetic și curenții induși la suprafața piesei de prelucrat, creează în piesă o forță orientată radial pe bobină, în sens convergent sau divergent, în funcție de sensul curentului în bobină. Pe acest principiu se pot gătui (comprima) sau expanda o serie de produse tubulare.

Mărirea presiunii furnizată de impulsul magnetic este data de relația:

$$p = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (9.5.1)$$

în care p este presiunea ; B - inducția magnetică; μ_0 - permeabilitatea spațiului dintre piesa de prelucrat și bobină.

Intensitatea inducției magnetice poate ajunge până la 300 K. Gauss.

Forma câmpului magnetic se poate modela prin forma bobinei. Eficacitatea prelucrării prin impulsuri magnetice depinde de rezistivitatea metalului supus deformării, metoda fiind deosebit de eficientă la deformarea țevilor și tablelor.

Aplicațiile principale ale procesului sunt: gătuirea și expandarea țevilor, închiderea conductelor de presiune, înădirea tuburilor de presiune, asamblarea rotoarelor de turbină și a conurilor de rachetă, etanșări elastice, asamblarea unor piese metalice cu piese ceramice, asamblarea prin fretare.

Procedeele de deformare plastică a metalelor la mare viteză sunt adecvate și competitive în următoarele situații :

- a) când se poate face o comparație directă cu procedeele convenționale; când sunt necesare instalații de deformare convenționale foarte mari sau în cazul seriilor de fabricație mici și mijlocii, în special în cazul produselor masive și foarte masive;
- b) când flu se poate face o comparație cu tehnologiile neconvenționale; (deformarea materialelor extradure; realizarea unei geometrii deosebit de complexe și a unei precizii înalte în cazul când nu se poate dispune de utilaj convențional la locul în care se efectuează deformarea).

BIBLIOGRAFIE - PARTEA II

1. BOLLINGHAUS, T., Manufacturing Engineering, Springer Handbook of Mechanical Engineering, 2009
2. CUCUREZEANU, I.; "Laserei", Editura Academiei, București, 1966
3. DULĂU, M., DAVID, L., ȘOAITĂ, D., GRAMA, L., BIRO, D., GEAMPANĂ, E.; "Electrotehnologii – lucrări de laborator", Editura Universității "Petru Maior", 2001
4. EZRA, A.; "Principles and Practice of Explosive Metal-Working", Industrial Newspaper Ltd. London, 1963
5. GHIZDAVU, V.; "Prelucrarea metalelor cu puteri și viteze mari", Editura Tehnică, București, 1976
6. GAVRILAȘ, I., ș.a.; "Prelucrări electrice în construcția de mașini", Editura Tehnică, 1968
7. GAVRILAȘ, I., MARINESCU, N.; "Prelucrări neconvenționale în construcția de mașini", Vol. I și Vol. II, Editura Tehnică, 1991
8. GRAMA, L.; Tehnologia Fabricării Mașinilor - Curs - Vol.II. Institutul de Învățământ Superior Tg.Mureș, 1984
9. GRAMA, L.; Tehnologia Construcției de Mașini-Tehnologii de Fabricare - Îndrumar de laborator, Universitatea Petru Maior Tg.Mureș, 1997
10. GRAMA, L.; "Procedeele HoMach", Editura Transilvania, 1998
11. GRAMA, L.; "Tehnologii de fabricare în construcția de mașini", Editura Veritas, 1999
12. GRAMA, L.; Tehnologii Electrofizice și Mecanice cu Energie Concentrată Editura Universității Petru Maior Târgu-Mureș, 2004, ISBN 973-7794-05-2
13. GROOVER, M.P.; Fundamentals of modern manufacturing, Materials, Processes and Systems, Second Edition, USA 2002, ISBN 0-471-40051-3
14. IOVA, I.; "Elemente de optică aplicată", Editura Tehnică, București, 1977
15. KALPAKJIAN, S.; Manufacturing Engineering & Technology (6th Edition), 2010, ISBN 978-98106-814-49
16. MARINESCU, N.; "Contribuții la prelucrarea electrochimică de precizie a găurilor profilate", Teză de doctorat, I.P. București, 1979
17. MIHĂILĂ, I.; "Tehnologii Neconvenționale" - Ediția a II-a, Editura Universității din Oradea, 2003
18. POPESCU, I.M., ș.a.; "Aplicații ale laserilor", Editura Tehnică, București, 1979
19. VÂLCEANU, S.; "Laserei – instrumente ale științei și tehnicii moderne", Editura Ion Creangă, București, 1979