

SISTEM TEHNOLOGIC DE GENERARE A DANTURILOR ROȚILOR ANGRENAJELOR PRECESIONALE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ CU SCULĂ PRECESIONALĂ

N. Trifan

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

O tehnologie din ce în ce mai răspândită în întreaga lume devine deformarea plastică la rece a roților dințate, asigurându-se, astfel o serie de avantaje față de procedeele clasice: consum redus de materiale și energie, strat superficial al dinților mai rezistent la diferite forme de deteriorare etc.

Tehnologia de deformare plastică a roților dințate la rece are o utilizare largă în industria constructoare de mașini, în mecanica fină, industria utilajelor metalurgice, a mijloacelor de transport, în special a corăbiilor, a mașinilor de tonaj mare etc. Acest procedeu de deformare plastică a roților dințate la rece poate fi realizat prin tehnologii convenționale sau neconvenționale [2, 3] iar alegerea lor depinde, în special, de prelucrabilitatea materialului semifabricatului [4]. Procedeele de prelucrare prin deformare plastică la rece se caracterizează printr-o serie de avantaje: se obțin piese de forme foarte apropiate de cele finite, cu adaosuri minime sau chiar fără adaosuri de material, astfel asigurând importante economii de materiale și de energie. Procedeele tehnologice sunt simple și înalt productive; utilajul utilizat este de tip universal, care poate fi deservit ușor, iar în caz de necesitate poate fi supus mecanizării și automatizării.

1. CINEMATICA PROCESULUI DE MOLETARE A DANTURII CU SCULĂ PRECESIONALĂ

La elaborarea tehnologiei de fabricare a danturilor roților centrale ale transmisiilor precesionale prin moletare s-au luat în considerație particularitățile constructiv-cinematice ale angrenajului precesional, printre care:

1. Profilul dinților roților centrale este convex-concav și variabil, dependent univoc de coraportul valoric al parametrilor geometrici ai angrenajului (δ , θ , β , z).

2. Prelungirile generatoarelor dinților roților angrenate (și ale axelor rotelor în cazul angrenajelor

dinte-rolă) se intersectează într-un punct (centru de precesie).

3. Diferența numerelor de dinți ai roților angrenate nu poate fi decât ± 1 . Angrenarea dinților coroanelor satelitului cu dinții roților centrale este multipară ($\varepsilon=100\%$ perechi de dinți).

4. Pentru asigurarea multiplicității angrenării și continuității funcției de transformare a mișcării și sarcinii în transmisia precesională reală, procedeul tehnologic de generare a danturii prin moletare trebuie să întrunească următoarele condiții:

- respectarea în ansamblu a particularităților constructiv-cinematice ale angrenajului precesional, descrise în p. 1- 4;

- respectarea similarității interacțiunii rotelor generatoare de profil cu semifabricatul cu interacțiunea dinților în angrenajul precesional real;

- rotele generatoare de profil au formă geometrică și dimensiuni similare cu forma activă a flancurilor dinților din coroanele satelitului precesional.

2. SCHEMA PRINCIPIALĂ A PROCESULUI DE GENERARE A PROFILULUI CU SCULĂ PRECESIONALĂ

În fig. 1 a este prezentată schema principală a procesului de generare a profilului dinților roților centrale prin moletare cu scula generatoare de profil, care reproduce mișcarea sfero-spațială din transmisia precesională reală.

Deci, scula generatoare 2 reprezintă o coroană din role în formă de trunchi de con cu numărul de dinți $Z_2=Z_1+1$ la moletarea danturilor cu regim de reducere și $Z_2=Z_1-1$, – cu regim de multiplicare. Dimensiunile rotelor de formare 2 trebuie să corespundă cu dimensiunile rotelor din transmisia reală în cazul angrenajului dinte-rolă, iar în cazul angrenajului dinte-dinte trebuie să corespundă cu raza medie a profilului în arc de cerc al dinților satelitului [1]. Axele rotelor 2 trebuie să fie plasate pe suprafața axoidei conice cu unghiul de vârf $(\frac{\pi}{2}-\delta)$, iar prelungirile generatoarelor acestora – să

se intersecteze în centrul O . Sculei 2 (coroanei cu role) i se comunică mișcare sfero-spațială cu un punct fix suprapus cu centrul O (centrul de precesie) și, concomitent, mișcare de rotație cu viteza unghiulară ω_2 . Aceste mișcări ale sculei trebuie să fie coordonate între ele astfel încât să se respecte

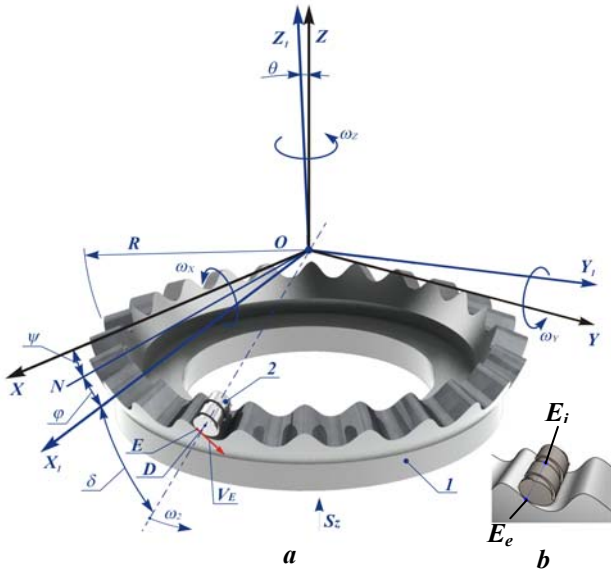


Figura 1. Schema principală de generare a danturii roților angrenajului precesional prin moletare (a) și traiectoria mișcării liniei de contact $E_e E_i$ (b).

următoarele două condiții:

- traiectoria mișcării liniei de contact $E_e E_i$ (fig. 1. b) a sculei (rolei) 2 cu roata-semifabricat 1 să reproducă traiectoria mișcării liniei de contact dintre dinții angrenajului precesional real;
- forma profilului generat al dinților să asigure continuitatea funcției de transformare a mișcării în transmisia precesională reală.

Pentru respectarea acestor condiții este necesar ca traiectoria mișcării sfero-spațiale a unui punct de contact al sculei cu profilul dintelui în proces de generare să coincidă cu traiectoria mișcării punctului similar de contact al dinților din transmisia reală. Pentru descrierea traiectoriei unui punct de contact al sculei cu semifabricatul plasat pe suprafața sferică cu raza R , în schema din fig. 1 a admitem sistemul imobil de coordonate $OXYZ$ (de referință), legat cu semifabricatul, și sistemul mobil de coordonate $OX_1Y_1Z_1$, legat cu scula generatoare de profil. Originile sistemelor de coordonate coincid în punctul O . Semifabricatul este instalat astfel încât axa lui să coincidă cu axa OZ , iar axa coroanei cu role (sculei) – cu axa OX_1 . Axele rolelor formează cu planul OX_1Y_1 unghiul δ , egal cu unghiul axoidei

conice din transmisia reală, și se intersectează în centrul de precesie O . Deoarece roata-semifabricat 1 este legată fix cu sistemul imobil de coordonate $OXYZ$, coroana cu role 2 (scula) cinematic este legată cu acesta astfel încât viteza unghiulară ω_2 a sculei 2, să corespundă cu valoarea vitezei unghiulare proprii a satelitului din transmisia reală. Deci, sistemul mobil de coordonate $OX_1Y_1Z_1$, cu care este legată fix scula 2 efectuează în raport cu sistemul imobil de coordonate $OXYZ$ mișcare sfero-spațială în jurul centrului de precesie O , descrisă cu unghiurile Euler φ , ψ și θ , unde:

φ este unghiul dintre linia nodurilor ON (de intersecție a planurilor OXY și OX_1Y_1) și axa mobilă OX_1 , definit ca unghi de rotire proprie a sculei (în transmisia reală – a satelitului în jurul axei sale);

ψ – unghiul dintre linia nodurilor ON și axa imobilă OX , definit ca unghiul de precesie a sculei (în transmisia reală – a arborelui-manivelă);

θ – unghiul de nutație, egal cu unghiul de înclinare a arborelui-manivelă, care comunică sculei 2 mișcare sfero-spațială cu un punct fix (în transmisia reală a arborelui-manivelă). În mișcarea sfero-spațială a sculei, unghiurile φ , ψ și θ le considerăm cu sens de rotire împotriva acelor de ceasornic în raport cu linia nodurilor ON și axele OX și OZ .

Conform schemei principale din fig.1 a, b, la fiecare ciclu de precesie a sculei semifabricatului i se comunică o deplasare în direcția axei OZ cu avansul S_z dependent de rezistența materialelor la deformare. Factorii ce determină rezistența de deformare plastică sunt proprietățile fizico-mecanice ale materialului, presiunea în contact sculă-semifabricat, temperatura, inclusiv viteza interacțiunii sculei cu semifabricatul în punctul de contact V_E . Viteza V_E a punctului de contact E plasat pe sfera cu raza R este variabilă ca valoare și ca direcție.

3. DISPOZITIV DE PRELUCRARE

Dispozitivul de prelucrare prin deformare plastică cu mișcare sfero-spațială a coroanei cu role în formă de trunchi de con (sculei) (fig. 2) [5, 6] este constituit din carcasa 6, în care este fixată roata centrală 4, dinții căreia angrenează cu rolele 3 ai coroanei 7, instalate pe arborele-manivelă 5, cuplat la mecanismul de acționare. Prelungirile generatoarelor dinților de pe dantură roții centrale imobile 4, ale rolelor 3 și 2, precum și axa porțiunii înclinate a arborelui-manivelă 5 se intersectează în centrul O (centru de precesie).

La rotirea arborelui-manivelă 5 cuplat la mecanismul de acționare, satelitul format din coroanele 7 și 8 efectuează mișcare sfero-spațială în jurul centrului de precesie O . În cazul în care roata centrală fixă 4 are numărul de dinți Z_4 , iar coroana 7 conține rolele 3 cu $Z_3 = Z_4 + 1$, satelitul se va roti în jurul propriei axe cu raportul de reducere $i = -\frac{Z_3}{Z_3 - Z_4}$ în sens opus rotirii arborelui-manivelă 5, iar în cazul în care $Z_3 = Z_4 - 1$ se va roti în sens unic.

Rolele de deformare plastică 2 fiind instalate în coroana 8 sunt antrenate în mișcarea sfero-spațială în jurul centrului de precesie O și în mișcare de rotație în jurul propriei axe cu aceeași reducere $i = \pm \frac{Z_3}{Z_3 - Z_4}$.

În cazul în care prelungirile generatoarelor rolor de deformare plastică 2 se intersectează în același centru de precesie O ca și prelungirile generatoarelor dinților angrenajului format din roata centrală 4 și coroana 7 cu rolele 3, interacțiunea rolor de deformare plastică 2 cu semifabricatul 1 este similară cu cea din transmisia precesională reală. Pentru ca rolele de deformare plastică 2 în mișcarea lor sfero-spațială să genereze corect profilul dinților în semifabricatul 1, este necesar ca angrenarea acestora să se reproducă similar angrenării din transmisia reală. Aceasta se realizează prin coordonarea mișcărilor de precesie ψ , de unghiul de rotire a satelitului portrole de deformare plastică în jurul axei proprii φ și de unghiul de nutație θ .

Semifabricatul 1 nu se rotește, deci $\omega_1 = 0$. În acest caz raportul de transmitere i a mișcării de rotație de la arborele-manivelă 5 către semifabricatul 1 trebuie să fie infinit: $i = \infty$. Acest raport poate fi realizat prin selectarea coraportului numărului de dinți, și anume: numărul dinților roții centrale Z_4 trebuie să fie egal cu numărul dinților roții fabricate (semifabricatului) Z_1 ; numărul rolor 3 ale coroanei 7 Z_3 trebuie să fie egal cu numărul rolor de deformare plastică 2 Z_2 , iar coraportul $-Z_4 = Z_3 - 1$ și $Z_1 = Z_2 - 1$.

Deci, în cazul în care $Z_3 = Z_2$, $Z_4 = Z_1$, $Z_4 = Z_3 - 1$ și $Z_1 = Z_2 - 1$,

$$i = -\frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_4 Z_2 - Z_3 Z_1} = \infty.$$

Coroana 8 cu rolele de deformare plastică 2 vor efectua mișcare sfero-spațială în jurul centrului de precesie O și, totodată, mișcare de rotație în

același sens cu arborele-manivelă 5 în jurul propriei axe cu viteza unghiulară:

$$\omega_{sat} = \omega_5 \frac{(Z_4 - Z_3)}{Z_3}.$$

Coroana 8 în mișcarea sa sfero-spațială angrenează rolele de deformare plastică 2 cu semifabricatul 1 (roata imaginată) cu diferența de dinți $Z_1 = Z_2 - 1$. În acest caz semifabricatul 1 în

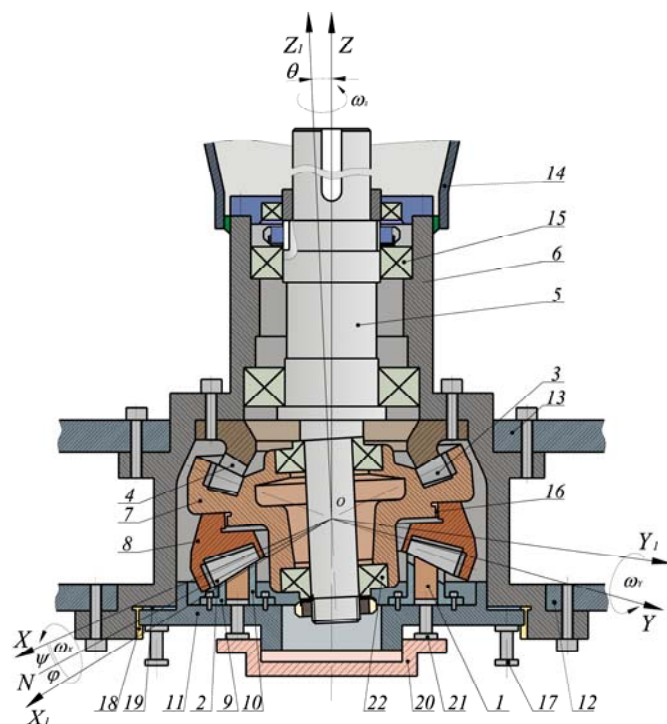


Figura 2. Dispozitivul de prelucrare a danturilor prin deformare plastică cu mișcare sfero-spațială a sculei precesionale cu raport de transmitere a lanțului cinematic $i = \infty$.

raport cu coroana cu role de deformare plastică 2 se va roti cu viteza unghiulară $\omega_{s/f}$ în sens opus arborelui-manivelă 5.

Arborele-manivelă 5 este montat în perechea de rulmenți 15 și 22. Nodul de deformare plastică se instalează pe traversele 12 și 13, iar ghidajul 14 servește pentru transmiterea momentului reactiv la batiu. Blocul-satelit format din coroanele 7 și 8 sunt asamblate prin intermediul șlițurilor dreptunghiulare 16. Centrarea are loc pe părțile frontale ale șlițurilor, prin care se transmite momentul de torsiune. Capacul 11 pe care este fixat semifabricatul are posibilitatea de a se deplasa în direcția avansului de deformare plastică sub acțiunea tijelor 17. Capacul 11, de asemenea se deplasează pe șlițurile dreptunghiulare 18 cu centrarea pe părțile laterale ale acestora. Prin intermediul tijelor 21, acționate de flanșa 20, roata

dințată prelucrată este extrasă din cavitatea profilurilor dințate 9 și 10. Prezența inelelor de reglare 19 ne dă posibilitatea să obținem diferite înălțimi ale dinților.

4. VITEZELE LINIARE ALE PUNCTULUI DE CONTACT AL SCULEI PRECESIONALE CU SEMIFABRICATUL

Viteza deformării plastice are o influență majoră asupra modificării structurii și proprietăților fizico-mecanice ale metalului deformat. Pornind de la specificul mișcării sfero-spațiale a sculei, viteza liniară a acesteia o determinăm prin punctul D (fig. 1 a), care corespunde cu centrul rolei.

Din relațiile proiecțiilor vitezelor unghiulare pe axele X, Y, Z [1] obținem viteza liniară a centrului rolei, notat prin D , după următoarele:

$$V_{xd} = R_D \cdot \dot{\psi} \cdot \cos \delta \left[\sin \psi \cdot \sin \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) - \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \cos \psi \cdot \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) + \right. \\ \left. + \cos \psi \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) \cdot \cos \theta - \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \sin \psi \cdot \sin \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) \cdot \cos \theta \right] - \\ - R_D \cdot \dot{\psi} \cdot \cos \delta \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta;$$

$$V_{yd} = R_D \cdot \dot{\psi} \cdot \cos \delta \left[\cos \psi \cdot \sin \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) + \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \sin \psi \cdot \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) - \right. \\ \left. - \sin \psi \times \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) \cdot \cos \theta - \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \cos \psi \cdot \sin \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) \cdot \cos \theta \right] - \\ - R_D \cdot \dot{\psi} \cdot \sin \delta \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta;$$

$$V_{zd} = R_D \cdot \dot{\psi} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \cos \delta \cdot \sin \left(\frac{Z_1}{Z_2} \psi \right) \cdot \sin \theta$$

unde R_D este raza din centrul O , în jurul căruia rola efectuează mișcare sfero-spațială până la punctul D ;

Z_1 – numărul de dinți ai roții centrale imobile;

Z_2 – numărul de dinți (role) ai coroanei 8 a satelitului;

δ – unghiul axoidei conice;

θ – unghiul de nutație;

β – unghiul de conicitate a roților.

Viteza liniară a centrului sculei notat prin D va fi:

$$V_D = \sqrt{V_{XD}^2 + V_{YD}^2 + V_{ZD}^2}.$$

Viteza liniară relativă V_E sculă-semifabricat se determină la fel ca și viteza liniară relativă a punctului D după următoarea relație:

$$V_E = \dot{\psi} \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}$$

unde:

$$A_1 = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} \sin \theta \cos \psi Z_E - \left(1 - \frac{Z_1}{Z_2} \cos \theta \right) Y_E};$$

$$A_2 = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} \sin \theta \sin \psi Z_E + \left(1 - \frac{Z_1}{Z_2} \cos \theta \right) X_E};$$

$$A_3 = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} \sin \theta \sin \psi Y_E + \cos \psi X_E}.$$

5. CONCLUZII

Cercetarea procesului de prelucrare a roților dințate din angrenajul precesional cu profil convex-concav al dinților prin deformare plastică prin rulare cu sculă precesională și elaborarea sistemului tehnologic de generare a danturii are premise favorabile de conturare a unei tehnologii de aplicare în practică industrială;

Descrierea analitică a vitezei liniare relative a punctului de contact „sculă-semifabricat” – parametru important pentru stabilirea parametrilor tehnologici ai procesului de deformare plastică prin rulare a dinților cu profil convex-concav.

Bibliografie

1. **Bostan I., Dulgheru V., Glușco C., Mazuru S., Vaculenco M.** Antologia invențiilor. Volumul 2. Transmisii planetare precesionale: teoria generării angrenajelor precesionale, control dimensional, proiectare computerizată, aplicații industriale, descrieri de invenții. Ch.: Ed. Bons Offices, 2011. 537 p. ISBN 978-9975-4100-9-0-4.
2. **Chelu Gh., Bendic V.** Tehnologii neconvenționale de matrițare și forjare. Ed. Tehnică, București: 1996, 160 p. ISBN 973-31-0741-7.
3. **Grănescu Tr., Slătineanu L., Marin Al.** Tehnologii de danturare a roților dințate. Manual de proiectare. Ed. Universitas, Ch.: 1993, 406 p. ISBN 5-362-01009-3.
4. **Nagîț Gh., Braha V., Rusu B.** Bazele prelucrării prin deformare plastică. Ed. Tehnica-Info, Ch.: 2002, 398 p. ISBN 9975-63-106-1.
5. **Bostan I., Mazuru S., Trifan N.** NB 2704 (MD), CIB B 21H 5/00, 1/06. Dispozitiv de moletare a profilurilor dințate pe semifabricate inelare. Nr. a 2002 0269 Decl. 05.11.2002; Publ. BOPI, 2005, Nr. 2.
6. **Bostan I., Dulgheru V., Trifan N.** NB 2791 (MD), CIB B 21 H 5/ 04, 1/ 06; B 21 D 53/ 28. Dispozitiv de deformare plastică a roților dințate. Nr. a 2003 0213; Decl. 10.09.2003; Publ. BOPI, 2005, Nr. 6.

Recomandat spre publicare: 28.07.2011