

ANALIZA COMPARATIVĂ A INFLUENȚEI PARAMETRILOR GEOMETRICI AI ANGRENAJULUI PRECESIONAL ASUPRA ABATERII PROFILULUI CU ȘI FĂRĂ MODIFICARE

I. Bostan, V. Dulgheru, N. Trifan
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

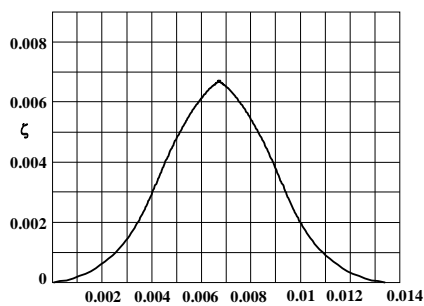
În transmisiile precesionale există un grup de parametri geometrici ale căror valori influențează simțitor profilul dinților. De aceea proiectarea calitativă a transmisiilor precesionale necesită alegerea justă a parametrilor geometrici ai angrenajului [1, 2].

Parametri geometrici de bază ai transmisiei precesionale sunt: unghiul θ , numit unghi de nutație (este unghiul de înclinare a axei manivelei în raport cu axa roții centrale), unghiul de conicitate a roților β , unghiul axoidei conice δ , numărul de dinți ai roților dințate Z .

În cazul transmisiilor de putere, pentru a se mări amplitudinea dinților (parametru similar modulului din angrenajele evolventice), unghiul de nutație se ia mai mare, și invers.

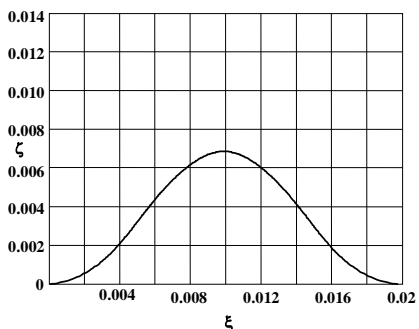
Unghiul axoidei conice δ se alege în intervalul $\delta = 0...33^\circ$.

A fost demonstrat, de asemenea, că numărul de dinți ai roților din angrenaj influențează forma profilului dinților. În (fig. 1 a, b) sunt prezentate



$Z_1=31 \quad Z_2=32 \quad R_D=75\text{mm} \quad \theta=2.5^\circ \quad \delta=22.5^\circ \quad \beta=3^\circ$

a.



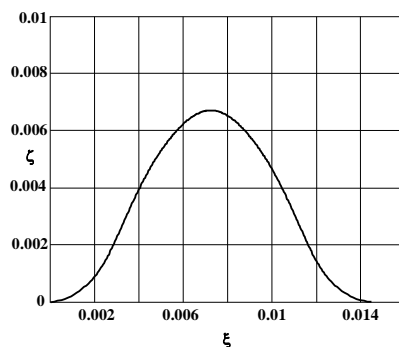
$Z_1=21 \quad Z_2=22 \quad R_D=75\text{mm} \quad \theta=2.5^\circ \quad \delta=22.5^\circ \quad \beta=3^\circ$

b.

Figura 1. Influența numărului de dinți a roții centrale Z_1 asupra profilului lor ($Z_1=Z_2-1$).

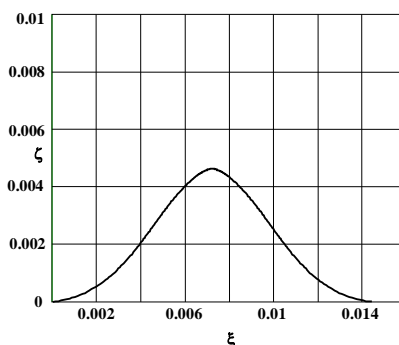
profilogramele dinților cu parametrii $R_D=75\text{mm}$, $\beta=3^\circ$, $\theta=2^\circ 30'$, $\delta=22^\circ 30'$ pentru $z_1=31$, $z_1=21$ cu corelația dintre dinți $z_1=z_2-1$. De exemplu, profilul dinților cu $z_1=31$ asigură forțe axiale minimale în angrenaj, forțe, care acționează asupra lagărelor. Profilul dinților cu $z_1=21$ asigură multiciclitare înaltă a angrenării. Acest profil este recomandat pentru a fi folosit în transmisii, care funcționează în regim de multiplicare.

De asemenea, pentru parametri concreți z_1 , β , δ asupra profilului dinților influențează unghiul de nutație θ . Influența unghiului de nutație θ asupra



$Z_1=29 \quad Z_2=30 \quad R_D=75\text{mm} \quad \theta=2.5^\circ \quad \delta=22.5^\circ \quad \beta=3^\circ$

a.



$Z_1=29 \quad Z_2=30 \quad R_D=75\text{mm} \quad \theta=1.7^\circ \quad \delta=22.5^\circ \quad \beta=3^\circ$

b.

Figura 2. Influența unghiului de nutație θ asupra profilului dinților ($Z_1=Z_2-1$).

profilului dintelui este prezentată în (fig. 2 a, b). La diametrul cunoscut D unghiul de nutație θ determină înălțimea dinților și, împreună cu numărul de dinți la acest diametru, suprafața lor, și raportul dintre grosimea dinților la înălțimea lor. Din analiza profilogramelor este clar că unghiul de nutație θ trebuie ales în concordanță cu influența sa asupra geometriei dintelui.

Este cunoscut faptul că, tensiunile de contact din angrenaj sunt invers proporționale razelor de curbură în punctele de contact ale profilurilor dinților aflați în angrenare. Prin urmare, pentru mărirea rezistenței la tensiunile de contact a angrenajului dinte-rolă este necesar de a mări razele de curbură ale profilurilor angrenate. Însă mărirea razei roților conduce la micșorarea multiciplității angrenării. În (fig.3 a, b) se prezintă profilogramele dinților obținute pentru diferite valori ale unghiului de conicitate a roților β , având parametrii Z, R_D, θ și δ constanți. Analiza profilogramelor arată că unghiul

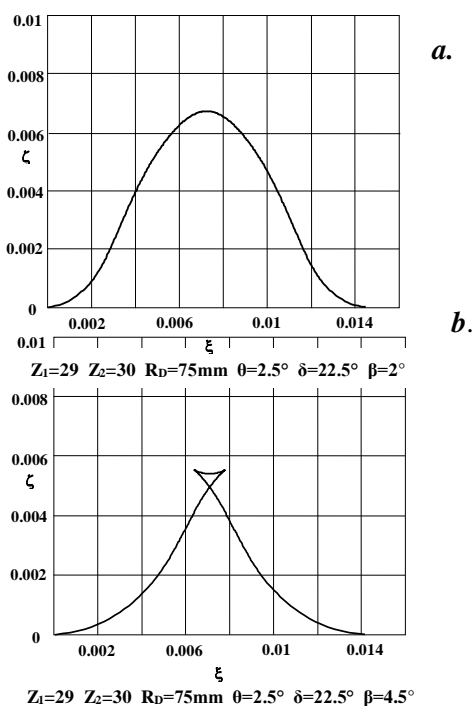


Figura 3. Influența unghiului conicității roții β asupra profilului dinților ($Z_1=Z_2=I$).

de conicitate influențează simțitor forma profilului dinților.

În funcție de necesități parametrii Z, θ, δ și β ai angrenajului precesional pot fi aleși argumentat pentru a asigura obținerea unor indici calitativi înalți ai angrenajului precesional.

1. ASPECTE TEHNOLOGICE

Profilul dinților roților dințate utilizate în angrenajul precesional se schimbă în funcție de valorile unghiurilor axoidului conic δ , de unghiul de conicitate a roților β , de unghiul de nutație θ , de numărul de dinți al roților dințate Z_1, Z_2 și de corelația între acești parametri [1, 3].

Prelucrarea acestor profile prin metode tradiționale e practic imposibilă, deoarece pentru fiecare corelație între parametrii δ, β, θ și Z este necesară executarea sculei cu profilul respectiv.

În legătură cu aceasta, a fost elaborată o metodă modernă, care asigură realizarea unei mulțimi de profile ale dinților, utilizându-se o sculă cu aceiași parametri geometrici [1, 4]. Din punct de vedere al geometriei și cinematicii metoda prelucrării prin rulare e similară angrenajului fără joc al semifabricatului și roții generatoare.

Teoria fundamentală a angrenajului precesional multiplu cu profil nestandard al dinților și metoda de fabricare a lui au fost descrise pe larg în [1]. Metoda de prelucrare a dinților cu profil nestandard se bazează pe utilizarea lanțului cinematic al unei mașini unelte de danturat și a unui dispozitiv special, având în componența sa un număr minim de elemente mobile. Din punct de vedere cinematic legătura dintre semifabricat și sculă, în care una dintre ele (scula) efectuează mișcare sfero-spațială, fiind în același timp limitată de la rotire în jurul axei axului principal al mașinii unelte de danturat, este similară legăturii neasurice din transmisia planetară precesională tip **K-H-V**. Legătura cinematică între sculă și partea imobilă a dispozitivului reprezintă o articulație **Hooke** care generează variabilitatea funcției de transfer în legătura cinematică „sculă – semifabricat”. Această variație va influența profilul dinților. Astfel, legătura sculei cu carcasa imprimă o oarecare eroare de schemă $\Delta\psi_3$ (urmează să se înțeleagă abaterea unghiului de rotire a semifabricatului ψ_3 de la unghiul de rotire respectiv al acestui semifabricat ψ_3^m la rotirea uniformă a lui).

$$u_{31}^m = -\frac{z_2 - z_3}{z_3}; \tag{1}$$

$$\Delta\psi_3 = \psi_3 - u_{31}^m = \frac{z_2}{z_3} (\psi - \arctg(\cos \theta \cdot \tg \psi))$$

În (fig. 4) este prezentată dependența erorii

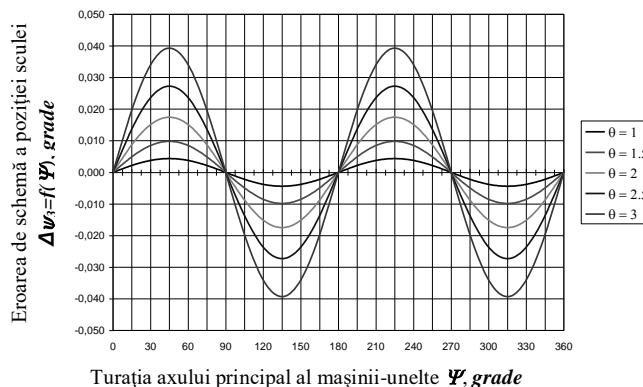


Figura 4. Eroarea de schemă a poziției sculei $\Delta\psi_3$.

de schemă a poziției sculei $\Delta\psi_3$ la o turație a axului principal al mașinii – unelte ψ . Această eroare se transmite sculei, iar ultima formează profilul dinților cu aceeași eroare.

Pentru asigurarea continuității funcției de transfer este necesară modificarea profilului dinților cu mărirea erorii de schemă $\Delta\psi_3$ prin comunicarea sculei unei mișcări suplimentare. În acest caz raportul de transmitere momentan al angrenajului fabricat va fi constant.

Pentru compensarea acestei erori a fost elaborată teoria fundamentală a angrenajului precesional cu modificare de profil [5]. Mecanismul de realizare a modificării de profil prin rectificare include un mecanism de modificare a traiectoriei mișcării sculei. În cazul unor mașini de lucru, în care cerințele față de mecanismul de acționare nu sunt rigide roțile dințate pot fi prelucrate prin deformare plastică fără prelucrare ulterioară. Însă în acest caz mecanismul de modificare a traiectoriei mișcării sculei nu poate fi inclus în componența dispozitivului de deformare plastică din motivul forțelor mari, care apar la deformarea plastică prin rulare a dinților.

Datorită faptului că profilul dinților obținut prin deformare plastică cu sculă precesională fără corecția mișcării sculei (lipsește mecanismul de corecție a traiectoriei) are o oarecare abatere de la profilul teoretic, este necesară determinarea valorii acestei abateri funcție de diferiți parametri geometrici ai dinților θ, β, δ, Z .

2. DETERMINAREA VALORII ABATERII PROFILULUI DINȚILOR FUNCȚIE DE PARAMETRII GEOMETRICI DE BAZĂ AI ANGRENAJULUI

În scopul determinării influenței parametrilor geometrici θ, β, δ, Z asupra abaterii profilului nemodificat al dinților față de cel modificat a fost efectuată o analiză comparativă amplă a profilelor dinților descrise de ecuațiile parametrice pentru angrenajul cu și fără modificare de profil.

2.1. Influența unghiului axoidului conic δ asupra valorii abaterii profilului

Pentru stabilirea influenței unghiului axoidei conice asupra profilului dinților au fost efectuate o serie de experimente matematice cu

variarea unghiului axoidei conice în limitele $\delta=0...33^\circ$. În baza calculului efectuate a fost

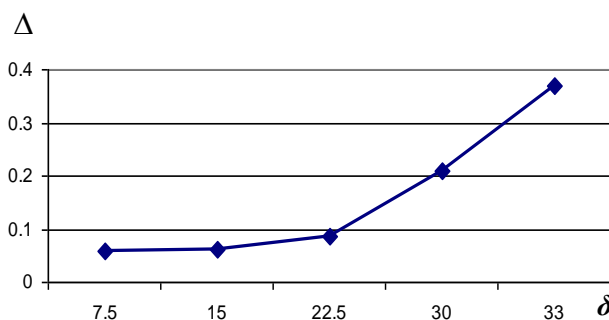


Figura 5. Dependența abaterii Δ a profilului modificat față de cel nemodificat de unghiul axoidei conice $\delta, (\beta, \theta, Z_1, Z_2\text{-const})$.

construit graficul dependenței $\Delta=f(\delta)$ (fig. 5). Analiza graficului arată că la unghiuri δ mici ($\delta < 20^\circ$) valoarea abaterii profilului modificat față de cel nemodificat este minimă și, practic constantă. La unghiuri ale axoidei conice ($\delta > 30^\circ$) valoarea abaterii crește simțitor. De exemplu, la creșterea unghiului axoidei conice de la $\delta=22^\circ 30'$ până la $\delta=30^\circ$ valoarea abaterii crește de mai mult de 2 ori.

2.2. Influența unghiului β asupra valorii abaterii profilului

Un alt parametru care influențează profilul dinților, este unghiul de conicitate a roților β . Valorile optime ale lui β pentru întreaga gamă de profile ale dinților, utilizabile în angrenajele precesionale se află în limitele $\beta=2...5^\circ$. În baza calculului efectuate a fost construit graficul dependenței $\Delta=f(\beta)$ (fig. 6). Analiza dependenței obținute arată că ea are un caracter practic

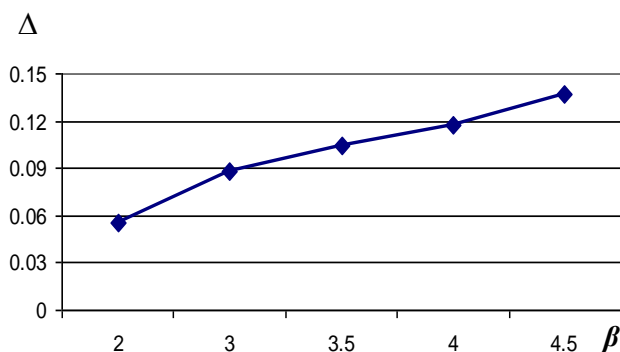


Figura 6. Dependența abaterii Δ a profilului modificat față de cel nemodificat de unghiul de conicitate a roților $\beta, (\delta, \theta, Z_1, Z_2\text{-const})$.

proporțional. Majorarea unghiului axoidei conice conduce la creșterea abaterii profilului Δ . La

creșterea unghiului de conicitate a rotelor cu 1° abaterea profilului s-a mărit cu $30\ \mu\text{m}$, sau cu 30%.

2.3. Influența unghiului de nutație θ asupra valorii abaterii profilului

Unghiul de nutație θ este un parametru foarte important pentru transmisiile precesionale. Valoarea lui se alege în limitele $\theta=(1,5\dots3)^\circ$. Valorile mici se recomandă la proiectarea transmisiilor planetare precesionale, iar cele mari – pentru transmisiile de putere. În rezultatul calculelor efectuate a fost construit graficul dependenței $\Delta=f(\theta)$ (fig. 7). Caracterul curbei este ascendent cu o creștere mai pronunțată în zona valorilor mari ale lui θ .

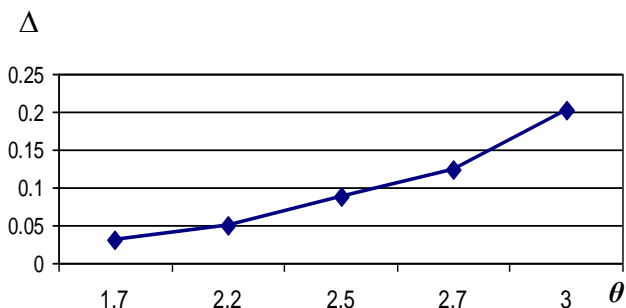


Figura 7. Dependența abaterii Δ a profilului modificat față de cel nemodificat de unghiul de nutație θ (δ, β, Z_1, Z_2 -const).

2.4. Influența numărului de dinți Z asupra valorii abaterii profilului

Numărul dinților roților dințate este un parametru, care în multe cazuri, determină raportul de transmitere. În baza calculelor efectuate a fost construit graficul dependenței $\Delta=f(Z_1)$ (fig. 8). Analiza graficului obținut arată că pentru valorile numărului de dinți $Z_1 < 25$ valoarea abaterii rămâne constantă. La creșterea numărului de dinți $Z_1 > 25$

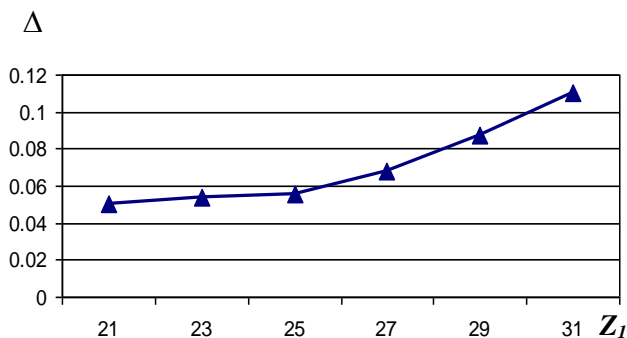


Figura 8. Dependența abaterii Δ a profilului modificat față de cel nemodificat de numărul de dinți Z_1, Z_2 (δ, β, θ -const).

valoarea abaterii crește simțitor. La creșterea numărului de dinți de la $Z_1=25$ până la $Z_1=31$ valoarea abaterii crește de 2 ori.

3. CONCLUZII

1. Pentru o anumită categorie de mașini de lucru, care nu înaintează cerințe rigide față de mecanismul de acționare, se recomandă prelucrarea roților dințate prin deformare plastică fără prelucrare ulterioară. Acest lucru permite păstrarea stratului ecrusat de pe suprafețele de lucru ale dinților, reducerea costului de fabricare.
2. Dintre parametri geometrici de bază ($\theta, \beta, \delta, Z_1$) influența maximă asupra profilului exercită unghiul axoidei conice δ și unghiul de nutație θ .
3. Pentru roțile dințate executate prin deformare plastică fără prelucrare ulterioară se recomandă următoarele limite de variație a parametrelor geometrici de bază: $\delta=0\dots22^\circ30'$; $\theta=1,5^\circ\dots2,5^\circ$; $Z_1 \leq 25$; valoarea unghiului β se va alege din condiția respectării condiției multiciclității angrenajului.

Bibliografie

1. **Bostan I.** *Precessionnye peredaci s mnogoparnym zacepleniem*, 1991, Ed. Știința, Chișinău, 356p.
2. **Bostan I., Dulgheru, V., Grigoraș, S.** *Transmisii planetare precesionale și armonice. Atlas*, București, Chișinău, 1997.
3. **Bostan I., Babaian, I.** *Precessionnaia peredacia // Brevet de invenție nr. 1563319 SU. BOPI nr. 11, 1996.*
4. **Bostan I., Babaian, I.** *Sposob obrabotki modificirovannyh zubiev èlementov precessionnoi zubciatoi pary // Brevet de invenție nr. 1663857 SU. 1988 (pentru uz de serviciu).*
5. **Bostan I., Țopa, M., Dulgheru, V., Vaculenco, M.** *Angrenaj precesional și procedeu de prelucrare a lui // Brevet de invenție nr. 1886 MD. BOPI nr. 3, 2002.*

Recomandat spre publicare: 27.01.2005