

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 647 041

②1 N° d'enregistrement national :

90 06136

⑤1 Int Cl⁸ : B 23 F 19/00.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16 mai 1990.

③0 Priorité : DE, 17 mai 1989, n° P 39 15 976.0.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 47 du 23 novembre 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : Hermann Pfauter GmbH &
Co. — DE.

⑦2 Inventeur(s) : Ingo Faulstich.

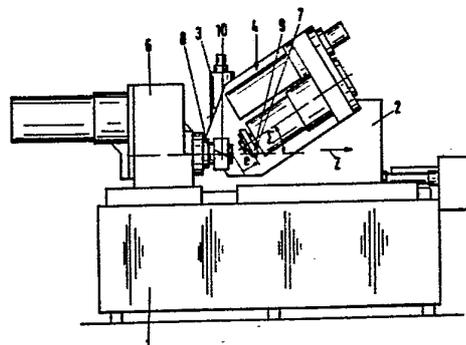
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Netter.

⑤4 Procédé de finissage des flancs de roues cylindriques par décolletage à développante, et dispositif pour la réalisation d'un tel procédé.

⑤7 L'invention concerne un procédé de finissage des flancs de roues cylindriques par décolletage à développante, dans lequel les flancs droits et/ou gauches sont générés dans des opérations distinctes, et dans lequel le dispositif exécute, en fonction du déplacement du chariot axial 2, une modification de la distance axiale et/ou de la rotation auxiliaire de la pièce 10 par rapport à l'outil 9, en vue de produire des modifications des lignes de flancs. Le procédé se caractérise en ce que l'une ou plusieurs des grandeurs de réglage, permettant de décrire la rotation auxiliaire, sont modifiées automatiquement, pendant le déplacement du chariot axial, de manière à compenser le voilage des flancs, produit par la modification des lignes de flancs, l'outil, utilisé pour l'usinage, présentant une géométrie de coupe adaptée aux grandeurs de réglage. L'invention concerne également un dispositif pour la réalisation de ce procédé, avec un banc 1, sur lequel sont montées une broche 7 pour un outil denté et une poupée porte-pièce 6.

La solution conforme à l'invention permet d'éviter le voilage des flancs, ou de le réduire à un minimum.



FR 2 647 041 - A1

D

Procédé de finissage des flancs de roues cylindriques par décolletage à développante, et dispositif pour la réalisation d'un tel procédé.

- 5 La présente invention concerne un procédé de finissage des flancs de roues cylindriques, à denture droite ou hélicoïdale, intérieure ou extérieure, par décolletage à développante, dans lequel les flancs droits et/ou gauches sont générés dans des opérations distinctes, et dans lequel le
- 10 dispositif exécute, en fonction du déplacement du chariot axial, une modification de la distance axiale et/ou une modification de la rotation auxiliaire de la pièce par rapport à l'outil, en vue de produire des modifications des lignes de flancs, telles que bombage et/ou dépouille des
- 15 flancs; l'invention concerne également un dispositif pour la réalisation d'un tel procédé, avec un banc, sur lequel sont montées une broche pour un outil denté et une poupée porte-pièce.
- 20 Le décolletage à développante est un procédé continu d'usinage de roues dentées cylindriques. L'outil ressemble à un outil de rabotage à développante; mais son axe de rotation est incliné par rapport à l'axe de la pièce. Pendant l'usinage, l'outil et la pièce exécutent une rotation de base.
- 25 Leurs vitesses de rotation respectives sont alors en rapport inverse de leur nombre de dents. Un déplacement hélicoïdal de l'outil par rapport à la pièce se superpose à la rotation

de base. Ce déplacement hélicoïdal se compose d'un déplacement de l'outil en direction de l'axe de la pièce, et d'une rotation auxiliaire de la pièce, proportionnelle à ce déplacement. La rotation auxiliaire est calculée de manière à
 5 égalier 2π , en cas d'usinage d'une pièce sans modification des lignes de flancs, lorsque la course du chariot axial est égale au pas de l'hélice de la denture à produire. En conséquence:

$$10 \quad \frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta Z}{H}$$

$$15 \quad \text{et/ou} \quad \Delta Z = \frac{H}{2\pi} \cdot \Delta \varphi = p \cdot \Delta \varphi$$

$$\text{et} \quad \Delta \varphi = -\frac{1}{p} \cdot \Delta Z$$

20 Avec: ΔZ = Déplacement du chariot axial
 $\Delta \varphi$ = Rotation auxiliaire
 H = Pas hélicoïdal de la pièce
 p = Pas hélicoïdal réduit

25 Il est souvent souhaité, dans la pratique, de ne pas réaliser exactement les flancs de dentures cylindriques sous forme d'hélicoïdes développables, mais de modifier les lignes de profil et de flanc. La denture doit être bombée et
 30 dépouillée, par exemple. La description de ces modifications est généralement assurée à l'aide de diagrammes de lignes de flancs et/ou de profils.

35 Le décolletage à développante permet de produire des modifications de flancs. En première approximation: des modifications de profil sont obtenues par une modification du profil de l'outil, et des modifications des lignes de flancs sont

produites par une modification du mouvement de la machine.

Un examen plus détaillé fait toutefois apparaître que la modification du mouvement de la machine influe également sur le profil de la pièce.

Cette incidence débouche, par exemple, sur un voilage des flancs dans le décolletage à développante de dentures bombées. Ce voilage signifie la présence de profils, dans différentes sections frontales, avec différentes erreurs de profil, et la présence de lignes de flancs, sur différents cylindres, avec différentes erreurs de distorsion.

La formation de ce voilage sera expliquée à l'aide de la figure 1.

La figure 1 représente le flanc droit d'une roue cylindrique à denture hélicoïdale à gauche.

Les notations correspondent à :

b = Largeur de la dent

z = Coordonnée dans le sens de l'axe de la pièce, par rapport au milieu de la largeur de dent

$F\beta$ = Erreur de distorsion (et/ou modification de la ligne de flanc)

I = Face antérieure de la roue

II = Face postérieure de la roue

Le concept de face antérieure est requis pour qualifier le flanc respectif de flanc droit ou gauche. L'erreur de distorsion est déterminée sur le cylindre de mesure, sur la ligne $F_1 F'_1$ de la figure 1, l'erreur de profil dans la section frontale étant mesurée au milieu de la largeur de dent, c'est-à-dire sur la ligne $P_1 P'_1$. Il faut imaginer les écarts de flanc, par rapport à l'hélicoïde développable correspondante, non modifiée, à la perpendiculaire du plan

du dessin.

Pour une meilleure compréhension, il est d'abord admis que toutes les trajectoires présentent la même allure sur un flanc, et que tous les points d'une trajectoire présentent la même distance, par rapport à l'hélicoïde développable primitive, c'est-à-dire qu'ils se situent également au-dessus ou au dessous du plan du dessin. Dans la description de la géométrie des flancs par ordinateur, les simplifications précitées sont naturellement superflues.

Soit une courbe prescrite "d'erreur" de distorsion, correspondante à la partie droite de la figure 1. Sur le cylindre de mesure, le point haut du flanc se situe au milieu de la largeur de dent; il se situe en S_1 dans la zone des pieds de la denture, en S'_1 dans la zone des têtes. Entre le cylindre en sommet de dents et à fond de dents, chaque cylindre présente pratiquement la même courbe d'erreur de distorsion. Seul le point haut est déporté en direction de Z, conformément à la composante z de la trajectoire $S_1 S'_1$. Etant donné que la longueur du diagramme $F\beta$ est toujours égale à la largeur de dent, un domaine légèrement différent de la courbe prescrite sera toujours enregistré sur différents cylindres de mesure. Pour décrire l'allure $F\beta$ dans la zone des têtes et des pieds de la denture, il faut donc prolonger la courbe, respectivement, sur les faces I et II, par rapport à la courbe sur le cylindre de mesure prescrit.

L'erreur de profil dans une section frontale donnée est la distance entre le point considéré et l'hélicoïde développable primitive. Conformément aux explications antérieures, l'erreur de profil, obtenue au milieu de la largeur de dent, aux points P_1 (cercle de base) ou P'_1 (cercle de tête), par exemple, est représentée par la distance des trajectoires, passant par ces points, et l'hélicoïde développable non modifiée. P_1 a donc la même distance que le point H_6 , par rapport à l'hélicoïde développable primitive, à savoir

la distance $\overline{H_6' H_6''}$; la distance P_1' est en conséquence $\overline{H_2' H_2''}$. Cette étude, réalisée pour d'autres points entre P_1 et P_1' , fait apparaître que l'allure de l'erreur de profil F_α au milieu de la largeur de dent est égale à la courbe d'erreur de distorsion F_β , de H_6' à H_2' , par H_1' .

Les développements formulés ci-dessus, appliqués au cylindre à fond de dents et/ou en sommet de dents, pour les erreurs de distorsion, et aux plans I et II, pour les erreurs de profils, débouchent sur les résultats suivants:

Grandeur de mesure	Plan et/ou cylindre de mesure	Mesure entre les points	Courbe d'erreur
F_α	I	$P_2 - P_2'$	$H_3' - H_4' - H_5'$
	Centre de la roue	$P_1 - P_1'$	$H_6' - H_1' - H_2'$
	II	$P_3 - P_3'$	$H_9' - H_8' - H_7'$
F_β	Cylindre à fond de dent	$F_3 - F_3'$	$H_3' - H_9'$
	Cylindre de mesure prescrit	$F_1 - F_1'$	$H_4' - H_8'$
	Cylindre en sommet de dent	$F_2 - F_2'$	$H_5' - H_7'$

La figure 2 correspond à une représentation graphique de ces résultats. L'écart, obtenu au point considéré, est référencé par q , c'est-à-dire:

$$q_1 = \overline{H_1' H_1''} = 0$$

$$q_2 = \overline{H_2' H_2''}$$

$$q_3 = \overline{H_3' H_3''} \dots$$

5 Par ailleurs:

$F_{\beta Ff}$ = Erreurs de distorsion sur le cylindre à fond de dents

10 $F_{\beta Fa}$ = Erreurs de distorsion sur le cylindre en sommet de dents

Abstraction faite des points sur la trajectoire $S_1 S_1'$, tous les points du flanc modifié se situent en recul, par rapport à une hélicoïde développable primitive; les grandeurs q_2 à q_9 ont donc un signe négatif.

Les références $f_{H\beta f}$ et $f_{H\beta a}$, affectées à l'erreur de distorsion sur le cylindre à fond de dents et sur le cylindre en sommet de dents, respectivement, permettent d'écrire:

$$f_{H\beta f} = q_9 - q_3$$

$$25 \quad f_{H\beta a} = q_7 - q_5$$

Le décalage des lignes de flancs est défini par:

$$\Delta f_{H\beta} = f_{H\beta a} - f_{H\beta f}$$

30 Les erreurs de profil dans le plan I

$$f_{H\alpha I} = q_5 - q_3$$

et dans le plan II

35

$$f_{H\alpha II} = q_7 - q_9$$

permettent d'obtenir le décalage du profil:

$$\Delta f_{H\alpha} = f_{H\alpha II} - f_{H\alpha I}$$

- 5 Il faut encore noter que $\Delta f_{H\beta}$ et $\Delta f_{H\alpha}$ ont un signe positif dans l'exemple considéré. Ce résultat est facile à reconstituer, à l'aide des grandeurs représentées sur les figures 1 et 2.
- 10 Les développements ci-dessus concernent les flancs droits d'une denture hélicoïdale à gauche. Les études sont facilement transposables à d'autres cas, c'est-à-dire aux flancs gauches de la denture hélicoïdale à gauche, et aux deux flancs d'une denture hélicoïdale à droite et/ou d'une denture droite. La seule donnée requise est l'allure de la trajectoire d'outil sur le flanc correspondant de la pièce.
- 15 La trajectoire est calculable dans le cadre du calcul de l'outil et/ou de la simulation du processus d'usinage. Dans les autres cas également, c'est-à-dire pour une denture droite, notamment, elle a une allure oblique par rapport au flanc de la pièce. La figure 3 représente l'allure de principe des trajectoires pour les cas précités.
- 20 Seul un outil à denture hélicoïdale peut permettre d'usiner une denture droite par décolletage à développante. Le signe de la "pente" des trajectoires dépend alors du signe de l'angle d'hélice de l'outil. Les deux allures ébauchées des trajectoires valent en conséquence pour des pièces à denture droite.
- 25
30

Alors que les points de la trajectoire, dans la zone du sommet de la denture, sont plus proches du plan II, par rapport à la zone des pieds, sur le flanc droit de la denture hélicoïdale à gauche, ces points du flanc gauche de la même denture sont plus proches du plan I. L'application de la méthode de calcul, précédemment décrite, permet de trou-

35

ver que le décalage des lignes de flancs et le décalage du profil du flanc gauche de la denture hélicoïdale à gauche ont un signe négatif. Comme déjà mentionné, les grandeurs correspondantes des flancs droits ont un signe positif. La
5 remarque suivante vaut également dans les autres cas: le décalage des lignes de flancs et de profils a, sur le flanc droit, un signe opposé au décalage de ces grandeurs sur le flanc gauche.

10 Sur des roues cylindriques, finies par décolletage à développante, le voilage des flancs, descriptible par le décalage des lignes de flancs et de profils, est souvent inopportun. L'invention vise donc à développer le procédé et le dispositif, comme définis ci-dessus, de manière à éviter
15 le voilage des flancs, ou à le réduire à une valeur négligeable.

Le procédé conforme à l'invention se caractérise en ce que, pendant le déplacement du chariot axial, l'une ou plusieurs
20 des grandeurs de réglage, distance axiale, excentricité de l'outil, angle de pivotement et pas hélicoïdal réduit, permettant de décrire la rotation auxiliaire, sont modifiées automatiquement, de manière à compenser le voilage du flanc de la pièce, produit par la modification des lignes de
25 flancs, l'outil, utilisé pour l'usinage, présentant une géométrie de coupe, sur les flancs droits et/ou gauches, adaptée aux grandeurs de réglage effectives pendant l'enlèvement de copeaux par le tranchant correspondant. Le dispositif, conforme à l'invention, se caractérise en ce que
30 l'axe de rotation de l'outil peut être modifié par rapport à l'axe de la pièce en cours d'usinage.

Dans une autre forme de construction judicieuse, il est possible de modifier l'excentricité de l'outil en cours
35 d'usinage.

Une solution, conforme à l'invention, réside dans la

suppression de l'excentricité de l'outil ($e = 0$), et dans une modification de l'angle de pivotement Σ pendant le déplacement du chariot axial, c'est-à-dire dans une modification dynamique. Il en résulte, au milieu de la largeur de dent, un écart de profil sur les deux flancs de la pièce, dont il convient de tenir compte dans le calcul de l'outil. La modification dynamique de l'angle de pivotement Σ produit simultanément un bombage minime. Si ce phénomène devait être à l'origine d'un dépassement des tolérances sur la pièce, il faudrait en tenir compte dans la définition du mouvement de la machine, en vue de produire le bombage requis (par $a(z)$ et/ou $p(z)$).

La solution proposée fournit l'avantage supplémentaire de pouvoir utiliser, dans de nombreux cas, un outil purement cylindrique, c'est-à-dire sans angle de dépouille.

Il est également possible de compenser un voilage des flancs en modifiant l'excentricité de l'outil pendant le déplacement du chariot axial, c'est-à-dire par une modification dynamique de l'excentricité e . Cette solution nécessite des modifications relativement importantes de l'excentricité. Il en résulte différents cercles de base sur la pièce, dans différentes sections frontales. Cet effet doit être contre-carré par une adaptation de la distance axiale pendant le déplacement du chariot axial.

La modification dynamique de l'excentricité e produit simultanément une erreur de distorsion importante, qu'il convient de compenser par une adaptation dynamique du pas d'hélice réduit p .

Il convient de calculer l'outil de manière à éviter toute erreur de profil au milieu de la largeur de dent.

La simulation du processus d'usinage, précédemment formulée, doit être reproduite par itération, en vue d'une adaptation

dynamique des données de réglage, jusqu'à ce que les tolérances de la pièce soient respectées.

La machine de décolletage à développante, prévue pour la
5 réalisation du procédé décrit, est reproduite sur les figures 4 et 5. Elle présente un banc 1, sur lequel peut se déplacer un chariot axial 2, dans le sens Z. Le chariot 2 supporte un chariot radial 3, mobile dans le sens X par rapport au chariot axial 2. Une tête de décolletage 4,
10 montée sur le chariot radial 3 avec une possibilité de rotation autour de l'axe 5, peut se déplacer dans le sens X avec le chariot 3. Une poupée porte-pièce 6 est fixée sur le banc 1. La tête de décolletage 4 et la poupée porte-pièce 6 présentent respectivement une broche 7 et 8, pour le montage
15 d'un outil 9 et/ou d'une pièce 10.

Pendant l'usinage de la pièce 10, l'outil 9 et la pièce 10 exécutent une rotation de base, d'une manière connue, en tournant dans un rapport inverse à leur nombre de dents
20 respectif. Une bande étroite de la denture définitive est formée pendant une rotation de la pièce. La réalisation de la denture, sur toute la largeur de la pièce 10, nécessite un déplacement hélicoïdal. Ce dernier est produit par un déplacement du chariot axial 2 dans le sens Z, et par une
25 rotation auxiliaire simultanée de la pièce 10. En cours d'usinage, les axes de l'outil 9 et de la pièce 10 sont orientés l'un par rapport à l'autre sous un angle Σ , d'une manière connue.

Revendications.

1. Procédé de finissage des flancs de roues cylindriques, à denture droite ou hélicoïdale, intérieure ou extérieure, par décolletage à développante, dans lequel les flancs droits et/ou gauches sont générés dans des opérations distinctes, et dans lequel le dispositif exécute, en fonction du déplacement du chariot axial, une modification de la distance axiale et/ou une modification de la rotation auxiliaire de la pièce par rapport à l'outil, en vue de produire des modifications des lignes de flancs, telles que bombage et/ou dépouille des flancs, caractérisé en ce que, pendant le déplacement du chariot axial, l'une ou plusieurs des grandeurs de réglage, distance axiale (a), excentricité (e) de l'outil (9), angle de pivotement (Σ) et pas hélicoïdal réduit (p), permettant de décrire la rotation auxiliaire, sont modifiées automatiquement, de manière à compenser le voilage du flanc de la pièce, produit par la modification des lignes de flancs, un outil (9), utilisé pour l'usinage, présentant une géométrie de coupe, sur les flancs droits et/ou gauches, adaptée aux grandeurs de réglage effectives pendant l'enlèvement de copeaux par le tranchant correspondant.
2. Dispositif pour la réalisation du procédé suivant la revendication 1, avec un banc, sur lequel sont montées une broche pour un outil denté et une poupée porte-pièce, caractérisé en ce que l'axe de rotation de l'outil (9) peut être modifié par rapport à l'axe de la pièce, en cours d'usinage.
3. Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé en ce que l'excentricité (e) de l'outil (9) peut être modifiée en cours d'usinage.

Fig.1

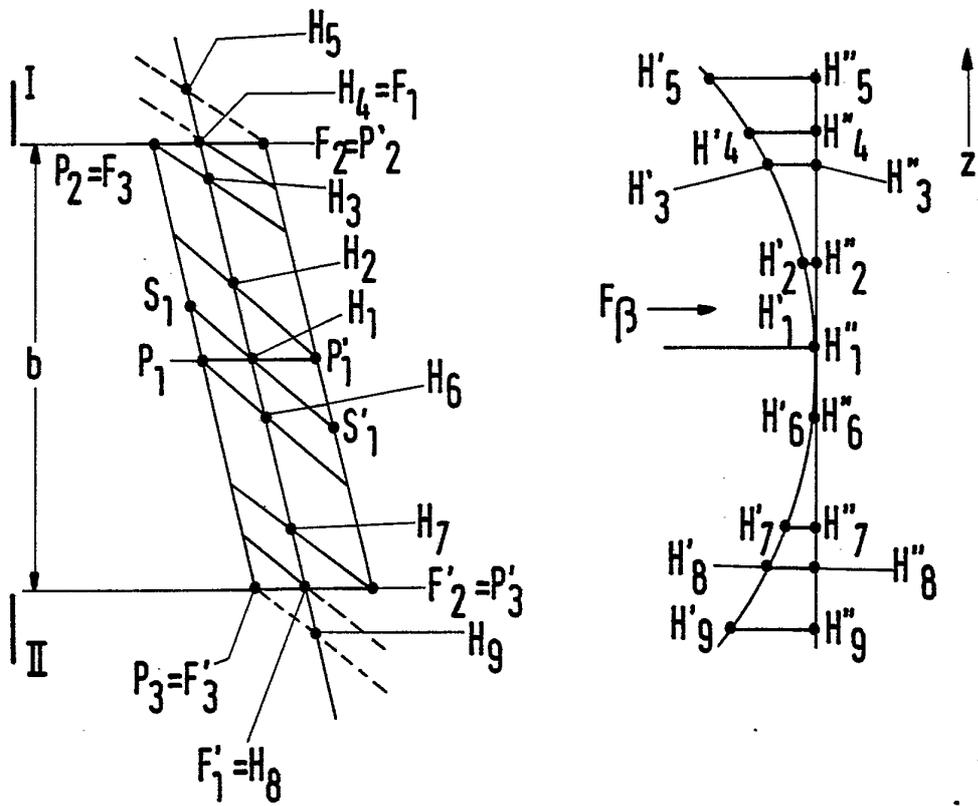


Fig.2

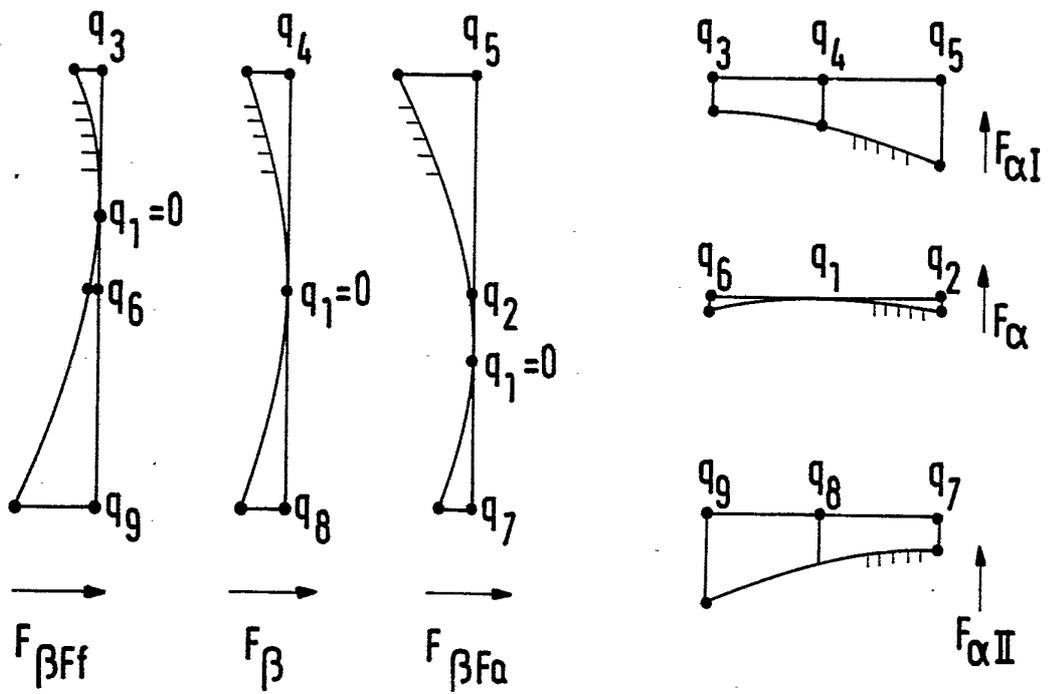
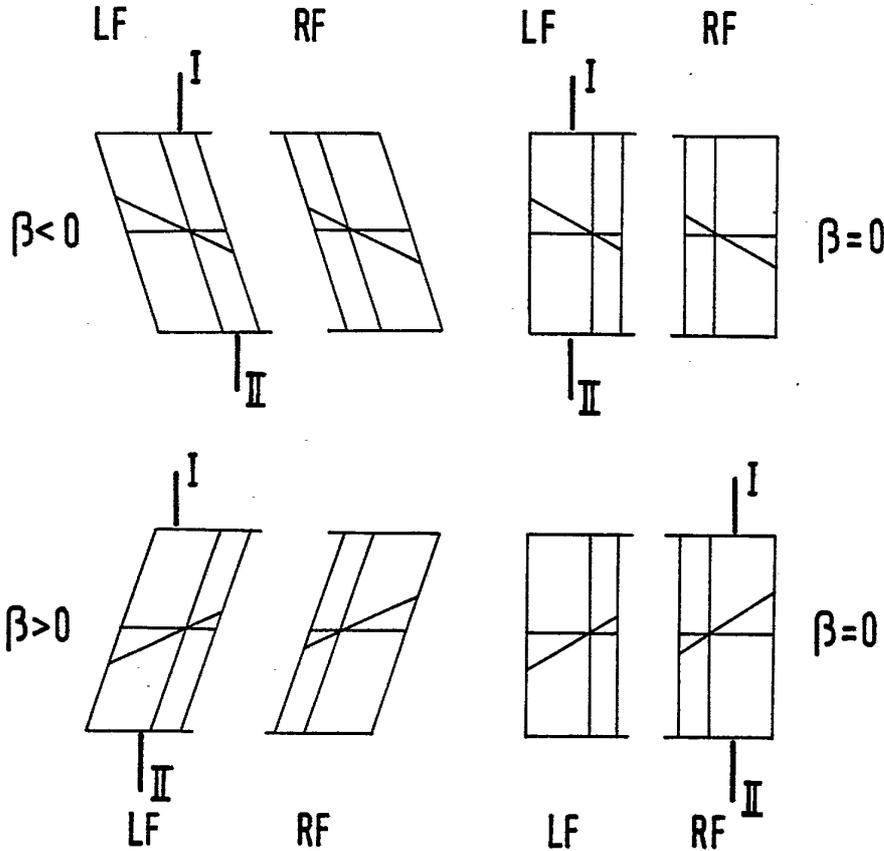


Fig.3



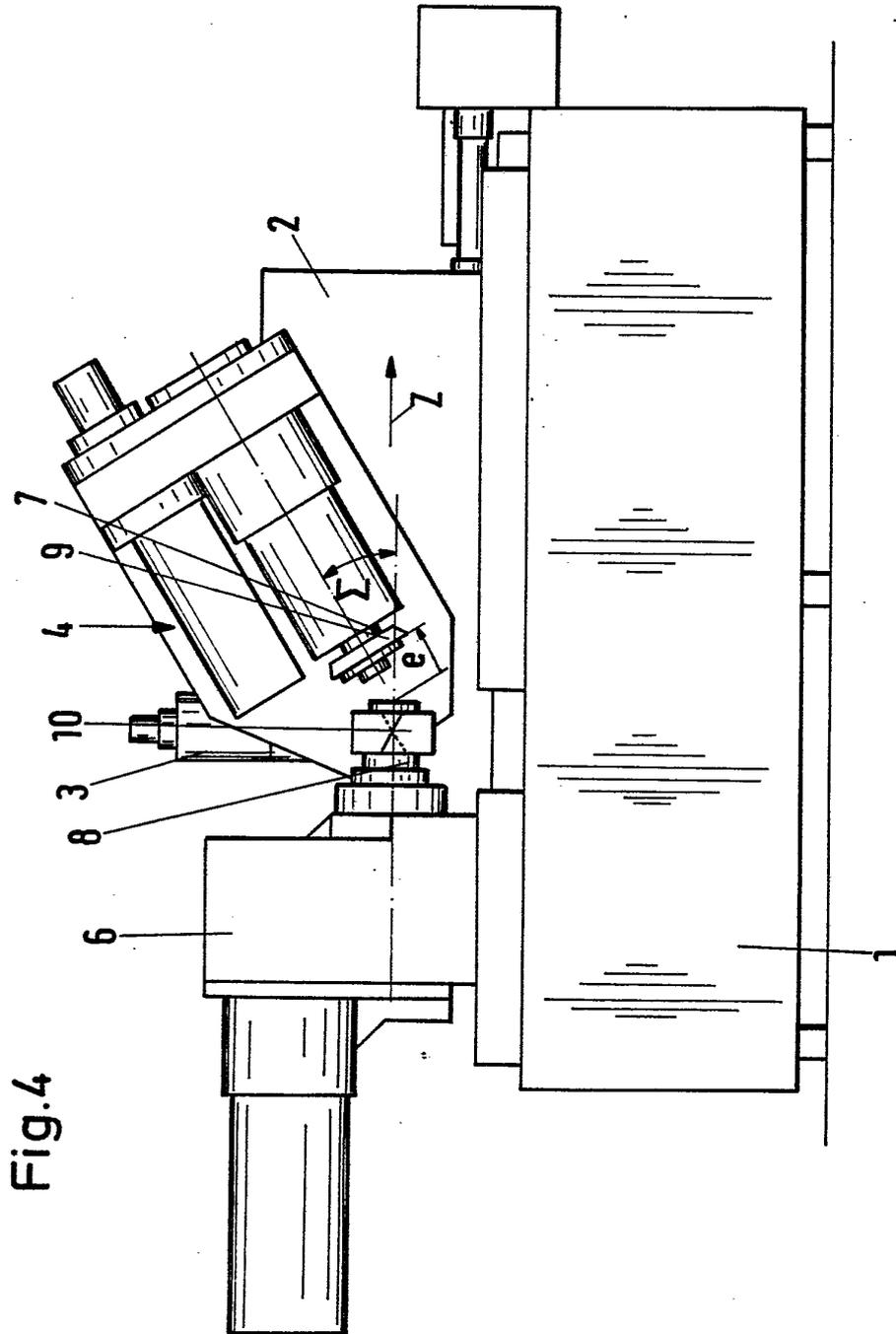


Fig.4

