



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 035 164 B4** 2009.01.15

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 035 164.9**  
(22) Anmeldetag: **29.07.2006**  
(43) Offenlegungstag: **31.01.2008**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **15.01.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23Q 23/00** (2006.01)  
**B23Q 15/18** (2006.01)  
**G05B 19/404** (2006.01)  
**F16F 15/02** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**WALTER Maschinenbau GmbH, 72072 Tübingen, DE**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(72) Erfinder:

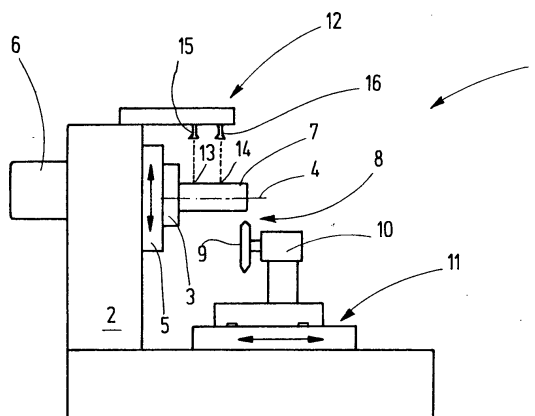
**Nebeling, Paul Helmut, Dr.-Ing., 72072 Tübingen, DE; Häckh, Heinz, Dipl.-Ing.(FH), 73773 Aichwald, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 196 19 103 C2**  
**DE 39 10 574 C1**  
**DE10 2004 042316 A1**  
**DE 103 44 293 A1**

(54) Bezeichnung: **Werkzeugmaschine mit verbessertem Rundlauf**

(57) Hauptanspruch: Werkzeugmaschine (1) mit einem Maschinengestell (2), das mit Mitteln (19) zur Lagerung wenigstens eines Werkstücks (7) oder eines Werkzeugs (7) versehen ist, mit wenigstens einer Arbeitsspindel (3), die zur Aufnahme eines Werkzeugs (7) oder eines Werkstücks (7) eingerichtet und in Bezug auf das Maschinengestell (2) drehend angetrieben ist, mit einer Messeinrichtung (12) zur Bestimmung einer drehpositionsabhängigen Fehllage des mit der Arbeitsspindel (3) verbundenen Werkstücks (7) oder Werkzeugs (7), mit einer Lagereinrichtung (18), die zur um eine vorgegebene Drehachse (4) drehbaren Lagerung der Arbeitsspindel (3) eingerichtet ist und mit einer von einem Stellsignal gesteuerten Stelleinrichtung (22) zur dynamischen Verstellung der Ausrichtung der Drehachse (4) wobei die Stelleinrichtung (22) zur Kompensation des zuvor gemessenen Taumelschlags des Werkzeugs oder Werkstücks mit der Messeinrichtung (12) verbunden ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Werkzeugmaschine mit zumindest einer Arbeitsspindel sowie ein Verfahren zum Bewegen eines Werkstücks oder Werkzeugs, das an einer solchen Arbeitsspindel gehalten ist.

**[0002]** Bei Werkzeugmaschinen werden heute hochgenaue Spindellagerungen eingesetzt, die überwiegend mit Wälzlagern bestückt sind. Hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeiten, Drehzahlen, der Schmierung und der Lebensdauer wurden solche Spindellagerungen kontinuierlich weiter entwickelt. Obwohl dabei durchaus Fortschritte erzielt worden sind, lassen sich bei den derzeitigen Fertigungsmöglichkeiten die erzielbaren Genauigkeiten hinsichtlich radialer und axialer Laufruhe und Ausrichtung der gelagerten Welle nicht beliebig verbessern. Verbleibende Ungleichförmigkeiten sind zu erwarten.

**[0003]** Um diesem Problem zu begegnen, schlägt die DE 103 44 293 A1 eine Werkzeugschleifmaschine mit einer Maschinensteuereinrichtung vor, die mittels einer geeigneten Messeinrichtung zunächst die Fehlausrichtung eines Rohlings bestimmt, der von einer Werkstückaufnahme an der Arbeitsspindel aufgenommen ist. Bei der Schleifbearbeitung des Rohlings bzw. eines Werkstücks wird diese Fehlausrichtung berücksichtigt und kompensiert, indem die Schleifwerkzeuge dem Werkstück so nachgeführt werden, dass das Werkstück trotz Fehlausrichtung maßhaltig und konzentrisch bearbeitet wird.

**[0004]** Bei der Kompensation der Taumelbewegung eines z. B. zylindrischen Werkstücks durch eine der Zustellbewegung von Schleifwerkzeugen überlagerte Bewegung, ist die überlagerte Bewegung von der axialen Eingriffposition zwischen Werkstück und Werkzeug abhängig. Des Weiteren kann die Kompensation bei Werkzeugen, die in nicht nur punktförmigen sondern linienhaften oder sogar flächigem Eingriff mit dem Werkstück stehen schwierig oder gar unmöglich sein, einen Taumelschlag des an der drehenden Arbeitsspindel gehaltenen Werkstücks durch eine Bewegung der Werkzeuge zu kompensieren.

**[0005]** Aus der DE 10 2004 042 316 A1 ist es darüber hinaus bekannt, zur Lagerung von drehenden Achsen aktiv geregelte Lager vorzusehen, um die Drehachse des betreffenden drehenden Teils mit der physikalischen Hauptträgheitsachse des betreffenden Teils, z. B. Werkzeugs, in Übereinstimmung zu bringen. Damit läuft das betreffende Werkzeug auch bei hohen Drehzahlen ausgewuchtet. In Folge ungleichmäßiger Masseverteilung an dem betreffenden Teil kann das Teil jedoch dabei mit einem erheblichen Taumelschlag laufen, wenn, wie es häufig der Fall ist, die Hauptträgheitsachse nicht mit der geometrischen Mittelachse des betreffenden Teils übereinstimmt.

Damit eignet sich die dynamische Auswuchtung von Werkzeugen zur Angleichung der Drehachse an die physikalische Hauptträgheitsachse des Werkzeugs nicht zur Kompensation von geometrischen Fehlausrichtungen.

**[0006]** Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung eine verbesserte Möglichkeit zur Kompensation von Fehlausrichtungen von Werkzeugen oder Werkstücken an Arbeitsspindeln anzugeben.

**[0007]** Diese Aufgabe wird mit der Werkzeugmaschine nach Anspruch 1 wie auch mit dem Verfahren nach Anspruch 21 gelöst:

Die erfindungsgemäße Werkzeugmaschine weist eine Arbeitsspindel auf, die mit einer Stelleinrichtung zur dynamischen Verstellung der Ausrichtung der Drehachse der Arbeitsspindel verbunden ist. Mit der Stelleinrichtung kann die Ausrichtung der Arbeitsspindel in Abhängigkeit von dem Drehwinkel derselben beeinflusst werden. Damit kann die Arbeitsspindel relativ zu einem ortsfesten Maschinenkörper derart bewegt werden, dass die Bewegung eines an der Arbeitsspindel gespannten Körpers (Werkstück oder Werkzeug) eine ideale Drehbewegung ohne Exzentrizität bzw. Orbitalkomponente und gegebenenfalls ohne axiale Komponente vollführt. Es kann von einer aktiven drehwinkelabhängigen Verstellung der Ausrichtung der Arbeitsspindel in radialer und/oder axialer Richtung und somit von einer aktiven Spindellagerung gesprochen werden. Diese aktive Spindellagerung kann mit einer herkömmlichen Kompensationseinrichtung, wie beispielsweise gemäß DE 103 44 293 A1, kombiniert werden, bei der zur Korrektur der Fehlausrichtung des rotierenden Körpers andere Maschinenachsen genutzt werden.

**[0008]** Die dynamische Verstellung der Ausrichtung der Drehachse mittels der Stelleinrichtung gestattet z. B. das Schleifen nahe idealzylindrischer Flächen oder auch die Bearbeitung anderer Formelemente nahezu idealkonzentrisch zur gewünschten Drehachse ungeachtet etwaiger Fehlausrichtungen beispielsweise im Spannfutter oder in Folge anderer Einflüsse.

**[0009]** Es ist prinzipiell möglich, die Stelleinrichtung als Teil der Lagereinrichtung auszubilden. Die Lagereinrichtung ist vorzugsweise eine berührungslose Lagereinrichtung, wie beispielsweise eine hydrostatische Lagereinrichtung, eine Luftlagereinrichtung, eine magnetische Lagereinrichtung oder dergleichen. Durch Beeinflussung des jeweils tragenden Mediums (Öl, Luft oder Magnetfeld) kann die Lagereinrichtung hinsichtlich der Position der Drehachse in zumindest einer Richtung quer zur Drehachse positioniert werden. Vorzugsweise ist die Positionierung in zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen quer zur Drehachse möglich. Es ist jedoch auch möglich, die Stelleinrichtung so auszubilden, dass sie die Lager-

einrichtung trägt und wie gewünscht positioniert. Als Stelleinrichtung können elektrische Stelleinrichtungen, beispielsweise Piezostelleinrichtungen, oder auch von anderen Medien betriebene Stelleinrichtungen, beispielsweise hydraulische Stelleinrichtungen dienen.

**[0010]** Die Stelleinrichtung wird vorzugsweise von einer Steuereinrichtung betätigt, die über eine Sensoreinrichtung oder andere geeignete Mittel die Drehposition der Arbeitsspindel erfasst und die Stelleinrichtung entsprechend steuert. Außerdem ist die Steuereinrichtung mit einer Datenquelle für Daten verbunden, die die Fehltausrichtung des Körpers an der Arbeitsspindel kennzeichnen. Die Datenquelle kann eine Messeinrichtung sein, die die Exzentrizität des Körpers an zwei axial voneinander beabstandeten Stellen erfasst, beispielsweise eine Lasermesseinrichtung, taktile Messeinrichtungen oder dergleichen. Die Datenquelle kann eine Speichereinrichtung sein, in der Messdaten abgespeichert sind.

**[0011]** Vorzugsweise weist die Stelleinrichtung eine erreichbare Stellfrequenz auf, die mit der gewünschten Betriebsdrehzahl der Arbeitsspindel übereinstimmt oder größer als diese ist. Damit kann ohne Verlangsamung der Arbeitsgeschwindigkeit der Werkzeugmaschine eine etwaige Fehltausrichtung des Körpers an der Arbeitsspindel durch die Stelleinrichtung bzw. aktive Spindellagerung kompensiert werden. Wenn die maximale Stellfrequenz der Stelleinrichtung niedriger als die gewünschte Betriebsdrehzahl der Arbeitsspindel ist, kann die Arbeitsspindeldrehzahl reduziert werden, um dennoch einen Fehltausrichtungsausgleich zu gestatten. In diesem Fall geht die Erhöhung der Bearbeitungsgenauigkeit aber zu Lasten der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

**[0012]** Die Erfassung der Fehltausrichtung des Körpers kann sowohl vor als auch während der eigentlichen Bearbeitung durchgeführt werden. Dabei können sowohl berührende als berührungsslos arbeitende Positionssensoren zum Einsatz kommen. Die Stellbewegung wird dabei vorzugsweise unabhängig von der Spindeldrehzahl nur anhand der Position der Arbeitsspindel vorgenommen.

**[0013]** Zur Kompensation von Fehltausrichtungen können die entsprechenden Elemente der Stelleinrichtung sowohl eine radiale Stellbewegung als auch, falls gewünscht, eine axiale Stellbewegung durchführen. Die zur Fehltausrichtungskompensation genutzten Daten können in der Werkzeugmaschine selbst oder auch von einer externen Datenquelle, wie beispielsweise einer Messmaschine, stammen.

**[0014]** Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Fehltausrichtung eines an einer Arbeitsspindel gespannten Körpers bestimmt, bei Drehung der Arbeitsspindel wird ihrer Drehbewegung eine Tau-

melbewegung überlagert, die so bemessen ist, dass die Fehltausrichtung des Werkstücks wenigstens an einer fest gelegten, vorzugsweise aber insgesamt, kompensiert wird. Damit ist eine erhöhte Bearbeitungsgenauigkeit erzielbar.

**[0015]** Weitere Einzelheiten vorteilhafter Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Zeichnung, der Beschreibung oder von Unteransprüchen.

**[0016]** In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung veranschaulicht. Es zeigen:

**[0017]** [Fig. 1](#) eine Werkzeugmaschine in schematisierter Seitenansicht,

**[0018]** [Fig. 2](#) die Arbeitsspindel, ihre Lagerung und eine zugehörige Stelleinrichtung der Werkzeugmaschine nach [Fig. 1](#) in schematisierter Längsschnittdarstellung,

**[0019]** [Fig. 3](#) die Einrichtung gemäß [Fig. 2](#) im Querschnitt,

**[0020]** [Fig. 4](#) die geometrischen Verhältnisse bei der Drehung eines an der Werkzeugspindel fehlausgerichtet gespannten Körpers in perspektivischer schematisierter Darstellung,

**[0021]** [Fig. 5](#) den Körper nach [Fig. 4](#) bei seiner Drehung mit kompensierter Fehltausrichtung,

**[0022]** [Fig. 6](#) die Einrichtung zur Fehltausrichtungskompensation in schematisierter Prinzipdarstellung,

**[0023]** [Fig. 7](#) eine hydrostatische Lagereinrichtung mit Fehltausrichtungskompensation in zumindest einer Richtung in aufs Äußerste schematisierter Darstellung,

**[0024]** [Fig. 8](#) die Bewegung eines zylindrischen fehlausgerichteten Körpers in schematisierter geometrischer Darstellung und

**[0025]** [Fig. 9](#) die Bewegung eines fehlausgerichteten zylindrischen Körpers bei zumindest in einer Richtung kompensierter Fehltausrichtung in schematisierter geometrischer Darstellung.

**[0026]** In [Fig. 1](#) ist eine Werkzeugmaschine **1** mit einem Maschinengestell **2** veranschaulicht, an dem eine Arbeitsspindel **3** um eine Drehachse **4** drehbar gelagert ist. Die Arbeitsspindel **3** kann an dem Maschinengestell **2** ruhend oder, wie dargestellt, über einen oder mehrere Schlitten **5** im Raum linear oder auf anderen Bahnen positionierbar gelagert sein. Der Arbeitsspindel ist ein Antrieb **6** zugeordnet, um die Arbeitsspindel **3** drehend anzutreiben. Die Arbeitsspindel kann der Aufnahme eines Werkstücks oder eines

Werkzeugs dienen. In [Fig. 1](#) ist dies durch einen zylindrischen Rohling **7** veranschaulicht, der ein Werkstück bildet. Zur Bearbeitung desselben dient ein Werkzeug **8**, das in [Fig. 1](#) durch eine Schleifscheibe **9** veranschaulicht wird. Diese wird von einem Schleifkopf **10** angetrieben, der über eine Positioniereinrichtung, beispielsweise einen Kreuzschlitten **11** von dem Maschinengestell **2** getragen sein kann. Durch den Kreuzschlitten kann der Schleifkopf **10** in verschiedenen Raumrichtungen positioniert werden. Zusätzlich kann eine Drehung des Schleifkopfs **10** um einen oder mehrere Achsen vorgesehen sein.

**[0027]** Zur Bestimmung der Ausrichtung des Körpers **7** dient eine Messeinrichtung **12**, die den Rundlauf des Körpers **8** an zwei voneinander axial beabstandeten Stellen **13**, **14** misst. Dazu können beispielsweise zwei Lasermessköpfe **15**, **16** oder andere geeignete Messmittel dienen. Die Messung kann vor der Bearbeitung des Körpers **7** und/oder während der Bearbeitung desselben erfolgen.

**[0028]** [Fig. 2](#) veranschaulicht die Arbeitsspindel **2** detaillierter, wenn auch schematisch. Zu ihr gehört eine Welle **17**, die in einer Lagereinrichtung **18** drehbar gelagert und an ihrem freien Ende mit einer Aufnahmeeinrichtung für den Körper **7**, z. B. in Form eines Spannfutters **19**, versehen ist. Zu der Lagereinrichtung **18** gehören zumindest zwei axial voneinander beabstandete Lager **20**, **21**, die miteinander fluchten und die Drehachse **4** festlegen. Die Lager **20**, **21** können beliebiger Bauart sein. Vorzugsweise handelt es sich um berührungslose Lager, wie beispielsweise Luftlager, hydrostatische Lager oder magnetostatische Lager.

**[0029]** Der Lagereinrichtung **18** ist eine Stelleinrichtung **22** zugeordnet, zu der zwei voneinander axial beabstandete Stellanordnungen **23**, **24** gehören. Diese gestatten eine Verlagerung des Drehzentrums der gelagerten Welle **17** in zumindest einer Radialrichtung. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Verlagerung in allen Radialrichtungen möglich. Dazu wird nachfolgend unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) die Stellanordnung **23** exemplarisch beschrieben: Das Lager **20** wird an seinem Außenring **25** von mehreren, beispielsweise vier Aktoren, beispielsweise Piezoaktoren **26**, **27**, **28**, **29**, zentriert gehalten. Dabei liegen jeweils zwei Piezoaktoren **26**, **28**; **27**, **29** einander paarweise gegenüber. Die Piezoaktoren **26** bis **29** bilden gemeinsam eine Piezostelleinrichtung, die eine erste Stellrichtung  $r_1$  und eine zweite Stellrichtung  $r_2$  definieren, die beide radial zu der Drehachse **4** orientiert sind. Die durch die Piezostelleinrichtung gebildete Stellanordnung **23** ist, wie [Fig. 6](#) veranschaulicht, an eine Steuereinrichtung **30** angeschlossen. Ebenso ist die Stellanordnung **24** an die Steuereinrichtung **30** angeschlossen. Die Steuereinrichtung **30** erhält Signale von der Messeinrichtung **12** und einem Winkelgeber **31**, der die Drehposition der Welle

**17** erfasst. Der Winkelgeber **32** kann beispielsweise in dem Antrieb **6** oder, wie [Fig. 2](#) zeigt, in der Nähe der Welle **17** untergebracht sein und eine an der Welle **17** vorgesehene Markierung **32** erfassen. Vorzugsweise erzeugt der Winkelgeber **31** Signale, die den Drehwinkel der Welle **17** absolut kennzeichnen. Alternativ kann ein inkrementaler Geber eingesetzt werden.

**[0030]** Die Steuereinrichtung **30** basiert vorzugsweise auf einer Recheneinrichtung, beispielsweise einem Mikroprozessor. Sie verfügt über eine Verarbeitungseinrichtung **33** und eine Speichereinrichtung **34**, in der ein entsprechendes Verarbeitungsprogramm und gegebenenfalls Daten über die Fehlauseinrichtung des Körpers **7** gespeichert sind.

**[0031]** Die insoweit beschriebene Werkzeugmaschine **1** arbeitet wie folgt: Zur Veranschaulichung der Funktion wird davon ausgegangen, dass der Körper **7** an der Arbeitsspindel **3**, wie in [Fig. 4](#) stark übertrieben dargestellt, mit einer Fehlauseinrichtung gehalten ist. Die Drehachse **4** der Arbeitsspindel und die Symmetrieachse **35** des Körpers **7** stimmen miteinander nicht überein. Sie können aneinander vorbeigehen oder einander zufällig schneiden. Außerdem können sie parallel oder im spitzen Winkel zueinander stehen. In [Fig. 4](#) ist ein Fall dargestellt, bei dem die Drehachse **4** und die Symmetrieachse **35** einander nicht schneidend schräg aneinander vorbeilaufen.

**[0032]** Wenn die Arbeitsspindel um die Drehachse **4** dreht, vollführt der Körper **7** eine Taumelbewegung, die in [Fig. 4](#) durch einen Pfeil **36** veranschaulicht ist. Jeder Punkt seiner Symmetrieachse **33** vollführt dabei eine Orbitalbewegung um die Drehachse **4**. Die Exzentrizität eines ausgewählten Punkts der Symmetrieachse **33** ist in [Fig. 4](#) durch einen Radiuspfeil **37** veranschaulicht. Im Bereich der in [Fig. 4](#) nur ganz symbolisch durch Bezugspfeile angedeuteten Lager **20**, **21** vollführt die Symmetrieachse **35** ebenfalls eine Orbitalbewegung, die durch Radiuspfeile **38**, **39** angedeutet ist. Dies gilt bei ruhenden Stellanordnungen **23**, **24**, d. h. wenn die Welle **17** keine Radialbewegungen vollführt.

**[0033]** Zum Einmessen der Werkzeugmaschine **1** wird nun die Taumelbewegung des Körpers **7** verfolgt, indem die Welle **17** um die Drehachse **4** gedreht und an den Stellen **13**, **14** die Bewegung des Körpers **7** verfolgt wird. Die sich ergebenden Daten werden beispielsweise in dem Speicher **34** abgespeichert.

**[0034]** Sind die Daten insoweit aufgenommen, d. h. die Exzentrizitäten an den Stellen **13**, **14** bestimmt, können daraus die anhand der Radiuspfeile **38**, **39** ersichtlichen Exzentrizitäten berechnet werden. Diese werden invertiert, d. h. in Radiuspfeile **40**, **41** umgerechnet, die die Radiuspfeile **38**, **39** kompensieren.

Zumindest im einfachen Falle, wenn sich die Drehachse **4** und die Symmetrieachse **35** schneiden, wird der Radiuspfeil **40** erhalten, indem der Radiuspfeil **38** um  $180^\circ$  um die Drehachse **4** gedreht wird. Entsprechendes gilt für die Radiuspfeile **39**, **41**. Im Folgenden werden nun die Stellanordnungen **23**, **24** von der Steuereinrichtung **30** so angesteuert, dass die Welle **17** entsprechend der Vorgabe der Radiuspfeile **40**, **41** radial verlagert wird. Die durch die Radiuspfeile **40**, **41** beschriebene Verlagerung läuft mit Drehung der Welle **17** um, d. h. die Piezoaktoren **26** bis **29** werden entsprechend des aktuellen Drehwinkels der Welle **17** angesteuert. Die Welle **17** vollführt somit eine Taumelbewegung, im Verlauf derer ihre Achse **42** auf einer in [Fig. 5](#) angedeuteten kegelförmigen oder kegelstumpfförmigen Bahn läuft. Im Ergebnis werden die Symmetrieachse **35** und die Drehachse **4** in Übereinstimmung gebracht. Der Körper **7** vollführt somit eine reine ideale Drehbewegung.

**[0035]** Bei der vorstehenden Beschreibung ist davon ausgegangen worden, dass die Lagereinrichtung und die Stelleinrichtung durch gesonderte Baueinheiten ausgebildet sind. [Fig. 7](#) veranschaulicht eine abgewandelte Ausführungsform, bei der die Lagereinrichtung **18** und die Stelleinrichtung **22** eine untrennbare Einheit bilden. Die Lagereinrichtung **18** wird hier durch eine hydrostatische Lagereinrichtung zur Lagerung der Welle **17** gebildet. Es sind wenigstens drei vorzugsweise vier am Umfang eine Lagerbohrung verteilte Taschen **43**, **44**, **45**, **46** vorgesehen, die über eine Ölzuführleitung **47** mit unter Druck stehendem Öl beaufschlagt sind. Die Ränder der Taschen **43** bis **46** bilden mit der Welle **17** einen engen Spalt. Zwischen den Taschen **43** bis **46** sind Ölfangtaschen **48**, **49**, **50**, **51** vorgesehen, die durch den Spalt strömendes Öl ableiten. Zwei gegenüber liegende Taschen **44**, **46** sind über eine Ventileinrichtung **52** mit einer Quelle **53** für unter Druck stehendes Hydraulikfluid, z. B. Öl, verbunden, das unter einem erhöhten Druck steht. Durch gezielte Beaufschlagung der Tasche **44** oder der Tasche **46** mit erhöhtem Druck kann somit die Welle **17** aus ihrer Zentralposition heraus verlagert werden. Obwohl der erzielbare Stellhub lediglich wenige Bruchteile eines Millimeters beträgt, kann der Stellweg für Präzisionsanwendungen ausreichen. Ebenso können die Taschen **43**, **45** über Ventile mit wechselnden Drücken beaufschlagbar sein, wenn nicht nur eine Verstellung in Horizontalsondern auch in Vertikalrichtung gewünscht ist.

**[0036]** In der vorstehenden Beschreibung verkörpert der Körper **7** das Werkstück und die Schleifscheibe **8** das Werkzeug. Anstelle der Schleifscheibe **8** kann jedoch auch ein Werkstück vorgesehen werden, wobei der Körper **7** dann für das Werkzeug, z. B. ein Schleifwerkzeug steht.

**[0037]** Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen ist davon ausgegangen worden,

dass die Taumelbewegung des Körpers **7** in allen Radialrichtungen, d. h. vollständig kompensiert wird, um eine ideale Drehbewegung zu erhalten. Für einfachere Fälle kann es jedoch genügen, die Taumelbewegung lediglich an einer oder mehreren ausgewählten Stellen zu kompensieren, wie es in den [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) veranschaulicht ist. In [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) symbolisiert ein Pfeil **53** die Stelle, an der von dem Körper **7** Material, beispielsweise in einem spanenden Bearbeitungsvorgang abgehoben werden soll. Ist eine Exzentrizität **54** vorhanden, wie in [Fig. 8](#) angedeutet, ist eine präzise Bearbeitung des Körpers **7** nicht möglich. Wird die Exzentrizität **54** jedoch für eine Richtung kompensiert, die mit der Vorschubrichtung des Werkzeugs gemäß Pfeil **53** identisch ist, vollführt der Körper **7**, wie [Fig. 9](#) veranschaulicht, zwar noch eine Taumelbewegung quer zur Vorschubrichtung **53**. Die Komponente in Vorschubrichtung **53** ist jedoch aufgehoben. Diese Art der Kompensation kann mit Stellanrichtungen erreicht werden, die eine Stellbewegung nur in einer ausgewählten Radialrichtung zulassen. Bevorzugt wird jedoch die vorbeschriebene vollständige Kompensation.

**[0038]** An einer Werkzeugmaschine ist an der Spindellagerung eine dynamische Spindelverstellung vorgesehen, die eine Verstellbewegung zur Kompensation eines Taumelschlags des von der Arbeitsspindel gehaltenen Körpers gestattet. Die Regelung ist mindestens so dynamisch ausgelegt, dass die Regelung ein sicheres Nachführen der rotierenden Arbeitsspindel ermöglicht. Dadurch können ein oder mehrere Spindeln relativ zu einem fixen Maschinenkörper derart bewegt werden, dass die Bahn eines an der Arbeitsspindel gehaltenen Körpers eine ideale Rotation um die gewünschte Körperachse (Symmetrieachse) ist. Die Kompensationsbewegung kann durch Beaufschlagung entsprechender Aktoren der Lagereinrichtung mit sinus- und cosinusförmigen Stellsignalen erreicht werden, die sich zu einer Kreisbewegung der betreffenden Lagereinrichtung überlagern. Diese Kreisbewegung kompensiert Orbitalbewegungen des fehlausgerichteten, an der Arbeitsspindel gehaltenen Körpers **7**.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Werkzeugmaschine
<b>2</b>	Maschinengestell
<b>3</b>	Arbeitsspindel
<b>4</b>	Drehachse
<b>5</b>	Schlitten
<b>6</b>	Antrieb
<b>7</b>	Körper
<b>8</b>	Werkstück
<b>9</b>	Schleifscheibe
<b>10</b>	Schleifkopf
<b>11</b>	Kreuzschlitten
<b>12</b>	Messeinrichtung
<b>13</b>	Stelle

14	Stelle
15	Lasermesskopf
16	Lasermesskopf
17	Welle
18	Lagereinrichtung
19	Spannfutter
20	Lager
21	Lager
22	Stelleinrichtung
23	Stellanordnung
24	Stellanordnung
25	Außenring
26	Piezoaktor
27	Piezoaktor
28	Piezoaktor
29	Piezoaktor
30	Steuereinrichtung
31	Winkelgeber
32	Markierung
33	Verarbeitungseinrichtung
34	Speicher
35	Symmetrieachse
36	Pfeil
37	Radiuspfeil
38	Radiuspfeil
39	Radiuspfeil
40	Radiuspfeil
41	Radiuspfeil
42	Achse
43	Tasche
44	Tasche
45	Tasche
46	Tasche
47	Leitung
48	Tasche
49	Tasche
50	Tasche
51	Tasche
52	Ventileinrichtung
53	Pfeil/Vorschubbewegung

### Patentansprüche

1. Werkzeugmaschine (1) mit einem Maschinengestell (2), das mit Mitteln (19) zur Lagerung wenigstens eines Werkstücks (7) oder eines Werkzeugs (7) versehen ist, mit wenigstens einer Arbeitsspindel (3), die zur Aufnahme eines Werkzeugs (7) oder eines Werkstücks (7) eingerichtet und in Bezug auf das Maschinengestell (2) drehend angetrieben ist, mit einer Messeinrichtung (12) zur Bestimmung einer drehpositionsabhängigen Fehllage des mit der Arbeitsspindel (3) verbundenen Werkstücks (7) oder Werkzeugs (7), mit einer Lagereinrichtung (18), die zur um eine vorgegebene Drehachse (4) drehbaren Lagerung der Arbeitsspindel (3) eingerichtet ist und mit einer von einem Stellsignal gesteuerten Stelleinrichtung (22) zur dynamischen Verstellung der Aus-

richtung der Drehachse (4) wobei die Stelleinrichtung (22) zur Kompensation des zuvor gemessenen Taumelschlags des Werkzeugs oder Werkstücks mit der Messeinrichtung (12) verbunden ist.

2. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (22) von dem Maschinengestell (2) getragen ist.

3. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (22) von einer Positioniereinrichtung (5) getragen ist.

4. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (18) zumindest einen ersten Aktuator (27, 29; 44, 46) aufweist, um die Drehachse (4) in einer ersten Richtung (r1) quer zu der Drehachse (4) zu bewegen.

5. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) zumindest einen zweiten Aktuator (28, 28) aufweist, um die Drehachse (4) in einer zweiten Richtung (r2) zu bewegen, die quer zu der Drehachse (4) orientiert sowie von der ersten Richtung (r1) verschieden ist.

6. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) zwei bezüglich der Drehachse (4) in axialem Abstand zueinander angeordnete Stellanordnungen (23, 24) aufweist.

7. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) eine Stellfrequenz aufweist, die mit der Drehzahl der Arbeitsspindel (3) übereinstimmt oder größer als diese ist.

8. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Betrieb der Stelleinrichtung (22) zu der Drehung der Arbeitsspindel (3) synchronisiert ist.

9. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) eine Taumel-Stelleinrichtung ist, die der Arbeitsspindel (3) eine ihrer Drehbewegung überlagerte Taumelbewegung erteilt.

10. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsspindel (3) eine Aufnahmeeinrichtung (19) für ein Werkstück (7) oder ein Werkzeug (7) aufweist.

11. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die von der Stelleinrichtung (22) erzeugte Stellbewegung zu einer Taumelbewegung invers ist, die ein von der Arbeitsspindel (3) aufgenommenes Werkzeug (7) oder Werkstück (7) bei Drehung um die Drehachse (4) vollführt.

12. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (18) eine berührungslose Lagereinrichtung ist.

steht.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

13. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (18) eine pneumatische Lagereinrichtung ist.

14. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (18) eine hydrostatische Lagereinrichtung ist.

15. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagereinrichtung (18) eine Magnetlagereinrichtung ist.

16. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) innerhalb der Lagereinrichtung (22) ausgebildet ist, indem die Lagereinrichtung eine durch das Stellsignal verstellbare Exzentrizität aufweist.

17. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) die Lagereinrichtung (22) trägt.

18. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) eine Piezostelleinrichtung (26, 27, 28, 29) ist.

19. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) eine Magnetstelleinrichtung ist.

20. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (22) mit einer Steuereinrichtung (30) verbunden ist, die mit einer Positionserfassungseinrichtung (31) zur Erfassung der Drehposition der Arbeitsspindel (3) verbunden ist.

21. Verfahren zum Bewegen eines Werkstücks oder Werkzeugs in einer Werkzeugmaschine (1) mittels einer Arbeitsspindel (3), bei dem:  
das Werkstück oder Werkzeug an der Arbeitsspindel (3) der Werkzeugmaschine (1) gespannt wird,  
die Fehlauseinrichtung des Werkstücks oder Werkzeugs zu der gewünschten Drehachse (4) des Werkstücks oder Werkzeugs bestimmt wird,  
dem Werkstück oder Werkzeug bei Drehung der Arbeitsspindel (4) eine zusätzliche Taumelbewegung erteilt wird, um die Fehlauseinrichtung des Werkstücks oder Werkzeugs wenigstens an einer festgelegten Stelle (53) zu kompensieren.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die festgelegte Stelle (53) eine Stelle ist, an der das Werkstück mit einem Werkzeug oder das Werkzeug mit einem Werkstück in Eingriff



Anhängende Zeichnungen

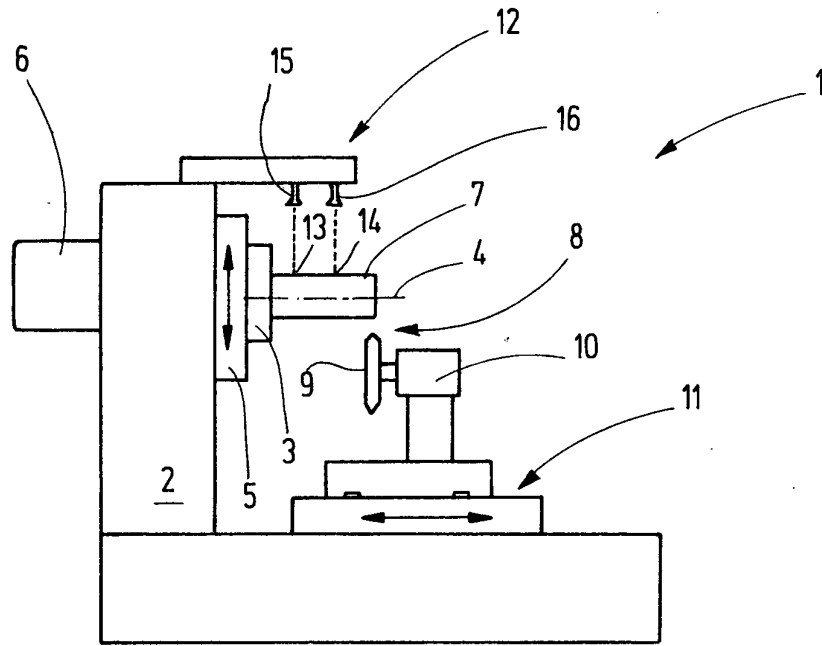


Fig.1

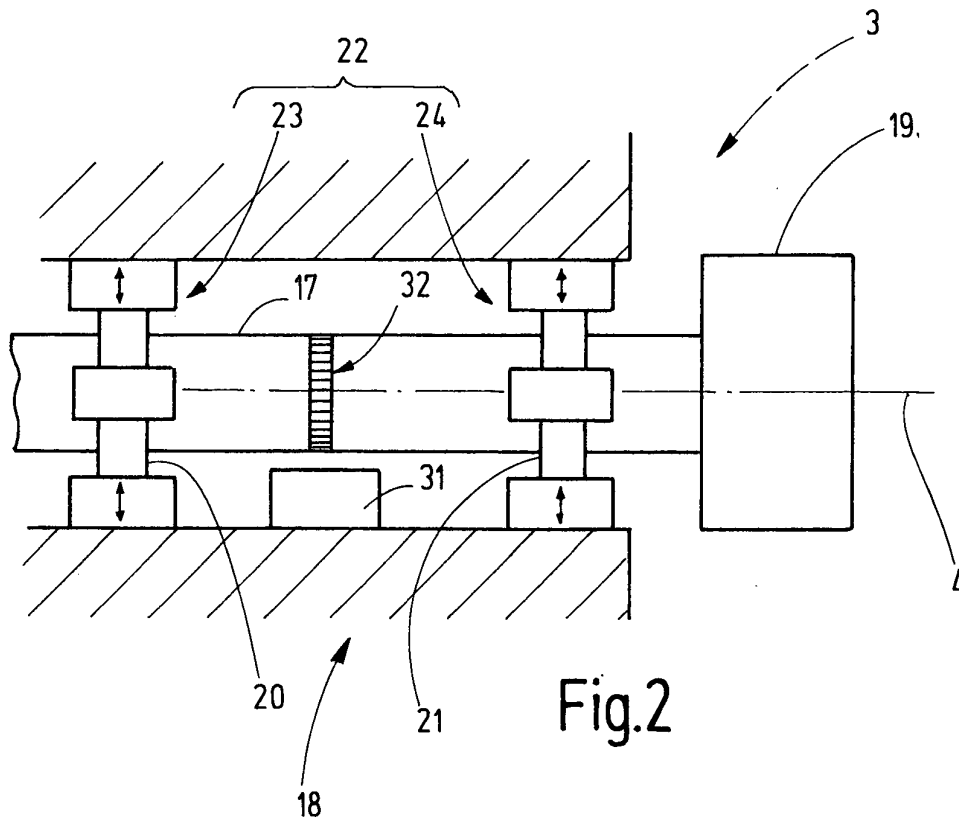
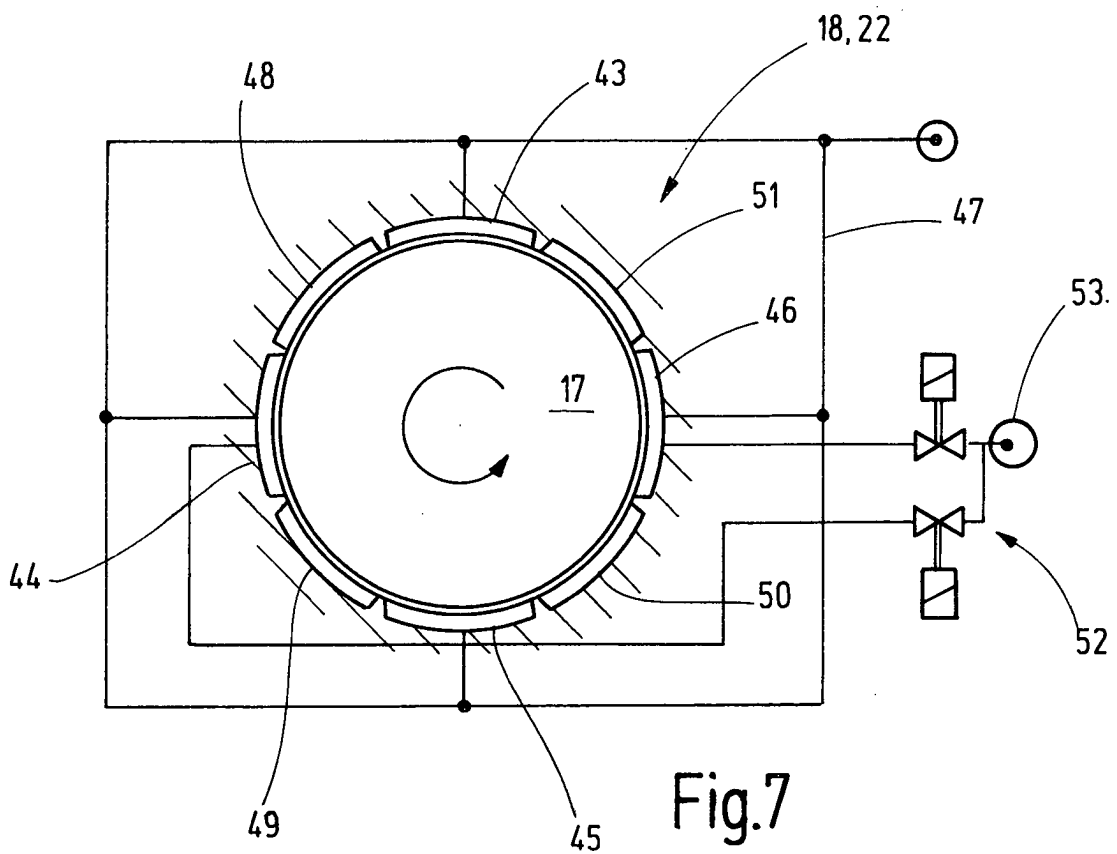
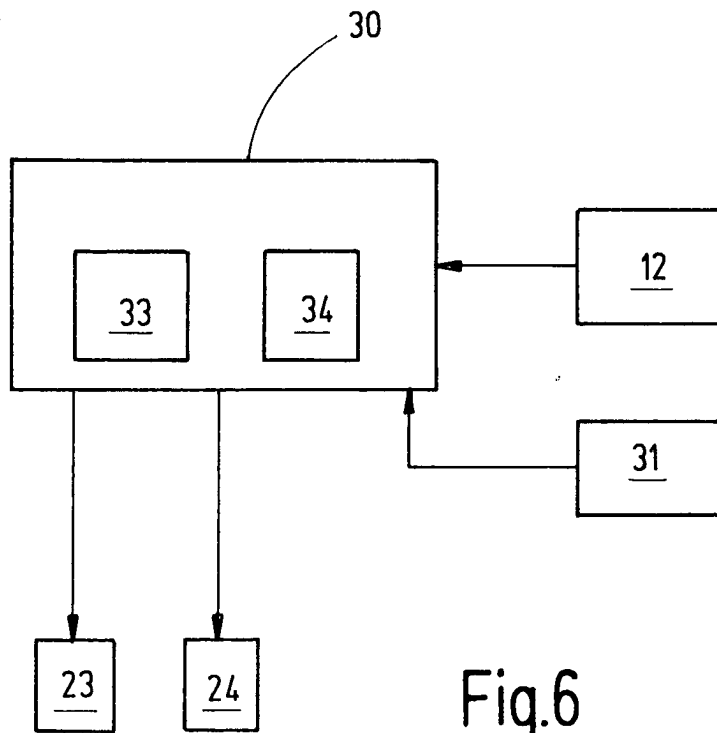
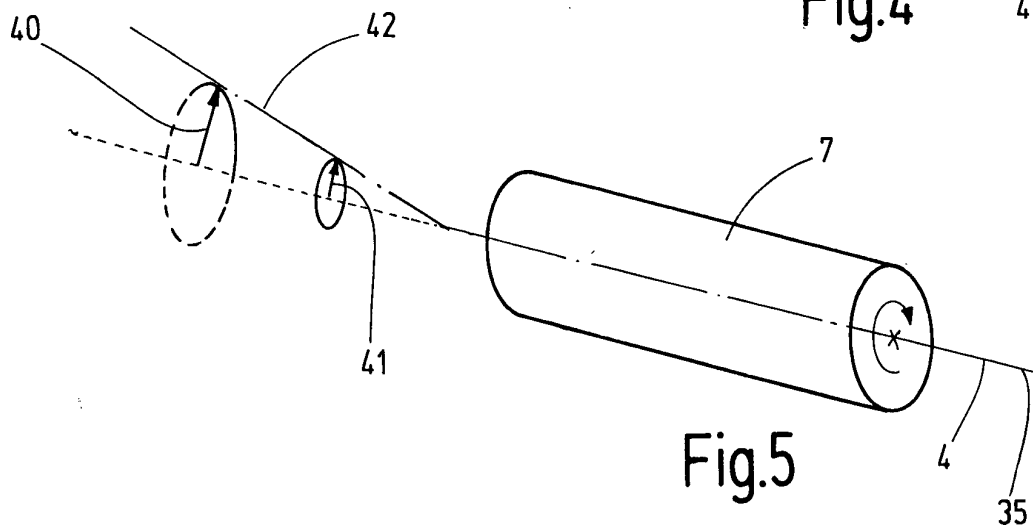
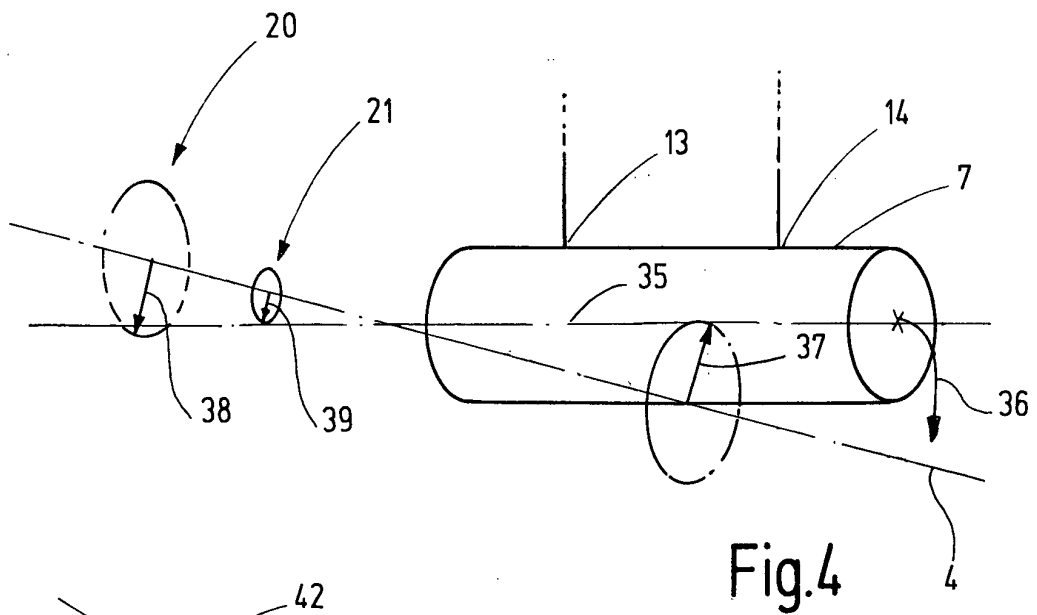
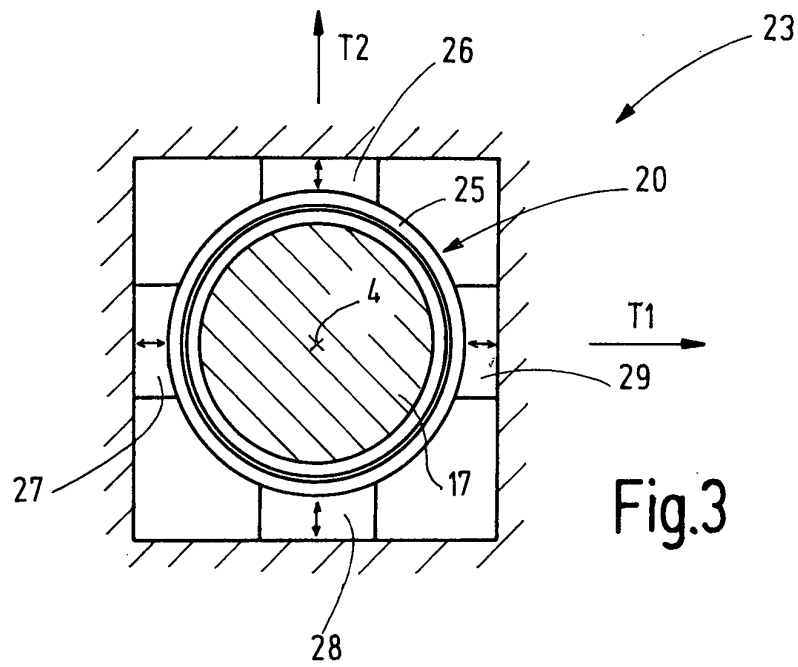


Fig.2







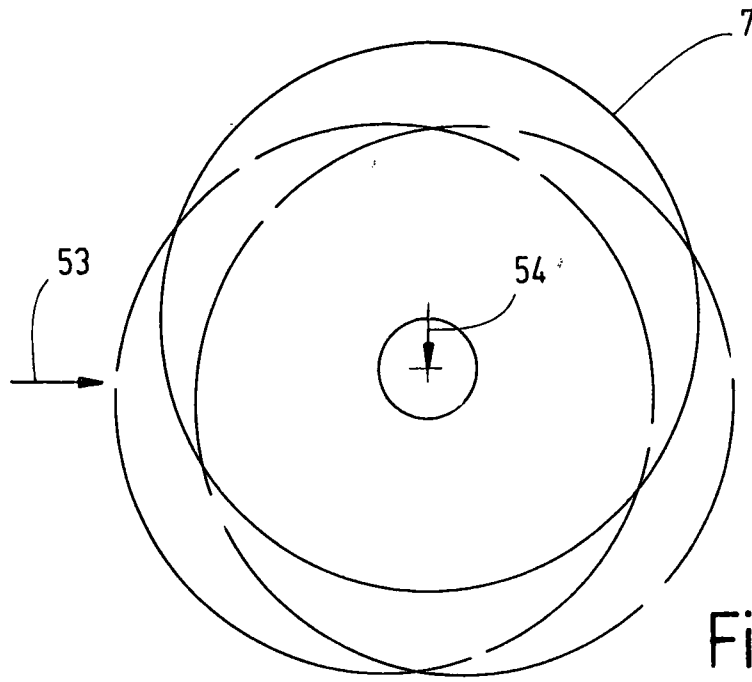


Fig.8

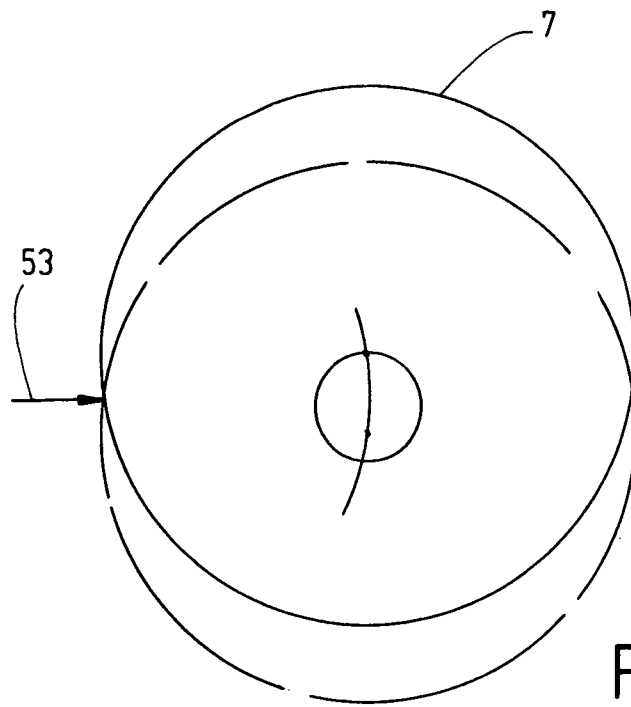


Fig.9