

Bazele generării suprafețelor

11. **PRELUCRAREA PRIN AȘCHIERE**

A ROȚILOR DINȚATE

11.1 *Particularitățile prelucrării roților dințate*

Roțile dințate servesc la transmiterea mișcărilor de rotație sau translație la puteri mai mari sau mai mici. Ca urmare, angrenajul a fost, este și desigur va continua să fie unul dintre cele mai prețioase organe de mașini, atât din punct de vedere funcțional, cât și din punct de vedere al tehnologiei de realizare. Din această cauză s-a dezvoltat o mare varietate de mașini-unelte și de procedee pentru realizarea generatoarei (forma flancului) și directoarei (forma dintelui) roților dințate.

Roțile dințate care alcătuiesc diverse angrenaje capătă forme și dimensiuni într-o gamă foarte largă. În practică sînt folosite mai mult două tipuri de angrenaje, anume: *cilindrice* și *conice*.

Sînt utilizate și unele angrenaje de tranziție între cele cu dantură exterioară și cele cu dantură interioară (angrenajul format dintr-o roată dințată și o cremalieră) după cum sînt utilizate și unele angrenaje de tranziție între cele cilindrice și cele conice (angrenajul elicoidal realizat dintr-un melc și o roată melcată, angrenajul globoidal, angrenajul conic hipoid).

Din punctul de vedere al profilului dintelui (forma curbei generatoare Γ_0), s-au impus profilul evolventic, profilele cicloidale (cu utilizare mai redusă din motive tehnologice și funcționale) și profilul compus din arce de cerc (dantură pentru aparatele din mecanica fină și dantura Novicov).

Evolventa, developanta sau desfășurata cercului, are o largă utilizare în construcția angrenajelor, ca profil de dinte, datorită proprietăților sale cinematice (conjugata ei fiind tot o evolventă), funcționale (insensibilitate la variația distanței dintre axe, posibilitatea corijării în scopul obținerii unui dinte mai robust, interschimbabilitatea roților dințate cu același modul), precum și tehnologice (obținerea unui profil cu abateri minime, scule cu profil rectiliniu, verificare ușoară a profilului).

Evolventa mai este utilizată ca profil al unor arbori canelați și ca formă a dintelui pe lățimea roții dințate (curbă directoare) la unele angrenaje conice (dantura paloidă) etc.

În raport cu forma curbei de intersecție a suprafeței flancurilor cu suprafața primitivă, numită curbă directoare Δ , se definesc următoarele tipuri de danturi: dantura *dreaptă*, *elicoidală* (înclinată) și *curbă*. Pentru dantura dreaptă intersecția flancului cu suprafața primitivă este o dreaptă paralelă cu generatoarea suprafeței primitive (de rulare). Pentru dantura înclinată intersecția flancului cu suprafața primitivă face parte dintr-o elice înclinată cu unghiul β față de generatoarea suprafeței primitive. În cazul danturilor curbe,

intersecția flancului (directoarei) cu suprafața primitivă este o curbă, concretizată, în general, printr-un arc de cerc, arc de epicloidă sau hipocicloidă, arc de evolventă etc.

Prelucrarea prin așchiere a roților dințate se face prin frezare, rabotare, mortezare, abrazare (rectificare), șeveruire și prin metode de finisare și superfinisare cu granule abrazive (rodare, lepuire, tușare etc.).

11.2. Variante de generare a roților dințate

Pentru realizarea unei roți dințate este necesar să se rezolve două probleme, anume: *generarea curbei generatoare* (forma flancului dintelui) și *generarea curbei directoare* (forma dintelui pe lățimea roții dințate)

Variante de obținere a curbei generatoare. În funcție de modul în care este generat flancul dintelui (modul de obținere a curbei generatoare Γ) se deosebesc două tipuri de generatoare:

– generatoare *materializată* pe muchia așchietoare a sculei sau pe un portprogram;

– generatoare *cinematică*.

În primul caz, generatoarea Γ este materializată pe muchia așchietoare a unei scule profilate (freze-disc modul, freze deget modul, cuțite profilate, capete multicuțite, broșe profilate și discuri abrazive profilate), sau prin intermediul șabloanelor, cartelelor etc. care impun utilizarea unor scule cu profil simplu al muchiei așchietoare ce urmăresc profilul dintelui de pe portprogram. În toate cazurile mașinile-unelte au o construcție relativ simplă.

În acest caz este necesară trasarea analitică a evolventei cercului pe muchia așchietoare a sculei. După cum este cunoscut, arcul de evolventă E_v se generează de un punct M de pe o dreaptă D , care se rostogolește fără alunecare pe un cerc de bază, de rază R_b . Din fig.11.1 se scriu relațiile:

$$\begin{aligned} \theta_x &= \tan \alpha - \alpha = \operatorname{inv} \alpha \\ \rho_x &= \frac{R_b}{\cos \alpha} \end{aligned} \quad (11.1)$$

Funcția $\operatorname{inv} \alpha$ (*involut* α) sau $ev \alpha$ (funcția evolventei) este tabelată în funcție de unghiul α .

Pentru trasarea profilului sculei așchietoare cât și pentru controlul acesteia este rațional să se lucreze în coordonate carteziane. Ca urmare, în literatură se dau ecuațiile parametrice ale evolventei în coordonate carteziane (relațiile 11.2), utile pentru trasarea analitică a tăișului în evolventă al sculelor așchietoare profilate.

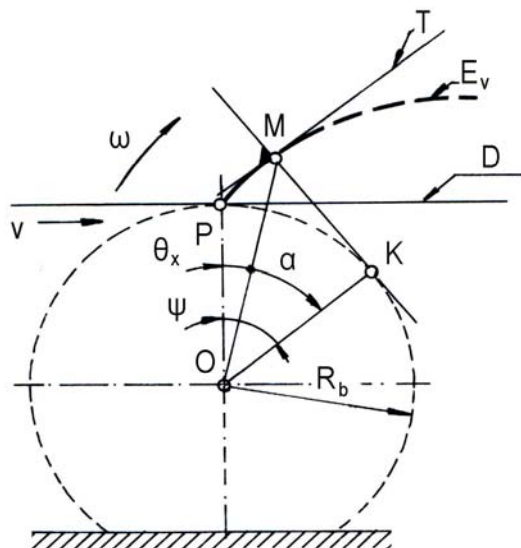


Fig. 11.1. Trasarea evolventei

Practic, se fixează 8 pînă la 25 valori ale razei vectoriale ρ_x , cuprinse între R_e și R_b , și cu ajutorul relațiilor (11.2), se determină perechile de valori x și y , care materializează punctele de pe evolventă. Se trasează apoi, prin puncte, evolventa flancului dintelui. În relațiile (11.2) z_p reprezintă numărul de dinți al roții semifabricat, iar R_i este raza cercului interior. Relațiile (11.2) se folosesc numai pentru danturi necorijate (normale).

În cel de al doilea caz, pentru obținerea generatoarei cinematische se folosesc scule cu profil simplu pentru muchia așchietoare. Frecvent sînt utilizate dreapta și evolventa (la cuțitul roată). Mașina-unealtă reprezintă o construcție mai complexă din punct de vedere cinematic decît precedentele (astfel de mașini sînt mașini speciale construite pentru un anumit procedeu de prelucrare).

$$\begin{aligned} x &= \rho_x \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2z_p} + in \operatorname{var} c \cos \frac{R_b}{\rho_x} - in \operatorname{var} c \cos \frac{R_b}{R_r}\right] \\ y &= \rho_x \cdot \left[\cos \frac{\pi}{2z_p} + in \operatorname{var} c \cos \frac{R_b}{\rho_x} - in \operatorname{var} c \cos \frac{R_b}{R_x}\right] - R_i \end{aligned} \quad (11.2)$$

O altă particularitate o reprezintă modul în care se realizează repetarea profilului pe cei z_p dinți ai piesei semifabricat. Profilul se obține prin divizare discontinuă (la prelucrarea cu generatoare materializată și la unele variante de generare cinematică) și continuă (la prelucrarea cu generatoare cinematică).

Curba flancului dintelui este de cele mai multe ori o evolventă. Din punct de vedere cinematic, evolventa poate fi generată în mai multe moduri: *rularea unei drepte pe un cerc de bază fix* (dreapta avînd o mișcare de rotație

de viteză unghiulară ω și una de translație de viteză v), *rularea unui cerc pe o dreaptă mobilă* și *rularea unui cerc pe o dreaptă fixă*. În caz particular dreapta poate fi înlocuită cu un cerc.

Ultimile două variante, la care dreapta se deplasează iar cercul se rotește, respectiv dreapta este fixă, iar cercul are ambele mișcări, sînt mai ușor de realizat tehnic, din care cauză au o largă utilizare în practică.

Avînd în vedere că cele două variante de rulare se deosebesc esențial prin faptul că dreapta este mobilă sau fixă, metodele sînt cunoscute sub denumirea de *metoda de rulare cu dreapta mobilă* și *metoda de rulare cu dreapta fixă*.

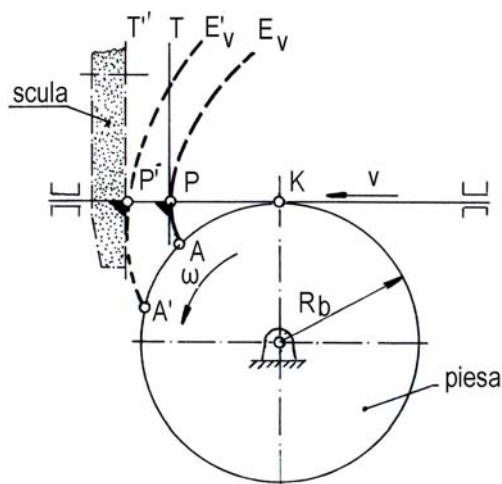


Fig. 11.2. Metoda de rulare cu dreaptă mobilă

Metoda de rulare cu dreaptă mobilă. O dreaptă PK (fig.11.2) se deplasează cu o viteză $v = R_b \cdot \omega$ pe cerc din P în P' . Evolventa E_v va ocupa pozițiile E'_v , iar tangenta T va ajunge în T' .

Se observă că noua poziție a tangentei (T') este paralelă cu poziția inițială (T). În acest caz, se poate considera că tangenta T este solidarizată cu dreapta PK . Datorită rulării tangenta ajunge în T' , iar generatoarea teoretică (evolventa) se obține ca înfășurătoarea pozițiilor succesive ale tangentei în mișcare.

Tangenta T este materializată de tăișul sculei care se deplasează cu o viteză (viteza de așchiere) aflată într-un plan perpendicular pe planul figurii sau pe partea frontală a unei scule abrazive (linie subțire în fig.11.2). În același timp, tangenta T se deplasează pe direcția PK cu viteza v , iar piesa semifabricat cu raza R_b se rotește cu viteza unghiulară ω . Pentru un anumit raport între cele două viteze un punct P descrie o evolventă.

Acest mod de generare a evolventei este folosit la unele mașini *Maag* de rectificat dantura roților dințate cilindrice.

Din punct de vedere tehnologic, varianta are un domeniu restrâns de utilizare deoarece este complicată din punct de vedere cinematic.

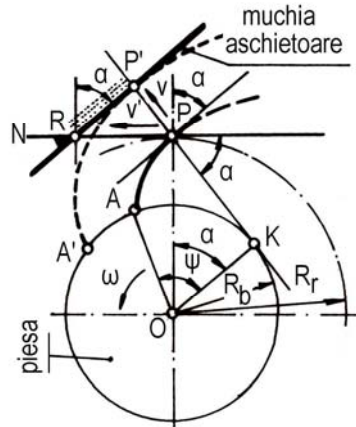


Fig. 11.3. Metoda de rulare cu dreaptă mobilă și cerc fix

Metoda de rulare cu dreaptă mobilă și cerc fix. Să considerăm momentul în care punctul P se află la distanța OP (fig.11.3) de centrul cercului de bază. Se poate genera o evolventă E_v dacă rularea dreptei se realizează pe cercul de bază cu un unghi ψ corespunzător unghiului α pe care-l face raza PO cu raza KO . Se impune ca unghiul $\alpha = \text{const.}$ și se continuă rularea. Tangenta T , care este solidarizată cu dreapta PK , va ajunge în T' la deplasarea ei paralel cu ea însăși cu viteza v , iar evolventa va ocupa poziția E'_v .

În același timp, în punctul P' de pe tangenta T' se poate ajunge dacă tangenta este solidarizată cu dreapta N (normală pe PO) și se deplasează cu viteza v' a cărei mărime rezultă din triunghiul $PP'R$, (rel.11.3).

$$v' = \frac{v}{\cos \alpha} \quad (11.3)$$

Dacă prin punctul P se duce un cerc tangent la dreapta N , se poate constata că mărimea vitezei v' este funcție de razele cercului de bază și a cercului de rulare (dreapta N rulează pe cercul de rază $OP = R_r$).

Raza de rulare R_r se determină din triunghiul OKP cu relația (11.4).

$$R_r = \frac{R_b}{\cos \alpha} \quad (11.4)$$

În ipoteza că cele două cercuri participă la rulare (au aceeași viteză unghiulară) se determină viteza v' cu relația (11.3).

Ca urmare, aceeași tangentă T' , legată rigid de dreapta N , înclinată cu unghiul α în raport cu normala pe dreapta N , generează o evolventă identică dacă dreapta N rulează pe un cerc de rază R_r , denumit cerc de rulare, cu condiția ca între cele două raze să existe relația (11.5).

$$\cos \alpha = \frac{R_b}{R_r} \quad (11.5)$$

Această metodă se deosebește de prima prin faptul că generatoarea Γ se obține prin rulare între dreapta N și un cerc de rază R_r ; la prima metodă rularea are loc între o dreaptă și un cerc de rază R_b .

Metoda prezintă mai multe avantaje. În primul rând, posibilitatea de fixare a unui anumit unghi α , numit unghi de angrenare, a cărui importanță este deosebită în teoria angrenării. Unghiul de angrenare este standardizat la 20° (există variante cu $\alpha = 14,5^\circ$ și $\alpha = 15^\circ$ în țările de limbă engleză).

În al doilea rând, la generarea evolventei (în timpul deplasării muchiei așchietoare din T în T') participă la așchiere numai o anumită parte a acestei muchii (porțiunea $P'K$) și nu un singur punct (cazurile precedente).

Metoda este aplicată la *mașinile de prelucrat roți dințate cu freză melc și cuțit roată* și la unele *mașini-unelte de prelucrat roți dințate conice*.

Rularea cu dreaptă fixă (fig.11.4). Condiția rulării dintre cerc și dreaptă este identică cu cea din primele două variante (relația 11.5). Metoda este folosită la *mașinile Maag* de prelucrat roți dințate după varianta cu un cuțit pieptene, la unele mașini de finisare prin abrazare a flancului roților dințate și la unele construcții de mașini pentru prelucrarea roților dințate conice.

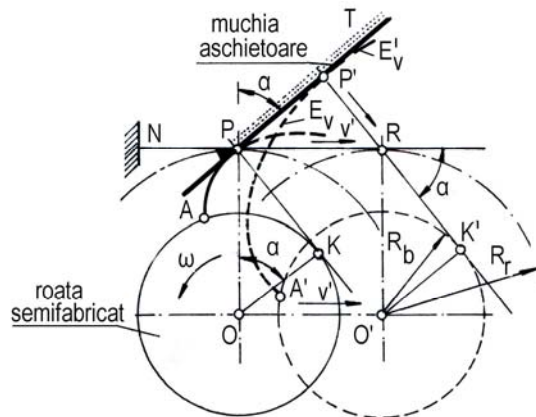


Fig.11.4 Rularea cu dreaptă fixă a roților dințate conice

În cazul **roților dințate conice**, rularea are loc între cercul de rulare R al piesei semifabricat (fig.11.5) și cercul de bază B al roții plane imaginare. Cazul rulării cu dreapta mobilă corespunde celui în care și roată plană (care are rolul dreptei) și conul de rostogolire se rotesc în jurul unor axe fixe, iar cazul rulării cu dreaptă fixă corespunde celui în care roata plană imaginară este fixă (ca în figură), iar conul are ambele mișcări de rotație.

Dintele unei roți dințate, în cele mai multe cazuri, are profilul simetric (fig.11.6). Ca urmare, evolventele respective pot fi generate de două tangente

Prelucrarea roților dințate

T_1 și T'_1 dispuse simetric ($\alpha_1' = -\alpha_1$), ca în oglindă și sînt solidarizate cu dreapta N în punctele P și D a căror distanță trebuie să fie egală cu grosimea dintelui/golului ($s_d = s_g = p/2 = \alpha m_n/2$).

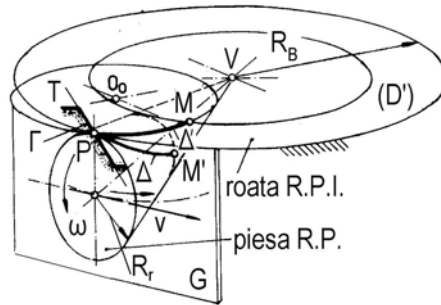


Fig.11.5 Generarea roților dințate conice

Pentru generarea mai multor dinți sînt necesare mai multe perechi de tangente $T_2, T'_2, T_3, T'_3, \dots$ dispuse la distanțe egale pe dreapta N , fiecare grupă de tangente fiind distanțată de precedenta prin mărimea GP egală cu grosimea golului/dintelui. Este evident că între cele trei mărimi trebuie să existe relația $d+g = p$, în care d (grosimea dintelui) și g (lățimea golului) pot avea valori diferite (roți dințate din materiale diferite), după cum, tot în cazuri speciale, unghiurile de angrenare pot fi neegale. Obținerea cinematică a generatoarei (flancul dintelui) este necesară realizarea unui raport bine determinat între cele două viteze (relația 11.6).

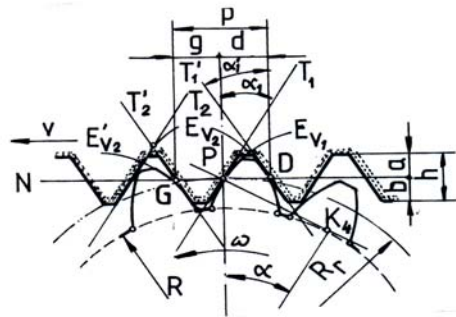


Fig. 11.6. Forma dintelui

Ecuția (11.6) reprezintă condiția cinematică a rulării, care pune în evidență două observații importante pentru construcția de mașini-unelte.

$$\frac{v}{\omega} = R_b = \text{const.} \quad (11.6)$$

- Raportul celor două viteze trebuie să fie tot timpul constant.

• *Mărimile vitezelor pot fi oarecare (diferite însă de zero și infinit) cu condiția respectării egalității (11.6).*

Ținând seama de relația (11.6), condiția cinematică a rulării poate fi scrisă și sub forma relației (11.7), când locul dreptei N este luat de un cerc de rază R_2 . Practic relația (11.7) reprezintă raportul de transfer al unui mecanism alcătuit din două roți dințate.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{R_1}{R_2} = i \quad (11.7)$$

Obținerea curbei directoare (forma dintelui pe lățimea roții). Pe lățimea roții semifabricat forma dintelui este determinată de forma curbei directoare pe lățimea cremalierii de referință pentru roțile dințate cilindrice, sau pe roata plană imaginară, pentru roțile dințate conice.

Forma dintelui la roțile dințate cilindrice poate fi o dreaptă (fig.11.7,*a*), o dreaptă înclinată (fig.11.7,*b*), două segmente de elice care se intersectează sub forma literei V (fig.11.7,*c*) sau Z (fig.11.7,*d*). Cu excepția directoarelor sub formă de dreaptă, celelalte curbe directoare sînt curbe spațiale.

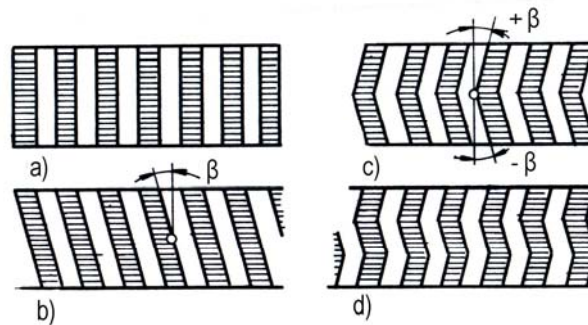


Fig.11.7 Forma dintelui pe lățimea roții

Pentru obținerea unor curbe directoare spațiale se folosește varianta cinematică care constă în rularea suprafeței D (care conține directoarea spațială Δ) pe un plan sau pe o altă suprafață care conține o directoare plană, obținută cinematic ca traiectorie a unui punct sau ca înfășurătoare a unor curbe cicloidale. De obicei, roata semifabricat rulează fără alunecare pe planul de rulare al cremalierii imaginare sau al roții plane imaginare.

Transpunerea prin rulare a directoarei plane din planul cremalierii de referință (imaginară) generează o directoare spațială de formă elicoidală cu un singur sens (fig.11.7,*b*) sau formată din elice de sensuri opuse (fig.11.7,*c,d*).

Pentru danturile conice, forma dintelui pe roata plană imaginară este o dreaptă sau o curbă analitică, care trebuie să fie realizată tehnologic (fig.11.8), care pe roata piesă (RP) semifabricat se transpune prin rulare, fără alunecare, sub forma unei directoare spațiale.

Prelucrarea roților dințate

Pentru directoarele spațiale este necesară o anumită legătură între vitezele pe care le au cele două suprafețe, conform condiției rulării.

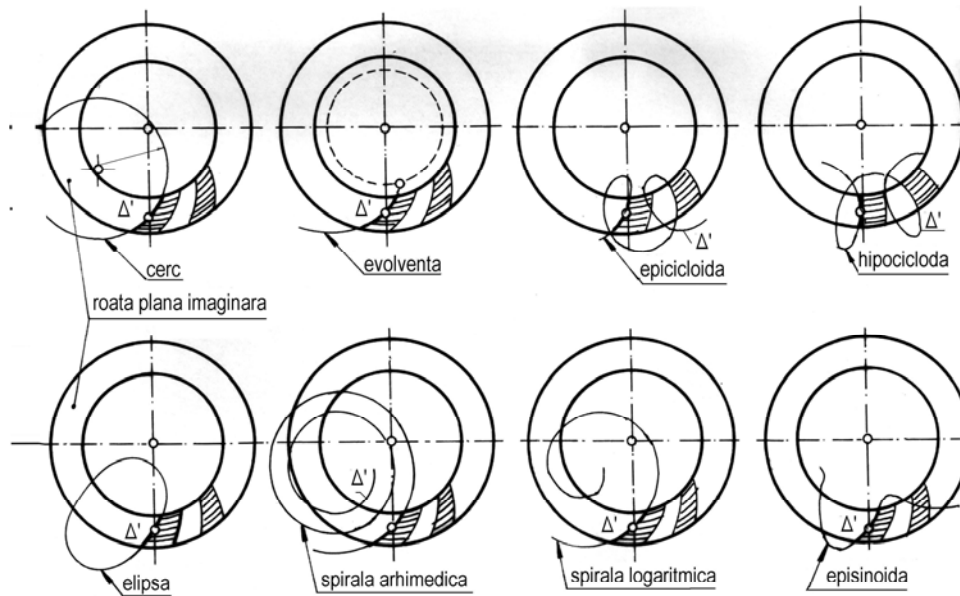


Fig.11.8 Forma dintelui pentru roțile dințate conice

11.3. Prelucrarea danturii roților cilindrice

11.3.1. Prelucrarea cu generatoare materializată a roților dințate cilindrice

Prelucrarea golului dintre doi dinți la o roată cilindrică se poate realiza cu scule avînd profilul corespunzător formei golului dintre doi dinți. Această metodă tehnologică nu asigură totdeauna precizie suficientă (abateri de la formă a profilului și abateri de pas) și nu este productivă din cauza modului de obținere a dinților (este necesară o mișcare de divizare, dinte cu dinte, care necesită timpi auxiliari și sînt introduse abateri de divizare).

Prelucrarea dinților roților cilindrice cu scule profilate se realizează după următoarele procedee de așchiere: *frezare, mortezare, abrazare și broșare*.

Curba generatoare Γ , descrisă de relațiile (11.2), este materializată pe muchia așchietoare a sculei profilate. Ca urmare, scula are forma golului dintre doi dinți și este concretizată prin freze disc modul, freze deget modul, cuțite de mortezat, broșe și discuri abrazive. Sculele sînt detalonate și au unghiul $\gamma = 0^\circ$, cerut de condiția simplificării calculului de profilare, de tehnologia de execuție

și ascuțire și necesitatea menținerii dimensiunilor din desen după operațiile de ascuțire și reascuțire.

Curba directoare Δ , sub forma unei drepte sau a unei elice, este descrisă de un punct al generatoarei Γ care se deplasează după o anumită lege. În cazul danturilor drepte curba directoare este o dreaptă și este descrisă cu ajutorul unei mișcări rectilinii II , executată fie de piesă fie de sculă, iar în cazul roților cu dinți înclinați directoarea Δ este o elice care se obține prin combinarea a două mișcări interdependente: o mișcare de rotație II' de viteză $v_{II'}$ (avans circular S_c), executată de piesa semifabricat, și o mișcare rectilinie II de viteză v_{II} , realizată de piesa semifabricat sau de sculă. Pentru roțile cilindrice cu dinți înclinați vitezele celor două mișcări trebuie să satisfacă relația de interdependență (11.8), în care β este unghiul elicei.

$$\frac{v_{II'}}{v_{II}} = \tan \beta = \text{const.} \quad (11.8)$$

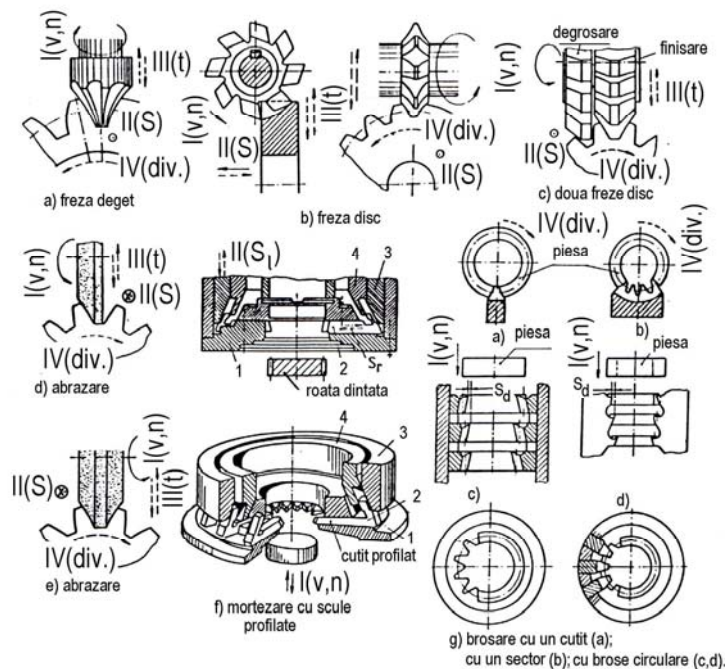


Fig.11.9 Prelucrarea roților dințate cilindrice după varianta cu generatoare materializată

La prelucrarea roților dințate cilindrice prin *frezare cu freze deget modul* prezentată în (fig.11.9,a), cu *freze disc modul* (fig.11.9, b, c) și prin *abrazare* (fig.11.9, d,e), după așchiera unui gol, se impune prezența unei mișcări intermitente IV pentru realizarea divizării. În schimb, la *mortezarea*

danturilor (fig.11.9, *f*) și broșare (fig.11.9.g), realizarea simultană a tuturor dinților elimină timpii auxiliari necesari mișcării de divizare *IV*.

Parametrii regimului de așchiere se stabilesc în funcție de procedeele de prelucrare, modulul și dimensiunile roții dințate etc.

Adâncimea de așchiere t la prelucrarea cu freza disc modul și lățimea de frezare B la prelucrarea cu freza deget se stabilesc ca și la frezarea obișnuită cu freze disc și freze deget. Totuși, la frezarea profilată, adâncimea de așchiere t este funcție de adaosul de prelucrare și de puterea și rigiditatea sistemului tehnologic *MUSDP*. Pentru micșorarea timpului de așchiere adaosul de prelucrare ($h = 2,25 m_n$) este îndepărtat în două treceri: o degroșare și o finisare. La prelucrarea pieselor subțiri și cu rigiditate insuficientă la degroșare se îndepărtează $2/3$ din adaos, iar la finisare $1/3$ din adaos.

Avansul de așchiere S reprezintă unul din cei mai importanți factori care influențează asupra productivității prelucrării. Avansul este limitat de rezistența muchiei așchietoare, rezistența la vibrații și rigiditatea sistemului tehnologic *MUSDP*, precizia și calitatea suprafeței prelucrate etc. La creșterea lungimii muchiei active a sculei, la creșterea modulului roții piesă, se mărește amplitudinea vibrațiilor, care limitează avansul maxim. La frezarea cu freze profilate avansul S_p se calculează din grosimea așchiei, care la sculele din Rp_3 este $a_{max} = 0,3 \div 0,35$ mm, iar pentru sculele armate cu plăcuțe din *CMS* grosimea maximă a așchiei este $a_{max} = 0,3 \div 0,6$ mm.

În cazul mortezării, broșării și abrazării, îndepărtarea adaosului de prelucrare se realizează din mai multe treceri, cu grosimea S_r sau $S_d > 0,1$ mm sau $S_d < 0,1$ mm (avans radial la mortezare și abrazare și avans pe dinte la broșare).

La prelucrarea roților dințate cilindrice prin mortezarea simultană a tuturor dinților roții semifabricat, mișcarea de avans radial S_r este executată simultan de toți dinții după o cursă activă a mișcării *I*. La capătul cursei în gol intră în acțiune o suprafață conică a unei piese (3) pentru realizarea avansului radial. Mărimea avansului radial se reduce de la o valoare maximă de $0,5$ mm/cd la începutul prelucrării pînă la $0,06$ mm/cd spre sfîrșitul prelucrării. De asemenea, pentru evitarea frecării suprafețelor de așezare în timpul cursei de retragere a sculei, la capătul cursei active se execută o ușoară retragere ($d = 0,5$ mm) pe direcție radială, prin deplasarea conului de retragere (4) pe direcția mișcării *II*. La capătul cursei în gol are loc revenirea la poziția inițială la care se adaogă mărimea unui nou avans radial.

Viteza mișcării principale v se stabilește în aceleași condiții de optimizare a procesului de așchiere ca în cazul prelucrării suprafețelor profilate prin frezare, mortezare, broșare și abrazare. Totuși, la procedeele de prelucrare prin broșare și mortezare, datorită particularităților constructive ale sculelor, viteza de așchiere se limitează la $7 \div 10$ m/min.

Dacă, sînt folosite scule profilate realizate din *CMS* sau alt material, atunci se modifică parametrii regimului de așchiere astfel încît să respecte instrucțiunile corespunzătoare materialului respectiv.

11.3.2. Prelucrarea cu generatoare cinematică a roților dințate cilindrice

Pentru rezolvarea problemelor de productivitate și eficiență economică, cât și pentru realizarea preciziei roții dințate s-au dezvoltat metode performante de prelucrare care poartă denumirea de **danturare prin rulare (angrenare)**. În practica prelucrărilor prin așchiere a roților dințate cilindrice se obțin rezultate deosebite dacă generatoarea și directoarea se realizează cinematic prin combinarea unor mișcări. *Generatoarele* Γ_0 sub forma unor evolvente, arce de cerc sau alte curbe se obțin cinematic ca înfășurătoare ale unor curbe descrise de tăișul sculei așchietoare sub forma unei curbe conjugate, materializată de către muchia așchietoare a sculei. De obicei, această curbă are forme simple, impuse de cerințe tehnologice (segmentul de dreaptă, arcul de cerc, arcul de evolventă etc). *Directoarea cinematică* este obținută ca traiectorie directă a unor puncte de pe generatoare sau prin imprimare (rulare spațială).

Principalele *procedee de prelucrare* a roților dințate prin rulare sînt următoarele: *frezare cu freze melc, mortezare și rabotare cu scule tip pieptene, care materializează o cremalieră cu calități așchietoare, mortezare cu cuțite tip roată dințată cilindrică, abrazare cu scule abrazive cu profil rectiliniu și abrazare cu un melc modul, șeveruire cu șevere tip cremalieră, roată și melc modul și lepuire* (rodare).

Danturarea prin rulare prezintă următoarele *avantaje* în raport cu prelucrarea cu scule profilate:

- *profilul sculei nu depinde de numărul de dinți ai roții semifabricat ci numai de modul;*
- *productivitate și precizie superioare* ca urmare a continuității procesului de danturare (prin divizare continuă) și a lipsei unor mișcări auxiliare.

11.3.2.1. Prelucrarea roților dințate cu freze melc

Acest procedeu este utilizat pentru realizarea flancurilor dinților tuturor roților cilindrice (roată dințată, roți de lanț, arbori canelați etc.). De obicei, se realizează roți cu dantură exterioară. Totuși, acest procedeu este aplicat cu mici modificări constructive ale frezei melc și la prelucrarea roților cilindrice cu dantură interioară de dimensiuni mari.

Freza melc asigură prin construcție și cinematică obținerea unei cremalieră imaginare care trebuie să angreneze cu roata semifabricat (fig.11.10,b). Freza melc este un melc (șurub cu pas mare), căruia i s-au imprimat calități așchietoare prin practicarea unor canale longitudinale elicoidale, normale pe elicea melcului (înclinate față de axa melcului cu unghiul β). Intersecția dintre canalele elicoidale și elicea melcului determină muchia așchietoare a sculei, care este formată dintr-o succesiune de tăișuri ce alcătuiesc o cremalieră.

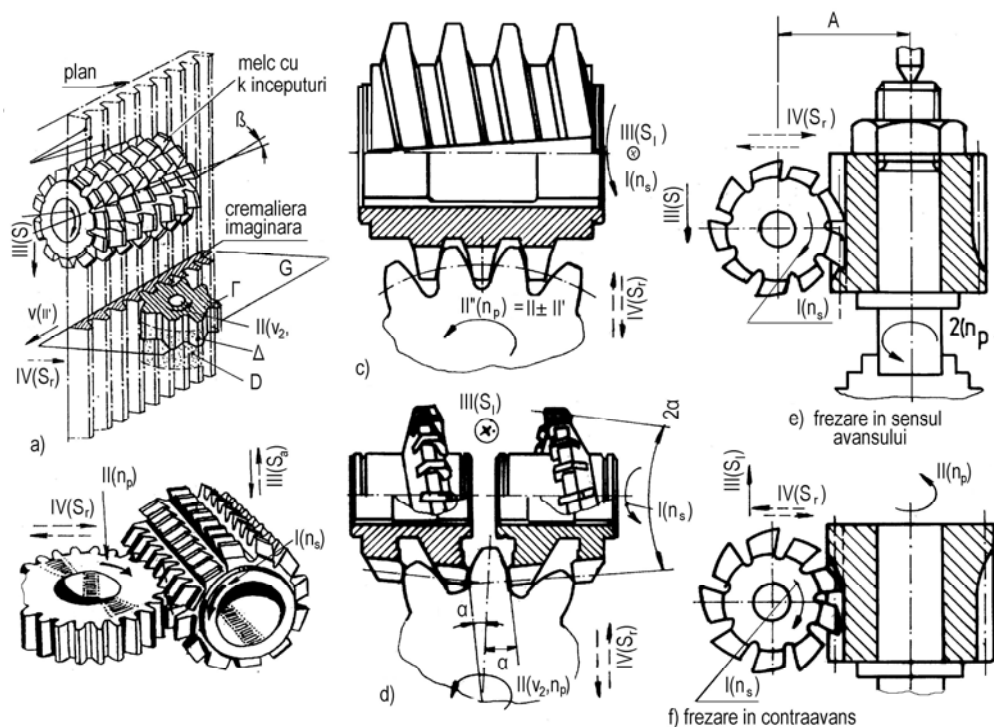


Fig.11.10 Prelucrarea roților dințate cu freza melc

Curba *directoare* Δ se obține în două moduri, după cum ea este rectilinie sau elicoidală. Astfel, pentru obținerea directoarelor Δ sub forma unei *drepte într-un plan* D' , tangent la cilindrul exterior al roții semifabricat, se găsesc niște directoare Δ' rectilinii și paralele cu ghidajele verticale ale mașinii de frezat. Directoarele Δ' se obțin prin înclinarea melcului cu unghiul β la prelucrarea roților cilindrice cu dinți drepți. Directoarele elicoidale se obțin prin înclinarea melcului cu unghiul β_0 la prelucrarea roților cu dinți înclinați. Cele n directoare Δ' se găsesc la distanța de un pas una de alta și sînt descrise de mișcarea *III*.

La prelucrarea roților cilindrice cu dinți drepți (sau a arborilor canelați) directoarea Δ se obține prin rularea cilindrului director pe planul D' în prezența mișcărilor *II* și *II'*, între care trebuie să existe obligatoriu relația de interdependență $v_{II} = v_{II'}$.

În schimb, *directoarea elicoidală* Δ de pe suprafața cilindrică D se obține cinematic prin combinarea mișcării *II''* de viteză $v_{II''}$ (care se sumează algebric cu viteza de rulare) cu mișcarea axială *III* (avans axial S_a). Între cele două viteze există relația (11.9), în care β_0 este unghiul de înclinare a directoarei elicoidale.

$$\frac{v_{II}''}{v_{III}} = \tan \beta_0 = \text{const.} \quad (11.9)$$

Pentru obținerea generatoarei Γ (forma flancului dintelui) este utilizată metoda generării prin rulare cu dreapta mobilă (fig.11.3 și 11.10,a). Conform acestei metode între roata semifabricat și cremaliera de referință trebuie să existe angrenare, adică $v_{II} = v_{II'}$. Altfel spus, viteza de rulare între roata semifabricat și planul D' este determinată de viteza de deplasare a dreptei N pe cercul de rulare (pe dreapta N sînt dispuse tășurile cremalierii la distanța de un pas), respectiv de viteza de generare a evolventei. Din punct de vedere tehnologic, această viteză devine o viteză de avans tangențial care determină avansul pe flancul dintelui.

Prin mișcarea de rotație I a frezei melc, datorită particularităților constructive ale melcului, se asigură deplasarea cremalierii pe direcția mișcării II' (rularea fără alunecare a cremalierii pe roata semifabricat). Între mișcarea II de avans circular S_c , de frecvență n_p a roții semifabricat, și mișcarea de rotație I , de frecvență n_s a sculei, trebuie să existe o legătură bine determinată.

În ipoteza că freza melc are la bază un șurub melc cu k începuturi, atunci pasul elicei cilindrice (p_e) a melcului trebuie să fie un multiplu al pasului roții semifabricat (p), adică, $p_e = k \cdot p = k \cdot \pi \cdot m_n$. Din condiția $v_{II} = v_{II'}$ rezultă condiția $p_e \cdot n_s = \pi \cdot D_p \cdot n_p$, din care se obține relația (11.10), care reprezintă relația de interdependență necesară generării cu freza melc a roților cilindrice cu dinți drepți.

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{k}{z_p} \quad (11.10)$$

În cazul prelucrării roților cilindrice cu dinți înclinați, viteza tangențială II'' pentru generarea elicei se însușește algebric cu viteza tangențială de rulare II , impusă de generarea evolventei. În acest mod, pentru dantura înclinată va rezulta o mișcare tangențială de rulare $II'' = II \pm II'$ la nivelul roții semifabricat, semnul fiind determinat de sensul elicelor melcului și roții semifabricat (minus cînd sînt de același sens). Ca urmare, în timp ce freza execută mișcările I și III roata semifabricat trebuie să execute o mișcare de rotație de frecvență n_p , alcătuită din două componente: una interdependentă cu mișcarea I de viteză v_I , iar cealaltă în interdependență cu mișcarea III de viteză v_{III} .

În concluzie, imprimarea prin rulare permite realizarea pe cale cinematică a unor traiectorii directe Δ ; spre deosebire de rularea în plan care permite obținerea curbelor generatoare Γ .

Din această cauză, rezultă două *observații* foarte importante:

– spre deosebire de cazul generării roților dințate cu dinți drepți, viteza de avans v_{II} influențează forma directoarei elicoidale;

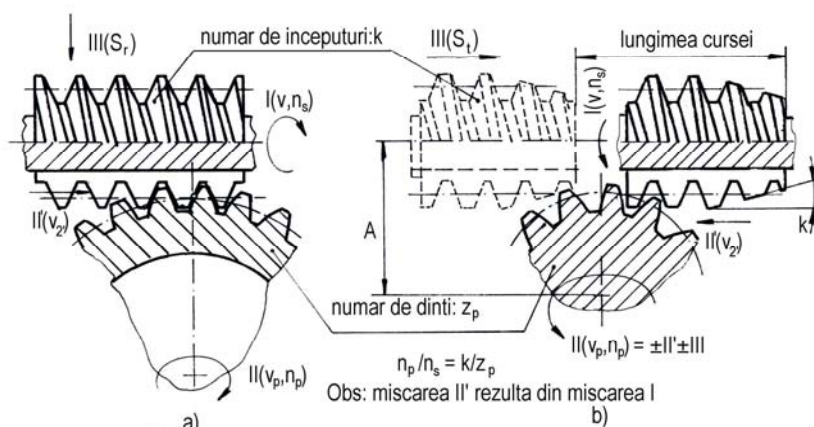
– din cauza dependenței directoarei de viteza v_{II} trebuie să existe o legătură cinematică rigidă între lanțul cinematic de avans și cel de rulare.

Datorită observațiilor precedente, pe mașinile de prelucrat roți dințate există un lanț cinematic numit de *filetare*, care dă unghiul de înclinare a directoarei elicoidale.

Caracteristica principală a procedurii de danturare cu freza melc este că divizarea este continuă (nu mai este necesar un mecanism de divizare), fiind asigurată de mișcarea de rulare ($v_{II} = v_{II'}$) și de construcția specifică a sculei (angrenarea dintre o cremalieră imaginară a cărei mărime poate fi oricât de mare și o roată dințată).

11.3.2.2. Prelucrarea roților melcate cu ajutorul frezelor melc

Roțile melcate se pot prelucra pe mașinile de frezat cu freze melc după două metode (fig.11.11): *cu avans radial* (fig.11.11,a) și *cu avans tangențial* (fig.11.11,b). Denumirea acestor metode este dată de direcțiile mișcării avansului de pătrundere a frezei melc în roata semifabricat pentru realizarea înălțimii golului dintre doi dinți. Aceste metode au apărut datorită particularităților suprafețelor dinților roții melcate: fundul canalelor și vârfului dinților sînt înscrise în suprafețe toroidale. Ca urmare, melcul sculă trebuie să corespundă dimensional cu melcul din angrenajul melcat, atît sub aspectul tipului melcului (arhimedic, evolventoidal sau convolut), cît și ca diametru și pas. De asemenea, numărul de începuturi ale sculei melc trebuie să coincidă cu numărul de începuturi ale melcului piesă.



11.11. Variante de prelucrare a roților melcate

La varianta de prelucrare cu avans tangențial (fig.11.11,b) freza melc este prevăzută cu un con de atac ($\kappa=11^\circ \div 13^\circ$) pe o lungime de $2,5 \div 3$ pași, pe parcursul căruia înălțimea dinților crește de la zero la valoarea nominală. În

acest mod se materializează pe sculă mărimea avansului pe dinte S_d (ca la tarod, filieră, pieptene etc).

La **prelucrarea cu avans radial** (fig.11.11,a), generarea flancurilor roții melcate se obține ca în cazul prelucrării cu freze melc a roților cilindrice cu dinți drepți. Generatoarea se obține prin angrenarea sculei cu roata piesă, semifabricat, iar directoarea este materializată prin construcția sculei.

În timpul prelucrării axa sculei se găsește în planul axial al roții semifabricat. După cuplarea mișcării de angrenare (rulare), realizată prin legătura cinematică rigidă între viteza de rotație II a piesei, de frecvență n_p , și viteza de rotație I a sculei, de frecvență n_s adică $n_p/n_s = k / z_p$, roata semifabricat se deplasează radial cu mișcarea III pînă cînd se realizează înălțimea dintelui $h = 2,25 m_n$ (distanța dintre axe A).

Prelucrarea cu avans tangențial (fig.11.11,b) necesită o mișcare axială III a frezei melc (avans tangențial S_t). Freza melc se află la distanța dintre axe.

Din punct de vedere cinematic, dacă freza melc nu se deplasează axial, mișcarea de rotație dintre aceasta și piesa semifabricat trebuie să fie o mișcare de rulare fără alunecare. Dar, freza melc la această variantă de prelucrare trebuie să se deplaseze cu viteza $v = \pm v_3$ (semnele fiind funcție de sensul elicei melcului) și ca urmare pentru menținerea rulării roata semifabricat trebuie să capete o mișcare suplimentară $\pm v_{II'}$. Ca urmare, la nivelul roții semifabricat se sumează algebric două mișcări: o mișcare II care compensează rotația melcului (deplasarea cremalierii la rotirea melcului) și mișcarea II' care trebuie să compenseze deplasarea suplimentară III pe direcție tangențială a cremalierii.

În cazul producției individuale, în locul frezelor melc pentru prelucrarea roților melcate se utilizează **cuțite rotative**, (fig.11.12), cu profilul identic cu al dintelui frezei melc. În acest caz se folosește metoda avansului tangențial. Datorită faptului că dintele este realizat sub forma unui cuțit demontabil, care poate fi ușor realizat tehnologic și cu cheltuieli minime, această sculă este destul de mult folosită, cu toate că nu realizează o productivitate ridicată.

Metoda de prelucrare cu avans radial este mai productivă decît metoda tangențială, însă ea nu asigură obținerea unui dinte corect (profil în evolventă) datorită particularităților acestei metode. În timpul generării profilului în evolventă are loc o variație a distanței dintre axele celor două elemente aflate în angrenare (se obține o evolventă deformată). Totuși se pot obține rezultate acceptabile, dacă numărul de dinți z_p ai roții melcate este mare și modulul mic. În acest caz înălțimea dintelui este mică și flancul este mai apropiat de flancul dintelui cremalierii imaginare.

La prelucrarea roților dințate cu scule de tipul frezei melc **regimul de așchiere** se stabilește după următoarea metodologie:

- alegerea numărului de treceri (adîncimea de frezare);
- alegerea avansului axial;

- determinarea vitezei de așchiere;
- determinarea puterii de așchiere.

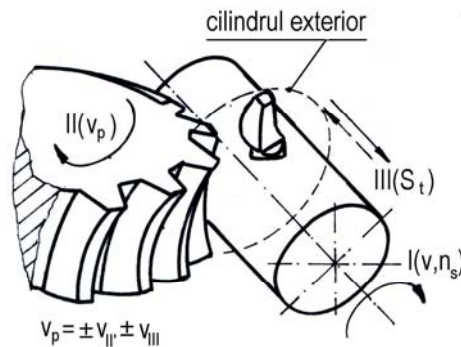


Fig.11.12 Așchiera cu un cuți roatitv

Prelucrarea se realizează din două treceri: o degroșare și o finisare. În ipoteza că puterea mașinii-unelte nu permite folosirea unei singure treceri de degroșare, se folosesc două treceri cu adâncimi diferite (prima trecere $t = 1,4 m_n$, iar a doua $t = 0,8 m_n$).

Avansul axial S_a , în mm /rot.piesă, este limitat la degroșare de rigiditatea sculei și rigiditatea sistemului tehnologic. Pentru frezele melc din oțel rapid avansul de așchiere se determină cu relația (11.11), unde z este numărul de dinți (canale) ai frezei, iar m_n este modulul normal în mm; de exemplu, la prelucrarea semifabricatelor din oțel carbon cu $R_m = 50 \div 70$ daN/mm², $C_s = 2,65$, la finisare $S_a = 0,3 \div 2$ mm/rot.piesă.

$$S_a = \frac{C_s \cdot z^{0,14}}{m_n^{0,25}} \cdot \cos \beta, [mm / rot.piesa] \quad (11.11)$$

Viteza de așchiere, v se determină cu relații similare celor utilizate la alte procedee de așchiere, ținându-se seama că rolul adâncimii de așchiere este preluat de modulul roții de prelucrat ($h = t = 2,25 \cdot m_n$). Viteza de așchiere se stabilește cu relația (11.12), în care k_v este un coeficient de corecție care ține seama de numărul de începuturi ale frezei melc, $k_v = 1$ pentru freze cu un început, $k_v = 0,65$ pentru freze cu trei începuturi. De exemplu, la degroșarea roților dințate cilindrice și a roților melcate cu $m_n = 1,5 \div 6$ mm confecționate din oțel cu $R_m \leq 75$ daN/mm² (de exemplu OLC 45) $C_v = 312$, $y_v = 0,5$, $x_v = 0$, $m_f = 0,33$.

Puterea de așchiere se determină cu relația (11.12).

$$N_a = C_N \cdot S_a^{y_N} \cdot m_n^{x_N} \cdot D_f^{p_N} \cdot z^{q_N} \cdot v^{r_N} \cdot 10^{-3}, [kW] \quad (11.12)$$

11.3.2.3. Prelucrarea roților dințate cilindrice prin mortezare și rabotare

Prelucrarea roților cilindrice cu dinți drepecți, înclinați sau în V se poate realiza cu un cuțit pieptene tip cremalieră așchietoare (fig.11.13).

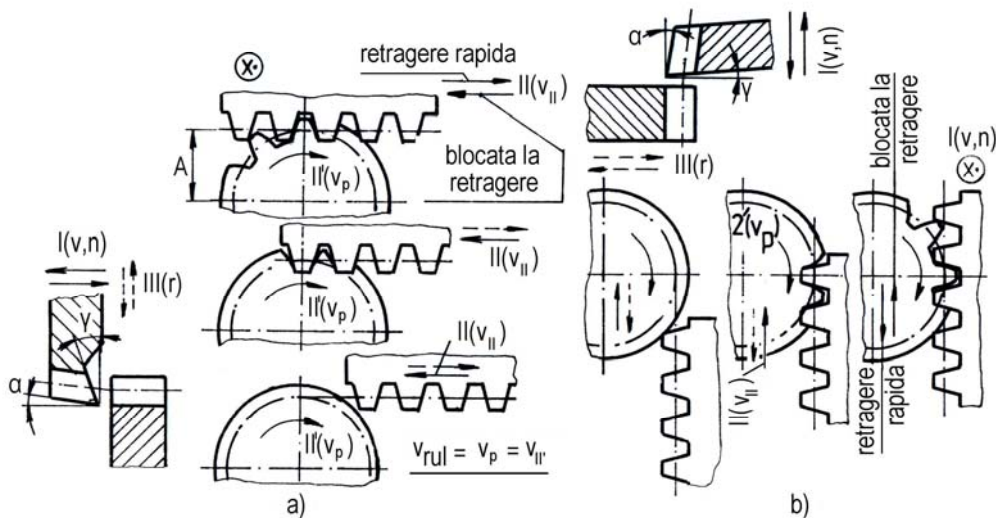


Fig.11.13 Prelucrarea roților dințate cilindrice prin mortezare și rabotare

Cuțitele pieptene sînt scule simple, ieftine și precise, în comparație cu frezele melc, în schimb mașinile-unelte sînt mai complicate datorită necesității unui lanț cinematic de divizare discontinuă.

Un cuțit pieptene este din punct de vedere geometric un segment de cremalieră cu $5 \div 24$ dinți, care are calități așchietoare obținute prin practicarea unor unghiuri de așezare și de degajare. Se deosebesc două variante constructive de **cuțite pieptene**: **tip I**, denumit și cuțit tip *Parkinson* (fig.11.13,a), la care unghiul de degajare, γ , se obține constructiv și **tip II**, denumit și **cuțit tip Maag** (fig.11.13,b), la care unghiul de degajare se obține prin poziționarea înclinată a sculei la un unghi de degajare, $\gamma > 0^\circ$, față de planul frontal al roții semifabricat.

Mașinile-unelte care lucrează după procedeul *Maag* sînt echipate cu un singur cuțit de morteză, în schimb mașinile *Sunderland* care lucrează după varianta *Parkinson* sînt echipate cu un cuțit sau două cuțite de raboteză pentru danturi în V .

Conform variantei de generare prezentată în fig.11.13, pentru realizarea formei flancurilor între roata semifabricat și scula așchietoare (cremaliera) trebuie să existe angrenare. Viteza de rulare rezultă din condiția cinematică $v_{II} = v_{II'}$.

Cele două procedee diferă prin modul în care se generează flancul dintelui. La procedeul *Maag* flancul dintelui se generează prin metoda rulării cu dreaptă fixă, la care piesa execută o mișcare de rotație II' și una de translație II . În schimb, la procedeul *Parkinson* forma flancului dintelui este obținută prin metoda rulării cu dreaptă mobilă, astfel că la roata semifabricat există numai mișcarea de rotație II' .

Pentru obținerea curbei directoare (forma flancului pe lățimea roții) se aplică două procedee, după cum directoarea este o dreaptă sau o elice.

Directoarea rectilinie se obține cinematic ca urmare a deplasării dinților cuțitului pieptene pe direcția mișcării I cu viteza v_1 a cărei traiectorie este paralelă cu ghidajele mașinii. Directoarea se transpune pe cilindrul roții semifabricat prin rulare (între roata semifabricat și cremaliera imaginară există angrenare). Mișcarea rectilinie-alternativă I poate fi o mișcare de mortezare (la procedeul *Maag*) sau de rabotare (la procedeul *Parkinson*).

Directoarea elicoidală se obține cinematic prin combinarea a două mișcări: una de rotație II' (avans circular S_c) și una de translație I , între care există relația cunoscută $v_{II'} / v = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{const}$. De remarcat că, în acest caz cuțitul pieptene trebuie să aibă dinți înclinați.

Procedeul *Maag* (fig.11.13,b). Ciclul de lucru constă din trei faze distincte. În prima fază are loc generarea prin rulare a unui dinte prin deplasarea și rotirea piesei pe distanța de un pas unghiular (la unele modele pe doi, trei și chiar mai mulți pași), cu viteza de avans v_{II} .

În faza a doua mișcarea I este blocată, scula se află la începutul cursei active, piesa se deplasează spre poziția inițială cu o viteză rapidă, pe o distanță mai mare decât la cursa activă a mișcării II , fără mișcarea de rotație II' , ceea ce echivalează cu divizarea deoarece piesa a rămas rotită cu unghiul $\theta = 360^\circ / z_p$, la prelucrarea unui dinte sau un multiplu de θ la prelucrarea mai multor dinți.

Faza a treia constă în deplasarea în sens invers a piesei semifabricat pentru lucru, tot fără rotire, în scopul eliminării jocurilor din lanțul cinematic, după care se cuplează mișcarea de rulare și mortezare.

Procedeul *Parkinson* (fig.11.13,a). Ciclul de lucru constă din cinci faze. În prima fază se generează un dinte prin deplasarea cuțitului de la stînga spre dreapta pe distanța unui pas (în unele cazuri pe doi, trei pași).

Faza a doua. În acest ciclu mișcările de rotație și translație se întrerup iar cuțitul pieptene se retrage rapid ieșind din piesă.

În continuare, în faza a treia are loc deplasarea cuțitului pieptene spre stînga pe distanță ceva mai mult de un pas.

În faza a patra cuțitul se deplasează spre dreapta cu viteză rapidă pentru eliminarea jocului din lanțul cinematic.

În faza a cincea scula se apropie rapid de piesă după care ciclul reîncepe.

În toate fazele, spre deosebire de varianta *Maag*, scula continuă mișcarea de rabotare.

În vederea evitării frecării inutile a fețelor de așezare în timpul cursei în gol, la capătul cursei active are loc o ușoară retragere radială în raport cu roata semifabricat, iar la capătul cursei în gol are loc o mișcare de apropiere, cu aproximativ 0,25 mm.

11.3.2.4. *Prelucrarea roților dințate cilindrice prin mortezare și rabotare cu cuțite roată*

Cuțitele roată de prelucrat roți dințate sînt scule așchietoare destinate prelucrării roților cu dinți drepți, elicoidali sau în V prezentînd un grad ridicat de universalitate ca urmare a accesului muchiei așchietoare în zone inaccesibile pentru sculele de tipul frezelor disc modul sau a frezelor melc modul. În acest sens, un domeniu tipic de utilizare a cuțielor roată îl reprezintă prelucrarea roților dințate cilindrice de modul mic din structura blocurilor de roți dințate (roți baladoare) sau prelucrarea danturilor interioare (cuplaje).

Cuțitul roată este, din punct de vedere geometric, o roată dințată pe care i s-au imprimat calități așchietoare prin practicarea unei suprafețe conice interioare pentru suprafața de degajare (care asigură obținerea unui unghi de degajare pozitiv) și printr-o formă evolventoidală-elicoidală a suprafeței de așezare.

Cuțitele roată folosite au dinți drepți pentru roțile cilindrice cu dinți drepți și dinți înclinați (o porțiune dintr-o elice) de același sens pentru roțile cu dinți înclinați.

Niște directoare rectilinii (fig.11.14), dintr-un plan tangent la roata semifabricat, se obțin cinematic ca traiectorii ale unor puncte de pe muchiile așchietoare care se deplasează cu mișcarea I , și care se transpun prin rulare pe suprafața exterioară a roții.

Directoarele elicoidale sînt materializate pe un șablon, de fapt o camă cilindrică, cu profil elicoidal, care asigură numai un anumit pas al elicei p_c , solidarizată (cama) pe ghidajele berbecului portsculă. Datorită acestei came, elicoidale berbecul portsculă se deplasează pe o traiectorie elicoidală.

Mișcarea principală I (fig.11.14), de viteză v și frecvență n în cd/min este rectilinie-alternativă, la danturarea roților cilindrice cu dinți drepți și elicoidală la prelucrarea roților cu dinți înclinați sau în V . Cuțitul roată execută o mișcare II de avans circular S_c intermitent, de frecvență n_s , iar roata semifabricat are o mișcare II' de avans circular S'_c , egală cu mărimea S_c în mm/cd .

Flancurile danturilor drepte ale roților cilindrice se obțin în urma angrenării dintre roata semifabricat și roata sculă ($v_{II} = v_{II'}$). Din condiția de

angrenare se obține relația de interdependență (11.14) dintre frecvențele mișcărilor II și II' , respectiv n_p și n_s .

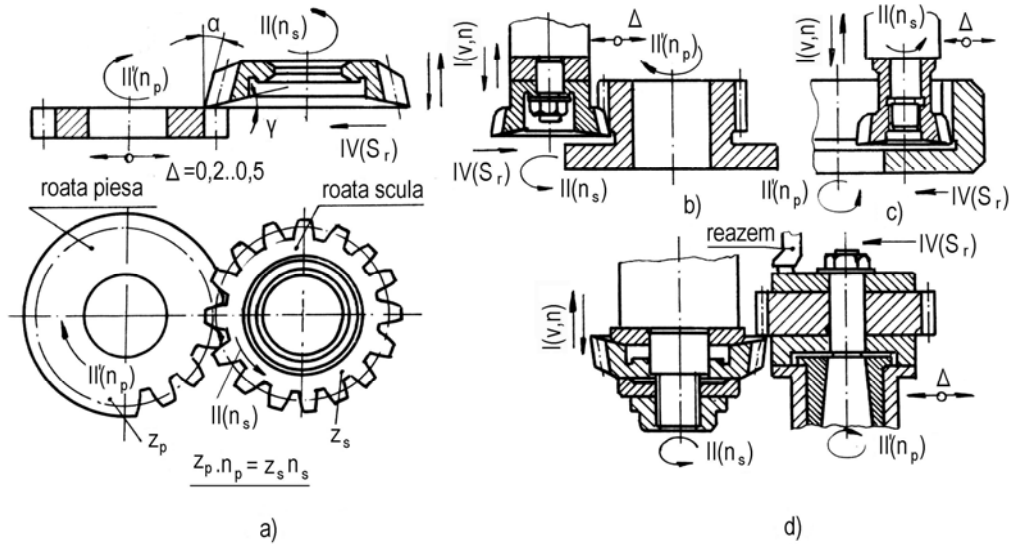


Fig.11.14. Prelucrarea roților dințate cilindrice prin mortezare și rabotare

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{z_s}{z_p} \tag{11.14}$$

Condiția este realizată prin reglarea corespunzătoare a unui lanț cinematic care leagă roata sculă și piesa semifabricat.

Pentru realizarea dinților pe întreaga lor înălțime este necesară o mișcare IV de avans radial de pătrundere (S_r), mișcare care încetează atunci când se realizează distanța dintre axele celor două roți aflate în angrenare.

Avansul radial este determinat de deplasarea radială dintre sculă și piesa semifabricat la fiecare curs dublă a sculei. Deplasarea radială totală pentru generarea dinților roții trebuie făcută pe înălțimea h a dintelui sau adâncimea de așchiere pentru o trecere, în timp ce roata semifabricat se rotește cu un unghi θ , după care se întrerupe avansul radial. În continuare roata semifabricat se rotește cu cel puțin $360^\circ + \theta$.

Pentru a se evita frecarea inutilă a suprafețelor de așezare în timpul cursei în gol, la sfârșitul cursei active scula se retrage radial cu aprox. 0,5 mm.

Regimul de așchiere la prelucrarea roților dințate cu cuțitul roată este funcție de proprietățile materialului așchiat, rugozitatea și precizia roții semifabricat, modulul și numărul de dinți etc.

Avansul circular S_c în mm/cd capătă valori funcție de modulul roții și tipul operației de prelucrare (tab.11.1).

Tabelul nr.11.1.

m_n	< 3	3,5÷4,5	5÷7
S_c	0,4÷0,45	0,35÷0,4	0,3÷0,35 degroșare
	0,2÷0,25	0,2÷0,25	0,15÷0,2 finisare

Avansul radial S_r se determină funcție de avansul circular care este cunoscut cu o relație de forma $S_r = (0,1 \div 0,2)S_c$

Viteza de așchiere optimă v , corespunzătoare operației de degroșare se stabilește cu relația (11.12) în care se înlocuiește avansul axial S_a cu avansul circular S_c . În rel.(11.12) coeficientul de corecție $k_v = k_1 \cdot k_2$, unde k_1 ține seama de tipul roții dințate, iar k_2 are în vedere caracteristicile materialului așchiat. De exemplu, pentru roți cu dinți drepiți $k_1 = 1$, iar pentru roți cu dinți înclinați la $\beta = 15^\circ$, $k_1 = 0,95$; coeficientul $k_2 = 1$ la prelucrarea oțelului carbon și $k_2 = 1,1$ la prelucrarea fontei. La prelucrarea oțelului carbon cu $R_m = 50 \div 70$ daN/mm², $C_v = 49$, $y_v = 0,5$, $x_v = 0,3$, $m_l = 0,2$, iar la pentru fontă cu duritatea $HB = 200$, $C_v = 54$, $y_v = 0,25$, $x_v = 0,15$, $m_l = 0,2$.

Pentru operațiile de finisare a roților cilindrice, confecționate din oțel carbon cu $R_m = 50 \div 70$ daN/mm², viteza de așchiere se stabilește cu relația (11.15), asemănătoare cu cele din bibliografie.

$$v = \frac{90 \cdot k_v}{T^{0,3} \cdot S_c^{0,5}} [m/min] \quad (11.15)$$

Datorită faptului că secțiunea așchii este variabilă se definește o secțiune maximă a așchii cu relația (11.16), căreia îi corespunde o forță de așchiere maximă calculată cu relația (11.16), unde f_0 este forța de așchiere specifică în N/mm². La prelucrarea oțelului carbon cu $R_m = 75$ daN/mm², $f_0 = 1700 \div 1800$ N/mm², iar la prelucrarea fontei cu duritatea $HB = 200$ forța specifică $f_0 = 1200 \div 1400$.

$$\sum A_{\max} = \frac{0,6 \cdot m_n^2 \cdot S_c}{z_p^{0,1}} [mm^2] \quad (11.16)$$

$$F_{\max} = \sum A_{\max} \cdot f_0 [N] \quad (11.17)$$

Puterea consumată în procesul de așchiere se determină cu relația (11.18), unde v_{med} este viteza medie a cuțitului roată de mortezat, calculată cu relația cunoscută de la rabotare și mortezare.

$$N = \frac{F_{\max} \cdot v_{med}}{60 \cdot 10^3} [kW] \quad (11.18)$$

După realizarea calculelor privitoare la parametrii regimului de așchiere și a puterii motorului lanțurilor cinematice de interdependență și de avans, se realizează alegerea convenabilă a mașinii-unelte.

11.3.3. Prelucrarea prin abrazare a roților dințate cilindrice

Forma discului abraziv (sculă taler sau melc), respectiv modul de obținere a curbei generatoare împarte metodele de rectificat roți dințate cilindrice în două grupe distincte. Astfel, metoda de generare cu dreaptă fixă apelează la o sculă abrazivă de forma unui taler (suprafața inițială este o suprafață plană), iar scula abrazivă de forma unui melc (suprafața inițială este elicoidală) lucrează după metoda de obținere a generatoarei cu dreaptă mobilă.

Directoarea Δ sub forma unei drepte sau a unei porțiuni dintr-o elice se obține prin metoda cinematică de transpunere prin rulare de pe un plan, a unei directoare Δ' pe un cilindru D care corespunde cilindrului de rulare a roții semifabricat (planul conține ghidajele mașinii-unelte pe care se deplasează sania portsculă).

După poziția în spațiu a axei piesei se deosebesc mai multe variante de mașini-unelte, anume: mașinile *Niles*, la care axa piesei este verticală și mașinile *Maag* și *Kolb* cu axa orizontală. La prelucrarea roților dințate de dimensiuni mari, totdeauna axa piesei este verticală (mașinile *Maag*), iar în cazul prelucrării cu un melc abraziv mașina are axa piesei verticală.

11.3.3.1. Prelucrarea roților dințate cilindrice cu un disc abraziv

Varianta Niles (11.15,a). Pentru realizarea flancului dintelui este necesar ca între roata semifabricat și cremaliera de referință să aibă loc o mișcare de angrenare. De aceea, la nivelul roții semifabricat există o mișcare de rulare obținută prin compunerea mișcării de rotație II (avans circular S_c) de viteza v_{II} cu o mișcare de translație II' de viteză $v_{II'}$. Pentru realizarea angrenării este necesar ca $v_{II} = v_{II'}$. Generatoarea se obține cinematic prin metoda rulării cu dreaptă mobilă.

La varianta *Niles* discul abraziv are formă biconică cu grosimea mai mică decât grosimea dintelui cremalierii pe dreapta de divizare ($s_g = \pi \cdot m_n / 2$), iar la varianta *Pratt* grosimea discului este egală cu grosimea dintelui cremalierii de referință.

Avînd în vedere că un dinte sau un flanc al cremalierii imaginare este materializat pe suprafața inițială a sculei, rezultă că în momentul angrenării dintelui roții semifabricat cu dintele/ flancul activ al cremalierii are loc abrazarea flancului/ flancurilor golului dintre doi dinți. Scula abrazivă execută două mișcări: o mișcare de așchiere I de viteză v și o mișcare de avans longitudinal III (rectilinie alternativă) de viteză v_{III} .

La varianta *Niles*, din motive tehnologice, dintele cremalierii materializat de scula abrazivă este mai subțire decât dintele teoretic pentru a evita așchiera complexă pe ambele flancuri (uzură exagerată a sculei abrazive). Pentru realizarea grosimii dintelui cremalierii este necesară o mișcare de translație IV , executată de sculă la capătul de cursă.

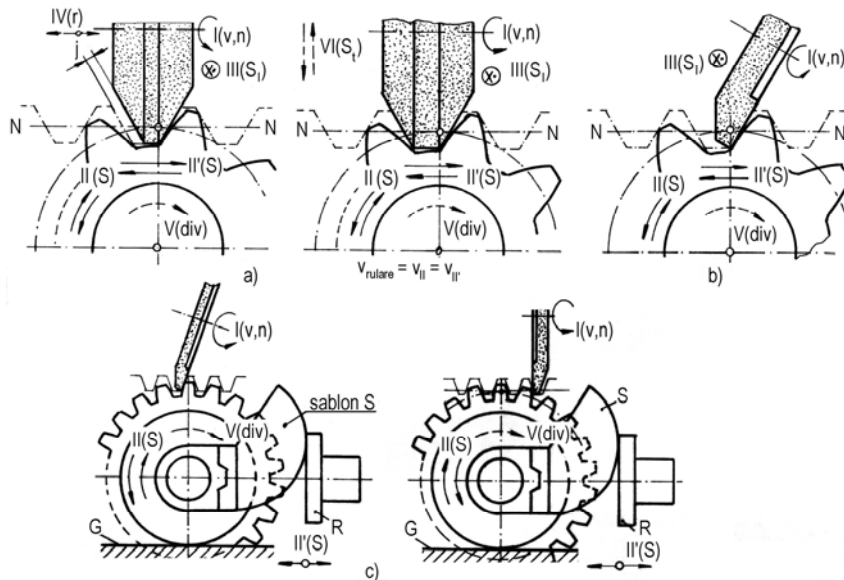


Fig.11.15 Variante de abrazare a roților dințate

Directoarea este obținută cinematic, imprimată prin rulare, în cazul roților dințate cilindrice cu dinți drepecți și prin combinarea a două mișcări, de rotație $\pm II''$ (care se sumează algebric cu II) cu mișcarea III de avans longitudinal (între cele două mișcări există relația cunoscută $v_{II'} / v_{III} = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{const.}$). Axa sculei se înclină cu unghiul β la prelucrarea roților cu dinți înclinați.

Ciclul de lucru pentru abrazarea a două flancuri constă din următoarele faze:

În *prima fază* are loc generarea prin rulare a unui dinte, prin deplasarea și rotirea piesei pe o distanță de aproximativ un pas (din punctul 1 pînă în punctul 2). În această fază roata semifabricat se deplasează din partea stîngă spre partea dreaptă.

În *faza a doua* se inversează mișcarea de rulare din partea dreaptă spre stînga, timp în care are loc compensarea grosimii discului abraziv printr-o deplasare rapidă a piesei cu mișcarea IV . În momentul în care roata piesă intră în angrenare cu dintele activ al cremalierii, deplasarea rapidă IV se întrerupe.

Faza a treia poate fi executată în două moduri, anume:

– *blocarea mișcării de rulare*, retragerea radială rapidă a sculei abrazive pe o distanță mai mare decît adîncimea golului dintre doi dinți, după care are loc divizarea cu un dinte, revenirea discului în poziția radială, deplasarea piesei semifabricat pe direcția IV și apoi cuplarea mișcării de rulare;

– pentru *divizare*, piesa semifabricat rulează afară din angrenare cu dintele activ al cremalierii, se realizează divizarea, are loc deplasarea rapidă pe direcția mișcării *IV*, se cuplează mișcarea de angrenare și se abrazează un nou dinte / flanc.

Varianta Reinecker (fig.11.15,*b*). Se folosește o sculă abrazivă cu suprafață inițială plană care materializează un flanc al dintelui cremalierii imaginare. După această variantă de generare abrazarea roții semifabricat are loc în mai multe faze.

În *prima fază* are loc angrenarea dintre roata semifabricat și dintele (flancul activ) cremalierii datorită mișcării de rotație *II* și mișcării de translație *II'* (ambele mișcări sînt executate de piesă). Scula execută mișcarea principală de rotație *I* de viteză *v*.

În *faza a doua*, după abrazarea unui flanc și rotirea roții semifabricat cu aproape un pas unghiular, are loc blocarea mișcării de rulare, blocarea sculei la capătul mișcării *III* sau retragerea rapidă a sculei pe direcție radială (varianta *Hurt*) și revenirea rapidă a piesei semifabricat în poziție inițială.

Faza a treia constă în divizarea cu un dinte, după care se reia ciclul de lucru.

După abrazarea tuturor flancurilor omoloage (flancurile de pe aceeași parte) are loc întoarcerea roții semifabricat cu 180° pentru prelucrarea flancurilor opuse.

Varianta de prelucrare se realizează cu / fără mișcarea *III* de avans longitudinal. În absența mișcării *III* discul abraziv are diametrul foarte mare.

Abrazarea după șablon (fig.11.15,*c*). Pentru micșorarea numărului de mișcări executate de piesa semifabricat, mișcarea de interdependență ($v_{II} = v_{II'}$) este asigurată prin intermediul unui șablon. Roata piesă este solidarizată de un șablon *S* (ambele elemente se găsesc pe un ghidaj *G*). Roata piesă este obligată să se deplaseze cu mișcarea de rotație *II*, iar mișcarea *II'* rezultă automat din condiția ca șablonul să fie în contact cu rola *R*.

Fazele de lucru la această variantă sînt identice cu cele ale cazului precedent. Mașinile care lucrează după această metodă se folosesc cu precădere la abrazarea/rectificarea cuțitelor roată.

Variantele de prelucrare din fig.11.15,*b,c* se folosesc numai la abrazarea roților cilindrice cu dinți drepți și lățime mică (lipsește total mișcarea *III*), astfel că distanța dintre fundul rectiliniu al golului și urma circulară lăsată de scula abrazivă să nu depășească jocul la fund, $c = 0,25 m_n$, standardizat.

11.3.3.2. **Prelucrarea roților dințate cilindrice cu două discuri abrazive**

Cremaliera de referință poate fi materializată prin două discuri taler a căror suprafață inițială materializează un dinte al cremalierii sau două flancuri opuse a doi dinți vecini sau aflați la o anumită distanță (fig.11.16).

După variantele de prelucrare prezentate în fig.11.16 pot fi abrazate roți cu dinți drepti sau înclinați. Cele două discuri pot ocupa diverse poziții, anume: *înclinate la $15^\circ/20^\circ$* (fig.11.16, a,b) sau *paralele* (fig.11.16,c) pentru *module mari* (fig.11.16,a,c) și *module mici* (fig.11.16,b).

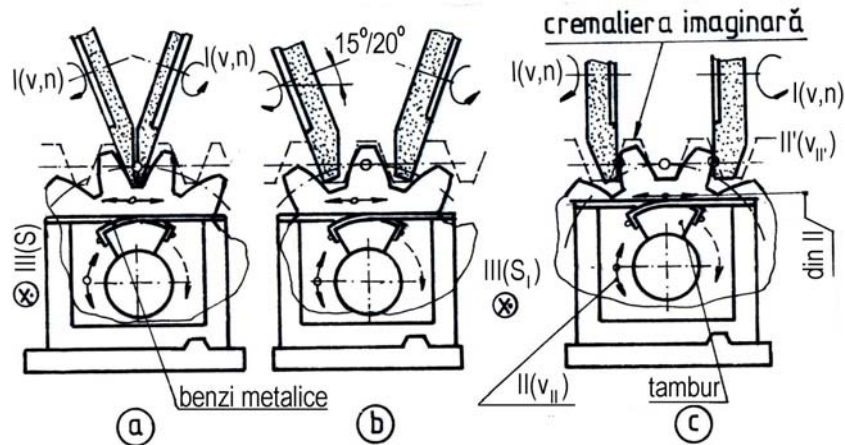


Fig.11.16 Abrazarea cu două scule plane

În cazul sculelor abrazive care au *suprafețele inițiale paralele*, rularea se execută pe cercul de bază pe care se măsoară cota peste dinți. Este folosită metoda de generare cu dreaptă fixă.

La sculele abrazive cu suprafața activă dispusă sub un anumit unghi rularea drepte se realizează ca la celelalte procedee.

Rularea pe cercul de bază prezintă avantajul unei curse mai scurte pentru așchierea unui gol (productivitatea este mai mare decât în cazul folosirii sculelor cu suprafață activă înclinată).

Curba directoare elicoidală se obține prin rulare. În acest scop sania portsculă se înclină cu unghiul β .

Ciclul de lucru. Angrenarea roții semifabricat începe din partea stîngă în prezența mișcărilor II și II' între vitezele cărora trebuie să existe relația $v_{II} = v_{II'}$. După așchierea celor două flancuri roata semifabricat iese din angrenare cu dintele-sculei în partea dreapta. În această poziție se blochează mișcarea de rulare, are loc divizarea rapidă cu un dinte și se cuplează mișcarea de lucru în sens invers. În timpul divizării roata semifabricat se găsește la capătul de cursă a mișcării III .

La toate variantele, mișcările de lucru sînt următoarele: mișcarea de rotație I de viteză v și frecvență n , executată de cele două scule abrazive, mișcarea de rulare a piesei (o mișcare de rotație II cu rol de avans circular și o mișcare rectilinie II' cu rol de avans tangențial), mișcarea III de avans longitudinal S_I pentru obținerea directoarei rectilinii la roțile dințate cu dinți

drepti. Directoarea elicoidală se obține cinematic prin combinarea unei mișcări de rotație II'' de viteză $v_{II''}$ (cu semn minus sau plus) și a unei mișcări de translație III de viteză v_{III} , relația (11.9).

11.3.3.3. *Abrazarea roților dințate cilindrice prin rulare continuă (procedul Reishauer)*

Productivitatea și precizia prelucrării sînt limitate datorită divizării discontinue la abrazarea pe mașinile care lucrează cu scule abrazive tip disc biconic și taler. Acest dezavantaj este eliminat prin folosirea unei cremaliere imaginare cu lungime infinit, la care nu mai este necesară divizarea. În acest mod a apărut metoda de lucru cu melc abraziv, la care cremaliera imaginară se obține într-un plan normal pe elice.

Această variantă de prelucrare (fig.11.17) are la bază metoda de obținere a generatoarei cu dreapta mobilă prezentată la prelucrarea cu freza melc.

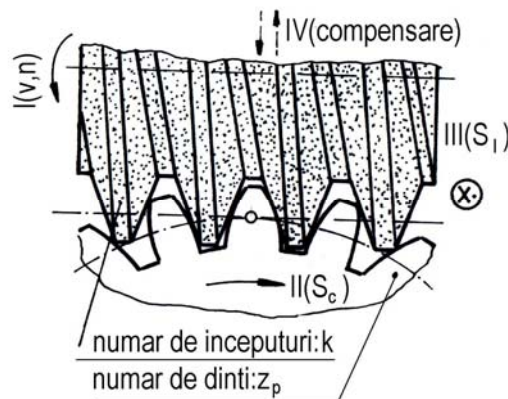


Fig. 11.17. Prelucrarea cu un melc abraziv

Mișcarea principală de rotație I de viteză v este realizată de melcul (scula) abraziv și este în interdependență cu mișcarea II de avans circular a piesei (S_c), conform relației (11.10). Pentru realizarea directoarei dintelui este necesară mișcarea de avans longitudinal III . În scopul compensării uzurii melcului abraziv, acesta se deplasează cu un avans intermitent IV .

Directoarele elicoidale se obțin cinematic prin combinarea a două mișcări: o mișcare suplimentară de rotație a piesei cu viteza $\pm v_{II'}$ și o mișcare rectilinie de viteză v_{III} , executată de sculă între care există relația de interdependență (11.9). Mișcarea suplimentară II' este preluată din lanțul cinematic de avans III și se sumează algebric cu mișcarea II .

Pentru ca profilul melcului să aibă o abatere minimă (abaterea unghiului de înclinare β) se impune ca ω să fie mic. Această cerință este realizată prin mărirea diametrului sculei.

11.3.4. Șeveruirea prin rulare a roților dințate cilindrice

Șeveruirea roților dințate este un proces de așchiere la care dimensiunile așchii sînt foarte mici (microașchiere). Procesul de răzuire (*shaving* = *răzuire*) este posibil dacă scula așchietoare are unghi de degajare pozitiv.

Prin șeveruire se realizează finisarea roților dințate cilindrice, după abrazare sau frezare, cu ajutorul unor scule numite șevere, confecționate din oțel rapid. Așchiera are loc în urma procesului de alunecare relativă a dinților sculei și piesei, care sînt obligate să angreneze într-o poziție particulară a celor două axe. Șeveruirea se aplică roților dințate la care nu s-a realizat tratamentul termic sau în urma tratamentului termic de îmbunătățire.

Scula așchietoare (șeverul) este realizată dintr-o roată dințată, o cremalieră sau un șurub melc. Pentru realizarea calităților așchietoare pe flancurile dinților se practică niște canale transversale (fig.11.18).

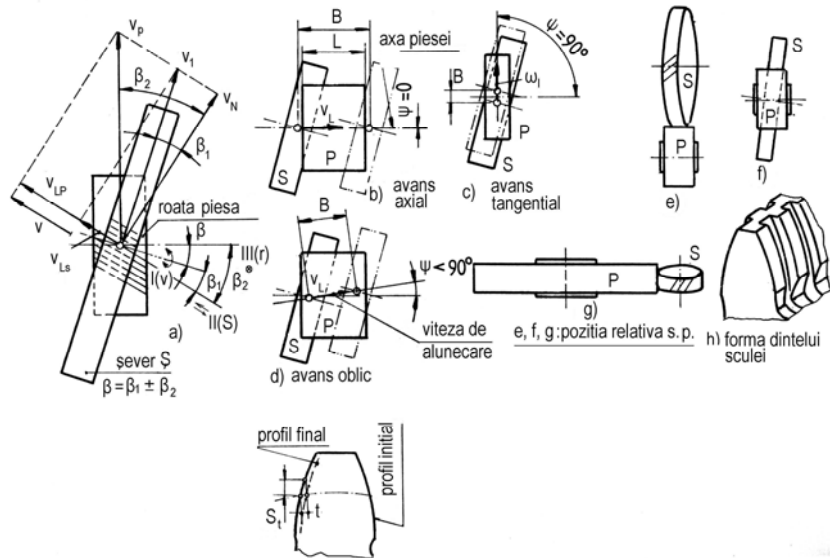


Fig.11.18 Modul de lucru al șeverului

Toate șeverile lucrează după metoda prin rulare. Pentru ca șeverul să realizeze așchiera (de pe flancul dintelui se ridică un adaos de $0,05 \div 0,08$ mm), în timpul angrenării sale cu roata dințată, trebuie realizată o mișcare principală *II* de viteză v în lungul generatoarei roții semifabricat. Mișcarea relativă dintre dinții șeverului și roții semifabricat se realizează numai în cazul în care cele două elemente formează un angrenaj încrucișat (elicoidal). Dacă în cazul șeverului melc această mișcare există, la celelalte șevere, disc și

cremalieră mișcarea de viteză v obligatoriu trebuie să se realizeze încrucișarea axelor cu un unghi de $5^\circ \div 15^\circ$.

La o angrenare obișnuită între două roți dințate nu există diferențe între vitezele din punctul de contact al celor două flancuri. Pentru a se realiza o viteză de alunecare între cele două flancuri trebuie ca angrenarea să aibă loc între două elemente care au axele înclinate ($\beta \approx 15^\circ$). Astfel sînt posibile situațiile: roată cilindrică cu dinți drepți și șever cu dinți înclinați; roată cilindrică cu dinți înclinați și șever cu dinți drepți sau înclinați (se impune ca unghiul dinților șeverului β_1 să fie diferit de unghiul β_2 astfel încît $\beta_2 - \beta_1 \approx 15^\circ$); roată cu dinți înclinați și șever cremalieră cu dinți drepți etc.

În fig.11.18 vectorul viteză v de la nivelul șeverului roată, care este înclinat în raport cu tangenta la suprafața cilindrică a piesei cu unghiul β_2 , se descompune în două componente: v_p și v_l .

Viteza de alunecare între cele două flancuri devine viteză de așchiere $v = v_{LP} \pm v_{LS}$, iar viteza longitudinală a piesei (v_{LP}) și a șeverului (v_{LS}) rezultă din descompunerea vitezelor tangențiale v_p și v_l . Aceste două viteze rezultă din descompunerea vitezei v_N și se calculează cu relațiile (11.19).

$$v_p = \frac{v_N}{\cos \beta_2} [m/min] \quad (11.19)$$

$$v_l = \frac{v_N}{\cos \beta_1} [m/min]$$

Viteza de așchiere se stabilește cu relația (11.20).

$$v = v_p \cdot \sin \beta_2 \pm v_l \cdot \sin \beta_1 [m/min] \quad (11.20)$$

Avînd în vedere relațiile (11.19 și 11.20) se determină relațiile (11.21) care dau viteza piesei v_p , viteza de așchiere și viteza șeverului v_l .

$$v_p = v_l \cdot \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2}$$

$$v = v_l \cdot (\cos \beta_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_2 - \sin \beta_1) \quad (11.21)$$

$$v_l = \frac{v}{(\cos \beta_1 \cdot \tan \beta_2 - \sin \beta_1)}$$

Numărul de rotații la șever se determină cu relația (11.22).

$$n_s = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_s \cdot (\cos \beta_1 \cdot \tan \beta_2 - \sin \beta_1)} [rot/min] \quad (11.22)$$

Unghiul de încrucișare β a proiecțiilor celor două axe poate avea valori între 5° și 45° , dar se recomandă ca unghiul $\beta = 15^\circ$.

Funcție de mărimile și de sensurile unghiurilor β_2 și β_1 , unghiul $\beta = \beta_2 \pm \beta_1$. Ca urmare, numitorul expresiei care determină turația șeverului trebuie să conțină totdeauna semnul \pm .

Viteza de așchiere v are valori cuprinse între $20 \div 35$ m/min la prelucrarea oțelului și $15 \div 25$ m/min la prelucrarea fontei.

Pentru realizarea procesului de așchiere sînt necesare două mișcări de avans: mișcarea II care realizează avansul longitudinal (S) și o mișcare III pentru obținerea avansului radial (S_r). Mișcarea II se realizează prin deplasarea șeverului.

Viteza de avans longitudinal II este funcție de avansul longitudinal și turația roții semifabricat ($v_{II} = S \cdot n_p$ în mm/min).

Frecvența n_p se determină cu relația (11.23), iar viteza de avans longitudinal v_{II} se stabilește cu relația (11.24).

$$n_p = \frac{n_s \cdot z_s}{z_p} [\text{rot} / \text{min}] \quad (11.23)$$

$$v_2 = \frac{S \cdot z_s \cdot n_s}{z_p} [\text{mm} / \text{min}] \quad (11.24)$$

Avansul longitudinal al șeverului la o rotație a piesei este funcție de rugozitatea suprafeței flancului și de numărul de dinți ai roții semifabricat. În practică, avansul longitudinal capătă valori între $0,15$ și $0,6$ mm/rot.piesă.

Avansul radial la șeveruire S_p reprezintă deplasarea roții semifabricat (mesei mașinii-unelte) în direcție radială după fiecare deplasare a mesei (fig.11.18) sau, la alte modele de mașini de șeveruit, deplasarea radială a șeverului în direcție radială după fiecare cursă pe direcția mișcării II . Avansul radial este funcție de rugozitatea suprafeței prelucrate și capătă valorile $0,02 \div 0,4$ mm/cd.

Adîncimea de așchiere t (fig.11.18) la șeveruire reprezintă grosimea stratului de material ridicat la o cursă a șeverului în lungul axei roții. Mărimea adîncimii de așchiere se calculează cu $t = S_r \cdot \text{tg } \alpha$, unde α este unghiul de angrenare. Din relație rezultă că adîncimea de așchiere este foarte mică și din acest motiv la șeveruire ca și la abrazare este convenabil să se lucreze cu avans radial S_r .

11.3. Generarea danturilor roților dințate conice

Dificultățile de realizare a angrenajelor conice, al căror profil de dinte este o *evolventă sferică* (curbă spațială), au condus la înlocuirea acestui profil care are punct de inflexiune cu un altul rectiliniu. Curba care descrie flancul dintelui (utilizată în practică) este obținută prin angrenarea roții semifabricat cu o roată plană imaginară (roată generatoare) la care flancul dintelui este o suprafață riglată, descrisă cinematic, de cele mai multe ori, de o generatoare Γ_0 , obținută ca înfășurătoare a unor curbe materializate pe muchia așchietoare a sculei. Aceasta din urmă se alege din considerente de simplificare a tehnologiei de execuție și control. Dantura obținută diferă puțin de dantura teoretică a roților conice. Roata dințată conică tehnologică poartă denumirea de roată cu

dinți în *octoidă*, după forma liniei de angrenare, care este o *lemniscată sferică* denumită și *octoidă*.

Elementul de referință al angrenajelor conice este roata plană imaginară, după cum la angrenajele cilindrice există cremaliera de referință. Roata plană poate angrena numai cu roțile unui angrenaj conic dat, spre deosebire de cremaliera de referință care poate angrena cu oricare roată dințată avind același modul.

Pe roata plană imaginară apare și forma dintelui (directoarea) care este imprimată prin rulare pe roata semifabricat. Forma dintelui pe roata plană poate fi o dreaptă sau o curbă (fig.11.8). Ca urmare, angrenajele conice se împart în două mari grupe: angrenaje conice cu dinți drepecți și angrenaje conice cu dinți curbi.

Generarea flancului dintelui. Flancul dintelui (curba generatoare) se poate realiza în două moduri: prin materializare pe muchia așchietoare a sculei și cinematic (rulare spațială). Flancul dintelui (generatoarea Γ cinematică) roților conice se obține prin rulare spațială (fig.11.5) între cercurile B și R . Dacă cercul R ar avea raza infinită rulara celor două elemente ar fi plană.

Curba generatoare cinematică se realizează în două moduri:

– *rotirea simultană a două suprafețe de rază B și R cu menținerea pe loc a axei cercului B , variantă numită rulare cu roată plană mobilă;*

– *suprafața de rază B se rotește în jurul axei sale și se deplasează pe suprafața de rază R , variantă numită rulare cu roată plană fixă.*

Sculele folosite pentru realizarea roților dințate conice nu diferă mult de sculele clasice utilizate la prelucrarea unor suprafețe. Sînt utilizate următoarele variante de scule așchietoare (fig.11.19):

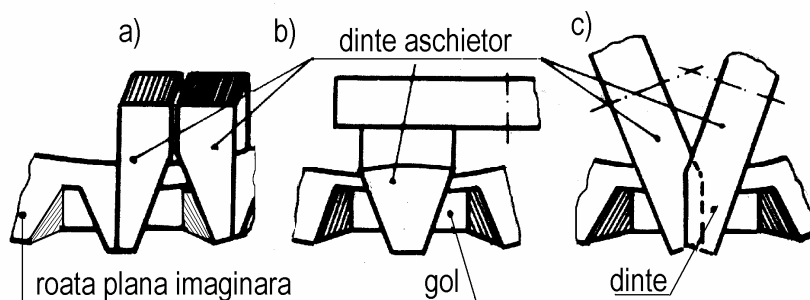


Fig.11.19 Variante pentru prelucrarea roților dințate conice

– *cușite* (unul sau două) utilizate la mașinile de rabotat roți conice cu dinți drepecți și înclinați;

– *capete de frezat* cu un număr mai mare sau mai mic de cuțite (12÷24), dispuse axial pe un cerc sau pe o spirală, utilizate la prelucrarea roților cu dinți curbi;

– *o pereche de freze disc cu axele înclinate*. Dinții unei freze pătrund în spațiile dintre dinții celeilalte freze. Aceste freze se utilizează pentru prelucrarea unor roți conice cu dinți drepți;

– *freză melc conică* utilizată la prelucrarea roților cu dinți în arc de evolventă.

Roțile conice cu dinți drepți și cele cu dinți în arc de cerc pot fi abrazate; scula abrazivă fiind în primul caz un disc conic și un disc oală pentru dantura în arc de cerc.

Generarea formei dintelui pe lățimea roții conice. Forma dintelui pe lățimea roții conice (*directoarea Δ*) se obține cinematic prin transpunere prin rulare a unei curbe plane de pe roata plană imaginară. Acest mod de obținere a curbei directoare este dictat de faptul că directoarea este de cele mai multe ori o curbă spațială. Generarea cinematică a curbei plane precum și forma acesteia sînt specifice fiecărei variante de angrenaj. Din această cauză modul de obținere a curbei Δ va fi descrisă la procedeele respective.

11.4.1. **Prelucrarea cu generatoare materializată (scule profilate)**

Cu toate că generarea prin angrenare trebuie preferată la prelucrarea roților conice, sînt și situații cînd roțile conice cu dinți drepți sau curbi sînt prelucrate prin frezare sau broșare de profilare sau varianta dinte cu dinte.

Roțile frezate sau broșate prin copiere nu pot fi fabricate cu precizia roților obținute prin pro-cedeul de generare cinematică și de aceea nu sînt indicate să fie utilizate la turații mari sau acolo unde viteza unghiulară trebuie transmisă cu mare precizie. Ele sînt folosite ca roți de înlocuire în unele domenii sau în scopuri experimentale. Totuși, la degroșarea roților dințate conice de modul mare este convenabil să se aplice aceste procedee.

Pentru obținerea unei roți dințate precise este necesar ca finisarea să se realizeze prin procedeele specifice angrenării.

Prelucrarea roților dințate *cu generatoare materializată* constă din copierea pe roata semifabricat a profilului sculei (*freză disc modul, freză deget modul, broșe circulare și freze melc*) sau *copierea unei curbe (evolventa) de pe un șablon*. În aceste cazuri generatoarea este materializată pe muchia așchietoare a sculei sau pe un șablon (realizat la scară), iar directoarea Δ se obține pe cale cinematică prin mișcările așchierii.

Frezarea cu freza disc modul (fig.11.20,a). La utilizarea acestor freze trebuie avut în vedere că golul îngust de la capătul cu diametru mic al roții semifabricat impune folosirea unei freze mai subțiri decît cea normală, cu toate că forma dintelui este caracterizată de același modul și număr de dinți ca la capătul aflat la diametrul mare. Pentru realizarea golului dintre dinți se

Prelucrarea roților dințate

folosesc cel puțin două freze disc modul diferite (diametrul de divizare este funcție de numărul de dinți și modul). Freza cu modul mare prelucrează golul dintre dinți în porțiunea diametrului maxim al roții, în timp ce freza cu modul mic prelucrează golul îngust, urmînd ca materialul rămas între cele două flancuri să fie îndepărtat cu freza cu modul mai mic sau o a treia freză cu modul mediu.

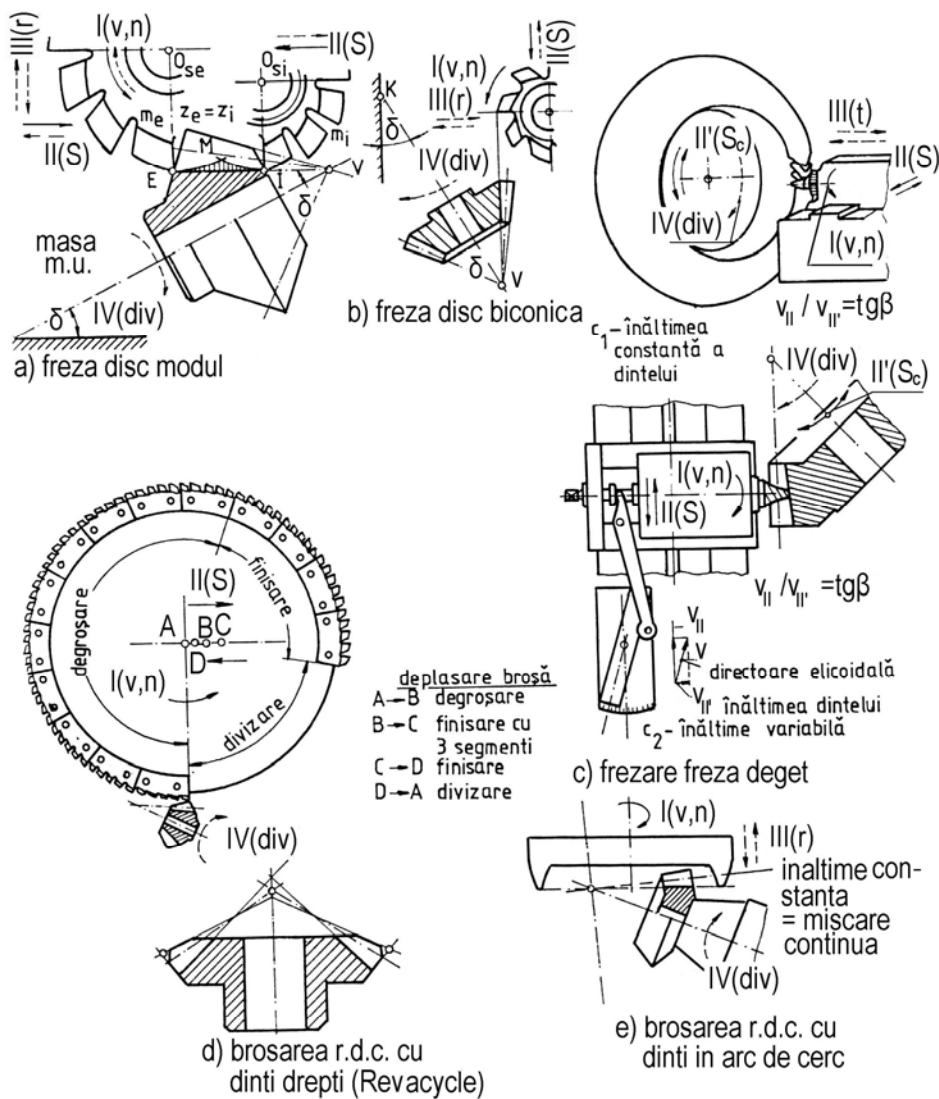


Fig.11.20 Prelucrarea roților dințate conice

Pentru aşchiere sînt necesare următoarele mișcări: mișcarea de rotație I a frezei de viteză v , mișcarea de avans longitudinal II în mm/min, mișcarea de reglare III a poziției sculei în raport cu piesa pentru îndepărtarea adaosului de prelucrare din una sau mai multe treceri, mișcarea de divizare IV după prelucrarea unui gol.

Frezarea cu freze disc biconice (fig.11.20,b). La degroșarea roților dințate conice cu modul mare se folosesc frezele disc biconice care au profilul triunghiular sau trapezoidal, corespunzător dimensiunilor minime ale golului dintre doi dinți.

Mișcărilor de lucru sînt identice cu cele de la procedeul anterior.

Prelucrarea cu freza deget modul (fig.11.20,c) este folosită la danturarea roților conice cu dinți drepți, înclinați sau în V , cu înălțimea dintelui constantă sau variabilă. La prelucrarea roților cu dinți înclinați este necesară o mișcare elicoidală între sculă și piesa semifabricat. Această mișcare se realizează prin combinarea unei mișcări de translație II a piesei și o mișcare de rotație II' a piesei semifabricat (relația 11.9). Mișcarea suplimentară de rotație III' este preluată din lanțul cinematic al mișcării de avans longitudinal II .

Obținerea roților cu dinți în V presupune schimbarea sensului de rotație a piesei semifabricat.

Broșarea (fig.11.20,d), după numită comercial procedeul *Revacicle*, este folosită la prelucrarea în serie mare a roților dințate conice (prelucrarea roților de diametru mare în industria de automobile și tractoare). Scula folosită este o broșă circulară care are pe periferie un număr mare de dinți (50 dinți) dispuși supraînălțat, cu rol bine determinat (dinți de degroșare și dinți de finisare în număr de $18 \div 20$). Între primul și ultimul dinte al broșei există un spațiu liber de 44° în care are loc divizarea. Broșa lucrează după varianta progresivă (numai ultimii dinți au profilul golului, realizînd finisarea și calibrarea). Roțile conice prelucrate prin acest procedeu nu pot angrena decît cu roți prelucrate tot pe asemenea mașini cu broșe construite special pentru roțile respective.

Prelucrarea unui dinte se efectuează integral la o rotație a broșei circulare, timp în care are loc divizarea, astfel că un gol este prelucrat în $2 \div 6$ secunde.

Ciclul de lucru. În afara mișcării principale de rotație de viteză v , broșa circulară efectuează o mișcare de translație din A în B , cu viteza mică, pe durata degroșării, din B în C cu viteză mare pe primele 3 grupe de dinți de finisare, apoi în sens invers din C în D , cu viteză mare pe ultimii dinți de finisare, iar din D în A are loc divizarea.

Seria mișcărilor de translație se execută în timpul unei rotații a sculei, piesa semifabricat avînd o poziție fixă. În acest mod poate fi evitată aşchiera golului mai puțin lat spre interior de către dinții sculei care realizează golul mai lat spre exteriorul roții dințate.

Broșarea roților conice cu dinți în arc de cerc (fig.11.20,e) se realizează cu o broșă circulară care are dinți profilați, dispuși pe suprafața frontală după un arc de cerc mai mic de 360° .

După așchiera completă a unui gol dintre doi dinți se realizează divizarea în spațiul pe care nu sînt dinți așchietori. Așchiera se efectuează numai cu avans pe direcția adaosului de prelucrare maxim. Adaosul de prelucrare poate fi îndepărtat în două moduri: prin dispunerea supraînălțată a dinților cu mărimea avansului pe dinte S_d și prin mișcarea de apropiere a broșei de axa roții semifabricat caz în care dinții sculei au aceeași înălțime.

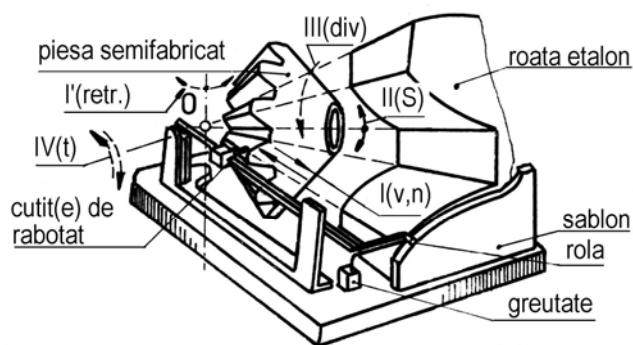


Fig.11.21 Prelucrarea roților dințate conice prin copiere

Prelucrarea roților conice prin copiere după șablon (fig.11.21) se bazează pe faptul că profilul dintelui (generatoarea) este proporțional cu lungimea generatoarei conului primitiv și că șablonul de copiat poate fi construit oricît de mare. Copierea are loc la scară mai mică, direct proporțională cu distanța sculei față de vârful roții semifabricat. Metoda se aplică la prelucrarea roților dințate conice unicate care au modul mare. S-au realizat mașini care lucrează după metoda copierii după șablon cu unul sau două cuțite. Pentru prelucrarea unui flanc sînt necesare următoarele mișcări de lucru: mișcarea principală *I* a cuțitului de rabotat, mișcarea de avans *II* a piesei (mișcare de copiere), mișcarea de divizare *III* după prelucrarea unui flanc/dinte, o mișcare de retragere *I'* a cuțitelor, cu $0,5\text{ mm}$, în timpul cursei de înapoiere.

Prelucrarea cu freze melc cu o spiră (fig.11.22), sau varianta *Mikron* (fluture) se utilizează la prelucrarea de degroșare a roților conice cu dinți drepți și înclinați cu profil precis care nu sînt supuse la eforturi mari. Profilul fiecărui dinte al frezei este identic cu profilul golului dintre doi dinți ai roții semifabricat.

Pentru realizarea roții dințate sînt necesare următoarele mișcări: mișcarea principală *I* de rotație a frezei, mișcarea de avans *II* în lungul dintelui roții semifabricat în interdependență cu mișcarea *I* astfel încît la o rotație a sculei să se realizeze doi dinți. Ca urmare, la această metodă divizarea este continuă.

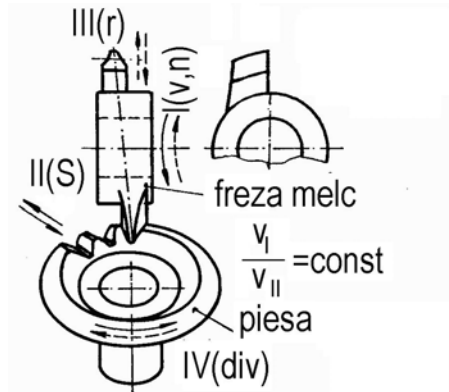


Fig.11.22 Prelucrarea cu freze melc cu o spirală

11.4.2. Prelucrarea cu generatoare cinematică a roților dințate conice

Generarea cinematică a flancului dintelui roții semifabricat se bazează pe aceleași principii cinematice ale generării dintelui roții dințate cilindrice cu deosebirea că în loc de cremaliera generatoare apare roata plană imaginată.

Principalele variante de realizare a roților dințate conice sînt următoarele:

- rabotarea roților conice cu dinți drepecți și înclinați;
- frezarea roților conice cu dinți curbi utilizînd freze frontale și freze melc conice;
- frezarea roților conice cu dinți drepecți utilizînd două freze disc.

11.4.2.1. Prelucrarea prin rabotare și frezare a roților conice cu dinți drepecți și înclinați

Prelucrarea roților conice cu dinți drepecți și înclinați se realizează prin rabotare cu un cuțit (procedeul Bilgram), rabotare cu două cuțite (procedeul Gleason) și frezare cu două freze disc.

Obținerea curbei generatoare și directoare (fig.11.23). Forma dintelui pe roata plană (directoarea) este o dreaptă radială pentru roțile cu dinți drepecți și o dreaptă tangentă la un cerc de rază r pentru roata cu dinți înclinați. La roțile cu dinți înclinați unghiul de înclinare β_m este determinat de raza SP și de tangenta TP la cercul de rază r . În cazul $\beta_m = 0^\circ$ se obțin roți cu dinți drepecți.

Pentru obținerea directoarei Δ este necesar ca între vitezele roții semifabricat și ale roții plane imaginare să existe relația (11.25). Directoarea Δ' se obține pe roata plană ca traiectorie a unui punct de pe muchia așchietoare a sculei ce se deplasează cu viteza v .

$$v_{II} = v'_{II} = \text{const.} \quad (11.24)$$

Rabotarea cu un cuțit sau procedeul Bilgram (fig.11.24). Dintele roții plane imaginare este materializat de un cuțit de rabotat cu profil prismatic care execută mișcarea de rabotare *I*. Caracteristic pentru toate procedeele de prelucrare este faptul că suportul sculei este dispus pe un platou rotativ care materializează roata plană imaginară. Pentru obținerea flancului dintelui este necesară o angrenare între roata semifabricat și roata plană imaginară astfel încât să fie îndeplinită relația (11.25).

Rabotarea cu două cuțite sau procedeul Gleason (fig.11.25). Cuțitele materializează golul dintre doi dinți ai roții plane imaginare, iar pe roata semifabricat se prelucreză simultan flancurile opuse ale unui dinte.

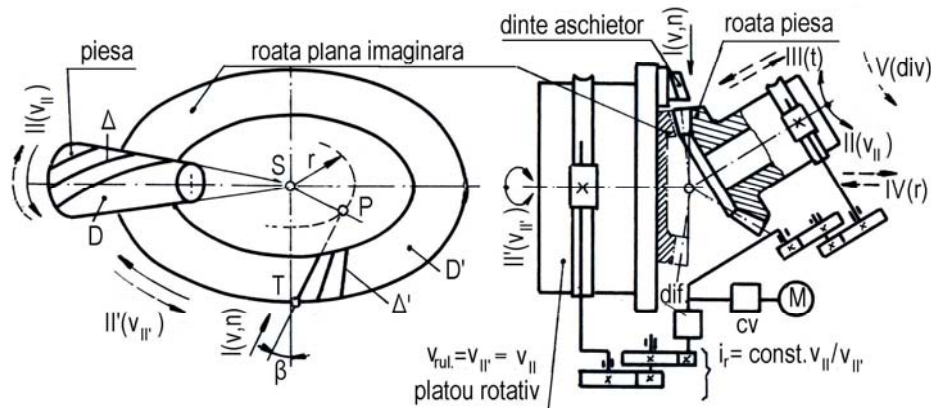


Fig.11.23 Obținerea curbelor generatoare și directoare

Cuțitele de rabotat se deplasează cu mișcarea *I* de viteză *v* pentru realizarea curbei directoare Δ' pe roata plană. Mișcarea de rulare este asigurată de mișcărilor *II* și *II'*, între vitezele cărora există relația (11.25).

Prelucrarea cu două freze disc (fig.11.26). Sînt utilizate două freze disc cu suprafața inițială de formă plană.

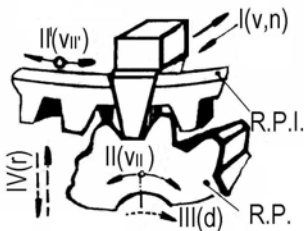


Fig.11.24. Procedeul Bilgram

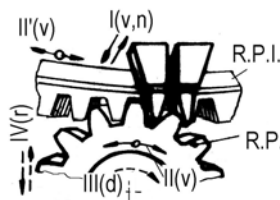


Fig.11.25. Procedeul Gleason

Axa celor două freze este înclinată cu unghiul β , de înclinare a flancului roții plane. Caracteristic pentru acest procedeu este faptul că

lipsește mișcarea de avans în lungul dintelui (pentru obținerea curbei directoare). Această mișcare este înlocuită de utilizarea unor freze cu diametru foarte mare. Fundul dintelui rezultă concav.

Procedeul poartă denumiri specifice (comerciale), anume: **Coniflex**, **Konvoid**, **Spheroid** etc.

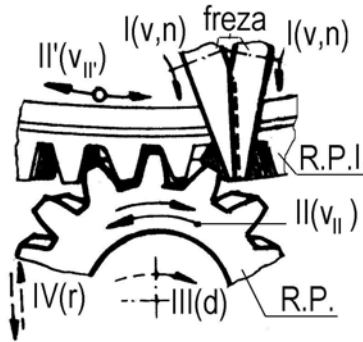


Fig.11.26 Prelucrarea cu două freze disc biconice

Curba generatoare se realizează prin angrenarea roții semifabricat cu roată plană fixă în cazul mașinilor *Klingelnberg* și cu roată plană mobilă la celelalte mașini-unelte.

Ciclul de lucru pentru obținerea unui dinte (divizarea este discontinuă) poate fi realizat în mai multe variante funcție de modulul (diametrul) roții semifabricat.

Ciclul normal de lucru pentru toate cele trei procedee constă din următoarele faze:

- prelucrarea de *degroșare prin rulare* a unui dinte într-un sens. Între cele două viteze există relația (11.24) pentru obținerea vitezei de rulare v_{rul} ;
- *finisarea prin rulare* a aceluiași dinte la angrenarea celor două roți în sens invers;
- *angrenarea în continuare pentru ieșirea sculei* (sculelor) din angrenare cu roata semifabricat;
- *divizare prin rotirea roții semifabricat* cu mișcarea intermitentă *III* (în acest timp mișcarea de rulare este întreruptă);
- *inversarea sensului mișcării* de angrenare și reînceperea unui nou ciclu de lucru.

La unele variante de prelucrare a roților dințate conice se realizează un dinte la fiecare schimbare de sens a mișcării de rulare (angrenare). Fiecare ciclu de lucru se repetă automat pînă la prelucrarea integrală a tuturor dinților de pe roata semifabricat.

Regimul de așchiere. La prelucrarea roților dințate conice la care se aplică procedeele anterioare este necesar să se stabilească următoarele mărimi:

viteza de așchiere, v , viteza de rulare, v_{rul} (are rol de viteză de avans) și adâncimea de așchiere, $t=(2,25m_n)/S_0$

Viteza de așchiere v este dată de mișcarea rectilinie alternativă I la prelucrarea prin rabotare, sau de mișcarea de rotație I la prelucrarea prin frezare. Viteza de așchiere este funcție de materialul așchiat, materialul așchietor (de obicei sculele sînt confecționate din oțel rapid), condițiile de așchiere și caracteristicile mașinii-unelte. Viteza de așchiere este mai mică decît la procedeele clasice de prelucrare prin așchiere ($v = 5 \div 40$ m/min).

Numărul de curse duble se stabilește cu relația (11.26), în care l este lungimea cursei saniei portsculă, $l = l_p + y$ [mm], unde l_p reprezintă lungimea dintelui măsurată pe conul de divizare, iar y reprezintă spațiul necesar ieșirii/intrării sculei.

$$n_{c.d} = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot l} [c.d./min] \quad (11.26)$$

Numărul de rotații n se determină cu relația (11.26), în care D este diametrul frezei în mm.

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} [rot/min] \quad (11.27)$$

Viteza de rulare v_{rul} (viteză de avans) rezultă din combinarea mișcărilor de rotație II și de translație II' și este impusă de cinematica mașinii de danturat. La rabotarea roților dințate conice viteza de rulare se stabilește cu relația (11.28), în care δ este semiunghiul conului primitiv al roții semifabricat, S_r este avansul de rulare în mm/c.d, care se stabilește în funcție de numărul de dinți și modulul roții semifabricat, condițiile de lucru, caracteristicile sistemului tehnologic etc. Pentru cele mai multe mașini de danturat, $S_r = 0,1 \div 0,9$ mm/c.d.

$$v_{rul} = S_r \cdot n_{c.d} \cdot \sin \delta, [m/min] \quad (11.28)$$

Frecvența de rotație a roții plane n_{tr} se determină din rel. (11.25) sau cu rel. (11.29).

$$n_{t.r.} = \frac{S_r \cdot n_{c.d} \cdot \sin \delta}{\pi \cdot m_n \cdot z_p} [rot/min] \quad (11.29)$$

Frecvența n_{tr} reprezintă de fapt turația tamburului mașinii care materializează roata plană imaginară.

Pe de altă parte din relația (11.25) se obțin relațiile (11.30), în care $z_{r.p}$ reprezintă nu-mărul de dinți ai roții plane ales de utilizator sau dat în cartea tehnică a mașinii de danturat.

$$n_p = \frac{n_{t.r.} \cdot z_{r.p.}}{z_p} [rot/min] \quad (11.30)$$

În practică pentru stabilirea frecvenței de rotație a piesei este folosită relația (11.31), în care C reprezintă numărul de pași necesar rulării roții plane cu roata semifabricat. **Numărul de pași C** este caracteristic mașinii-unelte,

angrenajului din care face parte roata semifabricat, procedului de prelucrare. Acest număr este dat în cartea tehnică a mașinii-unelte. *Timpul de rulare* t_{rul} în min. se stabilește din cartea mașinii în funcție de tipul lanțului cinematic de interdependență și viteza de rulare.

$$n_p = \frac{C}{t_{rul}} [\text{rot} / \text{min}] \quad (11.31)$$

Adaosul de prelucrare poate fi îndepărtat din una sau mai multe treceri, funcție de precizia roții semifabricat și de rigiditatea sistemului tehnologic *MUSDP*.

11.4.2.2. Prelucrarea roților dințate conice cu dinți în arc de cerc

Angrenajele conice cu dinți în arc de cerc se caracterizează prin faptul că directoarea de pe roata plană este un arc de cerc cu raza r_s (fig.11.27). Poziția centrului C al cercului în raport cu centrul S al roții plane este determinată de mărimea unghiului β_m din punctul P (aflat la mijlocul lățimii dintelui roții plane) pe care-l face tangenta PT la cerc și raza SP a roții plane.

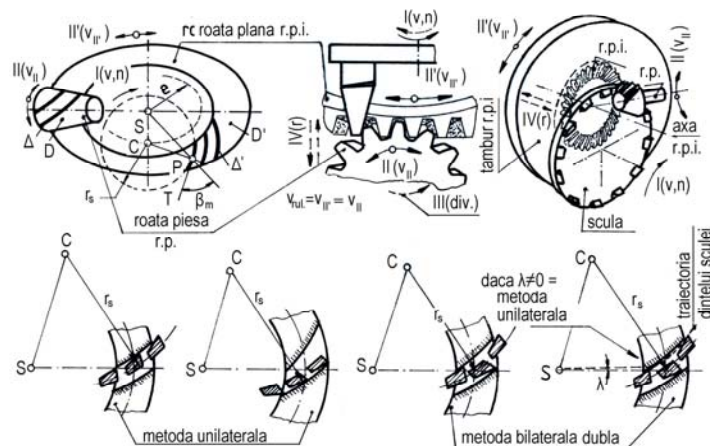


Fig.11.27 Prelucrarea roților dințate conice cu dinți în arc de cerc

Funcție de mărimea unghiului β_m roțile dințate capătă diferite denumiri comerciale (de exemplu pentru roțile cu $\beta_m = 0^\circ$, dantura se numește zerl).

Curba directoare Δ' în arc de cerc se obține cinematic ca traiectorie a unui punct de pe muchia așchietoare a sculei care execută o mișcare de rotație I . Scula așchietoare este o freză frontală cu z dinți care au profil rectiliniu și

materializează totdeauna un dinte al roții plane imaginare. Curba directoare spațială Δ se obține cinematic prin rularea roții semifabricat pe roata plană imaginată prezentată de (relația 11.24).

Cele două flancuri ale dintelui roții plane imaginare se pot defini în mai multe feluri. Din acest motiv, roțile fabricate pe baza unui procedeu nu pot angrena cu roțile prelucrate pe baza altui procedeu, nici chiar atunci când parametrii definatorii de bază ai roții sînt identici.

Fără a intra în amănunte, prelucrarea roților conice cu dinți în arc de cerc poate fi executată prin procedeele: *uniplanc-uniplanc* (metoda unilaterală); *biflanc-biflanc* (metoda bilaterală dublă); *sculă unică* (metoda Unitool).

La angrenaje conice prelucrate prin procedeul bilateral dublu (fig.11.27,b), dintele roții plane este obținut prin forma profilului și modul de dispunere a dinților frezei pe suprafața plană a unui cilindru (o freză frontală cu z dinți cu muchii așchietoare formate din două sau trei tășuri rectilinii).

În cazul frezării prin rostogolire, aplicată la frezarea pinioanelor dintr-o singură trecere, prelucrarea unui gol între doi dinți are loc prin rostogolire fără avans de pătrundere.

Fazele de lucru sînt următoarele:

– *înaintarea piesei* pînă intră în contact cu roata plană care execută mișcarea *IV*. Mișcarea *IV* este mișcarea auxiliară pentru apropiere și retragere pe înălțimea dintelui;

– *rularea piesei pe roata plană* cu viteza v_{rul} (relația 11.24);

– *intrarea în angrenare a piesei semifabricat cu dintele activ al roții plane imaginare* (dintele/dinții frezei frontale);

– *retragerea piesei* prin mișcarea *IV*;

– *inversarea sensului de rulare* la prelucrarea unui gol;

– *blocarea mișcării de rulare și rotirea piesei cu mișcarea III* pentru realizarea divizării cu un dinte sau mai mulți.

Reluarea procesului de așchiere se face după ce roata semifabricat a parcurs un unghi de rotație corespunzător unui arc de cerc realizat la divizare (pasul unghiular este funcție de numărul prim dintre numărul de dinți ai roții piesă și roții plane).

Dintele, în acest caz, spre deosebire de *procedeul Formate* se realizează ca înfășurătoare a curbei muchiei așchietoare, datorită rulării roții de prelucrat și roții plane imaginare.

11.4.2.3. **Prelucrarea roților conice cu dinți în arc de epicloidă alungită (dantura spiroidă)**

Forma dintelui (directoarea) pe roata plană este o epicloidă alungită, iar pe roata piesă se obține o cicloidă conică cu denumire comercială de spiroidă (variante Mammano).

În cazul roților conice cu dantură spiroidă, cercul de rostogolire r_r (fig.11.28) este foarte mic în raport cu cercul de bază de rază r_b și ca urmare

Bazele generării suprafețelor

epicicloida care se generează are forma apropiată de un arc de cerc. Pentru prelucrarea unui gol pe roata semifabricat participă toți dinții unei freze frontale dispuși pe o spirală arhimedică (fig.11.28).

Dantura spiroidă are înălțime constantă și se obține cu o freză frontală cu diametrul de 120, 180 sau 260 mm și dinți reglabili dispuși pe o spirală arhimedică (pasul spiralei este egal cu pasul danturii roții plane).

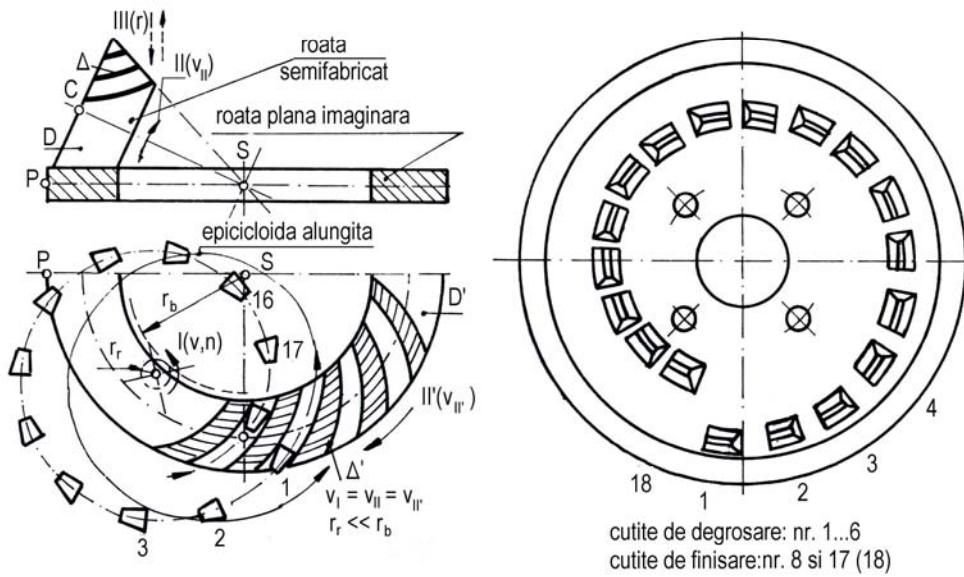


Fig. 11.28 Generarea dinților în arc de epicicloidă și modul de dispunere a dinților pe freza frontală

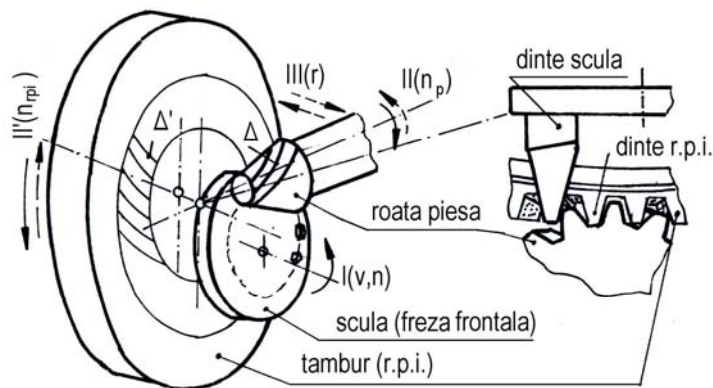


Fig.11.29 *Procedeul de prelucrare a roților dințate conice cu dinți în arc de epicicloidă alungită*

Freza frontală cu un început execută mișcarea principală I de viteză v , care este inter dependentă cu mișcarea II' de avans circular a roții plane, $v = v_{II'}$ (rel.11.25 și fig.11.29).

Freza frontală are 18, 21 sau 24 de dinți cu profil trapezoidal. Dinții de degroșare au profilul diferit de cel al dintelui roții plane și numai ultimii dinți au grosimea dintelui roții plane. După finisarea golului de către cuțitul 18 (la scula cu 18 dinți) începe așchiera următorului gol cu dintele 1. Dinții au destinații diferite: degroșarea golului, finisarea și calibrarea golului. Fiecare dinte al frezei frontale se reglează în sens radial (pentru obținerea unui anumit diametru al curbei cicloidale), prin cale sau pene conice, iar în sens vertical prin cale semicirculare.

Profilul dintelui este rectiliniu. Dinții de degroșare sînt reglați la înălțimi diferite în scopul ca fiecare să îndepărteze aproximativ aceeași grosime de așchie.

11.4.2.4. *Prelucrarea roților conice cu dinți în arc de epicicloidă (dantura eloidă)*

Traectoria directoare la *dantura eloidă* (denumire comercială a procedurii *Fiat*) este o epi- sau *hipocicloidă alungită* (fig.11.30), generată cinematic de punctul M care este solidar legat de o rulantă de rază r_r , înșă exterior acesteia, care rulează pe cercul de bază cu raza r_b . Realizarea unor astfel de danturi se face pe mașinile firmei *Oerlikon (Elveția)*, denumite mașini *Spiromatic*.

Deosebirea între dantura spiroidală și eloidă constă în faptul că raportul r_r/r_b este mult mai mic la dantura spiroidală și că scula folosită la prelucrarea roților cu dantură spiroidală are o singură grupă de dinți (18 sau 24) care participă la prelucrarea unui gol.

Dantura eloidă se realizează cu o *sculă similară frezei frontale* de la procedeul anterior, numai că dinții sînt grupați cîte doi sau trei și sînt dispuși pe spirale arhimedice diferite, decalate între ele cu pasul danturii. În timpul așchierii are loc rotirea piesei semifabricat și a sculei ai cărei dinți (grupe de dinți) materializează flancurile active ale dinților roții plane imaginare.

Pentru realizarea directoarei cinematice sub forma unei curbe plane (*curba de pe roata plană este o epicicloidă*), un cerc concentric cu axa sculei cu raza r_r , care execută mișcarea principală de rotație I cu viteza v_I , rulează pe un cerc de bază de rază r_b a roții plane cu mișcarea II'' de viteză $v_{II''}$. Între cele două mișcări trebuie să existe relația de angrenare $v_I = v_{II''}$. Pentru realizarea generatoarei este necesar ca între roata semifabricat și roata plană să existe și

relația (11.25). La rularea roții semifabricat pe roata plană (relația 11.25) are loc imprimarea directoarei plane pe suprafața conică D . În această situație

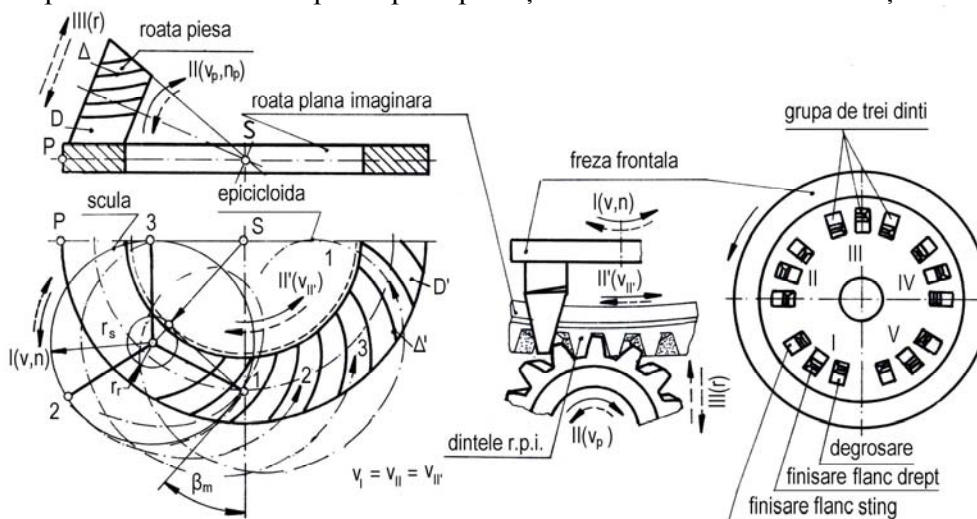


Fig.11.30 Principiul de lucru al danturii eloide

există o legătură cinematică rigidă între cele trei mișcări care elimină faza necesară divizării prin întreruperea așchierii. Ca urmare, la acest procedeu se realizează o divizare continuă.

11.4.2.5. Generarea danturilor ciclopaloidale

Roata plană (fig.11.31,a) are ca directoare două epicicloide alungite, realizate de două cercuri cu raze diferite (pentru cele două flancuri ale dintelui roții), descrise cinematic de un punct P de pe muchia așchietoare. Pentru flancul convex, P este solidar cu cercul C_1 care rulează pe cercul de bază cu raza ρ_1 , iar pentru flancul concav P este solidar cu cercul de bază C_2 cu raza ρ_2 . Distanța dintre centrele cercurilor C_1 și C_2 constituie excentricitatea e cu mărime neglijabilă.

Dantura ciclopaloidală are la bază același principiu ca și dantura eloidă de la procedeu spiromatic. Dinții curbi sînt în acest caz epicicloide alungite, generate de două freze frontale dispuse în același plan și decalate cu excentricitatea e (fig.11.31,b), iar la procedeu spiromatic golul dintre dinții roții semifabricat este generat de o freză frontală ai cărei dinți sînt dispuși pe niște *arce de spirală Arhimede*. Freza frontală I cu dinții I generează cinematic curba directoare pentru flancul concav iar freza frontală II cu dinții 2 generează directoarea flancului convex al dintelui roții plane. Întrucît frezele frontale au cercuri de bază și de rulare diferite, flancul exterior se realizează cu o curbură mai mare decît flancul interior. Se obține un dinte bombat pe lungime.

Freza frontală (fig.11.31,c) are două începuturi. Un grup de dinți este format din câte un dinte care așchiază pe interior și altul pe exterior, dispuși succesiv, care trec printr-un gol dintre dinții roții semifabricat. Grupul de dinți poate fi suplimentat cu un dinte median care realizează degroșarea golului. Un singur grup de dinți se utilizează numai în cazul în care numărul de dinți ai roții semifabricat este par.

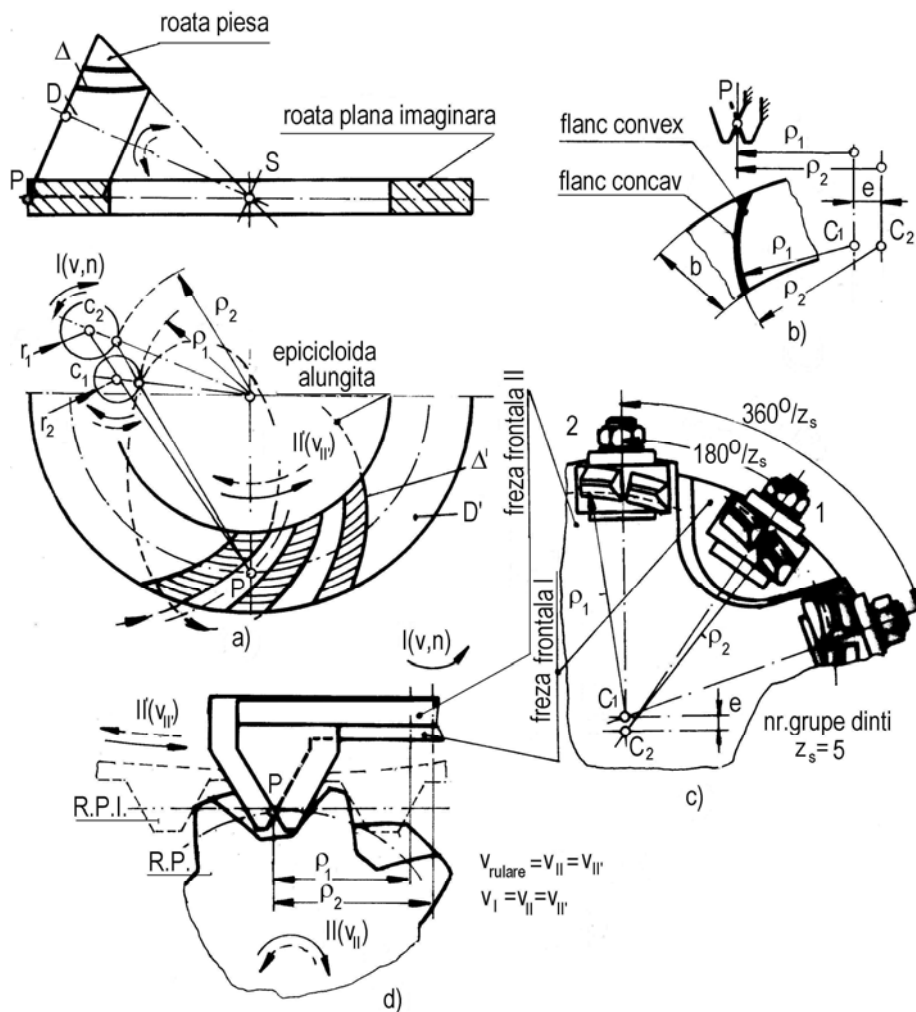


Fig.11.31 Generarea danturii ciclopaloidale

Pentru așchiera roții dințate sînt necesare trei mișcări de rotație (fig.11.31,d): mișcarea de rotație I a frezei frontale de viteză v , mișcarea de rotație II a roții semifabricat și mișcarea de rotație II' a frezei frontale în jurul axei roții plane (avans de generare) care coincide cu axa platoului portsculă. Pentru obținerea directoarei (o porțiune dintr-o epicycloidă) este necesar ca

între mișcarea de rotație I și mișcarea de avans circular II' să existe relația $v_I = v_{II'}$. Angrenarea roții piesă cu dintele activ al roții plane se realizează datorită existenței relației (11.25). Ca urmare, la roata plană *se sumează algebric* două mișcări de rotație: *mișcarea de rotație a sculei*, necesară rulării pe roata plană (funcție de numărul de dinți ai roții piesă și numărul de începuturi ale sculei) și *mișcarea necesară angrenării cu roata semifabricat*. Între cele trei mișcări există o legătură cinematică rigidă. Flancurile dinților pot fi înclinate, stînga sau dreapta, la unghiul $\beta \neq 0$ pînă la valorile maxime.

Aceasta depinde de diametrul sculei și de mărimea raportului de transmitere. Pe mașinile Klingelberg pot fi prelucrate roți conice cu dinți în arc ciclopaloidal cu module de la 0,6 mm pînă la 8÷9 mm și cu diametre peste 700 mm.

11.4.2.6. *Frezarea roților conice cu dinți în arc de evolventă (procedul Preiss-Schlicht)*

Danturile paloide, denumite și danturi conice curbe în sistem *Klingelberg*, se realizează prin rulare continuă cu o freză melc conică printr-un proces de danturare similar prelucrării roților dințate cu freze melc cilindrice. Liniile dinților fiind arce de evolventă alungite sau scurtate (în funcție de sensul de înclinare a dinților sculei și roții piesă) se obțin cu grosime egală pe toată lungimea lor. Roata cu dantură în arc de evolventă este singura roată conică care prezintă această proprietate pentru ambele roți ale angrenajului și are modulul normal constant în lungul dinților.

Din punct de vedere cinematic, procesul de generare se bazează pe faptul că o spirală arhimedică, care este transpusă prin rulare spațială pe suprafața laterală a unui con, care se rostogolește pe un plan în jurul centrului roții plane, generează o directoare a cărei formă este un arc de evolventă. Evolventele fiind echidistante, între două evolvente poate fi profilat un gol de tășurile unei freze.

Traectoria directoare la dantura paloidă este o evolventă pe roata plană (fig.11.32). Punctele M, N, P de pe dreapta CP , aflate la distanțe egale rulează pe cercul de rază r , concentric cu axa roții plane, cu viteza $v_I = v_{II'}$, și descriu arce de evolventă. Aceste puncte reprezintă dinții unei freze melc conice. Ca urmare, mișcarea v_I rezultă cinematic din mișcarea de rotație a frezei în jurul axei sale. În această situație, la fel ca la prelucrarea roților cilindrice cu freze melc, între mișcărilor de viteză v_I și $v_{II'}$ trebuie să existe o legătură rigidă cerută de relația (11.32), în care n_f este frecvența de rotație a frezei, $n_{r.p.}$ este frecvența de rotație a rotii plane, $k_{r.p.}$ este numărul de dinți ai roții plane imaginare, k este numărul de începuturi ale frezei melc.

$$\frac{n_f}{n_{r.p.}} = \frac{k_{r.p.}}{k} = \text{const.} \quad (11.32)$$

Prelucrarea roților dințate

Metoda de prelucrare corespunde ca principiu frezării cu avans tangențial aplicată la prelucrarea roților melcate. Piesa semifabricat și freza formează un angrenaj melc conic atîta timp cît are efect numai avansul pe direcție verticală la axa roții semifabricat. Pentru realizarea completă a rostogolirii este necesar ca în planul tangetial al frezei și roții să se împrime sculei o mișcare de oscilație suplimentară în jurul unui punct deplasat față de vârful conului (fig.11.35). Mișcarea corespunde cu mișcarea de avans tangențial de la frezarea roților melcate. Scula pătrunde treptat în material și prin rostogolire realizează complet dintele pe toată lățimea roții.

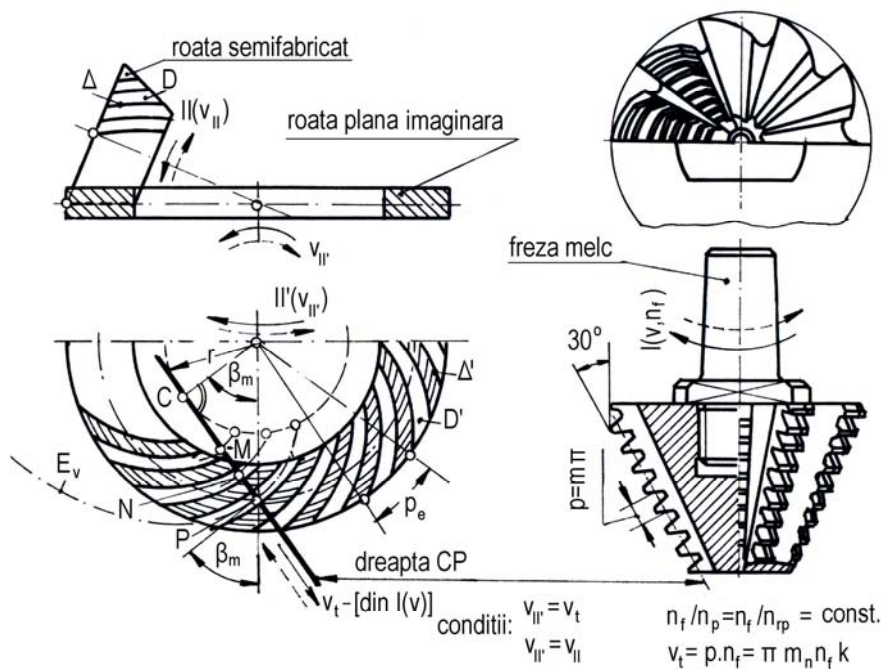


Fig.11.32. *Generarea dinților în arc de evolventă*

Pentru obținerea roții dințate sînt necesare trei mișcări de rotație uniforme, care se execută după anumite legi: mișcarea de rotație *I* a frezei în jurul axei sale, mișcarea de rotație *II* a roții semifabricat și mișcarea de rotație *III* a roții plane (platoul) împreună cu suportul port-sculă. Pentru obținerea formei directoarei pe roata plană, roata semifabricat *R* din (fig.11.33) se rotește în jurul axei și se află în angrenare cu roata plană *P* (relația 11.25). În același timp pentru obținerea generatoarei și a directoarei spațiale este necesară angrenarea dintre sculă și piesa semifabricat (vitezele de rotație sînt egale). Din acest motiv este necesar ca scula să capete o mișcare de oscilație în jurul centrului roții plane.

Avansul de generare se realizează continuu prin rotirea ușoară a platoului împreună cu freza din poziția 3 în poziția 1, freza pătrunzând progresiv în piesă, pe înălțimea dintelui, și părăsind-o în poziția 1. Rotirea suplimentară a sculei pentru compensarea avansului se su-mează algebric cu rotirea piesei necesară angrenării cu roata plană. Mișcarea III este obținută ca sumă algebrică a vitezelor mișcărilor II' și II''.

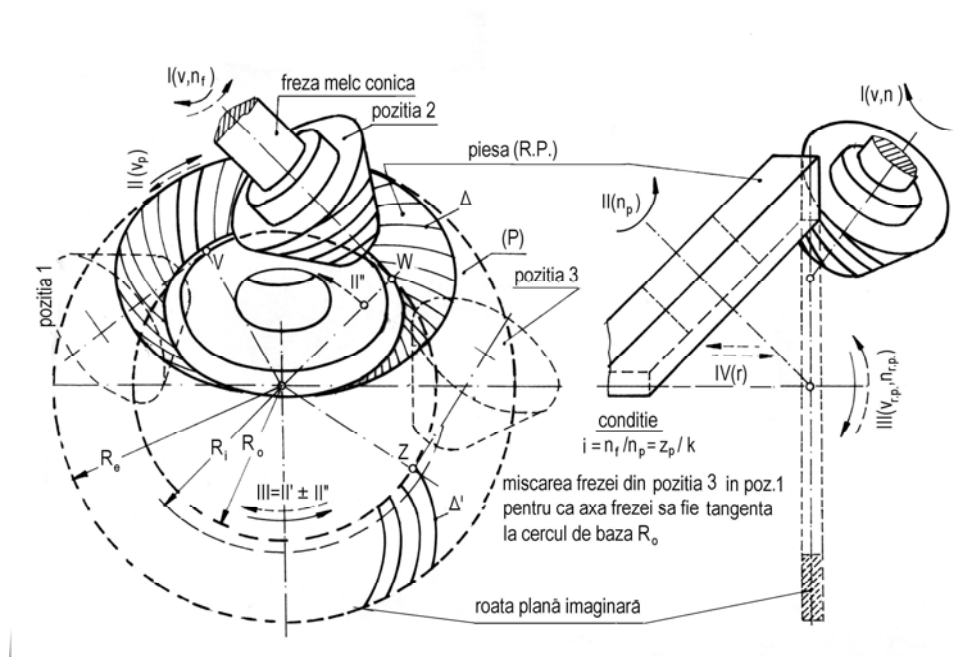


Fig.11.33. Prelucrarea roților conice cu dinți în arc de evolventă

11.4.2.7. Abrazarea roților dințate conice

Abrazarea este aplicată la roțile dințate folosite în angrenajele care lucrează cu viteze și sarcini ridicate. Datorită formei specifice a dintelui pe lățimea roții, pînă în prezent pot fi abrazate numai roțile cu dinți drepecți, înclinați și în arc de cerc.

Principiile de generare prin abrazare a acestor danturi sînt identice cu cele de la procedeul utilizat pentru obținerea roții care urmează să fie finisată. Pentru abrazare sînt utilizate scule abrazive cu suprafața inițială plană, care materializează flancul/flancurile roții plane (sînt necesare una sau două scule) în cazul roților conice cu dinți drepecți și înclinați, și scule abrazive cu suprafața inițială conică (scule tip oală) la prelucrarea roților cu dinți în arc de cerc.

Sculele abrazive vor avea dimensiunile și profilul în funcție de varianta de generare folosită la degroșare (rabotare, mortezare și frezare).

Metodele utilizate în prezent pentru abrazarea roților conice se bazează pe următoarele procedee:

- procedeul *MAAG* pentru roți cu dinți drepți și înclinați;
- procedeul *Gleason* și *Heidenreich-Harbeck* pentru roți cu dinți drepți;

- procedeul *Gleason* pentru roți cu dinți în arc de cerc.

Prin procedeul *MAAG*, roata dințată se abrazează cu ajutorul a două discuri abrazive, în formă de taler, care materializează prin suprafața inițială flancurile roții plane imaginare. Abrazarea are loc prin rularea flancurilor celor două roți și divizarea dinte cu dinte. După prelucrarea a două flancuri opuse, are loc divizarea pentru flancurile următoare.

În timpul divizării, cele două discuri abrazive (care sînt una în fața dintelui, iar cealaltă în poziție opusă) sînt scoase din zona de așchiere.

La rectificarea danturilor în arc de cerc trebuie utilizate discuri abrazive oală care trebuie să aibă, practic, același diametru ca cel al sculei cu care s-a realizat prelucrarea anterioară, iar profilul să fie identic cu cel al dintelui roții plane imaginare care se află în angrenare.

11.4.2.8. *Rodarea și lepuirea roților conice*

Roțile conice cu dinți drepți, înclinați sau curbi, pot fi netezite și corectate pe flancuri, atît după așchiera lor, cît și după tratamente termice, prin operații de rodare, lepuire, rulare, lustruire electrochimică-abrazivă etc.

Rodarea roților conice cu dinți drepți sau înclinați se poate realiza în două moduri: rodare cu o roată conjugată, confecționată din fontă, care este și roata motoare; conjugata este confecționată din oțel și este finisată; rodarea se realizează cu roata conjugată care este tot din oțel (prelucrată prin așchiere, tratată sau netratată termic). În timpul rodării între dinții celor două roți se află particule abrazive aflate în suspensie într-un mediu petrolier.

Granulele abrazive fiind mai dure, prin presare, în timpul procesului de angrenare, o parte dintre acestea se fixează în roata conjugată, pentru un timp, fapt ce face ca, prin alunecarea dintre dinți să aibă loc un proces de microașchiere. Particulele așchiate sînt foarte fine și mici, ele depinzînd de dimensiunile granulelor abrazive, material și momentul de frînare dintre cele două roți aflate în angrenare. În urma prelucrării se poate obține pe suprafața flancurilor o rugozitate $R_a = 0,8 \div 0,4 \mu\text{m}$ și o corectare corespunzătoare a unor abateri de prelucrare de la operațiile anterioare.