



(19)

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 936 028 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**29.10.2003 Patentblatt 2003/44**

(51) Int Cl. 7: **B24B 19/06, B24B 35/00**

(21) Anmeldenummer: **98111690.8**

(22) Anmeldetag: **25.06.1998**

**(54) Vorrichtung zum Superfinishen bearbeiteter Oberflächen**

Apparatus for superfinishing machined surfaces

Dispositif de superfinition de surfaces usinées

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB SE**

(72) Erfinder: **Weber, Wilfried**  
**72250 Freudenstadt (DE)**

(30) Priorität: **09.02.1998 DE 19804885**

(74) Vertreter: **Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker**  
**Patentanwälte**  
**Gerokstrasse 6**  
**70188 Stuttgart (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**18.08.1999 Patentblatt 1999/33**

(73) Patentinhaber: **Supfina Grieshaber GmbH & Co.**  
**KG**  
**77709 Wolfach (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 4 423 422**                           **US-A- 4 485 592**  
**US-A- 4 534 133**                           **US-A- 4 573 289**  
**US-A- 5 031 303**                           **US-A- 5 681 209**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Superfinishen bearbeiteter, insbesondere gefinishter oder geschliffener Oberflächen von Werkstücken, mit einer Spanneinrichtung für das Werkstück, einem Finishstein als Werkzeug, einem Halter für den Finishstein, einer mehrachsigen Antriebsvorrichtung zum Ausführen einer mehrachsigen Relativbewegung zwischen der zu bearbeitenden Oberfläche und dem Halter in einer zur bearbeitenden Oberfläche orthogonalen Ebene, welche durch die Koordinaten X und Y definiert ist, sowie einer Steuereinheit zur Ansteuerung der Antriebsvorrichtung, wobei die Steuereinheit Eingabemittel für die Eingabe des Profils der zu bearbeitenden Oberfläche sowie elektronische Rechenmittel aufweist. Eine derartige Vorrichtung gemäß des Oberbegriffes des Anspruchs 1 ist z.B. aus der US-A-4 485 592 bekannt. Es ist bekannt, dass geschliffene Oberflächen von Werkstücken, insbesondere von Wälzlagern, in einem weiteren Arbeitsgang gefinisht werden, wodurch zum einen die Rauigkeit der Oberfläche vermindert, zum anderen die Formund Maßgenauigkeit erhöht wird. In der Regel werden bei diesem Finishvorgang bis zu 6 µm, in Sonderfällen sogar 50 µm und mehr Material abgetragen. Ebene Oberflächen werden mit einem ebenen Finishstein bearbeitet, der in der Ebene der Oberfläche bewegt wird. Gekrümmte Oberflächen werden ebenfalls mit einem Finishstein bearbeitet, wobei die Arbeitsfläche des Finishsteins in diesem Fall nicht eben sondern der Krümmung der zu bearbeitenden Oberfläche angepasst ist. Während der Bearbeitung wird der Stein verschwenkt, so dass er permanent flächig am zu bearbeitenden Werkstück bzw. an dessen zu bearbeitenden Oberfläche anliegt. Hierfür ist der Finishstein in einer Schwenkvorrichtung eingespannt, deren Schwenkachse im Krümmungsmittelpunkt der zu bearbeitenden Oberfläche liegt. Es hat sich gezeigt, dass mit derartigen Vorrichtungen nur eine begrenzte Anzahl von Werkstücken bearbeitet werden kann. Werkstücke mit schwach gekrümmten Oberflächen, d.h. mit Oberflächen deren Krümmungsradius sehr groß ist, können mit derartigen Vorrichtungen nicht bearbeitet werden, da der Schwenkarm zum Verschwenken des Finishsteins in der Regel zu kurz ist. Dies trifft insbesondere für winkeleinstellbare Loslager und große Pendelrollenlager zu. Außerdem sind CNC-Bearbeitungsmaschinen bekannt, mit denen Bearbeitungswerzeuge, z.B. Bohrer, Drehmeißel u.dgl. im Raum verfahren werden können. Derartige Werkzeuge besitzen jedoch punkt- oder linienförmige Schneiden, so dass die Winkelstellung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück zwar durch den Spanwinkel bestimmt ist, dass dieser Spanwinkel jedoch in relativ großen Bereichen variabel sein kann. Derartige Maschinen eignen sich nicht für Werkzeuge, bei denen das Werkstück nicht punkt- oder linienförmig sondern flächig, nämlich über einen Finishstein bearbeitet wird. Dieser Finishstein muss relativ zum Werkzeug nicht nur

in der X-Y-Ebene sondern auch in seiner Winkellage exakt positioniert sein, so dass die Schneidfläche des Finishsteins perianent flächig auf der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks aufliegt.

- 5 **[0002]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung bereitzustellen, mit welcher auch derartige Werkstücke relativ einfach bearbeitet werden können.
- 10 **[0003]** Diese Aufgabe wird mit einer Finishvorrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Halter mittels einer Schwenkeinrichtung um eine zur X-Y-Ebene orthogonale virtuelle Schwenkachse verschwenkbar gelagert ist und dass der zur Position des Finishsteins korrespondierende Schwenkwinkel des Halters über die Rechenmittel ermittelbar ist und die Schwenkeinrichtung von der Steuereinheit ansteuerbar ist.
- 15 **[0004]** Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der Finishstein über die Antriebsvorrichtung nicht nur in der X-Y-Ebene verfahren sondern auch derart verschwenkt, dass der Finishstein permanent flächig auf der zu bearbeitenden Oberfläche aufliegt. Der zu jeder Position des Finishsteins korrespondierende Schwenkwinkel wird über die Rechenmittel aus der Geometrie der zu bearbeitenden Oberfläche bzw. aus dem Profil des Werkstücks errechnet. Hierfür bedarf es in der Regel zweier Punkte sowie des Krümmungsradiuses der Oberfläche. Aus diesen Angaben wird der virtuelle Schwenkwinkel errechnet, um welchen der Finishstein ausschließlich verschwenkt wird. Da dieser virtuelle Schwenkwinkel einen sehr großen Abstand zur zu bearbeitenden Oberfläche haben kann, wird der Finishstein über die Antriebsvorrichtung in X-Richtung sowie in Y-Richtung verfahren und zusätzlich um eine tatsächliche Schwenkachse verschwenkt. Diese Bewegung in der Ebene sowie Verschwenkung um die tatsächliche Schwenkachse entspricht einem Verschwenken um die virtuelle Schwenkachse. Die tatsächliche Schwenkachse liegt jedoch innerhalb der Finishvorrichtung, insbesondere innerhalb der Schwenkeinrichtung und wird von einem Schwenklager gebildet. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können nun auch Werkstücke bearbeitet werden, die sehr große Krümmungsradien besitzen bzw. die eine ebene, zu bearbeitende Oberfläche aufweisen (deren Krümmungsradius unendlich ist).
- 20 **[0005]** Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Schwenkeinrichtung in die Antriebsvorrichtung integriert. Über die Antriebsvorrichtung wird also der Finishstein in X- und in Y-Richtung verfahren, was dadurch erfolgt, dass über die Antriebsvorrichtung die Schwenkeinrichtung verfahren wird, an welcher der Halter für den Finishstein vorgesehen ist. Außerdem wird über die Schwenkeinrichtung der Halter und somit der Finishstein verschwenkt.
- 25 **[0006]** Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die Schwenkeinrichtung maschinengenau ist, und in der Schwenkeinrichtung eine Antriebsvorrichtung vorgesehen ist, welche den Halter für den Finishstein in zwei

zueinander orthogonalen Richtungen verfährt.

**[0007]** Diese Schwenkeinrichtung kann erfindungsgemäß elektrisch, z.B. über Servomotoren o.dgl., elektromagnetisch, hydraulisch und/oder pneumatisch aktivierbar sein.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist dazu geeignet, ebene und gekrümmte Oberflächen, insbesondere Kreisbogenförmig oder torusförmig gekrümmte Oberflächen, sowie konkave und konvexe Oberflächen zu bearbeiten. Außerdem können Oberflächen bearbeitet werden, die geneigt sind, so dass die virtuelle Schwenkachse außerhalb der Ebene des in der Regel ringförmigen Bauteils ist.

**[0009]** Eine Weiterbildung sieht vor, dass der Halter und/oder die Antriebsvorrichtung eine Andruckeinrichtung für den Finishstein aufweist. Diese Andruckeinrichtung hält den Finishstein permanent auf der zu bearbeitenden Oberfläche und treibt diesen mit einer vorgegebenen Kraft an. Auf diese Weise wird der gewünschte Abtrag erzielt und der Verschleiss des Finishsteins ausglichen. Bevorzugt ist die Andruckeinrichtung pneumatisch oder hydraulisch beaufschlagbar, wobei der Finishstein auch mit Federkraft auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst werden kann. Eine pneumatische Vorrichtung hat den wesentlichen Vorteil, dass der Anpressdruck relativ einfach konstant gehalten werden kann.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist bei einer Variante so ausgeführt, dass die tatsächliche Schwenkachse in der Berührungsfläche von Finishstein und zu bearbeitender Oberfläche liegt. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel liegt die tatsächliche Schwenkachse zwischen der Berührungsfläche und dem Ort der virtuellen Schwenkachse. Bevorzugt ist die Lage der tatsächlichen Schwenkachse bezüglich der zu bearbeitenden Oberfläche verstellbar.

**[0011]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel im einzelnen beschrieben ist. In der Zeichnung zeigen:

- Figur 1 eine Seitenansicht der erfindungsgemäßen Finishvorrichtung;
- Figur 2 eine Draufsicht in Richtung des Pfeils II gemäß Figur 1; und
- Figur 3 mehrere Werkstücke, welche mit der Vorrichtung bearbeitet werden können.

**[0012]** Die Figur 1 zeigt eine insgesamt mit 1 bezeichnete Finishvorrichtung mit einem Maschinengehäuse 2, in welchem Versorgungsaggregate, Antriebe, eine Steuereinheit 23 mit Rechenmitteln u.dgl. für die Vorrichtung 1 untergebracht sind. Am Maschinengehäuse 2 befindet sich ein Schlitten 3 der an einer vertikalen Führungsbahn 4 in Y-Richtung (Doppelpfeil 5) verfahrbar ist. An diesem Schlitten 3 ist über einen Tragarm 6

eine Schwenkeinrichtung 7 befestigt, an welcher ein Schwenkarm 8 um eine Schwenkachse 9 verschwenkbar gelagert ist. Diese Schwenkeinrichtung 7 ist über den Schlitten 3 in vertikaler Richtung verfahrbar. Zwischen der Schwenkeinrichtung 7 und dem Tragarm 6 befindet sich ein weiterer Schlitten 10, über welchen die Schwenkeinrichtung 7 in einer zur Zeichenebene orthogonalen Richtung, nämlich in Richtung der x-Achse, verfahrbar ist.

**[0013]** Innerhalb des Maschinengehäuses 2 befindet sich ein Drehantrieb mit einer Drehachse 11, über welchen eine Planscheibe 12 in Drehung versetzt werden kann. An dieser Planscheibe 12 ist über Haltevorrichtungen 13 ein Werkstück 14 befestigt, welches um die Drehachse 11 gedreht werden kann. Dabei liegen die Drehachse 11 und die zentrale Achse des Werkstücks 14 koaxial zueinander. Der Schwenkarm 8 besitzt die Form eines nach unten offenen U und greift mit seinem freien Ende in das Werkstück 14 ein. An diesem freien Ende 15 befindet sich ein Halter 16, welcher einen Finishstein 17 aufnimmt. Dieser Finishstein 17 greift an der zu bearbeitenden Innenoberfläche 18 (Figur 2) an. An dieser Innenoberfläche 18 liegt der Finishstein 17 flächig an. Er besitzt also an seiner Anlagefläche die gleiche Krümmung wie die Innenoberfläche 18.

**[0014]** Die beiden Schlitten 3 und 10 bilden eine Antriebsvorrichtung 22 für den Halter 16 bzw. den Finishstein 17 in X-Richtung 20 sowie in Y-Richtung 5.

**[0015]** In der Figur 2 ist die Finishvorrichtung 1 in Draufsicht in Richtung des Pfeils II gemäß Figur 1 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, wie der Finishstein 17 an der Innenoberfläche 18 anliegt. Der Halter 16 besitzt eine Andruckeinrichtung 19, über welche der Finishstein 17 mit konstanter Kraft auf die Innenoberfläche 18 gepresst wird. Über den Schlitten 10 wird die Schwenkeinrichtung 7 in Richtung des Doppelpfeils 20, d.h. in X-Richtung verfahren. Die beiden Schlitten 3 und 10 erlauben also das Abfahren der Innenoberfläche 18 des Werkstücks 14 in der x-y-Ebene 21. Über die Schwenkeinrichtung 7 wird außerdem der Finishstein 17 um die Schwenkachse 9 derart verschwenkt, so dass dieser permanent flächig an der Innenoberfläche 18 anliegt. Dabei liegt die Schwenkachse 9 mit Abstand zur Innenoberfläche 18. Bei Verwendung eines anders geformten Schwenkarmes 8 besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die Schwenkachse 9 exakt in der Berührungsfläche zwischen der Innenoberfläche 18 und dem Finishstein 17 zu liegen kommt.

**[0016]** Mit der erfindungsgemäßen Finishvorrichtung 1 können beliebige Werkstücke mit ebenen oder zylinderförmigen Oberflächen bearbeitet werden. Üblicherweise besitzen die Werkstücke jedoch Oberflächen, welche Ausschnitte eines Torus darstellen. In der Figur 3 sind mehrere Außenringe (oben) sowie Innenringe (unten) verschiedener Wälzlager dargestellt. Die Figur 3a zeigt ein winkeleinstellbares Loslager, dessen Innenoberfläche 18 vom Finishstein 17 bearbeitet wird. Dieser Finishstein 17 wird in X-Richtung 20 (vertikal) und

in Y-Richtung 5 (horizontal) verfahren und von der Schwenkeinrichtung 7 und dem Schwenkwinkel  $\alpha$  verschwenkt. Dies gilt auch für die Außenoberfläche 18' des Innenrings.

[0017] Die Figur 3b zeigt ein Pendelrollenlager, bei der der Außenring gegenüber zur Figur 3a einen kleinen Krümmungsradius aufweist. Der Innenring besitzt in diesem Fall zwei zu bearbeitende Innenoberflächen 18'. Die Figur 3c zeigt ein Axialpendelrollenlager mit geneigten, gekrümmten Oberflächen 18 und 18'. Außerdem weist der Innenring eine weitere zu bearbeitende Oberfläche 18'' auf, welche mit einem Finishstein 17' bearbeitet wird.

[0018] Die Figur 3d zeigt ein Kegelrollenlager mit kegelförmigen Flächen 18 und 18', wobei in diesem Falle der Finishstein lediglich geneigt ist, jedoch nicht verschwenkt wird. Auch hier weist der Innenring eine zweite zu bearbeitende Oberfläche 18'' auf, welche mit einem Finishstein 17' bearbeitet wird.

[0019] Die Figur 3e zeigt ein Zylinderrollenlager mit zylindrischen Oberflächen 18 und 18', wobei hier der Finishstein 17 weder geneigt ist noch verschwenkt wird.

[0020] Die Figur 3f zeigt ein Rillenkugellager, bei dem die Oberflächen 18 und 18' sehr kleine Krümmungsradien besitzen, so dass der Finishstein 17 in X-Richtung 20 und Y-Richtung 5 nahezu nicht verfahren wird, jedoch der Schwenkwinkel  $\alpha$  relativ groß ist.

[0021] Mit der erfindungsgemäßen Finishvorrichtung 1 können auch Axiallager oder Axalkugellager bearbeitet werden, wobei bei Axiallagern die zu bearbeitende Fläche eben ist. Insgesamt kann festgestellt werden, dass, wie in Figur 3 dargestellt, ebene Flächen sowie Ausschnittsflächen eines Torus bearbeitet werden können.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Superfinishen bearbeiteter, insbesondere gefinishter oder geschliffener Oberflächen (18) von Werkstücken (14), mit einer Spanneinrichtung (13) für das Werkstück (14), einem Finishstein (17) als Werkzeug, einem Halter (16) für den Finishstein (17), einer mehrachsigen Antriebsvorrichtung (22) zum Ausführen einer mehrachsigen Relativbewegung zwischen der zu bearbeitenden Oberfläche (18) und dem Halter (16) in einer zur bearbeitenden Oberfläche (18) orthogonalen Ebene (21), welche durch die Koordinaten X und Y (20 und 5) definiert ist, sowie einer Steuereinheit zur Ansteuerung der Antriebsvorrichtung (22), wobei die Steuereinheit (23) Eingabemittel für die Eingabe des Profils der zu bearbeitenden Oberfläche (18) aufweist und die Steuereinheit (23) elektronische Rechenmittel aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Halter (16) mittels einer Schwenkeinrichtung (7) um eine zur x-y-Ebene (21) orthogonalen virtuellen Schwenkachse schwenkbar gelagert ist und dass der zur Po-

sition des Finishsteins (17) korrespondierende Schwenkwinkel ( $\alpha$ ) des Halters (16) über die Rechenmittel ermittelbar ist und die Schwenkeinrichtung (7) von der Steuereinheit (23) ansteuerbar ist.

- 5 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwenkeinrichtung (7) in die Antriebsvorrichtung (22) integriert ist.
- 10 3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwenkeinrichtung (7) elektrisch, elektromagnetisch, hydraulisch und/oder pneumatisch aktivierbar ist.
- 15 4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Halter (16) und/oder die Antriebsvorrichtung (22) eine Andruckeinrichtung (19) für den Finishstein (17) aufweist.
- 20 5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Andruckeinrichtung (19) pneumatisch oder hydraulisch beaufschlagbar ist oder den Finishstein (17) mittels Federkraft auf die zu bearbeitende Oberfläche (18) presst.
- 25 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die tatsächliche Schwenkachse (9) in der Berührungs-ebene von Finishstein (17) und zu bearbeitender Oberfläche (18) liegt oder zwischen der Berührungsfläche und dem Ort der virtuellen Schwenkachse liegt.
- 30 35

## Claims

1. A device for superfinishing of treated, in particular finished or ground, surfaces (18) of work pieces (14), having a clamping device (13) for the work-piece (14), a finishing block (17) as the tool, a holder (16) for the finishing block (17), a multi-axis drive device (22) for performing a multi-axis relative movement between the surface (18) to be treated and the holder (16) in a plane (21) which is orthogonal in respect to the surface (18) to be treated and is defined by the coordinates X and Y (20 and 5), as well as a control unit for controlling the drive device (22), wherein the control unit (23) has input means for inputting the profile of the surface (18) to be treated, and the control unit (23) has electronic calculating means, **characterized in that** by means of a pivoting device (7) the holder (16) is seated pivotable around a virtual pivot axis which is orthogonal in respect to the X - Y - plane (21), and that the pivot angle ( $\alpha$ ) of the holder (16) corresponding to the position of the finishing block (17) can be deter-

- mined by means of the calculating means, and that the pivoting device (7) can be controlled from the control unit (23).
2. The device in accordance with claim 1, **characterized in that** the pivoting device (7) is integrated into the drive device (22).
  3. The device in accordance with one of the preceding claims, **characterized in that** the pivoting device (7) can be electrically, electro-magnetically, hydraulically and/or pneumatically activated.
  4. The device in accordance with one of the preceding claims, **characterized in that** the holder (16) and/or the drive device (22) has a contact pressure device (19) for the finishing block (17).
  5. The device in accordance with claim 4, **characterized in that** the contact pressure device (19) can be charged pneumatically or hydraulically, or that it presses the finishing block (17) at the surface (18) to be worked by means of a spring force.
  6. The device in accordance with one of the preceding claims, **characterized in that** the actual pivot axis (9) is located in the tangent plane between the finishing block (17) and the surface (18) to be treated, or lies between the tangent plane and the location of the virtual pivot axis.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif de pivotement (7) est intégré au dispositif d'entraînement (22).
- 5 3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif de pivotement (7) est à actionnement électrique, électromagnétique, hydraulique et/ou pneumatique.
- 10 4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le support (16) et/ou le dispositif d'entraînement (22) comprend un dispositif presseur (19) pour la pierre abrasive (17).
- 15 5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le dispositif presseur (19) est à actionnement pneumatique ou hydraulique ou plaque la pierre abrasive (17) contre la surface à usiner (18) sous l'action d'un ressort.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'axe de pivotement réel (9) se situe dans le plan de contact de la pierre abrasive (17) et de la surface à usiner (18) ou entre la surface de contact et l'emplacement de l'axe de pivotement virtuel.

### Revendications

1. Dispositif de superfinition de surfaces usinées (18), notamment après traitement de finition ou de rectification, de pièces (14), comprenant un dispositif de serrage (13) de la pièce (14), une pierre abrasive (17) en tant qu'outil, un support (16) pour la pierre abrasive (17), un dispositif d'entraînement multiaxial (22) pour obtenir un mouvement relatif suivant plusieurs axes entre la surface à usiner (18) et le support (16) dans un plan (21) orthogonal à la surface à usiner (18), défini par les coordonnées X et Y (20 et 5), ainsi qu'une unité de commande du dispositif d'entraînement (22), l'unité de commande (23) comprenant des moyens de saisie du profil de la surface à usiner (18) et des moyens de calcul électroniques, **caractérisé en ce que** le support (16) est monté avec capacité de pivotement autour d'un axe de pivotement virtuel orthogonal au plan x-y (21) au moyen d'un dispositif de pivotement (7), **en ce que** l'angle de pivotement ( $\alpha$ ) du support (16), qui correspond à la position de la pierre abrasive (17), peut être déterminé à l'aide des moyens de calcul et **en ce que** le dispositif de pivotement (7) peut être commandé par l'unité de commande (23).

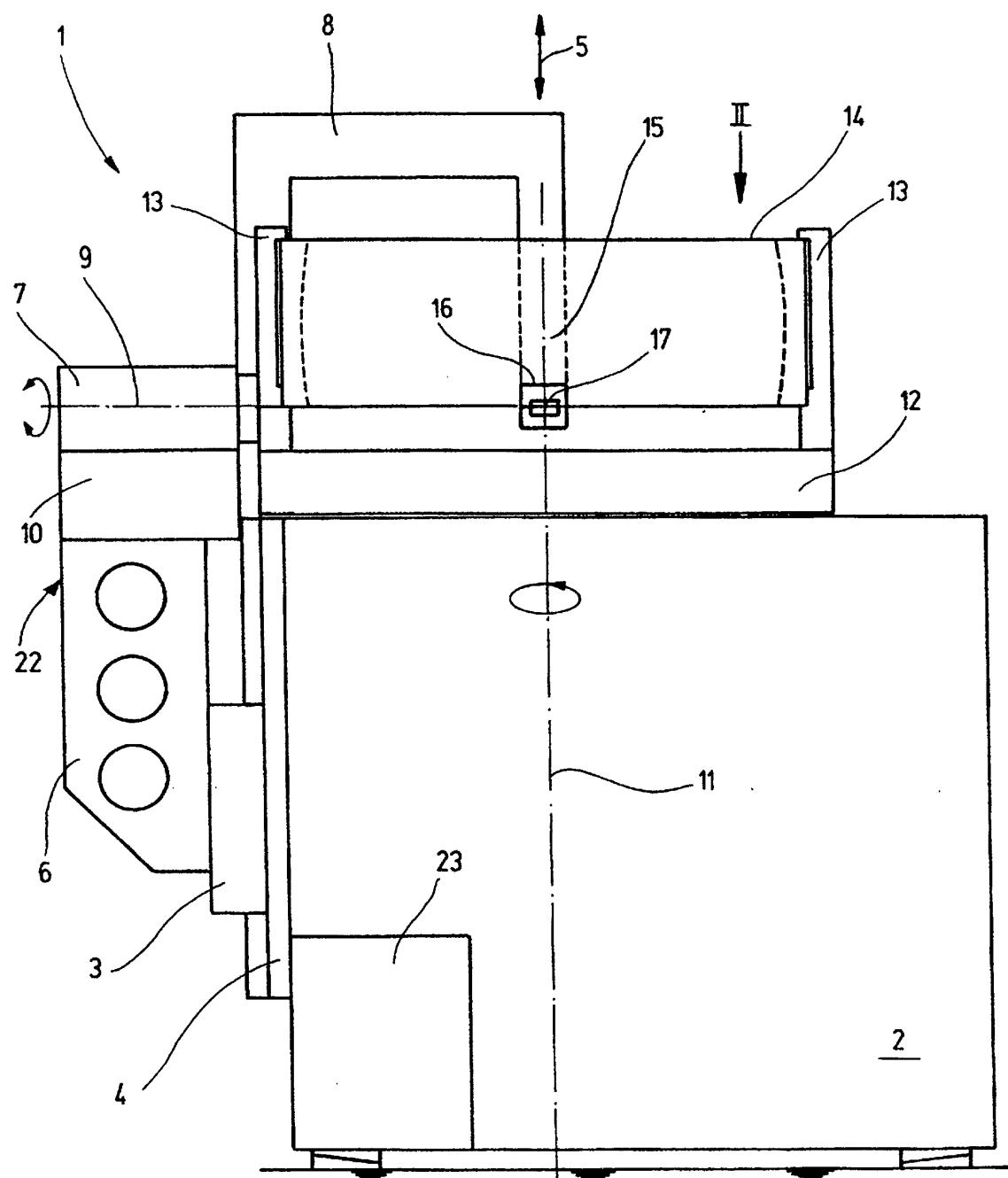
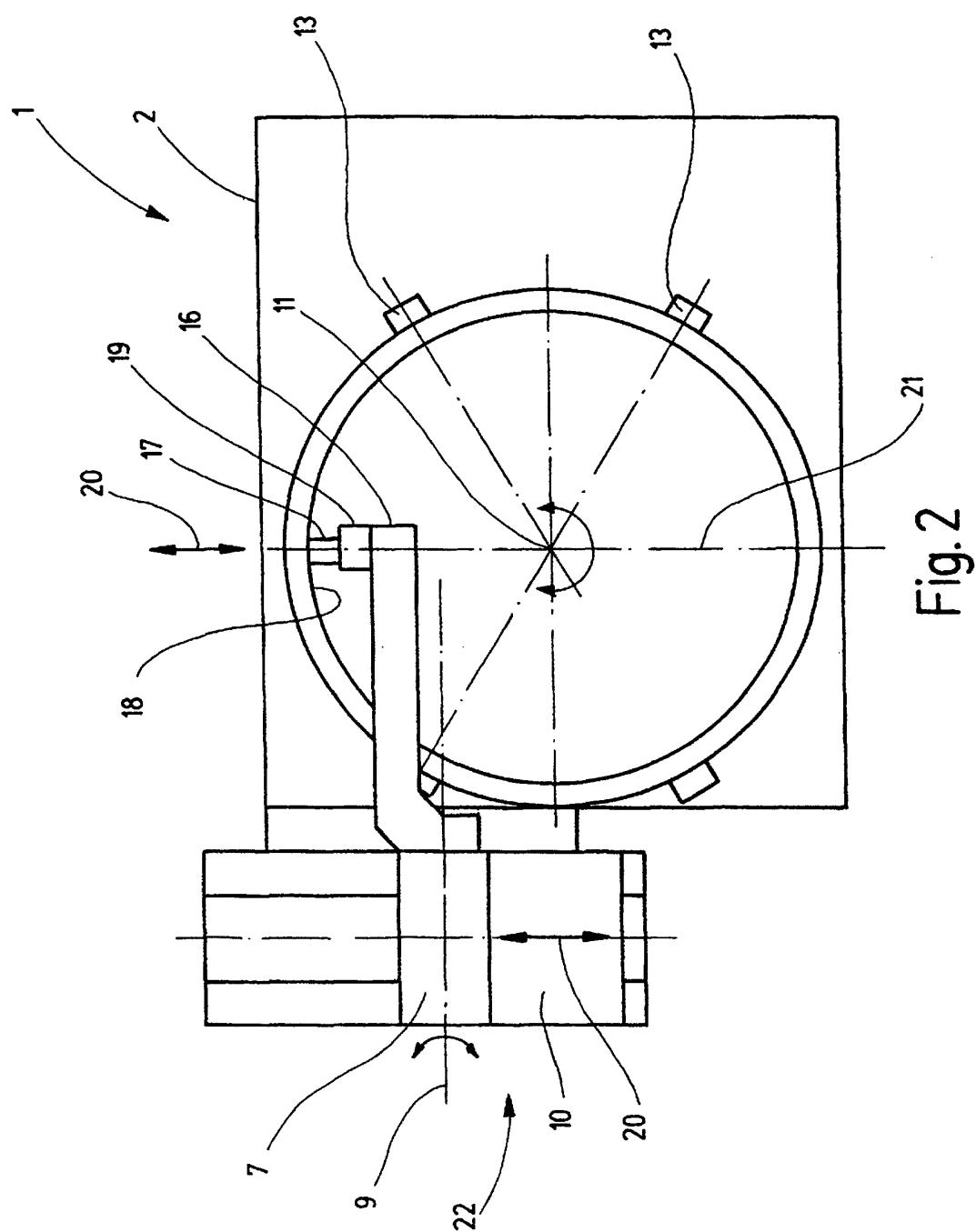


Fig. 1



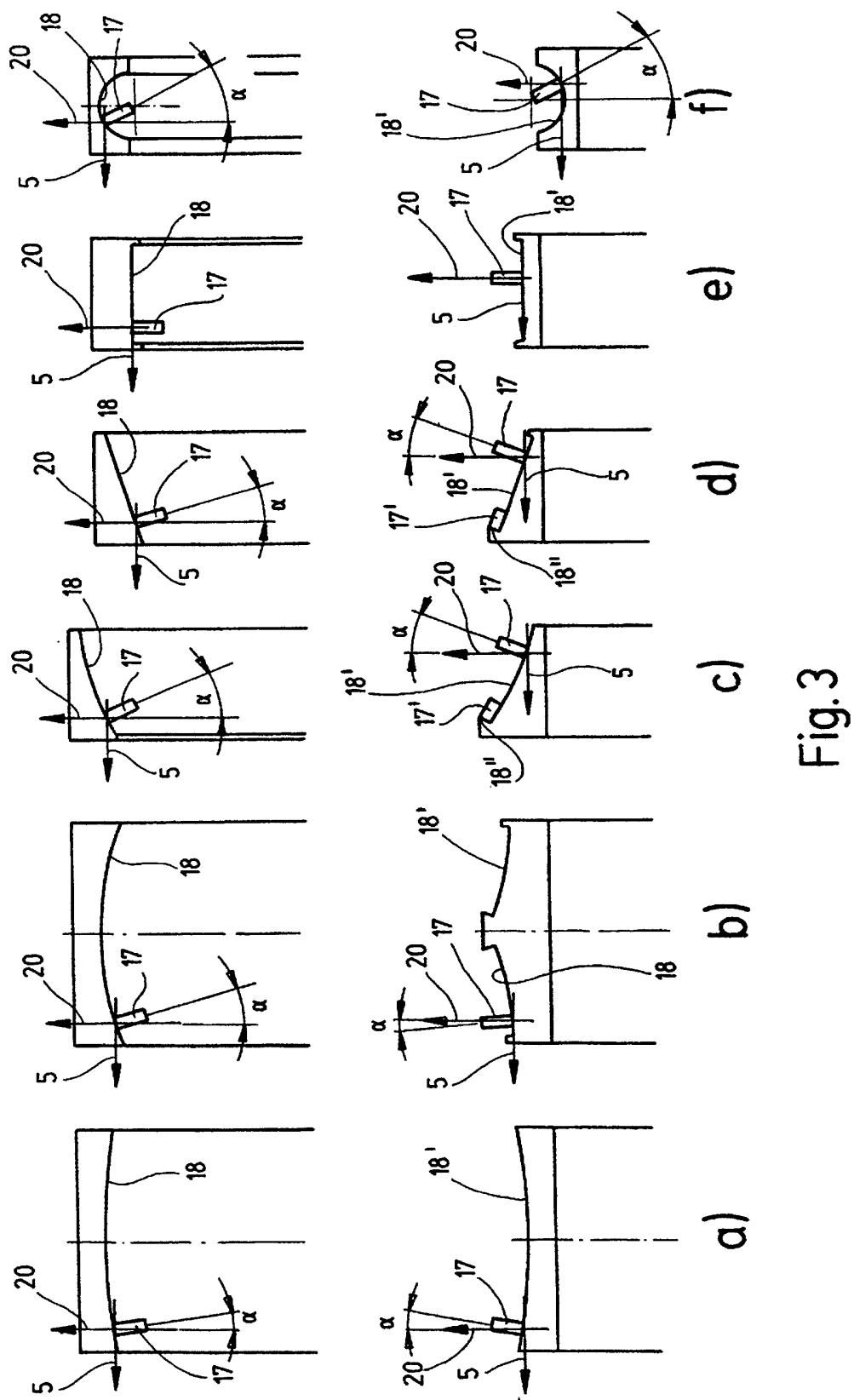


Fig. 3