(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. November 2002 (21.11.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/092277 A2

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: B23Q 5/10, 5/32, 11/00, 11/04, 17/00, 17/22, G05B 19/404, B23Q 15/18

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01662

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Mai 2002 (08.05.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 23 717.0 15. Mai 2001 (15.05.2001) DE
101 63 089.1 20. Dezember 2001 (20.12.2001) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **PAUL MÜLLER GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Unternehmensbeteiligungen, Äussere Bayreuther Strasse 230, 90411 Nürnberg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **WEHRFRITZ, Heinz** [DE/DE]; Heroldsberger Strasse 40a, 90562 Kalchreuth (DE).

(74) Anwalt: **LÖSCH, Christoph**; Äussere Bayreuther Strasse 230, 90411 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: CN, JP, US.

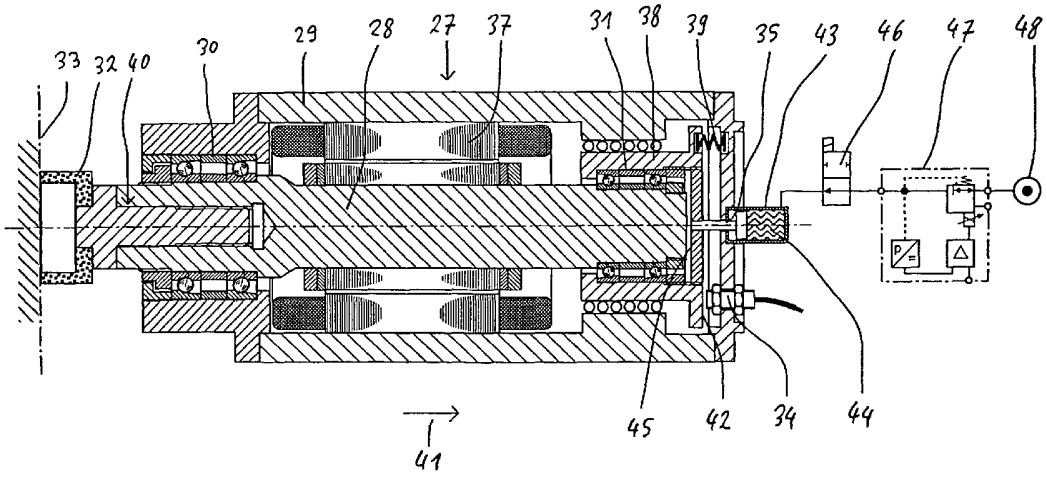
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MOTOR SPINDLE WITH IMPROVED MACHINING PRECISION AND METHOD FOR OPERATING ONE SUCH MOTOR SPINDLE

(54) Bezeichnung: MOTORSPINDEL MIT VERBESSERTER BEARBEITUNGSGENAUIGKEIT SOWIE VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER DERARTIGEN MOTORSPINDEL



(57) Abstract: The invention relates to a motor spindle (1), comprising a spindle shaft (4) for receiving a tool (14). Said spindle shaft (4) is accommodated in the housing (2) of the motor spindle (1) in a fixed bearing (5) and a loose bearing (6). The received tool enters into contact with the machined workpiece (15) in a tool interface (16) when the spindle shaft is driven and the tool interface (16) is displaced in an axial direction of the spindle shaft (4) when a workpiece is machined. A displacement sensor (19) is provided on the spindle bearing in order to determine the axial displacement of the tool interface (16). The invention also relates to a motor spindle (27) comprising a spindle shaft (28) for receiving a tool (32). The spindle shaft (28) is accommodated in the housing (29) of the motor spindle (27) in a fixed bearing (30) and in a loose bearing (31) with an axially displaceable bearing bushing (38). The tool (32) enters into contact with the machined workpiece at the tool interface when the spindle shaft is driven, and an adjusting element which is used to adjust the axial displacement of the bearing bushing (38) of the motor spindle (27) is also provided.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/092277 A2

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Motorspindel (1) mit einer Spindelwelle (4) zur Aufnahme eines Werkzeugs (14), wobei die Spindelwelle (4) im Gehäuse (2) der Motorspindel (1) in einer Festlagerung (5) und einer Loslagerung (6) aufgenommen ist und wobei das aufgenommene Werkzeug (14) das bearbeitete Werkstück (15) bei angetriebener Spindelwelle (4) an einer Werkzeugschnittstelle (16) kontaktiert und die Werkzeugschnittstelle (16) bei der Werkstückbearbeitung eine Verlagerung in axialer Richtung der Spindelwelle (4) erfährt, wobei ein Wegsensor (19) an der Spindellagerung zur Ermittlung der axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle (16) vorgesehen ist. Ferner betrifft die Erfindung eine Motorspindel (27) mit einer Spindelwelle (28) zur Aufnahme eines Werkzeugs (32), wobei die Spindelwelle (28) im Gehäuse (29) der Motorspindel (27) in einer Festlagerung (30) und einer Loslagerung (31) mit einer axial verschiebbaren Lagerbüchse (38) aufgenommen ist, das aufgenommene Werkzeug (32) das bearbeitete Werkstück (33) bei angetriebener Spindelwelle (28) an einer Werkzeugschnittstelle kontaktiert und ein Stellelement zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse (38) der Motorspindel (27) vorgesehen ist.

Motorspindel mit verbesserter Bearbeitungsgenauigkeit sowie Verfahren zum Betrieb einer derartigen Motorspindel

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Motorspindel mit verbesserter Bearbeitungsgenauigkeit sowie Verfahren zum Betrieb einer derartigen Motorspindel.

In einer ersten Ausgestaltung betrifft die Erfindung zum einen eine Motorspindel mit einer Spindelwelle zur Aufnahme eines Werkzeugs sowie den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung in der ersten Ausgestaltung ein Verfahren zum Verschieben einer Motorspindel mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 11.

Als Stand der Technik sind zur ersten Ausgestaltung Motorspindeln mit einer Fest- und einer Loslagerung bekannt, die für die Bearbeitung von Werkstücken bei hohen Drehzahlen eingesetzt werden. Die Genauigkeit der Werkstückbearbeitung wird durch eine unerwünschte axiale Bewegung der Werkzeugschnittstelle bei rotierender Spindelwelle beeinträchtigt.

Der ersten Ausgestaltung der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Motorspindel sowie ein Verfahren zum Verschieben einer Mo-

torspindel anzubieten, bei denen die Genauigkeit der Werkstückbearbeitung verbessert wird.

Diese Aufgabe wird für die Motorspindel durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Motorspindel werden in den Unteransprüchen 2 – 10 beschrieben. Für das Verfahren wird die Aufgabe durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 11 in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst. Vorteilhafte Verfahrensvarianten werden in den Unteransprüchen 12 – 15 beschrieben.

Bei der erfindungsgemäßen Motorspindel gemäß der ersten Ausgestaltung ist ein Wegsensor an der Spindellagerung zur Ermittlung der axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle vorgesehen. Durch die über den Wegsensor ermittelte unerwünschte axiale Verlagerung kann über eine kompensierende Vorschubbewegung, welche die gesamte Motorspindel erfaßt, die axiale Verlagerung kompensiert werden. Hierdurch kann eine Werkstückbearbeitung mit deutlich verbesserter Genauigkeit erfolgen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform kann der Wegsensor zur Erfassung der axialen Position der Loslagerung vorgesehen sein. Durch eine derartige Anbringung des Wegsensors wird ein deutlicher Abstand zum bearbeiteten Werkstück und zum bearbeitenden Werkzeug geschaffen. Ferner kann die axiale Verlagerung der Spindelwelle an einem ruhenden Teil besonders zuverlässig gemessen werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann der Wegsensor die axiale Verschiebung der Spindelwelle an einem Außenring der Loslagerung erfassen. In einer weiteren vorteilhaften Ausfüh-

rungsform kann der Wegsensor die axiale Position der Lagerbüchse eines Außenrings der Loslagerung erfassen, wobei der Wegsensor an einem besonders zugänglichen Bereich der Motorspindel angebracht werden kann.

In einer weiteren Ausführungsform kann der Wegsensor als Berührungssensor mit direktem Kontakt z.B. mit der Loslagerung, deren Außenring oder deren Lagerbüchse ausgebildet sein. Damit können die bei berührungslosen Wegsensoren gegebenenfalls auftretenden Übertragungsstörungen vermieden werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der Wegsensor auch als berührungsloser Sensor, z.B. als induktiver, kapazitiver, optischer oder Wirbelstromsensor ausgebildet sein. Hierdurch wird ein direkter Kontakt mit der zu messenden Bezugsoberfläche der Loslagerung, des Außenrings oder der Lagerbüchse vermieden, wodurch eine Abnutzung des Wegsensors und daraus resultierende Meßfehler vermieden werden.

Die vom Wegsensor ausgelesenen Daten zur axialen Verlagerung der Spindelwelle werden vorteilhafterweise an ein Steuerelement z.B. zur Aktivierung eines Vorschubs der gesamten Motorspindel zur Kompensierung der axialen Verlagerung weitergeleitet.

Durch ein derartiges Vorschubelement kann die Motorspindel axial in Richtung des Werkstücks verschoben werden, um die ermittelte axiale Verlagerung während des Betriebs zu korrigieren und zu kompensieren. Hierzu ist das Steuerelement vorzugsweise mit dem Vorschubelement der Motorspindel zum Datenaustausch verbunden.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur ersten Ausgestaltung der Erfindung zum Verschieben einer Motorspindel mit einer Spindelwelle erfolgt eine Kompensierung der ermittelten axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle. Hierdurch wird die Bearbeitungsgenauigkeit erhöht. Die über einen Wegsensor ermittelte unerwünschte axiale Verlagerung der Spindelwelle wird durch eine entsprechende Vorschubbewegung der gesamten Motorspindel in entgegengesetzter Richtung kompensiert.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Verfahrensvariante kann als Führungsgröße zur Kompensierung der ermittelten axialen Verlagerung ein oder mehrere funktionale Zusammenhänge zwischen drehzahlbedingter und/oder temperaturbedingter Veränderung und der ermittelten axialen Verlagerung der Spindelwelle verwendet werden.

Wenn beim Wegsensor zur Ermittlung der unerwünschten axialen Verlagerung der Spindelwelle eine sprunghafte und erhebliche axiale Verlagerung auftritt, kann dies als Störungsmeldung verarbeitet werden.

Zur Aufnahme der Werkzeuge besitzen Motorspindeln üblicherweise Spannsysteme, welche z.B. eine axiale Zugstange aufweisen, die sich in der als Hohlwelle ausgebildeten Spindelwelle in axialer Richtung verschieben läßt. Zur Kraftbeaufschlagung einer derartigen Zugstange ist üblicherweise ein Kolbenelement vorgesehen, über welches die Zugstange in Richtung zum frontseitigen Spannsystem verschoben werden kann, wodurch ein im Spannsystem aufgenommenes Werkzeug entnommen und ein neues Werkzeug eingesetzt kann. Beim Zurückziehen des Kolbenelements wird die Zugstange üblicherweise durch integrierte Federelemente zurückgestellt.

Bei einer auftretenden unerwünschten axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle verändert sich auch die Position der Zugstange des Spannsystems. Die vom Wegsensor erfaßte axiale Verlagerung der Werkzeugschnittstelle kann zur Korrektur der Daten eines weiteren Wegsensors zur Bestimmung der Position der Zugstange verwendet werden.

In einer weiteren vorteilhaften Verfahrensvariante kann beim Anfahren der Motorspindel ein „Reset-Lauf" bei kleinstmöglicher Drehzahl durchgeführt werden, wodurch eventuell aufgrund einer vorherigen Abkühlung verklemmte Lagerkörper in der Fest- oder Loslagerung gelockert werden, wodurch ein Referenzpunkt für den Wegsensor zur Ermittlung der unerwünschten axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle ermittelt werden kann, bevor die tatsächliche axiale Verlagerung festgestellt wird.

Die erste Ausgestaltung der Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispielen in der Zeichnungsfigur 1 (Motorspindel im Längsschnitt) näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Motorspindel 1 im Längsschnitt mit einem Spindelgehäuse 2 und einem Antrieb 3 für eine Spindelwelle 4, welche über eine Festlagerung 5 und eine Loslagerung 6 im Spindelgehäuse 2 aufgenommen ist. Die Festlagerung 5 und die Loslagerung 6 weisen jeweils Lagerelemente 7, 8 bzw. 9, 10 auf, die z.B. als Spindellager ausgebildet sein können. Bei einer Verwendung von Spindellagern tritt ein Kontaktwinkel zwischen den Kugeln und den Laufbahnen der Spindellager etwa zwischen 12° und 25° auf.

Die Festlagerung 5 und die Loslagerung 6 werden über eine kraftbeaufschlagte Lagerbüchse 11 gegeneinander vorgespannt. Die Kraft-

beaufschlagung der Lagerbüchse 11 kann durch ein Federelement 12 hydraulisch und/oder pneumatisch erfolgen.

Die Spindelwelle 4 ist eine Hohlwelle und nimmt in ihrem Inneren eine Zugstange 13 eines Spannsystems der Motorspindel 1 zur Aufnahme des Werkzeugs 14 (z.B. einer Topfschleifscheibe) auf. Das Werkzeug 14 kontaktiert das Werkstück 15 (z.B. eine Siliziumoberfläche), wobei sich die Werkzeugschnittstelle 16 im Kontaktbereich zwischen Werkzeug 14 und Werkstück 15 befindet.

Beim Betrieb der Motorspindel 1 tritt bei rotierender Spindelwelle 4 eine kinematische Verschiebung der Spindelwelle 4 aufgrund der auf die Lagerkörper 17, 18 der Lagerelemente 7, 8 der Festlagerung 5 wirkenden Fliehkräfte auf. Ferner tritt durch die Erwärmung der Spindelwelle 4 ausgehend von den Lagerelementen 7, 8 und dem Antrieb 3 eine thermische Verschiebung der Spindelwelle 4 in axialer Richtung auf.

Durch den erfindungsgemäßen Wegsensor 19 wird eine unerwünschte Verschiebung der Spindelwelle 4 in Verschieberichtung 20 durch Messung des Abstandes zwischen dem Wegsensor 19 und einer Bezugsfläche 21 der Lagerbüchse 11 oder einem Außenring 25 z.B. des Lagerelements 10 der Loslagerung 6 ermittelt. Über die vom Wegsensor 19 ermittelte Annäherung der Bezugsfläche 21 an den Wegsensor 19 kann über ein an sich bekanntes Vorschubelement die gesamte Motorspindel 1 zur Kompensierung der ermittelten axialen Verlagerung der Spindelwelle 4 in Gegenrichtung 22 verschoben werden, so daß nach erfolgreicher Kompensierung keine Verlagerung der Werkzeugschnittstelle 16 auftritt.

Bei einer vom Wegsensor 19 festgestellten axialen Verlagerung der Spindelwelle 4 in Verschieberichtung 20 tritt auch eine Verschiebung der in der Spindelwelle 4 aufgenommenen und vom Kolbenelement 26 betätigten Zugstange 13 in Verschieberichtung 20 auf, wodurch die von einem weiteren Wegsensor 23 durch Abstandsmessung zu einer weiteren Bezugsfläche 24 festgestellte Position der Zugstange 13 fehlerhaft ermittelt wird. Durch die vom Wegsensor 19 ermittelte axiale Verschiebung kann die Positionsangabe des zweiten Wegsensors 23 in einem nicht abgebildeten und mit den Wegsensoren 19 und 23 verbundenen Steuerelement (z.B. einem Prozessor) z.B. durch Differenzbildung korrigiert und berichtigt werden. Hierdurch können die Position der Zugstange 13 und damit auch die Zustände des Spannsystems (Werkzeug gespannt, Werkzeug freigegeben, Werkzeug fehlerhaft gespannt, Werkzeug fehlt) genauer erfaßt werden.

In einer zweiten Ausgestaltung betrifft die Erfindung eine Motorspindel mit einer Spindelwelle zur Aufnahme eines Werkzeugs mit den weiteren Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 16. Ferner betrifft die Erfindung in der zweiten Ausgestaltung ein Verfahren zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse der Loslagerung einer Motorspindel mit einer Spindelwelle mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 27.

Als Stand der Technik ist zur zweiten Ausgestaltung aus der deutschen Patentanmeldung Az. 101 23 717.0 (Anmelder: Paul Müller GmbH & Co. KG Unternehmensbeteiligungen) eine Motorspindeln mit Werkzeugen bekannt, die zur Bearbeitung von Werkstücken insbesondere mit automatisiertem Werkzeug- oder Werkstückwechsel eingesetzt wird. Die Welle einer derartigen Motorspindel kann eine

Festlagerung und eine Loslagerung besitzen, wobei die Loslagerung in einer axial verschiebbaren Lagerbüchse aufgenommen sein kann.

Der Erfindung liegt in der zweiten Ausgestaltung die Aufgabe zugrunde, eine Motorspindel sowie ein Verfahren anzubieten, bei denen die Lagerung an unterschiedliche Betriebsbedingungen angepaßt werden kann.

Diese Aufgabe wird für die Motorspindel durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Motorspindel werden in den Unteransprüchen 17 – 26 beschrieben. Für das Verfahren wird die Aufgabe durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 27 beschrieben. Vorteilhafte Verfahrensvarianten finden sich in den Unteransprüchen 28 - 30.

Die erfindungsgemäße Motorspindel nach der zweiten Ausgestaltung der Erfindung besitzt ein Stellelement zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse und damit der Steifigkeit der Motorspindel. Die Steifigkeit einer Motorspindel ist ein Maß für die Belastbarkeit gegenüber auftretenden Reaktionskräften der Motorspindel bei der Werkstückbearbeitung. Generell ist bei der Bearbeitung des Werkstücks eine erhöhte Steifigkeit zur Erzielung geringer Bearbeitungstoleranzen wünschenswert. Beim Heranfahren der Motorspindel im Eilgang z.B. nach einem erfolgten Werkstückwechsel und einer Kontaktierung des Werkstücks durch das Werkzeug kann eine verminderte Steifigkeit zur Abdämpfung des Kontaktstoßes zwischen Werkzeug und Werkstück wünschenswert sein. Erfindungsgemäß dient das Stellelement zur jeweils günstigen Einstellung der Steifigkeit abhängig vom Betriebszustand der Motorspindel.

In einer ersten Ausführungsform kann das Stellelement einen Kolben aufweisen, wobei ein Zylinder zur Betätigung des Kolbens vorgesehen sein kann. Dabei kann das Stellelement auf die Lagerung der Motorspindel, insbesondere auf die Loslagerung, wirken und zur Erhöhung der Steifigkeit (Vorspannung) eine in axialer Richtung der Welle wirkende Gegenkraft in die Motorspindel einleiten. Bei Einleitung einer erhöhten Gegenkraft wird die Steifigkeit der Spindelwelle erhöht und bei Einleitung einer verminderter Gegenkraft die Steifigkeit vermindert, wie dies z.B. beim Werkstückwechsel von Vorteil sein kann.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann das Stellelement ein aufweitbares Ringelement aufweisen, das ebenfalls im Bereich der Loslagerung der Motorspindel angebracht sein kann. Bei Verwendung einer an sich bekannten Lagerbüchse zur Realisierung der Loslagerung kann die axiale Beweglichkeit der Lagerbüchse durch Reibungskräfte des Ringelements verändert werden. Je nach Aufweitungsgrad kann das Ringelement erhöhte oder verringerte Reibkräfte erzeugen, welche die axiale Bewegung der Lagerbüchse erleichtern oder erschweren, wodurch die axiale Steifigkeit (Vorspannung) der Motorspindel vermindert oder erhöht wird.
Das Stellelement kann auf an sich bekannte Art und Weise betätigt werden, also z.B. pneumatisch oder hydraulisch.

Um die Nebenzeiten beim Werkzeug- oder Werkstückwechsel zu vermindern, werden Vorschub und im Zusammenhang mit dem Werkstückwechsel stehende Bewegungen der Motorspindel in einem Eilgang mit erhöhter Geschwindigkeit ausgeführt. Wenn sich Werkzeug und Werkstück wieder im Eingriff befinden, muß ein Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit eingestellt werden.

Erfindungsgemäß wird nun angestrebt, einen möglichst großen Anteil der Nebenzeiten beim Werkstückwechsel im Eilgang durchzuführen und erst zu einem möglichst späten Zeitpunkt wieder auf den Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit umzustellen.

Hierzu besitzt die Motorspindel vorteilhafterweise einen Wegsensor zur Ermittlung des Zeitpunkts der Kontaktierung des Werkzeugs mit dem Werkstück. Nach einem erfolgten Werkzeug- oder Werkstückwechsel werden Werkzeug und Werkstück aneinander herangefahren, und zwar im Eilgang. Erst dann, wenn der erfindungsgemäße Wegsensor eine stoßartige Wegänderung der Welle und damit der Lagerbüchse feststellt, wird von der Motorspindel detektiert, daß das Werkzeug das Werkzeug kontaktiert hat und es wird vom Eilgang mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit auf den Arbeitsgang mit geringerer Vorschubgeschwindigkeit zur Bearbeitung des Werkstücks umgeschaltet. Der Wegsensor ermöglicht damit die Ermittlung des Umschaltzeitpunkts von Eilgang auf Arbeitsgang. Eine zu frühe Umstellung vom Eilgang auf den Arbeitsgang und eine damit verbundene unerwünschte Erhöhung der Nebenzeiten wird vermieden.
Vorteilhafterweise wird ein an sich bekanntes Vorschubelement, welches zur Ausrichtung und zur Vorschubbewegung (hin bzw. weg vom Werkstück) dient, verwendet. In diesem Vorschubelement kann mindestens ein Eilgang zur beschleunigten Bewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück und mindestens ein Arbeitsgang zur verlangsamten Bewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück eingestellt werden.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse der Loslagerung einer Motorspindel mit einer Spindelwelle wird die axiale Verschiebbarkeit der Lager-

büchse der Motorspindel zur Anpassung an unterschiedliche Betriebsbedingungen über ein Stellelement eingestellt.

Gemäß einer vorteilhaften Verfahrensvariante wird über einen Wegsensor beim Werkzeugwechsel der Zeitpunkt der Kontaktierung des Werkzeugs mit dem Werkstück erfaßt und dabei von einem Eilgang mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit auf einen Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit umgeschaltet.

Zur Steuerung der Vorschubbewegung des Werkzeugs wird über einen Wegsensor beim Werkzeugwechsel der Zeitpunkt der Kontaktierung des Werkzeugs mit dem Werkstück erfaßt und dabei von einem Eilgang mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit (nach dem Werkstückwechsel eingestellt wird) auf einen Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit umgeschaltet. Durch den Wegsensor wird der Zeitpunkt einer Umschaltung vom Eilvorschub auf den Arbeitsvorschub ermittelt, so daß eine zu frühe Umschaltung und damit eine unerwünschte Erhöhung der Nebenzeiten beim Werkzeugwechsel vermieden wird.
Vorteilhafterweise wird beim Heranfahren des (neuen) Werkzeugs an das zu bearbeitende Werkstück die Steifigkeit der Spindelwelle der Motorspindel vermindert, um ein schonendes Kontaktieren des Werkstücks durch das Werkzeug zu ermöglichen. Nach erfolgter Kontaktierung von Werkzeug und Werkstück kann die Steifigkeit zur Verringerung von Bearbeitungstoleranzen bei der Bearbeitung des Werkstücks wieder erhöht werden.

Erfindungsgemäß wird ferner eine Verwendung eines an sich bekannten Wegsensors in einer beschriebenen Maschinenspindel zur Erfassung des Zeitpunkts der Kontaktierung des Werkzeugs mit dem Werkstück vorgeschlagen um bei Kontaktierung von einem Eilgang

mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit (der während des bereits beschriebenen Werkzeug- oder Werkstückwechsels eingestellt wird) auf einen Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit umzuschalten.

Die zweite Ausgestaltung der Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den weiteren Zeichnungsfiguren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 2 eine Motorspindel im Längsschnitt mit einer ersten Ausführungsform eines Stellelements,

Fig. 3 eine Motorspindel im Längsschnitt mit einer zweiten Ausführungsform eines Stellelements sowie

Fig. 4 eine Motorspindel im Längsschnitt mit einer dritten Ausführungsform eines Stellelements.

Fig. 2 zeigt eine Motorspindel 27 im Längsschnitt mit einer Spindelwelle 28 und einem Gehäuse 29. Die Spindelwelle 28 wird über den an sich bekannten Antrieb 37 angetrieben. Ferner ist die Spindelwelle 28 in einer Festlagerung 30 und einer Loslagerung 31 im Gehäuse 29 aufgenommen. Dabei sind Festlagerung 30 und Loslagerung 31 über eine kraftbeaufschlagte Lagerbüchse 38 gegeneinander vorgespannt. Die Kraftbeaufschlagung der Lagerbüchse 38 kann durch ein Federelement 39, hydraulisch, pneumatisch und/oder magnetisch erfolgen. An der Spindelwelle 28 ist in einem schematisch dargestellten Spannsystem 40 das Werkzeug 32 (z.B. eine Topfschleifscheibe) aufgenommen, welche sich im Eingriff mit dem Werkstück 33 (z.B. einer Siliziumoberfläche) befindet.

Aus Fig. 2 geht ferner ein als Kolben 35 ausgebildetes Stellelement hervor. Der Kolben 35 ist in einem Zylinder 43 z.B. mit einer Flüssigkeit 44 aufgenommen. Durch Druckbeaufschlagung der Flüssigkeit 44 kann der Kolben 35 entgegen Richtung 41 verschoben werden, wobei über ein mit der Lagerbüchse 38 verbundenes Übertragungselement 45 des Kolbens 35 eine axiale Kraft entgegen Richtung 41 in die Lagerbüchse 38 und damit in die Loslagerung 31 der Motorspindel 27 eingeleitet wird. Hierdurch wird die axiale Steifigkeit (Vorspannung) der Motorspindel 27 erhöht.

Durch Druckabbau im Zylinder 43 kann in entgegengesetzter Wirkungsweise die axiale Steifigkeit der Motorspindel 27 für die bereits beschriebene Anwendungsfälle vermindert werden. Der Zylinder 43 kann über ein Ventil 46 mit einer allgemein dargestellten und an sich bekannten Steuerung 47 sowie einer Druckquelle 48 verbunden sein.

Fig. 3 zeigt ein Stellelement nach Fig. 1, wobei die Flüssigkeit 44 elektro- oder magnetorheologisch ist, und durch Beaufschlagung mit sich ändernden elektrischen oder magnetischen Feldern z.B. einer Spule 54 ihre Viskosität verändert. Der Zylinder 43 ist über eine Verbindung 52 mit einem Behälter 53 verbunden. Bei Änderung der Viskosität der Flüssigkeit 44 ändert sich deren Fließverhalten und damit die Verschiebbarkeit des Kolbens 35 und des Stellelements.

Beim Werkstückwechsel wird die Motorspindel 27 in Richtung 41 über das an sich bekannte Vorschubelement (nicht näher abgebildet) vom Werkstück 33 entfernt und es kann das Werkstück 33 entnommen und ein neues Werkstück 33 eingelegt werden. Danach wird die Motorspindel 27 entgegen Richtung 41 wieder in Richtung des Werkstücks 33 bewegt. Wenn die Kontaktierung des Werkzeugs 32 mit

dem neuen Werkstück 33 auftritt, also der in Fig. 2, 3 und 4 abgebildete Zustand, wird diese stoßartige Belastung der Spindelwelle 28 durch den Wegsensor 34 erfaßt.

Der Wegsensor 34 ermittelt eine stoßartige Belastung der Spindelwelle 28 in axialer Richtung (parallel zur Richtung 41). Dabei kann der Wegsensor 34 einen Abstand zu einer Bezugsfläche 42 der an sich bekannten Lagerbüchse 38 der Loslagerung 31 überwachen. Nach Detektion der stoßartigen Belastung der Spindelwelle 28 in axialer Richtung 41 wird der Vorschub der Motorspindel 27 entgegen Richtung 41 vom Eilgang auf den Arbeitsgang umgeschaltet. Der Wegsensor 34 ist hierbei auf an sich bekannte und nicht näher abgebildete Weise mit einem Element zur Steuerung des Vorschubelements verbunden.

Fig. 4 zeigt eine weitere alternative Realisierung des Stellelements als aufweitbares (elastisches) Ringelement 36, welches umlaufend eine Innenfläche 49 des Gehäuses 29 der Motorspindel 27 kontaktiert.

Der Wegsensor 34 ist dabei nicht näher abgebildet, kann jedoch analog zur Ausführungsform nach Fig. 2 vorgesehen sein. Ferner ist das Ringelement 36 in der Lagerbüchse 38 aufgenommen und wird über eine Zuführung 50 derart druckbeaufschlagt, daß eine Aufweitung des Ringelements 36 in Richtung 41 stattfindet, wodurch das Ringelement 36 an die Innenfläche 49 angepreßt wird und damit zwischen Innenfläche 49 und Ringelement 36 Reibkräfte auftreten, welche ein Verschieben der Lagerbüchse 38 in oder entgegen Richtung 51 erschweren.

Bei Druckabbau in der Zuführung 50 über eine Steuerung 47 sowie einer Druckquelle 48 vermindern sich die Reibkräfte zwischen Ringelement 36 und Innenfläche 49. Damit kann sich die Lagerbüchse 38 leichter bewegen.

BEZUGSZEICHEN

1	Motorspindel	32	Werkzeug
2	Spindelgehäuse	33	Werkstück
3	Antrieb	34	Wegsensor
4	Spindelwelle	35	Kolben
5	Festlagerung	36	Ringelement
6	Loslagerung	37	Antrieb
7,8,9,10	Lagerelement	38	Lagerbüchse
11	Lagerbüchse	39	Federelement
12	Federelement	40	Spannsystem
13	Zugstange	41	Richtung
14	Werkzeug	42	Bezugsfläche
15	Werkstück	43	Zylinder
16	Werkzeugschnittstelle	44	Flüssigkeit
17,18	Lagerkörper	45	Übertragungselement
19	Wegsensor	46	Ventil
20	Verschieberichtung	47	Steuerung
21	Bezugsfläche	48	Druckquelle
22	Gegenrichtung	49	Innenfläche
23	Wegsensor	50	Zuführung
24	Bezugsfläche	51	Richtung
25	Außenring	52	Verbindung
26	Kolbenelement	53	Behälter
27	Motorspindel	54	Spule
28	Spindelwelle		
29	Gehäuse		
30	Festlagerung		
31	Loslagerung		

PATENTANSPRÜCHE

1. Motorspindel mit einer Spindelwelle zur Aufnahme eines Werkzeugs, wobei die Spindelwelle im Gehäuse der Motorspindel in einer Festlagerung und einer Loslagerung aufgenommen ist und wobei das aufgenommene Werkzeug das bearbeitete Werkstück bei angetriebener Spindelwelle an einer Werkzeugschnittstelle kontaktiert und die Werkzeugschnittstelle bei der Werkstückbearbeitung eine Verlagerung in axialer Richtung der Spindelwelle erfährt,
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Wegsensor (19) an der Spindellagerung zur Ermittlung der axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle (16) vorgesehen ist.

2. Motorspindel nach Anspruch 1,
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) zur Erfassung der axialen Position der Loslagerung (6) vorgesehen ist.

3. Motorspindel nach Anspruch 2,
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) zur Erfassung der axialen Position eines Außenrings (25) der Loslagerung (6) vorgesehen ist.

4. Motorspindel nach Anspruch 3,
   d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) zur Erfassung der axialen Position einer Lagerbüchse (11) eines Außenrings (25) der Loslagerung (6) vorgesehen ist.

5. Motorspindel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) als Berührungssensor ausgebildet ist.

6. Motorspindel nach einem der Ansprüche 1 – 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) als berührungsloser Sensor ausgebildet ist.

7. Motorspindel nach Anspruch 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Wegsensor (19) als induktiver, kapazitiver, optischer oder Wirbelstrom-Sensor ausgebildet ist.

8. Motorspindel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Steuerelement zur Aufnahme der vom Wegsensor (19) erfaßten axialen Verlagerung vorgesehen ist.

9. Motorspindel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Vorschubelement zur axialen Verschiebung der Motorspindel (1) zur Kompensierung der ermittelten axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle (16) vorgesehen ist.

10. Motorspindel nach Anspruch 8 oder 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Vorschubelement zum Datenaustausch mit dem Steuerelement verbunden ist.

11. Verfahren zum Verschieben einer Motorspindel mit einer Spindelwelle zur Aufnahme eines Werkzeugs, insbesondere einer Motorspindel nach einem der Ansprüche 1 – 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß eine Verschiebung der Motorspindel zur Kompensierung einer ermittelten axialen Verlagerung einer Werkzeugschnittstelle der Motorspindel erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei Auftreten einer sprunghaften und erheblichen axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle eine Störungsmeldung angezeigt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß mit der ermittelten axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle die gemessene Position der Zugstange eines Werkzeugspanners der Motorspindel korrigiert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 - 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß neben der axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle die Position der Zugstange eines Werkzeugspanners der Motorspindel korrigiert wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 – 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß beim Anfahren der Motorspindel ein RESET-Lauf bei kleinstmöglicher Drehzahl durchgeführt wird um das Klemmen der Lagerkörper in der Festlagerung und Loslagerung während der Abkühlung aufzuheben und den Referenzpunkt für den Wegsensor zur Erfas-

Erfassung der axialen Verlagerung der Werkzeugschnittstelle zu bestimmen.

16. Motorspindel mit einer Spindelwelle zur Aufnahme eines Werkzeugs, wobei die Spindelwelle im Gehäuse der Motorspindel in einer Festlagerung und einer Loslagerung mit einer axial verschiebbaren Lagerbüchse aufgenommen ist und das aufgenommene Werkzeug das bearbeitete Werkstück bei angetriebener Spindelwelle an einer Werkzeugschnittstelle kontaktiert,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Stellelement zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse (38) der Motorspindel (27) vorgesehen ist.

17. Motorspindel nach Anspruch 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Stellelement einen Kolben (35) aufweist.

18. Motorspindel nach Anspruch 16 oder 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Zylinder (43) zur Betätigung des Kolben (35) vorgesehen ist.

19. Motorspindel nach Anspruch 17 oder 18
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Zylinder (43) mit einer elektrorheologischen oder magnetorheologischen Flüssigkeit (44) gefüllt ist.

20. Motorspindel nach Anspruch 19,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß eine Spule (54) zur Veränderung der Viskosität der Flüssigkeit (44) vorgesehen ist.

21. Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Stellelement ein aufweitbares Ringelement (36) aufweist.

22. Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 21,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Stellelement pneumatisch betätigbar ist.

23. Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 22,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Stellelement hydraulisch betätigbar ist.

24. Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 23,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Vorschubelement zur Erzeugung einer relativen Bewegung zwischen dem Werkzeug (32) und dem bearbeiteten Werkstück (33) vorgesehen ist.

25. Motorspindel nach Anspruch 24,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Vorschubelement mindestens einen Eilgang zur beschleunigten Bewegung des Werkzeugs (32) gegenüber dem Werkstück (33) und mindestens einen Arbeitsgang zur verlangsamten Bewegung des Werkzeugs (32) gegenüber dem Werkstück (33) aufweist.

26. Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 24,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Wegsensor (34) zur Ermittlung des Zeitpunktes der Kontaktierung des Werkzeugs (32) mit dem Werkstück (33) bei einem Werkzeugwechsel vorgesehen ist.

27. Verfahren zur Einstellung der axialen Verschiebbarkeit der Lagerbüchse der Loslagerung einer Motorspindel mit einer Spindelwelle, insbesondere einer Motorspindel nach einem der Ansprüche 16 - 26,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, die axiale Verschiebbarkeit der Lagerbüchse der Motorspindel über ein Stellelement eingestellt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß über einen Wegsensor beim Werkzeugwechsel der Zeitpunkt der Kontaktierung des Werkzeugs mit dem Werkstück erfaßt und dabei von einem Eilgang mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit auf einen Arbeitsgang mit verminderter Vorschubgeschwindigkeit umgeschaltet wird.

29. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß während des Heranfahrens des Werkzeugs an das Werkstück in einem Eilgang die Steifigkeit der Spindelwelle der Motorspindel vermindert wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 - 29,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Steifigkeit der Spindelwelle der Motorspindel bei Kontaktierung des herangefahrenen Werkzeugs mit dem Werkstück erhöht wird.

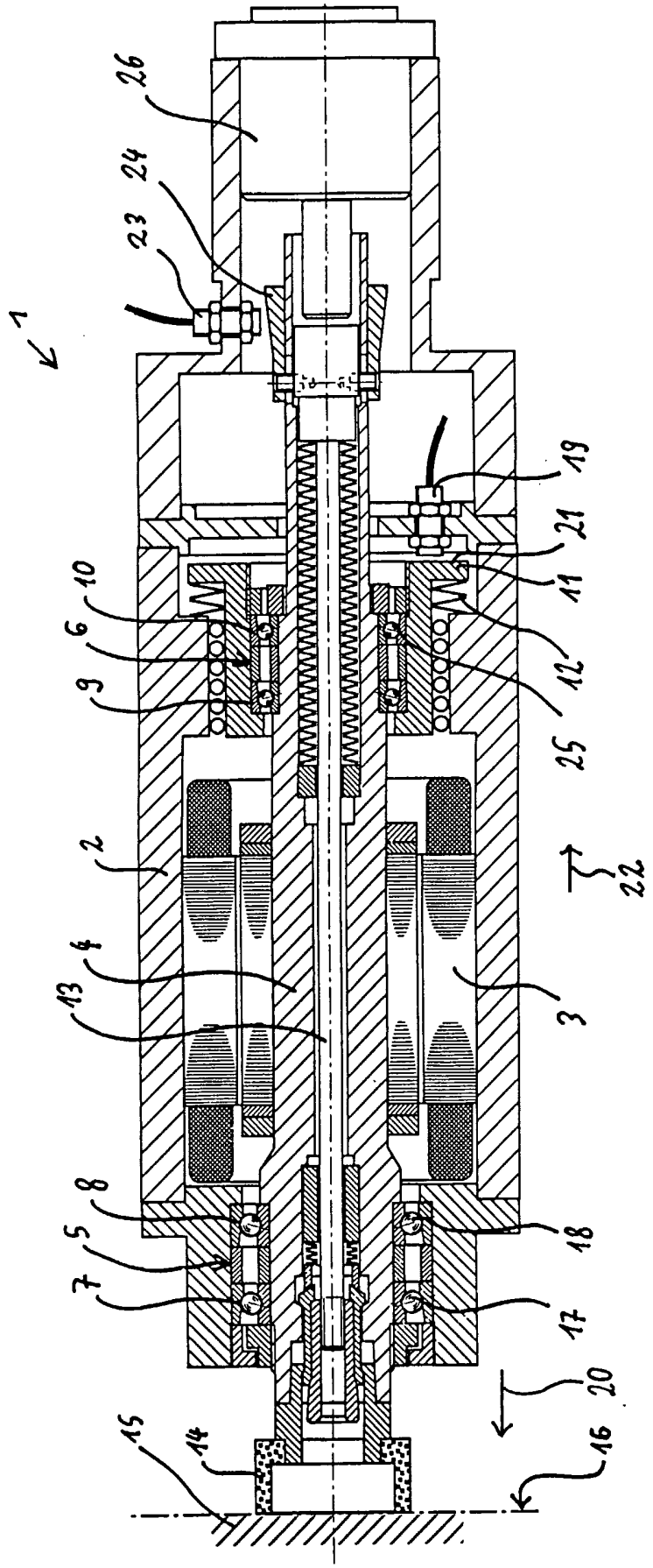


FIG 1

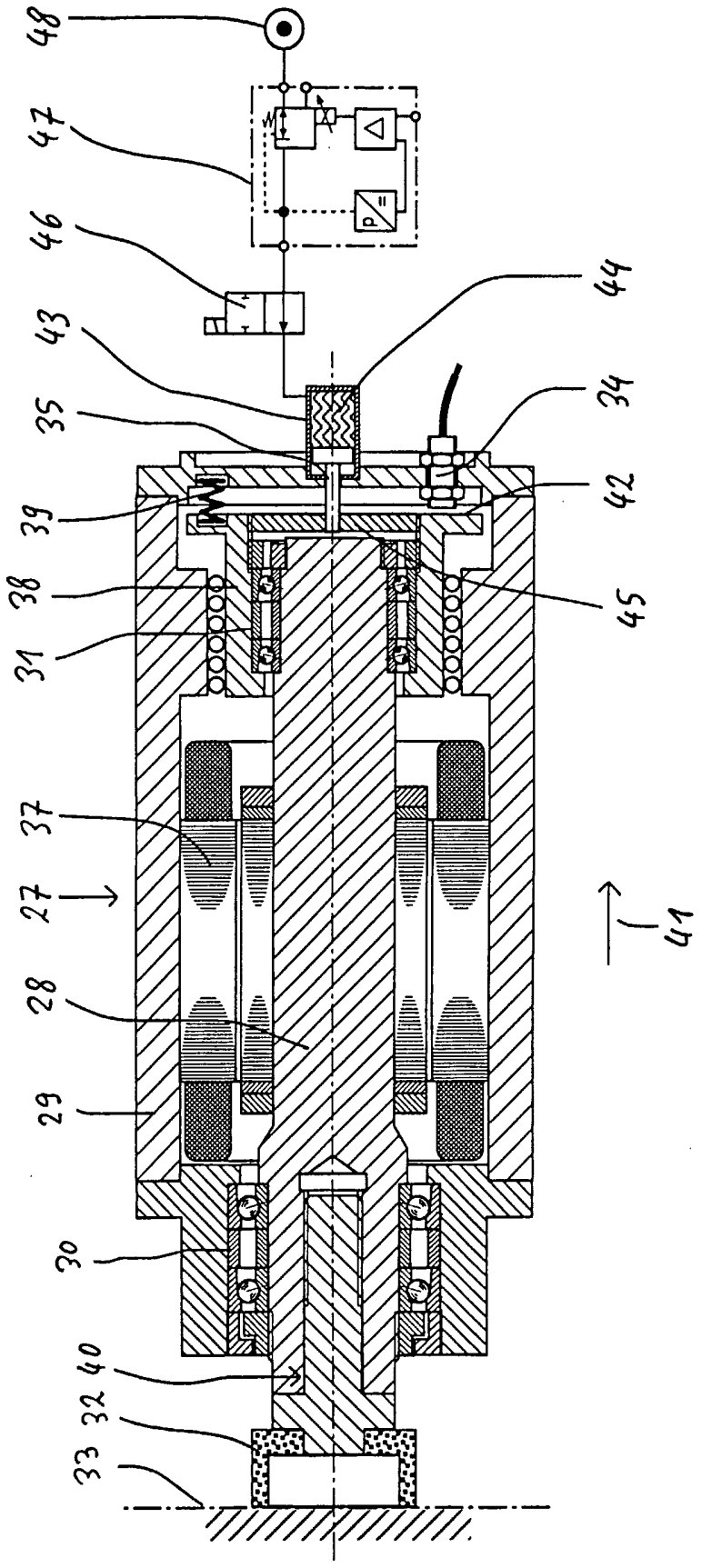


FIG 2

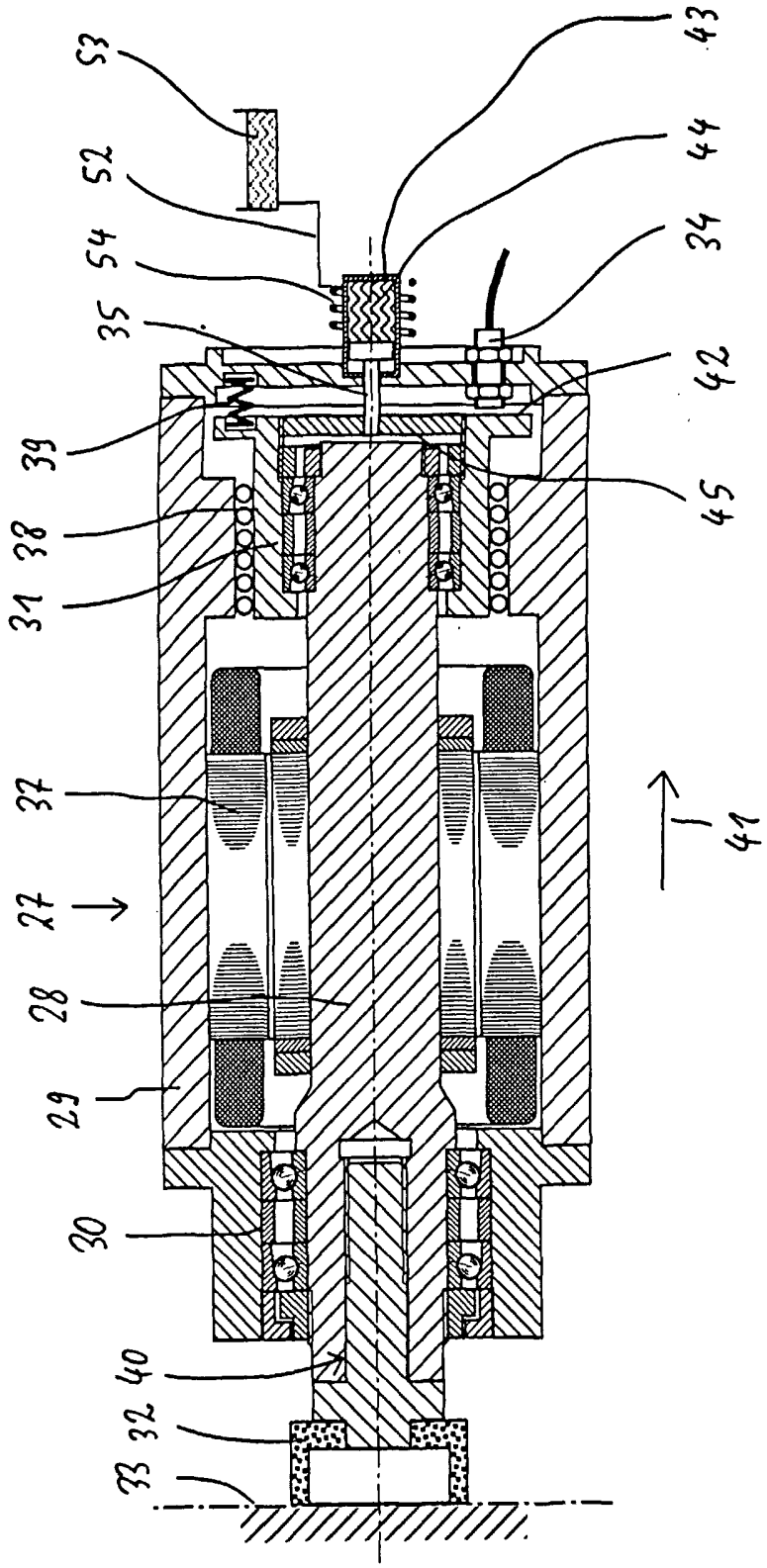


FIG 3

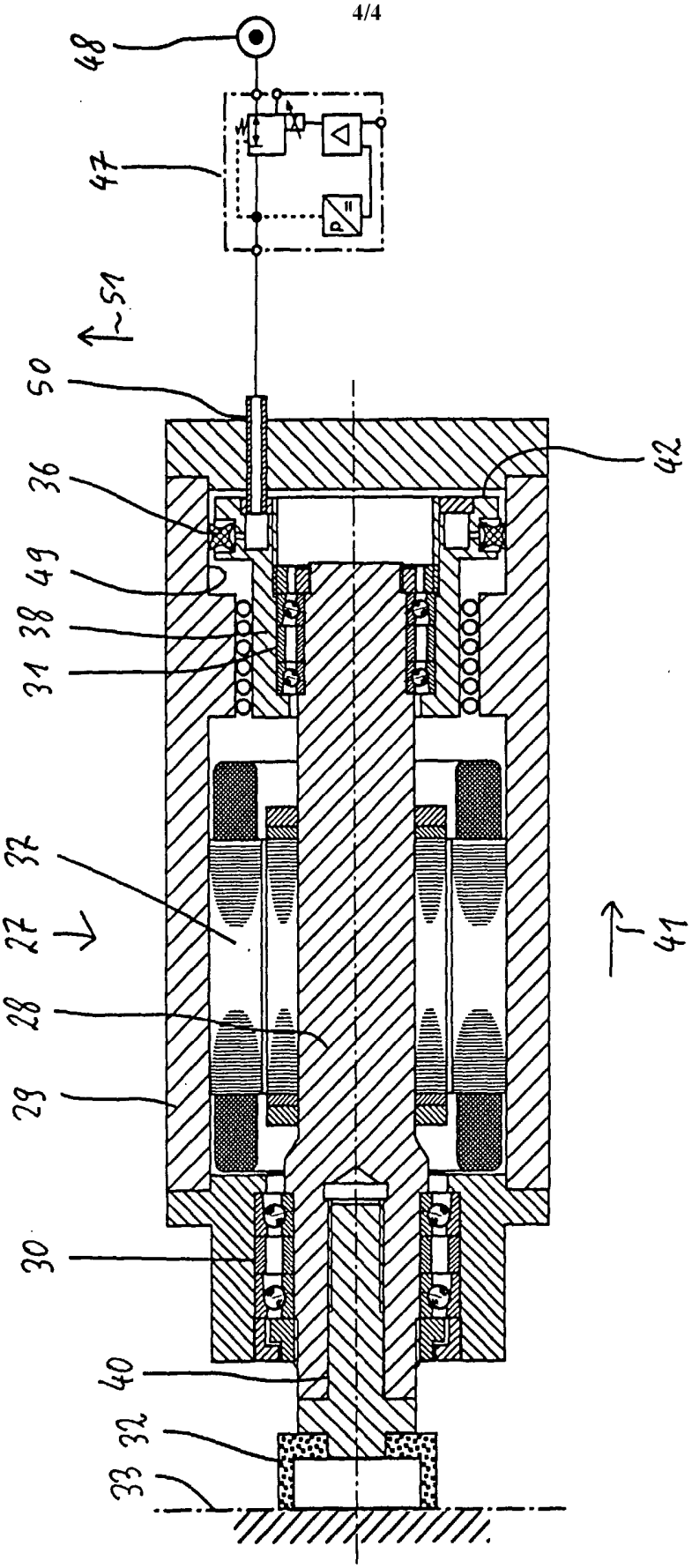


FIG 4