



PRELUCRAREA DANTURILOR CONICE CURBE

Aurel BĂRA, Adrian BALACI

THE BEVEL GEARS MACHINING

This study aims to present the bevel gears processing method. The first part presents the theoretical aspects of the bevel gear. The second part presents the effective method of their generation.

The theoretical study of bevel gears is very complex. The principle of generating a bevel gear is represented by the generating of plane gear teeth profile through a cutting tools system and then meshing between bevel gear and plane gear during machining.

Taking into consideration the complexity of the bevel gears processing, we do not claim that this study has exhaustively analyzed all the aspects of this subject.

Keywords: bevel gear, plane gear, meshing

Cuvinte cheie: roată conică, roată plană, angrenare

1. Introducere

Angrenajele conice se pot împărți în două grupe mari, după cum axele acestora sunt sau nu sunt concurente. Angrenajul conic cu axe concurente provine din două conuri de fricțiune, întocmai cum angrenajul cilindric provine din doi cilindri de fricțiune.

După cum la angrenajele cilindrice cei doi cilindri de fricțiune au fost numiți cilindri primitivi, tot așa la angrenajul conic cele două conuri de fricțiune sunt numite conuri primitive. Ele au același vârf comun, S , și sunt tangente în lungul unei generatoare, SP , comune după cum se vede în figura 1.

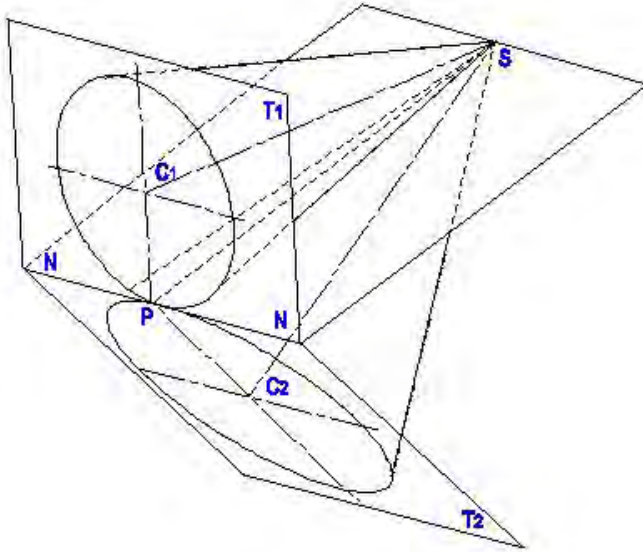


Fig.1 Conurile primitive ale angrenajului conic

Cele două planuri T_1 și T_2 , care trec prin punctul P și sunt, respectiv perpendiculare pe axele SC_1 și SC_2 ale conurilor respective, taie conurile primitive după două cercuri primitive, de centre C_1 și C_2 , având razele primitive R_{p1} și R_{p2} . Cele două cercuri primitive sunt tangente în punctul P și joacă același rol ca și cercurile primitive ale angrenajului cilindric.

Față de angrenajul cilindric trebuie remarcate două deosebiri fundamentale. În primul rând, mărimile razelor primitive ale roților angrenajului conic depind de poziția punctului P față de vârful comun S , deci de mărimea generatoarei comune SP . Cu cât P va fi mai aproape de S , cu atât razele primitive vor fi mai mici și invers. A doua deosebire fundamentală față de angrenajul cilindric constă în faptul că cele două cercuri primitive nu se mai află în același plan, ci în două planuri diferite, T_1 și T_2 , înclinate unul față de celălalt [1].

Mărimile razelor C_1P și C_2P ale conurilor primitive depind de distanța dintre P și S după cum se vede în figura 2.

Din triunghiurile dreptunghice SC_1P și SC_2P rezultă:

$$R_{p1} = SP \sin \delta_1 \tag{1}$$

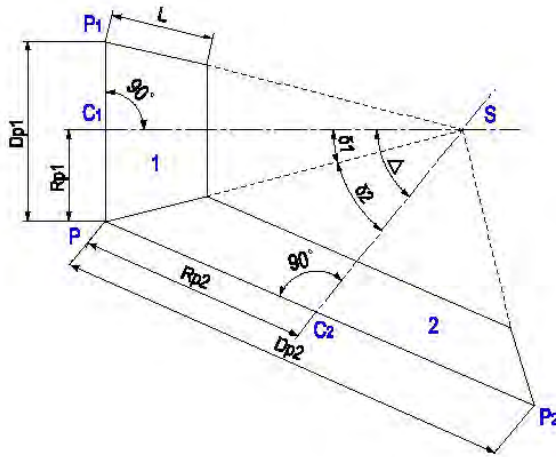


Fig. 2 Secțiune a conurilor primitive

$$R_{p2} = SP \sin \delta_2 \quad (2)$$

Prin împărțirea acestor egalități între ele se obține:

$$\frac{R_{p1}}{R_{p2}} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (3)$$

Deci, raportul razelor primitive este egal cu raportul sinusurilor celor două unghiuri. Înlocuind razele prin diametre relația (3) devine:

$$\frac{D_{p1}}{D_{p2}} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (4)$$

Cum diametrul primitiv este dat de produsul dintre modul și numărul de dinți, prin înlocuirea în (4) va rezulta că:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (5)$$

Pe de altă parte, se știe că:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

astfel că și

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (7)$$

În concluzie, se poate scrie

$$\frac{R_{p1}}{R_{p2}} = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (8)$$

adică aceleași relații ca și la angrenajele cilindrice cu dinți drepecți se aplică și angrenajelor conice, cu completarea că raportul sinusurilor celor două unghiuri este și el egal cu rapoartele razelor, diametrelor, numerelor de dinți și egal cu raportul invers al numerelor de rotații [1].

2. Generarea danturilor conice cu dinți curbilinii

Un element de bază în teoria și execuția angrenajelor conice îl reprezintă așa-numita roată plană (roata dințată conică cu semiunghiul conului egal cu 90°), ce prezintă aceleași proprietăți ca și cremaliera în cazul angrenajelor cilindrice, în sensul că dacă două roți conice angrenează cu o aceeași roată plană, atunci ele angrenează și între ele, putând deci forma un angrenaj.

Principiul generării danturilor conice, în particular a celor cu dantură curbilinie, îl reprezintă generarea printr-un anumit sistem de scule așchietoare a profilului danturii roții plane corespunzătoare angrenajului conic respectiv și apoi „angrenarea”, în timpul prelucrării, între roata conică de prelucrat și roata plană al cărei profil al danturii este astfel generat. Funcție de tipul curbei ce descrie forma flancului roții plane, danturile conice cu dinți curbilinii se pot clasifica după cum se vede în figura 3.

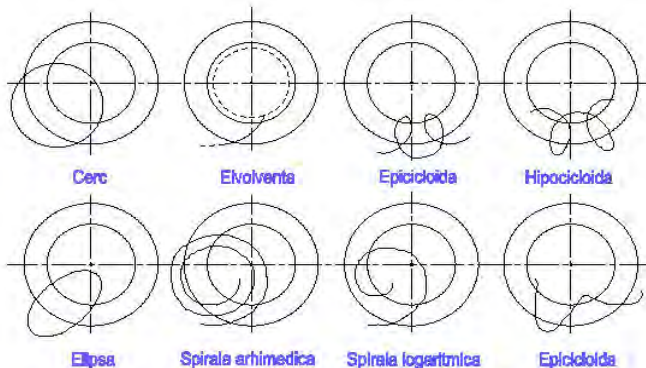


Fig. 3 Clasificare danturi conice cu dinți curbilinii

Construcția mașinilor de prelucrat roți dințate conice și a sistemelor de scule așchietoare pentru prelucrarea acestor tipuri de danturi conice este foarte diferită. Trebuie remarcat însă că, în cazul danturii conice cu dinți în arc de cerc, pentru fiecare angrenaj este necesară execuția unei scule specifice, ceea ce face ca acest procedeu să fie impropriu producției de unicat, pretându-se numai la producția de masă [1].

3. Elementele geometrice ale danturilor conice ciclopoloidale

3.1 Roata plană

Generarea danturilor conice cu dinți curbilini este raportată la roata plană (roata dințată conică cu semiunghiul conului egal cu 90°), după cum se vede în figura 2. Numărul de dinți al roții plane Z_p este o mărime de calcul și niciodată nu este un număr întreg, ci se aproximează cu o anumită precizie. Se observă că raza exterioară (R_e), raza medie (R_m) și raza interioară (R_i) ale roții plane sunt egale cu lungimile corespunzătoare măsurate pe generatoarea comună a conurilor de divizare ale celor două roți conice în angrenare, iar lățimea danturii roții plane este egală cu lățimea danturii celor două roți conice [2].

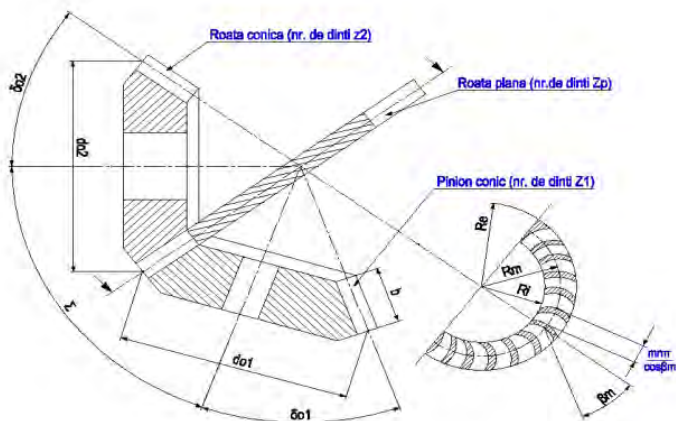


Fig. 4 Roata plană

3.2 Unghiul dintre axe

În cazul unui angrenaj conic, axele de rotație se intersectează și formează între ele un unghi Σ , care poate avea valori între 0 și 180° . Practic, în marea majoritate a cazurilor, se folosesc angrenaje conice cu unghiul între axe $\Sigma = 90^\circ$ [2].

3.3 Capul portcuțite

La prelucrarea unei roți dințate conice prin procedeul ciclopaloidal, unde linia flancului dintelui urmărește epiciclopedia alungită, se înlocuiește roata plană într-o zonă mai mică cu un cap portcuțite rotativ.

Aceasta vine în angrenare cu piesa de prelucrat și ambele angrenează ca și când roata plană s-ar rostogoli peste roata conică de danturat. Ca urmare, cuțitele prelucrează flancurile dinților prin golurile dintre dinți.

Pentru a se obține o prelucrare continuă, cuțitele sunt grupate și astfel ordonate în planul roții plane, încât fiecare grupă să reproducă o mică porțiune a unei spire dintr-o spirală, în general cu 5 spire (începuturi).

Deoarece atât capul portcuțite cât și piesa se rotesc, fiecare nouă grupă de cuțite trece prin următorul gol dintre dinții roții de prelucrat.

Deoarece pe roata plană liniile flancurilor dinților sunt identice, flancul convex și cel concav al unui dinte al roții conice sunt prelucrate cu cuțite separate care sunt prevăzute cu o corecție a razei capului portcuțit.

O importantă calitate a roții conice cu dantura ciclopaloidală rezultă din următoarea posibilitate de corecție: se folosește un cap portcuțite din două părți, pe care cuțitele corespunzătoare flancului convex se găsesc pe una dintre părți, iar cuțitele corespunzătoare flancului concav se găsesc pe cealaltă parte.

Astfel, acestea se pot roti pe cercuri excentrice, care au razele puțin diferite și care sunt tangente într-un punct.

Se poate obține o ușoară diferență a curburilor flancurilor convex, respectiv concav ale dintelui roții conice, ce se poate regla la valoarea dorită.

Acest cap portcuțite din două părți constituie baza procedurii universale de prelucrare atât a pinionului conic cât și a roții conice cu același cap portcuțite.

3.4 Mărimi de bază

La roțile conice cu dantura ciclopaloidală, dinții au pe întreaga lățime o înălțime constantă, în schimb pasul (p) și unghiul spiralei (β) se modifică în raport cu diametrul (d), respectiv lungimea generatoarei conului (R), care este egală cu raza corespunzătoare a roții plane.

Toate mărimile geometrice sunt raportate la modulul normal (m_n), care se consideră pe diametrul mediu (d_m) al conului de divizare, în secțiune normală. Acesta este independent de unghiul spiralei. O altă mărime de bază este diametrul cercului de divizare (d_0), care este diametrul exterior al conului de divizare.

Acestuia îi corespunde un modul frontal exterior (m_{te}), ce se utilizează la alte procedee de prelucrare ca mărime de bază.

3.5 Profilul de bază și modificarea grosimii dintelui

Ca profil de bază se definește secțiunea normală pe roata plană, corespunzătoare razei medii (R_m).

Se utilizează și profile de bază cu modificarea grosimii dintelui, astfel încât pinionul conic are dintele mai gros, iar roata conică are dintele mai subțire, pentru a se obține o egalizare a solicitării la baza dintelui. Profilul flancurilor dinților rămâne însă neschimbat după cum se vede în figura 5 [2].

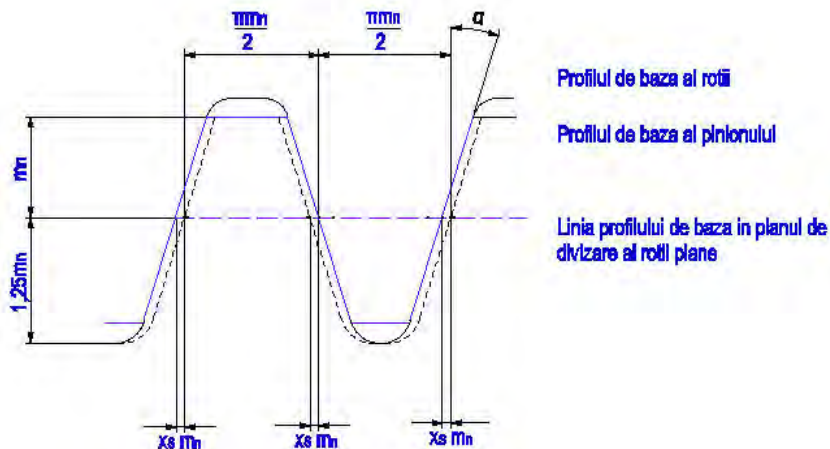


Fig.5 Profilul flancurilor dinților

3.6 Deplasare de profil

Deplasarea de profil se definește în mod analog celei de la angrenajele cilindrice și anume prin deplasarea planului de divizare al roții plane față de conul de divizare al roții conice. Mărimea deplasării de profil se exprimă în funcție de modulul normal ($x \times m_n$). Valoarea ei este pozitivă când planul de divizare al roții plane este situat deasupra conului de divizare al roții conice și negativă atunci când planul de divizare al roții plane intersectează conul de divizare al roții conice. La danturile fără deplasare de profil, planul de divizare al roții plane și conul de divizare al roții conice sunt tangente. Din considerente teoretice, angrenajele conice cu dantura ciclopaloidală funcționează corespunzător dacă suma deplasărilor de profil ale pinionului și roții este egală cu zero.

$$x_1 + x_2 = 0 \quad (9)$$

Pinionul conic are întotdeauna deplasarea de profil pozitivă, mărimea deplasării de profil stabilindu-se astfel:

- evitarea subțierii;
- egalizarea rezistenței la baza dintelui, în corelare cu modificarea grosimii dintelui pe profilul de bază;
- egalizarea alunecărilor specifice pe flancurile dinților.

3.7 Definirea și calculul elementelor geometrice ale angrenajelor conice cu dantura ciclopaloidală

Ca elemente de intrare la calculul angrenajelor conice cu dantură ciclopaloidală se consideră:

- unghiul dintre axe Σ ;
 - raportul de transmisie i ;
 - diametrul de divizare (exterior) al roții conice (d_{o2}).
- Alte mărimi care se aleg funcție de o serie de criterii sunt:
- lățimea danturii b ;
 - modulul normal m_n ;
 - numărul de dinți al pinionului z_1 ;
 - unghiul mediu de înclinare al spiralei β_m .

Toate aceste 7 mărimi se găsesc într-o legătură geometrică nemijlocită, ce se poate transpune printr-o expresie matematică.

Numărul de dinți al roții se calculează:

$$z_2 = i \times z_1 \quad (10)$$

Mărimea razei capului portcuțite (r) se alege dintre mărimile standardizate, ținând cont de domeniul de lucru al mașinii folosite și luând în considerare anumite considerente de prelucrabilitate. Pentru alegerea modulului cuțitelor (m_0) se folosesc tabele. În cazuri la limită, când se poate alege fie un cap portcuțite cu raza mai mare, fie un cap portcuțite cu raza mai mică, se alege întotdeauna capul cu raza mai mică.

Din practica Reșița Reductoare, pentru alegerea modulului cuțitelor se procedează astfel [3]:

- $m_n = 4,5 \sim 5,5 \Rightarrow m_0 = 5$;
- $m_n = 5,5 \sim 6,5 \Rightarrow m_0 = 6$;
- $m_n = 6,5 \sim 7,6 \Rightarrow m_0 = 7$;
- $m_n = 7,6 \sim 9 \Rightarrow m_0 = 8$;
- $m_n = 9 \sim 11 \Rightarrow m_0 = 10$;
- $m_n = 11 \sim 13 \Rightarrow m_0 = 12$;
- $m_n = 13 \sim 15,75 \Rightarrow m_0 = 14$;
- $m_n = 15,75 \sim 18,5 \Rightarrow m_0 = 17$.

Numărul de cuțite al capului portcuțite (z_0) se stabilește astfel:

- dacă numerele de dinți al pinionului și al roții nu sunt divizibile cu 5, se alege $z_0 = 5$;
- dacă numărul de dinți al pinionului nu este divizibil cu 5, dar numărul de dinți al roții este divizibil cu 5 și impar (sau invers), atunci se prelucrează pinionul și roata cu capete portcuțit cu z_0 diferit (5 și 4 sau 4 și 5);
- toate numerele de dinți divizibile cu 10 se pot prelucra numai la o calitate necorespunzătoare și din considerente economice se alege $z_0 = 5$.

Valorile coeficienților de modificare a grosimii dintelui (x_s) și de deplasare de profil (x_1, x_2) se stabilesc conform punctelor 3.5 și 3.6.

Se mai pot lua în considerare și un coeficient al înălțimii dintelui (h_{ap}), precum și o corecție de unghi (θ_k). Funcție de aceste elemente se calculează:

- d_{01} – diametrul de divizare (exterior) al pinionului;
- δ_{02}, δ_{01} – unghiul conului de divizare al roții, respectiv pinionului;
- z_p – numărul de dinți al roții plane;
- R_e, R_m, R_i – lungimea generatoarei conului de divizare exterior, mediu, respectiv interior;

- M_d – distanța mașinii, adică distanța dintre axa roții plane și axa de rotație a capului portcuțite.

4. Concluzii

■ Studiul teoretic al angrenajului conic este foarte complex în raport cu cel al angrenajului cilindric.

■ Pentru a simplifica execuția practică a angrenajelor conice se fac o serie de aproximații. Datorită diferitelor moduri de aproximare a teoriei angrenajelor conice, impuse de posibilitățile tehnice de realizare a acestora, construcția reală în majoritatea cazurilor diferă foarte mult de concepția teoretică.

BIBLIOGRAFIE

[1] Botez, E., *Angrenaje*, Editura Tehnică, București, 1962, pag. 228-239.

[2] * * * Klingelnberg, *Norma de fabricație internă KN 3028*.

[3] * * * Klingelnberg, *Norma de fabricație internă KN 3030*.

Drd. Ing. Aurel BĂRA,
S.C. Reșița Reductoare și Regenerabile S.A.,
membru AGIR,
e-mail: abara@resitareductoare.com
Ing. Adrian BALACI
S.C. Reșița Reductoare și Regenerabile S.A.,
e-mail: abalaci@resitareductoare.com