

Invenția se referă la construcția de mașini și anume la angrenaje precesionale.

Este cunoscută transmisia precesională în care pasul dinților profilului în arc de cerc diferă de pasul dinților cu profil curbiliniu, care este descris în secțiune normală de un sistem de ecuații parametrice [1]. Neajunsul transmisiei examinate constă în faptul că ecuațiile parametrice ale profilului nu permit modificarea lui în scopul majorării capacității portante a transmisiei.

Este cunoscut procedeul de prelucrare a dinților modificați ai angrenajului precesional cu sculă care efectuează mișcări coordonate în raport cu sistemele de coordonate mobil (X_1, Y_1, Z_1) și imobil (X, Y, Z), originea cărora coincide cu centrul mișcării de precesie, iar sculei i se comunică o deplasare suplimentară față de sistemele de coordonate X_1 și Y_1 , stabilită de ecuații parametrice [2]. Neajunsul procedeuului cunoscut constă în posibilitățile tehnologice înguste condiționate de imposibilitatea prelucrării dinților cu modificare reglabilă de profil.

Problema pe care o rezolvă prezenta invenție este ridicarea capacității portante a angrenajului și lărgirea posibilităților tehnologice pe contul modificării de profil a dinților cu valoarea reglabilă a modificării.

Problema formulată este rezolvată prin faptul că în angrenajul precesional cu diferența între numărul dinților angrenați egală cu unu, unul din profiluri este executat în arc de cerc, iar altul este curbiliniu, descris în secțiune normală de ecuații parametrice, profilul curbiliniu este descris în secțiune normală de ecuațiile:

$$\xi^m = X_E''^m \cos \frac{\pi}{Z_1} + [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \frac{\pi}{Z_1};$$

$$\zeta^m = X_E''^m \sin \gamma \sin \frac{\pi}{Z_1} - [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \gamma \cos \frac{\pi}{Z_1} + [R_D \sin(\delta + \theta + \beta) + Z_E''^m] \cos \gamma,$$

unde:

$$\sin \gamma = \operatorname{tg}(\delta + \theta + \beta) / \left[\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta) \right]^{1/2};$$

$$\cos \gamma = \cos \frac{\pi}{Z_1} / \left[\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta) \right]^{1/2},$$

în care: δ - unghiul axoidei conice pe care sunt amplasați dinții în arc de cerc;

β - unghiul de conicitate a dinților în arc de cerc;

θ - unghiul de rotație, egal cu unghiul dintre axa OZ_1 și axa OZ ;

Z_1 - numărul dinților cu profil curbiliniu;

R_D - distanța de la centrul de curbură a dintelui în arc de cerc până la centrul de precesie (originea sistemelor de coordonate $OXYZ$ și $OX_1Y_1Z_1$).

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{IE}^m,$$

$$Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{IE}^m,$$

$$Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{IE}^m,$$

unde: $X_E''^m, Y_E''^m, Z_E''^m$ sunt coordonatele punctului E al profilului curbiliniu în secțiune transversală (indexul "m" înseamnă "modificat");

$X_{IE}^m, Y_{IE}^m, Z_{IE}^m$ - coordonatele punctului E al profilului curbiliniu pe sferă.

$$\varepsilon^m = -D / [AX_{IE}^m + BY_{IE}^m + CZ_{IE}^m],$$

unde:

$$A = (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_Y - (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_Z;$$

$$B = (X_{E_2} - X_{E_1})n_Z - (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_X;$$

$$C = (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_X - (X_{E_2} - X_{E_1})n_Y;$$

$$D = (Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1})n_X + (X_{E_2}Z_{E_1} - Z_{E_2}X_{E_1})n_Y +$$

$$+ (X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1})n_Z,$$

în care: $X_{E_1}, Y_{E_1}, Z_{E_1}$ și $X_{E_2}, Y_{E_2}, Z_{E_2}$ sunt coordonatele punctelor minime ale profilului dintelui inițial E_1 și final E_2 ;

n_x, n_y, n_z - proiecțiile vectorului n colinear cu vectorul vitezei punctului D al profilului în arc de cerc.

$$n_x = Y_{E_1} Z_{E_2} - Y_{E_2} Z_{E_1};$$

$$n_y = X_{E_2} Z_{E_1} - X_{E_1} Z_{E_2};$$

$$n_z = X_{E_1} Y_{E_2} - X_{E_2} Y_{E_1}.$$

iar conform procedurii de realizare a angrenajului precesional cu sculă care efectuează mișcări coordonate în raport cu sistemele de coordonate mobil (X_D, Y_D, Z_D) și imobil (X, Y, Z), originea cărora coincide cu centrul mișcării de precesie, și este legată cu partea imobilă cu ajutorul unui mecanism de legătură, sculei i se comunică o deplasare suplimentară față de coordonatele X_1 și Y_1 , generată de cama mecanismului de legătură și stabilită de ecuațiile parametrice

$$X_C^m = 0,$$

$$Y_C^m = \sqrt{R_C^2 - (Z_C^m)^2};$$

$$Z_C^m = Z_C,$$

unde R_C este distanța de la punctul C al axei mecanismului de legătură până la centrul de precesie (originea O a sistemelor de coordonate $OXYZ$ și $OX_1Y_1Z_1$);

Z_C - componenta traiectoriei nemodificate a punctului C pe axa Z ,
totodată traiectoria modificată a centrului D al sculei este descrisă de ecuațiile

$$X_D^m = -\sin \delta \sin [Y_C^m \sin \theta + Z_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi];$$

$$Y_D^m = -Y_C^m \cos \delta + Z_C^m \sin \delta [\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi];$$

$$Z_D^m = -Y_C^m \sin \delta (\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi) - Z_C^m \cos \delta,$$

unde:

Ψ - unghiul de rotație a manivelei.

Angrenajul și procedeu de realizare a lui, conform invenției, asigură următoarele avantaje:

- posibilitatea obținerii profilurilor dinților cu capacitate portantă ridicată;
- posibilitatea realizării acestor profiluri cu valoare reglabilă a modificării;
- creșterea preciziei de prelucrare a dinților.

În continuare se prezintă exemple de realizare a invenției, cu referire la fig. 1 și 2, care reprezintă: fig. 1 - modelul matematic al angrenajului precesional și schema principială de realizare a procedurii de prelucrare; fig. 2 - profilul dintelui în secțiune normală.

Angrenajul precesional (fig. 1) include dinții 1 cu profil curbiliniu și dinții 2 cu profil în arc de cerc, executați în roata satelit, instalată pe manivela 3 a arborelui conducător 4.

Angrenajul precesional funcționează în modul următor: la angrenarea dinților curbilini 1 și în arc de cerc 2 roata dințată cu dinții 1 se va roti (roata cu dinții 2 este legată cu partea imobilă) cu gradul de reducere

$$i = \frac{Z_1}{Z_2 - Z_1},$$

unde Z_1 și Z_2 sunt numărul de dinți 1 și 2, respectiv, stabiliți de corelația

$$Z_1 = Z_2 \pm 1.$$

Pentru modificarea profilului dinților angrenajului precesional se propune schema principială de realizare a procedurii (fig. 1), în care scula 2 (care efectuează aceeași mișcare de precesie ca dinții sau rolele conice) este legată cu partea imobilă prin mecanismul de legătură 5, căruia i se comunică microdeplasări în planul X_1Y_1 de la cama 6 prin intermediul pârghiei 7. Semifabricatul se prinde pe masa dispozitivului de realizare a procedurii cu ajutorul mecanismului de prindere 8.

Modificarea traiectoriei mișcării sculei se face prin comunicarea unei mișcări suplimentare de la cama 6 cu pârghia 7 și mecanismul de legătură cinematică. Cama face ca coordonata X_C a punctului să fie nulă, iar aceasta prin modificare de profil a dinților face ca funcția de transmitere a rotațiilor să fie constantă.

Coordonatele punctului C al axei mecanismului de legătură după ce i se comunică o mișcare suplimentară de la camă devin

$$X_C^m = 0;$$

$$Y_C^m = \sqrt{R_C^2 - (Z_C^m)^2};$$

$$Z_C^m = Z_C.$$

(1)

Coordonatele punctului D^m modificat sunt

$$\begin{aligned}
X_D^m &= -\sin \delta \sin [Y_C^m \sin \theta + Z_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi], \\
Y_D^m &= -Y_C^m \cos \delta + Z_C^m \sin \delta [\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi], \\
Z_D^m &= -Y_C^m \sin \delta (\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi) - Z_C^m \cos \delta,
\end{aligned} \tag{2}$$

θ - unghiul de nutație, egal cu unghiul dintre axa OZ_1 și axa OZ .

Mișcarea punctului D^m în raport cu sistemul de coordonate mobil legat rigid de semifabricat se descrie cu ajutorul formulelor

$$\begin{aligned}
X_{ID}^m &= X_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - Y_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1}, \\
X_{ID}^m &= X_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} + Y_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1}, \\
Z_{ID}^m &= Z_D^m.
\end{aligned} \tag{3}$$

Proiecțiile vitezelor punctelor C^m și D^m se calculează după formulele

$$\begin{aligned}
\dot{Z}_C^m &= -R_C \sin \theta \sin \psi \cdot \dot{\psi}, \\
\dot{Y}_C^m &= -\frac{Z_C^m}{Y_C^m} \dot{Z}_C^m, \\
\dot{X}_D^m &= -\sin \delta \cos \psi [Y_C^m \sin \theta + Z_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi] \dot{\psi} - \\
&\quad - \sin \delta \sin \psi \left[\dot{Y}_C^m \sin \theta + \dot{Z}_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi - Z_C^m (1 - \cos \theta) \sin \psi \cdot \dot{\psi} \right], \\
\dot{Y}_D^m &= -\dot{Y}_C^m \cos \delta + \dot{Z}_C^m \sin \delta [\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi] + \\
&\quad + Z_C^m \sin \delta [-2 \cos \psi \sin \psi + 2 \cos \theta \sin \psi \cos \psi] \dot{\psi}, \\
\dot{X}_{ID}^m &= \dot{X}_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} X_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} - \dot{Y}_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} Y_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1}, \\
\dot{Y}_{ID}^m &= \dot{X}_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} + \frac{\dot{\psi}}{Z_1} X_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} + \dot{Y}_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} Y_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Coordonatele punctului E^m pe sferă se calculează după formulele

$$\begin{aligned}
X_{IE}^m &= K_2^m Z_{IE}^m + d_2^m, \\
Y_{IE}^m &= K_1^m Z_{IE}^m - d_1^m, \\
Z_{IE}^m &= \left\{ (K_1^m d_1^m - K_2^m d_2^m) - [(K_1^m d_1^m - K_2^m d_2^m)^2 + (K_1^{m2} + K_2^{m2} + 1) \times \right. \\
&\quad \left. \times (R_D^2 - d_1^{m2} - d_2^{m2})]^{1/2} \right\} / (K_1^{m2} + K_2^{m2} + 1),
\end{aligned} \tag{5}$$

unde:

$$K_1^m = \left[X_{ID}^m \left(X_{ID}^m \mathcal{X}_{ID}^m + Y_{ID}^m \mathcal{Y}_{ID}^m \right) + Z_{ID}^{m2} \mathcal{X}_{ID}^m \right] / \left[Z_{ID}^m \left(X_{ID}^m \mathcal{Y}_{ID}^m - Y_{ID}^m \mathcal{X}_{ID}^m \right) \right],$$

$$K_2^m = -(K_1^m Y_{ID}^m + Z_{ID}^m) / X_{ID}^m,$$

$$d_1^m = R_D^2 \cos \beta \dot{X}_{ID}^m / \left(X_{ID}^m \dot{Y}_{ID}^m - \dot{X}_{ID}^m Y_{ID}^m \right),$$

$$d_2^m = (R_D^2 \cos \beta + d_1^m Y_{ID}^m) / X_{ID}^m.$$

Proiecția punctului E^m pe planul transversal al dintelui are coordonatele

$$\mathbf{X}''^m = \varepsilon^m \cdot \mathbf{X}_{IE}^m, \quad \mathbf{Y}''^m = \varepsilon^m \cdot \mathbf{Y}_{IE}^m, \quad \mathbf{Z}''^m = \varepsilon^m \cdot \mathbf{Z}_{IE}^m \quad (6)$$

unde: $\varepsilon^m = -D / [\mathbf{A}\mathbf{X}_{IE}^m + \mathbf{B}\mathbf{Y}_{IE}^m + \mathbf{C}\mathbf{Z}_{IE}^m]$,
iar

$$\mathbf{A} = (\mathbf{Z}_{E_2} - \mathbf{Z}_{E_1})\mathbf{n}_Y - (\mathbf{Y}_{E_2} - \mathbf{Y}_{E_1})\mathbf{n}_Z;$$

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}_{E_2} - \mathbf{X}_{E_1})\mathbf{n}_Z - (\mathbf{Z}_{E_2} - \mathbf{Z}_{E_1})\mathbf{n}_X;$$

$$\mathbf{C} = (\mathbf{Y}_{E_2} - \mathbf{Y}_{E_1})\mathbf{n}_X - (\mathbf{X}_{E_2} - \mathbf{X}_{E_1})\mathbf{n}_Y;$$

$$\mathbf{D} = (\mathbf{Y}_{E_1}\mathbf{Z}_{E_2} - \mathbf{Y}_{E_2}\mathbf{Z}_{E_1})\mathbf{n}_X + (\mathbf{X}_{E_2}\mathbf{Z}_{E_1} - \mathbf{Z}_{E_2}\mathbf{X}_{E_1})\mathbf{n}_Y + (\mathbf{X}_{E_1}\mathbf{Y}_{E_2} - \mathbf{X}_{E_2}\mathbf{Y}_{E_1})\mathbf{n}_Z;$$

$$\mathbf{n}_X = \mathbf{Y}_{E_1}\mathbf{Z}_{E_2} - \mathbf{Y}_{E_2}\mathbf{Z}_{E_1};$$

$$\mathbf{n}_Y = \mathbf{X}_{E_2}\mathbf{Z}_{E_1} - \mathbf{X}_{E_1}\mathbf{Z}_{E_2};$$

$$\mathbf{n}_Z = \mathbf{X}_{E_1}\mathbf{Y}_{E_2} - \mathbf{X}_{E_2}\mathbf{Y}_{E_1}$$

în care: $\mathbf{X}_{E_1}, \mathbf{Y}_{E_1}, \mathbf{Z}_{E_1}$ și $\mathbf{X}_{E_2}, \mathbf{Y}_{E_2}, \mathbf{Z}_{E_2}$ sunt coordonatele punctelor minime ale profilului dintelui inițial E_1 și final E_2 ;

$\mathbf{n}_X, \mathbf{n}_Y, \mathbf{n}_Z$ - proiecțiile vectorului \mathbf{n} colinar cu vectorul vitezei punctului D al profilului în arc de cerc.

Profilul modificat al dintelui se descrie de ecuațiile

$$\xi^m = \mathbf{X}_E''^m \cos \frac{\pi}{Z_1} + [\mathbf{R}_D \cos(\delta + \theta + \beta) + \mathbf{Y}_E''^m] \sin \frac{\pi}{Z_1};$$

$$\xi^m = \mathbf{X}_E''^m \sin \gamma \sin \frac{\pi}{Z_1} - [\mathbf{R}_D \cos(\delta + \theta + \beta) + \mathbf{Y}_E''^m] \sin \gamma \cos \frac{\pi}{Z_1} +$$

$$+ [\mathbf{R}_D \sin(\delta + \theta + \beta) + \mathbf{Z}_E''^m] \cos \gamma, \quad (7)$$

unde:

$$\sin \gamma = \operatorname{tg}(\delta + \theta + \beta) / \left[\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta) \right]^{1/2};$$

$$\cos \gamma = \cos \frac{\pi}{Z_1} / \left[\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta) \right]^{1/2}.$$

Cama pentru realizarea modificării va fi descrisă în coordonate polare r, φ .

Raza r se calculează conform formulei

$$\mathbf{r} = \mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2 \cdot \mathbf{X}_C \quad (8)$$

unde \mathbf{C}_1 este o constantă egală cu raza camei în punctele unde $\mathbf{X}_C = \mathbf{0}$, iar \mathbf{C}_2 este raportul dintre brațele pârghiei de transmitere a valorii modificării sculei. Coordonata \mathbf{X}_C este funcție de unghiul de precesie ψ .

Ecuațiile parametrice ale camei sunt:

$$\mathbf{X}_{Ca} = r \cos \varphi;$$

$$\mathbf{Y}_{Ca} = r \sin \varphi;$$

în care: φ - unghiul de rotație a camei, variază de la $\mathbf{0}$ până la 2π rad.

Angrenajul propus permite ridicarea capacității portante a transmisiei datorită realizării la stadiul de fabricare a modificării de profil, valoarea de modificare a căruia este dictată de nivelul tensiunilor care apar la solicitarea dinților nemodificați.

Metoda de realizare a angrenajului propus permite lărgirea posibilităților tehnologice exprimată prin prelucrarea întregii game de profiluri ale dinților cu valoarea de modificare dictată de fiecare caz concret de solicitare.