

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 décembre 2007 (27.12.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/147958 A2

(51) Classification internationale des brevets :
B24B 13/00 (2006.01) **B24B 1/00** (2006.01)
B24B 13/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/000982

(22) Date de dépôt international : 13 juin 2007 (13.06.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0605622 22 juin 2006 (22.06.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
**ESSILOR INTERNATIONAL (COMPAGNIE GENE-
RALE D'OPTIQ UE)** [FR/FR]; 147, rue de Paris,
F-94220 Charenton le Pont (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **COULON,
Alain** [FR/FR]; c/o Essilor International, (Compagnie

generale d'optique), 147, rue de Paris, F-94227 Charenton
cedex (FR). **CHAUVEAU, Jean-Pierre** [FR/FR]; c/o Es-
silor International, (Compagnie generale d'optique), 147,
rue de Paris, F-94227 Charenton cedex (FR). **DUBOIS,
Alain** [FR/FR]; c/o Essilor International, (Compagnie
generale d'optique), 147, rue de Paris, F-94227 Charenton
cedex (FR).

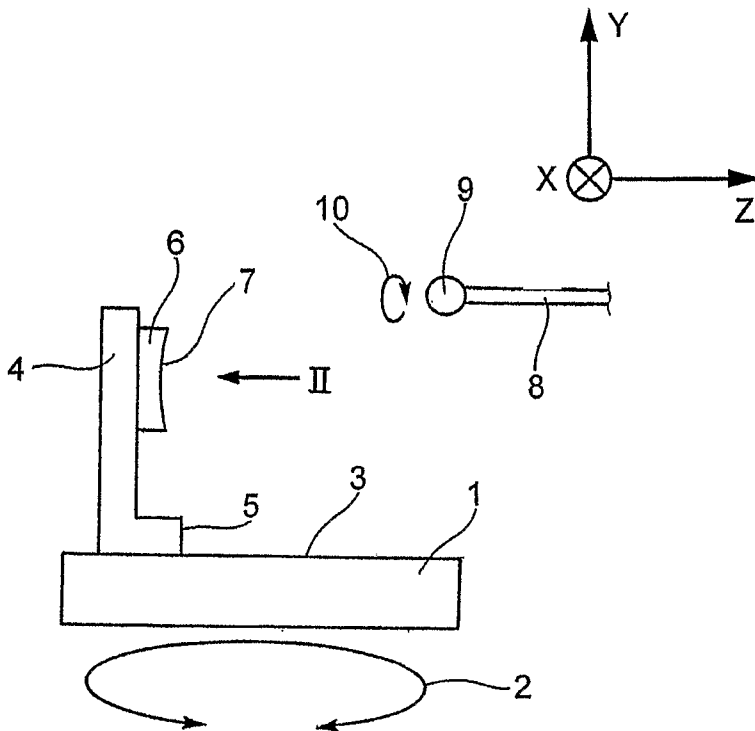
(74) Mandataire : **SANTARELLI**; 14, Avenue de la Grande-
Armée, B.P. 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND MACHINE TOOL FOR MACHINING AN OPTICAL OBJECT

(54) Titre : PROCÉDÉ ET MACHINE D'USINAGE POUR OBJET OPTIQUE



(57) Abstract: Method for machining a face (1) of an optical object (6), comprising a step of providing a machine tool which itself comprises: a bed (1) for locating an object to be machined, this bed (1), which has a receiving surface (3), being angularly adjustable about an axis perpendicular to the receiving surface (3); a spindle (8) suitable for rotating a machining tool (9) about an axis essentially parallel to the receiving surface (3) of the bed (1) and suitable for moving this machining tool (9) translationally in a plane essentially parallel or perpendicular to the receiving surface (3) of the bed (1).

(57) Abrégé : Procédé d'usinage d'une face (1) d'un objet optique (6), comportant une étape de fourniture d'une machine d'usinage qui comporte elle-même : un plateau (1) pour le montage d'un objet à usiner, ce plateau (1), qui comporte une surface de réception (3), étant orientable angulairement autour d'un axe transversal à la surface de réception (3); une broche (8) adaptée à entraîner un outil d'usinage (9) en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à la surface

de réception (3) du plateau (1) et adaptée à déplacer cet outil d'usinage (9) en translation dans un plan sensiblement parallèle ou perpendiculaire à la surface de réception (3) du plateau (1).

WO 2007/147958 A2



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Procédé et machine d'usinage pour objet optique

5 L'invention concerne le domaine de la fabrication des objets optiques, tels que, par exemple, des lentilles ophtalmiques, des moules, ou des inserts.

L'invention concerne plus particulièrement un procédé d'usinage d'une face d'un tel objet optique.

10 L'usinage des objets optiques nécessite généralement une attention particulière quant à la précision et à la régularité des formes usinées. Notamment, les défauts d'usinage liés à l'usure de l'outil employé pour cet usinage doivent être évités.

15 Dans ces conditions, des machines complexes, coûteuses et nécessitant un étalonnage délicat sont généralement employées dans ce domaine.

Par exemple, le document US 5,231,587 décrit une machine d'usinage pour lentilles comportant un outil sphérique monté tournant autour de son axe longitudinal, appelé premier axe, cet outil étant de plus orienté angulairement par son pivotement autour d'un deuxième axe perpendiculaire au premier axe. Un porte-pièce, destiné à supporter la lentille, est agencé de manière similaire et permet une rotation de la lentille autour d'un troisième axe, coplanaire au premier axe, et permet l'orientation angulaire de la lentille par son pivotement autour d'un quatrième axe perpendiculaire au troisième axe.

25 On connaît par ailleurs du document JP 2005 22 49 27 une méthode d'usinage au cours de laquelle un outil d'usinage est positionné par rapport à une pièce à usiner de telle sorte que le vecteur reliant un point d'usinage et le centre de l'outil forment avec le vecteur normal à la surface à usiner audit point d'usinage un angle constant durant toute la procédure d'usinage.

30 Le but de l'invention est d'améliorer les procédés et dispositifs d'usinage dont la précision est adaptée à l'usinage des objets optiques.

A cet effet, l'invention vise un procédé d'usinage d'une face d'un objet optique, comportant une étape de fourniture d'une machine d'usinage qui comporte elle-même :

- un plateau pour le montage d'un objet à usiner, ce plateau, qui comporte une surface de réception, étant orientable angulairement autour d'un axe transversal à la surface de réception ;

5 - une broche adaptée à entraîner un outil d'usinage en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à la surface de réception du plateau et adaptée à déplacer cet outil d'usinage en translation dans un plan sensiblement parallèle ou perpendiculaire à la surface de réception du plateau ;

ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

10 a) fixation d'un support sur le plateau de sorte que ce support saille transversalement au plateau ;

b) fixation sur le support de l'objet optique à usiner de sorte que ladite face à usiner soit disposée transversalement à la surface de réception du plateau ;

15 c) usinage de ladite face par l'outil d'usinage selon une trajectoire sensiblement parallèle à la surface de réception du plateau, le plateau étant angulairement orienté au fur et à mesure de l'usinage de sorte que l'outil d'usinage soit au contact de ladite face toujours selon un même parallèle prédéterminé et qu'un angle prédéterminé soit maintenu entre l'axe de rotation de l'outil d'usinage et la normale à ladite face au point de contact avec l'outil
20 d'usinage.

Un tel procédé permet de s'affranchir des défauts de type écart de forme de l'outil d'usinage. Il garantit au final un meilleur respect de la surface usinée et une meilleure durabilité de l'outil d'usinage.

25 Le procédé s'affranchit des défauts de l'outil d'usinage en assurant que le point de contact entre cet outil et la face à usiner soit toujours situé sur un même parallèle de l'outil, et ce sur une machine disposant d'un plateau tournant et d'un outil d'usinage mobile en translation.

30 Ce procédé permet en outre une trajectoire de l'outil d'usinage qui implique, d'une part, des niveaux d'accélération moindres et qui est, d'autre part, dépourvu de problèmes d'inversion de trajectoire. Les axes de la machine d'usinage n'ont ainsi pas besoin d'être surdimensionnés et l'usure des outils est plus régulière.

Par exemple, par rapport à une trajectoire d'usinage classique en spirale, ces avantages liés aux niveaux d'accélération et aux problèmes d'inversion sont complétés par le fait que, suivant les trajectoires cartésiennes permises par l'invention, il n'y a pas de point singulier au centre de la lentille, là où, suivant une trajectoire en spirale, la vitesse d'avance est nulle au centre. De plus, la machine d'usinage selon l'invention permet de n'usiner que la portion nécessaire de la lentille.

Selon des caractéristiques préférées, prises seules ou en combinaison :

- le procédé comporte en outre les étapes suivantes, après l'étape c) :
- 10 c) :
 - déplacement de l'outil d'usinage en translation selon une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de réception du plateau ;
 - répétition éventuelle de l'étape c) ;
- le procédé d'usinage comporte en outre l'étape suivante, avant 15 l'étape c) :
 - usinage de ladite face par l'outil d'usinage selon une trajectoire sensiblement perpendiculaire à la surface de réception du plateau, le plateau étant angulairement orienté au fur et à mesure de l'usinage de sorte que l'outil d'usinage soit au contact de ladite face toujours selon un même parallèle 20 prédéterminé et qu'un angle prédéterminé soit maintenu entre l'axe de rotation de l'outil d'usinage et la normale à ladite face au point de contact avec l'outil d'usinage ;
 - le procédé d'usinage comporte en outre, avant l'étape c), une étape de relevé du contour dynamique de l'outil d'usinage ;
 - 25 - le relevé du contour dynamique de l'outil d'usinage est effectué en entraînant l'outil d'usinage en vis-à-vis de moyens pour relever un profil ;
 - l'étape de relevé du contour dynamique de l'outil d'usinage est suivie d'une étape de sélection d'un parallèle prédéterminé ;
 - ledit parallèle prédéterminé est sélectionné parmi les plans 30 perpendiculaires à l'axe de rotation de l'outil d'usinage et qui coupent le contour dynamique de l'outil d'usinage ;
 - l'étape de sélection d'un parallèle prédéterminé est suivie par une étape de détermination du centre dynamique de l'outil d'usinage ;

- l'étape de détermination du centre dynamique est effectuée en déterminant l'intersection entre la normale au contour dynamique de l'outil d'usinage à l'un des points d'intersection entre le parallèle prédéterminé et le contour de l'outil d'usinage, et l'axe de rotation de l'outil d'usinage ;

5 - l'étape c) est réalisée en orientant angulairement le plateau au fur et à mesure de l'usinage de sorte que la normale à ladite face à usiner au point de contact entre l'outil d'usinage et ladite face, passe par le centre dynamique de l'outil d'usinage ;

10 - la distance entre le point de contact et le centre dynamique est sensiblement égale au rayon dynamique de l'outil d'usinage ;

- le procédé d'usinage comporte en outre l'étape suivante :

▪ usinage de ladite face par l'outil d'usinage selon une trajectoire parallèle à la surface de réception du plateau et dans le sens inverse de celui de l'étape c), l'outil d'usinage tournant dans le même sens.

15 Selon un autre objet, l'invention vise une machine d'usinage adaptée à la mise en œuvre du procédé indiqué précédemment, caractérisée en ce qu'elle comporte un plateau tournant comportant une surface de réception ainsi qu'une broche adaptée à entraîner un outil d'usinage en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à la surface de réception du plateau tournant et adaptée à
20 déplacer cet outil d'usinage en translation dans un plan sensiblement parallèle à la surface de réception du plateau, ainsi qu'un support fixé sur le plateau de sorte que ce support saille transversalement au plateau, ce support comportant des moyens de maintien de l'objet optique de sorte que la face à usiner de l'objet
25 optique soit disposée transversalement à la surface de réception du plateau tournant.

Selon des caractéristiques préférées, prises seules ou en combinaison :

- la broche est de plus adaptée à déplacer l'outil d'usinage en translation selon une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de réception du plateau ;

30 - la machine comporte en outre des moyens d'entraînement en rotation de l'outil d'usinage disposés en vis-à-vis de moyens pour relever un contour.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaissent à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation préféré donné à titre d'exemple non limitatif, description faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 5 - la figure 1 est une vue schématique des organes opératoires d'une machine d'usinage selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue de la face à usiner d'un objet optique sur laquelle est schématiquement représentée la trajectoire de l'outil d'usinage ;
- la figure 3 est une vue en trois dimensions illustrant la coopération
10 entre l'objet optique et l'outil d'usinage ;
- les figures 4 et 5 sont des vues schématiques illustrant le principe théorique de l'usinage selon un même parallèle prédéterminé ;
- les figures 6 et 7 sont des vues schématiques illustrant la mise en œuvre du principe illustré aux figures 3 et 4 par la machine de la figure 1 ;
- 15 - la figure 8A est une vue en trois dimensions similaire à la figure 3 illustrant sous la forme d'une flèche la normale au point de contact de la surface à usiner ;
- les figures 8B et 8C sont des vues en deux dimensions, respectivement de dessus et de face, de la figure 8A ;
- 20 - les figures 9A, 9B et 9C sont respectivement similaires aux figures 8A, 8B et 8C mais pour un autre point de contact entre l'objet optique et l'outil d'usinage.

Sur la vue schématique de la figure 1, la machine d'usinage représentée comporte un plateau tournant 1 (vu de profil sur cette figure) de forme
25 circulaire. Ce plateau 1 est orientable angulairement autour d'un axe perpendiculaire à son centre dans les deux sens (flèche 2 de la figure 1).

Le plateau tournant 1 présente une surface de réception 3 sur sa partie supérieure.

Une équerre 4 est fixée, par exemple par vissage, sur la surface de
30 réception 3 de sorte qu'une surface de montage 5 de l'équerre 4 saille perpendiculairement à la surface de réception 3.

L'équerre 4 comporte des mors (non représentés) adaptés à maintenir un objet optique, qui est dans le présent exemple une lentille ophtalmique 6, de

telle manière qu'une surface à usiner 7 de la lentille ophtalmique 6 soit disposée transversalement à la surface de réception 3.

Cette machine d'usinage comporte également une broche 8 sur laquelle est monté un outil d'usinage 9, qui est dans le présent exemple une fraise à portée sphérique. La broche 8 est adaptée à entraîner l'outil 9 en rotation selon la flèche 10 et à déplacer cet outil 9 en translation selon les trois directions X, Y et Z pour permettre à l'outil 9 d'usiner toute la surface 7 de la lentille ophtalmique 6.

La broche 8 est ici parallèle à l'axe Z.

Selon une variante, la broche 8 est inclinée par rapport à l'axe Z.

En variante également, le déplacement de l'outil 9 selon les trois directions X, Y et Z peut être réalisé par l'intermédiaire d'une broche 8 fixe et d'un plateau tournant 1 qui est lui-même mobile en translation selon les directions X, Y et Z.

D'une manière générale, on peut admettre en variante toute combinaison de déplacements de l'outil 9 et du plateau tournant 1 permettant un tel mouvement relatif de l'outil 9 et du plateau tournant 1.

La surface à usiner 7, qui est vue en plan sur la figure 2, est ici usinée selon une trajectoire cannelée représentée schématiquement par la ligne 11. Ainsi, l'usinage est réalisé sous la forme d'une suite de passes de l'outil 9 entraîné en rotation et déplacé suivant une trajectoire parallèle à la surface de réception 3.

Sur cette figure 2, la surface à usiner apparaît de face comme un disque, étant entendu que la lentille 6 est courbe et que cette surface à usiner 7 n'est donc pas plane.

L'usinage de la surface 7 d'une lentille ophtalmique 6 selon le montage de la figure 1 se déroule de manière indiquée ci-après.

La position angulaire relative de la surface 7 par rapport à l'outil 9 se fait selon un même parallèle prédéterminé. La figure 3 illustre en trois dimensions le positionnement relatif outil-pièce selon un même parallèle P de l'outil 9.

Le principe de l'usinage selon un même parallèle P prédéterminé de l'outil 9 est illustré de manière théorique en deux dimensions aux figures 4 et 5.

Avant d'être monté sur la broche 8, l'outil 9 est monté sur un équipement permettant de déterminer son profil dynamique. Cet équipement est adapté à mettre en rotation l'outil 9. Le profil dynamique de l'outil est relevé, par

exemple en plaçant l'outil 9 entre un faisceau lumineux parallèle et un écran de manière que l'ombre de l'outil 9 projetée sur l'écran rende compte de ce profil dynamique 12, ou encore en filmant l'outil 9 en rotation et en affichant cette image sur un écran.

5 L'équipement de mesure de profil dynamique permet également de travailler sur cette image, manuellement ou électroniquement, et d'effectuer des mesures et des tracés sur ce profil dynamique 12.

10 Pour une meilleure précision, surtout dans le cas où l'outil 9 est un outil de finition, on peut rectifier et équilibrer cet outil directement sur la broche, puis mesurer son profil dynamique.

On choisit ensuite un parallèle P sur ce profil dynamique qui apparaît sur les figures sous la forme d'un segment perpendiculaire à l'axe de rotation 13 de l'outil 9 autour duquel le profil dynamique 12 est symétrique.

15 Ce parallèle P est déterminé par l'intersection d'un plan perpendiculaire à l'axe de rotation 13 de l'outil 9 et le profil dynamique 12 de l'outil 9.

On détermine ensuite sur le profil 12 la tangente 14 au contour du profil dynamique au point d'intersection entre l'une des extrémités du parallèle P et le contour du profil 12.

20 La perpendiculaire 15 à la tangente 14 au point C coupe l'axe de rotation 13 en un point R_D qui est le rayon dynamique de l'outil 9. Cette perpendiculaire 15 est donc la normale au profil dynamique 12 au point C.

25 L'usinage est ensuite réalisé de sorte que, d'une part, l'outil 9 soit en contact avec la surface à usiner toujours au point C, c'est-à-dire, l'outil étant rotatif, selon toujours le même parallèle P et que, d'autre part, l'orientation angulaire relative entre l'outil et la surface à usiner soit telle que la normale N à la surface à usiner au point de contact C passe par le point R_D , c'est-à-dire qu'elle soit confondue avec la perpendiculaire 15.

La figure 5 montre deux positions possibles de l'outil 9 le long d'une surface à usiner 7 respectant les principes ci-dessus.

30 Sur la machine de la figure 1, ces principes sont appliqués conformément aux figures 6 et 7 qui sont des vues de dessus par rapport à la représentation de la figure 1.

Lorsque l'outil 9 est approché pour venir au contact de la surface 7, comme sur la figure 6, le plateau tournant 1 est angulairement orienté de manière que la surface 7 vienne se placer conformément à cette figure 6, c'est-à-dire de manière que la normale N à la surface 7 au point de contact C passe par le centre R_D , ce qui implique que l'angle A est toujours conservé entre cette normale N et l'axe de rotation 13 de l'outil 9.

On effectue un usinage de type ponctuel. C'est-à-dire que l'on utilise toujours le même lieu sur la génératrice sphérique de la meule. L'ensemble des points de contact meule/pièce formera donc un cercle contenu dans un plan orthogonal à l'axe de l'outil. La position de ce plan par rapport au centre de meule est définie par l'angle A.

L'outil 9 est ensuite déplacé selon une trajectoire parallèle à la surface de réception 3 du plateau tournant 1, c'est-à-dire dans le plan X, Z.

La figure 7 montre une autre position de l'outil 9 après déplacement. Le plateau tournant 1 a été orienté angulairement, de même que précédemment, pour que la normale N_2 au point C_2 passe par le point R_D . Cette orientation angulaire du plateau tournant 1 se fait au fur et à mesure du parcours de l'outil 9 sur la surface à usiner 7. Une fois ce parcours réalisé d'une extrémité latérale de la lentille ophtalmique à l'autre, l'outil 9 est déplacé en translation perpendiculairement à la surface de réception 3, c'est-à-dire selon l'axe Y, conformément à la figure 2, puis une nouvelle passe dans le plan X, Z est réalisée de la même manière. Ces opérations sont répétées jusqu'à l'usinage complet de la surface 7.

On impose donc que la normale au contact doit être confondue avec la normale de l'outil. Ce qui signifie que, l'outil étant ici quasi sphérique, la normale à la pièce doit passer par le centre de la meule.

Exemple d'une configuration d'usinage

On connaît le point d'usinage $C(X, Y, Z)_{pièce}$ ainsi que sa normale $\vec{N}_p(U, V, W)_{pièce}$ dans le repère pièce.

On recherche le point centre meule $R_D(X_m, Y_m, Z_m)_{pièce}$ ainsi que sa direction $\vec{N}_p(U_m, V_m, W_m)_{pièce}$ dans le repère pièce.

Calcul de l'angle B

On définit le repère meule $(\vec{X}_{meule}, \vec{Y}_{meule}, \vec{Z}_{meule})$, un repère orthonormé d'origine le centre de la meule, et colinéaire à la direction de la meule.

On recherche la valeur de la rotation autour de l'axe Y à appliquer pour qu'au point C, la normale à la surface passe par la génératrice du cône de
 5 sommet de centre de meule et d'angle $\frac{\pi}{2} - A$. Soit B cet angle.

La normale au point C exprimée dans le repère pièce est telle que :

$$\vec{N} = U\vec{X}_p + V\vec{Y}_p + W\vec{Z}_p.$$

Ce qui nous donne après basculement d'angle B dans le repère meule :

$$\vec{N} = U(\vec{Z}_m \cos B - \vec{X}_m \sin B) + V\vec{Y}_m + W(\vec{Z}_m \sin B + \vec{X}_m \cos B).$$

10 On obtient les coordonnées du vecteur \vec{N} dans le repère meule après basculement sous la forme :

$$\vec{N} = (-U \sin B + W \cos B)\vec{X}_m + V\vec{Y}_m + (U \cos B + W \sin B)\vec{Z}_m$$

On souhaite que cette normale « basculée » fasse un angle de $\frac{\pi}{2} - A$ avec l'axe orienté de la meule, on peut donc écrire que le produit scalaire de
 15 \vec{X}_{meule} par \vec{N} est égal au cosinus de l'angle du cône formé par A.

$$\vec{X}_m \cdot \vec{N} = \cos\left(\frac{\pi}{2} - A\right) = \sin(A)$$

Ce qui s'écrit :

$$-U \sin B + W \cos B = \sin A$$

$$-\sin B + \frac{W}{U} \cos B = \frac{\sin A}{W}$$

20 On pose $\frac{W}{U} = \tan t$, l'équation devient :

$$-\sin B + \tan t \cos B = \frac{\sin A}{W}$$

$$-\cos t \sin B + \sin t \cos B = \frac{\sin A}{U} \cos t$$

Si la condition $-1 \leq \frac{\sin A}{U} \cos t \leq 1$ est respectée, on peut poser :

$$\frac{\sin A}{U} \cos t = \sin q$$

l'équation devient alors :

$$-\cos t \sin B + \sin t \cos B = \frac{\sin A}{U} \cos t$$

$$\sin(t - B) = \sin q$$

Soit :

5 $t - B = q$ ou $t - B = \pi - q$

Donc :

$$B = -\pi + \arcsin\left(\frac{\sin A}{U} \cos\left(\arctan \frac{W}{U}\right)\right) + \arctan \frac{W}{U}$$

ou

$$B = -\arcsin\left(\frac{\sin A}{U} \cos\left(\arctan \frac{W}{U}\right)\right) + \arctan \frac{W}{U}$$

10 On sait que $\cos\left(\arctan \frac{W}{U}\right) = \frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}$, dont on en déduit :

$$B = -\pi + \arcsin\left(\frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right) + \arccos\left(\frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right)$$

$$B = -\arcsin\left(\frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right) + \arccos\left(\frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right)$$

Soit :

$$B = -\pi + \arcsin\left(\frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right) + \arcsin\left(\frac{W}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right)$$

15 ou

$$B = -\arcsin\left(\frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right) + \arcsin\left(\frac{W}{\sqrt{U^2 + W^2}}\right)$$

Nous avons supposé que :

$$-1 \leq \frac{\sin A}{U} \cos t \leq 1$$

$$-1 \leq \frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}} \leq 1$$

20 $\sin^2 A \leq U^2 + W^2$

$$\cos^2 A \geq V^2$$

La condition à vérifier pour que l'angle soit correct est $\cos^2 A \geq V^2$.

On choisira pour B :

$$B = -\pi + \text{Arc sin} \left(\frac{W}{\sqrt{U^2 + W^2}} \right) + \text{Arc sin} \left(\frac{\sin A}{\sqrt{U^2 + W^2}} \right)$$

Avec la condition suivante :

5 $\cos^2 A \geq V^2$

Calcul de la direction de la meule

L'angle B étant défini, on peut en déduire la direction de la meule

$\vec{N} = (U_m, V_m, W_m)_{pièce}$ dans le repère pièce.

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} U_m = \sin B \\ V_m = 0 \\ W_m = \cos B \end{pmatrix}_{reperepièce}$$

10 Calcul de la position du centre meule

Il s'agit de calculer la position à donner au centre de meule

$R_D (X_m, Y_m, Z_m)_{pièce}$ de façon à venir usiner le point $C(X, Y, Z)_{pièce}$ de normale

$\vec{N}(U, V, W)_{pièce}$ dans le repère pièce.

O : origine du repère pièce

15 C : le point d'usinage

R_D : centre de la meule.

On a :

$$\vec{OR}_D = \vec{OC} + \vec{CR}_D$$

$$\vec{OC} = X\vec{X}_p + Y\vec{Y}_p + Z\vec{Z}_p$$

20 $\vec{CR}_D = R_{meule} \vec{N}$

$$\vec{CR}_D = (R_{meule} U)\vec{X}_p + (R_{meule} V)\vec{Y}_p + (R_{meule} W)\vec{Z}_p$$

avec R_{meule} : le rayon de la meule

D'où la position du centre meule :

$$OR_D = (X + R_{meule} U)\vec{X}_p + (Y + R_{meule} V)\vec{Y}_p + (Z + R_{meule} W)\vec{Z}_p$$

$$C = \begin{pmatrix} X + R_{meule} U \\ Y + R_{meule} V \\ Z + R_{meule} W \end{pmatrix}_{reperemeule}$$

L'usinage peut se faire en deux étapes :

Une première étape dans laquelle on vient positionner l'outil de sorte que la normale du point à usiner soit « parallèle à la surface du cône ».

5 Une deuxième étape dans laquelle le point d'usinage est mis en contact avec le point à usiner.

Durant l'usinage, l'outil est ainsi utilisé de manière symétrique de part et d'autre du parallèle P qui a été choisi, ce qui permet de mieux prévoir et maîtriser cette usure. De plus, l'outil 9 usine la surface 7 en attaquant la matière perpendiculairement à la trajectoire de déplacement de l'outil 9, ce qui permet de s'affranchir des défauts d'usinage inhérents au mode d'usinage dans lequel la matière est soit « avalée », soit « repoussée », lorsque l'outil attaque la matière parallèlement à sa trajectoire de déplacement.

10 Le parallèle P est choisi en fonction de la forme de la surface à usiner 7 de sorte qu'aucune portion de cette surface 7 ne soit inaccessible à ce parallèle P compte-tenu des mouvements angulaires possibles entre l'outil 9 et le plateau tournant 1, et en prenant en compte l'encombrement de la broche 8.

Les opérations d'usinage décrites en référence aux figures 6 et 7 ont bien entendu lieu en trois dimensions comme l'illustrent les figures 8A à 9C. Les figures 8A à 8C montrent l'usinage de la lentille 6 par l'outil 9 selon un premier point C1 de contact (comme sur la figure 6), tandis que les figures 9A à 9C montrent l'usinage de la lentille 6 par l'outil 9 selon un deuxième point C2 de contact (comme sur la figure 7).

25 Sur chacune de ces figures 8A à 9C, la normale N au point de contact C de la surface à usiner 7 est représentée. Le passage du point de contact C1 des figures 8A à 8C au point de contact C2 des figures 9A à 9C entraîne bien entendu un déplacement de la normale N de sa position N1 à sa position N2. Cette normale N évolue en fonction du point de contact C, dans un volume en forme de cône.

30 Des variantes de réalisation de la machine et du procédé d'usinage peuvent être envisagées sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Notamment, la machine d'usinage peut comporter deux broches distinctes, une première broche pour l'ébauchage et une seconde pour la finition et la demi-finition de l'objet optique tel qu'une lentille ophtalmique, un moule ou un insert. Avantageusement, la machine d'usinage peut en outre comprendre un changeur d'outils adapté à venir positionner un outil 9 sur la broche.

5

La description ci-dessus se rapporte à une trajectoire outil-pièce conforme à la figure 2, qui présente l'avantage d'usiner sans avaler ou repousser la matière, étant entendu que l'invention peut également être mise en œuvre selon une trajectoire 11' outil-pièce angulaire décalée de 90° par rapport à celle de la

10

figure 2 (voir figure 10).

REVENDICATIONS

1. Procédé d'usinage d'une face (1) d'un objet optique (6), comportant une étape de fourniture d'une machine d'usinage qui comporte elle-même :

5 - un plateau (1) pour le montage d'un objet à usiner, ce plateau (1), qui comporte une surface de réception (3), étant orientable angulairement autour d'un axe transversal à la surface de réception (3) ;

 - une broche (8) adaptée à entraîner un outil d'usinage (9) en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à la surface de réception (3) du plateau (1) et adaptée à déplacer cet outil d'usinage (9) en translation dans un plan sensiblement parallèle ou perpendiculaire à la surface de réception (3) du plateau (1) ;

 ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

15 a) fixation d'un support (4) sur le plateau (1) de sorte que ce support (4) saille transversalement au plateau (1) ;

 b) fixation sur le support (4) de l'objet optique (6) à usiner de sorte que ladite face (7) à usiner soit disposée transversalement à la surface de réception (3) du plateau (1) ;

20 c) usinage de ladite face (7) par l'outil d'usinage (9) selon une trajectoire sensiblement parallèle à la surface de réception (3) du plateau (1), le plateau (1) étant angulairement orienté au fur et à mesure de l'usinage de sorte que l'outil d'usinage (9) soit au contact de ladite face (7) toujours selon un même parallèle prédéterminé (P) et qu'un angle prédéterminé (A) soit maintenu entre
25 l'axe de rotation (13) de l'outil d'usinage (9) et la normale (N) à ladite face (7) au point de contact (C) avec l'outil d'usinage (9).

2. Procédé d'usinage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes, après l'étape c) :

30 - déplacement de l'outil d'usinage (9) en translation selon une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de réception (3) du plateau (1).

3. Procédé d'usinage selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte l'étape supplémentaire suivante :

 - répétition de l'étape c).

4. Procédé d'usinage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante, avant l'étape c) :

- usinage de ladite face (7) par l'outil d'usinage (9) selon une trajectoire sensiblement perpendiculaire à la surface de réception (3) du plateau (1), le plateau (1) étant angulairement orienté au fur et à mesure de l'usinage de sorte que l'outil d'usinage (9) soit au contact de ladite face (7) toujours selon un même parallèle prédéterminé (P) et qu'un angle prédéterminé (A) soit maintenu entre l'axe de rotation (13) de l'outil d'usinage (9) et la normale (N) à ladite face (7) au point de contact (C) avec l'outil d'usinage (9).

5. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre, avant l'étape c), une étape de relevé du contour dynamique (12) de l'outil d'usinage (9).

6. Procédé d'usinage selon la revendication 5, caractérisé en ce que le relevé du contour dynamique (12) de l'outil d'usinage (9) est effectué en entraînant l'outil d'usinage (9) en vis-à-vis de moyens pour relever un profil.

7. Procédé d'usinage selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de relevé du contour dynamique de l'outil d'usinage (9) est suivie d'une étape de sélection d'un parallèle (P) prédéterminé.

8. Procédé d'usinage selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit parallèle (P) prédéterminé est sélectionné parmi les plans perpendiculaires à l'axe de rotation (13) de l'outil d'usinage (9) et qui coupent le contour dynamique (12) de l'outil d'usinage (9).

9. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que l'étape de sélection d'un parallèle (P) prédéterminé est suivie par une étape de détermination du centre dynamique (R_D) de l'outil d'usinage (9).

10. Procédé d'usinage selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'étape de détermination du centre dynamique (R_D) est effectuée en déterminant l'intersection entre la normale (15) au contour dynamique (12) de l'outil d'usinage (9) à l'un des points d'intersection entre le parallèle (P) prédéterminé et le contour de l'outil d'usinage (9), et l'axe de rotation (13) de l'outil d'usinage (9).

11. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 9 et 10, caractérisé en ce que l'étape c) est réalisée en orientant angulairement le plateau

(1) au fur et à mesure de l'usinage de sorte que la normale (N) à ladite face (7) à usiner au point de contact (C) entre l'outil d'usinage (9) et ladite face (7), passe par le centre dynamique (R_D) de l'outil d'usinage (9).

12. Procédé d'usinage selon la revendication 11, caractérisé en ce que
5 la distance entre le point de contact (C) et le centre dynamique (R_D) est sensiblement égale au rayon dynamique de l'outil d'usinage (9).

13. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante :

- usinage de ladite face (7) par l'outil d'usinage (9) selon une
10 trajectoire parallèle à la surface de réception (3) du plateau (1) et dans le sens inverse de celui de l'étape c), l'outil d'usinage (9) tournant dans le même sens.

14. Machine d'usinage adaptée à la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce qu'elle comporte un plateau tournant (1) comportant une surface de réception (3) ainsi qu'une broche (8)
15 adaptée à entraîner un outil d'usinage (9) en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à la surface de réception (3) du plateau tournant (1) et adaptée à déplacer cet outil d'usinage (9) en translation dans un plan sensiblement parallèle à la surface de réception (3) du plateau (1), ainsi qu'un support (4) fixé sur le plateau (1) de sorte que ce support (4) saille
20 transversalement au plateau (1), ce support (4) comportant des moyens de maintien de l'objet optique (6) de sorte que la face (7) à usiner de l'objet optique (6) soit disposée transversalement à la surface de réception (3) du plateau tournant (1).

15. Machine d'usinage selon la revendication 14, caractérisée en ce que
25 la broche (8) est de plus adaptée à déplacer l'outil d'usinage (9) en translation selon une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de réception (3) du plateau (1).

16. Machine d'usinage selon l'une des revendications 14 et 15, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre des moyens d'entraînement en
30 rotation de l'outil d'usinage (9) disposés en vis-à-vis de moyens pour relever un contour.

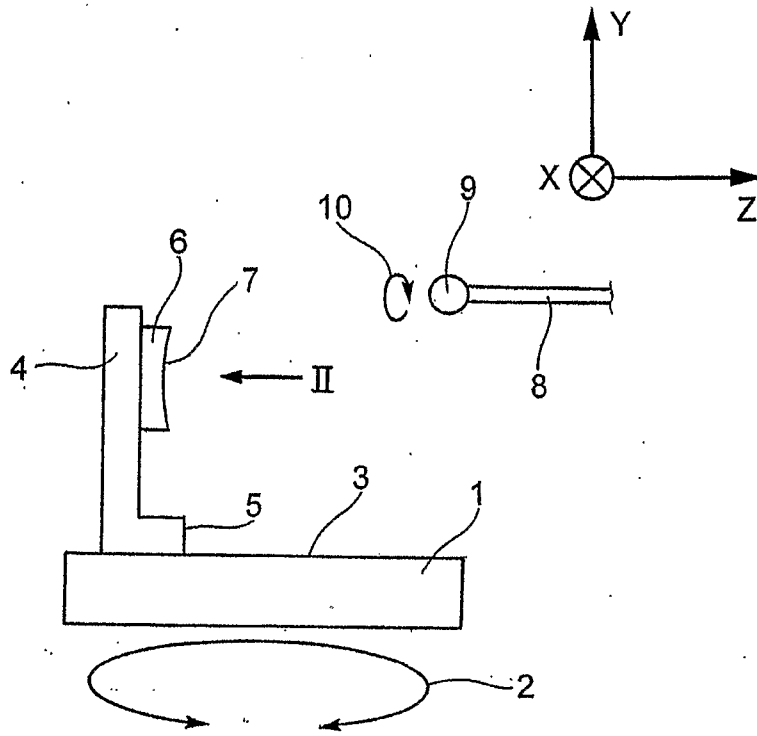


Fig.1

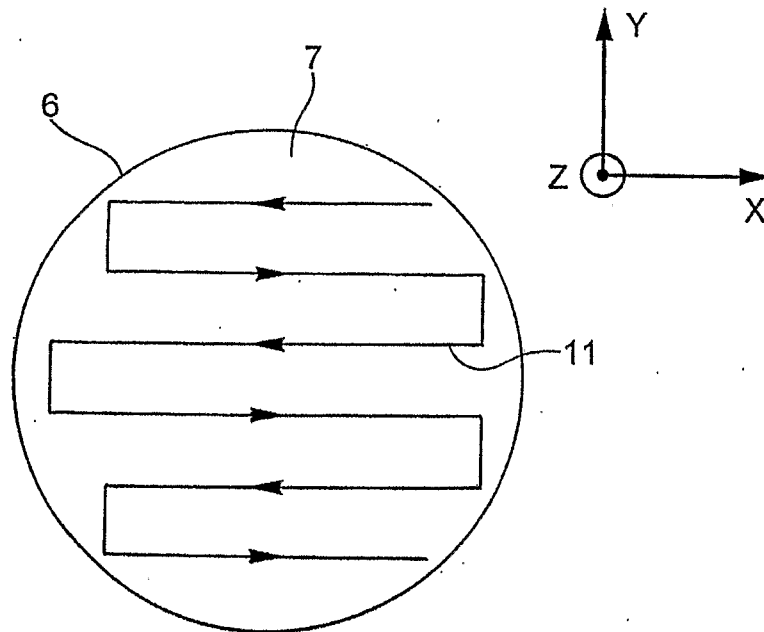


Fig.2

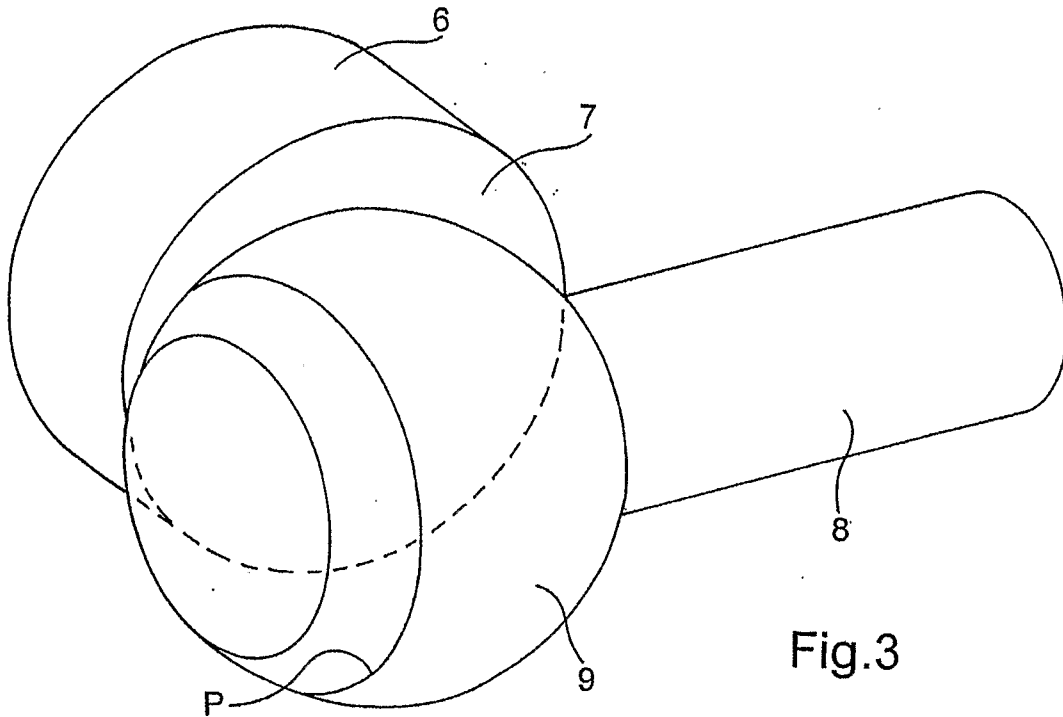


Fig.3

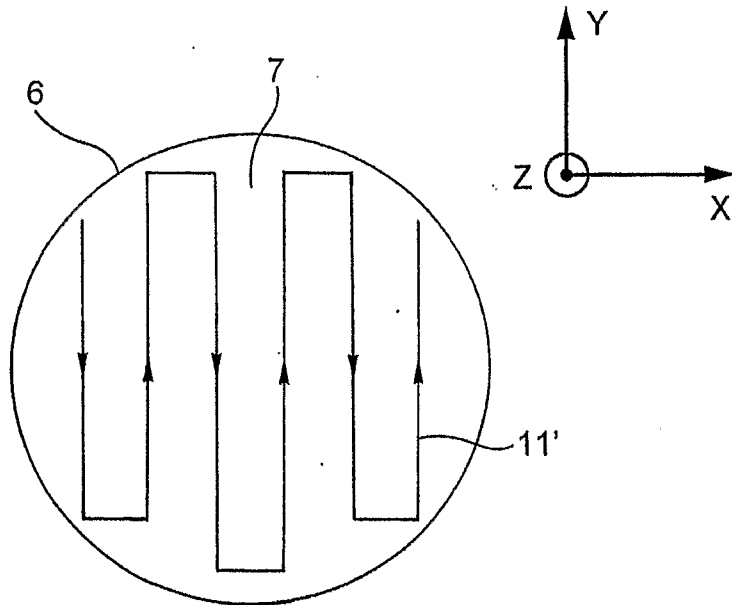


Fig.10

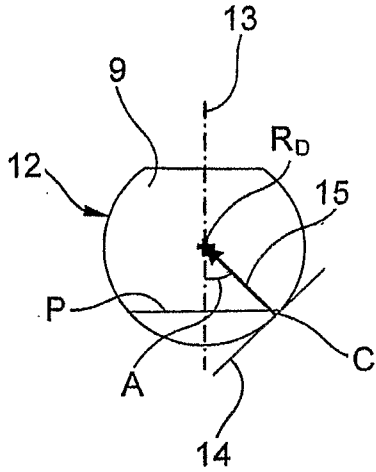


Fig.4

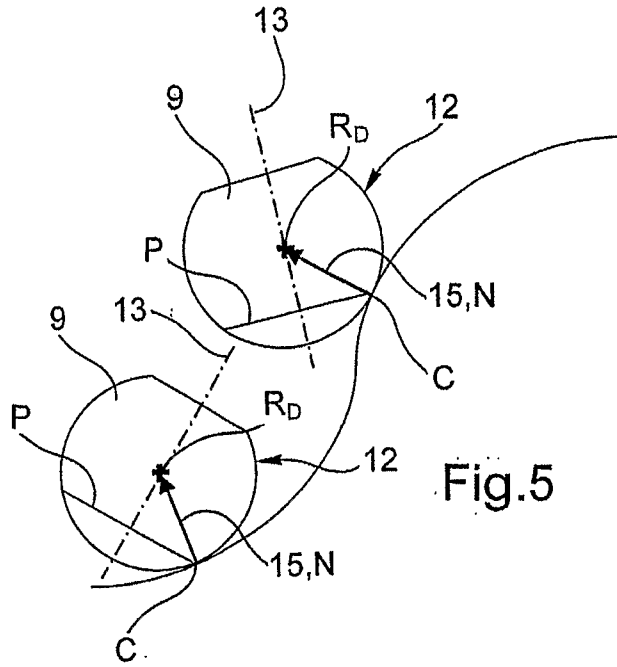


Fig.5

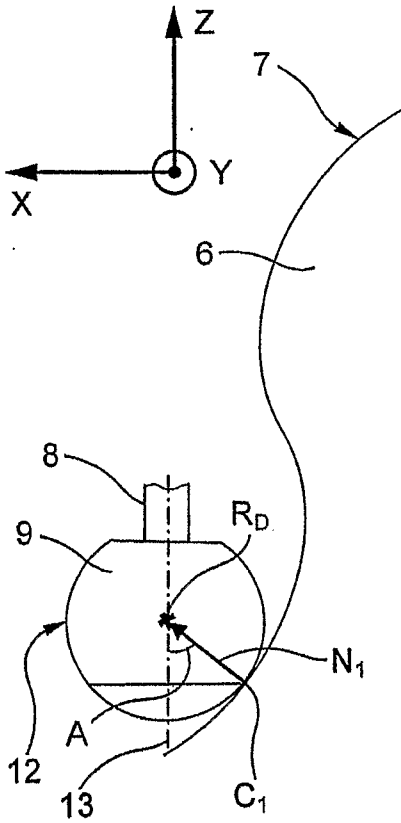


Fig.6

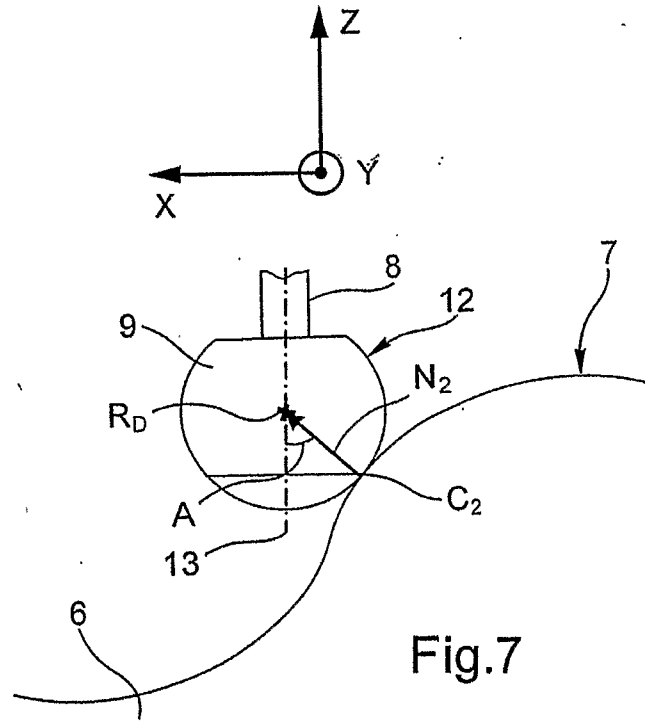


Fig.7

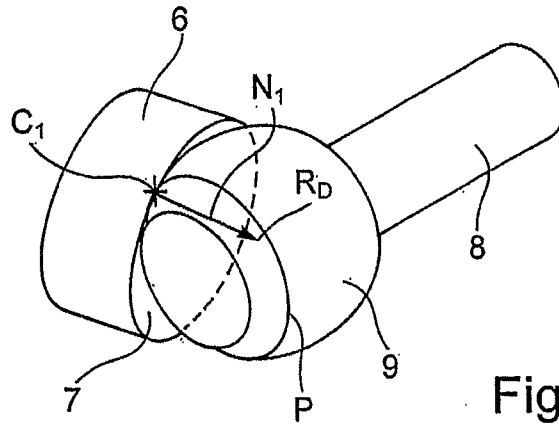


Fig.8A

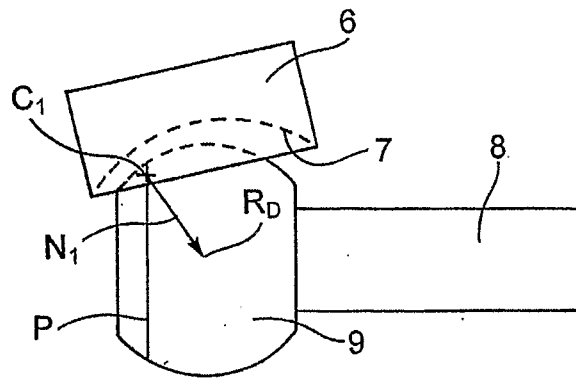


Fig.8B

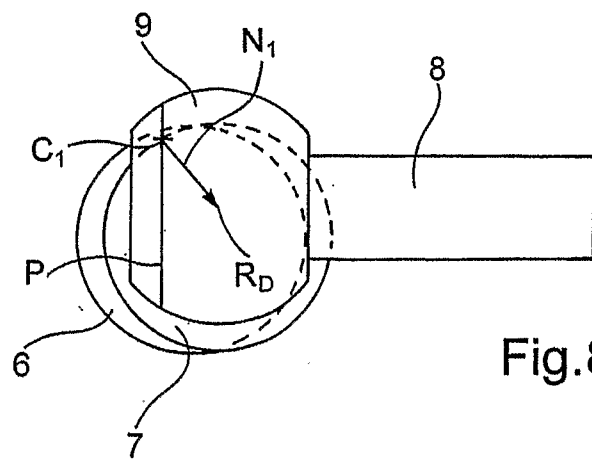


Fig.8C

