



MD 4861 C1 2024.01.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **4861** (13) **C1**
(51) Int.Cl: *B29C 64/10* (2017.01)
B29C 64/106 (2017.01)
B29C 64/20 (2017.01)
B29C 64/209 (2017.01)
B29C 64/227 (2017.01)
B29C 64/232 (2017.01)
B29C 64/236 (2017.01)
B29C 64/241 (2017.01)
B29C 64/379 (2017.01)

(12) BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. depozit: a 2020 0061 (22) Data depozit: 2020.06.22 (41) Data publicării cererii: 2021.12.31, BOPI nr. 12/2021	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2023.06.30, BOPI nr. 6/2023
(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: DULGHERU Valeriu, MD; BOSTAN Ion, MD; CIOBANU Radu, MD; CIOBANU Oleg, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD	

(54) Procedee și dispozitive de fabricare aditivă a roților dințate și angrenaje precesionale

(57) Rezumat:

1
Invenția se referă la construcția de mașini, în special la tehnologiile de fabricare aditivă a roților dințate ale transmisiilor planetare precesionale.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate constau în faptul că depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare dodecaedrice cu structură fină sau din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial al dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare de tip

2
diamant cu structură grosieră sau din pulberi metalice cu adaos de lubrifiant solid din unități celulare de tip romb cu structură grosieră. Depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților cu profil convexe-concav, se realizează din material polimeric sau pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină. Depunerea se realizează prin mișcare sfero-spațială.

Dispozitivele de fabricare aditivă a roților dințate conțin o carcasă, cu unul sau cel puțin, două capuri cu duze cu funcționare succesivă, o platformă, cel puțin un motor

MD 4861 C1 2024.01.31

electric, cel puțin un alimentator de material polimeric, un stativ și un sistem de control computerizat.

Angrenajele precesionale conțin o pereche de roți dințate, angrenate cu posibilitatea executării mișcărilor de frecare și de rostogolire. Dinții unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții

altei roți dințate sunt executați cu profil circular. Stratul superficial al dintelui este executat cu o grosime de (0,1–0,2) părți din grosimea medie a dintelui sau cu grosimea de (0,2–0,5) mm.

Revendicări: 11

Figuri: 13

(54) Processes and devices for additive manufacturing of gearwheels and precessional gears

(57) Abstract:

1

The invention relates to mechanical engineering, in particular to additive technologies for the manufacture of gearwheels of planetary precessional transmissions.

The processes for additive manufacturing of gearwheels consist in the fact that deposition of the layer of polymeric material, which forms the core of the gearwheel tooth is carried out of dodecahedral cellular elements with a fine structure or of metal powders of dodecahedral cellular elements with a fine structure, at the same time deposition of the layer of polymeric material, which forms the surface layer of the gearwheel tooth, is carried out of diamond-type cellular elements with a coarse structure or of metal powders with the addition of a solid lubricant of rhomboid cellular elements with a coarse structure. The deposition of the layer of polymeric material of diamond-type cellular elements with a coarse structure on the surface of teeth with a convex-concave profile is

2

carried out of polymeric material or metal powders of dodecahedral cellular elements with a fine structure. Deposition is carried out by sphero-spatial motion.

The devices for additive manufacturing of gearwheels comprise a housing with one or at least two nozzle heads with sequential action, a platform, at least one electric motor, at least one polymeric material feeder, a tripod and a computer control system.

The precessional transmissions comprise a pair of gearwheels, engaged with the possibility of performing frictional and rocking motions. The teeth of one gearwheel are made with a convex-concave profile, and the teeth of the other gearwheel are made with an annular profile. The surface layer of the tooth is made with a thickness of (0.1-0.2) fraction of the average thickness of the tooth or with a thickness of (0.2-0.5) mm.

Claims: 11

Fig.: 13

(54) Способы и устройства аддитивного производства зубчатых колес и прецессионные передачи

(57) Реферат:

1
Изобретение относится к машиностроению, в частности к аддитивным технологиям производства зубчатых колес прецессионных планетарных передач.

Способы аддитивного производства зубчатых колес состоят в том что, нанесение слоя из полимерного материала, который образует сердцевину зуба зубчатого колеса, выполняется из додекаэдрических ячеистых элементов с тонкой структурой или из металлических порошков из додекаэдрических ячеистых элементов с тонкой структурой, при этом нанесение слоя из полимерного материала, который образует поверхностный слой зуба зубчатого колеса, выполняется из ячеистых элементов алмазного типа с грубой структурой или из металлических порошков с добавлением твердой смазки из ромбовидных ячеистых элементов с грубой структурой. Нанесение слоя из полимерного материала из ячеистых элементов алмазного типа с грубой структурой на поверхность зубов с выпукло-вогнутым профилем, выполняется из полимерного материала или

2
металлических порошков из додекаэдрических ячеистых элементов с тонкой структурой. Нанесение осуществляется пространственно-сферическим движением.

Устройства аддитивного производства зубчатых колес содержат корпус с одной или по меньшей мере двумя сопловыми головками с последовательным действием, платформу, по меньшей мере один электрический двигатель, по меньшей мере один питатель полимерным материалом, штатив и система компьютерного управления.

Прецессионные передачи содержат пару зубчатых колес, находящихся в зацеплении с возможностью выполнения фрикционного и качающегося движений. Зубья одного зубчатого колеса выполнены с выпукло-вогнутым профилем, а зубья другого зубчатого колеса выполнены с кольцевым профилем. Поверхностный слой зуба выполнен толщиной (0,1-0,2) доли от средней толщины зуба или толщиной (0,2-0,5) мм.

П. формулы: 11

Фиг.: 13

Descriere:

Invenția se referă la construcția de mașini, în special la tehnologiile de fabricare aditivă a roților dințate ale transmisiilor planetare precesionale.

5 Este cunoscut un procedeu de fabricare aditivă a unei părți pentru a fi utilizată la turnarea unei componente de matriță, care include etape de depunere a stratului subțire din pulberi din material polimeric pe un pat de construire și aplicarea selectivă a solventului pentru legătură pe anumite regiuni ale stratului subțire din pulberi din material polimeric [1].

10 De asemenea, sunt cunoscute sisteme și procedee de fabricare aditivă, care construiesc obiecte strategice prin tehnici de fabricare aditivă, care utilizează diferite seturi de caracteristici de depunere și/sau caracteristici de formare a materialului în timpul fabricării aditive a unui obiect, cum ar fi o roată dințată, astfel încât să construiască în mod strategic obiectul. În multe realizări, materialul utilizat pentru construirea unui obiect, este depus la diferite viteze de depunere a materialului. Într-un mod de realizare, procedeul de fabricare aditivă a unui obiect include depunerea materialului pe o suprafață la o primă viteză de depunere, astfel încât să se definească o primă regiune a obiectului, care urmează să fie fabricat aditiv; și depunerea materialului pe o suprafață la o a doua viteză de depunere, astfel încât să se definească o a doua regiune a obiectului, care urmează să fie fabricat aditiv [2].

Dezavantajul acestor soluții constă în caracteristicile mecanice reduse ale materialelor.

20 Cea mai apropiată soluție față de procedeele și dispozitivele revendicate, este un procedeu și un dispozitiv de fabricare aditivă a roților dințate, care utilizează un material de construcție fluid, care poate fi solidificat, și care include un ansamblu de extrudare a materialului fluid, elemente care definesc prima și a doua suprafață, o primă duză pentru livrarea materialului fluid într-o locație predeterminată, un prim control pentru deplasarea ansamblului de extrudare de-a lungul unui traseu predeterminat, care definește o zonă închisă, o primă alimentare pentru livrarea materialului fluid către ansamblul de extrudare pentru a extrage materialul din prima duză dintr-un strat pe măsură ce prima duză este deplasată de-a lungul traseului [3]

Dezavantajul procedurii și dispozitivului de fabricare aditivă constă în complexitatea tehnologică.

30 Cea mai apropiată soluție față de angrenajele revendicate este un angrenaj precesional, care conține două roți dințate cu dinți cu profil evolventic, pe suprafețele de lucru ale cărora este aplicat un strat subțire de material elastic, astfel încât alunecarea și fricțiunea exterioară, care are loc parțial între dinții angrenajului cu profil evolventic este preluată de frecarea interioară a stratului elastic [4].

35 Drept dezavantaje ale invenției cunoscute este faptul că aplicarea materialelor elastice este posibilă doar pe suprafețele dinților cu profil evolventic standardizat și nu poate fi utilizată pentru suprafețele nestandarde ale dinților (cu profil cicloidal, în arc de cerc, convex-concav al angrenajului precesional), precum și imposibilitatea formării stratului elastic pe suprafețele nestandarde ale dinților din angrenajele precesionale, și caracteristicile mecanice și antifricțiune slabe ale stratului superficial al dinților.

40 Problema, pe care o rezolvă invenția, constă în reducerea pierderilor de putere la frecare de alunecare în angrenajele precesionale, majorarea caracteristicilor mecanice și antifricțiune ale materialului suprafețelor dinților, simplitate tehnologică relativă.

45 Procedeul de fabricare aditivă a roților dințate, conform primei realizări, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include depunerea unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață la o primă rată de depunere, astfel încât să se definească o primă regiune a roții dințate prin fabricare aditivă, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a roții dințate, depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial al dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră.

50 Dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate, conform primei realizări, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține un sistem de control computerizat, configurat pentru a obține un model tridimensional al unei roți dințate și pentru a cartografia modelul acesteia prin împărțirea roții dințate în două sau mai multe regiuni de delimitare, în care perimetrul fiecărei regiuni de delimitare este definit de o suprafață de graniță tridimensională. Dispozitivul mai conține o carcasă, pe care este instalat un cap cu duză, executat cu geometria deschiderii variată, o platformă pentru fabricarea roții dințate și un alimentator de material polimeric. Totodată, dispozitivul conține unul sau, cel puțin, două capuri cu duze cu funcționare succesivă, astfel încât următoarea duză depune următorul strat din material polimeric pe stratul format de duza premergătoare. Dispozitivul poate fi dotat suplimentar cu un rezervor de pulberi

metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifiant solid, care comunică cu un alimentator de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifiant solid.

Angrenajul precesional, conform primei realizări, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține o pereche de roți dințate, angrenate cu posibilitatea executării unei componente de mișcare de frecare și unei componente de mișcare de rostogolire, dinții ai cel puțin unei roți dințate sunt formați dintr-un miez rigid din metal sau material sintetic și dintr-un strat superficial de material elastic. Roțile din angrenajul precesional sunt executate din material polimeric prin fabricare aditivă, miezul dintelui fiind executat din unități celulare dodecaedrice cu o structură fină, totodată stratul superficial al dintelui, format din unități celulare de tip diamant cu densitate grosieră, este executat cu o grosime de (0,1–0,2) părți din grosimea medie a dintelui, unitățile celulare sunt orientate cu axa de maximă elasticitate perpendicular pe suprafața de lucru a dintelui. Dinții unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții altei roți dințate sunt executați cu profil circular, straturile superficiale (9, 10) fiind executate nedeformat și/sau în stare deplasată a stratului exterior.

Procedul de fabricare aditivă a roților dințate, conform celei de-a doua realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață deja formată a dinților roții dințate, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată, depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților cu profil convex-concav ale roții dințate se realizează din material polimeric din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată depunerea se realizează prin mișcare sfero-spațială, traiectoria centrului duzei fiind descrisă după 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:

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

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

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m,$$

$$Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m,$$

$$Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.$$

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.$$

$$\varepsilon^m = -D / [AX_{1E}^m + BY_{1E}^m + CZ_{1E}^m]$$

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

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

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

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

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

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

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

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

5 Dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate, conform celei de-a doua realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține un stativ, pe care este instalat un cap cu duză, executat cu geometria deschiderii variată, o platformă pentru fabricarea roții dințate, și un alimentator de material polimeric. Roata dințată prefabricată este instalată pe un disc superior cu posibilitatea rotirii în jurul axei sale, discul superior fiind montat pe un suport, care este unit cu arborele unui motor electric, și amplasat prin intermediul unui disc intermediar și al unui corp sferic pe un disc inferior cu o flanșă înclinată, care este instalat pe o platformă fixă a dispozitivului, unită cu arborele unui motor electric, 10 totodată capul cu duză este instalat pe stativ prin intermediul unei planșe reglabile cu posibilitatea deplasărilor liniare în plan vertical și orizontal. Motoarele electrice și deplasările liniare ale capului cu duză sunt controlate de sistemul de control computerizat.

15 Dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate, conform celei de-a treia realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că roata dințată prefabricată instalată pe platformă cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axelor OZ și, respectiv, OY, iar capul cu duză este instalat pe stativ prin intermediul unei planșaiube cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axei OY și a unei deplasări liniare pe direcția axei OX; mișcările de rotație ale roții dințate și capului cu duză, și deplasările liniare ale capului cu duză sunt controlate de sistemul de control computerizat.

20 Procedul de fabricare aditivă a roților dințate, conform celei de-a treia realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui roții dințate se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu o structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial al dintelui, se realizează din pulberi metalice cu adaos de lubrifianț solid din unități celulare de tip romb cu structură grosieră. 25

Procedul de fabricare aditivă a roților dințate, conform celei de-a patra realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților cu profil convex-concav ale roții dințate se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină.

30 Angrenajul precesional, conform celei de-a doua realizare, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că roțile din angrenajul precesional sunt executate din pulberi metalice, miezul dintelui fiind executat din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, iar stratul superficial al dinților perechilor de roți dințate, format din pulberi metalice cu adaos de lubrifianț solid de grafit sau MoS₂ din unități celulare de tip romb cu structură grosieră, este executat cu grosimea de (0,2-0,5) mm. 35 Dinții unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții altei roți dințate sunt executați cu profil circular. Dinții doar a unei roți dințate pot fi acoperiți cu stratul superficial; sporiul stratului superficial al dintelui, care este executat din unități celulare de tip romb pot fi umpluți cu lubrifianț lichid.

Avantajele, pe care le asigură prezenta invenție, constau în următoarele:

40 - fabricarea dinților roții dințate cu ajutorul mai multor capuri cu duze prin depunerea imediată a următorului strat, asigură o mai bună aderență între straturi și la majorarea rezistenței mecanice a dinților;

- crearea unui strat superficial din material polimeric cu structură elastică, asigură reducerea pierderilor la frecare de alunecare în angrenajul precesional;

45 - depunerea stratului superficial al dinților cu profil nestandard și anume convex-concav deja format, asigură simplitate tehnologică și caracteristici mecanice îmbunătățite ale stratului superficial al dinților;

- fabricarea roților dințate din pulberi metalice monocomponente cu structură fină a miezului dinților și cu structură grosieră a stratului superficial al dinților cu adaos de lubrifianț solid (grafit sau desulfură de molibden, MoS₂), asigură rezistență mecanică sporită a dinților și reducerea pierderilor de putere la frecare de alunecare în angrenajul precesional;

50 - fabricarea dinților din pulberi metalice cu structură fină a unităților celulare dodecaedrice, pe care se depune un strat polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră, asigură reducerea pierderilor de putere în angrenaj cu respectarea rezistenței mecanice a dinților;

- umplerea porilor stratului superficial al dinților din pulberi metalice cu lubrifianț lichid, asigură reducerea pierderilor de putere la frecare de alunecare în angrenaj.

55 Invenția se explică prin desenele din fig. 1–12, care prezintă:

- fig. 1, vederea generală a dispozitivului de fabricare aditivă a roților dințate prin printare 3D (conform primei realizări);

- fig. 2, schema depunerii aditive a straturilor polimerice prin utilizarea mai multor capuri cu duze;

- fig. 3, imaginea dintelui cu profil convex-concav;

5 - fig. 4, imaginea dintelui cu profil circular;

- fig. 5, vederea I din fig. 3(4) a stratului superficial în stare nedeformată;

- fig. 6, vederea I din fig. 3(4) a stratului superficial după acțiunea forței de frecare de alunecare din angrenaj;

- fig. 7, vederea generală a dispozitivului de fabricare aditivă a roților dințate prin printare 3D (cea de a doua realizare);

10 - fig. 8, vederea generală a dispozitivului de fabricare aditivă a roților dințate prin printare 3D (cea de a treia realizare);

- fig. 9, vederea generală a dispozitivului de fabricare aditivă a roților dințate prin printare 3D a dinților din pulberi metalice cu strat superficial de antifricțiune;

15 - fig. 10, angrenajul precesional dintre dinții cu profil convex-concav și cu profil circular, executați din pulberi metalice, ambele profiluri de dinți fiind acoperiți cu strat superficial elastic;

- fig. 11, angrenajul precesional dintre dinții cu profil convex-concav și cu profil circular, executați din pulberi metalice, doar un profil de dinți fiind acoperiți cu strat superficial elastic;

20 - fig. 12, dinte executat din pulberi metalice cu strat superficial al dinților din unități celulare de tip romb;

- fig. 13, dinte executat din pulberi metalice cu strat superficial al dinților din unități celulare de tip romb, umplute cu lubrifianț lichid.

25 Procedul de fabricare aditivă a roților dințate include depunerea print-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață la o primă rată de depunere, astfel încât să se definească o primă regiune a roții dințate prin fabricare aditivă, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a roții dințate, depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial al dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare tip diamant cu structură grosieră.

30 Procedul de fabricare aditivă a roților dințate din material polimeric se bazează pe dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate (fig. 1, 2), care conține carcasa 1, pe care este instalat unul sau, cel puțin, două capuri cu duze 2, 2', 2'', 2''', executate cu geometria deschiderii variată și cu funcționare succesivă, astfel încât următoarea duză 2' depune următorul strat din material polimeric pe stratul format de duza 2 premergătoare. Dispozitivul mai conține platforma 3 pentru fabricarea roții dințate 4, alimentatorul 5 de material polimeric. Procesul este dirijat de sistemul de control computerizat 6. Dispozitivul este dotat suplimentar cu rezervorul 28 de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifianț solid (fig. 9), care comunică cu alimentatorul 27 de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifianț solid.

40 Angrenajul precesional (fig. 3, 4) conține o pereche de roți dințate, angrenate cu posibilitatea executării unei componente de mișcare de frecare și unei componente de mișcare de rostogolire. Dinții 7, 8 ai cel puțin unei roți dințate sunt formați dintr-un miez rigid din metal sau material sintetic și dintr-un strat superficial de material elastic. Roțile sunt executate din material polimeric prin fabricare aditivă. Miezul dintelui 7, 8 este executat din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, dinții 7 sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții 8 sunt executați cu profil circular. Straturile superficiale 9 și 10 ale dinților 7 și 8 formate din unități celulare de tip diamant cu densitate grosieră, sunt executate cu grosimea de (0,1-0,2) părți din grosimea medie a dintelui 7, 8. Unitățile celulare sunt orientate cu axa de maximă elasticitate perpendicular pe suprafața de lucru a dintelui 7 și 8. Straturile superficiale 9 și 10 sunt executate nedeformat (fig. 5) și/sau în stare deplasată a stratului exterior (fig. 6).

50 Procedul de fabricare aditivă a roților dințate, conform altei realizări, include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață deja formată a dinților roții dințate, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată, depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților 7 cu profil convex-concav ale roții dințate 11 se realizează din material polimeric din unități celulare dodecaedrice cu structură fină. Depunerea se realizează prin mișcare sfero-spațială, traiectoria centrului duzei se descrie după ecuațiile:

55

$$\begin{aligned}\xi^m &= X_E''^m \cos \frac{\pi}{Z_1} + [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \frac{\pi}{Z_1}; \\ \zeta^m &= X_E''^m \sin \gamma \sin \frac{\pi}{Z_1} - [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \gamma \cos \frac{\pi}{Z_1} + \\ &+ [R_D \sin(\delta + \theta + \beta) + Z_E''^m] \cos \gamma.\end{aligned}$$

unde:

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

$$\begin{aligned}X_E''^m &= \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, \\ Y_E''^m &= \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, \\ Z_E''^m &= \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.\end{aligned}$$

5

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.$$

$$\varepsilon^m = -D / [AX_{1E}^m + BY_{1E}^m + CZ_{1E}^m]$$

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

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

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

$$\begin{aligned}D &= (Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1})n_X + (X_{E_2}Z_{E_1} - Z_{E_2}X_{E_1})n_Y + \\ &+ (X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1})n_Z;\end{aligned}$$

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

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

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

10

Procedeeul de fabricare aditivă a roților dințate se bazează pe o altă realizare a dispozitivului de fabricare aditivă a roților dințate (fig. 7), care conține roata dințată prefabricată 11, instalată pe discul superior 12 cu posibilitatea rotirii în jurul axei sale, discul superior 12 fiind montat pe suportul 13, care este unit cu arborele motorului electric 14. Suportul 13 este amplasat prin intermediul discului intermediar 15 și al corpului sferic 16 pe discul inferior 18 cu flanșa înclinată 17, care este instalat pe platforma fixă 19 a dispozitivului, unită cu arborele motorului electric 20. Pe stativul 21 al platformei 19, este instalat capul cu duză prin intermediul planșei reglabile 23, cu posibilitatea deplasărilor liniare în plan vertical și orizontal. Funcționarea motoarelor electrice 14 și 20 și realizarea deplasărilor liniare ale capului cu duză sunt controlate de sistemul de control computerizat 6.

15

20

Dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate, conform altei realizări (fig. 8), constă în aceea că roata dințată prefabricată 11 este instalată pe platforma 24 cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axelor OZ și, respectiv, OY. Capul cu duză 22 este instalat pe stativul 25 prin intermediul planșei 26 cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axei OY și a unei deplasări liniare pe direcția axei OX. Mișcările de rotație ale roții dințate 11 și ale capului cu duză 22, și deplasările liniare ale capului cu duză 22 sunt controlate de sistemul de control computerizat 6.

25

6.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate, conform altei realizări, constă în aceea că depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui 7 roții dințate 11, se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial 9 al dintelui 7, se realizează din pulberi metalice cu adaos de lubrifiant solid din unități celulare de tip romb cu structură grosieră.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate, conform altei realizări, constă în aceea că depunerea stratului din material polimeric cu structură grosieră din unități celulare de tip diamant pe suprafața dinților 7 cu profil convex-concav ale roții dințate 11 se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate din material polimeric se bazează pe dispozitivul de fabricare aditivă a roților dințate (fig. 9), care este similar dispozitivului descris în primul mod de realizare (fig. 1), fiind dotat suplimentar cu alimentatorul 27 de pulberi metalice sau de amestec din pulberi metalice cu adaos de lubrifiant solid de grafit sau MoS₂ și cu rezervorul suplimentar 28 de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifiant solid.

Angrenajul precesional, în alt mod de realizare (fig. 10-13), constă în faptul că roțile din angrenajul precesional sunt executate din pulberi metalice, miezul dintelui 7, 8 fiind executat din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, iar stratul superficial 9, 10 al dinților 7, 8 ale perechilor de roți dințate, format din pulberi metalice cu adaos de lubrifiant solid de grafit sau MoS₂ din unități celulare de tip romb cu structură grosieră, este executat cu grosimea de (0,2-0,5) mm. Dinții 7 ale unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții 8 ale altei roți dințate sunt executați cu profil circular. Dinții 7 sau 8 doar a unei roți dințate pot fi acoperiți cu stratul superficial 9 sau 10. Porii stratului superficial 9, 10 al dintelui 7, 8, care este executat din unități celulare de tip romb, pot fi umpluți cu lubrifiant lichid.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate se realizează în modul următor.

În procedeul de fabricare aditivă a roților dințate din material polimeric (în primul mod de realizare) dinții 7 cu profil convex-concav sau dinții 8 cu profil circular, inclusiv, stratul superficial 9 sau 10 (fig. 1, 2, 3, 4), se formează strat cu strat prin mișcări coordonate ale capului cu duză 2, din material polimeric sub formă pulverulentă, controlate de sistemul de control computerizat 6: miezul dintelui roții dințate se realizează din material polimeric prin depunerea unităților celulare dodecaedrice cu structură fină. Stratul superficial 9 sau 10 se realizează din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră, astfel încât, axa de elasticitate maximă a unităților celulare să fie orientate perpendicular pe suprafața de lucru a dintelui. Pentru o mai bună aderență a straturilor se propune utilizarea a două sau mai multor capuri cu duză (2, 2', 2''...). Următorul cap cu duză (2', 2''...) va depune următorul strat de material aditiv imediat pe stratul anterior format, fapt ce asigură o mai bună aderență între straturi și o productivitate mai înaltă. Amplasarea unităților celulare de tip diamant cu structură grosieră cu axa elasticității maxime perpendicular pe suprafața de lucru a dinților (fig. 5), asigură elasticitate stratului superficial al dinților, astfel, încât, în prezența frecării de alunecare în angrenajul precesional „dinte-dinte” stratul superficial al dinților să efectueze o oarecare deplasare față de partea rigidă a dintelui în limitele elasticității permise de unitățile celulare de tip diamant. În cazul aplicării stratului superficial 9 și 10 pe ambii dinți 7 și 8 angrenați, deplasarea relativă sumară va compensa totalmente forța de frecare de alunecare din angrenajul precesional.

În procedeul de fabricare aditivă a roților dințate din material polimeric (în cel de-al doilea mod de realizare) pe suprafețele deja formate ale dinților 7, se depune materialul polimeric aditiv prin duza capului 22, care efectuează o mișcare sfero-spațială (precesională) cu parametri geometro-cinematici asigurați de dispozitivul din figura 7 și mișcare de translație de avans spre centrul roții dințate 11 sau pe verticală, controlate de sistemul de control computerizat 6, formând, în final, stratul superficial 9. Astfel, stratul superficial 9 al dintelui 7 va avea o structură mai rezistentă la acțiunea forțelor de rupere în angrenaj, o structură mai omogenă cu o capacitate de funcționare optimă în condițiile de deformări ciclice ale unităților celulare de tip diamant la intrarea și ieșirea din angrenare.

În procedeul de fabricare aditivă a roților dințate din material polimeric (în cel de-al treilea mod de realizare, realizat de dispozitivul din figura 8) roata dințată 11 cu profil convex-concav al dinților 7, formată prealabil, efectuează mișcări de rotație coordonate în jurul axelor OZ și OY, iar capul cu duză 22 efectuează mișcări coordonate de rotație în jurul axei OX și, respectiv, deplasări liniare pe direcția axei OY și OZ. Astfel, procedeul constă în interpolarea a două mișcări de rotație ale roții prefabricate 11 și a unei mișcări de rotație a capului cu duză 22, celelalte două mișcări de translație fiind de avans. Stratul superficial 9 se obține precum aceleiași proprietăți ca și în cazul precedent. Acest procedeu posedă o serie de avantaje precum productivitate și precizie înalte de prelucrare.

Procedeele de fabricare aditivă a roților dințate prin depunerea pulberilor metalice (în cel de-al patrulea mod de realizare) include depunerea stratului subțire din material polimeric pe o suprafață deja

formată a dinților roții dințate, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată. Depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților 7 cu profil convex-concav ale roții dințate 11 se realizează din pulberi metalice cu unități celulare dodecaedrice cu structură fină.

5 Prin procedeul de fabricare aditivă a roților dințate din pulberi metalice miezul dintelui 7, 8 este fabricat din pulberi metalice cu unități celulare de tip dodecaedru cu structură fină, iar stratul superficial 9 sau 10 al dintelui este fabricat din pulberi metalice cu densitate grosieră cu adaos de lubrifiant solid (grafit sau MoS₂) din unități celulare de tip romb, alimentate prin alimentatorul suplimentar 27, din rezervorul suplimentar 28, fapt ce asigură reducerea pierderilor de putere la frecare de alunecare în angrenajul precesional „dinte-dinte”. În alt mod de realizare a procedurii (fig. 9-12) stratul superficial 9 sau 10 al dintelui se depune din material polimeric din unități celulare de tip diamant, alimentate prin alimentatorul suplimentar 27 din rezervorul suplimentar 28 cu material polimeric. Spațiile dintre elementele unităților celulare de tip romb pot fi umplute cu lubrifiant lichid (fig. 13), fapt ce asigură o reducere suplimentară a pierderilor de putere la frecare de alunecare în angrenajul precesional „dinte-dinte”.

(56) Referințe bibliografice citate în descriere:

1. US 2013220570 A1 2013.08.29
2. US 2015014885 A1 2015.01.15
3. US 5529471 A 1996.06.25
4. US 4184380 A 1980.01.22

(57) Revendicări:

1. Procedeul de fabricare aditivă a roților dințate, care include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață la o primă rată de depunere, astfel încât să se definească o primă regiune a roții dințate prin fabricare aditivă, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a roții dințate, **caracterizat prin aceea că** depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial al dintelui roții dințate, se realizează din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră.

2. Dispozitiv de fabricare aditivă a roților dințate, care conține un sistem de control computerizat (6), configurat pentru a obține un model tridimensional al unei roți dințate și pentru a cartografia modelul acesteia prin împărțirea roții dințate în două sau mai multe regiuni de delimitare, în care perimetrul fiecărei regiuni de delimitare este definit de o suprafață de graniță tridimensională, dispozitivul mai conține o carcasă (1), pe care este instalat un cap cu duză (2), executat cu geometria deschiderii variată, o platformă (3) pentru fabricarea roții dințate (4), și un alimentator (5) de material polimeric, **caracterizat prin aceea că** conține unul sau, cel puțin, două capuri cu duze (2) cu funcționare succesivă, astfel încât următoarea duză depune următorul strat din material polimeric pe stratul format de duza premergătoare.

3. Dispozitiv, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** este dotat suplimentar cu un rezervor (28) de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifiant solid, care comunică cu un alimentator (27) de pulberi metalice sau de amestec de pulberi metalice cu lubrifiant solid.

4. Angrenaj precesional, care conține o pereche de roți dințate, angrenate cu posibilitatea executării unei componente de mișcare de frecare și unei componente de mișcare de rostogolire, dinții (7, 8) ai cel puțin unei roți dințate sunt formați dintr-un miez rigid din metal sau material sintetic și dintr-un strat superficial de material elastic, **caracterizat prin aceea că** roțile din angrenajul precesional sunt executate din material polimeric prin fabricare aditivă, miezul dintelui (7, 8) fiind executat din unități celulare dodecaedrice cu o structură fină, totodată stratul superficial (9, 10) al dintelui (7, 8), format din unități celulare de tip diamant cu densitate grosieră, este executat cu o grosime de (0,1–0,2) părți din grosimea medie a dintelui (7, 8), unitățile celulare sunt orientate cu axa de maximă elasticitate perpendicular pe suprafața de lucru a dintelui (7, 8); dinții (7) unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții (8) altei roți dințate sunt executați cu profil circular, straturile superficiale (9, 10) fiind executate nedeformate și/sau în stare deplasată a stratului exterior.

5. Procedeul de fabricare aditivă a roților dințate, care include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață deja formată a dinților roții dințate, apoi depunerea

controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată, **caracterizat prin aceea că** depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților (7) cu profil convex-concav ale roții dințate (11) se realizează din material polimeric din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată depunerea se realizează prin mișcare sfero-spațială, traiectoria centrului duzei fiind descrisă după ecuațiile:

$$\begin{aligned}\xi^m &= X_E''^m \cos \frac{\pi}{Z_1} + [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \frac{\pi}{Z_1}; \\ \zeta^m &= X_E''^m \sin \gamma \sin \frac{\pi}{Z_1} - [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \gamma \cos \frac{\pi}{Z_1} + \\ &+ [R_D \sin(\delta + \theta + \beta) + Z_E''^m] \cos \gamma.\end{aligned}$$

unde:

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

$$\begin{aligned}X_E''^m &= \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, \\ Y_E''^m &= \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, \\ Z_E''^m &= \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.\end{aligned}$$

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m.$$

$$\begin{aligned}\varepsilon^m &= -D / [AX_{1E}^m + BY_{1E}^m + CZ_{1E}^m] \\ A &= (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_Y - (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_Z; \\ B &= (X_{E_2} - X_{E_1})n_Z - (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_X; \\ C &= (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_X - (X_{E_2} - X_{E_1})n_Y; \\ D &= (Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1})n_X + (X_{E_2}Z_{E_1} - Z_{E_2}X_{E_1})n_Y + \\ &+ (X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1})n_Z; \\ n_X &= Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1}; \\ n_Y &= X_{E_2}Z_{E_1} - X_{E_1}Z_{E_2}; \\ n_Z &= X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1}.\end{aligned}$$

6. Dispozitiv de fabricare aditivă a roților dințate, care conține un sistem de control computerizat (6), configurat pentru a obține un model tridimensional al unei roți dințate și pentru a cartografia modelul acesteia prin împărțirea roții dințate în două sau mai multe regiuni de delimitare, în care perimetrul fiecărei regiuni de delimitare este definit de o suprafață de graniță tridimensională, dispozitivul mai conține un stativ (21), pe care este instalat un cap cu duză, executat cu geometria deschiderii variată, o platformă (24) pentru fabricarea roții dințate (11), și un alimentator de material polimeric, **caracterizat prin aceea că** roata dințată prefabricată (11) este instalată pe un disc superior (12) cu posibilitatea rotirii în jurul axei sale, discul superior (12) fiind montat pe un suport (13), care este unit cu arborele unui motor electric (14), și amplasat prin intermediul unui disc intermediar (15) și al unui corp sferic (16) pe un disc inferior (18) cu o flanșă înclinată (17), care este instalat pe o platformă fixă (19) a dispozitivului, unită cu

arborele unui motor electric (20), totodată capul cu duză este instalat pe stativ (21) prin intermediul unei planșe reglabile (23) cu posibilitatea deplasărilor liniare în plan vertical și orizontal; motoarele electrice (14, 20) și deplasările liniare ale capului cu duză sunt controlate de sistemul de control computerizat (6).

7. Dispozitiv de fabricare aditivă a roților dințate, care conține un sistem de control computerizat (6), configurat pentru a obține un model tridimensional al unei roți dințate și pentru a cartografia modelul acesteia prin împărțirea roții dințate în două sau mai multe regiuni de delimitare, în care perimetrul fiecărei regiuni de delimitare este definit de o suprafață de graniță tridimensională, dispozitivul mai conține un stativ (25), pe care este instalat un cap cu duză (22), executat cu geometria deschiderii variată, o platformă (24) pentru fabricarea roții dințate (11), și un alimentator de material polimeric, **caracterizat prin aceea că** roata dințată prefabricată (11) este instalată pe platformă (24) cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axelor OZ și, respectiv, OY, iar capul cu duză (22) este instalat pe stativ (25) prin intermediul unei planșaiabe (26) cu posibilitatea efectuării mișcărilor coordonate de rotație în jurul axei OY și a unei deplasări liniare pe direcția axei OX; mișcărilor de rotație ale roții dințate (11) și capului cu duză (22), și deplasările liniare ale capului cu duză (22) sunt controlate de sistemul de control computerizat (6).

8. Procedeu de fabricare aditivă a roților dințate, care include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață deja formată a dinților roții dințate, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată, **caracterizat prin aceea că** depunerea stratului din material polimeric, care formează miezul dintelui (7) roții dințate (11), se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, totodată, depunerea stratului din material polimeric, care formează stratul superficial (9) al dintelui (7), se realizează din pulberi metalice cu adaos de lubrifianț solid din unități celulare de tip romb cu structură grosieră.

9. Procedeu de fabricare aditivă a roților dințate, care include depunerea printr-o duză a unui strat subțire din material polimeric pe o suprafață deja formată a dinților roții dințate, apoi depunerea controlată computerizat a altor straturi până la formarea definitivă a stratului pe roata dințată, **caracterizat prin aceea că** depunerea stratului din material polimeric din unități celulare de tip diamant cu structură grosieră pe suprafața dinților (7) cu profil convex-concav ale roții dințate (11) se realizează din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină.

10. Angrenaj precesional, care conține o pereche de roți dințate, angrenate cu posibilitatea executării unei componente de mișcare de frecare și unei componente de mișcare de rostogolire, dinții ai cel puțin unei roți dințate sunt formați dintr-un miez rigid din metal sau material sintetic și dintr-un strat superficial de material elastic, **caracterizat prin aceea că** roțile din angrenajul precesional sunt executate din pulberi metalice, miezul dintelui (7, 8) fiind executat din pulberi metalice din unități celulare dodecaedrice cu structură fină, iar stratul superficial (9, 10) al dinților (7, 8) perechilor de roți dințate, format din pulberi metalice cu adaos de lubrifianț solid de grafit sau MoS₂ din unități celulare de tip romb cu structură grosieră, este executat cu grosimea de (0,2-0,5) mm; dinții (7) unei roți dințate sunt executați cu profil convex-concav, iar dinții (8) altei roți dințate sunt executați cu profil circular.

11. Angrenaj precesional, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că** dinții (7 sau 8) doar a unei roți dințate sunt acoperiți cu stratul superficial (9 sau 10); porii stratului superficial (9, 10) al dintelui (7, 8), care este executat din unități celulare de tip romb sunt umpluți cu lubrifianț lichid.

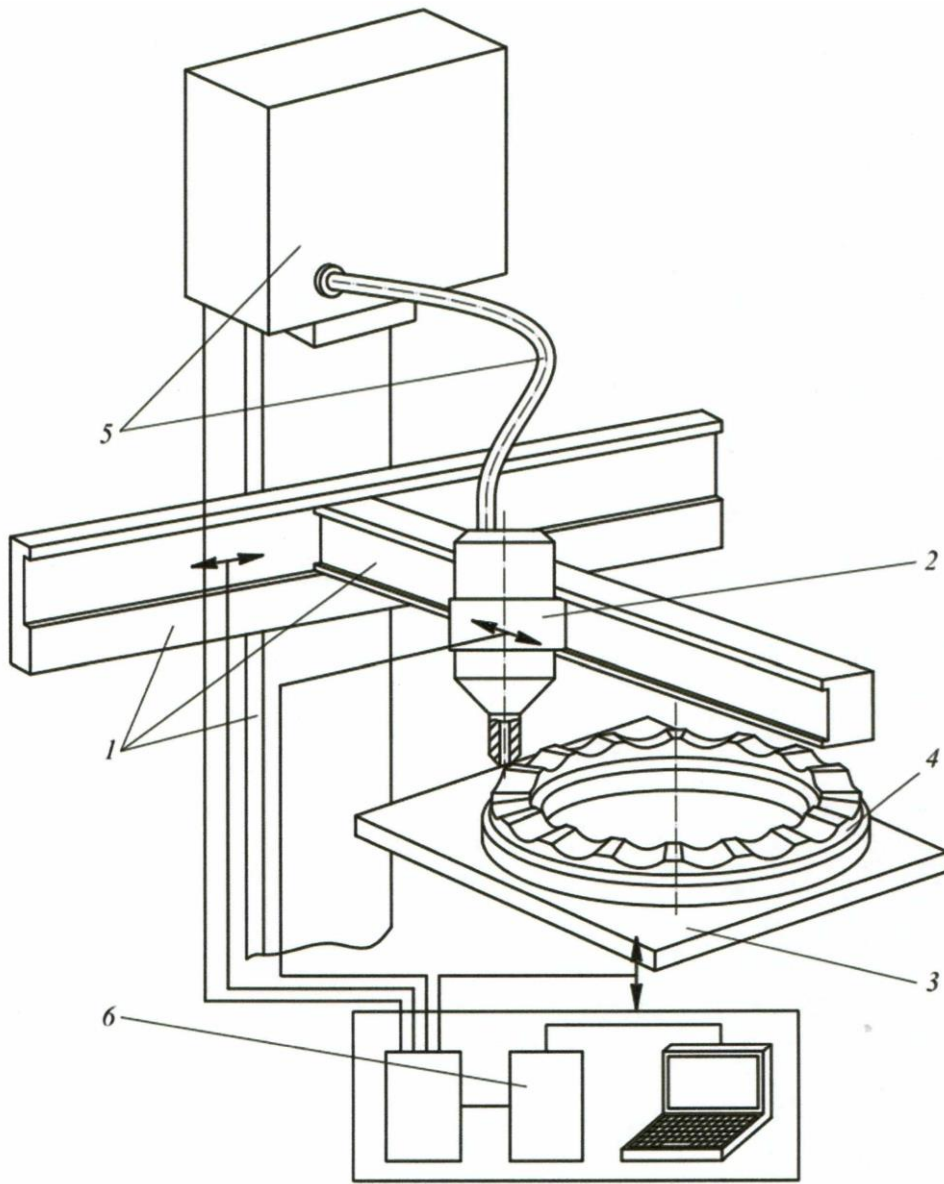


Fig. 1

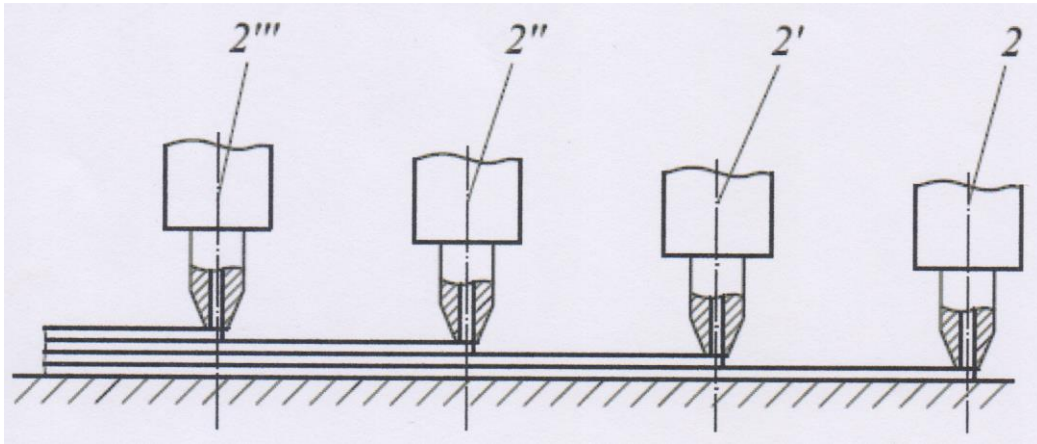


Fig. 2

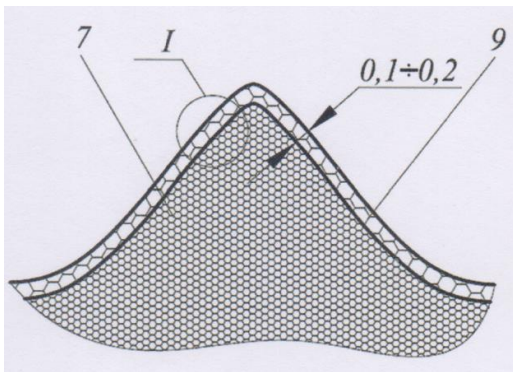


Fig. 3

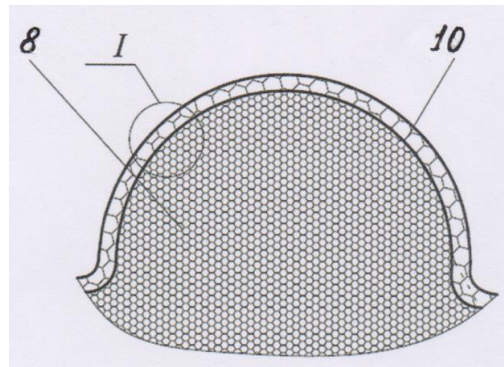


Fig. 4

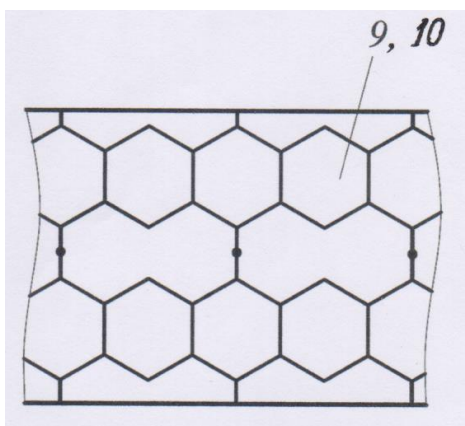


Fig. 5

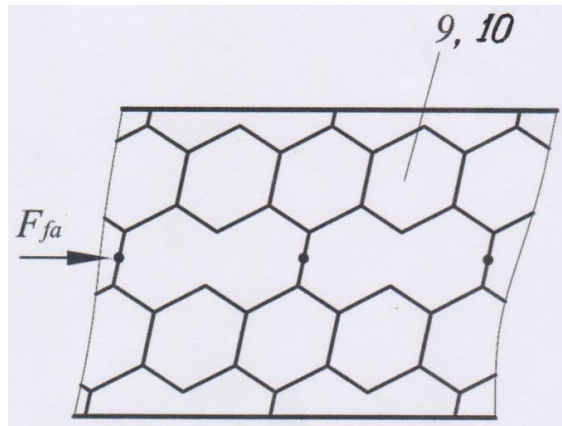


Fig. 6

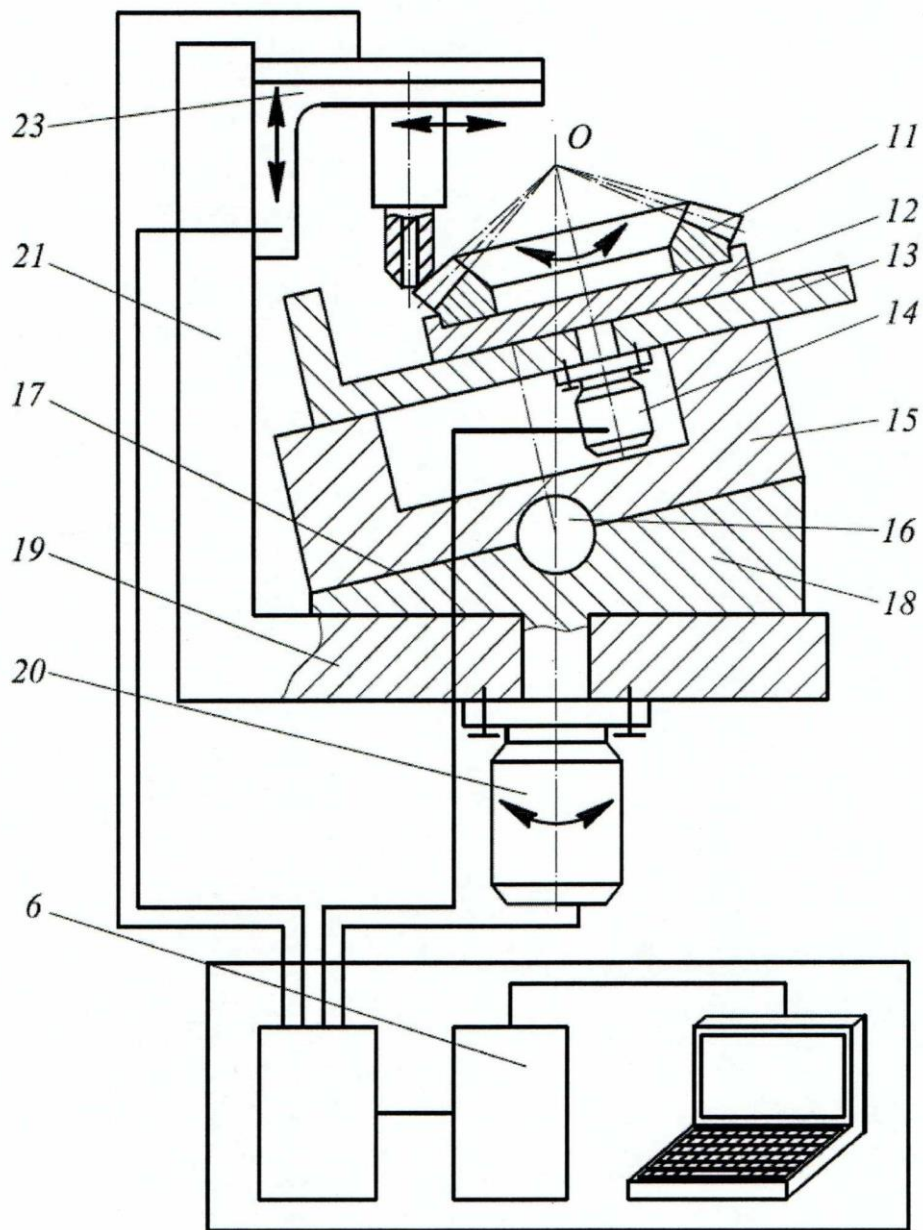


Fig. 7

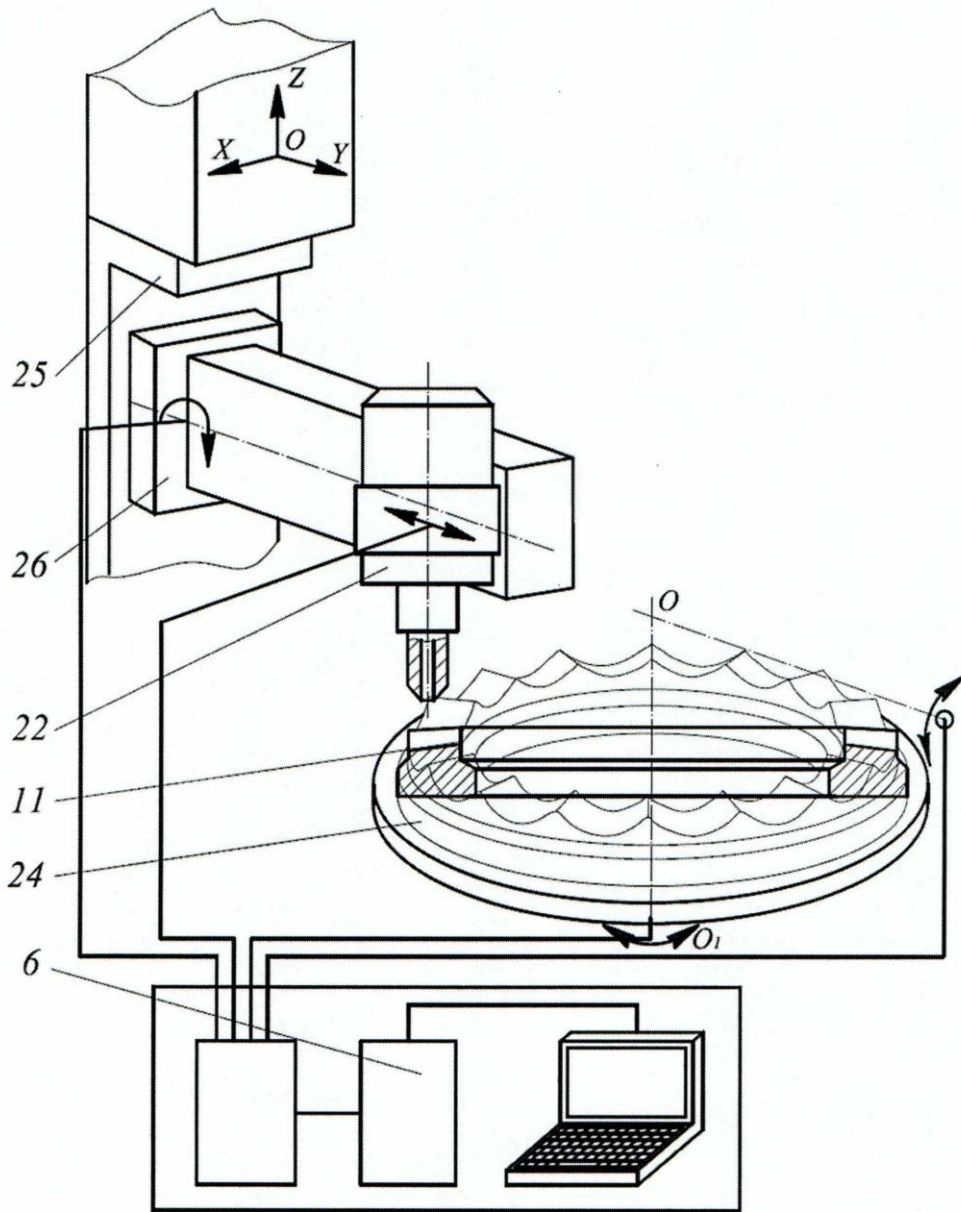


Fig. 8

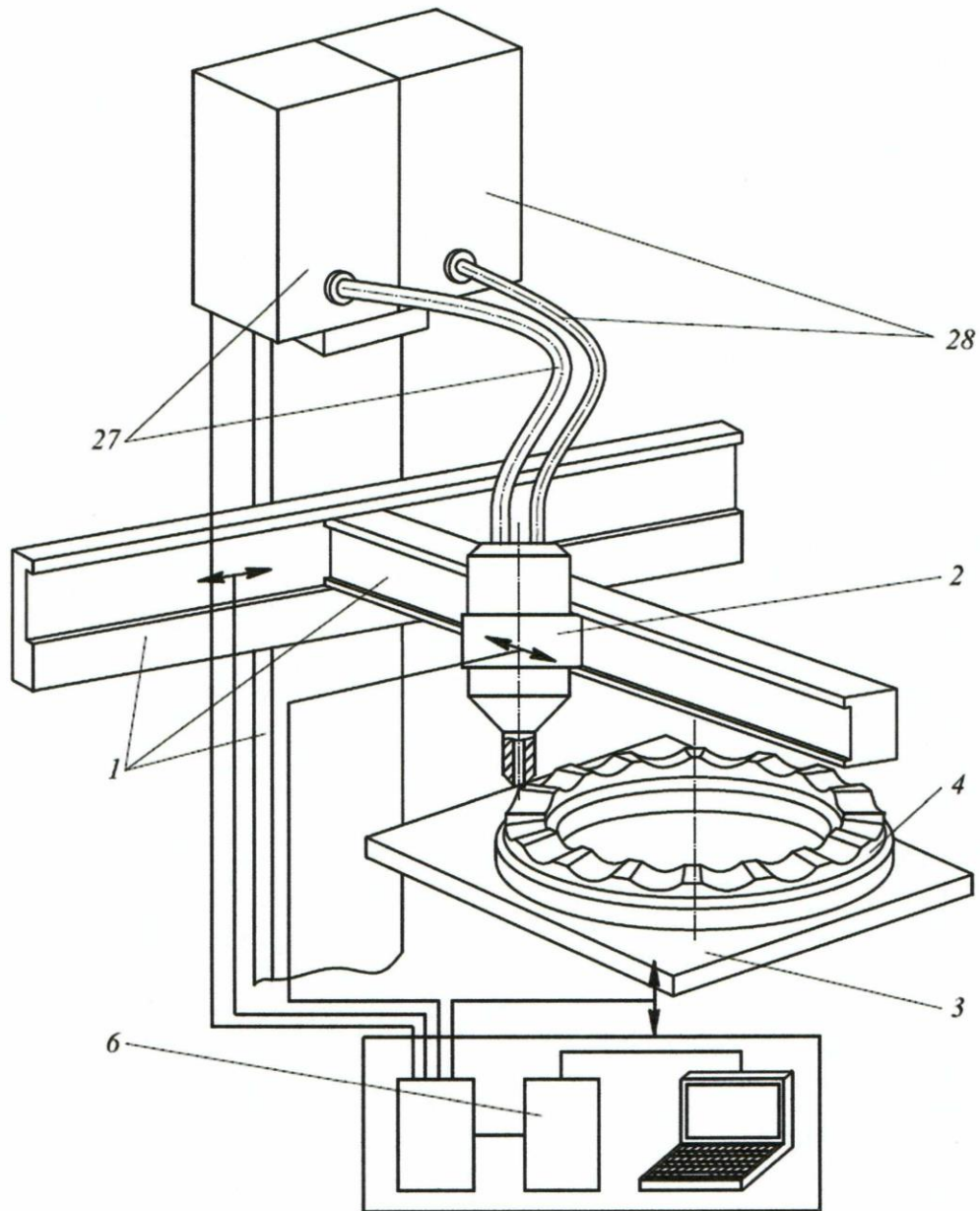


Fig. 9

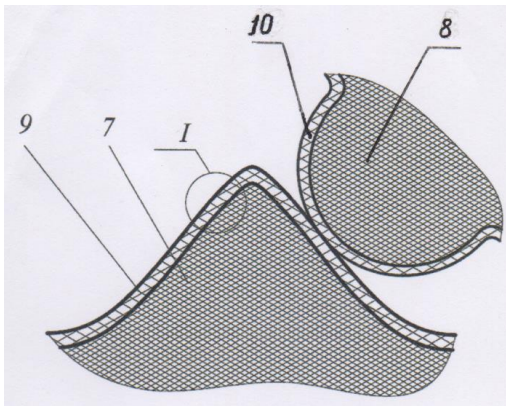


Fig. 10

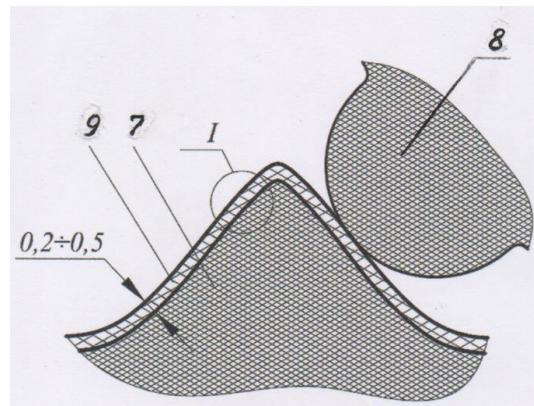


Fig. 11

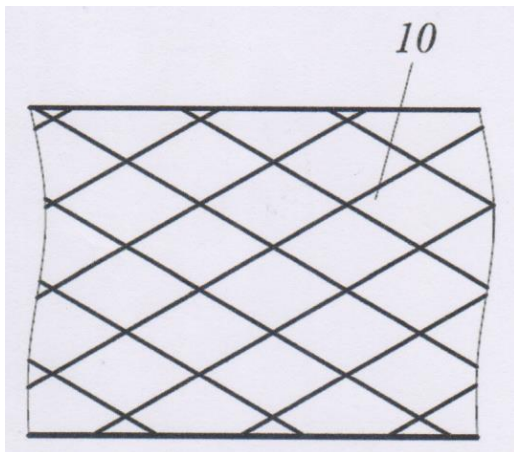


Fig. 12

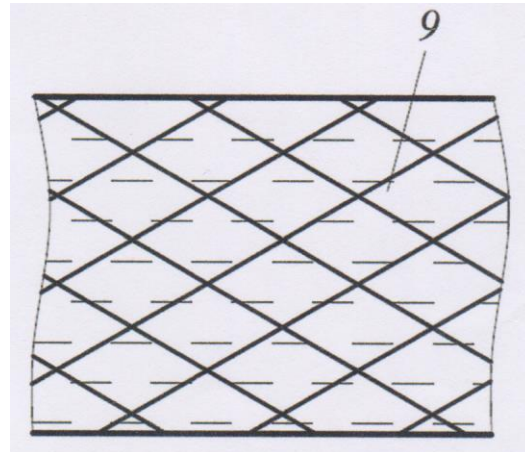


Fig. 13