



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 297 926 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 23 P 15/14

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD B 23 P / 340 637 6
(31) P3915976.0

(22) 14.05.90
(32) 17.05.89

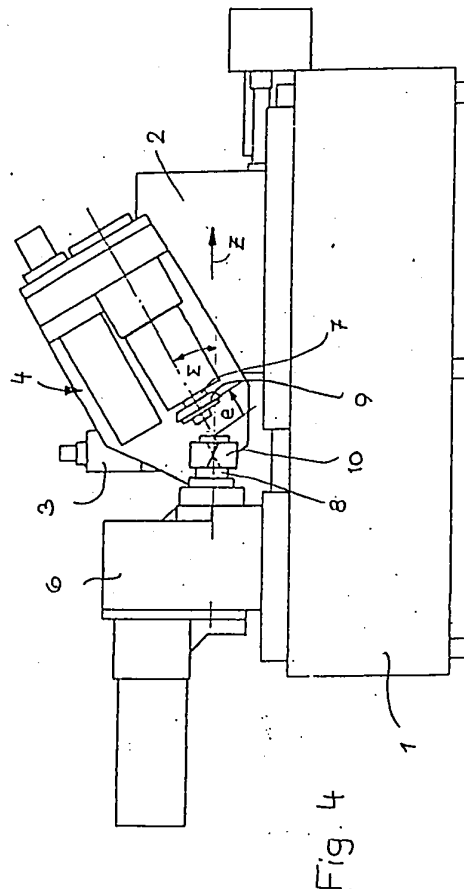
(44) 30.01.92
(33) DE

(71) siehe (73)
(72) Faulstich, Ingo, Dr.-Ing., DE
(73) Hermann Pfauter GmbH & Co., W - 7140 Ludwigsburg, DE
(74) Jackisch-Kohl u. Kohl, Patentanwälte, Stuttgarter Straße 115, W - 7000 Stuttgart 30, DE

(54) Verfahren zur Schlichtbearbeitung der Flanken von Zylinderrädern durch Wälzschälen sowie Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens

(55) Schlichtbearbeitung; Flanken; Zylinderräder;
Wälzschälen; Flankenlinien-Modifikationen;
Zusatzdrehung; Flankenverwindung; Achsabstand;
Werkzeugaußermittigkeit; Schwenkwinkel; Steigungshöhe;
Spanabnahme

(57) Die Rechts- bzw. Linksflanken von Zylinderrädern (10) werden in getrennten Arbeitsgängen erzeugt. Zur Erzeugung von Flankenlinien-Modifikationen führt die Vorrichtung abhängig von der Axialschlittenverschiebung eine Änderung des Achsabstandes und/oder eine Änderung der Zusatzdrehung des Werkstückes (10) relativ zum Werkzeug (9) aus. Während der Axialschlittenverschiebung werden eine oder gleichzeitig mehrere der Einstellgrößen Achsabstand, Außermittigkeit des Werkzeuges (9), Schwenkwinkel und reduzierte Steigungshöhe zur Beschreibung der Zusatzdrehung automatisch so geändert, daß die bei der Erzeugung der Flankenlinien-Modifikation entstehende Verwindung der Werkstückflanke kompensiert wird. Für die Bearbeitung wird ein Werkzeug (9) eingesetzt, dessen Schneidengeometrie an den Rechts- bzw. Linksflanken an die während der Spanabnahme durch die jeweilige Schneide wirksamen Einstellgrößen angepaßt ist. Fig. 4



Patentansprüche:

1. Verfahren zur Schlichtbearbeitung der Flanken von gerad- oder schrägverzahnten, innen- oder außenverzahnten Zylinderrädern durch Wälzschälen, bei dem die Rechts- bzw. Linksflanken in getrennten Arbeitsgängen erzeugt werden und bei dem zur Erzeugung von Flankenlinien-Modifikationen, wie Breitenballigkeit und/oder Flanken-Endrücknahme, die Vorrichtung abhängig von der Axialschlittenverschiebung eine Änderung des Achsabstandes und/oder eine Änderung der Zusatzdrehung des Werkstückes relativ zum Werkzeug ausführt, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Axialschlittenverschiebung eine oder gleichzeitig mehrere der Einstellgrößen Achsabstand (a), Außermittigkeit (e) des Werkzeuges (9), Schwenkwinkel (Σ) und reduzierte Steigungshöhe (p) zur Beschreibung der Zusatzdrehung automatisch so geändert werden, daß die bei der Erzeugung der Flankenlinien-Modifikation entstehende Verwindung der Werkstückflanke kompensiert und für die Bearbeitung ein Werkzeug (9) eingesetzt wird, dessen Schneidengeometrie an den Rechts- bzw. Linksflanken angepaßt ist an die während der Spanabnahme durch die jeweilige Schneide wirksamen Einstellgrößen.
2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Bett, auf dem eine Spindel für ein Zähne aufweisendes Werkzeug und eine Werkstückspindel angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drehachse des Werkzeuges (9) während der Bearbeitung gegenüber der Werkstückachse veränderbar ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Außermittigkeit (e) des Werkzeuges (9) während der Bearbeitung veränderbar ist.

Hierzu 5 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Verfahren zur Schlichtbearbeitung der Flanken von gerad- oder schrägverzahnten, innen- oder außenverzahnten Zylinderrädern durch Wälzschälen, bei dem die Rechts- bzw. Linksflanken in getrennten Arbeitsgängen erzeugt werden und bei dem zur Erzeugung von Flankenlinien-Modifikationen, wie Breitenballigkeit und/oder Flanken-Endrücknahme, die Vorrichtung abhängig von der Axialschlittenverschiebung eine Änderung des Achsabstandes und/oder eine Änderung der Zusatzdrehung des Werkstückes relativ zum Werkzeug ausführt.

Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit einem Bett, auf dem eine Spindel für ein Zähne aufweisendes Werkzeug und eine Spindel angeordnet sind.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Wälzschälen ist ein kontinuierlich ablaufendes Verfahren zur spanenden Herstellung zylindrischer Zahnräder. Das Werkzeug ähnelt einem Wälzstoßrad; seine Drehachse ist jedoch gegenüber der Achse des Werkstückes geneigt angeordnet. Während der Bearbeitung führen Werkzeug und Werkstück eine Grunddrehung aus. Dabei stehen die Drehzahlen im umgekehrten Verhältnis der Zähnezahlen beider Elemente zueinander. Der Grunddrehung überlagert führt das Werkzeug relativ zum Werkstück eine Schraubbewegung aus. Diese Schraubbewegung besteht aus einer Verschiebung des Werkzeuges in Richtung der Werkstückachse und einer dieser Verschiebung proportionalen Zusatzdrehung des Werkstückes. Die Zusatzdrehung ist so bemessen, daß im Falle der Bearbeitung eines Werkstückes ohne Flankenlinien-Modifikation die Zusatzdrehung 2π beträgt, wenn der Axialschlittenweg gleich der Steigungshöhe der zu erzeugenden Verzahnung ist. Es gilt also

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

$$\text{bzw.} \quad \Delta Z = \frac{H}{2\pi} \cdot \Delta\varphi = p \cdot \Delta\varphi$$

$$\text{und} \quad \Delta\varphi = \frac{1}{p} \cdot \Delta Z.$$

Es bedeuten: ΔZ = Axialschlittenverschiebung
 $\Delta\varphi$ = Zusatzdrehung
 H = Steigungshöhe des Werkstückes
 p = reduzierte Steigungshöhe.

In der Praxis besteht häufig der Wunsch, die Flanken zylindrischer Verzahnungen nicht exakt als Evolventen-Schraubenflächen auszubilden, sondern Profil- und Flankenlinie zu modifizieren. Die Verzahnung soll z. B. höhen- und breitenballig ausgeführt werden. Die Beschreibung dieser Modifikationen erfolgt üblicherweise anhand von Profil- bzw. Flankenlinien-Diagrammen.

Durch Wälzschälen lassen sich Flanken-Modifikationen erzeugen. In erster Näherung gilt: Profilmodifikationen werden über eine Modifikation des Werkzeugprofiles und Flankenlinien-Modifikationen über eine Modifikation der Maschinenbewegung erzeugt.

Bei näherer Betrachtung erkennt man jedoch, daß die Modifikation der Maschinenbewegung auch das Werkstückprofil beeinflusst.

Dieser Einfluß führt z. B. dazu, daß beim Wälzschälen breitenballiger Verzahnungen verwundene Flanken entstehen. Diese Verwindung bedeutet, daß in unterschiedlichen Stirnschnitten Profile mit unterschiedlicher Profil-Winkelabweichung und auf unterschiedlichen Zylindern Flankenlinien mit unterschiedlichen Flankenlinien-Winkelabweichungen vorliegen.

Anhand der Fig. 1 sei das Zustandekommen dieser Verwindung erläutert.

Fig. 1: zeigt die Rechtsflanke eines linksschrägen Zylinderrades.

Es bedeuten: b = Zahnbreite
 z = Koordinate in Richtung der Werkstückachse, bezogen auf die Zahnbreitenmitte
 F_β = Flankenlinien-Abweichung (bzw. -Modifikation)
 I = Vorderseite des Rades
 II = Rückseite des Rades

Der Begriff Vorderseite wird benötigt zur Bezeichnung der jeweiligen Flanke als Rechts- bzw. Linksflanke. Die Flankenlinien-Abweichung wird auf dem Meßzylinder, in Fig. 1 auf der Linie $F_1 F_1'$ gemessen, die Profilabweichung im Stirnschnitt in Zahnbreitenmitte, also auf der Linie $P_1 P_1'$.

Abweichungen der Flanke von der zugehörigen unmodifizierten Evolventen-Schraubenfläche sind senkrecht zur Zeichenebene vorzustellen.

Zur Erleichterung des Verständnisses sei zunächst unterstellt, daß alle Spuren auf einer Flanke den gleichen Verlauf und alle Punkte einer Spur den gleichen Abstand von der unmodifizierten Evolventen-Schraubenfläche aufweisen, also um den gleichen Betrag über bzw. unter der Zeichenebene liegen. Bei der Beschreibung der Flankenengeometrie mit Hilfe eines Rechners sind die vorstehend formulierten Vereinfachungen natürlich nicht erforderlich.

Vorgeschrieben sei ein Verlauf der Flankenlinien-„Abweichung“ entsprechend der Darstellung im rechten Teil der Fig. 1.

Auf dem Meßzylinder liegt der Hochpunkt der Flanke in Zahnbreitenmitte; im Fußgebiet der Verzahnung liegt er bei S_1 , im Kopfgebiet bei S_1' . Auf jedem Zylinder zwischen Fußform- und Kopfformzylinder liegt praktisch der gleiche Verlauf der Flankenlinienabweichung vor.

Lediglich der Hochpunkt ist entsprechend der z -Komponente der Spur $S_1 S_1'$ in Richtung Z verschoben. Da die Länge des F_β -Diagrammes immer gleich der Zahnbreite ist, wird auf unterschiedlichen Meßzylindern immer ein etwas anderer Bereich des vorgeschriebenen Verlaufes erfaßt. Die Kurve ist deshalb zur Beschreibung des F_β -Verlaufes im Kopfgebiet der Verzahnung auf der Seite I und zur Beschreibung des Verlaufes im Fußgebiet der Verzahnung auf der Seite II gegenüber dem Verlauf auf dem vorgeschriebenen Meßzylinder zu verlängern.

Die Profilabweichung in einem bestimmten Stirnschnitt ist der Abstand des jeweils betrachteten Punktes von der unmodifizierten Evolventen-Schraubenfläche. Entsprechend den vorstehenden Ausführungen erhält man z. B. die Profilabweichung in Zahnbreitenmitte an den Stellen P_1 (Fußformkreis) bzw. P_1' (Kopfformkreis) als Abstand der durch diese Punkte verlaufenden Spuren von der unmodifizierten Evolventen-Schraubenfläche. P_1 hat demnach den gleichen Abstand wie der Punkt H_6 von der unmodifizierten Evolventen-Schraubenfläche, nämlich den Abstand $\overline{H_6' H_6''}$; entsprechend hat P_1' den Abstand $\overline{H_2' H_2''}$. Führt man diese Betrachtung für weitere Punkte zwischen P_1 und P_1' durch, so erkennt man: Der Verlauf der Profilabweichung F_α in Zahnbreitenmitte ist gleich dem Verlauf der Flankenlinien-Abweichung F_β zwischen H_6' über H_1' nach H_2' .

Wendet man die vorstehend formulierten Überlegungen bezüglich der Flankenlinien-Abweichungen auf den Fußform- bzw. den Kopfformzylinder und bezüglich der Profilabweichungen auf die Ebenen I und II an, so erhält man folgende Ergebnisse:

Meßgröße	Meßebe-ne bzw. -Zylinder	Messung zwischen den Punkten	Verlauf der Abweichung
F_α	I	$p_2 - p_2'$	$H_3' - H_4' - H_6'$
	Radmitte	$p_1 - p_1'$	$H_6' - H_1' - H_2'$
	II	$p_3 - p_3'$	$H_6' - H_6' - H_7'$
F_β	Fußformzylinder	$F_3 - F_3'$	$H_3' - H_6'$
	vorgeschr. Meßzylinder	$F_1 - F_1'$	$H_4' - H_6'$
	Kopfformzylinder	$F_2 - F_2'$	$H_6' - H_7'$

Trägt man die Ergebnisse graphisch auf, so erhält man die Darstellung entsprechend Fig. 2. In dieser Darstellung ist die im jeweiligen Punkt vorhandene Abweichung mit q bezeichnet, also

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

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

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

Ferner bezeichnen

$f_{\beta Ff}$ Flankenlinien-Abweichungen auf dem Fußformzylinder
 $f_{\beta Fa}$ Flankenlinien-Abweichungen auf dem Kopfformzylinder

Abgesehen von den Punkten auf der Spur S_1, S_1' liegen alle Punkte der modifizierten Flanke gegenüber einer unmodifizierten Evolver. von-Schraubenfläche zurück; die Größen $q_2 \dots q_9$ besitzen deshalb negatives Vorzeichen.

Bezeichnet man die Flankenlinien-Winkelabweichung auf dem Fußformzylinder mit $f_{\beta Ff}$ und die auf dem Kopfformzylinder mit $f_{\beta Fa}$, so erhält man

$$\begin{aligned} f_{\beta Ff} &= q_9 - q_3 \\ f_{\beta Fa} &= q_7 - q_5 \end{aligned}$$

Die Schränkung der Flankenlinien ist

$$\Delta f_{\beta\beta} = f_{\beta Fa} - f_{\beta Ff}$$

Aus den Profil-Winkelabweichungen

$$f_{Haf} = q_5 - q_3$$

in der Ebene I und

$$f_{Haa} = q_7 - q_5$$

in der Ebene II erhält man die Schränkung des Profils zu

$$\Delta f_{Ha} = f_{Haa} - f_{Haf}$$

Es sei noch festgehalten, daß im hier betrachteten Beispiel $\Delta f_{\beta\beta}$ und Δf_{Ha} positives Vorzeichen besitzen.

Dies läßt sich leicht anhand der in Fig. 1 und 2 dargestellten Größen nachvollziehen.

Die vorstehenden Ausführungen betreffen die Rechtsflanken einer linksschrägen Verzahnung. Die Betrachtungen lassen sich leicht auf die übrigen Fälle übertragen, also auf die Linksflanken der linksschrägen Verzahnung und auf die beiden Flanken einer rechtsschrägen Verzahnung bzw. einer Geradverzahnung. Man benötigt dazu lediglich den Verlauf der Werkzeugspur auf der jeweiligen Werkstückflanke.

Die Spur läßt sich im Rahmen der Werkzeugauslegung bzw. bei der Simulation des Fertigungsprozesses berechnen. Sie verläuft auch in den übrigen Fällen, also insbesondere bei Geradverzahnung, schräg über die Werkstückflanke. Fig. 3 zeigt den prinzipiellen Verlauf der Spuren für die oben angegebenen Fälle.

Geradverzahnung läßt sich durch Wälzschälverfahren nur mit einem schrägverzahnten Werkzeug bearbeiten. Das Vorzeichen der „Steigung“ der Spuren hängt dabei ab vom Vorzeichen des Werkzeug-Schrägungswinkels. Es gibt demzufolge bei geradverzahnten Werkstücken die beiden skizzierten Verläufe der Spuren.

Während bei der Rechtsflanke der linksschrägen Verzahnung die Punkte der Spur im Kopfgebiet der Werkstückverzahnung gegenüber dem Fußgebiet näher an der Ebene II liegen, liegen diese Punkte der Linksflanke der linksschrägen Verzahnung näher an der Ebene I. Bei Anwendung des vorstehend erläuterten Rechenganges findet man, daß die Schränkung der Flankenlinien und die Schränkung des Profils der Linksflanke der linksschrägen Verzahnung negatives Vorzeichen besitzen. Es wurde schon erwähnt, daß die entsprechenden Größen der Rechtsflanken positives Vorzeichen besitzen. Auch in den übrigen Fällen gilt: Die Schränkung von Profil- und Flankenlinien besitzt auf der Rechtsflanke entgegengesetztes Vorzeichen der Schränkung dieser Größen auf der Linksflanke.

Die Verwindung der Flanken schlichtwälzgeschälter Zylinderräder, beschreibbar über die Schränkung von Profil- und Flankenlinien, ist häufig unerwünscht.

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung wird das Ziel erreicht, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit denen auf einfache Weise Flanken von Zylinderrädern im Wälzschälverfahren genau schlichtbearbeitet werden können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die technische Aufgabe, die durch die Erfindung gelöst wird, besteht darin, das Verfahren und die Vorrichtung so auszubilden, daß die Verwindung der Flanken vermieden oder auf einen vernachlässigbar kleinen Wert gebracht wird.

Mit dem Verfahren ist es möglich, die bei der Erzeugung der Flankenlinien-Modifikation entstehende Verwindung der Werkstückflanke zu kompensieren oder auf einem sehr geringen Wert zu halten, der in der Praxis nicht ins Gewicht fällt.

Merkmale der Erfindung

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe beim Verfahren dadurch gelöst, daß während der Axialschlittenverschiebung eine oder gleichzeitig mehrere der Einstellgrößen Achsabstand, Außermittigkeit des Werkzeuges, Schwenkwinkel und reduzierte Steigungshöhe zur Beschreibung der Zusatzdrehung automatisch so geändert werden, daß die bei der Erzeugung der Flankenlinien-Modifikation entstehende Verwindung der Werkstückflanke kompensiert und für die Bearbeitung ein Werkzeug eingesetzt wird, dessen Schneidengeometrie an den Rechts- bzw. Linksflanken angepaßt ist an die während der Spanabnahme durch die jeweilige Schneide wirksamen Einstellgrößen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei der Vorrichtung dadurch gelöst, daß die Drehachse des Werkzeuges während der Bearbeitung gegenüber der Werkstückachse veränderbar ist.

Vorteilhaft ist die Außermittigkeit des Werkzeuges während der Bearbeitung veränderbar.

Ausführungsbeispiel

Es wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, auf eine Außermittigkeit des Werkzeuges zu verzichten ($e = 0$) und den Schwenkwinkel Σ während der Verschiebung des Axialschlittens also dynamisch, zu ändern. Dabei entsteht in Zahnbreitenmitte an beiden Werkstückflanken eine Profilwinkelabweichung. Diese muß bei der Werkzeugauslegung berücksichtigt werden. Gleichzeitig entsteht bei der dynamischen Änderung des Schwenkwinkels Σ eine geringe Breitenballigkeit. Sollte diese eine Toleranzüberschreitung am Werkstück bedingen, ist sie bei der Festlegung der Maschinenbewegung zur Erzeugung der gewünschten Balligkeit (über $a(z)$ bzw. $p(z)$) zu berücksichtigen.

Bei der hier vorgeschlagenen Lösung ergibt sich zusätzlich ein Vorteil dadurch, daß in vielen Fällen ein rein zylindrisches Werkzeug, also ein Werkzeug ohne konstruktive Freiwinkel, eingesetzt werden kann.

Es ist auch möglich, über eine Änderung der Außermittigkeit des Werkzeuges während der Verschiebung des Axialschlittens, also über eine dynamische Änderung der Außermittigkeit e , eine Verwindung der Flanken zu kompensieren. Dazu sind relativ große Änderungen der Außermittigkeit erforderlich. Dies führt dazu, daß in unterschiedlichen Stirnschnitten unterschiedliche Fußformkreise am Werkstück entstehen. Dem ist entgegenzuwirken über eine Anpassung des Achsabstandes während der Axialschlittenverschiebung.

Gleichzeitig entsteht bei der dynamischen Änderung der Außermittigkeit e eine große Flankenlinienabweichung. Diese ist zu kompensieren über eine dynamische Anpassung der reduzierten Steigungshöhe p .

Das Werkzeug ist so auszulegen, daß in Zahnbreitenmitte keine Profilwinkelabweichung entsteht.

Die vorstehend formulierte Simulation des Fertigungsprozesses zur dynamischen Anpassung der Einstellgrößen ist iterativ solange zu wiederholen, bis die Werkstücktoleranzen eingehalten sind.

In den Fig. 4 und 5 ist die zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens vorgesehene Wälzschälmaschine dargestellt. Sie hat ein Bett 1, auf dem ein Axialschlitten 2 in Z-Richtung verschiebbar ist. Er trägt einen Radialschlitten 3, der relativ zum Axialschlitten 2 in X-Richtung verschiebbar ist. Am Radialschlitten 3 ist ein Schälkopf 4 um eine Achse 5 schwenkbar angeordnet, der mit dem Radialschlitten in X-Richtung verschoben werden kann. Auf dem Bett 1 ist starr eine Werkstückspindeleinheit 6 befestigt. Der Schälkopf 4 und die Werkstückspindeleinheit 6 haben jeweils eine Spindel 7 und 8 zur Aufnahme eines Werkzeuges 9 bzw. eines Werkstückes 10.

Während des Bearbeitens des Werkstückes 10 führen das Werkzeug 9 und das Werkstück 10 in bekannter Weise eine Grunddrehung aus. Sie drehen sich hierbei im umgekehrten Verhältnis ihrer jeweiligen Zähnezahl. Bei der Bearbeitung entsteht während einer Werkstückumdrehung ein schmales Band der endgültigen Werkstückverzahnung. Zur Ausbildung der Verzahnung am Werkstück 10 über die gesamte Breite ist eine Schraubbewegung erforderlich. Sie kommt dadurch zustande, daß der Axialschlitten 2 in Z-Richtung verschoben wird und gleichzeitig das Werkstück 10 eine Zusatzdrehung ausführt. Die Achsen von Werkzeug 9 und Werkstück 10 sind während der Bearbeitung in bekannter Weise unter dem Winkel Σ zueinander geschwenkt.

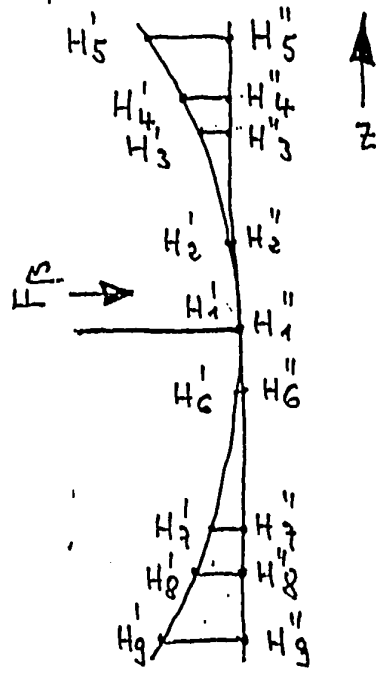
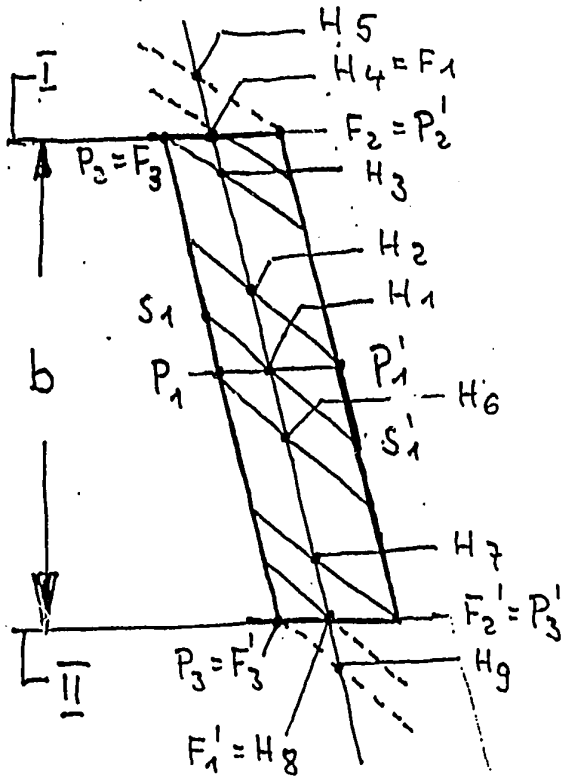


Fig. 1

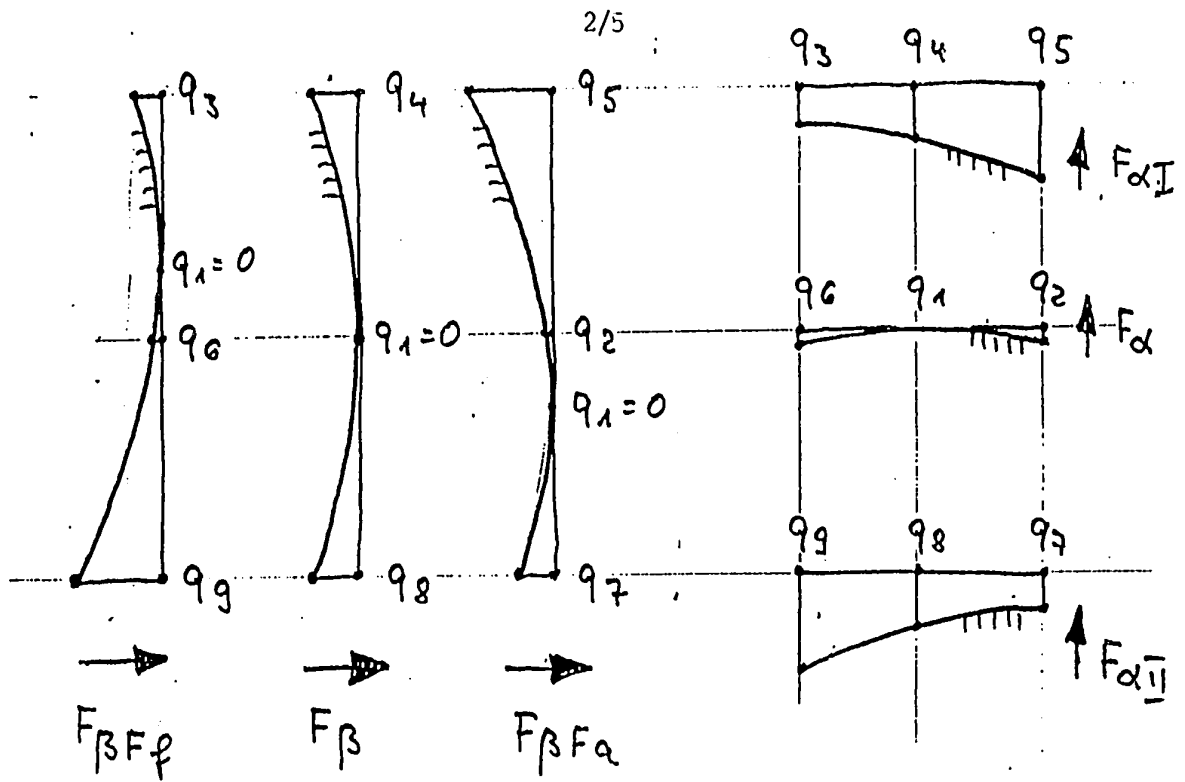


Fig. 2

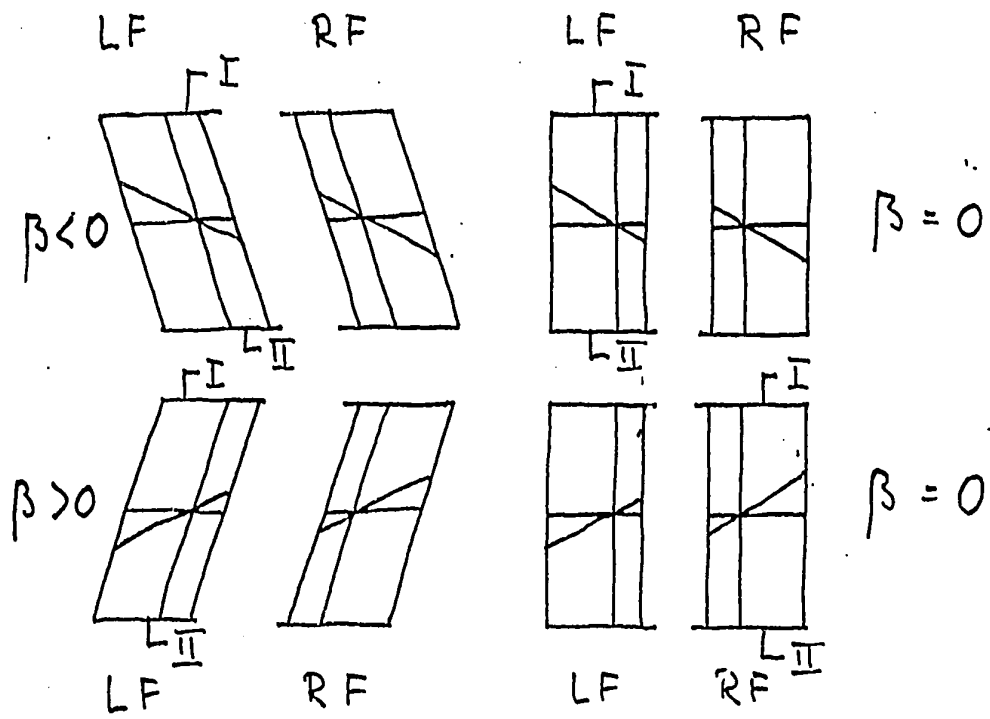


Fig. 3

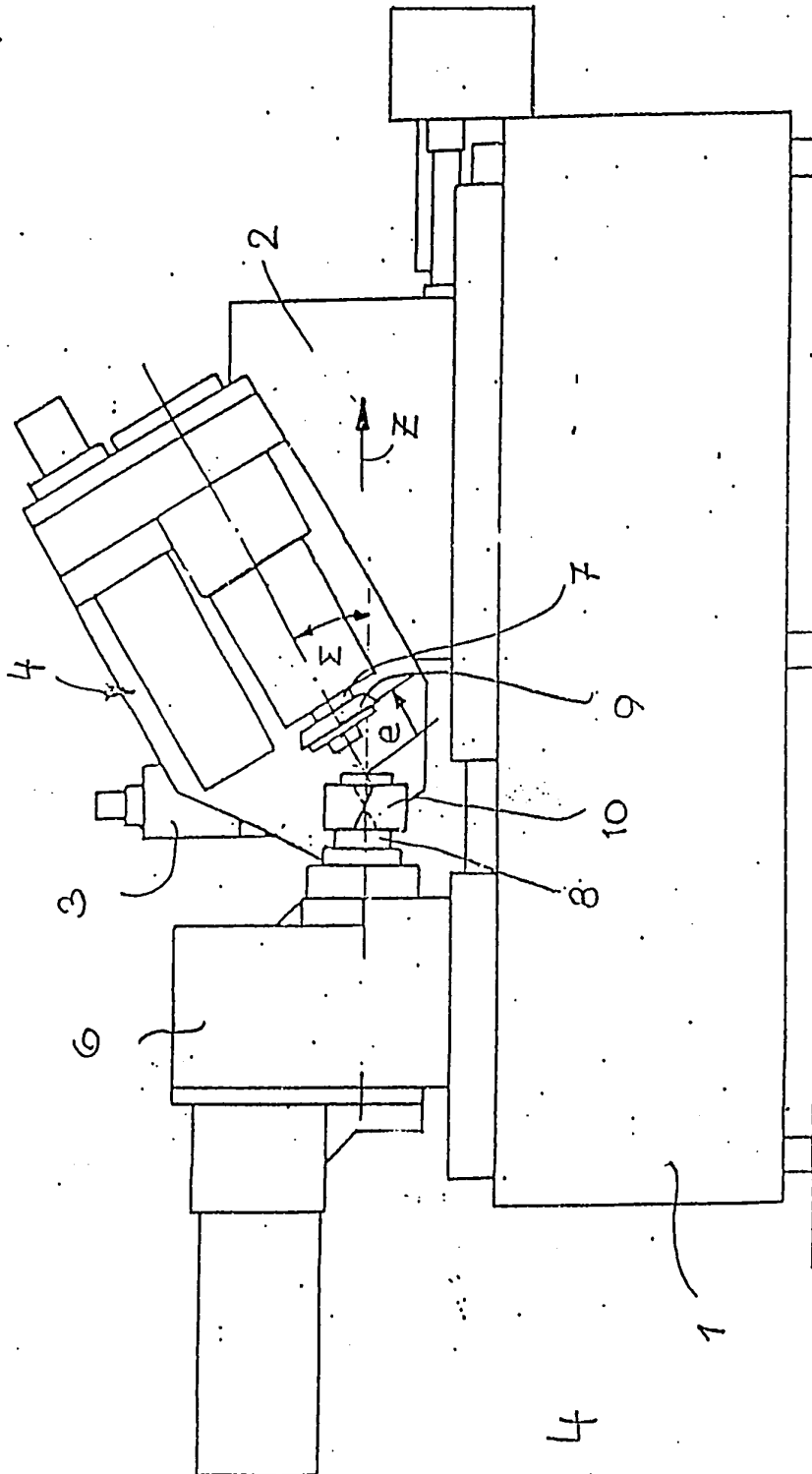


Fig. 4

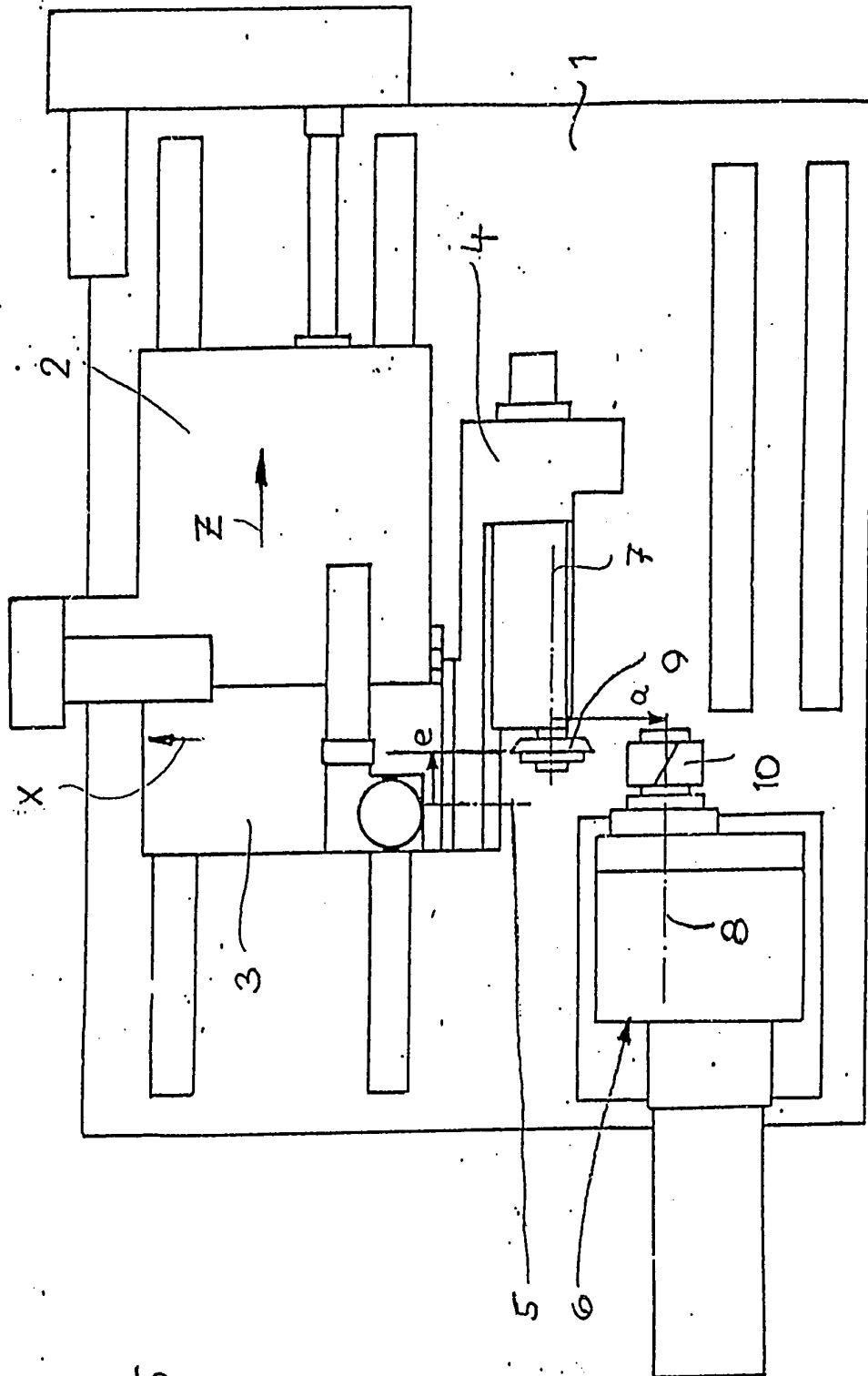


Fig. 5