

CONSIDERAȚII PRIVIND BOMBAREA DANTURII CILINDRICE CURBE CICLOIDALE

Iulian STĂNĂȘEL¹, Ioan CHERMAN², Ioan MIHĂILĂ¹, Ioan PANTEA¹

¹Universitatea din Oradea, ²S.C. STIMIN IND. S.A. Oradea

Abstract: They are presented the generation of the two types of flanks modifications: by using cutting tools with specific shape of the cutting edges, by a supplementary motion at the tool or at the work piece in the processing of set of teeth. The manufacture of the teeth of the cylindrical wheels with evolventic profile and the curved line of the flanks with different curvature radius is realized on FD-Cugir type machine. It is presented an analytical method and a numerical one in order to evaluate the thickness of the tooth on the width of wheel and a method to determine the size of the camber.

1. INTRODUCERE

1.1. Distribuția sarcinii pe flancuri

Datorită unui complex de cauze repartitia uniformă a sarcinii pe flancurile roților dințate este foarte greu sau chiar imposibil de realizat.

Principalele cauze care influențează repartitia sarcinii pe flancuri sunt:

- erori de execuție și montaj ale roților dințate (abateri de pas, abateri de la forma profilului, abaterea de la direcția dintelui, abaterea de la paralelism a alezajelor carcasei, montarea greșită a roților etc.);
- rigiditatea elementelor transmisiei (rigiditatea dinților, a arborilor, a corpului roții, a lagărelor etc.);
- regimul de încărcare (mărimea sarcinilor, timpul de acțiune, variația în timp a acestora);
- condițiile de exploatare (caracterul frecărilor din lagăre, regimul de ungere, variațiile de temperatură).

Aceste cauze pot avea ca rezultat concentrarea sarcinii spre capetele frontale ale dinților producând creșterea presiunii de contact în această zonă. Consecința acestui fapt o constituie deformarea dinților, apariția uzurii, creșterea zgomotului în angrenare, iar în final se poate ajunge chiar la ruperea dinților.

Obținerea unei pete de contact cu o formă, localizare și suprafață corecte presupune prelucrări de finisare și reglaje fine ale sculei și mașinii de danturat.

În general cu cât se impun condiții mai severe pentru pata de contact cu atât prelucrarea trebuie să fie mai precisă și ca urmare costul prelucrării va fi mai mare.

În majoritatea cazurilor nu sunt suficiente creșterea preciziei danturii și mărirea rigidității acesteia dacă nu se aplică în același timp și măsuri pentru reducerea deformațiilor elastice, a șocurilor și vibrațiilor etc.

Aceste măsuri se concretizează în practica angrenajelor prin aplicarea unor modificări ale formei flancurilor roților dințate, adică flancarea și bombarea acestora.

Importanța modificării danturii rezultă din faptul că, pentru a obține o anumită precizie în funcționarea angrenajului, atunci când nu se utilizează roți cu dantură modificată, erorile provenite din execuție și montaj trebuie să fie cât mai mici, ceea ce implică un cost ridicat al prelucrărilor și montajului.

1.2. Flancarea danturii

Flancarea danturii reprezintă o abatere voită de la forma teoretică a flancului dintelui, realizată pe înălțimea dintelui, în vederea compensării abaterilor de pas provocate de deformațiile dinților sub sarcină și realizării astfel a unei bune angrenări și funcționări a angrenajului. Flancarea danturii se poate executa la capetele dinților ambelor roți în angrenare, sau la capul și piciorul dinților numai a uneia dintre roțile în angrenare (fig. 1).

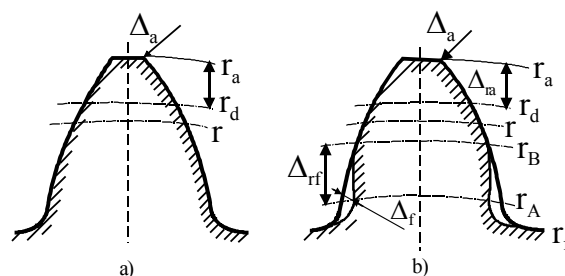


Fig. 1 Moduri de executare a flancării dinților.

1.3. Bombarea danturii

Bombarea reprezintă o reducere progresivă pe direcția longitudinală a grosimii unui dinte începând din partea lui mediană către fiecare din extremități (fig. 2).

Prin aplicarea bombării, între flancurile conjugate se stabilește un contact teoretic punctiform care, datorită deformației elastice a dinților sub sarcină, se transformă într-o suprafață de contact. Există numeroase studii care indică bombarea flancurilor drept cale pentru îmbunătățirea repartiției sarcinii pe flancuri, mărirea durabilității, micșorarea zgomotului și a sarcinilor dinamice ale angrenajului.

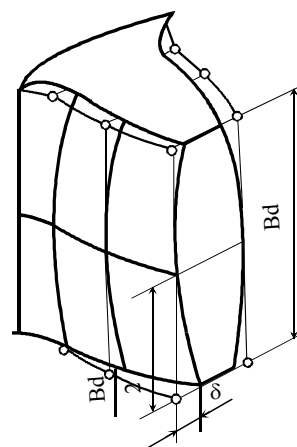


Fig. 2. Bombarea danturii.

Bombarea se poate realiza prin majoritatea procedeele de danturare cunoscute: frezare, mortezare, șeveruire, rectificare, lepuire. Există două moduri de generare a flancurilor bombate la roți cilindrice:

- folosind scule (freză-melc sau șever roată) cu modificări constructive adecvate;
- prin imprimarea unei mișcări suplimentare de corecție sculei sau piesei.

Din cele prezentate se constată că pentru realizarea danturilor modificate sunt necesare operații suplimentare, ceea ce duce la creșterea duratei și costului prelucrării complete a danturii.

Prelucrarea danturii și modificarea acesteia prin bombare pe aceeași mașină asigură o reducere a costului fabricației, o creștere a preciziei și a productivității prelucrării.

2. CINEMATICA GENERĂRII DANTURII CILINDRICE CURBE

Caracteristica de bază ce definește această dantură o constituie forma curbă convexă și respectiv concavă a flancurilor Σ_1 și Σ_2 ale dintelui. Curbele caracteristice ce definesc forma flancurilor (fig. 3)sunt:

- directoarele D_1 și D_2 (linia flancurilor) care sunt arce de cicloidă și respectiv arce de hipocicloidă închisă;
- generatoarele G (profilul) – evolvente.

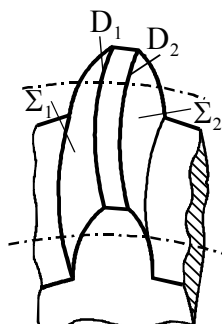


Fig. 3. Forma dintelui pe lățimea roții.

Pentru ca între flancurile conjugate să se realizeze un contact localizat (teoretic punctiform) curbele directoare se generează cu raze de curbură diferite pentru a rezulta bombarea danturii.

Cinematica generării celor două danturi se stabilește având în vedere că ambele curbe care definesc flancul unui dinte se generează cinematic simultan prin mișcări corelate.

Cicloida c_1-c_1' se generează în planul Γ_D ca traiectorie a unor puncte M_i fixate de cercul O_s (rulanta) care rulează pe o dreaptă fixă d (fig. 4).

Directoarea cicloidală (ruleta) se transpune prin rulare pe suprafața Σ_{cil} de rază R_r a roții de prelucrat. În funcție de numărul de puncte legate de cercul care rulează pe dreapta d , putem avea mai multe bucle cicloidale.

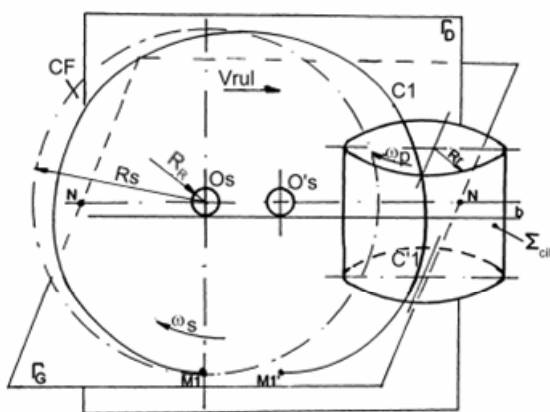


Fig. 4. Cinematica generării danturii cilindrice curbe cu flancuri cicloidale;

Cremaliera generatoare care definește acest tip de dantură are flancurile riglate de niște muchii așchietoare T_s și T_d atașate fiecărui punct legat de cercul rulantă, iar valoarea unghiului de referință α_0 este de 20° . Profilul de referință al cremalierii se stabilește în planul său median Γ_G .

Flancurile dinților roții de prelucrat sunt generate simultan prin rulare cu dreaptă mobilă și divizare continuă. Linia curbă a flancurilor (directoarea) este definită în planul Γ_D și în plane paralele cu acesta, iar profilul evolventic este definit în planul Γ_G și în plane paralele cu acesta.

Generarea profilului evolventic are la bază aplicarea metodei cinemate de generare prin rulare cu dreaptă mobilă. Viteza de rulare v_{rul} dintre planul Γ_D și roata piesă este determinată de viteza de rulare a liniei de referință $N - N$ pe cercul de rulare, fiind din punct de vedere tehnologic viteza unei mișcări de avans tangențial.

3. GEOMETRIA MUCHIILOR AȘCHietoARE ALE SCULELOR

Profilul evolventic al flancurilor este generat ca înfășurătoarea pozițiilor succesive ale muchiei așchietoare.

Muchiile rectilinii ale sculelor așchietoare sunt conjugate curbei care se generează, iar forma cuțitelor este trapezoidală cu unghiul de profil $\alpha_0 = 20^\circ$ și unghiul de degajare $\gamma=0^\circ$. Profilul teoretic realizat de muchiile așchietoare coincide cu profilul cremalierii de referință.

Generarea danturii cilindrice curbe în arc de cicloidă se realizează cu un cap de frezat care folosește mai multe cuțite ($i_C = 1, 2, 3, 6$) de forma prezentată în fig. 5, a, dispuse echidistant pe circumferința unui cerc de rază R_s . Capul de frezat, adaptat prin intermediul unui dispozitiv la sania tangențială a unei mașini de danturat, se rotește cu viteza unghiulară ω_s și rulează pe dreapta "d" cu viteza v_{rul} (fig. 4). În timpul rotirii și deplasării capului de frezat fiecare cuțit așchiază în goluri consecutive ale dinților roții piesă, descriind o cicloidă alungită.

Principalele elemente geometrice ale părții așchietoare ale cuțitelor sunt prezentate în fig. 5, b. Cuțitele au față de degajare plană cu unghi de degajare zero, iar muchiile așchietoare sunt rectilinii fiind conținute în planul feței de degajare A_V .

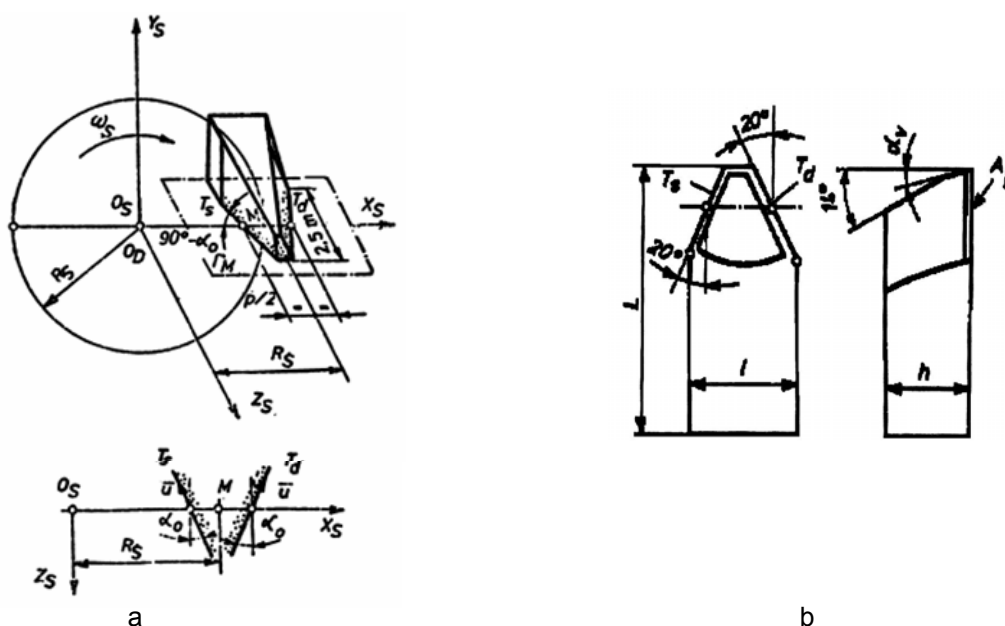


Fig. 5. Cuțit adaptat la capul de frezat pentru generarea danturii cicloidale.

În fig. 6 se prezintă capul de frezat cu trei grupe de cuțite folosit pentru prelucrarea danturii cilindrice cicloidale. Capul de frezat este adaptat prin intermediul unui dispozitiv special saniei tangențiale a unei mașini de danturat de construcție românească FD 320A fabricată la Cugir.

4. GROSIMEA ȘI BOMBAREA DINȚILOR

4.1. Grosimea dinților

Determinarea grosimii dinților roții cu flancuri curbe este necesară pentru a stabili cotele de reglare ale mașinii-unelte, mărimea jocului dintre dinții roților în angrenare, cât și mărimea bombării flancurilor convexe și respectiv concave.

Standardele STAS 915-81 și STAS 6273-81 indică, pe lângă alte dimensiuni de măsurare ale dintelui, și coarda de divizare frontală s_d și coarda constantă s_c (fig. 7).

Determinarea analitică a corzilor s_c și s_d în diferite plane frontale Γ_G conduce la expresii complicate cu care se pot face aplicații numerice cu ajutorul calculatorului.

Pentru evaluarea mărimii corzii de divizare se parcurg următoarele etape:

- se intersectează suprafețele flancurilor cu suprafața cilindrică de rază R_r și cu un număr de plane frontale. În planele respective se determină coordonatele perechilor de puncte de intersecție dintre evolventele din planul frontal considerat și suprafața cilindrică. Față de axa $O_P Z_P$ punctele respective subîntind unghiurile β_s și β_d . Unghiul la centru corespunzător corzii s_d se consideră $\beta_c = \beta_s + \beta_d$.

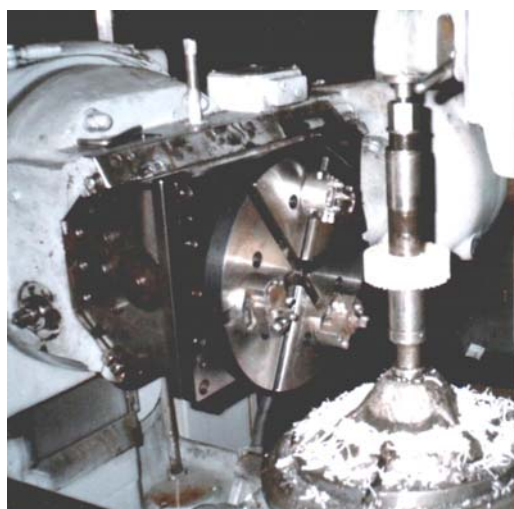


Fig. 6. Capul de frezat utilizat la prelucrarea danturii cilindrice curbe cicloidale pe mașini din familia FD-Cugir.

- se identifica perechi de puncte M_{Es} și M_{Ed} care au aceeași ordonată (Y_p) sau valori foarte apropiate și se rețin pentru fiecare din acestea valorile corespunzătoare unghiurilor β_s și β_d cu care se calculează:

$$s_d = \frac{m \cdot z}{2} (\sin \beta_s + \sin \beta_d) \quad (1)$$

Coarda s_d este determinată la distanța h_d față de cercul de cap calculată cu relația:

$$h_d = \frac{m \cdot z}{2} (1 - \cos \beta_s) + h_a \cdot m = h_d = \frac{m \cdot z}{2} (1 - \cos \beta_d) + h_a \cdot m \quad (2)$$

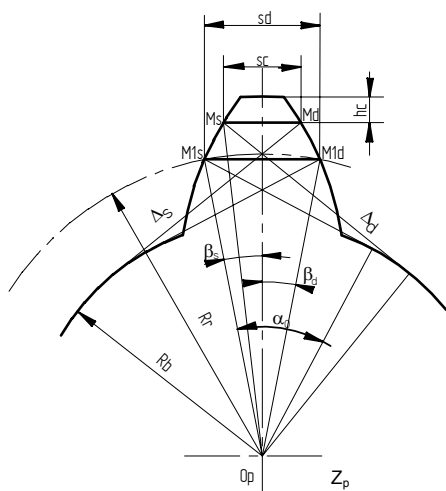


Fig. 7. Coarda de divizare frontală și coarda constantă

4.2. Bombarea danturii

Bombarea dintelui rezultă ca urmare a modificării grosimii sale pe direcție longitudinală începând din partea mediană spre fiecare din extremități.

Mărimea bombării se poate determina cunoscând valoarea corzii de divizare în planul median al roții piesă și în diferite plane frontale situate spre cele două extremități.

Notând cu s_{dy0} mărimea corzii de divizare în planul frontal median al roții piesă și cu s_{dy} mărimea corzii de divizare în planul frontal curent, situat la distanță y față de planul median, mărimea bombării se poate determina cu relația:

$$2\delta = s_{dy0} - s_{dy} \quad (3)$$

Valorile corzilor s_{dy0} și s_{dy} se determină cu ajutorul relației (1).

5. STUDII NUMERICE

Curbele de intersecție dintre flancurile danturii și suprafețele cilindrice concenrice cu axa roții piesă, dat fiind faptul că sunt conținute în suprafața cilindrică, au o exprimare analitică dificilă. Principala problemă constă în găsirea unei corelații între unghiul de rotire al capului de frezat și unghiul de rotire al roții piesă, motiv pentru care s-a impus rezolvarea problemei prin intermediul unei metode de aproximare numerică.

Pentru găsirea punctelor care aparțin liniilor flancurilor se pornește de la faptul că ele sunt conținute atât în suprafața flancurilor roții, cât și în suprafața cilindrului de intersecție. Legătura dintre coordonatele flancului și suprafața cilindrică de intersecție este exprimată prin relația:

$$R = \sqrt{x_p^2 + z_p^2} \quad (4)$$

Algoritmul de calcul presupune în principiu stabilirea unei valori pentru unghiul de rotire al capului de frezat corespunzătoare unui anumit plan Y_p paralel cu planele frontale ale roții, apoi se dau valori unghiului de rulare al roții piesă cu pas mic și se calculează coordonatele x_p și z_p ale flancului. Cu coordonatele calculate se verifică relația (4) și se rețin valorile pentru care diferența de rază este foarte mică. Dintre aceste valori se identifică punctele, care sunt conținute în același plan de nivel $Z_p = \text{const.}$ sau în plane foarte apropiate.

Studiul numeric s-a efectuat pe lățimea roții. Corespunzător acestui tip de dantură s-au considerat câte trei seturi de date prezentate împreună cu rezultatele calculului în tabelul 1. Se constată că în toate cazurile dintele se generează bombat, grosimea acestuia micșorându-se de la planul median spre planele frontale. Valorile prezentate privind grosimea și bombarea danturii au fost determinate pentru puncte ale liniilor flancurilor situate pe o suprafață cilindrică de rază R_f concentrică cu axa roții piesă.

Programul de calcul permite determinarea mărimii grosimii și bombării dinților pentru orice suprafețe cilindrice de secțiune având raze cuprinse între raza cercului de bază R_b și a celui de cap R_e .

Tabelul 1. Valori ale grosimii și bombării dinților cu flancuri cicloidale

Date	Flanc stâng		Flanc drept		Coarda s_d mm	Bombarea 2δ mm
	Y_{ps} mm	β_s rad	Y_{pd} mm	β_d rad		
$R_S=50$ $i_c=1$ $m=4$ $z=31$	-16	0,09686	-16	0,01049	5,92652	0,35918
	-10	0,06784	-10	0,03569	6,15210	0,13360
	-5	0,05438	-5	0,04700	6,25308	0,03262
	0	0,04996	0	0,05012	6,28570	0,00000
	5	0,05431	5	0,04709	6,25360	0,03210
	10	0,06762	10	0,03574	6,15459	0,13111
	16	0,09698	16	0,01061	5,92619	0,35951
$R_S=75$ $i_c=2$ $m=3$ $z=20$	-16	0,13820	-16	0,02292	4,60914	0,10220
	-10	0,10027	-10	0,05817	4,66991	0,04143
	-5	0,08233	-5	0,07496	4,70059	0,01075
	0	0,07941	0	0,07953	4,71134	0,00000
	5	0,08232	5	0,07498	4,70085	0,01049
	10	0,10009	10	0,05821	4,6700	0,04134
	16	0,13791	16	0,02301	4,6100	0,10134
$R_S=100$ $i_c=3$ $m=2.5$ $z=41$	-16	0,06343	-16	0,01456	3,87889	0,05012
	-10	0,04770	-10	0,02992	3,90858	0,02043
	-5	0,03942	-5	0,02734	3,92376	0,00525
	0	0,03889	0	0,03873	3,92901	0,00000
	5	0,03941	5	0,03725	3,92396	0,00505
	10	0,04699	10	0,02996	3,90901	0,02000
	16	0,06281	16	0,01467	3,87913	0,04988

6. CONCLUZII

Pentru realizarea danturilor modificate sunt necesare operații suplimentare, ceea ce duce la creșterea duratei și costului prelucrării complete a danturii.

Cele două curbe care definesc flancul dintelui, evolventa (profilul) și cicloida (linia dintelui), se generează cinematic simultan prin rulare cu dreaptă mobilă și divizare continuă, folosind capete de frezat cu mai multe grupe de cuțite dispuse echidistant.

Muchiile așchietoare ale sculelor materializează, în mișcarea lor pe traiectoria cicloidală, suprafețe riglate care constituie flancurile cremalierii generatoare.

Procedeul de danturare presupune existența a trei mișcări de generare corelate:

Mișcarea de rotație a capului de frezat;

Mișcarea de rotație a roții piesă;

Mișcarea de translație a suportului capului de frezat.

S-au stabilit relațiile analitice și s-au elaborat programe de calcul pentru grosimea dintelui pe lățimea roții și mărimii bombării. Rezultatele obținute în urma aplicațiilor numerice efectuate arată că, datorită formei curbe și bombate a dinților, între două flancuri conjugate se stabilește un contact localizat teoretic punctiform.

Din analiza datelor numerice prezentate în tabelul 1 se observă că dantura cicloidală se generează cu o mică asimetrie care nu poate fi înlăturată, cicloida fiind prin definiție o curbă asimetrică. Cu toate acestea mărirea asimetriei, evidențiată prin variația grosimii și bombării dinților în cele două plane frontale extreme, nu depășește 0,001 mm, ceea ce corespunde pentru majoritatea situațiilor întâlnite în construcția de mașini.

Mărirea bombării este influențată de mai mulți factori:

- se mărește odată cu creșterea modulului și creșterea numărului de cuțite ale capului de frezat;
- scade cu creșterea razei pe care sunt dispuse cuțitele în capul de frezat.

Prelucrarea danturii și modificarea acesteia prin bombare pe aceeași mașină asigură o reducere a costului fabricației, o creștere a preciziei și a productivității prelucrării.

7. BIBLIOGRAFIE

- [1] Andrei, L., ș.a. - *Studiul teoretic al profilului danturii roților dințate cilindrice cu dinți curbi*, în Construcția de mașini, nr.3-4 (52), p.5-7, 2000.
- [2] Boloș, V. - *Angrenaje melcate spiroide cilindrice*, Tg.Mureș, 1999.
- [3] Ghinea, M. - *Matlab-calcul numeric,grafică, aplicații*, Editura Teora, bucurești, 1998
- [4] Ghionea, A. - *Unele aspecte privind dantura curbă polihipocicloidală.* în Simpozionul "Noutăți în Mecanisme și Organe de mașini", p. 187-195, vol. I, Universitatea din Brașov, Brașov, 1978.
- [5] Ionescu, Gh.,D. - *Teoria diferențială a curbelor și suprafețelor cu aplicații tehnice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1984
- [6] Litvin, F., L. - *Gear geometry and applied theory*, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- [7] Lupulescu, N., - *Cercetări privind posibilitățile de simulare pe calculator a prelucrării danturilor*, în Comunicările celei de a V a conferințe de procedee și utilaje de prelucrare la rece, vol. III, p. 33-44, Timișoara, 1986.
- [8] Miloiu, Gh., ș.a. - *Transmisii mecanice moderne*, Editura Tehnică, București, 1981.
- [9] Murgulescu, E., ș.a. - *Geometrie analitică și diferențială*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1962.