

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-249368  
(P2004-249368A)

(43) 公開日 平成16年9月9日(2004.9.9)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
<b>B 2 3 F 13/06</b>	B 2 3 F 13/06	5 H 2 6 9
<b>B 2 3 Q 15/00</b>	B 2 3 Q 15/00	H
<b>G 0 5 B 19/18</b>	G 0 5 B 19/18	C

審査請求 有 請求項の数 9 O L 外国語出願 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2002-378775 (P2002-378775)	(71) 出願人	503009236 ティエンチン ティーイーディーイー ディベロップメント センタ フォー ウォーム ギア トランスミッション 中華人民共和国 ティエンチン 300457 ティーイーディーイー ドンチン ロード 135
(22) 出願日	平成14年12月27日 (2002.12.27)	(71) 出願人	503009247 ツバキ エマーソン ギア (ティエンチン) カンパニー リミテッド 中華人民共和国 ティエンチン 300457 ティーイーディーイー ドンチン ロード 135
(31) 優先権主張番号	02282433.2	(74) 代理人	110000154 特許業務法人はるか国際特許事務所 最終頁に続く
(32) 優先日	平成14年10月31日 (2002.10.31)		
(33) 優先権主張国	中国 (CN)		

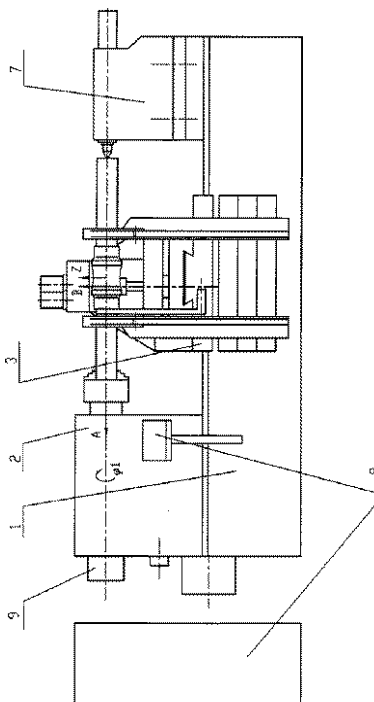
(54) 【発明の名称】 面包絡型トロイダルウォーム用の5つの同時作動軸によるコンピュータ数値制御ツースカッティング工作機械

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 正確な形成が可能な面包絡型トロイダルウォーミングのための5つの同時作動軸によるCNCツースカッティング用工作機械を提供し、生産性の向上とコスト削減を図る。

【解決手段】 工作機械の本体と制御キャビネットを備え、本体はベッド1、スピンドル付のスピンドルボックス2、縦方向のスライディングテーブル3、横方向のスライダ、スライダ上に設置された垂直ベッド滑り面、心押し台7を備え、回転カッタヘッドを支持するカッタレストが垂直ベッド滑り面上に設置され、回転カッタヘッドを支持するカッタレストが垂直ベッド滑り面上に設置され、スピンドルはそのA軸を中心として回転し、テーブルはベッドに関してY軸に沿って縦方向にスライドし、カッタヘッドはそのB軸を中心として回転し、X軸に沿って横方向にシフトし、カッタヘッドはベッド滑り面のZ軸に沿って垂直に上下シフトする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

トロイダルウォーム用の 5 つの同時作動軸によるコンピュータ数値制御ツースカッティング工作機械であって、  
 工作機械本体と、  
 制御キャビネットと、  
 を備え、

本体は、ベッドと、スピンドルを有するスピンドルボックスと、縦方向スライディングテーブルと、横方向スライダと、スライダ上に設置された垂直ベッド滑り面と、心押し台を備え、回転カッタヘッドを支持するカッタレストが垂直ベッド滑り面上に設置され、スピンドルはその A 軸を中心として回転し、テーブルはベッドに関して Y 軸に沿って縦方向にスライドし、カッタヘッドはその B 軸を中心として回転し、X 軸に沿って横方向にシフトし、カッタヘッドはベッド滑り面の Z 軸に沿って垂直に上下シフトし、制御キャビネットは、A, Y, X, Z, B の 5 つの軸を同時に作動させるよう制御するためのプログラムを備え、座標変換に基づいて、第一の座標系  $_1$  は加工物に接続され、第二の座標系  $_2$  は想像上の歯車に接続され、第三の座標系  $_3$  は回転カッタヘッドに接続され、第四の座標系  $_4$  はカッティングエッジに接続され、工作機械の A, B, Y, X, Z 軸の 5 つの軸の動作方程式は、カッタヘッド上のカッタのカッティングエッジのシフティングが、空間中の傾斜平面をシミュレートし、面包絡型トロイダルウォームの歯面を形成するように制御されるよう決定することが可能であることを特徴とするツースカッティング工作機械。

10

20

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 カッタのカッティングエッジによってシミュレートされる傾斜平面は、想像上の歯車の中心軸  $_2$  ( $o_2$ ) を中心として回転し、つまり、B 軸の回転と  $_2$  ( $o_2$ ) の軸を中心とした B 軸の回転の両方の合成であり、同時に、加工物は  $_1$  ( $o_1$ ) (つまり、A 軸) を中心として回転し、相対的運動の過程で、面包絡型トロイダルウォームの歯面が形成されることを特徴とするツースカッティング工作機械。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 面包絡型トロイダルウォームのねじ山形成運動は、加工物の単位時間当たりの回転角  $_1$ 、想像上の歯車の単位時間当たりの回転角  $_2$ 、カッタヘッドの単位時間当たりの回転角  $_3$ 、想像上の歯車の中心  $o_2$  を中心として回転するカッタヘッドの中心  $o_3$  の角度、想像上の歯車の中心  $o_2$  がその中心軸  $K_2$  ( $o_2$ ) に沿って直線的にシフトする距離  $h$ 、ただし、 $_1 / _2$  は歯数比、の数値を制御することによって、正確に制御できることを特徴とするツースカッティング工作機械。

30

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 回転カッタヘッド上に設置された少なくとも 2 枚のブレードがあり、ブレードのカッティングエッジは回転カッタ本体の軸に垂直な平面の直線であることを特徴とするツースカッティング工作機械。

40

## 【請求項 5】

請求項 2 または 4 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 回転カッタヘッドの中心  $o_3$  とカッティングエッジはすべて、想像上の歯車の歯の 2 枚の平面に設置され、歯の 2 枚の平面は角度  $\theta$  で傾斜し、それぞれ 2 つの想像上の空間円錐に接し、2 つの円錐の半円錐角は傾斜角度  $\theta$  と等しく、想像上の円錐の直径  $r_b$  は想像上の歯車の主要基本円の直径  $r_{b,t}$  と等しく、カッタヘッドのカッティングエッジは想像上の歯車の歯の平面に沿ってシフトし、傾斜平面は空間円錐に接し、円錐の中心軸  $K_2$  ( $o_2$ ) を中心として回転し、想像上の歯車の中心  $o_2$  は垂直軸  $K_2$  ( $o_2$ ) に沿って上下にシフトし、カッティングエッジは N の地点でカッティングを開始し、S の地点でカッティングを止め、加工物の各地点の座標は X, Y, Z 軸に沿って追従動作を行い、B 軸について

50

は円形補間動作を行うことを特徴とするツースカッティング工作機械。

【請求項 6】

請求項 3 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 想像上の歯車と加工物の間の中心距離  $a_t$ 、想像上の歯車の中心  $o_2$  からカッティングヘッドの回転中心までの半径ベクトル  $r$  の座標、極角（ポーラーアングル：polar angle）と想像上の歯車の歯先円とカッタヘッドでの圧力角  $\alpha_t, \alpha_c$  の数値および加工物の所与の座標  $x_1, y_1, z_1$  に応じて、カッタヘッドの回転軸  $o_3$  の運動座標を見つけることができ、したがって、カッティングエッジが地点 N でカッティングを開始し、地点 S でカッティングを止める場合、加工された加工物の地点 N と地点 S における  $x_1, y_1, z_1$  の数値が与えられたとき、次の式、

10

【数 1】

$$\varphi_{3N} = \text{tg}^{-1} \left( \frac{a_t - x_1(N)}{y_1(N)} \right) - (90^\circ - \alpha_{at})$$

【数 2】

$$\varphi_{3S} = \text{tg}^{-1} \left( \frac{a_t - x_1(S)}{y_1(S)} \right) + (90^\circ + \alpha_{at})$$

20

によって  $\varphi_{3N}$  の数値を計算することが可能であることを特徴とするツースカッティング工作機械。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のツースカッティング工作機械であって、  
 想像上の歯車の中心  $o_2$  を中心として回転する回転カッタヘッドの中心  $o_3$  は、空間運動し、ウォームの歯面のねじ山をカットし、座標系  $\Sigma_1$  で示される回転カッタヘッドの中心  $o_3$  の座標方程式は、次のように与えられることを特徴とするツースカッティング工作機械。

【数 3】

$$\left. \begin{aligned} x_1(o_3) &= \alpha_t - r \sin \tau \\ y_1(o_3) &= r \cos \tau \\ z_1(o_3) &= h \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

30

ただし、 $x_1(o_3), y_1(o_3), z_1(o_3)$  はカッティングヘッドの中心  $o_3$  の座標であり、

$a_t$  - 想像上の歯車と加工物の間の中心距離

$r$  - カッタヘッドの中心  $o_3$  から想像上の歯車の中心  $o_2$  ( $o_5$ ) までの半径ベクトルの座標値

40

$h$  - 想像上の歯車の中心  $o_2$  から  $o_5$  までの垂直シフトの距離。数値は  $h = 0, h > 0, h < 0$  である。

【数 4】

$$r = \sqrt{r_{at}^2 + r_{ac}^2 - 2r_{at}r_{ac} \cos(\alpha_{at} - \alpha_{ac})} \quad (2)$$

【数 5】

$$\tau = \varphi_3 + 90^\circ - \alpha_{at} - \eta \quad (3)$$

想像上の歯車の歯先円での圧力角は

【数 6】

$$\alpha_{at} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bt}}{r_{at}}\right) \quad (4)$$

回転カッタヘッドの歯先円での圧力角は

【数 7】

$$\alpha_{ac} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bc}}{r_{ac}}\right) \quad (5)$$

【数 8】

$$\eta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\alpha_{at} - \alpha_{ac}) \times r_{ac}}{r}\right) \quad (6)$$

10

20

【請求項 8】

請求項 1 によるツースカッティング工作機械であって、スピンドルボックスと心押し台はベッドの上に設置され、縦方向のスライディングテーブルはベッドの上に可動的に設置され、横方向のスライダはスライディングテーブルの上に設置されていることを特徴とするツースカッティング工作機械。

【請求項 9】

請求項 1 によるツースカッティング工作機械であって、縦方向のスライディングテーブルはベッドの上に設置され、スピンドルと心押し台はスライディングテーブル上に固定され、横方向のスライダはベッドの上に設置されていることを特徴とするツースカッティング工作機械。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、面包絡型トロイダルウォーム用の 5 つの同時作動軸によるコンピュータ数値制御 (CNC) ツースカッティング用工作機械に関する。

【0002】

【従来の技術】

既存のトロイダルウォーム研削盤のいくつかは、ドイツ HNC 35 TP や、「4 つの同時作動軸によるコンピュータ数値制御トロイダルウォーム研削盤」と題する中国実用新案出願第 92204765.0 号をはじめとして、最近開発された。これらの機器には、面包絡型トロイダルウォームのねじ山を、1 回の研削で正確に形成することができる、研削された加工物の精度が高く、完璧な表面粗さを有するという利点がある。しかしながら、機械の生産性が低く、コスト高であるため、その結果として得られる加工物のコストが非常に高く、常に発展を続ける生産現場のニーズを満たすことができないという欠点がある。

40

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

本発明が解決しようとする技術上の問題は、正確な形成が可能な面包絡型トロイダルウォーミングのための 5 つの同時作動軸による CNC ツースカッティング用工作機械を提供し

50

、生産性の向上とコスト削減を図ることである。

【0004】

【課題を解決するための手段】

上記の技術上の問題を解決するために、本発明が採用する技術的計画は、トロイダルウォーム用の5つの同時作動軸によるコンピュータ数値制御ツースカッティング用工作機械であって、工作機械の本体と制御キャビネットを備え、本体はベッド、スピンドル付のスピンドルボックス、縦方向のスライディングテーブル、横方向のスライダ、スライダ上に設置された垂直ベッド滑り面、心押し台を備え、回転カッタヘッドを支持するカッタレストが垂直ベッド滑り面上に設置され、スピンドルはそのA軸を中心として回転し、テーブルはベッドに関してY軸に沿って縦方向にスライドし、カッタヘッドはそのB軸を中心として回転し、X軸に沿って横方向にシフトし、カッタヘッドはベッド滑り面のZ軸に沿って垂直に上下シフトし、制御キャビネットは、A, Y, X, Z, Bの5つの軸を同時に作動させるよう制御するためのプログラムを備え、座標変換に基づいて、第一の座標系 $\Sigma_1$ は加工物に接続され、第二の座標系 $\Sigma_2$ は想像上の歯車に接続され、第三の座標系 $\Sigma_3$ は回転カッタヘッドに接続され、第四の座標系 $\Sigma_4$ はカッティングエッジに接続され、工作機械のA, B, Y, X, Z軸の5つの軸の動作方程式は、カッタヘッド上のカッタのカッティングエッジのシフティングが、空間中の傾斜平面をシミュレートし、面包絡型トロイダルウォームの歯面を形成するように制御されるよう決定することができるツースカッティング用工作機械を提供することである。

10

【0005】

最適には、カッタのカッティングエッジによってシミュレートされる傾斜平面は想像上の歯車の中心軸 $K_2(O_2)$ を中心として回転し、つまり、B軸の回転と軸 $K_2(O_2)$ を中心としたB軸の回転の合成であり、同時に、加工物は $\Sigma_1(O_1)$ (つまり、A軸)を中心として回転し、相対的運動の過程で、面包絡型トロイダルウォームの歯面が生成される。

20

【0006】

最適には、面包絡型トロイダルウォームのねじ山形成運動は、加工物の単位時間当たりの回転角 $\theta_1$ 、想像上の歯車の単位時間当たりの回転角 $\theta_2$ 、カッタヘッドの単位時間当たりの回転角 $\theta_3$ 、想像上の歯車の中心 $O_2$ を中心として回転するカッタヘッドの中心 $O_3$ の角度 $\alpha$ 、想像上の歯車の中心 $O_2$ がその中心軸 $K_2(O_2)$ に沿って直線的にシフトする距離 $h$ 、ただし、 $\theta_1/\theta_2$ は歯数比、 $\alpha$ の数値を制御することによって、正確に制御できる。

30

【0007】

最適には、回転カッタヘッド上に設置された少なくとも2枚のブレードがあり、ブレードのカッティングエッジは回転カッタ本体の軸に垂直な平面の直線である。

【0008】

最適には、回転カッタヘッドの中心 $O_3$ とカッティングエッジはすべて、想像上の歯車の歯の2枚の平面に設置され、歯の2枚の平面は角度 $\alpha$ で傾斜し、それぞれ2つの想像上の空間円錐に接し、2つの円錐の半円錐角は傾斜角度 $\alpha$ と等しく、想像上の円錐の直径 $r_b$ は想像上の歯車の主要基本円の直径 $r_{bt}$ と等しく、カッタヘッドのカッティングエッジは想像上の歯車の歯の平面に沿ってシフトし、傾斜平面は空間円錐に接し、円錐の中心軸 $K_2(O_2)$ を中心として回転し、想像上の歯車の中心 $O_2$ は垂直軸 $K_2(O_2)$ に沿って上下にシフトし、カッティングエッジはNの地点でカッティングを開始し、Sの地点でカッティングを止め、加工物の各地点の座標はX, Y, Z軸に沿って追従動作を行い、B軸については円形補間動作を行う。

40

【0009】

最適には、回転カッティングヘッドに設置された少なくとも2枚のブレードがあり、ブレードのカッティングエッジは、回転カッタ本体の軸に垂直な平面上の直線である。

【0010】

最適には、スピンドルボックスと心押し台はベッドの上に設置され、縦方向のスライディ

50

ングテーブルはベッドの上に可動的に設置され、横方向のスライダはスライディングテーブル上に設置されている。

【0011】

最適には、縦方向のスライディングテーブルはベッドの上に可動的に設置され、スピンドルと心押し台はスライディングテーブル上に固定され、横方向のスライダはベッドの上に設置される。

【0012】

この工作機械の効果は、カッタシャフトと加工物のシャフトの回転速度により、カッティング速度を最高200m/分とすることができ、作業効率は、ウォーム研削と比較して6ないし7倍高く、生産性が大幅に改善される。本発明による工作機械は、トロイダルウォーム研削盤の欠点を埋めるものであり、一種の高生産性ツースカッティング工作機械を提供する。

10

【0013】

【発明の実施の形態】

添付の図面と実施形態を参照しながら、本発明の技術的計画を以下にさらに説明する。

【0014】

図1, 2, 3に示すように、本発明による面包絡型トロイダルウォーム用の5つの同時作動軸によるCNCツースカッティング用工作機械の第一の実施形態は、工作機械本体と制御キャビネットの2つの部分を備える。工作機械本体は主として、ベッド1、スピンドルボックス2、縦方向のスライディングテーブル3、垂直ベッド滑り面、横方向のスライダ4、心押し台7を有する。スピンドルボックス2と心押し台7はベッド1の上に設置されている。加工物は、スピンドルボックスのスピンドルと心押し台7との間に設置されている。縦方向のスライディングテーブルは、ベッド1の上に可動的に設置されている。横方向のスライダ4は、スライディングテーブル上に設置されている。垂直ベッド滑り面は横方向のスライダ4の上に設置されている。カッタレスト5は垂直ベッド滑り面に添って設置され、回転カッタヘッド6を支える。回転カッタヘッド6は、カッタレスト5の上に設置され、サーボモータ11の駆動により、B軸を中心としてのみ回転することができる。回転カッタヘッド6には少なくとも2枚のブレードが設置されている。ブレードのカッティングエッジは回転カッタヘッドの軸に垂直な平面上の直線である。カッタレスト5の調整構造には、サーボモータ10と親ネジナットメカニズムが含まれる。回転カッタヘッド6は、垂直ベッド滑り面上に配置されたカッタレスト5の上に設置され、サーボモータ10を駆動することによって、Z軸に沿った上下シフト運動を行うことができる。A軸の回転速度は、所与のカッティング速度と加工物の大きさに応じて、カッティング速度が一定になるよう自動的に調整される。

20

30

【0015】

この工作機械の主な運動は次のとおりである。スピンドルの、そのA軸を中心とする回転運動、テーブル3の、Y軸に沿ったベッド1に関して縦方向のスライディング運動、カッタヘッド6の、そのB軸を中心とする回転運動、カッタヘッド6の、X軸に沿った横方向のシフト運動、カッタヘッド6の、ベッド滑り面のZ軸に沿った垂直の上下シフト運動。このように、加工物はA軸を中心として回転し、カッタヘッド6は所定の速度でB軸を中心として回転し、X軸に沿って横方向にシフトし、Z軸に沿って上下にシフトし、スピンドルボックスのスピンドルと心押し台7の間に設置された加工物に関して縦方向に、Y軸に沿ってシフトする。

40

【0016】

制御キャビネットには、スピンドルの回転を制御するためのプログラムと、カッタヘッドの縦方向、横方向、垂直方向に沿ったシフティングおよび回転を制御するためのプログラムが備えられ、A, Y, X, Z, B軸の5つの軸を中心とした、またはこれに沿った運動を同時に起こさせ、カッタヘッド6上のカッタのカッティングエッジの加工物に関するシフティングを制御して、空間中の傾斜平面をシミュレートし、面包絡型トロイダルウォームの歯面が作り出される。したがって、面包絡型トロイダルウォームのねじ山が形成され

50

る。スピンドルの速度は、所与のカッティング速度と加工物の大きさに応じて、カッティング速度が一定になるよう自動的に調整される。

【0017】

ツースカッティングの生産性を改善するために、垂直ベッド滑り面がスライダ4の上に設置されている。カタ本体は、ボール親ネジの構造を通じて、ナットに接続される。カタのカッティングエッジは、ベッド滑り面に沿って上下にシフトする。ブレードのカッティングエッジは、回転カタヘッドの軸に垂直な平面上の直線である。左側のカッティングエッジは想像上の空間円錐に接し、右側のカッティングエッジは別の想像上の円錐に接する。これら2つの円錐の基底は一致し、2つの円錐の頂点は反対側に位置する。5つの軸が同時に作動することにより、カタのカッティングエッジが傾斜平面に沿ってシフトし、スウォームのねじ山を形成する。

10

【0018】

図4, 5, 6に示すように、面包絡型トロイダルウォーム用の、本発明による5つの同時作動軸によるCNCツースカッティング用工作機械の第二の実施形態を以下に説明する。この中で、同じ参照番号は、第一の実施形態と同じ部材を示し、第一の実施形態と同じ構造に関する説明は省略する。

【0019】

縦方向のスライディングテーブル3は、ベッド1の上に設置される。スピンドル2と心押し台7は、スライディングテーブル3の上に固定される。加工物はスピンドルAと心押し台7との間に設置される。スピンドルは、サーボモータ9を使って加工物の回転を制御する。縦方向のスライディングテーブルは、サーボモータ13を通じて、加工物をY軸に沿ってシフトさせる。横方向のスライダ4は、ベッド1の上に設置され、サーボモータ12によって駆動され、X軸に沿って送られることができる。回転カタ6は、垂直ベッド滑り面上に配置されたカタレスト5の上に設置され、サーボモータ11によって駆動され、B軸を中心として回転することができる。カタレストは、親ネジナットメカニズムを通じてサーボモータ10によって駆動され、カタヘッドをZ軸に沿って上下にシフトさせる。A軸の回転速度は、所与のカッティング速度と加工物の大きさに応じて、カッティング速度が一定になるよう自動的に調整される。このように、加工物はA軸を中心として回転しながら、Y軸に沿ってシフトし、カタヘッド6は所与の速度でB軸に沿って回転し、X軸に沿って横方向にシフトし、Z軸に沿って上下にシフトする。

20

30

【0020】

同様に、制御キャビネットに備えられたプログラムがスピンドルの回転と、カタヘッドの縦方向、横方向、垂直方向のシフティング運動および回転を制御し、A, Y, X, Z, B軸の5つの軸を中心とした、あるいはこれに沿った運動を同時に起こさせ、カタヘッド6上のカタのカッティングエッジの加工物に対するシフティングを制御し、空間における傾斜平面をシミュレートし、面包絡型トロイダルウォームの歯面を形成する。このようにして面包絡型トロイダルウォームのねじ山が形成される。

【0021】

図7のように、5つの軸で同時に作動している場合、カタのカッティングエッジは平面をシミュレートし、その平面は  $\Sigma_2 (O_2)$  を中心として回転し(つまり、B軸の回転と、  $\Sigma_2 (O_2)$  を中心としたB軸の回転(レボリューション、公転)の合成)、同時にトロイダルウォーム(つまり、加工物)は  $\Sigma_1 (O_1)$  (つまり、A軸)を中心として回転する。相対的運動の過程で、面包絡型トロイダルウォームの歯面が形成される。

40

【0022】

図8に示すように、第一の座標系、  $\Sigma_1 : \{O_1; i_1(O_1), j_1(O_1), k_1(O_1)\}$  はウォームの加工物に接続され、

【外1】



50

はウォームの歯先円である。第二の座標系  $_2 : \{ o_2 ; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2) \}$  は空間内の想像上の歯車に接続される。第三の座標系  $_3 : \{ o_3 ; i_3(o_3), j_3(o_3), k_3(o_3) \}$  はカッタヘッドに接続される。カッタヘッドの中心  $o_3$  は、空間の想像上の歯車  $o_2$  を中心として回転する。第四の座標系、  $_4 : \{ i_4(o_4), j_4(o_4), k_4(o_4) \}$  は、カッティングエッジに接続されている。四辺形  $CDFG$  と四辺形  $C'D'F'G'$  は平面で、想像上の歯車の歯面を示すものとする。この平面をウォームのねじ山と噛み合わせると、面包絡型トロイダルウォームの包絡運動（エンベローピングモーション）が起こる。本発明は、回転カッタヘッドのカッティングエッジが想像上の歯車の歯面上に存在するように設計する。カッティングエッジをその平面上でシフトさせる。2枚の平面は、相互に合同の基底を有する想像上の2つの円錐に接し、2つの円錐の頂点は、反対側にある。平面の半円錐角は  $\tau$  である。カッティングエッジのシフティングが、面包絡型トロイダルウォームのねじ山を包絡形成（envelop out）する。

10

【0023】

図8を参照しながら、5つの軸の意味を以下に説明する。

【0024】

1. A軸：加工物の軸  $j_1(o_1)$ 、 $\omega_1$  は、加工物の単位時間当たりの回転角度で、A軸は主制御軸である。
2. B軸：カッタヘッドの回転軸、つまり図8の  $K_3(o_3)$ 、 $\omega_3$  はカッタヘッドの単位時間当たりの回転角である。
3. X軸：つまり、図8の  $i_1(o_1)$  軸、横方向のスライダはx方向に直線運動する。
4. Y軸：つまり、図8の  $j_1(o_1)$  軸、縦方向のスライディングテーブルはy方向に直線運動する。
5. Z軸：つまり、図8の  $K_1(o_1)$  軸、工作機械はZ軸に沿って上下シフトする。

20

【0025】

図9は、第一の座標系  $_1 : \{ o_1 ; i_1(o_1), j_1(o_1), k_1(o_1) \}$  が加工物を表し、第二の座標系  $_2 : \{ o_2 ; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2) \}$  は想像上のツール歯車に接続されていることを示している。  $h = 0$  の時、想像上の歯車の主要基本円の半径は  $r_{bt}$  であり、  $h > 0$  の時、想像上の歯車の中心  $o_2$  は、  $K_2(o_2)$  軸に沿って直線シフトし、この時、  $r_{at}$  は想像上の歯車の外円の半径、  $r_{ac}$  はカッタヘッドの歯先円の半径である。図9の1は、カッティングエッジ1を示す。

30

【数9】

$$\overline{o_2 o_5} = h,$$

であり、  $h$  の数値は正（図11参照）であっても、負（図10参照）であっても、0であってもよい。

【0026】

カッタヘッドに固定されている第三の座標系の原点  $o_3$  は、  $o_3$  である。原点  $o_3$  は、加工の過程で、想像上の歯車の中心  $o_2$  を中心として回転する。2つの原点の距離

【外2】

40

$$\overline{o_2 o_3}$$

は、  $r$  で表される。半径ベクトル  $r$  と  $j_2(o_2)$  軸との角度は  $\theta$  で表される。想像上の歯車を示す第二の座標系  $_2 : \{ o_2 ; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2) \}$  を、半径ベクトル  $r$  と極角  $\theta$  を使って、カッタヘッドに関する第三の座標系  $_3 : \{ o_3 ; i_3(o_3), j_3(o_3), k_3(o_3) \}$  に関連付けると、カッタヘッドの回転中心  $o_3$  と想像上の歯車の中心  $o_2$  の運動の関係がわかる。カッタヘッドの中心  $o_3$  のシフトは、第一の座標系  $_1 : \{ o_1 ; i_1(o_1), j_1(o_1), K_1(o_1) \}$  で示すことができる。

【0027】

50



【数 1 0】

$$\left. \begin{aligned} x_1(o_1) &= a_t - r \sin \tau \\ y_1(o_1) &= r \cos \tau \\ z_1(o_1) &= h \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{r_{at}^2 - r_{ac}^2 - 2r_{at}r_{ac} \cos(\alpha_{at} - \alpha_{ac})} \quad (2)$$

$$\tau = \varphi_3 + 90^\circ - \alpha_{at} - \eta \quad (3)$$

$$\alpha_{at} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bt}}{r_{at}}\right) \quad (4)$$

$$\alpha_{ac} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bc}}{r_{ac}}\right) \quad (5)$$

$$\eta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\alpha_{at} - \alpha_{ac}) \times r_{ac}}{r}\right) \quad (6)$$

10

20

ただし、 $\alpha_{at}$  - 想像上の歯車の歯先円の圧力角

$\alpha_{ac}$  - カッタヘッドの歯先円の圧力角

図中の地点Nは、カッティング開始点、地点Sは終始点である。

$O_2NO_5$  を通じて、上記のと の数値を調べることができる。

方程式(1), (2), (3)は、同時作動中のカッタヘッドの中心 $o_3$ と想像上の歯車の座標を決定する。また、 $\varphi_3$ を求めることも難しくない。

(1) 地点Nにおいて、カッティングエッジ1についての $x_1(N)$ と $y_1(N)$ がわかっており、カッタヘッドの中心 $o_3$ の回転角 $\varphi_3$ は次のとおりである。

30

【数 1 1】

$$\varphi_3 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{a_t - x_1(N)}{y_1(N)}\right) - (90^\circ - \alpha_{at}) \quad (7)$$

(2) 地点Sにおいて、カッティングエッジ1についての $x_1(S)$ と $y_1(S)$ がわかっており、カッタヘッドの中心 $o_3$ の回転角 $\varphi_3$ は次のとおりである。

【数 1 2】

$$\varphi_3 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{a_t - x_1(S)}{y_1(S)}\right) + (90^\circ + \alpha_{at}) \quad (8)$$

40

【0028】

上記の方程式(7), (8)は、加工物とカッタヘッドの空間運動の関係を説明する。カッティングエッジ1は地点Nでカッティングを開始し、地点Sでカッティングを終了する。同じ理由により、カッティングエッジ1, 2, 3のカッティング回転角 $\varphi_3$ も求めることができる。

【0029】

図9において、ENは想像上の歯車の右側の歯面と主平面における主要基底円の分割線である。ENをカッティングエッジと考えると、加工物が $j_1(o_1)$ 軸(つまり、工作機械のY軸)を中心として、角度 $\varphi_1$ だけ回転すると、カッタエッジENは想像上の歯車の

50

$K_2$  ( $o_2$ ) 軸を中心として、単位時間当たり角度  $\phi_2$  だけ回転する(つまり、 $o_2$  を中心として回転する)。歯数比を

【数 1 3】

$$i_1 = \frac{\phi_1}{\phi_2},$$

とすると、想像上の歯車とウォームの間の平面包囲運動が得られる。本発明は、回転カッタヘッドを座標系  $j_3$  に関連付け、加工物を、 $j_1$  ( $o_1$ ) を中心として角度  $\phi_1$  だけ回転させ、カッタヘッドを、それ自身の軸  $o_3$  を中心に角度  $\phi_3$  だけ回転させ、同時に、 $o_3$  を、想像上の歯車の中心  $o_2$  を中心として角度  $\phi_2$  だけ回転させる。カッタエッジ EN は地点 N を通過し、N はウォームの歯の先端における円弧の終端である。カッティングエッジは各々、地点 N でカッティングを開始し、地点 S でカッティングを終了する。工作機械の運動は、5つの軸の同時動作を組み合わせ、加工物の回転角  $\phi_1$  と、想像上の歯車の回転角  $\phi_2$  と、カッタヘッドのそれ自身の軸を中心とした回転角  $\phi_3$  と、 $o_2$  を中心としたカッタヘッドの回転角  $\phi_4$  を制御することにより、EN で表されるカッタエッジ 1 を使用して、ウォームのねじ山をカッティングする運動を合成することができる。図 10, 11 は、カッタヘッドが

【外 3】

### O2O5

に沿って、距離  $h$  ( $h < 0$  または  $h > 0$ ) だけ上下シフトする場合の、カッティングエッジ EN の動作状態を示す。

【0030】

図 12 は、カッタヘッドの 4 枚のブレードのカッティングエッジの位置を示す。カッティングエッジ 2 と 4 は、ねじ山の面をカットするための 2 枚のブレードである。ブレードが多いほど、カッティングの生産性は高くなる。第四の座標系  $j_4 : \{o_3 ; i_4(\quad), j_4(\quad), K_4(\quad)\}$  は、カッティングエッジに関連し、 $o_3$  は  $o_4$  と合同である(つまり、 $o_3$  は  $o_4$  である)。カッティングエッジ 1, 3 は、歯の深さをカットするために使用される。

【0031】

既存の CNC 制御トロイダルウォーム研削盤の運動原理に基づき、本発明は、本発明による上述の実施形態を使用し、面包絡型トロイダルウォームのツースハंक (tooth hank) を成形することができ、中国実用新案出願第 92204765.0 号における上述のトロイダルウォーム研削盤を使って研削されたウォームのそれと同一の、加工済みトロイダルウォームの歯形を作ることができる。この場合、生産性が大幅に改善される。ウォームを研削する場合、ファインブランクから成形完成までに 1 時間かかるが、ウォームをカットすれば、ファインブランクから成形完成までわずか 10 分である。本発明と組み合わせることで、ツースカッティングをウォームの粗加工として使用し、その後、ウォームの表面粗さを改善するために仕上げの研削を使用することによって、生産性が著しく改善される。高速カッティングの場合、カッタシャフトと加工物のシャフトの回転速度により、最高 200 m/分のカッティング速度を実現でき、効率はウォーム研削と比較して 6 倍から 7 倍に向上する。本発明による工作機械は、トロイダルウォーム研削盤の欠点を克服し、生産性の高いツースカッティング工作機械を提供するものである。

【0032】

本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は明細書中で詳細に説明した特定の構造や特徴に限定されない。当業者にとって、付属の請求範囲から逸脱しないかぎり、さまざまな変更を本発明に加えることができることは明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による面包絡型トロイダルウォーム用の 5 つの同時動作軸による CNC ツ

10

20

30

40

50

ースカッティング工作機械の第一の実施形態を示す概略図である。

【図2】図1の上面図である。

【図3】図1の側面図である。

【図4】本発明による面包絡型トロイダルウォーム用の5つの同時動作軸によるCNCツースカッティング工作機械の第二の実施形態を示す概略図である。

【図5】図4の上面図である。

【図6】図4の側面図である。

【図7】本発明による面包絡型トロイダルウォームの形成原理を示す概略図である。

【図8】本発明による面包絡型トロイダルウォームの形成原理の座標系を示す図である。

【図9】 $h = 0$ の時のカッタの動作状態を示す図である。

【図10】 $h < 0$ の時のカッタの動作状態を示す図である。

【図11】 $h > 0$ の時のカッタの動作状態を示す図である。

【図12】 $i_2(o_2)o_2j_2(o_2)$ でのカッタヘッドの動作状態を示す図である。

【手続補正書】

【提出日】平成15年4月1日(2003.4.1)

【手続補正1】

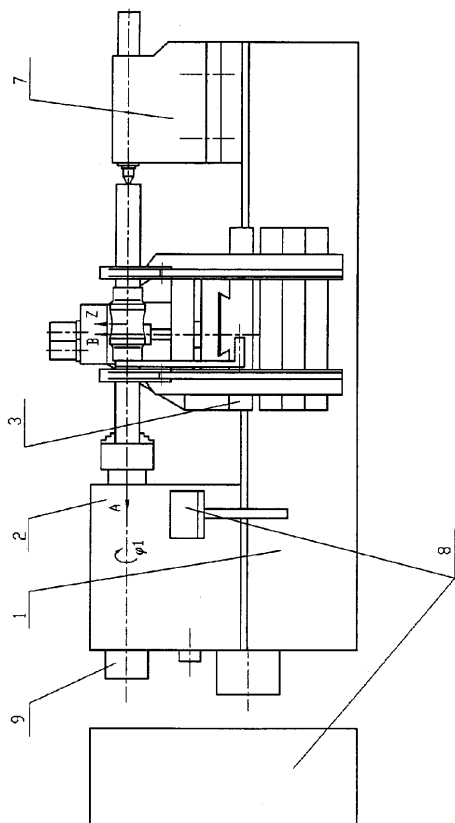
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

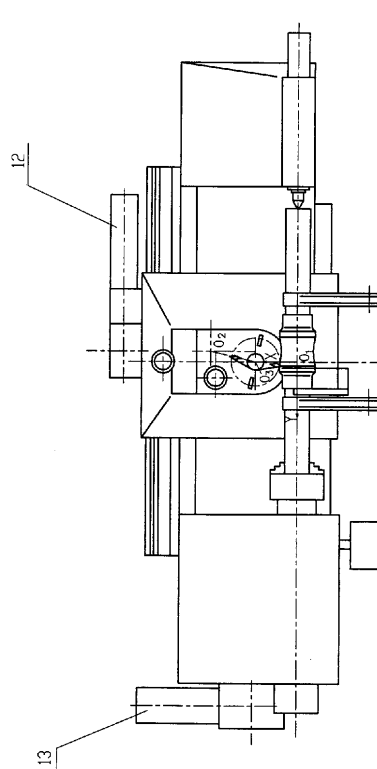
【補正方法】変更

【補正の内容】

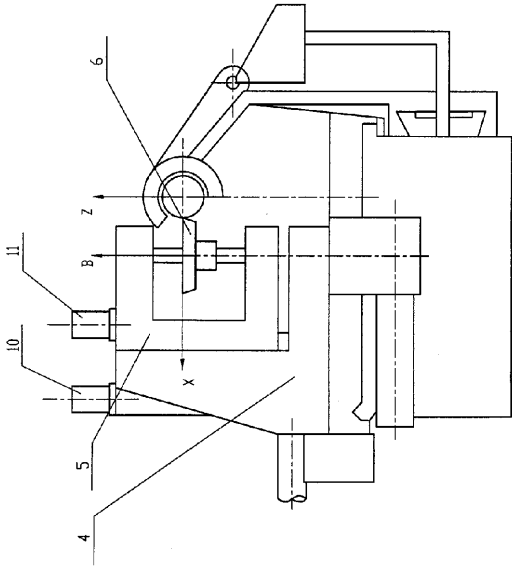
【図1】



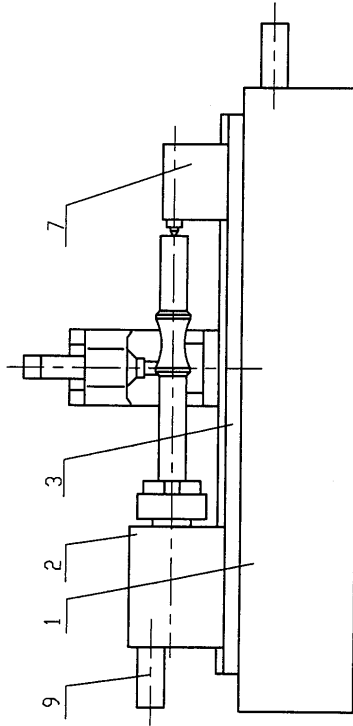
【図2】



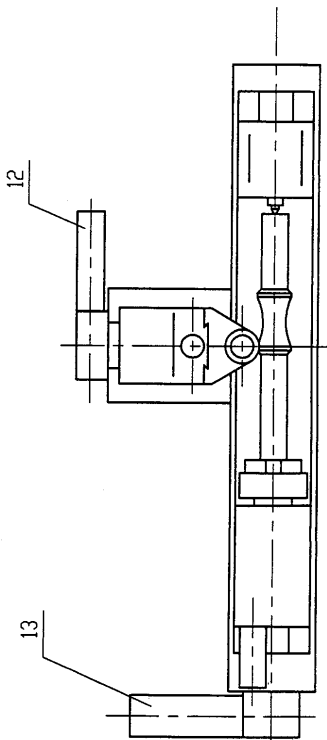
【 図 3 】



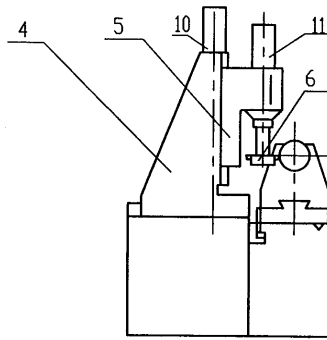
【 図 4 】



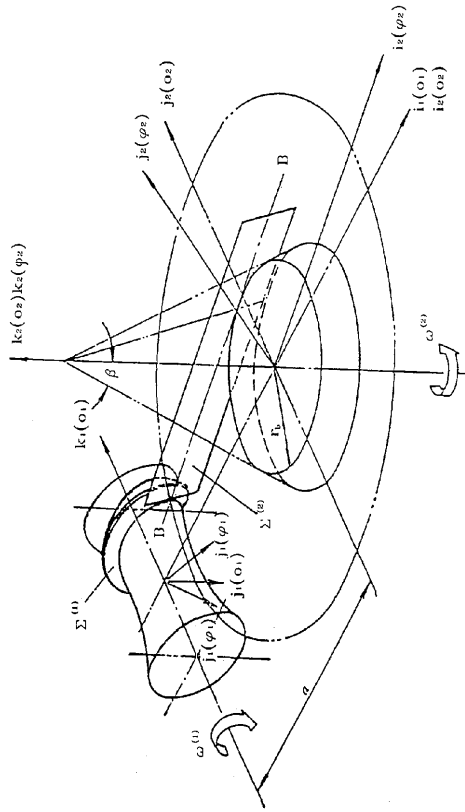
【 図 5 】



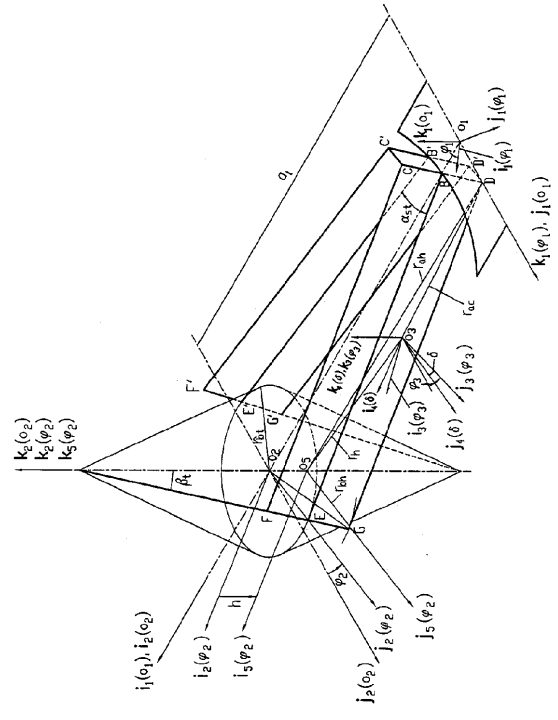
【 図 6 】



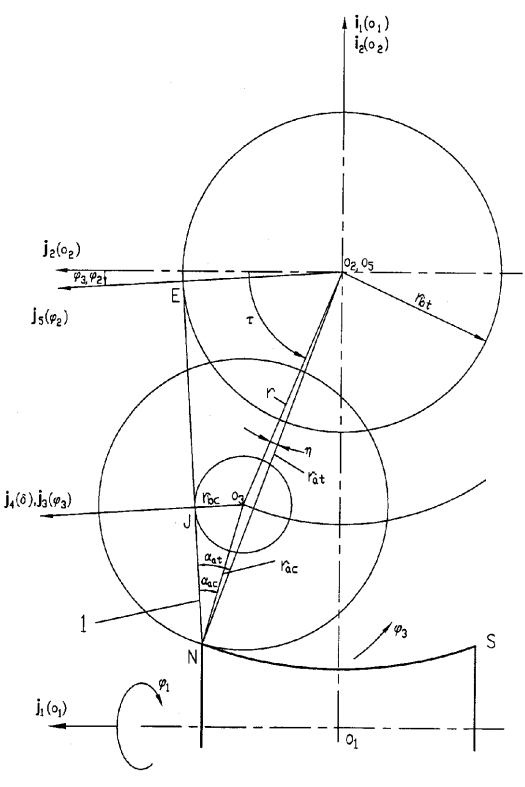
【 図 7 】



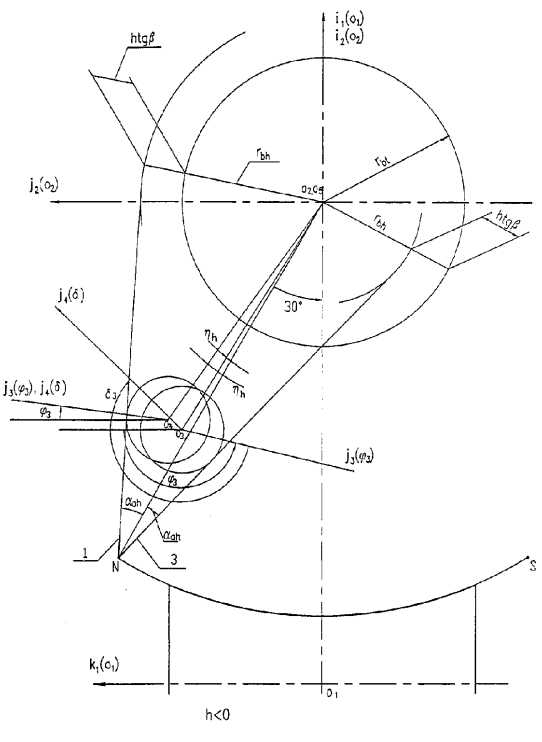
【 図 8 】



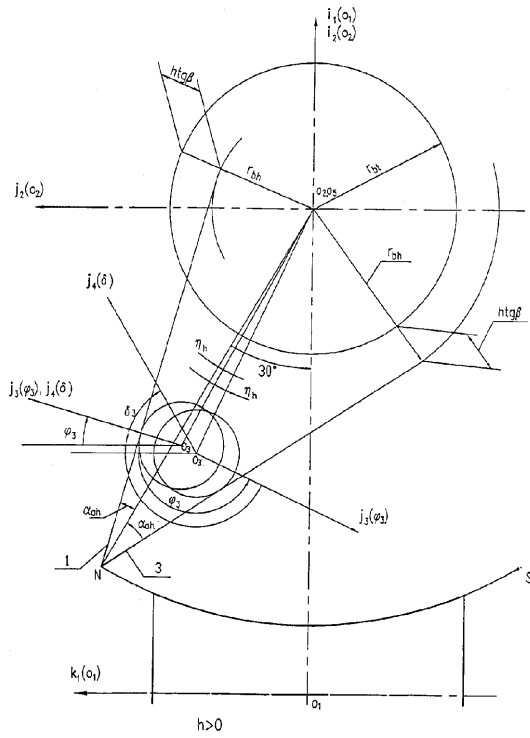
【 図 9 】



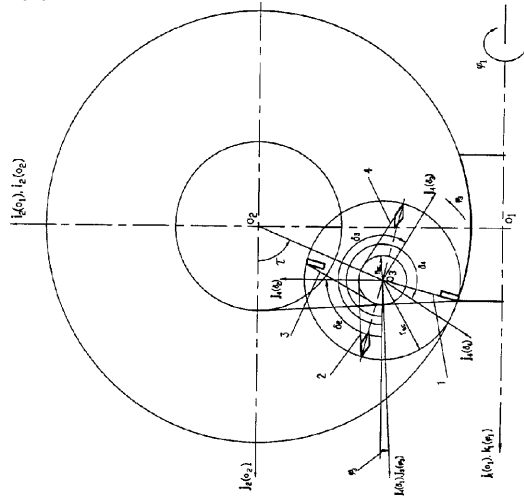
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【訂正の理由等】

原文において図面が添付されていたので、  
この度誤訳訂正書を提出し図面を添付いたします。

---

フロントページの続き

(72)発明者 ヤキソン ジャン

中華人民共和国 ティエンチン 300457 ティーイーディーイー ドンチン ロード 13  
5

(72)発明者 リン キ

中華人民共和国 ティエンチン 300457 ティーイーディーイー ドンチン ロード 13  
5

Fターム(参考) 5H269 AB06 CC07 CC13 DD01 QA05

## 【 外国語明細書 】

## 1. Title of Invention

FIVE-SIMULTANEOUSLY-WORKING –AXIS COMPUTERIZED NUMERICAL CONTROLLED TOOTH CUTTING MACHINE TOOL FOR PLANE ENVELOPING TOROIDAL WORMS

## 2. Claims

1. A five-simultaneously-working-axis computerized numerical control tooth cutting machine tool for toroidal worms, including: a body of the machine tool and a controlling cabinet, the body includes: a bed, a spindle box with a spindle, a longitudinal sliding table, a traverse slider, a vertical guideway mounted on the slider, and a tailstock, a cutter rest that supports a rotating cutter head is mounted on the vertical guideway, the spindle rotates about A-axis thereof, the table longitudinally slides along Y-axis relative to the bed, the cutter head rotates about B-axis thereof and transversely shifts along X-axis, as well as the cutter head makes up/down shift along Z-axis of the guideway vertically, the control cabinet is equipped with programs for controlling the five axes of A, Y, X, Z and B simultaneously work together, wherein a first coordinate system  $\Sigma_1$  is connected with the workpiece, a second coordinate system  $\Sigma_2$  is connected with an imaginary gear, a third coordinate system  $\Sigma_3$  is connected with the rotating cutter head and a fourth coordinate system  $\Sigma_4$  is connected with the cutting edges, based upon the transformation of coordinate systems, the motion equations of five axes of A-, B-, Y-, X-, and Z-axes of the machine tool can be determined such that the shifting of cutting edge of the cutter on the cutter head is controlled to simulate an inclined plane in spatial locations in order to envelop out the tooth flank of plane enveloping toroidal worms.

2. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 1, wherein the inclined plane simulated by the cutting edge of the cutters rotates around central axis of the imaginary gear  $K_2 (o_2)$ , i.e. the composition of both the rotation of B-axis and the revolution of B-axis around the axis of  $K_2 (o_2)$ , at the same time workpiece



rotates around  $K_1(o_1)$  (i.e. A-axis), in the course of relative motions the tooth flank of plane enveloping toroidal worm is generated.

3. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 1 or claim 2, wherein the thread forming motion of plane enveloping toroidal worm can correctly be controlled by means of the control of the values of a rotating angle per unit time of the workpiece  $\varphi_1$ , a rotating angle per unit time of the imaginary gear  $\varphi_2$ , a rotating angle per unit time of the cutter head  $\varphi_3$ , an angle  $\tau$  of the center  $o_3$  of the cutter head rotating around the center  $o_2$  of the imaginary gear and a distance  $h$  of the center  $o_2$  of the imaginary gear making straight-line shift along the central axis thereof  $k_2(o_2)$ , in which  $\varphi_1/\varphi_2$  is equal to the gear ratio.

4. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 1, wherein there are at least two blades mounted on the rotating cutter head, the cutting edge of the blade is straight line which lies on the plane perpendicular to the axis of the rotating cutter body.

5. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 2 or 4, wherein the center  $o_3$  of the rotating cutter head and the cutting edges are all located on two tooth planes of the imaginary gear; while two tooth planes are inclined with angle  $\beta$  and tangential to two imaginary spatial cones respectively, the half conic angles of two cones is equal to the inclined angle  $\beta$ , the diameter  $r_b$  of an imaginary cones is equal to the diameter  $r_b$  of main basic circle of the imaginary gear, the cutting edges on the cutter head shift along the tooth plane of the imaginary gear; while the inclined plane is tangential to the spatial cone and rotates around the central axis  $k_2(o_2)$  of the cone; the center  $o_2$  of the imaginary gear makes up / down shifts along the vertical axis  $k_2(\varphi_2)$ , the cutting edge comes into cutting at point N and secedes from cutting at point S, the coordinates of every point on the workpiece makes following up motions along X-, Y- and Z-axis while makes the circular interpolating motion about B-axis.

6. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 3, wherein in accordance with the center distance  $a_1$  between the imaginary gear and the workpiece,

the coordinates of the radius vector  $r$  from the center  $o_2$  of the imaginary gear to the rotating center of the cutter head, polar angle  $\tau$  and the values of the pressure angles  $\alpha_{at}, \alpha_{ac}$  at the tip circle of the imaginary gear and the cutter head as well as the given coordinates  $x_1, y_1, z_1$  of the workpiece, the motion coordinates of the rotating center  $o_3$  of the cutter head can be found, thus the value of  $\varphi_3$  can be calculated according to the following formulae when the values of  $x_1, y_1, z_1$  at point N and point S of the machined workpiece are given, in which the cutting edge comes into cutting at point N and secedes from cutting at point S

$$\varphi_{3N} = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{a_t - x_1(N)}{y_1(N)} \right) - (90^\circ - \alpha_{at})$$

$$\varphi_{3S} = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{a_t - x_1(S)}{y_1(S)} \right) + (90^\circ + \alpha_{ac})$$

7. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 6, wherein the center  $o_3$  of the rotating cutter head, rotating around the center  $o_2$  of the imaginary gear, makes spatial motion and cuts the thread of tooth flanks of the worm, the coordinate equations for the center  $o_3$  of the rotating cutter head, representing in coordinate system  $\Sigma_1$  are given as below:

$$\left. \begin{aligned} x_1(o_3) &= \alpha_t - r \sin \tau \\ y_1(o_3) &= r \cos \tau \\ z_1(o_3) &= h \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Where,  $x_1(o_3), y_1(o_3), z_1(o_3)$  represent the coordinates of the center  $o_3$  of the cutter head;

$\alpha_t$ —The center distance between the imaginary gear and workpiece;

$r$ —The coordinate value of the radius vector from the center  $o_3$  of the cutter head to the center  $o_2$  ( $o_3$ ) of the imaginary gear;

$h$ — The distance of vertical shift from the center  $o_2$  of the imaginary gear to  $o_3$ . The value would be  $h = 0, h > 0$  and  $h < 0$ .

$$r = \sqrt{r_{at}^2 + r_{ac}^2 - 2r_{at}r_{ac} \cos(\alpha_{at} - \alpha_{ac})} \quad (2)$$

$$\tau = \varphi_3 + 90^\circ - \alpha_{at} - \eta \quad (3)$$

the pressure angle at the tip circle of the imaginary gear  $\alpha_{at} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bt}}{r_{at}}\right)$  (4)

the pressure angle at the tip circle of the rotating cutter head  $\alpha_{ac} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bc}}{r_{ac}}\right)$  (5)

$$\eta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\alpha_{at} - \alpha_{ac}) \times r_{ac}}{r}\right) \quad (6)$$

8. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 1, wherein the spindle box and tailstock are mounted on the bed, the longitudinal sliding table is movable mounted on bed and the traverse slider is mounted on the sliding table.

9. According to the tooth cutting machine tool as mentioned in claim 1, wherein the longitudinal sliding table is movable mounted on bed, and the spindle and tailstock are fixed on sliding table, the traverse slider is mounted on bed.

### 3. Detailed Description of Invention

#### Field of the invention

The present invention relates to five-simultaneously-working-axis Computerized Numerical Control (CNC) tooth-cutting machine tools for plane enveloping toroidal worms.

#### Background of the invention

Some existing toroidal worm grinding equipment have been developed recently, such as German HNC 35 TP and the Chinese Patent No. ZL92204765.0 patent entitled "Four-simultaneously-working-axis computerized numerical control toroidal worm grinding machines". These equipment have such advantages that the thread of plane enveloping toroidal worms can accurately be formed in once grinding; the ground work-pieces can acquire high accuracy and perfect surface roughness. However, their deficiencies are low productiveness and expensive cost

of the machined, so that it results in very high cost of the machined work-pieces and cannot meet the needs of constantly developing production.

The technical problem to be solved by this invention is to provide a five-simultaneously-working-axis CNC tooth-cutting machine tools for accurately forming plane enveloping toroidal worming in order to improve the productivity and reduce the cost.

In order to solve the above technical problem the technical scheme adopted by this invention is to provide a five-simultaneously-working-axis computerized numerical control tooth cutting machine tool for toroidal worms, including: a body of the machine tool and a controlling cabinet, the body includes: a bed, a spindle box with a spindle, a longitudinal sliding table, a traverse slider, a vertical guideway mounted on the slider, and a tailstock, a cutter rest that supports a rotating cutter head is mounted on the vertical guideway, the spindle rotates about A-axis thereof, the table longitudinally slides along Y-axis relative to the bed, the cutter head rotates about B-axis thereof and transversely shifts along X-axis, as well as the cutter head makes up/down shift along Z-axis of the guideway vertically, the control cabinet is equipped with programs for controlling the five axis of A, Y, X, Z and B simultaneously work together, wherein a first coordinate system  $\Sigma_1$  is connected with the workpiece, a second coordinate system  $\Sigma_2$  is connected with an imaginary gear, a third coordinate system  $\Sigma_3$  is connected with the rotating cutter head and a fourth coordinate system  $\Sigma_4$  is connected with the cutting edges, based upon the transformation of coordinate systems, the motion equations of five axes of A-, B-, Y-, X-, and Z-axes of the machine tool can be determined such that the shifting of cutting edge of the cutter on the cutter head is controlled to simulate an inclined plane in spatial locations in order to envelop out the tooth flank of plane enveloping toroidal worms.

Perfectly, the inclined plane simulated by the cutting edge of the cutters rotates around central axis of the imaginary gear  $K_2(o_2)$ , i.e. the composition of both

the rotation of B-axis and the revolution of B-axis around the axis of  $K_2 (o_2)$ , at the same time workpiece rotates around  $K_1 (o_1)$  (i.e. A-axis), in the course of relative motions the tooth flank of plane enveloping toroidal worm is generated.

Perfectly, the thread forming motion of plane enveloping toroidal worm can correctly be controlled by means of the control of the values of a rotating angle per unit time of the workpiece  $\varphi_1$ , a rotating angle per unit time of the imaginary gear  $\varphi_2$ , a rotating angle per unit time of the cutter head  $\varphi_3$ , an angle  $\tau$  of the center  $o_3$  of the cutter head rotating around the center  $o_2$  of the imaginary gear and a distance  $h$  of the center  $o_2$  of the imaginary gear making straight-line shift along the central axis thereof  $k_2(o_2)$ , in which  $\varphi_1/\varphi_2$  is equal to the gear ratio.

Perfectly, there are at least two blades mounted on the rotating cutter head, the cutting edge of the blade is straight line which lies on the plane perpendicular to the axis of the rotating cutter body.

Perfectly, the center  $o_3$  of the rotating cutter head and the cutting edges are all located on two tooth planes of the imaginary gear; while two tooth planes are inclined with angle  $\beta$  and tangential to two imaginary spatial cones respectively, the half conic angles of two cones is equal to the inclined angle  $\beta$ , the diameter  $r_b$  of an imaginary cones is equal to the diameter  $r_{bx}$  of main basic circle of the imaginary gear, the cutting edges on the cutter head shift along the tooth plane of the imaginary gear; while the inclined plane is tangential to the spatial cone and rotates around the central axis  $k_2(o_2)$  of the cone; the center  $o_2$  of the imaginary gear makes up / down shifts along the vertical axis  $k_2(\varphi_2)$ , the cutting edge comes into cutting at point N and secedes from cutting at point S, the coordinates of every point on the workpiece makes following up motions along X-, Y- and Z-axes while makes the circular interpolating motion about B-axis.

Perfectly, there are at least two blades mounted on the rotating cutter head, the cutting edge of the blade is straight line which lies on the plane perpendicular to the axis of the rotating cutter body.

Perfectly, the spindle box and tailstock are mounted on the bed, the longitudinal sliding table is movable mounted on bed and the traverse slider is mounted on the sliding table.

Perfectly, the longitudinal sliding table is movable mounted on bed, and the spindle and tailstock are fixed on sliding table, the traverse slider is mounted on bed.

The effect of the machine tool is that the rotating speed of cutter shaft and workpiece shaft can make the cutting velocity up to 200 m/min, thus the working efficiency is six to seven times higher than that of worm grinding and the productivity can be improved greatly. The machine tool of the invention is to supplement the deficiency of toroidal worm grinding machines and to provide a sort of high-productivity tooth cutting machine tools.

#### Detailed description of the preferred embodiments

By referring to the attached drawings and embodiments, the technical scheme of the invention would further be expounded as follows.

As shown in figures 1, 2 and 3, the first embodiment of five-simultaneously-working-axis CNC tooth-cutting machine tools for plane enveloping toroidal worms in accordance with the invention consists of two parts of a body of machine tool and a controlling cabinet. The body of the machine tool mainly includes bed 1, spindle box 2, longitudinal sliding table 3, vertical guideway, traverse slider 4 and tailstock 7. The spindle box 2 and tailstock 7 are mounted on the bed 1. The workpiece is mounted between spindle of the spindle box and tailstock 7. The longitudinal sliding table 3 is movable mounted on bed 1. The traverse slider 4 is mounted on the slide table. The vertical guideway is mounted on the traverse slider 4. A cutter rest 5 is mounted along the vertical guideway for supporting a rotating cutter head 6. The rotating cutter head 6 is mounted on the cutter rest 5 and can rotate about B-axis by the driving of servomotor 11. At least two blades are mounted on the rotating cutter head 6. The cutting edge of the blades is a straight line, which lies on the plane perpendicular to the axis of the rotating cutter head. The adjustment structure of

cutter rest 5 includes servomotor 10 and a lead screw-nut-mechanism. The rotating cutter head 6 is mounted on the cutter rest 5 located on the vertical guideway and can make an up/down shift movement along Z-axis by the driving of servomotor 10. The revolution speed of A-axis can automatically be adjusted according to the given cutting velocity and the size of workpiece to keep the constant cutting velocity.

The main movements of the machine tool include: the rotating movement of the spindle about A-axis thereof; the longitudinal sliding movement of the table 3 relative to the bed 1 along Y-axis; the rotating movement of the cutter head 6 about B-axis thereof; the traverse shifting movement of the cutter head 6 along X-axis; and up/down shifting movement of the cutter head 6 along Z-axis of the guideway vertically. Thus the workpiece rotates about A-axis, and the cutter head 6 rotates about B-axis with a given speed, traverse shifts along X-axis and up/down shifts along Z-axis as well as longitudinal shifts relative to the workpiece mounted between spindle of the spindle box and tailstock 7 along Y-axis.

The control cabinet is equipped with the programs for controlling spindle rotation and the programs for controlling the shifting along longitudinal, traverse and vertical directions as well as the rotation of cutter head so as to make the movements about or along the five axis of A, Y, X, Z and B simultaneously work together to control the shifting of cutting edge of the cutter on the cutter head 6 relative to the workpiece to simulate an inclined plane in spatial locations in order to envelop out the tooth flank of plane enveloping toroidal worms. Therefore the thread of plane enveloping toroidal worms would be formed. The speed of spindle can automatically be adjusted according to the given cutting velocity and the size of workpiece to keep the constant cutting velocity.

In order to improve the productivity of tooth cutting, a vertical guideway is mounted on the slider 4. The cutter body is connected with the nut through the structure of ball lead screw. The cutting edge of the cutter makes up / down shift along the guideway. The cutting edge of the blade is straight line which lies on the plane perpendicular to the axis of the rotating cutter head. The left cutting edge is

tangential to an imaginary special circular cone, while the right cutting edge to another imaginary circular cone. The bases of these two cones are congruent with one another, while the vertexes of two cones are located in opposite positions. Five-axis-simultaneously-working makes the cutting edges of the cutter shift along an inclined plane and generates the thread of worm.

As shown in figures 4, 5 and 6, , the second embodiment of five-simultaneously-working-axis CNC tooth-cutting machine tools for plane enveloping toroidal worms in accordance with the invention will be described as follows, in which the same reference number indicates same member as the first embodiment and the description for same structure as the first embodiment will not be described herein.

The longitudinal sliding table 3 is mounted on bed 1 . Spindle 2 and tailstock 7 are fixed on sliding table 3. The workpiece is mounted between spindle A and tailstock 7. The spindle controls the rotation of the workpiece by using servomotor 9. The longitudinal sliding table 3 makes the workpiece shift along Y-axis through servomotor 13. The traverse slider 4 is mounted on bed 1 and can feed along X-axis driven by servomotor 12. The rotating cutter 6 is mounted on the cutter rest 5 located on the vertical guideway and can rotate around B-axis driven by servomotor 11 . The cutter rest is driven by servomotor 10 through lead screw nut mechanism and makes the cutter head up / down shift along Z-axis. The revolution speed of A-axis can automatically be adjusted according to the given cutting velocity and the size of workpiece to keep the constant cutting velocity. Thus the workpiece both rotates about A-axis and shifts along Y-axis, and the cutter head 6 rotates about B-axis with a given speed, transversely shifts along X-axis and up/down shifts along Z-axis.

Similarly, the programs equipped within the control cabinet controls spindle rotation and the shifting movements along longitudinal, traverse and vertical directions as well as the rotation of cutter head so as to make the movements about or along the five axis of A, Y, X, Z and B simultaneously work together to control the shifting of cutting edge of the cutter on the cutter head 6 relative to the workpiece to



simulate an inclined plane in spatial locations in order to envelop out the tooth flank of plane enveloping toroidal worms. Therefore the thread of plane enveloping toroidal worms would be formed.

As shown in Fig 7, under the generating motion of five-axis-simultaneously-working the cutting edge of the cutter would simulate a plane, while the plane rotates around  $K_2(o_2)$  (i.e. the composition of both the rotation of B-axis and the revolution of B-axis around  $K_2(o_2)$ ), at the same time toroidal worm (i.e. workpiece) rotates around  $K_1(o_1)$  (i.e. A-axis). In the course of relative motion the tooth flank of plane enveloping toroidal worm would be generated.

As shown in Fig 8, a first coordinate system  $\Sigma_1: \{o_1; i_1(o_1), j_1(o_1), k_1(o_1)\}$  is connected with the workpiece of worm,  $\widehat{B B'}$  is the tip circle of the worm. A second coordinate system  $\Sigma_2: \{o_2; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2)\}$  is connected with the spatial imaginary gear. A third coordinate system  $\Sigma_3: \{o_3; i_3(\varphi_3), j_3(\varphi_3), k_3(\varphi_3)\}$  is connected with the cutter head. The center  $o_3$  of the cutter head rotates around the spatial imaginary gear  $o_2$ . A fourth coordinate system  $\Sigma_4: \{i_4(\delta), j_4(\delta), k_4(\delta)\}$  is connected with the cutting edges. Assumed that quadrilateral CDFG and quadrilateral C'D'F'G' are plane and express the tooth flank of the imaginary gear. Let the plane mesh with the thread of worm, it realizes the enveloping motion of the plane enveloping toroidal worm. This invention designs the cutting edge of rotating cutter head that lies on the tooth flank of the imaginary gear. Let the cutting edge shifts on the plane. While two planes are tangential to two imaginary cones whose bases are congruent with one another and the vertexes of two cones are located in opposite positions. The half conic angle of the plane is  $\beta_r$ . The shift of cutting edge may envelop out the thread of plane enveloping toroidal worm.

As shown in Fig 8, the meaning of five axis is expounded as follows.

1. A-axis: workpiece axis  $J_1(\varphi_1)$ ,  $\varphi_1$  is the rotating angle per unit time of workpiece, A-axis is the master control axis.

2. B-axis: the rotating axis of the cutter head, i.e.  $k_3(\varphi_3)$  in the Fig 8,  $\varphi_3$  is the rotating angle per unit time of the cutter head.

3. X-axis: i.e.  $i_1(o_1)$ -axis in the Fig 8, the traverse slider makes straight-line motion along x-direction.

4. Y-axis: i.e.  $j_1(o_1)$ -axis in the Fig 8, the longitudinal sliding table makes straight-line motion along Y-direction.

5. Z-axis: i.e.  $k_1(o_1)$ -axis in the Fig 8, the machine tool makes up / down shift along Z-axis.

Fig 9 shows that the first coordinate system  $\acute{O}_1 : \{o_1; i_1(o_1), j_1(o_1), k_1(o_1)\}$  represents the workpiece; while the second coordinate system  $\acute{O}_2 : \{o_2; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2)\}$  is connected with the imaginary tool gear. When  $h=0$ , the radius of main basic circle of the imaginary gear is  $r_{bx}$ ; if  $h \neq 0$ , the coordinate of the center  $o_2$  of the imaginary gear will make straight-line shift along  $k_2(o_2)$ -axis, at this moment  $r_{ax}$  is the radius of the outer circle of the imaginary gear;  $r_{ac}$  is the radius of the tip circle of the cutter head. The digit 1 in the Fig 9 represents the cutting edge 1.  $\overline{o_2 o_5} = h$ , the value of  $h$  can be positive (refer to Fig 11), negative (refer to Fig 10) or zero.

The origin of the third coordinate system  $\acute{O}_3$  that is fixed with the cutter head is  $o_3$ . The origin  $o_3$  will rotate around the center  $o_2$  of the imaginary gear in the course of machining. The distance  $\overline{o_2 o_3}$  between two origins is represented by  $r$ . The angle included between radius vector  $r$  and  $j_2(o_2)$ -axis is expressed by  $\tau$ . Make the second coordinate system  $\acute{O}_2 : \{o_2; i_2(o_2), j_2(o_2), k_2(o_2)\}$  representing the imaginary gear be directly related to the third coordinate system  $\acute{O}_3 : \{o_3; i_3(\varphi_3), j_3(\varphi_3), k_3(\varphi_3)\}$  for the cutter head by using radius vector  $r$  and polar angle  $\tau$  in order conveniently to reveal the motion relationship between the rotating center  $o_3$  of the cutter head and the center  $o_2$  of the imaginary gear. The shifting of the center  $o_3$  of the cutter head can be described in the first coordinate system  $\Sigma : \{o_1; i_1(o_1), j_1(o_1), k_1(o_1)\}$ :

$$\left. \begin{aligned} x_1(o_1) &= a_t - r \sin \tau \\ y_1(o_1) &= r \cos \tau \\ z_1(o_1) &= h \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{r_{at}^2 - r_{ac}^2 - 2r_{at}r_{ac} \cos(\alpha_{at} - \alpha_{ac})} \quad (2)$$

$$\tau = \varphi_3 + 90^\circ - \alpha_{at} - \eta \quad (3)$$

$$\alpha_{at} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bc}}{r_{at}}\right) \quad (4)$$

$$\alpha_{ac} = \sin^{-1}\left(\frac{r_{bc}}{r_{ac}}\right) \quad (5)$$

$$\eta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\alpha_{at} - \alpha_{ac}) \times r_{ac}}{r}\right) \quad (6)$$

Where,  $\alpha_{at}$  — the pressure angle of the tip circle of the imaginary gear;

$\alpha_{ac}$  — the pressure angle of the tip circle of the cutter head.

Point N in the figure is the cutting -in point; point S is the seceding point.

Through  $\triangle O_2NO_5$  we can investigate the values of  $r$  and  $\tau$  mentioned above.

Equations (1), (2) and (3) determine the coordinates of the center  $o_3$  of the cutter head and the imaginary gear in the course of simultaneous working . And it is not hard to find  $\varphi_3$ .

(1) At Point N,  $x_1(N)$  and  $y_1(N)$  are known, for the cutting edge1, the rotating angle  $\varphi_3$  of the center  $o_3$  of the cutter head is

$$\varphi_3 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{a_t - x_1(N)}{y_1(N)}\right) - (90^\circ - \alpha_{at}) \quad (7)$$

(2) At Point S,  $x_1(S)$  and  $y_1(S)$  are known, for the cutting edge1, the rotating angle  $\varphi_3$  of the center  $o_3$  of the cutter head is

$$\varphi_3 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{a_t - x_1(S)}{y_1(S)}\right) + (90^\circ + \alpha_{ac}) \quad (8)$$

The above equations (7) and (8) establish the spatial motion relationship of the workpiece and the cutter head. The cutting edge 1 comes into cutting at point N and secedes from cutting at point S. According to the same reason, the cutting rotating angles  $\varphi_3$  of the cutting edges 1, 2 and 3 can be found.

In Fig 9 EN is the intersected line of the right tooth flank of the imaginary gear and the main basic circle in the main plane. Assumed that EN is considered the cutting edge, when the workpiece rotates around  $J_1(o_1)$ -axis (i.e. Y-axis of the machine tool) for an angle  $\varphi_1$ , the cutter edge EN rotates around  $k_2(o_2)$ -axis of the imaginary gear (i.e. rotates around  $o_2$ ) for angle  $\varphi_2$  per unit time. Lets gear ratio  $i_t = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$ , the plane enveloping motion between the imaginary gear and the worm can be realized. This invention connects the rotating cutter head with the coordinate system  $\acute{O}_3$  and makes the workpiece rotate around  $J_1(o_1)$  for angle  $\varphi_1$ , the cutter head rotate around its own center  $o_3$  for angle  $\varphi_3$ , at the same time  $o_3$  rotate around the center  $o_2$  of the imaginary gear for an angle  $\tau$ . The cutter edge EN passes through point N, N is the end point of circular arc at the tooth tip of the worm. Each cutting edge comes into cutting at point N and secedes from cutting at point S. The motion of the machine tool can compound the five-axis simultaneous working forming motion for cutting the threads of the worm by using the cutter edge 1 to substitute for EN through controlling the rotating angle  $\varphi_1$  of the workpiece, the rotating angle  $\varphi_2$  of the imaginary gear and the rotating angle  $\varphi_3$  of the cutter head around its own axis as well as the rotating angle  $\tau$  of the cutter head around  $o_2$ . Figures 10 and 11 shows the motion state of the cutting edge EN under the condition of that the cutter head makes up / down shift along  $\overline{o_2o_5}$  for the distance  $h$  ( $h < 0$  or  $h > 0$ ).

Fig 12 shows the positions of the cutting edges of four blades on the cutter head. The cutting edges 2 and 4 are two blades for cutting the flanks of the thread. The more blades are, the higher the cutting productivity is. The fourth coordinate

system  $\Sigma 4:\{o_3, i_4(\delta), j_4(\delta), k_4(\delta)\}$  is related to the cutting edges, where  $o_3$  is congruent to  $o_4$  (i.e.  $o_3$  is  $o_4$ ). The cutting edges 1 and 3 are used for cutting the tooth depth.

Based upon the motion principle of the existing CNC-controlled toroidal worm grinding machines, the invention can once form the tooth flank of plane enveloping toroidal worms by using above embodiments in accordance with the invention, and makes the tooth profile of the machined toroidal worms identical with that of the ground worms by toroidal worm grinding machines as mentioned above in the Patent No. ZL 92204765.0. In this case, it can greatly improve the productivity, if grinding a worm, it will take one hour from fine blank to finish formed step, while cutting a worm, it will take 10 minutes only from fine blank to formed step. If combined with the invention, it will greatly raise the productivity by taking tooth-cutting as the rough machining of the worms and then using finish grinding for improving the surface roughness of the worms. Under the condition of high-speed cutting, the rotating speed of cutter shaft and workpiece shaft can make the cutting velocity up to 200 m/min, thus the working efficiency is six to seven times higher than that of worm grinding. The machine tool of this invention is to overcome the deficiency of toroidal worm grinding machines and to provide a high-productivity tooth cutting machine tools.

Although preferred embodiments of the invention have been described above, this invention is not limited to the particular structures and features described in detail herein. It will be apparent to those skilled in the art that numerous modifications form part of the invention insofar as they do not depart from the scope of the appended claims.

#### 4. Brief Description of Drawings

Fig. 1 is the schematic view showing the first embodiment of five-simultaneously-working-axis CNC tooth-cutting machine tools for plane enveloping toroidal worms in accordance with the invention.

Fig. 2 shows the top view of Fig. 1.

Fig. 3 is the side elevation of Fig. 1.

Fig. 4 is the schematic view showing the second embodiment of five-simultaneously-working-axis CNC controlled tooth-cutting machine tools for plane enveloping toroidal worms.

Fig. 5 is the top view of Fig. 4.

Fig. 6 is the side elevation of Fig. 4.

Fig 7 is the schematic view for forming principle of plane enveloping toroidal worms according to the invention;

Fig 8 shows the coordinate system for forming principle of plane enveloping toroidal worms according to the invention;

Fig 9 shows the motion state of cutter when  $h=0$ ;

Fig 10 shows the motion state of cutter when  $h<0$ ;

Fig 11 shows the motion state of cutter when  $h>0$ ;

Fig 12 shows the motion state of the cutter head in  $i_2(o_2) o_2 j_2(o_2)$ .

## 1. Abstract

The present invention provides a five-simultaneously-working-axis computerized numerical control tooth cutting machine tool for toroidal worms, including: a body of the machine tool and a controlling cabinet, the body includes: a bed, a spindle box with a spindle, a longitudinal sliding table, a traverse slider, a vertical guideway mounted on the slider, and a tailstock, a cutter rest that supports a rotating cutter head is mounted on the vertical guideway, the spindle rotates about A-axis thereof, the table longitudinally slides relative to the bed along Y-axis, the cutter head rotates about B-axis thereof and transversely shifts along X-axis, as well as the cutter head makes up/down shift along Z-axis of the guideway vertically, the control cabinet is equipped with programs for controlling spindle rotation and the programs for controlling the shifting along longitudinal, traverse and vertical directions as well as the rotation of cutter head so as to make the movements about or along the five axis of A, Y, X, Z and B simultaneously work together to control the shifting of cutting edge of the cutter on the cutter head relative to the workpiece and simulate an inclined plane in spatial locations in order to envelop out the tooth flank of plane enveloping toroidal worms. The effect of this invention shows that the rotating speed of cutter shaft and workpiece shaft can make the cutting velocity up to 200 m/min, and the working efficiency is six to seven times higher than that of worm grinding, the productivity can be improved greatly.

## 2. Representative Drawing

Fig.1

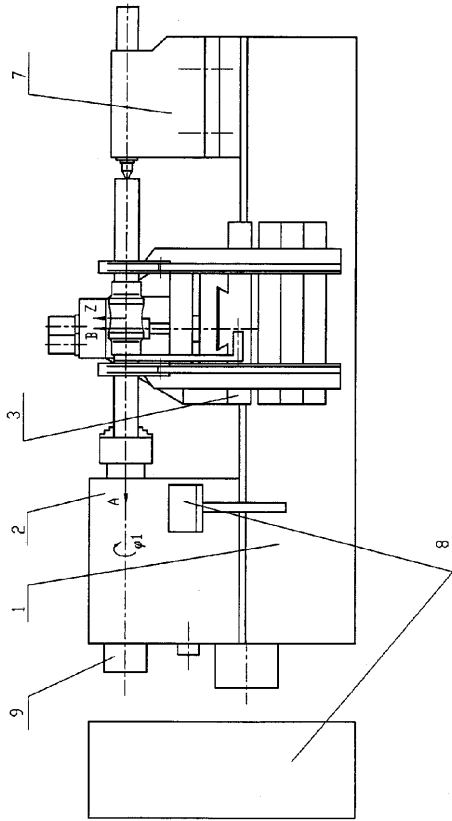


Fig.1

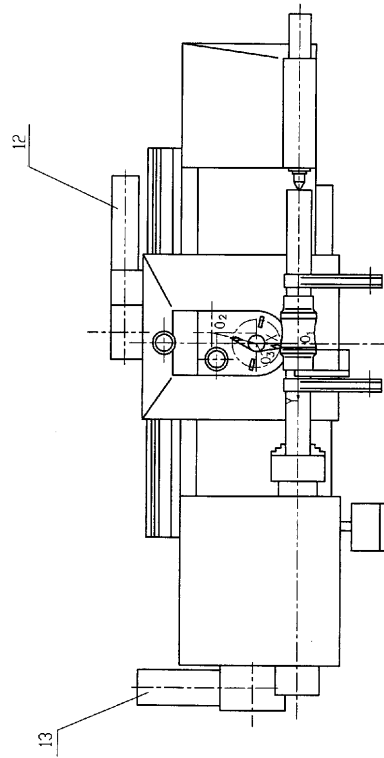


Fig.2

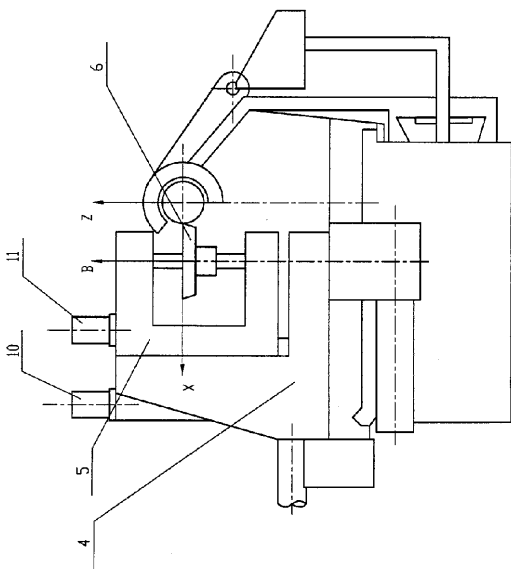


Fig.3

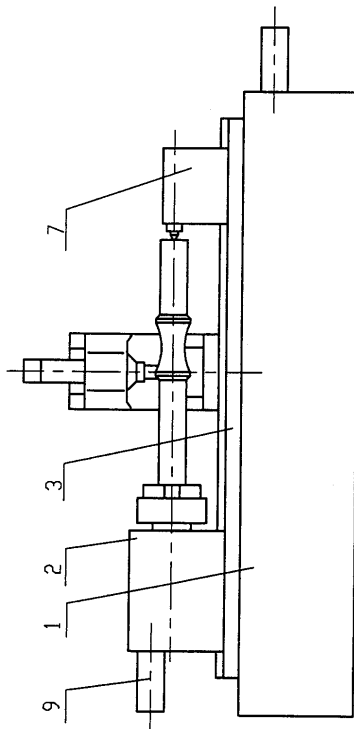


Fig.4



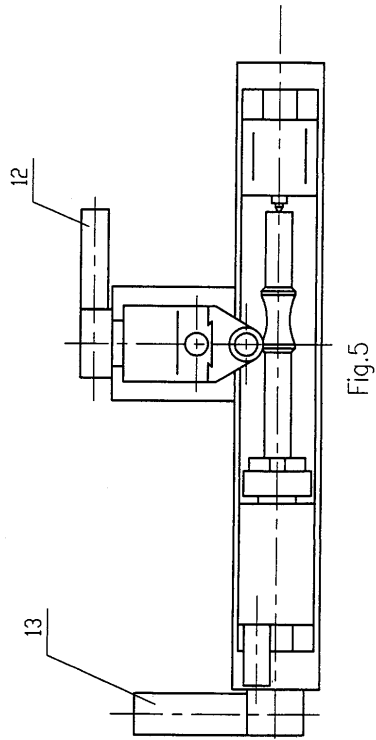


Fig.5

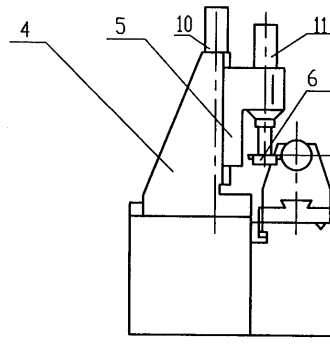


Fig.6

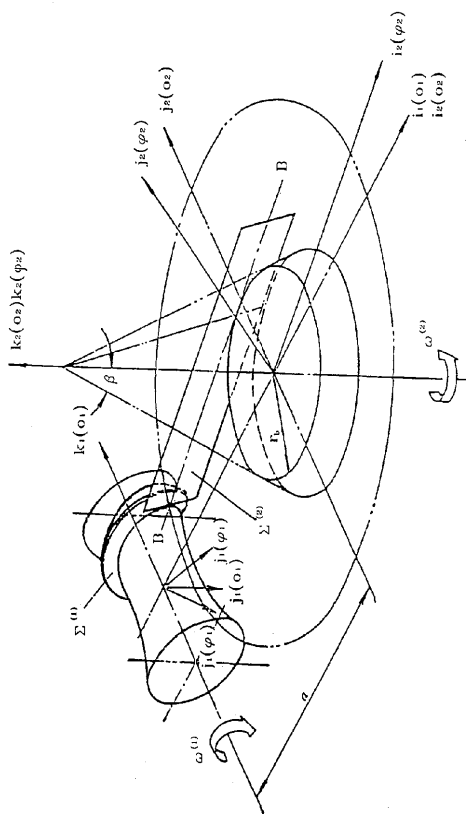


Fig. 7

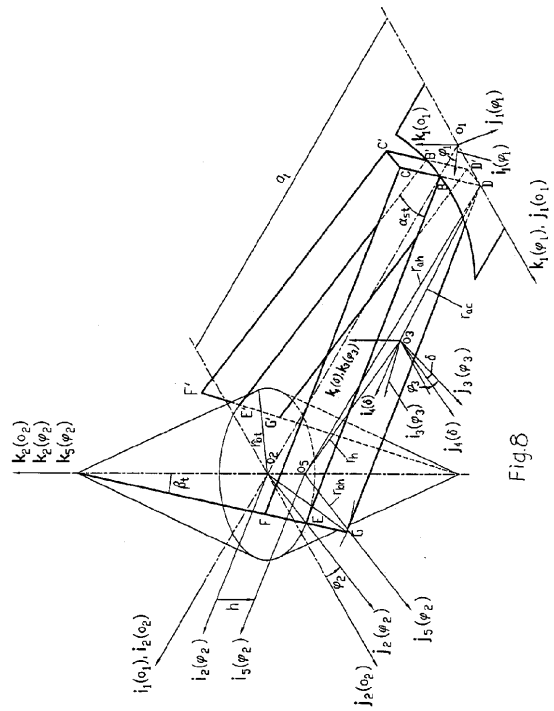


Fig.8

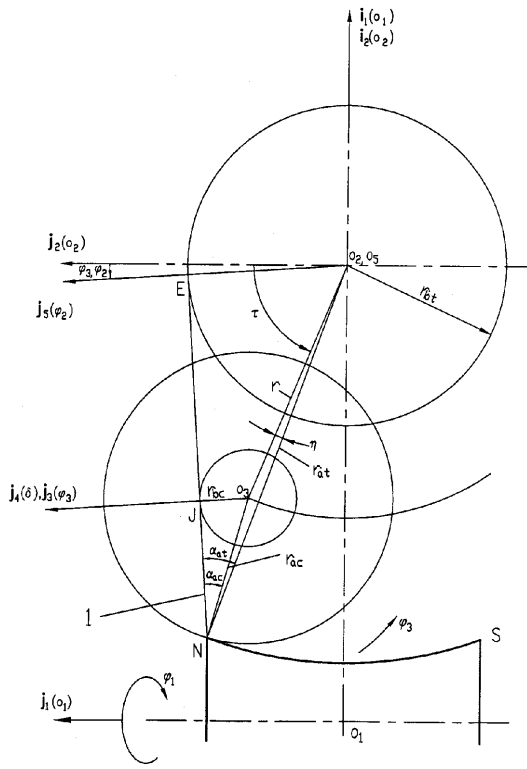


Fig.9

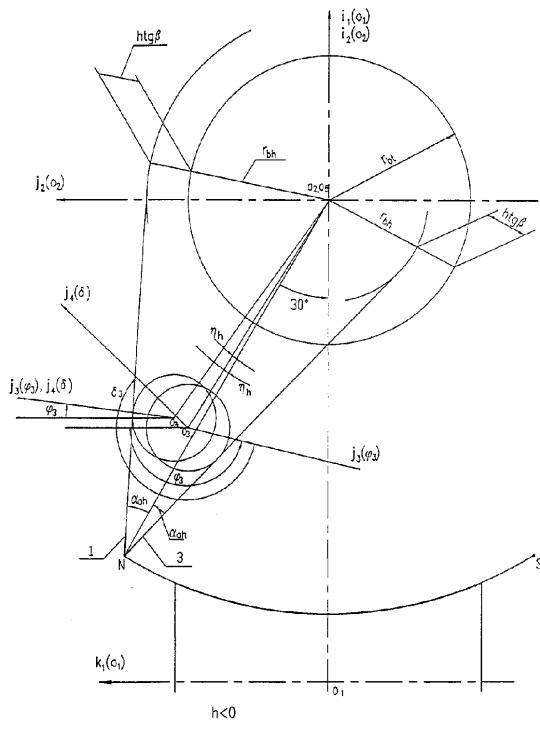


Fig. 10

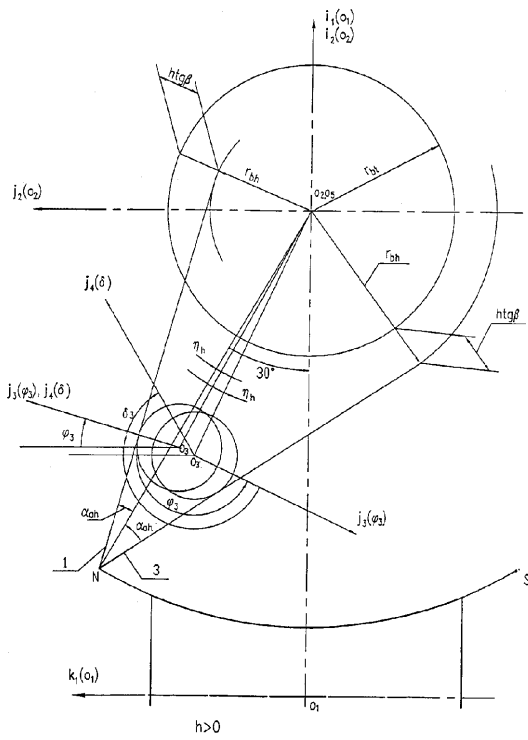


Fig. 11

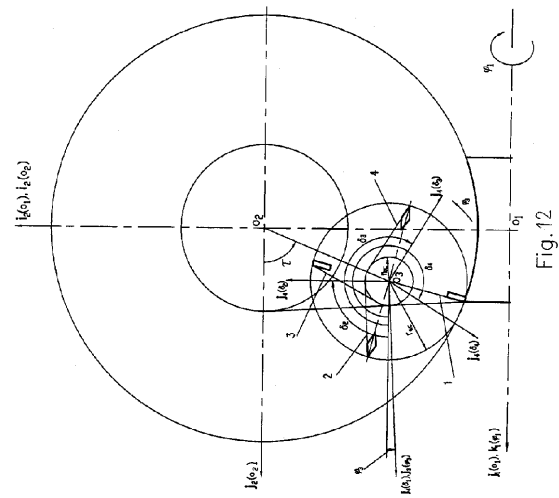


Fig.12