



(10) **DE 10 2013 111 599 A1** 2015.08.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 111 599.3**

(22) Anmeldetag: **21.10.2013**

(43) Offenlegungstag: **06.08.2015**

(51) Int Cl.: **B24B 41/04 (2006.01)**

B24B 3/02 (2006.01)

B24B 3/24 (2006.01)

B23B 19/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Feinmechanik Michael Deckel GmbH & Co KG,
82362 Weilheim, DE**

(74) Vertreter:

**Lohr, Jöstingmeier & Partner, 82178 Puchheim,
DE**

(72) Erfinder:

**Straßer, Günther c/o Feinmechanik M. Deckel,
82362 Weilheim, DE; Endres, Reinhard c/o
Feinmechanik M. Deckel, 82362 Weilheim, DE;
Feuchthuber, Adolf c/o Feinmechanik M. Deckel,
82362 Weilheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2005 007 038 A1

DE 10 2009 031 027 A1

DE 10 2011 052 976 A1

DD 2 40 157 A1

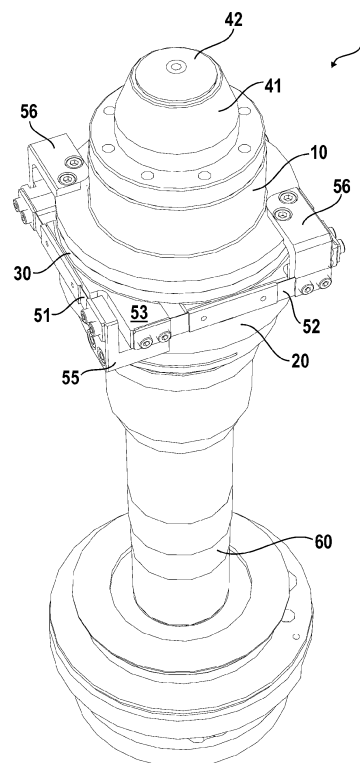
EP 1 419 852 A1

JP H01- 281 861 A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Spindel einer Werkzeugschleifmaschine**



(57) Zusammenfassung: Die Positionierung eines zylindrischen durch Schleifen zu bearbeitenden Werkstücks kann besonders präzise erfolgen, wenn das Werkstück an wenigstens einem, vorzugsweise zwei statischen Stützelementen angelegt wird und in eine Spannzange einer Spindel festgesetzt wird, die eine Taumelausgleich ebenso erlaubt wie eine Radialverschiebung der Spindelachse zur Längsachse des Werkstücks.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Werkzeugschleifmaschine, insbesondere eine Spindel für eine Spannzange einer Werkzeugschleifmaschine.

Stand der Technik

[0002] Werkzeugschleifmaschinen haben in der Regel eine Spannzange zum Einspannen eines zumindest im Wesentlichen zylindrischen Werkstücks, des späteren Werkzeugs. Typische Beispiele für solche durch Schleifen hergestellte Werkzeuge sind Bohrer und Fräser.

[0003] Um das Werkstück von allen Seiten zu bearbeiten, wird es während der Bearbeitung um die Zylinderachse gedreht. Idealerweise sind dabei die Rotationsachse und die Längsachse des Werkstücks im mathematischen Sinne identisch. In der Praxis gibt es jedoch Toleranzen, die vielerlei Gründe haben. Beispielsweise ist die Wiederholgenauigkeit beim Einspannen des Werkstücks endlich. Auch Lagertoleranzen der Spindel und auf das Werkstück wirkende Bearbeitungskräfte reduzieren die Präzision der fertigen Werkzeuge. Die Präzisionsanforderungen an Bohrer oder Fräser sind jedoch im Bereich weniger Mikrometer. Daher wird das Werkstück meist an einer oder mehreren Lünetten abgestützt, um ein Ausweichen des Werkstücks während der Bearbeitung zu verhindern.

[0004] In der EP 1419852 A1 wird eine Werkzeugschleifmaschine mit einer Spindel für eine Spannzange beschrieben. Die Spannzange sitzt am Kopfende der Spindel, welche gegenüber einem Lagerbock durch zwei hydrostatische Lager drehbar gelagert ist. Das Werkstück wird von der Spannzange aufgenommen und zusätzlich über eine Lünette als statisches Lager zusätzlich abgestützt. Die hydrostatischen Lager ersetzen die sonst üblichen Kugellager. Das dem Werkstück zugewandte hydrostatische Lager erlaubt ein größeres radiales Spiel als das dem Werkstück abgewandte hydrostatische Lager, dadurch soll eine überbestimmte Lagerung vermieden und Ungenauigkeiten im Rundlauf sollen kompensiert werden. Ein seitliches Ausweichen der Spindel soll über einen entsprechend hohen Druck in den hydrostatischen Lagern vermieden werden.

[0005] In der DE 10 2005 007 038 A1 ist ein Werkstückspindelstock für eine Werkzeugschleifmaschine beschrieben. Der Werkstückspindelstock hat wie üblich eine Spindel mit einer Spannzange um das Werkstück aufzunehmen. Um Ungenauigkeiten beim Einspannen auszugleichen wird nach jedem Einspannvorgang die sogenannte Exzentrizität des Werkstücks vermessen und korrigiert. Zum korrigie-

ren hat die Spindel eine lösbare Ausrichtschnittstelle, die eine motorische Ausrichtung der Spannzange und somit des Werkstücks rechtwinklig zur Spindelachse erlaubt.

Darstellung der Erfindung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Werkzeugmaschine bereitzustellen, die eine gegenüber dem Stand der Technik erhöhte Präzision der Bearbeitung und eine einfachere Handhabung ermöglicht.

[0007] Diese Aufgabe wird durch eine Spindel nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine präzise Führung des Werkstücks am besten durch ein oder vorzugsweise zwei Lünetten gelänge. Die Wiederholgenauigkeit beim Einspannen der Werkstücke in die Spannzange ist aber schlechter als die Führung des Werkstücks durch Lünetten, so dass die Gefahr besteht, dass Spindel und/oder Werkstücke beim Drehen derselben um Ihre Längsachsen verspannen was der Präzision abträglich ist. Die im Stand der Technik vorgeschlagene hydrostatische Spindellagerung überzeugt nicht, weil entweder die Lager weich eingestellt sind, um die Taumelbewegung auszugleichen oder aber steif sind um die radialen Bearbeitungskräfte aufzunehmen. Dieser Zielkonflikt bei der Einstellung des Lagerdrucks kann nicht gelöst werden.

[0009] Kern der Erfindung ist eine Spindel mit einem Lager, das einen Taumelausgleich und/der die Kompensation eines Radialversatzes zwischen einem hinteren Spindelabschnitt, d.h. der Antriebswelle und der Längsachse eines in einer Spannzange der Spindel festgelegten Werkstücks ermöglicht.

[0010] Wie üblich hat die Spindel einen vorderen Abschnitt, der als Spindelkopf bezeichnet wird und der wie üblich eine Spannzange für ein Werkstück aufnehmen kann. Die entsprechende Spannzangenaufnahme kann beispielsweise in eine axiale Ausnehmung des Spindelkopfes eingesetzt werden. Alternativ kann die Spannzangenaufnahme ein integraler Teil des Spindelkopfes sein. Die Längsachse des Spindelkopfes entspricht zumindest in etwa der Längsachse der Spannzange und wird auch als erste Achse bezeichnet. Zudem hat die Spindel einen hinteren Spindelabschnitt, der in der Verlängerung der ersten Achse angeordnet ist. Der hintere Spindelabschnitt ist die Antriebswelle des Spindelkopfes und hat eine zweite Längsachse. Der hintere Spindelabschnitt kann wie üblich von einem Lagerbock bzw. Spindelstock einer Werkzeugmaschine aufgenommen und angetrieben werden. An den hinteren Spindelabschnitt können sich weitere Spindelabschnitte anschließen. Zwi-

schen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt, d.h. der Antriebswelle ist wenigstens ein Lager, das eine Verkippung der ersten Achse relativ zur zweiten Achse ermöglicht und/oder (vorzugsweise und) eine radiale Verschiebung der ersten Achse relativ zu zweiten erlaubt. Mit Verkippung bzw. Verkippung ist hier ein Schwenken der beiden Achsen in zwei von einander linear unabhängigen Richtungen gemeint, so dass eine Taumbewegung zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt möglich wird. Vorzugsweise überträgt das Lager Druck- und/oder Zugkräfte in axialer Richtung der ersten bzw. der zweiten Achse zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt. Zur Übertragung von Drehmomenten von der Antriebswelle auf den Spindelkopf ist das Lager entweder drehsteif oder wird von einer drehsteifen Kupplung überbrückt.

[0011] Die erste und die zweite Achse liegen in der Praxis extrem eng zusammen und sind auch nur minimal gegeneinander verkippert. Der typische Radialversatz ist in der Größenordnung weniger Hundertstel Millimeter (entspricht weniger 100 bis 10µm). Die Verkippung ist typischerweise in der Größenordnung weniger Hundertstel Grad. Das Lager sollte vorzugsweise einen Radialversatz um wenige Millimeter und eine Verkippung um wenige Grad erlauben, u.a. weil dann die Gängigkeit des Lagers händisch überprüft werden kann.

[0012] Nachfolgend wird nicht unterschieden ob die Kupplung Teil des Lagers ist oder nicht, denn es macht funktionell keinen Unterschied, ob eine entsprechende Kupplung in das Lager integriert ist oder ob die Kupplung als zusätzliches Bauelement betrachtet wird. Im Rahmen der Anmeldung wird als Lager die Summe der Bauelemente verstanden, die eine eingeschränkte Bewegung des Spindelkopfes relativ zum hinteren Spindelabschnitt zulässt. Als Kupplung wird die Summe der Bauelemente verstanden, die eine Übertragung von Drehmomenten zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt erlaubt. Auch durch diese Abgrenzung wird klar, dass die (Dreh-)Kupplung streng genommen immer Teil des Lagers ist, weil es die rotatorischen Bewegungen zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt vorzugsweise unterbindet und damit die Bewegung einschränkt.

[0013] Eine Werkzeugmaschine mit der zuvor beschriebenen Spindel erlaubt es das Werkstück an zwei Stellen durch festlegbare Stützelemente wie z.B. Lünetten abzustützen und/oder festzulegen, z.B. durch einen oder mehrere Klemmfinger (wobei eine Drehung um die Längsachse möglich bleiben sollte). Die Position und Lage des stabförmigen Werkstücks wird folglich ausschließlich von den abstützenden und die Bearbeitungskräfte zumindest in radialer Richtung aufnehmenden statischen Stützelementen bestimmt. Insbesondere die radial auf das stabfö-

mige Werkstück wirkenden Bearbeitungskräfte können dadurch zuverlässig abgefangen werden ohne dass eine nennenswerte Lage oder Positionsänderung des Werkstücks erfolgt. Eventuelle Ungenauigkeiten die durch das Einspannen des Werkstücks in der Spannzange entstehen, werden durch das Lager zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt kompensiert, wodurch die Präzision erhöht wird. Axial auf das Werkstück wirkende Bearbeitungskräfte können ebenso wie Drehmomente über das Lager vom Spindelkopf auf den hinteren Spindelabschnitt übertragen und z.B. über einen Spindelstock in die Struktur der Werkzeugmaschine eingeleitet werden. Eine einmal gefundene Einstellung der Stützelemente muss nicht verändert werden, wenn ein neues Werkstück einer Serie identischer Werkstücke bearbeitet werden soll. Erst für eine neue Serie, wenn also Werkstücke mit anderen Abmessungen bearbeitet werden sollen, ist für die neue Serie eine einmalige Einstellung der Stützelemente notwendig. Die Lagerung zwischen dem Spindelkopf und der Antriebswelle ermöglicht somit gegenüber starren Spindeln drei Vorteile: Es wird nicht nur die Genauigkeit der Positionierung des Werkstücks erhöht, sondern zudem die Rüstzeit verkürzt. Zudem kann die Lagerung der Antriebswelle an der Werkzeugmaschine vergleichsweise einfach erfolgen, weil eine teure Präzisionslagerung nicht mehr notwendig ist. Wenn die Präzision der Lagerung der Antriebswelle relativ zum Lagerbock reduziert wird, müssen jedoch zum ersten Einmessen bzw. Einjustieren der Position eines Werkstücks bzw. eines Kalibrierdorns die Lünetten entsprechend verstellt werden. Oft ist es daher einfacher die Präzision der Lagerung der Antriebswelle relativ zum Lagerbock nicht zu reduzieren. Das erlaubt es das Werkstück oder einen Kalibrierdorn zu positionieren (d.h. ‚Einzumessen‘) und anschließend die Lünetten an das Werkstück bzw. den Kalibrierdorn anzulegen.

[0014] Vorzugsweise hat die Spindel eine Zentrier- vorrichtung um den Spindelkopf und den hinteren Spindelabschnitt zueinander zu zentrieren. Mit dem Begriff „zentrieren“ ist gemeint, dass der Spindelkopf und der hintere Spindelabschnitt so zueinander ausgerichtet werden, dass die erste Achse und die zweite Achse vorzugsweise zumindest in etwa fluchten oder zumindest in einer definierten Lage zueinander sind. Vorzugsweise erlaubt die Zentrier- vorrichtung den Spindelkopf in der definierten Lage zu dem hinteren Spindelabschnitt zu sperren und die Sperrung wieder aufzuheben.

[0015] Dazu können der Spindelkopf und der Schaft beispielsweise jeweils gegenüberliegende Zentrier- flächen haben, zwischen denen wenigstens ein Zentrierschieber zwischen wenigstens einer ersten Position und einer zweiten Position verstellbar ist. In der ersten Position werden die Zentrierflächen durch den Schieber gegeneinander verspannt wodurch das La-

ger von dem Zentrierschieber sperrend überbrückt wird und wodurch der Spindelkopf und die der hintere Abschnitt zueinander zentriert werden. In der zweiten Position ist die Sperrung aufgehoben. Der Zentrierschieber kann beispielsweise einen verjüngten Bereich und einen verdickten Bereich haben, wobei zum Zentrieren der verdickte Bereich in einen Spalt zwischen den Zentrierflächen geschoben wird, um die Zentrierflächen gegeneinander zu verspannen. Der Zentrierschieber kann beispielsweise ein zwischen einem axialen Zentrierzapfen des Spindelkopfes und einer Zentrierbüchse des hinteren Spindelabschnitts axialverschiebbarer Ring oder ein Ringsegment sein. Natürlich kann die Zentrierbüchse auch an dem Spindelkopf und der Zentrierzapfen am hinteren Spindelabschnitt angeordnet sein.

[0016] Die Zentriervorrichtung erlaubt es bei einem Werkstückwechsel das Werkstück präzise in den Spindelkopf einzusetzen und insbesondere dazu eine automatische Ladevorrichtung, z.B. einen Robotergreifer zu verwenden wie er beispielsweise aus der DE 10 2011 052 976 bekannt ist, ohne dass eine Positionserfassung für den Spindelkopf vorgesehen werden muss. Sobald die Bearbeitung eines Werkstücks abgeschlossen ist, wird der Spindelkopf mittels der Zentriervorrichtung zum hinteren Spindelabschnitt zentriert. Die Position und Lage des Werkstücks sind nun sehr genau bekannt und es kann beispielsweise mit einem Robotergreifer aus der Spannzange entnommen werden, ohne dass Sensoren zur Positionserkennung des Werkstücks notwendig wären. Zudem kann ein neues Werkstück sehr präzise in die Spannzange eingesetzt werden. Anschließend wird die Zentriervorrichtung geöffnet und die Zentrierung entsprechend aufgehoben, d.h. das Lager ist nun wieder freigegeben und erlaubt einen Taumelausgleich und/oder einen Radialversatz. Vorzugsweise wird erst jetzt das Werkstück gegen wenigsten eines der Stützelemente vorgespannt. Dabei gleicht das Lager Unterschiede in der Lage bzw. Orientierungen der Werkstücklängsachse, welche über die Spannzange starr mit dem Spindelkopf verbunden ist und dem hinteren Spindelabschnitts aus. Dadurch wird das Werkstück bei einer Drehung des hinteren Spindelabschnitts präzise um seine und nicht um die zweite Achse gedreht.

[0017] Vorzugsweise hat das Lager ein erstes und/oder ein zweites Luftlager. Beispielsweise kann das erste Luftlager kugelflächensegmentförmige Lagerflächen aufweisen und das zweite Luftlager plane Lagerflächen, deren Flächennormalen zur ersten oder zweiten Achse parallel sind. Eine Ausführung des Lagers als Luftlager bzw. als Kombination zweier Luftlager ermöglicht ein Ausgleich von Taumelbewegungen und einem Radialversatz der ersten zur zweiten Achse, ohne dass eine Haftreibung überwunden werden müsste. Die Präzision wird folglich weiter erhöht. Zudem ermöglicht die Ausführung als Luftlager

eine kompakte Bauform und eine sehr hohe Steifigkeit in axialer Richtung. Der Spalt zwischen den Lagerflächen der Luftlager beträgt wie üblich nur wenige Mikrometer (μm) und liegt daher in der Größenordnung der angestrebten Bearbeitungsgenauigkeit des Werkstücks. Dementsprechend ist das Luftlager in axialer Richtung der Spindel extrem steif, wodurch die mögliche Präzision der Positionierung des Werkstücks und damit seiner Bearbeitung weiter erhöht wird. Luftlager sind vereinfacht formuliert Gleitlager, bei denen die beiden Gleitflächen durch eine Luftpolster voneinander getrennt sind. Die Luft wirkt somit als Schmiermittel. Anstelle von Luft als Schmiermittel des Lagers können ebenso andere Fluide verwendet werden. Der Begriff Luftlager steht daher als pars pro toto für ein hydrostatisches Lager.

[0018] Beispielsweise kann das beim Schleifen verwendete Kühlmittel als Schmiermittel für das Lager genutzt werden. Dadurch kann die bei anderen (nicht gasförmigen) Fluiden notwendige separate Abführung oder Abscheidung des Schmiermittels entfallen.

[0019] Beispielsweise kann das Lager ein ringförmiges oder wenigstens ein ringsegmentförmiges Zwischenstück aufweisen. Das Zwischenstück hat vorzugsweise wenigstens eine erste kugelflächensegmentförmige Lagerfläche und auf seiner der kugelsegmentförmigen Lagerfläche abgewandten Seite wenigstens eine zweite plane Lagerfläche. In diesem Sinne kann man das Zwischenstück auch als Zwischenblock bezeichnen. Durch die planen Lagerflächen wird ein Radialversatz der ersten zu der zweiten Achse ermöglicht. Durch die kugelsegmentförmigen Lagerflächen wird eine Verkippung der ersten zur zweiten Achse möglich. Daher ist der Kugelmittelpunkt des Kugelsegments vorzugsweise auf der ersten oder der zweiten Achse. Besonders bevorzugt liegt der Kugelmittelpunkt, also der Punkt, um den der Spindelkopf gegen den hinteren Abschnitt schwenkbar ist auf der entsprechenden Achse vor der Spannzange. Dadurch wird der Winkel zwischen der Längsachse des Werkstücks und der Längsachse des hinteren Spindelabschnitts, der durch die Taumelbewegung kompensiert werden muss kleiner. Besonders bevorzugt liegt der Kugelmittelpunkt oberhalb des Schwerpunkts des Spindelkopfs (vorzugsweise mit eingespanntem Werkstück. Bei einer vertikalen Spindelachse weist dann die Spannzangenöffnung immer nach oben.

[0020] Alternativ können die beiden Lagerflächen des Zwischenblocks Segmente von Zylindermantelflächen sein. Entsprechend sind auch die jeweils komplementären Lagerflächen des Spindelkopfs und des hinteren Spindelabschnitts Segmente von Zylindermantelflächen. Anders formuliert hat das Lager ein erstes und/oder ein zweites vorzugsweise als Luftlager (allgemeiner hydrostatisches Lager) ausgeführtes Teillager, wobei das erste Teil-

lager zwei zueinander komplementäre erste Lagerblöcke mit ersten Zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen aufweist und das zweite Teillager zwei zueinander komplementäre zweite Lagerblöcke mit zweiten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen aufweist. Jedes der beiden Teillager erlaubt eine Kippbewegung der entsprechenden Lagerblöcke in der die Mittelachse der Längsachse der jeweiligen Zylindermantelflächensegmente orthogonal schneidenden Ebene und eine Translation in der dazu orthogonalen Ebene. Gleichzeitig können Drehbewegungen um die Schnittachse der beiden Ebenen und damit Drehmomente zwischen den Lagerblöcken übertragen werden. Nur der Vollständigkeit halber wird angemerkt, dass die Zylinderlängsachsen der beiden Zylindermantelflächensegmente nicht parallel zueinander sein sollten, sondern vorzugsweise zumindest bei einer Axialprojektion entlang der ersten und/oder der zweiten Achse einen vorzugsweise rechten Winkel bilden. Vorzugsweise liegen die beiden Zylinderlängsachsen in einer Ebene, dadurch ergibt sich wie bei einem Kugelgelenk die Möglichkeit den Spindelkopf um einen Punkt in zwei linear unabhängige Richtungen zu schwenken. Die Zylinderlängsachsen können über eine entsprechende Anpassung der Radien der Zylindersegmentflächen und/oder durch die Ausrichtung der Zylindersegmentflächen aufeinander gelegt werden.

[0021] Wenn man auf den Taumelsaugleich verzichten kann, dann kann man anstelle von Zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen auch nicht rotationsymmetrische Lagerflächen verwenden, beispielsweise prismatische Lagerflächen. Im einfachsten Fall sind die Lagerflächen V-förmig.

[0022] Die Lagerflächen sind typischerweise Oberflächen entsprechender komplementärer Lagerblöcke zwischen denen ein von den Lagerflächen begrenzter Luftspalt (allgemeiner Fluidspalt) ist. Vorzugsweise sind die einander gegenüberliegenden, d.h. komplementären Lagerflächen bzw. die entsprechenden Lagerblöcke wenigstens eines Luftlagers vorzugsweise magnetisch gegeneinander vorgespannt. Unter „Vorspannen“ wird das Ausüben einer die Lagerflächen zusammendrückenden Kraft verstanden, welche bei einem gegebenen Luftdurchsatz durch das Lager die Spaltdicke festlegt. Dies ermöglicht ein besonders kompaktes und steifes Luftlager. Die Vorspannkraft übersteigt vorzugsweise die in axialer Richtung wirkenden Bearbeitungskräfte, so dass diese kein nennenswertes Lagerspiel verursachen. Vorzugsweise ist die Vorspannkraft F_v mindestens das 1,2 fache der in axialer Richtung abzufangenden Bearbeitungskräfte F_{Bax} ($F_v \geq 1,2 \cdot F_{Bax}$, besonders bevorzugt $F_v \geq 2 \cdot F_{Bax}$, weiter bevorzugt $F_v \geq 10 \cdot F_{Bax}$). Diese hohen Vorspannkraften lassen sich durch in die Lagerblöcke eingelassene Permanentmagnete leicht erzielen.

[0023] Magnetisches Vorspannen kann vorzugsweise durch Permanentmagnete erfolgen, die in zueinander komplementären Lagerblöcken eingelassen sind. Im einfachsten Fall werden beidseits des Spaltes Magnete derart angeordnet, dass der magnetische Fluss den Spalt überbrückt, also vom Nordpol eines ersten Magneten in einem ersten Lagerblock den Spalt durchsetzend zu einem Südpol wenigstens eines zweiten Magneten im gegenüberliegenden zweiten Lagerblock verläuft. Es kann aber auch ein einziger, Magnet genügen, wenn seine beiden Pole über wenigstens einen magnetischen Leiter miteinander verbunden werden, wobei der magnetische Fluss den Spalt durchsetzt. In allen Fällen wird, der magnetischer Fluss zwischen Nord- und Südpol wenigstens eines Magneten oder aber wenigstens zweier verschiedener Magnete den Luftspalt zwischen den Lagerflächen überbrückend geführt.

[0024] Dazu können Nord- und Südpol der Magnete in den komplementären Lagerblöcken so zueinander ausgerichtet werden, dass die Magnete sich anziehen und damit eine die Lagerflächen zusammendrückende Kraft auf die Lagerblöcke ausüben. Natürlich können auch Rückschlussbleche oder dergleichen verwendet werden um die Magnetfelder zu führen. Nur der Einfachheit halber ist im Rahmen der Anmeldung lediglich von Nord- bzw. Südpolen die Rede, denn die aus diesen aus- bzw. in diese eintretenden Feldlinien können durch magnetische Leiter mit einer besseren magnetischen Leitfähigkeit als das sie umgebende Material, wie sie üblicherweise für magnetische Rückschlussbleche verwendet werden, an nahezu beliebige Orte ‚verlegt‘ werden. Wesentlich ist nur, dass der üblicherweise durch Magnetfeldlinien veranschaulichte magnetische Fluss von einem magnetischen Nordpol eines sich an einem ersten Lagerblock abstützenden Magneten vorzugsweise orthogonal zur entsprechenden Lagerfläche aus der Lagerflächen in den Luftspalt eintritt und auf der gegenüberliegenden Seite in einen Südpol eines sich am gegenüberliegenden Lagerblock abstützenden Magneten eintritt. Alternativ kann der magnetische Fluss vom Nordpol eines Magneten durch den Luftspalt und mit einem magnetischen Leiter durch den gegenüberliegenden Lagerblock geführt werden, so dass er den Luftspalt erneut durchsetzt zum Südpole eines anderen oder desselben Magneten fließt. Nord- und Südpol können daher in nahezu beliebiger Lage und Position angeordnet werden, sofern der magnetische Fluss z.B. über einen magnetischen Leiter den Luftspalt durchsetzend geführt wird.

[0025] In einer besonders einfachen Ausführungsform haben die Lagerblöcke je wenigstens eine Ausnehmung, in denen jeweils wenigstens ein Permanentmagnet angeordnet ist. Beispielsweise kann der Permanentmagnet in einer Ausnehmung der entsprechenden Lagerfläche angeordnet sein. Nachdem der (wenigstens eine) Permanentmagnet in die Ausneh-

mung eingebracht wurde, kann die Ausnehmung z.B. mit einem Polymer verschlossen werden, vorzugsweise so dass der Verschluss die Lagerfläche fortsetzt. Damit ist gemeint, dass der Spalt zwischen den Lagerflächen möglichst gleichmäßig ist. Da Lagerflächen von hydrostatischen Lagern üblicherweise eingeschliffen werden, ist das entsprechend leicht möglich, wenn man zunächst die Magnete einsetzt, die Ausnehmung mit dem Polymer verschließt und nach dem Aushärten die Lagerflächen einschleift, bzw. poliert, besonders bevorzugt wird dabei der Nord- oder der Südpol oder ein mit einem solchen verbundener magnetischer Leiter freigelegt und dadurch Teil der Lagerfläche. Dadurch kann eine besonders hohe Vorspannung erreicht werden. Alternativ kann der (wenigstens eine) Magnet von der der Lagerfläche abgewandten Rückseite oder einer die Lagerfläche mit der Rückseite verbindenden Schmalseite in eine beispielsweise sacklochartige Ausnehmung eingesetzt werden, wobei der Abstand des Magnets von der Lagerfläche möglichst klein sein sollte. Der Nord- und/oder der Südpol des Magneten sollte vorzugsweise in Richtung der gegenüberliegenden Lagerfläche weisen.

[0026] Natürlich kann auch ein ganzer Lagerblock oder ein Segment eines Lagerblocks aus einem permanentmagnetischen Werkstoff gefertigt sein.

[0027] Eine Drehmomentübertragung zwischen dem hinteren Spindelabschnitt und dem Spindelkopf kann durch eine das Lager überbrückende Kupplung erfolgen.

[0028] Beispielsweise kann die Kupplung ein mit Bezug auf die erste und/oder zweite Achse frei verschiebbares und vorzugsweise kippbares Kupplungselement haben. Das Kupplungselement umgibt vorzugsweise das Lager, oder einen Teil davon ringförmig. Der hintere Spindelabschnitt ist über mindestens eine, vorzugsweise jedoch zwei zumindest näherungsweise parallele ($\pm 15^\circ$) erste Streben mit dem Kupplungselement verbunden. Die ersten Streben sind vorzugsweise auf gegenüberliegenden Seiten der ersten und/oder der zweiten Längsachse seitlich an der Antriebswelle und dem Kupplungselement angeordnet und verlaufen vorzugsweise zumindest in etwa ($\pm 15^\circ$) in einer die erste und/oder zweite Achse orthogonal schneidenden Ebene. In der Aufsicht auf die Ebene weisen die an dem Kupplungselement befestigten Enden vorzugsweise in zumindest näherungsweise ($\pm 15^\circ$) diametral entgegengesetzte Richtungen. Dadurch wird bei der Übertragung eines Drehmoments von der Antriebswelle auf das Kupplungselement mittels der Streben unabhängig von der Richtung des Drehmoments immer eine der beiden Streben auf Zug belastet, wodurch die Kupplung sehr steif ist. Das Kupplungselement ist in ähnlicher Weise mit dem Spindelkopf verbunden, nämlich über wenigstens eine, vorzugsweise zwei zueinander zumin-

dest in etwa ($\pm 15^\circ$) parallele zweite Streben. Auch die beiden zweiten Streben sind vorzugsweise auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten der ersten und/oder der zweiten Achse angeordnet und zumindest in etwa ($\pm 15^\circ$) parallel zueinander. Vorzugsweise liegen die Längsachsen der zweiten Streben in der gleichen Ebene wie die der ersten Strebens oder in einer dazu zumindest in etwa ($\pm 15^\circ$) parallelen Ebene, sind jedoch gegen die ersten Streben verdreht, d.h. die Längsachsen der Streben bilden zumindest in der Projektion auf einer der beiden Ebenen ein Parallelogramm. Die an dem Kupplungselement befestigten Enden weisen vorzugsweise in zumindest näherungsweise ($\pm 15^\circ$) diametral entgegengesetzte Richtungen.

[0029] Über die Streben können Drehmomente zuverlässig von dem als Antriebswelle für den Spindelkopf dienenden hinteren Spindelabschnitt auf den Spindelkopf übertragen werden. Ein radialer Versatz des Spindelkopfs gegenüber dem hinteren, üblicherweise in einem Lagerbock der Werkzeugmaschine aufgenommenen hinteren Spindelabschnitts, d.h. der ersten gegenüber der zweiten Achse wird auch bei einer Drehung der Spindel von der Kupplung nicht behindert, die Streben werden lediglich etwas elastisch verformt. Diese radialen Ausgleichsbewegungen sind aber vergleichsweise klein, typischerweise im Bereich weniger hundertstel Millimeter (etwa 10 bis 100 μm). Bei einer Strebenlänge von z.B. 10 cm sind die auf das Lager wirkenden Rückstellkräfte daher vernachlässigbar. Bei einer Kippbewegung werden die Streben leicht tordiert und auch entlang ihrer Längsachse gekrümmt. Die dadurch erzeugte Rückstellkraft ist jedoch wegen der bei Werkzeugspindeln nur geringen Verkippung von typischerweise nur wenigen hundertstel Grad der ersten Achse zur zweiten Achse sehr klein und beeinträchtigt den Rundlauf eines an Lünetten geführten Werkstücks nicht meßbar. Die Kupplung bietet den Vorteil einer hohen Drehsteifigkeit bei gleichzeitigem Ausgleich eines Radialversatzes sowie einer Taumelbewegung der ersten und der zweiten Achsen zueinander zu günstigen Kosten und mit einem sehr geringen Raumbedarf. Letzteres gilt insbesondere, wenn die Streben aus einem bandartigen elastischen Material sind, z.B. aus Federstahlstreifen. Solche bandartigen Streben können beispielsweise in einer Querebene rund um den Zwischenblock angeordnet sein, d.h. die Längsachsen der Streben liegen in der Ebene. Die Querebene wird vorzugsweise orthogonal von der Längsachse des Zwischenblocks durchsetzt. Die Längsachse des Zwischenblocks fällt vorzugsweise mit der ersten und/oder der zweiten Achse zusammen.

[0030] Vorzugsweise hat der Spindelkopf eine durchgehende Ausnehmung, in deren einen Seite eine Spannzange sitzt. Die Spannzange kann mit einem in der Ausnehmung verschiebbaren und gegen den Spindelkopf vorgespannten Zugelement, bei-

spielsweise einer Stange verbunden sein. Dadurch kann die Spannzange durch Verschieben der Stange geöffnet und/ geschlossen werden. Vorzugsweise ist die Stange in einer Richtung vorgespannt, z.B. auf Zug. Zum Öffnen der Spannzange genügt es dann mit einem z.B. im hinteren Spindelabschnitt oder einem nachgeordneten Spindelabschnitt angeordneten Kolben die Stange gegen die Vorspannung in Richtung des Spannfutters zu verschieben.

[0031] Die Werkzeugmaschine hat die oben beschriebene Spindel mit einer Spannvorrichtung zum möglichst präzisen Einspannen des Werkstücks, beispielsweise einer Spannzange für das Werkstück. In diesem Sinne wird der Begriff Spannzange als Synonym für ein beliebiges Spannmittel verwendet. Der hintere Spindelabschnitt ist in wenigstens einem Lagerbock gelagert. Zudem hat die Werkzeugmaschine vorzugsweise zumindest eine, vorzugsweise zwei Lünetten, von denen wenigstens eine als Führungsprisma ausgeführt ist. Solche Führungsprismen sind prismatische Blöcke mit einer meist V-förmigen Nut an die ein Werkstück angelegt werden kann. Ein Spannfinger kann das Werkstück gegen das Führungsprisma belasten. Zudem hat die Werkzeugmaschine wie üblich einen Schleif- und/oder Fräskopf, eine Maschinensteuerung, meist auch eine Kabine und/oder einen Be- und Entladevorrichtung.

Beschreibung der Zeichnungen

[0032] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben.

[0033] Fig. 1 zeigt eine isometrische Ansicht einer Spindel

[0034] Fig. 2 zeigt erste Seitenansicht einer Spindel,

[0035] Fig. 3 zweite eine zweite Seitenansicht der Spindel

[0036] Fig. 4 zeigt eine Aufsicht auf die Spindel.

[0037] Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht der Spindel mit montierter Abdeckung.

[0038] Fig. 6 zeigt einen Längsschnitt der Spindel entlang der Ebene A-A aus Fig. 5.

[0039] Fig. 7 zeigt einen Längsschnitt der Spindel entlang der Ebene B-B aus Fig. 6.

[0040] Fig. 8 zeigt eine Spindel in einer teilmontierten Werkzeugschleifmaschine.

[0041] Die Spindel **1** in Fig. 1 hat einen Spindelkopf **10** mit einer Spannzangenaufnahme **41** in der eine

Spannzange **42** sitzt. Der Spindelkopf **1** hat einen Lagerblock **11** dessen hinterer Teil von einer Abdeckung **50** geschützt werden kann (Abdeckung s. Fig. 6 und Fig. 7). In der dargestellten Ausführungsform ist die Spannzangenaufnahme **42** ein mit dem Lagerblock **11** verbundenes Bauteil; alternativ kann der Lagerblock **11** auch eine als Spannzangenaufnahme ausgebildete Ausnehmung aufweisen.

[0042] Nach hinten, also auf der der Spannzange **42** abgewandten Seite hat die Spindel **1** eine Antriebswelle **20**, die auch als hinterer Spindelabschnitt **20** bezeichnet wird. An die Antriebswelle **20** schließt sich eine Luftzuführungs- und Betätigungseinheit **60** an. Über die Antriebswelle **20** kann die Spindel **1** mit einer Werkzeugmaschine verbunden werden, d.h. die Antriebswelle kann mit einem Antrieb verbunden und von einem Lagerbock der Werkzeugmaschine aufgenommen werden. Der Lagerbock erlaubt dabei wie üblich nur eine Rotation der Antriebswelle um ihre Längsachse, d.h. um die zweite Achse.

[0043] Wie am besten Anhand von Fig. 6 und Fig. 7 ersichtlich, hat die Spindel **1** ein Lager, das einen Radialversatz von Antriebswelle **20** und Spindelkopf **10** ebenso erlaubt wie eine Verkippung von Antriebswelle **20** und Spindelkopf **10** zueinander. Das Lager besteht aus zwei Teillagern, die ein vorderes Teillager und ein hinteres Teillager bilden. Das hintere Teillager hat zwei einander gegenüberliegende und gegeneinander verschiebbare Lagerflächen **24**, **34**. Dazu kann die Antriebswelle **20** eine plane kreisringförmige hintere Lagerfläche **24** aufweisen, die vorzugsweise orthogonal von der Längsachse der Antriebswelle **20**, d.h. des hinteren Spindelabschnitts **20** geschnitten wird. In diesem Sinne ist oder hat der hintere Spindelabschnitt **20** einen Lagerblock. Der ersten Lagerfläche **24** des hinteren Lagers gegenüber liegt eine dazu komplementäre zweite Lagerfläche **34** eines Zwischenblocks **30** gegenüber. Zwischen den beiden Lagerflächen **24**, **34** ist vorzugsweise ein dünner Luftspalt, der beispielsweise über einen Luftkanal **46** mit Druckluft gespeist werden kann. Auch alternative Fluide können als Schmiermittel verwendet werden. Der hintere Spindelabschnitt **20** und der Zwischenblock **30** bilden daher ein Linearlager mit zwei Freiheitsgraden; in anderen Worten der Zwischenblock ist radial verschiebbar zum hinteren Spindelabschnitt **20**. Das Zwischenstück **30** wäre ohne die weiter unten beschriebene Kupplung auch gegenüber der Antriebswelle **20** drehbar, daher hat das hintere Teillager streng genommen drei Freiheitsgrade.

[0044] Das vordere Teillager wird ebenfalls von ersten und zweiten Lagerflächen **33**, **13** gebildet, die vorzugsweise zueinander komplementäre Kugelflächen-segmente sind. Dazu kann auf der der kreisringförmigen Lagerfläche **34** entgegengesetzten Seite des Zwischenblocks **30** eine erste kugelflächen-segmentförmige Lagerfläche **33** sein. Dieser Lagerfläche **33**

liegt eine Lagerfläche **13** des Spindelkopfs **10** gegenüber. Wieder kann der Spalt zwischen den Lagerflächen **33**, **13** mit Druckluft oder einem anderen Fluid gespeist werden. Das vordere Teillager erlaubt folglich eine Verkippung des Spindelkopfs **10** relativ zum dem hinteren Spindelabschnitt **20** um den gemeinsamen Mittelpunkt der Kugelflächensegmente (**2** Freiheitsgrade). Der Spindelkopf **10** wäre ohne die weiter unten beschriebene Kupplung auch gegenüber dem Zwischenstück **30** drehbar, daher hat auch das vordere Teillager strenggenommen drei Freiheitsgrade. Im gezeigten Beispiel ist der Mittelpunkt der Kugelflächensegmente im Bereich des nicht dargestellten Werkstücks. Das hat den Vorteil, dass der Radialversatz beim Taumelausgleich sehr gering bleibt und dass der Schwerpunkt des Spindelkopfs unterhalb des Drehpunkts bei einer Verkippung liegt, der Spindelkopf kippt deshalb nicht um sondern ist bei stehend montierter Spindel selbstzentrierend zur Vertikalen.

[0045] Das erste Teillager und auch das zweite Teillager, sind durch Permanentmagnete gegeneinander vorgespannt. Diese liegen jedoch außerhalb der beiden um 90° zueinander versetzten Schnittebenen und sind daher nicht sichtbar. Die Magnete sind ringförmig um die Längsachsen der entsprechenden Bauteile in Ausnehmungen der Lagerblöcke angeordnet.

[0046] Anders als dargestellt könnte auch das vordere Teillager ein Linearlager sein und das hintere Teillager ein Kugelgelenk. Wichtig ist für die Erfindung nur, dass das Teillager zusammen vorzugsweise sowohl eine Verkippung mit zwei Freiheitsgraden als auch einen Radialversatz (mit ebenfalls 2 Freiheitsgraden) der Längsachsen des Spindelkopfs **10** und des hinteren Spindelabschnitts **20** erlauben, sowie möglichst drehsteif sind, wozu eine Kupplung vorgesehen sein kann.

[0047] Um das Lager drehsteif zu machen wird es im gezeigten Beispiel von einer Drehkupplung überbrückt. Deren Elemente sind am besten auf den **Fig. 1** bis **Fig. 4** dargestellt: Der hintere Spindelabschnitt **20** ist über zwei zueinander parallele erste Streben **51** mit einem Kupplungselement **53** verbunden (**Fig. 1** bis **Fig. 4** und **Fig. 5** mit **Fig. 6**). Das Kupplungselement ist aus zwei Ringhälften zusammengesetzt und umgibt den Zwischenblock **30** ringartig, liegt jedoch zumindest in seiner Ruhelage nicht an dem Zwischenblock an. Das Kupplungselement wird über erste Streben **51** und zweite Streben **52** in seiner Position gehalten.

[0048] Zur Befestigung der ersten Streben **51** hat der hintere Spindelabschnitt **20** an zwei einander mit Bezug auf die Längsachse der Antriebswelle diametral gegenüberliegenden Seiten Befestigungselemente **55**, z.B. die gezeigten Winkelstücke **55** an de-

nen je ein Ende einer ersten Strebe **51** befestigt ist. Das andere Ende der ersten Streben **52** ist kraftschlüssig mit dem Kupplungselement **53** verbunden. Wie dargestellt verlaufen die Längsachsen der ersten Streben **51** vorzugsweise zumindest in etwa parallel ($\pm 15^\circ$, besonders bevorzugt $\pm 5^\circ$, weiter bevorzugt $\pm 1^\circ$) zueinander in einer die Längsachse des Zwischenstücks orthogonal schneidenden Ebene. Vorzugsweise in der gleichen Ebene können zwei weitere (zweite) Streben **52** angeordnet sein. Die weiteren Streben **52** sind in gleicher Weise an zwei diametral gegenüberliegenden Seiten mit dem Kupplungselement **53** verbunden, jedoch gegenüber den ersten Streben **51** um 90° versetzt. Das andere Ende der zweiten Streben **52** ist über zweite Befestigungselemente **56** (z.B. Winkelstücke **56**) mit dem Spindelkopf **10** kraftschlüssig verbunden. Die Streben **51**, **52** bilden folglich zusammen mit dem Kupplungselement **53** eine Drehkupplung (vgl. **Fig. 5**). Ein Radialversatz des Spindelkopfs **10** zum hinteren Spindelabschnitt **20** wird nur durch geringe Rückstellkräfte der Streben **51**, **52** beeinflusst. Gleiches gilt bei einer Taumelbewegung des Spindelkopfs **10** zum hinteren Spindelabschnitt **20**.

[0049] Wie in **Fig. 6** und **Fig. 7** gut zu erkennen ist, hat die Spindel eine Zentriervorrichtung mit der der Spindelkopf **10** z.B. beim Einsetzen und/oder Entnehmen eines Werkstücks in die bzw. aus der Spannzange **42** mit dem hinteren Spindelabschnitt **20** zentriert werden kann, d.h. das Lager wird gesperrt. Dazu hat der hintere Spindelabschnitt **20** wenigstens eine erste ring- oder ringsegmentförmige Zentrierfläche **44**, die sich im gezeigten Beispiel konisch in Richtung des Spindelkopfes **10** verjüngt. An der ersten Zentrierfläche **44** liegt als Zentrierschieber **43** ein ringförmiger oder alternativ ringsegmentförmiger Kolben mit einem sich in Richtung des Spindelkopfes **10** verjüngenden Mantelflächenabschnitt **45** an. Der Zentrierschieber **43** ist axial auf einer vorzugsweise zylindrischen Anlagefläche **141** eines axialen Zapfens **14** des Spindelkopfes **10** verschiebbar, welche die zweite Zentrierfläche bildet. Mittels elastischen Elementen **47** (nur in **Fig. 7** sichtbar) ist der Zentrierschieber **43** in Richtung des Spindelkopfes **10** vorgespannt, so dass der Zentrierschieber **43** mit seinem Mantelflächenabschnitt **45** gegen die erste Zentrierfläche gespannt wird wodurch der Spindelkopf **10** relativ zum hinteren Spindelabschnitt zentriert wird. Um die Zentrierung zu lösen und dadurch das Lager freizugeben, kann der Kolben spindelkopfseitig mit einem Fluid, z.B. Druckluft beaufschlagt werden, um ihn dadurch gegen die elastischen Elemente zu verschieben, so dass der Mantelflächenabschnitt nicht mehr an der ersten Zentrierfläche anliegt.

[0050] An ihrem hinteren Ende ist die Spannzange mit einem Zugelement **48**, hier einer Stange verbunden (vgl. **Fig. 6** und **Fig. 7**). Die Stange **48** sitzt in einer durchgehenden Ausnehmung **16** des Spindel-

kopfs **10** und ist auf Zug durch ein sich an dem Spindelkopf **10** abstützendes Spannelement **49** (dargestellt ist ein Tellerfederpaket) in Richtung des hinteren Spindelabschnitts **10** vorgespannt. Dazu sitzt auf der Stange ein Spannring **59** an dem ein Spannelement **49** angreift. Das Spannelement ist in einer Kammer **40** des Spindelkopfes **10**. Zum Öffnen der Spannzange **42** wird die Stange **48** in Richtung der Spannzange axial verschoben.

[0051] Die Stange **48** hat eine axiale Ausnehmung **46**, die als Luftkanal **46** zum Zuführen von Druckluft (oder einem anderen Fluid) für das Lager und gleichzeitig zum Öffnen der Zentriervorrichtung dient. Dazu ist der Luftkanal **46** über entsprechende Bohrungen **461**, bzw. Einstiche **462** mit den Spalten zwischen den Lagerflächen **13**, **33** und **24**, **34** ebenso verbunden wie mit dem angedichteten Ringspalt **431** in dem der Zentrierschieber sitzt. Wird der Luftkanal **46** mit Druckluft beaufschlagt, wird folglich zunächst der Zentrierschieber verschoben und das Lager freigegeben. Sobald der Druck groß genug ist, dass die magnetische Vorspannung kompensiert wird, ist das Lager frei beweglich.

[0052] Zum Öffnen der Spannzange **42** sitzt in der axialen Verlängerung des hinteren Spindelabschnitts **20** eine Kolbenstange **61** der Luftzuführungs- und Betätigungseinheit **60**, die mit (wenigstens einem) Kolben **62** verbunden ist. Der Kolben **62** sitzt in einer als Zylinder für den Kolben **62** dienenden Ausnehmung **63** des Gehäuses **64** der Luftzuführungs- und Betätigungseinheit **60** und ist gegen die Kraft eines Rückstellelementes **65** mit Druck beaufschlagbar, wodurch der Kolben **62** und damit auch die Kolbenstange **61** in Richtung der Spannzange verschoben wird und damit das Zugelement, d.h. die Stange **48** entlastet. Auch die Kolbenstange **61** und die Kolben **62** haben einen axialen Kanal **66** der mit dem Luftkanal **46** kommunizierend verbunden ist. Zur Verbindung des axialen Kanals **66** und des Luftkanals **46** hat die Stange **48** an ihrem distalen Ende einen radialen Vorsprung, der eine komplementäre Ausnehmung der Kolbenstange eingeführt und dann durch eine Drehung um 90° in der Ausnehmung verriegelt werden kann.

[0053] In Fig. 8 ist die Spindel zusammen mit einigen Elementen einer Werkzeugschleifmaschine abgebildet. Der Spindelbock, die optionale Kabine, der Schleifkopf nebst Antrieb und Verfahreinheit sind der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Vorzugsweise ist die Spindel wie dargestellt stehend angeordnet, d.h. ihre Längsachse entspricht zumindest näherungsweise ($\pm 15^\circ$) der Vertikalen. An einer Abstützeinheit **80**, die mit dem nur ansatzweise dargestellten Maschinengestell kraftschlüssig verbunden ist, sind ein Prisma **70** mit einem Spannfinger **71** sowie ein Lünette **75** angeordnet. Das Führungsprisma **70** hat eine Nut **711** in der ein Werkstück mit dem Spann-

finger festlegbar ist. Die Position und Lage des Führungsprismas **70** relativ zur Abstützeinheit **80** und damit auch zur Spindel kann mittels einer Einstelleinheit **73** variiert werden, bis eine Sollposition erreicht ist. In der Sollposition kann die des Führungsprismas **70** samt Spannfinger **71** festgelegt werden. In gleicher Weise ist auch die Lünette **75** über eine weitere Einstelleinheit **76** in Position und Lage in eine Sollposition bringbar und kann dort festgelegt werden.

[0054] Zum Schleifen eines Werkstücks, wird zunächst ein Werkstück oder vorzugsweise ein Kalibrierdorn in die Spannzange eingesetzt. Dabei ist das Lager zwischen dem Spindelkopf **10** und dem hinteren Spindelabschnitt vorzugsweise mittels der Zentriervorrichtung gesperrt. Nun können das Führungsprisma und die Lünette an den Kalibrierdorn bzw. das Werkstück angelegt werden und in der entsprechenden Position fixiert werden. Vor dem Fixieren der Position und Lage des Führungsprismas **70** wird vorzugsweise der Spannfinger **71** in Richtung des Führungsprismas **70** belastet wodurch letzteres sauber an das Werkstück angelegt wird. Anders formuliert liegt das Werkstück nun in den entsprechenden Nuten **711**, **751**, des Führungsprismas bzw. der Lünette an. Nun kann sofern nötig der Kalibrierdorn gegen ein Werkstück ausgetauscht werden. Anschließend wird die Zentriervorrichtung geöffnet, d.h. das Lager wird freigegeben und die Bearbeitung des Werkstücks kann beginnen. Die Bearbeitungskräfte, sofern sie in radialer Richtung auf das Werkstück wirken, werden ausschließlich von dem Führungsprisma **70** bzw. der Lünette **75** abgefangen. Auch bei einer Drehung des Werkstücks in den V-Nuten **711**, **751** wird (zumindest in radialer Richtung) die Lage des Werkstücks nur durch das Führungsprisma **70** und die Lünette **75** bestimmt. Auch bei einer Drehung des Werkstücks werden aufgrund des Lagers zwischen Spindelkopf **10** und dem hinteren Spindelabschnitt **20** keine radialen Kräfte auf das Werkstück vom hinteren Spindelabschnitt auf das Werkstück übertragen, wodurch die Genauigkeit der Positionierung des Werkstücks bei der Bearbeitung verbessert wird.

Bezugszeichenliste

10	Spindelkopf (kurz: „Kopf“)
11	Lagerblock des Spindelkopfes (kurz: „Kopfblock“)
13	Lagerfläche
14	axialer Zapfen
141	Anlagefläche für Zentrierring / Zentrierfläche
16	durchgehende Ausnehmung
20	hinterer Spindelabschnitt
24	Lagerfläche
30	Zwischenstück / Zwischenblock
33	Lagerfläche
34	Lagerfläche
40	Kammer für Spannelement

- 41 Spannzangenaufnahme, allgemeiner:
Spannmittelaufnahme
- 42 Spannzange, allgemeiner: Spannmittel
- 43 Zentrierschieber/ sich verjüngender Schieber
- 431 Ringspalt
- 44 konischer Mantelflächenabschnitt
- 45 konische Anlagefläche für Zentrierschieber
- 46 Luftkanal
- 461 Bohrung
- 462 Einstich
- 47 elastische Elemente
- 48 Zugelement, hier Stange
- 49 Spannelement, z.B. Tellerfeder
- 50 Abdeckung
- 51 erste Streben (von Antriebswelle **20** zum Zwischenblock **30**)
- 52 zweite Streben (von Zwischenblock **30** zum Spindelkopf **10**)
- 53 Kupplungselement
- 55 erste Befestigungselemente für Streben **51** (z.B. Winkelstücke)
- 56 zweite Befestigungselemente für Streben **52** (z.B. Winkelstücke)
- 60 Luftzuführungs- und Betätigungseinheit
- 61 Kolbenstange
- 62 Kolben
- 63 Ausnehmung / Zylinder
- 64 Gehäuse
- 66 Kanal
- 70 Prisma / Führungsprisma / Stützprisma
- 71 Spannfinger
- 75 Lünette
- 73 Einstelleinheit für Stützprisma
- 76 Einstelleinheit für Lünette
- 80 Abstützeinheit

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1419852 A1 [0004]
- DE 102005007038 A1 [0005]
- DE 102011052976 [0016]

Patentansprüche

1. Spindel (1) für eine Werkzeugschleifmaschine mit zumindest:

– einem Spindelkopf (10) zur Aufnahme eines Spannmittels (42) mit einer ersten Längsachse und einer
– einem hinteren Spindelabschnitt (20) zur Aufnahme in einem Lagerbock als Antriebswelle (20) mit einer zweiten Längsachse,
gekennzeichnet durch
wenigstens ein Lager, das zwischen dem Spindelkopf (10) und dem hinteren Spindelabschnitt (20) angeordnet ist um diese zu verbinden, wobei das Lager eine Verkippung und/oder eine radiale Verschiebung der ersten Längsachse relativ zur zweiten Längsachse erlaubt und Druck und/oder Zugkräfte in Längsrichtung von dem Spindelkopf (10) auf die Welle überträgt und dass von wenigstens einer Kupplung (51, 52) zur Übertragung von Drehmomenten zwischen dem hinteren Spindelabschnitt (20) und dem Spindelkopf (10) überbrückt wird.

2. Spindel (1) nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spindelkopf (10) und der hintere Spindelabschnitt (20) einander jeweils gegenüberliegende Zentrierflächen (45, 141) haben, zwischen denen ein sich verjüngender Zentrierschieber (43) zwischen wenigstens einer ersten Position und einer zweiten Position verstellbar ist, wobei in einer ersten Position das Lager sperrend überbrückt wird, wodurch der Spindelkopf (10) und die der hintere Spindelabschnitt zueinander zentriert werden.

3. Spindel (1) nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lager ein erstes und/oder ein zweites Teillager aufweist, wobei das erste Teillager zwei komplementäre erste Lagerblöcke mit kugelflächensegmentförmige Lagerflächen (13, 33) hat und das zweite Teillager zwei komplementäre zweite Lagerblöcke mit planen Lagerflächen (24, 34) hat, deren Flächennormalen zur ersten oder zweiten Achse parallel sind.

4. Spindel (1) nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lager ein erstes und/oder ein zweites Teillager aufweist wobei das erste Teillager zwei zueinander komplementäre erste Lagerblöcke mit ersten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen (13, 33) aufweist und das zweite Teillager zwei zueinander komplementäre zweite Lagerblöcke mit zweiten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen (24, 34) aufweist.

5. Spindel (1) nach Anspruch 3 oder 4 **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lager ein ringförmiges oder wenigstens ein ringsegmentförmiges Zwischenstück (30) mit wenigstens einer kugelflächensegmentförmigen oder zylindermantelflächensegmentförmigen ersten Lagerfläche (33) und auf seiner der ersten Lagerfläche (33) abgewandten Seite wenig-

tens eine plane oder eine zylindermantelflächensegmentförmige zweite Lagerfläche (34) aufweist.

6. Spindel (1) nach einem Anspruch 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eines der Teillager ein hydrostatisches Lager mit einem Fluidspalt zwischen wenigstens zwei der Lagerflächen (13, 24, 33, 34) ist.

7. Spindel nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lagerblöcke wenigstens eines der Teillager magnetisch gegeneinander vorgespannt sind.

8. Spindel nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur magnetischen Vorspannung in wenigstem einem ersten von zwei komplementären Lagerblöcken wenigstens ein Permanentmagnet angeordnet ist, dessen magnetischer Fluss von einem Nordpol des Permanentmagneten den Luftspalt zwischen den Lagerflächen wenigstens einmal überbrückend zu einem magnetischen Südpol geführt wird.

9. Spindel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spindelkopf (10) eine durchgehende Ausnehmung (16) hat, in deren einen Seite wenigstens ein Spannmittel sitzt, die mit einem in der Ausnehmung angeordneten und gegen den Spindelkopf (10) vorgespannten Zugelement (28) verbunden ist.

10. Spindel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kupplung beidseits der ersten und/oder zweiten Achse befestigte elastisch verformbare Streben (51, 52) hat, die den Spindelkopf (10) und Spindelabschnitt zumindest mittelbar drehfest miteinander verbinden.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

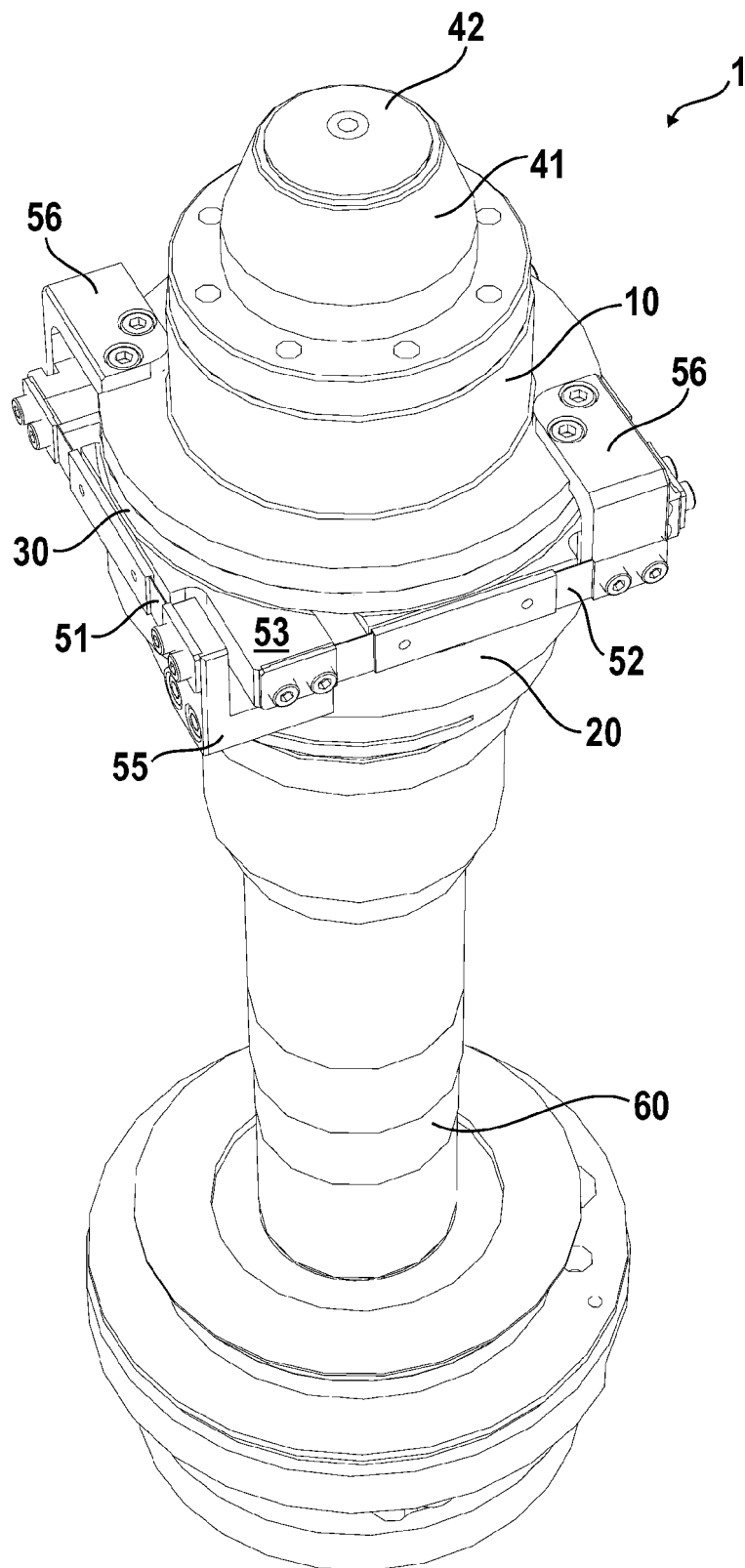


Fig. 2

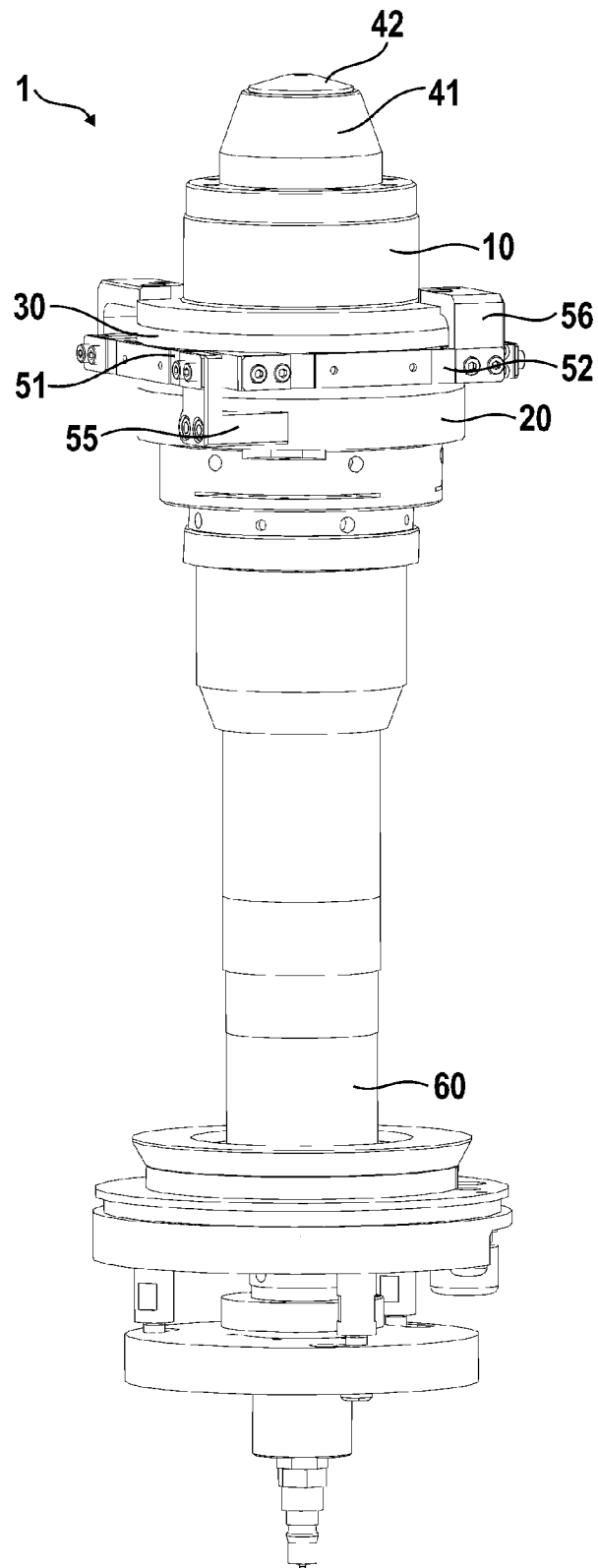


Fig. 3

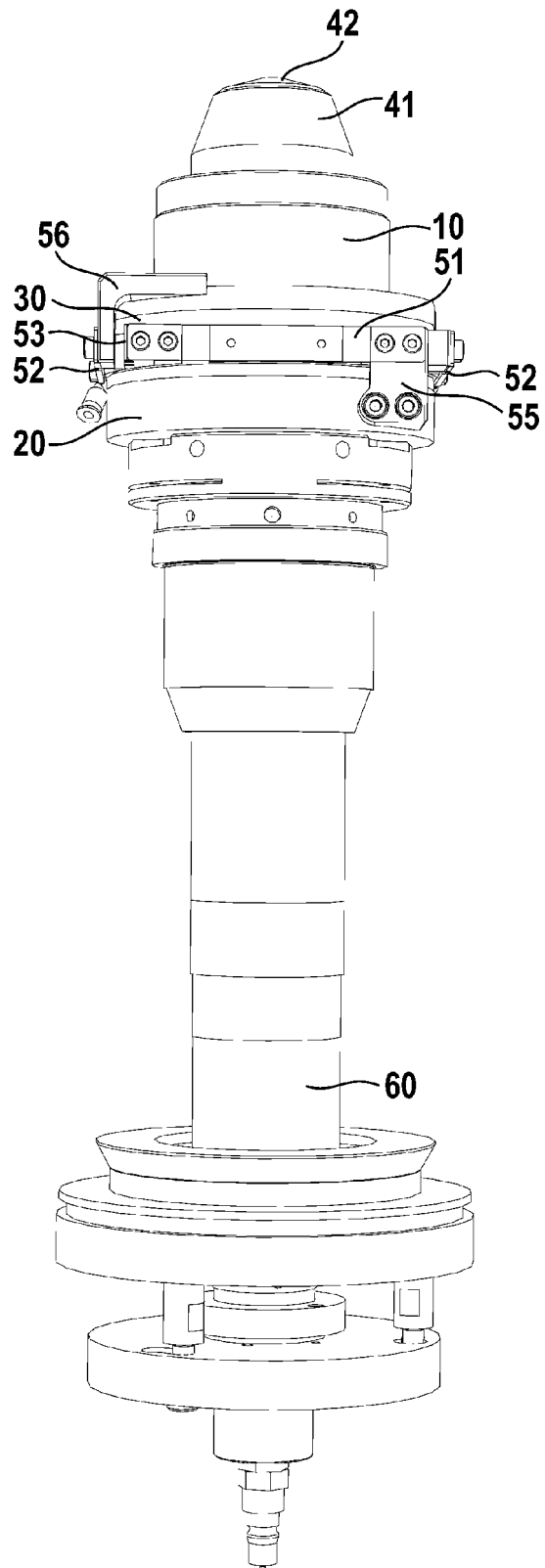


Fig. 4

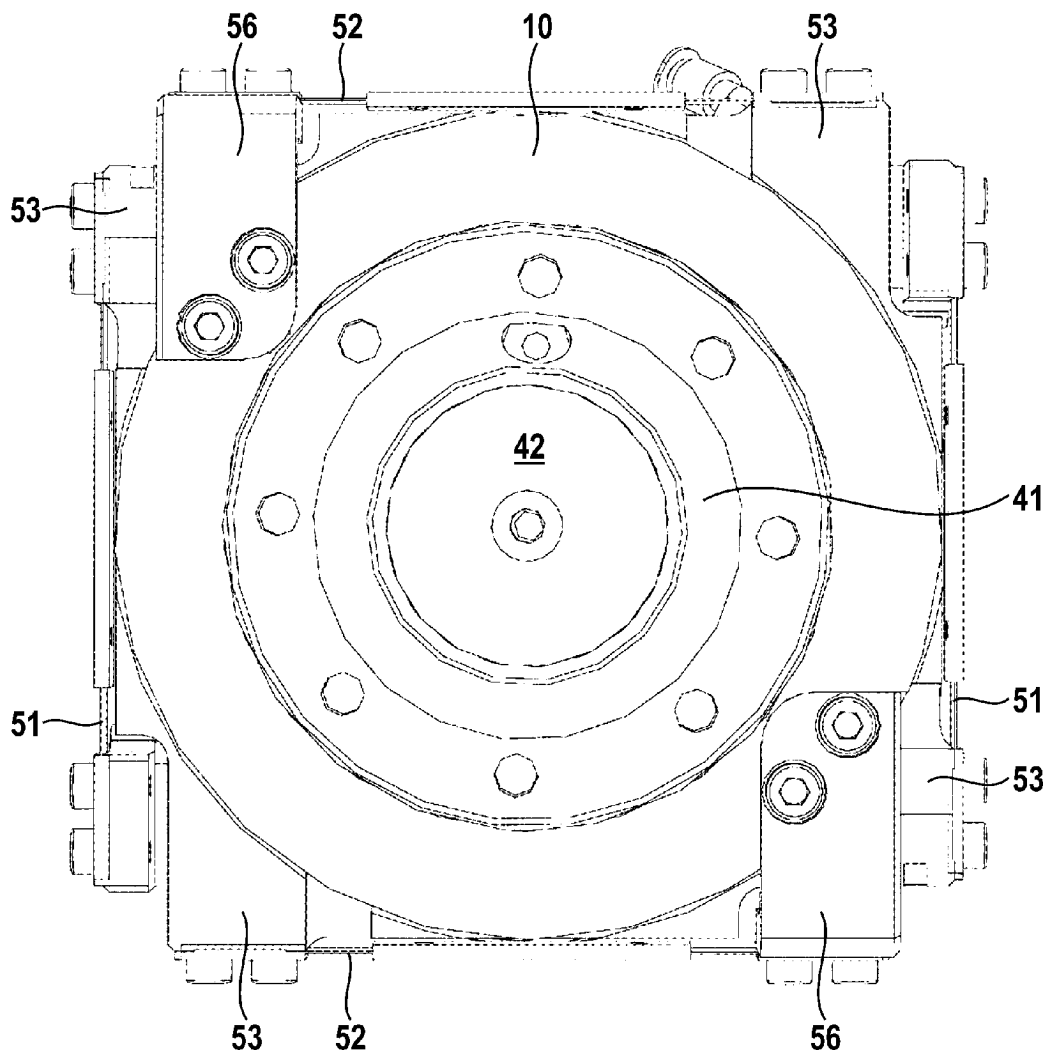


Fig. 5

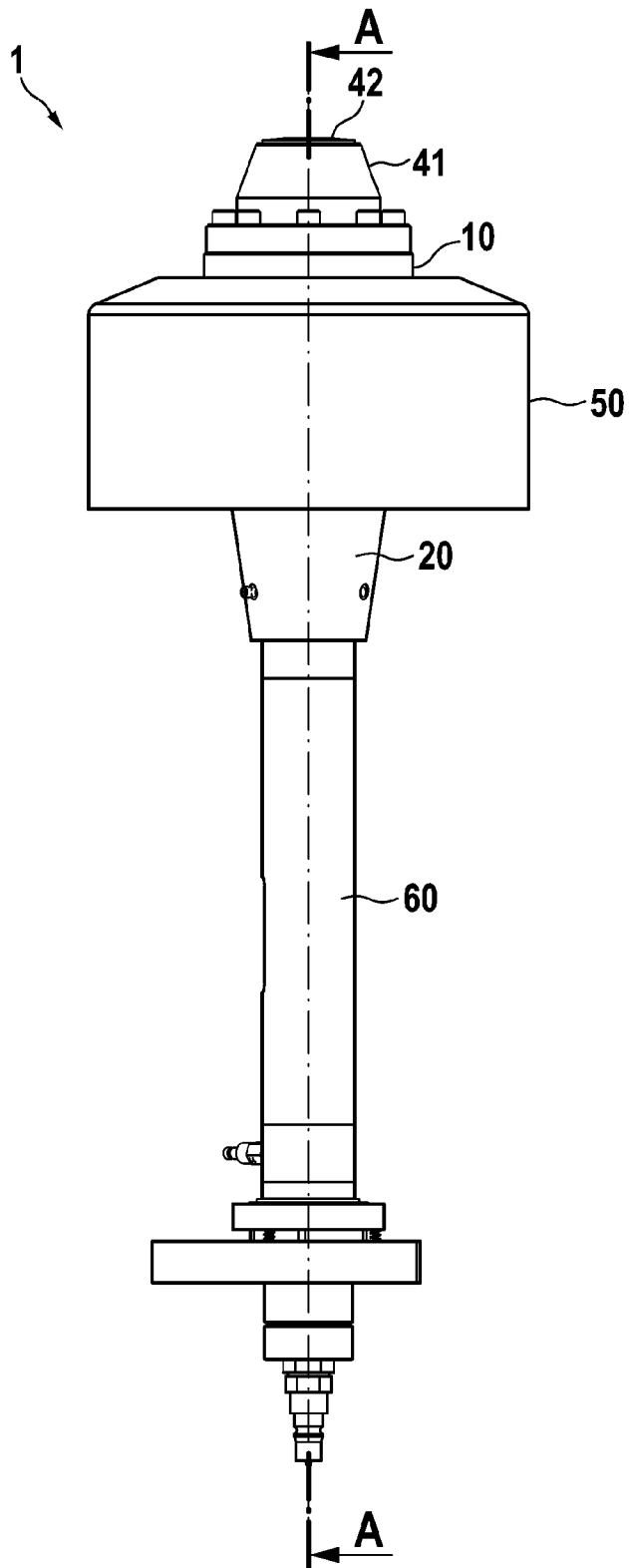


Fig. 6

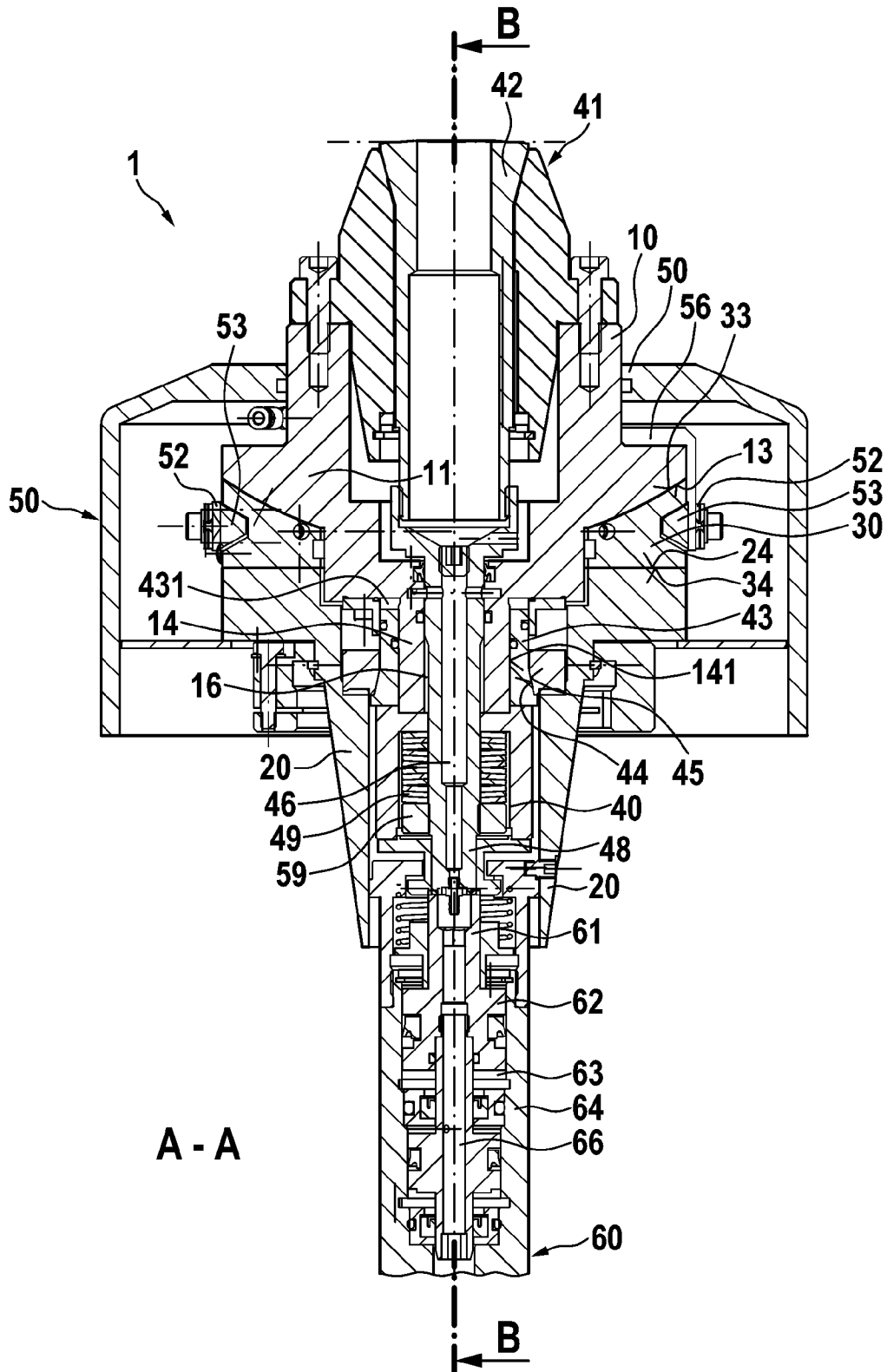


Fig. 7

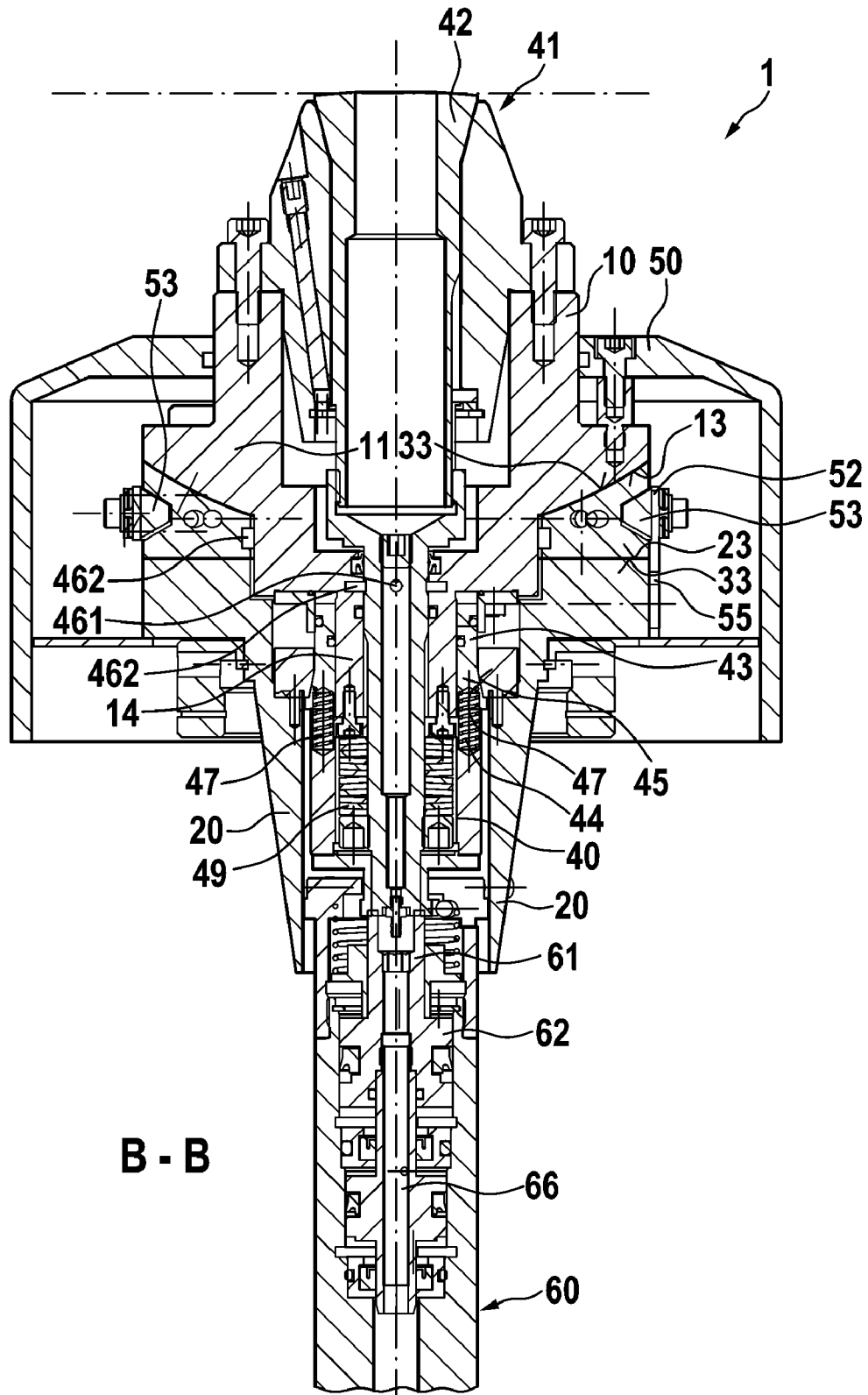


Fig. 8

