

Invenția se referă la construcția de mașini, și anume la angrenaje și la procedee de realizare a acestora.

Se cunoaște un angrenaj sinusoidal și un procedeu de realizare a acestuia, care se utilizează în transmisia precesională și include o roată dințată cu dinți cu profil în arc de cerc și o roată dințată cu dinți cu profil curbiliniu, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu, precum și efectuarea de către roata dințată cu dinți cu profil în arc de cerc a unor mișcări coordonate în raport cu sistemele de coordonate mobil și imobil [1].

Se cunoaște, de asemenea, un angrenaj precesional, care conține o roată dințată cu dinți cu profil în arc de cerc și o roată dințată cu dinți cu profil curbiliniu, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu. Schema cinematică a angrenajului precesional include roata satelit instalată pe manivela arborelui conducător [2].

Dezavantajele acestor angrenaje constau în complexitatea lor, eficacitatea redusă a tehnologiei de fabricare, precum și uzura neuniformă a dinților roților dințate, totodată, acestea, fiind angrenaje tridimensionale, formează mișcarea sfero-spațială a satelitului, fapt ce conduce la complexitatea geometriei lor.

În calitate de cea mai apropiată soluție servește angrenajul precesional, care include dinți cu profil curbiliniu și dinți cu profil în arc de cerc, cu diferența între numărul dinților angrenați egală cu unu, executați în satelit, instalat pe manivela arborelui conducător. Parametrii geometrici ai angrenajului reprezintă unghiul de nutație Θ , format între axa arborelui conducător și axa manivelei, unghiul axoidei conice δ , pe care sunt amplasați dinții în arc de cerc și unghiul de conicitate al dinților în arc de cerc β .

Pentru modificarea profilului dinților angrenajului precesional este propus un procedeu de realizare a acestui angrenaj, care include efectuarea de către roata dințată cu dinți cu profil în arc de cerc a unor mișcări coordonate în raport cu sistemele de coordonate mobil și imobil, originea cărora coincide cu centrul mișcării sfero-spațiale, în care centrul dintelui cu profil în arc de cerc descrie o traiectorie cu coordonatele reprezentate de un sistem de ecuații parametrice [3].

Dezavantajele acestui angrenaj precesional și procedeu de realizare a lui constau în complexitatea geometriei și calculului angrenajului, deoarece profilul curbiliniu al dinților este dependent de un șir de parametri geometrici ai angrenajului. Mișcarea sfero-spațială a satelitului creează forțe axiale în angrenaj care sporesc uzura lui. Dinții cu profil în arc de cerc, care de obicei reprezintă niște role conice cu unghiul de conicitate β , în procesul de exploatare se uzează neuniform din cauza diametrelor diferite la extremități. Unghiul de nutație Θ , format între axa arborelui conducător și axa manivelei, prezintă un nod de dezechilibrare, care este o sursă de vibrație a satelitului sporind uzura lui, iar echilibrarea acestuia este dificilă. În procesul fabricării roții dințate cu dinți interiori apar dificultăți tehnologice de executare.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este simplificarea construcției angrenajului și a tehnologiei de fabricare, diminuarea uzurii dinților roților dințate, majorarea fiabilității performanțelor cinematice și funcționale și micșorarea vibrațiilor roților dințate în timpul funcționării angrenajului.

Angrenajul sinusoidal, conform primei variante, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține o roată dințată cu dinți interiori cu profil în arc de cerc și o roată dințată cu dinți exteriori cu profil curbiliniu, instalate pe un arbore, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu. Roata dințată cu dinți exteriori cu profil curbiliniu este executată cu un dinte mai puțin decât roata dințată cu dinți interiori cu profil în arc de cerc, care este legată cu un mecanism de tip bielă-manivelă, punctul trasor al căruia este executat cu posibilitatea glisării într-un profil teoretic al roții dințate cu dinți interiori cu profil în arc de cerc și amplasat pe axa centrului fix de rotație al angrenajului.

Angrenajul sinusoidal, conform variantei a doua, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține o roată dințată cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc și o roată dințată cu dinți interiori cu profil curbiliniu, instalate pe un arbore, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu. Roata dințată cu dinți interiori cu profil curbiliniu este executată cu un dinte mai mult decât roata dințată cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc, care este legată cu un mecanism de tip bielă-manivelă, punctul trasor al căruia este executat cu posibilitatea glisării într-un profil teoretic al roții dințate cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc și amplasat pe axa centrului fix de rotație al angrenajului.

Procedeu de realizare a angrenajului sinusoidal, conform invenției, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include efectuarea de către roata dințată cu dinți cu profil în arc de cerc a unor mișcări coordonate în raport cu sistemele de coordonate mobil și imobil. Originea sistemului de coordonate imobil coincide cu centrul fix de rotație și este legat cu partea imobilă prin mecanismul bielă-manivelă, cu ajutorul căruia roții dințate cu dinți cu profil în arc de cerc i se comunică o mișcare suplimentară de du-te-vino, care, cu ajutorul punctului trasor, se proiectează pe un plan imaginar cu formarea profilului teoretic al roții dințate cu dinți cu profil în arc de cerc. La o rotație completă a planului imaginar, manivela mecanismului bielă-manivelă efectuează un număr n de rotații complete și, respectiv, punctul trasor efectuează un număr n de mișcări de du-te-vino complete. Numărul n de rotații complete ale manivelei și de mișcări de du-te-vino complete ale punctului trasor este egal cu numărul de dinți ai roții dințate cu dinți cu profil curbiliniu. Dinții roții dințate cu profil în arc de cerc se deplasează pe profilul teoretic cu formarea unui profil real al roții dințate cu dinți cu profil curbiliniu.

Particularitățile invenției permit realizarea angrenajului sinusoidal, la baza formării căruia se află principiul de funcționare a mecanismului bielă-manivelă, care înlocuiește mișcarea sfero-spațială a satelitului cu mișcarea plan-paralelă a lui, înlăturând forțele axiale din angrenaj care sporesc uzura acestuia și simplificând geometria și calculul angrenajului prin eliminarea parametrilor geometrici care corespund angrenajului precesional ca: unghiul de nutație Θ , unghiul axoidei conice δ , unghiul de conicitate a dinților în arc de cerc β .

Executarea satelitului cu excentric, cu axe paralele în locul satelitului cu axe înclinate, conduce la simplificarea construcției angrenajului și tehnologiei de fabricare, iar echilibrarea lui este posibilă datorită executării pe satelit, de exemplu, a două excentrice, deplasate diametral opus sau utilizării contragreutății, ceea ce diminuează dezechilibrarea lui și elimină vibrația satelitului, care sporesc uzura angrenajului.

O altă particularitate a invenției permite executarea roților dințate cu dinți atât exteriori, cât și interiori cu profil curbiliniu fără dificultăți tehnologice de executare.

Rezultatul tehnic al invenției constă în simplificarea construcției angrenajului și tehnologiei de fabricare, precum și majorarea fiabilității, performanțelor cinematice și funcționale ale angrenajului.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1-8, care reprezintă:

- fig. 1, schema cinematică a mecanismului bielă-manivelă pentru obținerea profilului curbiliniu al roții dințate a angrenajului sinusoidal;
- fig. 2, profilul teoretic al roții dințate cu dinți cu profil curbiliniu;
- fig. 3, profilul real (de lucru) al roții dințate cu dinți exteriori cu profil curbiliniu, prima variantă;
- fig. 4, schema constructivă a angrenajului sinusoidal cu roata dințată cu dinți exteriori cu profil curbiliniu, prima variantă;
- fig. 5, profilul real (de lucru) al roții dințate cu dinți interiori cu profil curbiliniu, varianta a doua;
- fig. 6, schema constructivă a angrenajului sinusoidal cu roata dințată cu dinți interiori cu profil curbiliniu, varianta a doua;
- fig. 7, etapele de formare a angrenajului sinusoidal, schema generală, cu roata dințată cu dinți exteriori cu profil curbiliniu, prima variantă;
- fig. 8, etapele de formare a angrenajului sinusoidal, schema generală, cu roata dințată cu dinți interiori cu profil curbiliniu, varianta a doua.

Schema cinematică a mecanismului pentru obținerea profilului curbiliniu al roții dințate a angrenajului sinusoidal include manivela 1 a mecanismului bielă-manivelă (fig. 1), un capăt al căruia este situat în centrul fix de rotație 2, iar celălalt capăt este articulat cu biela 3 a mecanismului bielă-manivelă, unde la capătul liber al bielei 3 este amplasat punctul trasor 4 pe axa centrului fix de rotație 2 a angrenajului. De asemenea, centrul fix de rotație 2 este și centrul fix de rotație a planului imaginar 5, pe care este proiectată mișcarea de du-te-vino a punctului trasor 4, executat cu posibilitatea glisării în profilul teoretic 6 al roții dințate cu profil curbiliniu (fig. 2). Profilul teoretic 6 este o traiectorie care se formează la mișcarea de du-te-vino a punctului trasor 4, care se proiectează pe planul imaginar 5, executând o rotație completă la rotirea manivelei 1 a unui număr n de rotații complete, unde n este egal cu numărul de dinți ai roții dințate cu profil curbiliniu și, respectiv, punctul trasor 4 efectuează un număr n de mișcări de du-te-vino complete.

Angrenajul sinusoidal, conform primei variante, conține roata dințată 10 cu dinți interiori cu profil în arc de cerc 8 (fig. 3) și roata dințată 9 (fig. 4) cu dinți exteriori cu profil curbiliniu, instalate pe un arbore, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu, și anume roata dințată 9 este executată cu un dinte mai puțin decât roata dințată 10. Roata dințată 9 este legată cu mecanismul de tip bielă-manivelă, punctul trasor 4 al căruia este executat cu posibilitatea glisării în profilul teoretic 6 al roții dințate 10 și amplasat pe axa centrului fix de rotație 2 a angrenajului.

Profilul real 7 (fig. 3) al roții dințate 9 cu dinți exteriori se formează în rezultatul amplasării și deplasării centrului dintelui roții dințate 10 pe profilul teoretic 6, unde, în timpul mișcării, partea periferică interioară a dintelui roții dințate 10, cea din interiorul profilului teoretic 6, generează profilul real 7 al roții dințate 9 cu dinți exteriori. Roata dințată 9 cu dinți exteriori cu profil curbiliniu (fig. 4) este angrenată cu roata dințată 10 cu dinți interiori cu profil în arc de cerc 8.

Angrenajul sinusoidal, conform variantei a doua, conține roata dințată 13 cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc 8 (fig. 5) și roata dințată 12 (fig. 6) cu dinți interiori cu profil curbiliniu, instalate pe un arbore, cu diferența dintre numărul dinților angrenați egală cu unu, și anume roata dințată 12 este executată cu un dinte mai mult decât roata dințată 13. Roata dințată 12 este legată cu mecanismul de tip bielă-manivelă, punctul trasor 4 al căruia este executat cu posibilitatea glisării în profilul teoretic 6 al roții dințate 13 și amplasat pe axa centrului fix de rotație 2 a angrenajului.

Profilul real 11 (fig. 5) al roții dințate 12 cu dinți interiori se formează în rezultatul amplasării și deplasării centrului dintelui roții dințate 13 pe profilul teoretic 6, unde, în timpul mișcării, partea periferică exterioară a dintelui roții dințate 13, cea din exteriorul profilului teoretic 6, generează profilul real 11 al roții dințate 12 cu dinți interiori. Roata dințată 12 cu dinți interiori cu profil curbiliniu (fig. 6) este angrenată cu roata dințată 13 cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc 8.

Schemele generale cu etapele de formare a angrenajului sinusoidal cu roata dințată cu dinți exteriori cu profil curbiliniu din prima variantă și cu dinți interiori cu profil curbiliniu din varianta a doua sunt prezentate în figurile 7 și 8, respectiv.

Ca urmare, planul imaginar 5 și manivela 1 (fig. 7, 8) se rotesc cu viteze unghiulare constante ($\omega_{\text{plan}} = \text{const.}$ și $\omega_{\text{manivelă}} = \text{const.}$), totodată la o rotație completă a planului imaginar 5, manivela 1 efectuează un număr n de rotații complete și, respectiv, punctul trasor 4 efectuează un număr n de mișcări de du-te-vino complete, unde n este egal cu numărul de dinți ai roții dințate 9 cu dinți exteriori cu profil curbiliniu și ai roții dințate 12 cu dinți interiori cu profil curbiliniu.

În timpul rotirii planului imaginar 5 și manivelei 1, mișcarea de du-te-vino a punctului trasor 4 se proiectează pe planul imaginar 5, cu formarea profilului teoretic 6 al roții dințate 10 cu dinți interiori cu profil în arc de cerc 8 și al roții dințate 13 cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc 8.

Pentru angrenajul sinusoidal, din prima variantă, roata dințată 9 cu dinți exteriori cu profil curbiliniu este executată cu un dinte mai puțin decât roata dințată 10 cu dinți interiori cu profil în arc de cerc 8 (fig. 7).

Pentru angrenajul sinusoidal, din varianta a doua, roata dințată 12 cu dinți interiori cu profil curbiliniu este executată cu un dinte mai mult decât roata dințată 13 cu dinți exteriori cu profil în arc de cerc 8 (fig. 8).

Profilul curbiliniu al dinților exteriori și interiori ai roților dințate ale angrenajului sinusoidal se formează în modul următor.

Mișcarea de rotație a manivelei 1 (fig. 1) în jurul centrului fix de rotație 2 se transformă în mișcare de du-te-vino (mișcare liniară alternativă) a punctului trasor 4 prin intermediul bielei 3. Manivela 1, precum și planul imaginar 5 se rotesc în jurul centrului fix de rotație 2 cu viteze unghiulare constante ($\omega_1 = \text{const.}$, $\omega_5 = \text{const.}$). La o rotație completă a planului imaginar 5, manivela 1 efectuează un număr n de rotații complete, unde n este egal cu numărul de dinți ai roții dințate 9 și 12. Când manivela 1 efectuează un număr n de rotații complete, punctul trasor 4 prin intermediul bielei 3 efectuează un număr n de mișcări de du-te-vino complete, unde, în timpul mișcării de du-te-vino a punctului trasor 4, acesta se proiectează pe planul imaginar 5, formând profilul teoretic 6 (fig. 2) al roții dințate 10 și 13.

Astfel, de exemplu, când planul imaginar 5 (fig. 2) efectuează o rotație completă $n_{\text{plan}} = 1$, manivela 1 efectuează un număr $n_{\text{manivelă}}$ de rotații complete, unde $n_{\text{manivelă}}$ este egal cu numărul de dinți ai roții dințate 9 și 12 cu profi curbiliniu. Alegem, de exemplu, numărul de rotații ale manivelei 1 egal cu 8, $n_{\text{manivelă}} = 8$, astfel punctul trasor 4 (fig. 2) efectuează 8 mișcări de du-te-vino complete prin intermediul bielei 3, care se proiectează pe planul imaginar 5. Ca urmare, obținem profilul teoretic 6 al roții dințate 10 și 13, care reprezintă o curbă cu 8 perioade și care este rezultatul proiecției punctului trasor 4 pe planul imaginar 5.

Formarea profilului teoretic 6 (fig. 2) depinde de vectorul de poziție R (fig. 1) al punctului trasor 4 și de poziția unghiulară a manivelei 1. De exemplu, manivela 1 (fig. 1) are o lungime A , poziția unghiulară a manivelei 1 este descrisă de unghiul $\varphi = 0^\circ \dots 360^\circ$, iar biela 3 (fig. 1) are o lungime D , ca urmare, vectorul de poziție R al punctului trasor 4, în dependență de poziția unghiulară φ a manivelei 1, se determină după relația:

$$R = A(\cos \varphi - \sqrt{\frac{D^2}{A^2} - \sin^2 \varphi}),$$

unde:

R – vectorul de poziție al punctului trasor 4 (fig. 1);

A – lungimea manivelei 1;

D – lungimea bielei 3;

φ – unghiul care descrie poziția unghiulară a manivelei 1 ($\varphi = 0^\circ \dots 360^\circ$).

Dinții interiori ai roții dințate 10 cu profil în arc de cerc 8, centrul cărora se deplasează pe profilul teoretic 6, cu partea lor periferică interioară, cea din interiorul profilului teoretic 6 generează profilul real 7 (fig. 3, 4 și 7) al roții dințate 9 cu dinți exteriori cu profil curbiliniu.

Dinții exteriori ai roții dințate 13 cu profil în arc de cerc 8, centrul cărora se deplasează pe profilul teoretic 6, cu partea lor periferică exterioară, cea din exteriorul profilului teoretic 6 generează profilul real 11 (fig. 5, 6 și 8) al roții dințate 12 cu dinți interiori cu profil curbiliniu.

Angrenajul sinusoidal funcționează în modul următor.

La angrenarea dinților exteriori curbilinii ai roții dințate 9 cu dinții interiori în arc de cerc ai roții dințate 10, roata 9 va efectua o mișcare plan-paralelă (roata 10 este legată cu partea imobilă) cu gradul de reducere:

$$i = \frac{z_9}{z_{10} - z_9},$$

unde: z_9 și z_{10} sunt numărul de dinți ai roții 9 și 10, respectiv, stabiliți de corelația $z_9 = z_{10} - 1$.

La angrenarea dinților exteriori în arc de cerc ai roții dințate 13 cu dinții interiori curbilinii ai roții dințate 12, roata 13 va efectua o mișcare plan-paralelă (roata 12 este legată cu partea imobilă) cu gradul de reducere:

$$i = \frac{z_{13}}{z_{12} - z_{13}},$$

unde: z_{12} și z_{13} sunt numărul de dinți ai roții 12 și 13, respectiv, stabiliți de corelația $z_{13} = z_{12} + 1$.