

TEHNOLOGIA DE GENERARE A DANTURILOR ANGRENAJULUI PRECESIONAL MULTIPAR CU MIȘCARE SFERO-SPAȚIALĂ A SCULEI CILINDRICE PE MAȘINI-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ CU 3 GRADE DE MOBILITATE

Maxim Vaculenco, conf. univ., dr. în științe tehnice
Universitatea Tehnică a Moldovei

1. INTRODUCERE

Tehnologia generării danturilor angrenajelor precesionale cu profil convex-concav [1, p.1.2] se bazează pe comunicarea sculei în formă de con a mișcării sfero-spațiale identice cu mișcarea satelitului din transmisia reală. Pentru realizarea tehnologiei a fost elaborat dispozitivul care se agregatizează inedit cu mașina-unealtă prin lanțul cinematic al acesteia [1, fig. 1.5, 1.6]. Pentru a-i comunica sculei o formă conică similară cu cea a bolțurilor din transmisia reală [3, 4], au fost elaborate procedeul tehnologic și dispozitivul de realizare a acestuia [1, p. 1.2.5 și fig. 1.14].

Tehnologia de generare a danturilor angrenajelor precesionale cu profil convex-concav cu scula în formă de con este mai costisitoare, deoarece necesită operațiuni tehnologice suplimentare, pentru a-i comunica sculei forma de con, și necesită întreținerea acesteia pe parcursul întregului proces de generare. Reieșind din cele menționate, această tehnologie se recomandă pentru producerea transmisiilor în serii mici.

Pentru producerea roților dințate în serii mari se propune tehnologia de generare a danturilor angrenajelor precesionale bazată pe mașini-unelte cu 3 grade de mobilitate.

Posibilitățile mașinilor-unelte moderne de a comunica sculei generatoare de profil a mișcărilor constituante mișcării sfero-spațiale în regim separat și independent asigură trecerea de la forma conică a sculei la cea cilindrică.

Conform tehnologiei de generare a danturilor angrenajelor precesionale cu mișcarea sfero-spațială a sculei în formă de con descrise în [2, 5, 6], între semifabricat și sculă se respectă următoarea relație cinematică: la o rotație a semifabricatului arborele-manivelă efectuează Z_1 rotații. Reieșind din necesitatea asigurării uniformității funcției de transformare a mișcării în transmisia reală, ambele mișcări de rotație trebuie să fi e constante, iar avansul sculei pe direcția

tangentială profilului dinților (pe suprafața generată a dintelui) condiționat devine variabil. În urma analizei teoretice a coeficientului varierii mișcării de avans a sculei pe profilul dinților cu parametrii roților dințate, concluzionăm că coeficientul de variație a avansului cuprinde intervalul 1.2-16.6. Rezultatul analizei pentru unul dintre cazurile examinate este prezentat în fig. 1, unde coeficientul de variere are valoarea egală cu 2.22.

În baza cercetărilor [2] poate fi determinată lungimea curbei profilului S_{D1} în intervalul unui dinte determinat de traiectoria mișcării centrului D al sculei, în funcție de unghiul de rotire ψ a arborelui-manivelă, iar după relația 2 – lungimea segmentului profilului dintelui la o turație (la moment $\Delta\psi = const.$) de rotire a arborelui-manivelă.

$$S_{D1}(\psi) = \int_0^{\psi} \sqrt{dX_D(\psi)^2 + dY_D(\psi)^2 + dZ_D(\psi)^2} d\psi, \quad (1)$$

unde ψ este unghiul de rotire a arborelui manivelă, care variază în intervalul de la 0 până la $2\pi \frac{Z_2}{Z_1}$ (interval în care scula generează profilul unui dinte).

$$S_D(\psi) = \int_0^{\psi+\Delta\psi} \sqrt{dX_D(\psi)^2 + dY_D(\psi)^2 + dZ_D(\psi)^2} d\psi. \quad (2)$$

În fig. 1.37 este prezentat graficul varierii lungimii segmentului profilului dintelui $S_D(\psi)$ în funcție de rotirea manivelei ψ^o .

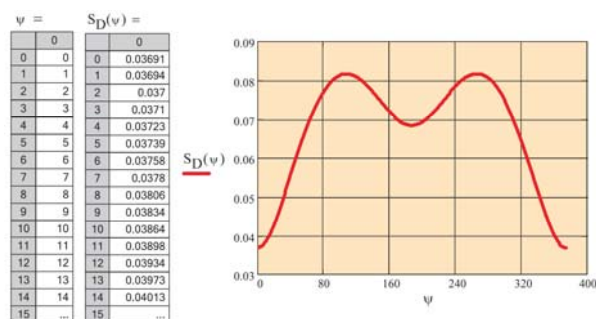


Figura 1. Graficul varierii lungimii segmentului profilului dintelui $S_D(\psi)$ mm, în funcție de rotirea manivelei ψ^o (angrenajul cu parametrii $Z_1=24$, $Z_2=25$, $\theta=2,5^o$, $\delta=15^o$, $\beta=3^o$).

2. DESCRIEREA PRINCIPIULUI DE GENERARE A DANTURILOR ANGRENAJULUI PRECESIONAL CU SCULA CILINDRICĂ

Pentru a asigura posibilitatea generării suprafețelor dinților cu profil convex-concav pe mașini-unelte cu 3 grade de mobilitate cu scula cilindrică, a fost elaborată schema principală a unui

dispozitiv de generare cu control numeric, prezentată în fig. 2.

Cu ajutorul dispozitivului elaborat agregatizat cu mașina-unealtă putem, de asemenea, să obținem profiluri-oglină ale danturilor roților centrale și ale coroanelor satelitului, ceea ce face posibilă fabricarea matricelor formelor pentru turnarea danturilor prin injectarea maselor plastice sau pentru presarea danturilor din pulberi metalici prin sinterizare.

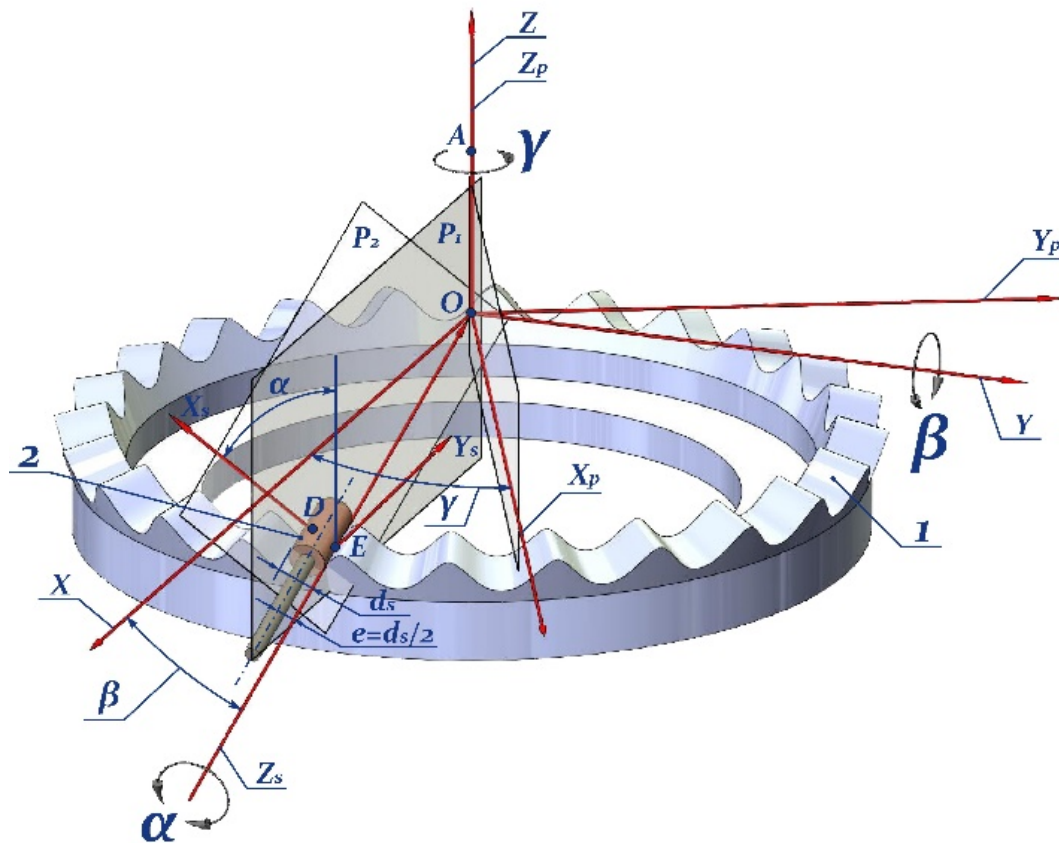


Figura 2. Schema principală a dispozitivului de generare cu scula cilindrică a danturilor angrenajului precesional cu control numeric.

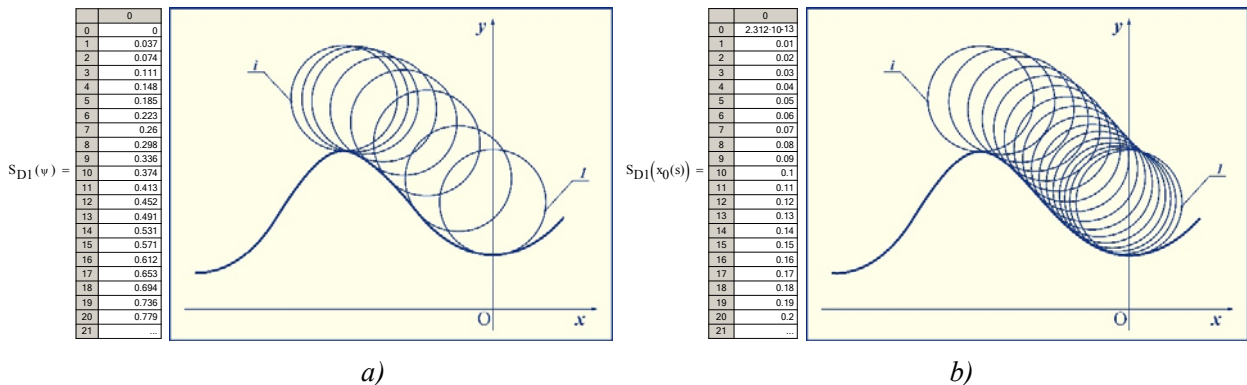


Figura 3. Deplasările conturului sculei în formă de con (a) și în formă de cilindru (b) pe profilul dintelui la un semiciclu de precesie și valorile lor numerice.

Schema principială prezentată în fig. 2 ne permite să generăm profiluri convex-concave ale dinților angrenajului precesional prin trei mișcări de poziționare concomitentă. Scula cilindrică efectuează două mișcări de rotație oscilatorii α și β , iar semifabricatul – o mișcare de rotație γ . Mișcările sunt coordonate în așa mod încât avansul să fie constant pe profilul dintelui. În fig. 3 sunt prezentate deplasările conturului sculei pe profilul dintelui fabricat prin metoda descrisă în [2], fig. 3 a și cea propusă în fig. 3 b și valorile lor numerice. Asigurarea avansului constant pe profilul dintelui, cu alte cuvinte divizarea profilului dintelui în segmente cu lungime egală are loc prin ecuațiile (3-7).

Deplasarea sculei cu forma cilindrică este determinată prin următoarele:

$$\Delta = 0.01 \text{ mm}; \quad (3)$$

$$S = 0, \Delta \dots f(\psi_n); \quad (4)$$

$$F(x, S) = \int_0^x \sqrt{dX_D(\psi)^2 + dY_D(\psi)^2 + dZ_D(\psi)^2} d\psi - S; \quad (5)$$

$$\psi_0(S) = F(x, S), x; \quad (6)$$

$$S(\psi_0) = \int_0^{\psi_0} \sqrt{dX_D(\psi_0)^2 + dY_D(\psi_0)^2 + dZ_D(\psi_0)^2} d\psi_0, \quad (7)$$

unde: Δ este avansul constant al sculei (definit conform procesului tehnologic);

S – șirul de variere a lungimii spațiale a profilului dintelui;

$F(x, S)$ – lungimea spațială a profilului dintelui în funcție de varierea unghiului de rotire ψ ($\Delta\psi = \text{const.}$) a arborelui-manivelă;

$\psi_0(S)$ – unghiul de rotire a arborelui-manivelă ce asigură avansul constant al sculei Δ ;

$S(\psi_0)$ – lungimea spațială a profilului dintelui în funcție de varierea unghiului de rotire $\psi_0(S)$ a arborelui-manivelă;

În baza descrierii geometriei angrenajului în planul P_1 (fig. 2) (ecuațiile 8) și P_2 (ecuațiile 9), a fost determinată varierea unghiurilor de dirijare α , β și γ (ecuațiile 10). În consecință, au fost identificați parametrii de comandă cu control numeric ai dispozitivului agregatizat prin mașina-unealtă cu 3 grade de mobilitate.

Geometria angrenajului în planul P_1 se descrie prin:

$$\begin{aligned} x_1 = y_1 = z_1 = 0; \\ x_2 = 0, y_2 = 0, z_2 = 1 \text{ (un punct arbitrat de pe axa Z);} \\ x_3 = x_E, y_3 = y_E, z_3 = z_E. \end{aligned}$$

$$x \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ y_E & z_E \end{vmatrix} - y \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ x_E & z_E \end{vmatrix} + z \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ x_E & y_E \end{vmatrix} = Ax + By + Cz; \quad (8)$$

$$A = -y_E; \quad B = -x_E; \quad C = 0;$$

$$l_2 = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = -\frac{y_E}{\sqrt{x_E^2 + y_E^2}}; \quad m_2 = \frac{x_E}{\sqrt{x_E^2 + y_E^2}},$$

iar în planul P_2 – prin:

$$x_1 = y_1 = z_1 = 0;$$

$$x_2 = x_D, y_2 = y_D, z_2 = z_D;$$

$$x_3 = x_E, y_3 = y_E, z_3 = z_E.$$

$$x \begin{vmatrix} y_D & z_D \\ y_E & z_E \end{vmatrix} - y \begin{vmatrix} x_D & z_D \\ x_E & z_E \end{vmatrix} + z \begin{vmatrix} x_D & y_D \\ x_E & y_E \end{vmatrix} = Ax + By + Cz \quad (9)$$

$$A = y_D \cdot z_E - z_D \cdot y_E; \quad B = -(x_D \cdot z_E - x_E \cdot z_D); \quad C = x_D \cdot y_E - x_E \cdot y_D.$$

$$l_2 = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad m_2 = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad n_2 = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}};$$

$$\alpha = \arccos(l_1 \cdot l_2 + m_1 \cdot m_2 + n_1 \cdot n_2);$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{\sqrt{x_E^2 + y_E^2}}{R_E}\right); \quad \gamma = \arccos\left(\frac{x_E}{\sqrt{x_E^2 + y_E^2}}\right) \quad (10)$$

unde α , β sunt unghiurile de mișcare de rotație oscilatorii ale semifabricatului; γ – unghiul de mișcare de rotație a semifabricatului.

De menționat că tehnologia de generare cu scula cilindrică (fi g. 3 b), bazată pe un avans constant în fabricare pe întreaga lungime a profilului, asigură precizie și calitate mai înalte de prelucrare a suprafeței. Analiza comparativă a preciziei de execuție cu scula în formă de con și cu scula cilindrică a fost efectuată conform următorilor indici ai normelor de precizie:

- precizia cinematică;
- uniformitatea funcției de transformare a mișcării;
- pata de contact (prin experiment).

Drept referințe au fost luate clasele preciziei de prelucrare a roților conice – cl. 1-12 (GOST 1758-81, GOST 9368-81, DIN 3971-56). Analiza comparativă a fost efectuată după eroarea cumulativă (la 180°) a pasului dinților Δt_{Σ} (norma – precizia cinematică), tabelul 1, parametrii roții măsurate fabricate prin

rectificarea profilului dinților: $Z_1 = 24$, $Z_2 = 25$, $\theta = 2.5^\circ$, $\delta = 22.5^\circ$, $\beta = 3.2^\circ$, $R = 75 \text{ mm}$.

Tabelul 1.

	Eroarea cumulativă a pasului, Δt_Σ	Clasa de precizie
Tehnologia existentă	38 μm	7-8
Tehnologia nouă	14-22 μm	5-6

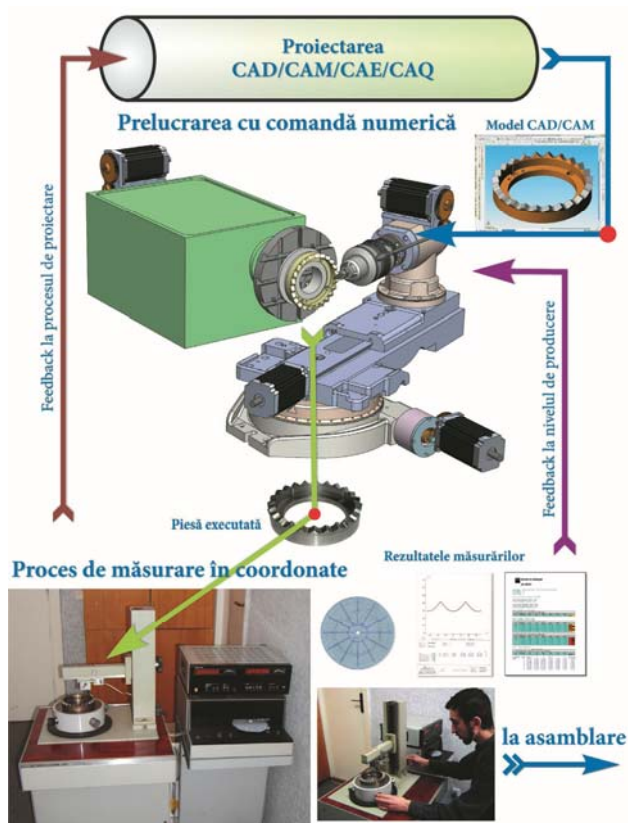


Figura 4. Procesul tehnologic integrat de generare a danturii roților angrenajului precesional pe mașini-unelte cu 3 grade de mobilitate cu comandă numerică.

Analizând eroarea cumulativă prezentată în tabelul 1, observăm că tehnologia de generare cu scula cilindrică cu control numeric asigură precizia de execuție după eroarea cumulativă a pasului conform clasei de precizie 5-6, adică cu aproximativ 2 trepte mai înaltă decât prin tehnologia de generare expusă în [1, p. 1.1]. În fi g. 4 este prezentată schema integrată de prelucrare cu comandă numerică a roților angrenajului precesional în baza tehnologiei de

generare a danturilor pe mașini-unelte cu 3 grade de mobilitate.

Lucrarea dată a fost efectuată în cadrul Proiectului Național de Cercetări Științifice Fundamentale 15.817.02.36Ș din Republica Moldova.

CONCLUZII

1. Tehnologia de generare a danturii angrenajului precesional pe mașini-unelte cu 3 grade de mobilitate cu control numeric asigură sporirea preciziei de prelucrare după pasul dinților cu circa 2 clase de normare.

2. Tehnologia de generare a suprafețelor dinților cu sculă precesională cilindrică este mai puțin costisitoare, deoarece nu necesită profilarea sculei în formă de trunchi de con, care trebuie menținută și controlată pe întreaga durată de fabricare.

3. Această tehnologie se caracterizează prin extinderea posibilităților de generare, și anume a suprafețelor-oglină, fapt ce permite fabricarea matrițelor pentru forme de turnare și presare a roților dințate cu profil nestandard convex-concav al dinților.

Bibliografie

- Bostan I., Dulgheru V., Glușco C., Mazuru S., Vaculenco M.** Antologia invențiilor: [în 4 volume] / – Ch.: “Bons Office” Ltd., 2011. ISBN 978-9975-80-283-3. Vol.2: Transmisii planetare precesionale – 2011. - 542 p. ISBN 978-9975-80-283-3
- Bostan, I.** Precessionny'eperedachi smnogoparny'm zacepleniem: [monogr.]. Ch.: Știința, 1991. 355 p. ISBN 5-376-01005-8
- Bostan I., Ţopa M., Mazuru S., Babaian I.** Sposob pravki fasonnogo shlifoval'nogo kruga. Brevet de invenție SU 1646818. Publ. B. I. 1991, nr. 7.
- Bostan I., Ţopa M., Mazuru S., Babaian I.** Metodă de îndreptare a pietrei de rectificat. Brevet de invenție MD 552 B1. Publ. BOPI. 1996, nr. 5. Titlu de protecție SU 1646818.
- Bostan I., Mazuru S., Pereu E., Cosovschi P.** Procedeu de executare a roților dințate conice. Hotărîre pozitivă nr. 5394 din 2008.02.22.
- Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M., Trifan N.** Procedeu de prelucrare prin electroeroziune a pieselor cu contur complicat și suprafețe oblice. Brevet de invenție MD 2674. Publ. BOPI. 2004, nr.6.

Recomandat spre publicare: 17.06.2016.