

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑪

**N° 82 10376**

- 
- ⑤④ Procédé optique permettant la reconnaissance précise et la restitution d'un profil localisé et utilisable pour le pilotage automatique des machines-outils.
- ⑤① Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). G 01 B 11/24; B 23 Q 21/00; G 05 B 15/00;  
G 05 D 3/00, 3/20 // B 23 K 9/12.
- ②② Date de dépôt..... 11 juin 1982.
- ③③ ③② ③① Priorité revendiquée :
- ④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 50 du 16-12-1983.
- 
- ⑦① Déposant : Société à responsabilité limitée dite : SOCIETE DE CONCEPTION, ETUDE ET REALISATION DE SYSTEMES AUTOMATISES (CERSA). — FR.
- ⑦② Invention de : Jean-François Fardeau.
- ⑦③ Titulaire :
- ⑦④ Mandataire : Rinuy, Santarelli,  
14, av. de la Grande-Armée, 75017 Paris.
-

1.

On sait que pour travailler correctement sur des pièces mécaniques au moyen de machines-outils automatiques ou au moyen de robots, comme c'est le cas par exemple des robots utilisés pour le soudage, il est très utile de  
5 connaître avec précision, même de façon localisée, la géométrie de la pièce sur laquelle doit s'effectuer le travail.

Or, la présente invention se propose d'atteindre cet objectif et couvre un procédé permettant la reconnaissance et la restitution du profil d'une section quelconque localisée d'une pièce mécanique sur laquelle un travail  
10 doit être effectué automatiquement au moyen d'un équipement approprié. L'invention couvre également les moyens pour la mise en oeuvre de ce procédé ainsi que leur application au pilotage automatique des outils destinés au travail à  
15 réaliser sur ladite section tels que, notamment, au pilotage automatique des torches ou des robots utilisés pour le soudage.

Le procédé conforme à l'invention est essentiellement caractérisé par le fait qu'il consiste :

- à disposer d'une source lumineuse dont le faisceau de rayons est dirigé vers la surface de la pièce à observer ;
- à interposer partiellement dans ledit faisceau, entre la source et ladite surface à observer, une plaquette dont  
25 un bord droit (parfaitement dressé) définit un plan de transition de lumière, l'intersection de ce plan de transition avec la surface à observer définissant à son tour une ligne de transition clair-sombre représentant le profil de la pièce ;
- 30 - à disposer d'un capteur d'images dont le champ de vision inclut, d'une part, une longueur donnée de ladite plaquette et, d'autre part, ladite ligne de transition ;
- à identifier le bord droit de la plaquette, dont la position et la longueur sont connues par rapport à un  
35 référentiel extérieur au capteur d'images pour étalonner en échelle et en position l'ensemble de l'image vue par ledit capteur ;

## 2.

- à reconnaître la position géométrique de chaque point de la ligne de transition clair-sombre vue par le capteur sur la surface à observer par rapport au bord droit de la plaquette pris comme référence ;
- 5 - à utiliser un système de traitement et de mémorisation des signaux reçus du capteur pour restituer les coordonnées géométriques de chaque ligne observée dans ledit référentiel de mesure ; et
- en déplaçant le système de mesure (source, plaquette, 10 capteur d'images) le long de la surface à observer, à effectuer une succession de mesures décalées du profil, et à restituer en trois dimensions la géométrie de la surface dans la zone observée.

Suivant d'autres caractéristiques et pour une 15 mise en oeuvre avantageuse de ce procédé :

- la source sera caractérisée par le fait qu'il soit possible de trouver au moins un plan passant par cette source, tel que, en dehors de la zone source, les rayons au 20 voisinage du plan soient quasi parallèles à ce plan ou contenus dans celui-ci ;
- la source lumineuse peut être de tout type approprié, et en particulier une source linéaire du type diode laser ;
- la plaquette est constituée par une pièce rectangulaire dont la face dirigée vers la source lumineuse est en un 25 matériau réfléchissant diffusant dont le bord droit définissant le plan de transition de lumière a une longueur connue ou bien comporte une zone en un matériau réfléchissant diffusant le long dudit bord droit, intercalée entre deux zones en un matériau absorbant la lumière, la valeur 30 de l'intervalle entre ces deux zones étant connue ;
- la source et la plaquette seront placées de telle sorte que le bord droit de la plaquette soit compris dans un des plans caractéristiques de la source, lequel correspondra donc au plan de transition ;
- 35 - le référentiel de mesure est constitué par le support mécanique de l'ensemble source lumineuse, plaquette, capteur d'images ;

## 3.

- la source et la plaquette sont placées de telle façon que le plan de transition soit incliné par rapport à la surface à observer d'un angle quelconque mais avantageusement égal à  $45^{\circ}$  ;
- 5 - pour une mesure précise, les positions de tous les points photosensibles détectables du capteur d'images devront être connues avec une grande précision, si bien que le capteur sera avantageusement une matrice de points du type CCD ;
- 10 - l'axe de l'optique du capteur est placé de préférence perpendiculairement au plan de transition défini par le faisceau lumineux et le bord droit de la plaquette ;
  - le support mécanique de l'ensemble constituant le référentiel de mesure est monté de façon à pouvoir se déplacer
- 15 parallèlement à la surface de la pièce à observer, l'axe du capteur d'images restant perpendiculaire au plan de transition de lumière ;
  - un système électronique de traitement à microprocesseur de
- 20 type connu est associé au capteur d'images pour permettre la reconstitution du profil observé et sa mémorisation par plans géométriques successifs, ce système étant lui-même associé de façon connue en soi à un autre
- 25 système électronique pour permettre le pilotage et la commande du support mécanique de référence ainsi que le pilotage et la commande d'un outil de travail ou d'une machine-outil.

D'autres caractéristiques et les avantages de l'invention ressortiront plus clairement de la description qui va suivre faite en regard des dessins annexés, sur  
30 lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective illustrant le procédé selon l'invention ;
- la figure 2 est un schéma correspondant à la figure 1 tel que vu par le capteur d'images ;
- 35 - la figure 3 est une vue explicative de l'invention ;
- la figure 4 est un schéma d'un mode réalisation d'un dispositif mettant en oeuvre l'invention.

## 4.

En se référant à ces dessins, on a illustré en perspective sur la figure 1 une pièce dont la surface à observer 2 a un profil tel que celui représenté sur cette figure. Une source lumineuse 1 dirige sur cette surface un faisceau de rayons dont l'axe est désigné par la référence A. Sur le trajet de ce faisceau est interposée une plaquette 3 dont le bord droit 4 définit un plan de transition de lumière 5. L'intersection de ce plan de transition avec la surface à observer 2 définit à son tour une ligne de transition clair-sombre 6 qui représente la géométrie de la surface aux points considérés. Sur les figures 1 et 2, les parties ombrées représentent les zones éclairées.

Par ailleurs, un capteur d'images de tout type approprié, à points photosensibles 7 avantageusement du type connu sous le nom de capteur CCD, est placé, par rapport à la plaquette 3 et à la surface à observer 2, de manière que son champ de vision inclut une partie au moins de la plaquette 3, d'une part, et la ligne de transition 6, d'autre part, et que, par ailleurs, l'axe de son optique (B) soit perpendiculaire au plan de transition 5.

L'ensemble source lumineuse 1, plaquette 3 et capteur d'images 7 est monté sur un support mécanique commun 8 (tel qu'illustré schématiquement sur la figure 4).

La plaquette 3 est réalisée de manière que toute sa surface dirigée vers la source lumineuse soit en un matériau réfléchissant la lumière et la diffusant ou bien réalisée de manière à présenter, comme illustré sur les figures 1 et 2, une zone principale centrale 3a réfléchissante diffusante intercalée entre deux zones absorbantes 3b. Le facteur essentiel relatif à cette plaquette est que, dans le premier cas, on connaisse de façon précise la valeur de la longueur (L) du bord droit 4 et, dans le second, la valeur de cette longueur dans l'intervalle compris entre les deux zones absorbantes 3b.

## 5.

La connaissance de cette longueur constitue un des éléments principaux pour la mise en oeuvre de l'invention car l'identification de ce bord droit 4, dont la position et la longueur sont connues pour constituer un premier référentiel, sert à étalonner en échelle et en position l'ensemble de l'image observée par le capteur 7 (tel que visible sur la figure 2 sous l'angle d'observation  $\beta$ ) par rapport au support mécanique 8 qui constitue alors un référentiel de mesure.

Un autre facteur essentiel pour l'obtention d'une mesure précise est celui relatif au capteur d'images. Il faut en effet que ce dernier, du type à points photosensibles, comme indiqué précédemment, soit tel que les positions géométriques de tous les points photosensibles, les uns par rapport aux autres, soient connues de façon précise. Ainsi, ce seul capteur d'images, non étalonné en position mécanique, constitue le référentiel dans lequel s'effectuent les mesures. L'équipement de traitement, en reconnaissant la position et la dimension de la plaquette dans le référentiel que constitue le capteur d'images, pourra établir la conversion des mesures fournies par ce référentiel, en mesures dans le référentiel support mécanique, seul accessible simplement et connu de l'extérieur. Les mesures sont donc restituables dans le référentiel support, indépendamment des variations de position du capteur d'images et/ou de son optique.

Le support mécanique 8 est réalisé de manière à pouvoir se déplacer parallèlement à la surface 2 à observer. C'est ainsi par exemple que la figure 4 illustre le cas d'un montage réalisé à l'instar d'un chariot suspendu se déplaçant le long d'un rail-guide 9.

On notera aussi que, telles que les positions du capteur d'images et de la source lumineuse ont été définies (axe du capteur perpendiculaire au plan de transition), le plan de l'image (plan de transition) est à une distance constante du capteur d'images quelle que soit la hauteur du support mécanique par rapport à la surface à

## 6.

observer. L'optique du capteur peut donc être ajustée au mieux afin d'obtenir une excellente définition de l'image en tous points du champ d'observation.

5 Quant à la source lumineuse, on fera observer que pour une bonne mise en oeuvre de l'invention les rayons lumineux du faisceau émis et dirigés vers la surface à observer doivent être contenus dans au moins un plan formé par l'axe de cette source et par le bord droit 4 de la plaquette 3 et dans tout plan voisin non sécant de ce  
10 dernier. C'est une raison pour laquelle on choisira de préférence une source linéaire du type de celle engendrée, par exemple, par une diode laser et on placera la "ligne d'émission" de cette source parallèlement au bord droit 4 de la plaquette 3. Le plan ainsi formé pourra faire, avec la  
15 surface à observer, un angle ( $\angle$ ) (dit "angle d'incidence" ou angle d'inclinaison du plan de transition) compris entre quelques degrés et  $90^\circ$  ; de préférence cet angle sera de  $45^\circ$ .

Pour la mise en oeuvre de l'invention, il est  
20 également prévu un système de traitement et de mémorisation (non représenté sur les dessins) des signaux reçus du capteur. Le système de traitement restitue les coordonnées géométriques de chaque "ligne de transition clair-sombre" observée dans le référentiel support mécanique. La mémorisation de  
25 ces valeurs permet la restitution des profils des sections droites de la même surface.

Afin de mieux comprendre l'invention, on se référera à la figure 3 qui est un schéma explicatif. Pour un souci de simplification, le profil de la pièce à observer  
30 n'est pas celui des figures 1 et 2 mais plutôt celui correspondant à la demi-section droite représentée sur la partie I de cette figure 3. Lorsque pour l'observation de la surface 2 de cette pièce, on applique l'invention, le faisceau de rayons lumineux F émis sous un angle d'incidence  
35  $\angle$  de  $45^\circ$  (voir partie II de la figure 3) définit une ligne de transition HIB. La position en hauteur de chacun des points de cette ligne de transition par rapport à la

7.

plaquette 3 dont on connaît l'altitude de référence  $R_0$  peut être facilement connue par les valeurs  $\Delta B, \Delta I, \Delta H$ . En ce qui concerne les autres données de la géométrie du profil on remarquera en examinant la partie III de la figure 3 (qui est une vue perpendiculaire à la partie II et qui correspond à ce qui est observé par le capteur 7) que la ligne CD est celle qui correspond à la demi-image du bord droit 4 de la plaquette 3, bord droit dont la longueur est connue avec précision. Cette connaissance sert de référence dimensionnelle. La ligne de transition observée est figurée par la ligne EFGJ. Du fait que la position géométrique de chacun des points photosensibles du capteur est parfaitement connue, il est possible de connaître les valeurs  $P_H, P_I, P_B$  par rapport à la référence CD. La position et la distance de chacun des points de la ligne EFGJ par rapport à cette référence peuvent ainsi être parfaitement déterminées à partir du moment où l'on a identifié la ligne CD par sa position et sa longueur et que l'on a étalonné en échelle et en position l'ensemble de l'image observée par le capteur 7. Cet étalonnage se fait par rapport au référentiel de mesure que constitue le support mécanique 8, compte tenu que l'on connaît également l'angle d'incidence ( $\alpha$ ) du front de transition de lumière.

Toutefois, on notera que l'image observée (ligne EFGJ) n'est pas une section droite. Pour reconstituer celle-ci, on effectuera une succession de mesures de plans décalés (par translation du support mécanique de l'ensemble) sur une longueur de déplacement correspondant au moins à  $\theta_B - \theta_H$ .

On comprendra aisément que tout système de calcul, de traitement et/ou de mémorisation de tout type approprié ne nécessitant pas d'être représenté et décrit ici, peut être utilisé selon l'invention. Un tel système devra bien entendu être adapté au fait que l'image de la surface à observer est déterminée en zones claires et zones sombres et que seules les positions des fronts de transitions devront être mémorisées et traitées. On comprendra aussi que



8.

l'on peut associer à de tels systèmes des systèmes de commande automatique d'une machine-outil ou d'un outil, par exemple une torche de soudage.

On notera tout particulièrement qu'un ensemble  
5 réalisé selon l'invention permet de ne pas tenir compte des écarts de position et d'orientation du capteur d'images ou même des rapports de grossissement et des écarts de position de l'optique qui lui est associée. On peut donc  
10 remplacer tout ou partie de ces ensembles sans contraintes particulières de positionnement et de réglage des pièces concernées. Le positionnement mécanique précis de la source de lumière par rapport à la plaquette se réalise facilement avec une diode laser puisque par construction, la position géométrique de la source par rapport à son boîtier est  
15 réalisée avec une excellente précision.

Par ailleurs, la distance du plan de l'image à l'optique du capteur étant invariante quelle que soit la position du capteur par rapport à l'objet et en particulier son altitude, il est possible d'avoir constamment une  
20 parfaite définition de l'image sur le capteur.

En outre, les composants pouvant être utilisés et les ensembles électroniques qui leur sont associés conduisent à prévoir un capteur de taille réduite, l'unité de traitement pouvant en être totalement indépendante et  
25 déportée.

Un autre avantage du capteur réside dans ce qu'aucun composant mécanique mobile n'est utilisé ; le système étant entièrement statique présente une excellente robustesse aux chocs.

30 L'invention trouve de nombreuses applications telles que dans le soudage automatique, le suivi de profil pour tout traitement de surface, le contrôle de qualité des pièces, le contrôle de position des pièces dans un assemblage, l'usinage automatique et autres applications nécessitant la connaissance préalable du profil d'une pièce en vue  
35 de la commande d'un outil approprié.

9.

Il va du reste de soi que la présente invention n'a été décrite qu'à titre purement explicatif et nullement limitatif et que toute modification utile pourra y être apportée sans sortir de son cadre.

10.

REVENDEICATIONS

1. Procédé permettant la reconnaissance et la restitution du profil d'une section localisée de pièces variées, caractérisé par le fait qu'il consiste :

- 5 - à disposer d'une source lumineuse dont le faisceau de rayons est dirigé vers la surface de la pièce à observer ;
- à interposer dans ledit faisceau une plaquette entre cette source et ladite surface à observer, de manière à définir avec le bord droit de cette plaquette un plan de transition de lumière, l'intersection de ce plan de transition 10 avec la surface à observer définissant à son tour une ligne de transition clair-sombre ;
- à disposer d'un capteur d'images dont le champ de vision inclut, d'une part, une longueur donnée de ladite plaquette, et, d'autre part, ladite ligne de transition ; 15
- à identifier le bord droit de la plaquette dont la position et la longueur sont connues pour étalonner en échelle et en position l'ensemble de l'image observée par le capteur par rapport à un référentiel de mesure connu ;
- 20 - à reconnaître la position géométrique de chaque point de la ligne de transition clair-sombre vue par le capteur sur la surface à observer par rapport au bord droit de la plaquette pris comme référence ;
- à utiliser un système de traitement et de mémorisation des 25 signaux reçus du capteur pour restituer les coordonnées géométriques de chaque ligne observée dans ledit référentiel de mesure ; et
- en déplaçant le système de mesure (source, plaquette, capteur d'images) le long de la surface à observer, 30 à effectuer une succession de mesures décalées du profil et à restituer en trois dimensions la géométrie de la surface dans la zone observée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la source est elle-même caractérisée 35 par le fait qu'il soit possible de trouver au moins un plan passant par cette source tel que, en dehors de la zone

11.

source, les rayons au voisinage du plan soient quasi parallèles à ce plan ou contenus dans celui-ci.

5 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que la source et la plaquette seront placées de telle sorte que le bord droit de la plaquette soit compris dans un des plans caractéristiques de la source, lequel correspondra donc au plan de transition.

10 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'on place la source lumineuse et la plaquette de telle façon que le plan de transition lumineux soit incliné par rapport à la surface à observer d'un angle compris entre quelques degrés et  $90^\circ$ , avantageusement  $45^\circ$ .

15 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que l'on place l'axe de l'optique de capteur selon un angle pris avantageusement perpendiculaire au plan de transition lumineux défini par le faisceau lumineux et le bord droit de la plaquette.

20 6. Moyens pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisés par le fait qu'ils consistent en un support commun (8) sur lequel sont montés ladite source lumineuse (1), ladite plaquette (3) et ledit capteur d'images (7), ledit support étant muni d'un dispositif (9) permettant son déplacement  
25 parallèlement à la surface de la pièce à observer (2), cet ensemble étant en relation avec un système électronique de traitement des données reçues par le capteur, de mémorisation et de commande des déplacements du support et/ou de l'outil.

30 7. Moyens selon la revendication 6, caractérisés par le fait que la plaquette est constituée par une pièce rectangulaire dont la face dirigée vers la source lumineuse est en un matériau réfléchissant diffusant et dont la dimension du bord droit définissant le plan de transition de lumière a une valeur connue ou bien comporte une zone  
35 en un matériau réfléchissant diffusant le long dudit bord

## 12.

droit, intercalée entre deux zones en un matériau absorbant la lumière, la valeur de l'intervalle entre ces deux zones étant connue.

5 8. Moyens selon la revendication 6 ou 7, caractérisés par le fait que la source lumineuse est de tout type approprié mais elle est de préférence choisie parmi les sources linéaires de type diode laser qui constitue une ligne d'émission lumineuse.

10 9. Moyens selon la revendication 8, caractérisés par le fait que lorsque cette source définit une ligne d'émission lumineuse, cette ligne est placée parallèlement audit bord droit de la plaquette.

15 10. Moyens selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisés par le fait que le capteur d'images (7) à points photosensibles est avantageusement du type CCD.

20 11. Application du procédé et des moyens selon les revendications 1 à 10 dans le soudage automatique, le suivi de profil pour traitement de surface, le contrôle de qualité des pièces, le contrôle de position des pièces dans un assemblage, l'usinage automatique et autres applications nécessitant la connaissance préalable du profil d'une pièce en vue de la commande d'un outil approprié.

1/4

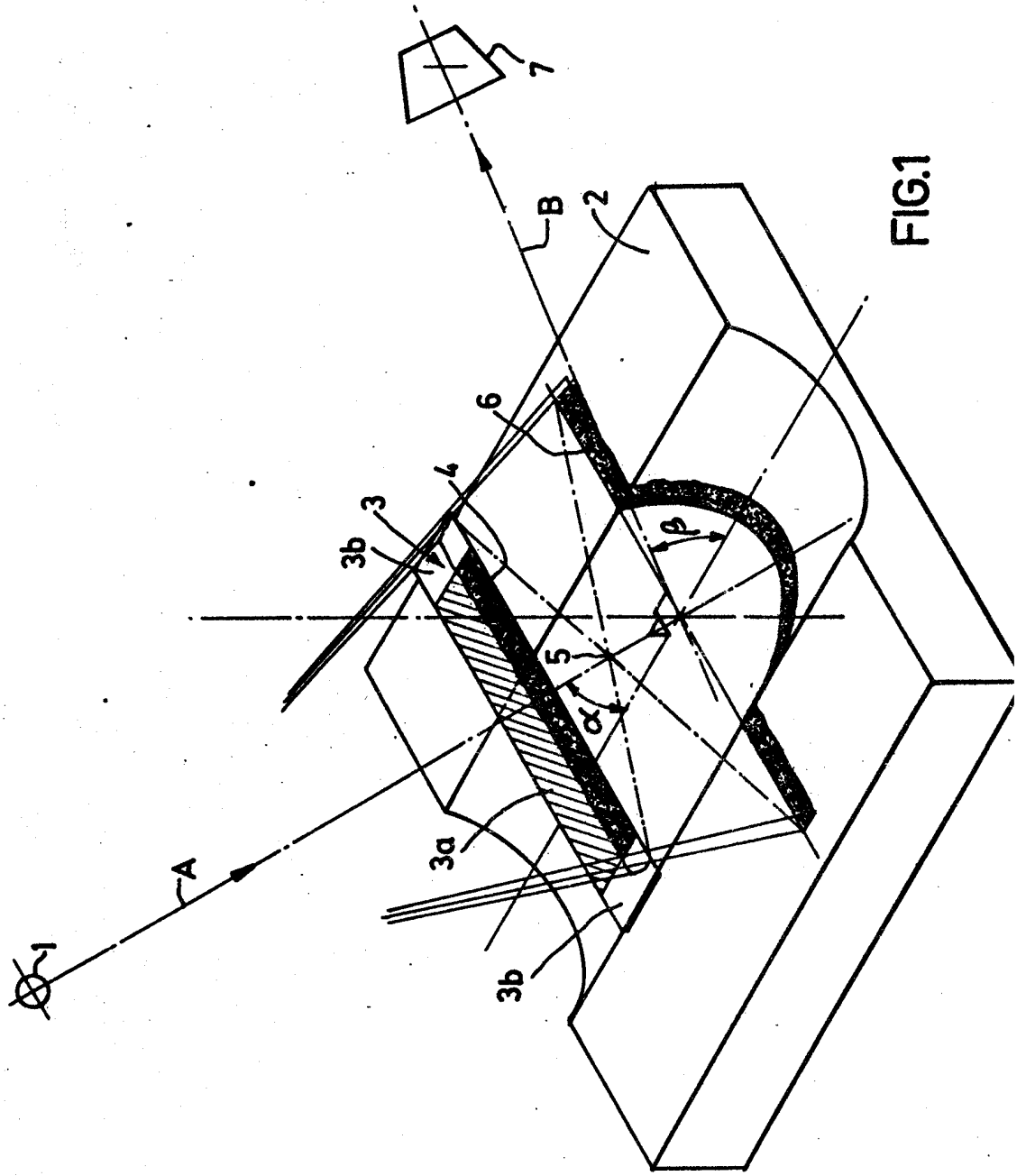


FIG. 1

2/4

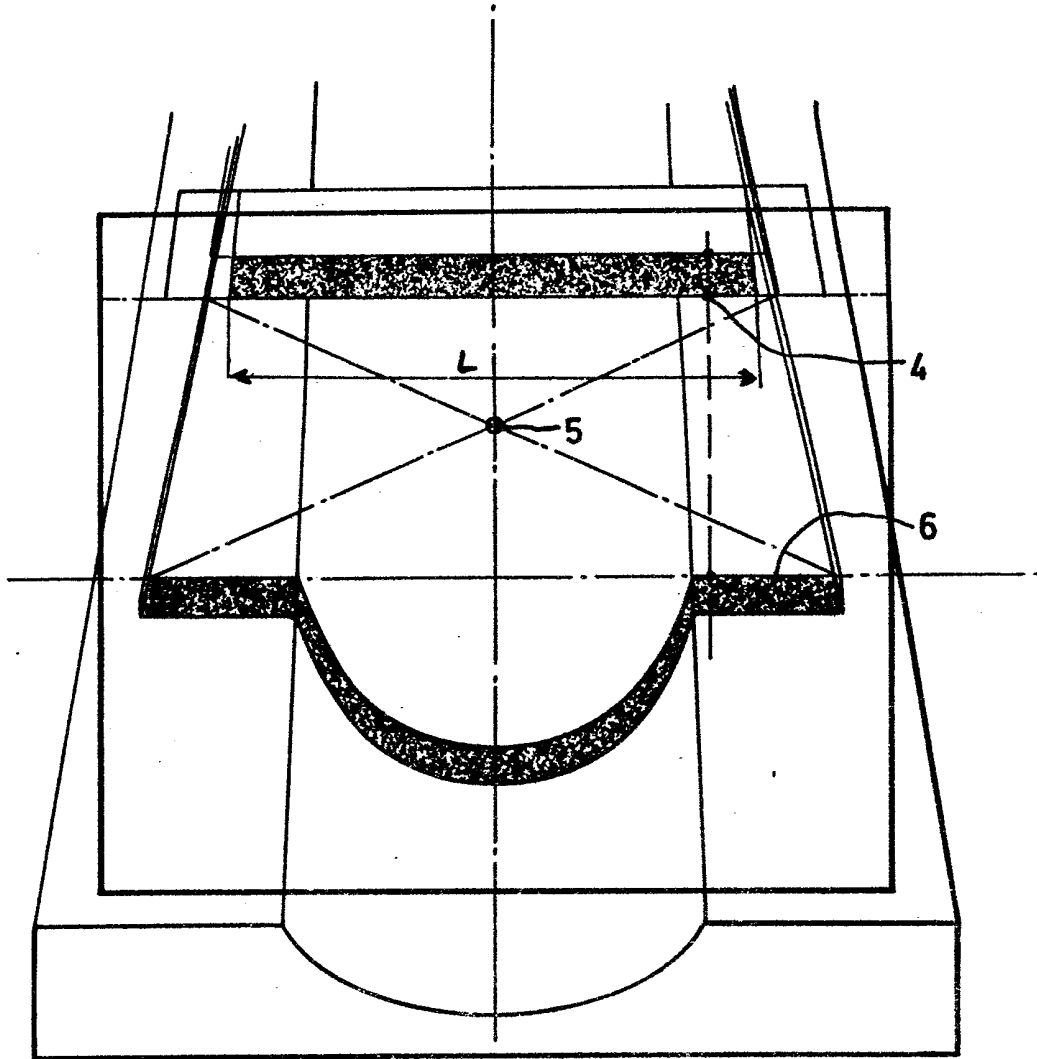


FIG.2





4/4

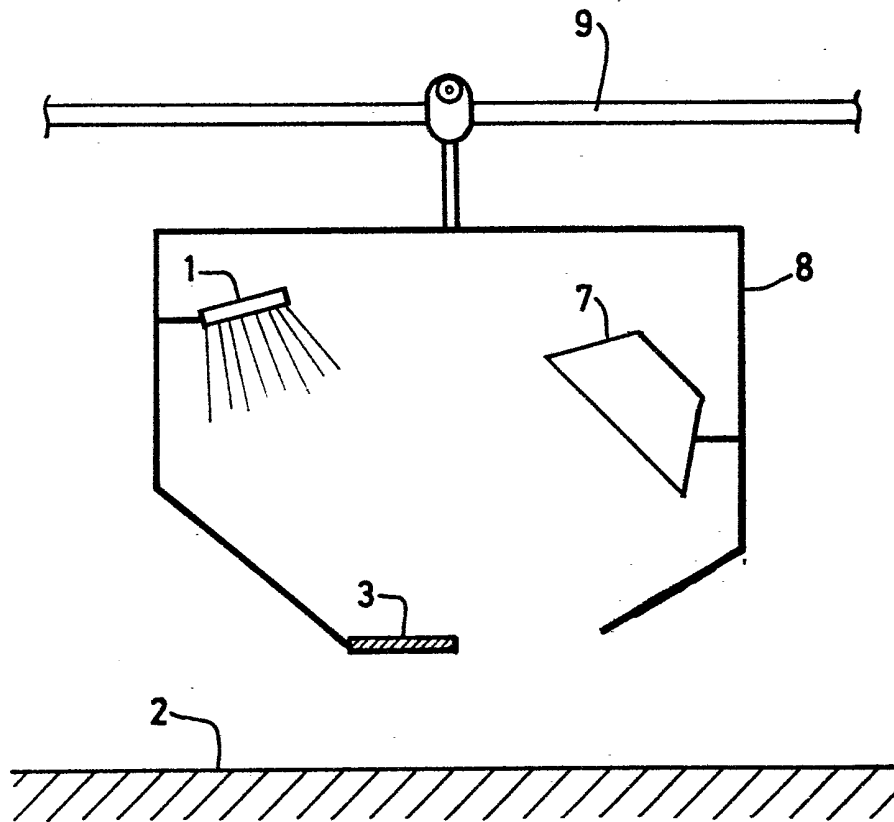


FIG.4