

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50188/2017
(22) Anmeldetag: 10.03.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2018

(51) Int. Cl.: **F16C 33/74** (2006.01)
G01M 13/04 (2006.01)
G01M 3/26 (2006.01)
G01B 7/14 (2006.01)
G01B 13/12 (2006.01)
G11B 19/20 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 10301429 A1
US 6119348 A
JP 2008064640 A
JP H0310139 A
AT 5225 U1

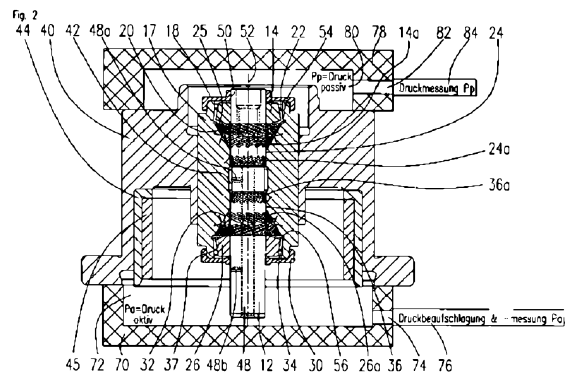
(73) Patentinhaber:
MINEBEA MITSUMI Inc.
389-0293 Nagano (JP)

(72) Erfinder:
Löhr Markus
78086 Brigachthal (DE)
Vogtel Stefan
78083 Dauchingen (DE)

(74) Vertreter:
Gibler & Poth Patentanwälte KG
1010 Wien (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR MESSUNG DER DIFFERENZDRUCKFESTIGKEIT EINES FLUIDDYNAMISCHEN LAGERSYSTEMS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems mit mindestens einem mit einem Lagerfluid gefüllten Lagerspalt (20, 32) mit mindestens zwei Öffnungen (22, 34), wobei das Verfahren die Schritte aufweist: Verbinden einer ersten Öffnung (34) des Lagerspalts (20) mit einer ersten aktiven Kammer (72), wobei in der ersten aktiven Kammer (72) ein Druck (P_a) herrscht, Verbinden einer zweiten Öffnung (22) des Lagerspalts (20) mit einer zweiten passiven Kammer (80), wobei in der zweiten passiven Kammer (80) ein Druck (P_p) herrscht, Erhöhen und Messen des Drucks (P_a) in der ersten aktiven Kammer (72), wiederholtes Messen des Drucks (P_p) in der zweiten passiven Kammer (80), wobei, sobald ein Ansteigen des Drucks (P_p) in der zweiten passiven Kammer (80) erfasst wird, ein Differenzdruck (P_d) = (P_a) - (P_p) ermittelt wird, der einem Lagerwiderstandsdruck (P_L) entspricht.



Beschreibung

VERFAHREN ZUR MESSUNG DER DIFFERENZDRUCKFESTIGKEIT EINES FLUIDDYNAMISCHEN LAGERSYSTEMS

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit eines fluidodynamischen Lagersystems, wie es beispielsweise zur Drehlagerung eines Spindelmotors verwendet wird.

[0002] Spindelmotoren mit fluiddynamischem Lagersystem werden beispielsweise zum Antrieb von Festplattenlaufwerken und Lüftern eingesetzt und umfassen ein feststehendes Motorbauteil und ein rotierendes Motorbauteil, die mittels des fluiddynamischen Lagersystems relativ zueinander drehbar gelagert sind. Das fluiddynamische Lagersystem weist einen mit einem Lagerfluid gefüllten Lagerspalt auf. Je nach Bauweise des fluiddynamischen Lagersystems umfasst der Lagerspalt mehrere offene Enden, die beispielsweise durch kapillare Dichtungsspalte abgedichtet sind, wobei ein Ende der Dichtungsspalte direkt oder indirekt mit der Umgebungsatmosphäre verbunden ist.

[0003] Die DE 10 2012 020 866 A1 offenbart Spindelmotoren mit verschiedenen Arten von fluiddynamischen Lagern. Die Figuren 1, 2 und 4 zeigen fluiddynamische Lager mit fluiddynamischen Radiallagern und Axiallagern, während in Fig. 3 ein fluiddynamisches konisches Lager dargestellt ist. Die hier gezeigten fluiddynamischen Lagersysteme haben alle einen mit einem Lagerfluid gefüllten Lagerspalt, der durch mindestens einen kapillaren Dichtungsspalt abgedichtet ist, wobei der Dichtungsspalt eine Öffnung aufweist, die direkt oder indirekt mit der Umgebungsatmosphäre verbunden ist.

[0004] Nachdem der Spindelmotor fertig montiert ist, muss er sorgfältig gereinigt werden, um insbesondere feinste Metallpartikel, sonstige Schmutzpartikel oder anderweitige Kontaminationen wie Öl- oder Fettrückstände zu entfernen, die bei der Montage oder durch Abrieb an den Motorbauteilen entstehen können. Die Reinigung erfolgt unter anderem mittels eines gasförmigen, flüssigen oder festen Reinigungsmediums, das in Form eines Reinigungsstrahls auf den Spindelmotor einwirkt. Geeignete Verfahren sind beispielsweise Druckluftstrahlverfahren, Trockeneisstrahlen oder CO₂-Schneestrahlen, bei dem als Strahlmittel flüssiges Kohlenstoffdioxid eingesetzt wird.

[0005] Bei der Reinigung muss vermieden werden, dass das Reinigungsmedium unter zu hohem Druck auf das Lagersystem einwirkt. Es besteht ansonsten die Gefahr, dass sich zwischen den Öffnungen des Lagerspalts bzw. den Öffnungen der den Lagerspalt abdichtenden kapillaren Dichtungsspalte zu große Druckunterschiede bilden, so dass das Lagerfluid aus dem Lagerspalt herausbefördert wird und dadurch das Lager unbrauchbar wird.

Die sogenannte Differenzdruckfestigkeit eines Lagersystems ist ein Maß für die Höhe des Druckunterschieds, der zwischen bestimmten Öffnungen des Lagerspalts eines Lagersystems höchstens auftreten darf.

[0006] Je größer die Differenzdruckfestigkeit des Lagersystems ist, desto größer können der Reinigungsdruck und/oder die Einwirkzeit des Reinigungsmediums gewählt werden, ohne dass dies schädliche Auswirkungen auf das Lagersystem hat.

[0007] Während des Reinigungsvorgangs kann das gasförmige Reinigungsmedium, beispielsweise Druckluft oder CO₂, auch in den Lagerspalt eindringen und sich in Form von kleinen Gasbläschen im Lagerfluid anreichern. Gaseinschlüsse im Lagerfluid können die Lagerfunktion beeinträchtigen und das Lager beschädigen.

[0008] Zum Ermitteln der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems mit einem Lagerspalt mit mindestens zwei Öffnungen kann beispielsweise eine Vorrichtung eingesetzt werden, die eine abgeschlossene Druckkammer aufweist, in welche eine Öffnung des Lagerspalts mündet. Das Lagersystem ist mit Lagerfluid gefüllt. In dieser Druckkammer wird der Druck aktiv erhöht. Dabei wird die andere Öffnung des Lagerspalts, die sich außerhalb der

Druckkammer befindet, visuell beobachtet und ein Ansteigen/Auslaufen/Überlaufen des Lagerfluids oder eine Bewegung des Oberflächenmeniskus des Lagerfluids, beispielsweise aufgrund von Luftblasen, die durch das Lager entweichen, als ein Bewertungskriterium für die Differenzdruckfestigkeit (Lagerwiderstand) herangezogen.

[0009] Alternativ kann der Druckabfall in der Kammer gemessen werden, z. B. wenn der Druck mit einer Wassersäule erzeugt wird. Sinkt das Niveau der Wassersäule ab, dann fließt Luft von der Druckkammer durch den Lagerspalt, und der Druck in der Druckkammer sinkt.

[0010] Das manuelle Beobachten der Reaktion des Lagerfluids gelingt nur, wenn die Öffnung des Lagerspalts visuell zugänglich ist. Eine Automatisierung der Erfassung und Auswertung ist kaum möglich. Die Messung des Druckabfalls mittels Wassersäule ist ebenfalls nur schwer zu automatisieren.

[0011] Eine andere Möglichkeit, den Druck zu messen, der bei einem üblichen Reinigungsvorgang an einer der Öffnungen des Lagerspalts des fluiddynamischen Lagersystems anliegt, ist die Verwendung eines Drucksensors, der in den Lagerspalt oder eine Öffnung des Lagerspalts eingesetzt wird. In der Praxis wird der Drucksensor nicht direkt in das Lager eingesetzt, sondern über ein Röhrchen oder einen Schlauch mit der Spaltöffnung verbunden. Das zu vermessende Lager wird dabei ohne Lagerfluid aufgebaut. Je nach Anwendungsfall müssen verschiedene Lageröffnungen luftdicht verschlossen werden, so dass der im Lagerspalt auftretende Druck auf den Drucksensor wirkt.

[0012] Bisher wurde immer nur ein Sensor an einer definierten Stelle des Lagerspalts eingesetzt und die anderen Lageröffnungen so verschlossen, dass ein bestimmter Druck ermittelt werden kann. In der Regel wird der Sensor in einem "Sackloch" befestigt, in welchem dann der bei der Beaufschlagung mit dem Reinigungsmedium auftretende maximale Druck gemessen wird, der auch auf das in den Motor eingefüllte Lagerfluid wirken würde.

[0013] Die JP 2008 064 640 A zeigt eine Vorrichtung zur Messung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems, mit mindestens einem mit einem Lagerfluid gefüllten Lagerspalt mit mindestens zwei Öffnungen. Hierbei werden die in dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten Verfahrensschritte durchgeführt.

[0014] Die JPH 0310139 A zeigt eine zu der JP 2008 064 640 A ähnliche Messanlage. Um den Zustand von Lagern zu bestimmen, wird Luft mit hohem Druck in das Schmiersystem eingeleitet.

[0015] In der AT 5225 U1 wird ein zur JPH 0310139 A ähnliches Messverfahren beschrieben, wobei ein Unterschied darin besteht, dass der Luftdruck vor dem fluiddynamischen Lager gemessen wird.

[0016] Es ist die Aufgabe der Erfindung, Verfahren zur Prüfung und Bestimmung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagers anzugeben, die einfach und zuverlässig arbeiten.

[0017] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0018] Bevorzugte Ausgestaltungen und weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0019] Es hat sich herausgestellt, dass in erster Linie die Ausströmgeschwindigkeit des Reinigungsmediums und damit der auf den Spindelmotor wirkende statische und dynamische Druck sowie die Anwendungs- oder Einwirkzeit (t) dieses Drucks ausschlaggebend dafür sind, wie groß der Differenzdruck an dem fluiddynamischen Lager ist. Ist der auftretende Differenzdruck größer als die Differenzdruckfestigkeit des Lagersystems, kann Lagerfluid aus dem Lagerspalt des fluiddynamischen Lagers des Spindelmotors herausgedrückt werden und/oder gasförmige Bestandteile des Reinigungsmediums können sich im Lagerfluid anreichern bzw. lösen.

[0020] Die Beweglichkeit des Lagerfluids, d. h. dessen Viskosität, spielt ebenfalls eine Rolle für die Differenzdruckfestigkeit des Lagersystems. Je dickflüssiger das Lagerfluid ist, d. h. je größer

dessen Viskosität ist, desto geringer ist die Gefahr, dass Lagerfluid aus dem Lagerspalt austritt oder sich gasförmiges Reinigungsmedium im Lagerfluid löst.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist das zu prüfende fluiddynamische Lager fertig aufgebaut und der Lagerspalt mit Lagerfluid gefüllt. Das fluiddynamische Lagersystem kann bereits in einen vorgesehenen Spindelmotor eingebaut sein. Erfindungsgemäß wird eine erste aktive, mit Druck beaufschlagbare Kammer verwendet, die mit einer ersten Lageröffnung des Lagerspalts verbunden ist, und eine zweite passive Kammer, die mit einer zweiten Lageröffnung des Lagerspalts verbunden ist. Die erste aktive Kammer wird mit einem Druck (P_a) beaufschlagt und der angelegte Druck gemessen. Der in der zweiten passiven Kammer vorherrschende Druck (P_p) wird stetig gemessen, und es wird ermittelt, ab welchem Differenzdruck (P_d) der Widerstand des Fluidlagers überwunden ist und Luft aus der mit dem Druck (P_a) beaufschlagten ersten aktiven Kammer durch den Lagerspalt hindurch in die zweite passive Kammer gelangt. Sobald in der zweiten passiven Kammer eine Erhöhung des Drucks (P_p) ermittelt wird, ist der sogenannte Lagerwiderstandsdruck (P_L) erreicht und es strömt Luft durch den Lagerspalt des Lagers.

[0022] Im Idealfall ist die passive zweite Kammer luftdicht geschlossen und vorzugsweise im Volumen möglichst klein gehalten. Sobald Luft von der ersten aktiven Kammer durch den Lagerspalt strömt, kann ein Ansteigen des Druck (P_p) in der passiven Kammer beobachtet werden.

[0023] Ein Anstieg des Drucks (P_p) in der passiven Kammer aufgrund der Luftströmung durch den Lagerspalt wirkt jedoch entgegen dem von der aktiven Kammer aufgebrauchten Druck (P_a), so dass sich bei einem bestimmten Differenzdruck zwischen den beiden Kammern das Lager wieder "verschließt" und durch den Lagerspalt keine weitere Luft in die passive Kammer nachströmt. Hierbei wirkt das fluiddynamische Lager wie ein Druckausgleichsventil. Erhöht man den Druck (P_a) in der aktiven Kammer abermals, öffnet das Lager wieder, und Luft fließt in die passive Kammer, der Druck (P_p) in der passiven Kammer steigt erneut, bis der Gegendruck erreicht ist, welcher dem aktiv aufgebrauchten Druck (P_a) minus dem Lagerwiderstandsdruck (P_L) entspricht. Somit kann man unabhängig vom dem in der aktiven Kammer angelegten Druck (P_a) den Lagerwiderstandsdruck (P_L) ermitteln, indem man den Differenzdruck (P_d) = (P_L) = (P_a) - (P_p) berechnet.

[0024] (P_a) = Druck in der aktiven Kammer = aufgebrauchter Druck (Prüfdruck)
(P_p) = Druck in der passiven Kammer
(P_d) = Differenzdruck = (P_a) - (P_p)
(P_L) = Lagerwiderstandsdruck (= Differenzdruck (P_d), ab welchem Luft durch das Lager strömt)

[0025] Bei luftdichter passiver Kammer und statischem Zustand gilt:
(P_L) = (P_a) - (P_p)

[0026] Wegen des sich aufbauenden Gegendrucks (P_p) in der passiven Kammer ist bei entsprechend langsamer Druckbeaufschlagung das Lager direkt gegen ein Auslaufen des Lagerfluids geschützt, da sich ein Differenzdruck (P_d) zwischen den Kammern aufbaut, der gerade noch ein Auslaufen verhindert. Voraussetzung hierfür ist, dass bei Überschreiten des Lagerwiderstandsdrucks (P_L) Luft durch das Lager von der aktiven Kammer in die passive Kammer strömen kann. Es ist ferner eine automatische Abschaltung der Druckbeaufschlagung der aktiven Kammer möglich, wenn eine Erhöhung des Drucks (P_p) in der passiven Kammer detektiert wird.

[0027] Gemäß einer Variante der ersten Ausgestaltung der Erfindung kann man eine passive zweite Kammer verwenden, die ein Entweichen der Luft ermöglicht oder die nicht vollkommen abgedichtet ist. Es lässt sich der Lagerwiderstandsdruck (P_L) ermitteln, ab welchem die Luft erstmals durch das Lager strömt. Dies geschieht, sobald eine Erhöhung des Drucks (P_p) in der passiven Kammer gemessen wird. Aufgrund der Undichtigkeiten in der passiven Kammer gilt die obige Formel dann jedoch nicht mehr, da die passive Kammer ständig Druck verliert.

[0028] Bei dieser Variante kann als Druckaufbringung in der aktiven Kammer ein Regelventil dienen, welches mit einer Druckluftquelle verbunden ist und ständig Luft in die aktive Kammer nachfördert. Dadurch ist nicht erforderlich, dass die aktive Kammer vollkommen luftdicht ausgeführt ist. Das ermöglicht eine einfache Fertigung und einen einfachen Prüfprozess.

[0029] Wenn die aktive Kammer luftdicht verschlossen ist, kann statt der passiven Kammer auch ein Strömungssensor an der aktiven Seite verwendet werden, der den Luftstrom durch das Lager misst. Alternativ zu einem Strömungssensor könnte auch das Regelverhalten des Einlassventils der aktiven Kammer ausgewertet werden, um einen Anstieg des Luftstroms zu erkennen.

[0030] Gemäß einer nicht unter den Schutzbereich fallende Ausgestaltung ist das fluiddynamische Lager bzw. der Spindelmotor fertig aufgebaut und der Lagerspalt nicht mit Lagerfluid gefüllt.

[0031] Es wird ein Verfahren und ein entsprechender Aufbau eines Messinstrumentes mit mindestens zwei Drucksensoren oder einem Differenzdrucksensor vorgeschlagen. Die Drucksensoren werden an den Öffnungen des Lagerspalts vorzugsweise dort eingebracht, wo sich im befüllten Lagersystem die beiden Menisken des Lagerfluids im Lagerspalt befinden würden. Der Lagerspalt (ohne Lagerfluid) wird zwischen den Drucksensoren luftdicht verschlossen, z. B. verklebt. Das Lagersystem bzw. der Spindelmotor wird nun einer üblichen Reinigungsprozedur unterzogen, wie sie bei der Serienfertigung durchgeführt wird. Als Reinigungsmedium kann ein gasförmiges und/oder flüssiges und/oder festes Reinigungsmedium verwendet werden, das unter Druck mit einer entsprechenden Auftreffgeschwindigkeit auf die Flächen des Spindel Motors aufgebracht wird. Hierbei werden bekannte Reinigungsverfahren, wie beispielsweise Druckluftstrahlverfahren, Trockeneisstrahlen oder CO₂-Schneestrahlen, bevorzugt. Es kann sowohl der auf das Lagersystem einwirkende Druck des Reinigungsmediums, d. h. dessen Ausströmgeschwindigkeit, als auch die Reinigungszeit gesteuert werden. Durch den Druck des Reinigungsmediums treten an den verschiedenen Öffnungen des Lagers (Lagerspalts) unterschiedliche Drücke auf, da das Reinigungsmedium nicht gleichmäßig von allen Seiten auf das Lagersystem einwirkt. Dadurch ergibt sich ein Differenzdruck zwischen den Öffnungen des Lagerspalts, durch welchen Lagerfluid aus dem Lagerspalt herausgedrückt werden kann. Um ein Austreten von Lagerfluid aus dem Lagerspalt zu vermeiden, ist es notwendig, den maximal erlaubten Differenzdruck festzustellen, um den Druck des Reinigungsmediums derart einstellen zu können, dass der maximale Differenzdruck und/oder die erlaubte Einwirkzeit des Reinigungsmediums nicht überschritten wird.

[0032] Während der Reinigungsprozedur wird nun der an den Drucksensoren anliegende Druck gemessen und jeweils der Differenzdruck zwischen zwei Drücken gebildet. Bei Verwendung von zwei Absolutdrucksensoren wird die Differenz der beiden Messwerte gebildet, um den Differenzdruck zu erhalten. Bei Verwendung eines Differenzdrucksensors erhält man unmittelbar den Differenzdruck zwischen den Öffnungen des Lagerspalts.

[0033] Als Ergebnis erhält man den tatsächlichen Differenzdruck zwischen den jeweiligen Öffnungen des Lagerspalts, welcher auch bei der Reinigung eines realen Motors anliegen würde, unabhängig davon, ob ein statischer oder dynamischer Druck anliegt.

[0034] Bei Spindelmotoren mit mehr als zwei Öffnungen des Lagerspalts oder zwei separaten fluiddynamischen Lagersystemen kann man entsprechend mehrere Drucksensoren verwenden oder die nicht mit Drucksensoren versehenen Öffnungen verschließen. Bei fluiddynamischen Lagersystemen mit zwei oder mehr unabhängigen Fluidlagern kann man drei oder mehr Drucksensoren verwenden, um die im Lagersystem auftretenden Drücke gleichzeitig zu messen.

[0035] Ziel ist es zu ermitteln, welcher Druck auf ein Lager einwirken darf, bevor das Lagerfluid aus dem Lagerspalt aufgrund eines Differenzdrucks zwischen den Lageröffnungen austritt. Zum Einstellen von Reinigungsmaschinen (CO₂-Reinigung, Luftgebläsen, Vakuum-Vorrichtungen etc. liefert dieses Verfahren einen guten Ausgangswert für die zulässige Druckbeaufschlagung des Lagers des Spindel Motors.

[0036] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele.

[0037] Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch eine nicht unter den Schutzbereich fallende Ausführungsform einer Anordnung zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems zur Drehlagerung eines Spindelmotors.

[0038] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch eine zweite bevorzugte Ausführungsform einer Anordnung zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems zur Drehlagerung eines Spindelmotors.

[0039] Die Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch eine nicht unter den Schutzbereich fallende Ausführungsform einer Anordnung zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems zur Drehlagerung eines Spindelmotors. Das fluiddynamische Lagersystem des Spindelmotors besteht hier aus zwei separaten fluiddynamischen konischen Lagern.

[0040] Der Spindelmotor umfasst eine Basisplatte 10 als tragende Struktur, in welcher eine feststehende Welle 12 angeordnet ist, so dass sie größtenteils über die Oberfläche der Basisplatte hinausragt. Die Welle 12 bildet zusammen mit zwei Lagerkonussen 14, 26 das feststehende Bauteil des Lagersystems. Die Lagerkonusse 14, 26 sind in einem axialen Abstand auf der Welle 12 angeordnet und mit dieser fest verbunden. Die Lagerkonusse 14, 26 haben einander zugewandte in einem Winkel zur Drehachse 52 verlaufende konische Lagerflächen.

[0041] Dem ersten Lagerkonus 14 ist eine erste Lagerbuchse 16 zugeordnet, welche eine teilweise konische Lagerbohrung und eine konische Lagerfläche aufweist, die durch einen üblicherweise mit einem Lagerfluid gefüllten ersten Lagerspalt 20 von der konischen Lagerfläche des ersten Lagerkonus' 14 getrennt ist. Die konischen Lagerflächen und der Lagerspalt 20 verlaufen in einem spitzen Winkel schräg zur Drehachse 52. Der erste Lagerkonus 14 umfasst auf seiner Lagerfläche über den Umfang verteilt eine Anzahl von Lagerrillen. Die Lagerrillen sind in einem spitzen Winkel zur Horizontalen geneigt und beispielsweise als Fischgrätenmuster (herringbone) ausgebildet. Die Lagerrillen müssen nicht auf der Lagerfläche des Lagerkonus' 14 angeordnet sein, sondern können auch auf den konischen Lagerflächen der Lagerbuchse 16 angeordnet werden.

[0042] Der erste Lagerspalt 20 hat zwei offene Enden, die jeweils an die Stirnflächen der Lagerbuchse 16 angrenzen. Das erste offene Ende des Lagerspalts 20 wird durch einen kapillaren Dichtungsspalt 22 abgedichtet, der durch eine äußere Umfangsfläche des ersten Lagerkonus 14 und eine innere Umfangsfläche der ersten Lagerbuchse 16 begrenzt wird. Der Dichtungsspalt 22 bildet mit dem Lagerspalt 20 einen stumpfen Winkel ($\geq 90^\circ$) und mit der Drehachse 52 einen spitzen Winkel. Der Dichtungsspalt 22 ist teilweise mit Lagerfluid gefüllt und wirkt als Fluidreservoir und Ausgleichsvolumen. Vorzugsweise sind beide den Dichtungsspalt begrenzende Flächen der Lagerbuchse und des Lagerkonus' im Verlauf vom Lagerspalt zum Lageräußeren um einen kleinen Winkel von zwischen 0,5 Grad und 20 Grad in Richtung zur Drehachse geneigt, wobei der Neigungswinkel der inneren Umfangsfläche der ersten Lagerbuchse 16 um wenige Winkelgrade kleiner ist als der Neigungswinkel der äußeren Umfangsfläche des ersten Lagerkonusses 14.

[0043] Das untere Ende des ersten Lagerspalts 20 ist abgedichtet durch einen weiteren Dichtungsspalt 24, entlang dessen vorzugsweise eine dynamische Pumpdichtung sowie eine konische Kapillardichtung angeordnet sind. Die dynamische Pumpdichtung umfasst Pumprillenstrukturen, die entweder auf der Welle 12 oder auf der Lagerbuchse 16 entlang des Dichtungsspalts 24 aufgebracht sind, wobei die Pumprillenstrukturen bei Rotation der Lagerbuchse 12 eine Pumpwirkung auf das im Dichtungsspalt 24 befindliche Lagerfluid in Richtung des Lagerspalts 20 erzeugen. Im Lagerkonus 14 sind vorzugsweise Rezirkulationskanäle 25 angeordnet, durch welche eine Zirkulation des Lagerfluids innerhalb des konischen Lagers möglich wird.

[0044] Der zweite Lagerkonus 26 weist konische Lagerflächen mit Lagerrillen auf, die mit der Drehachse 52 einen spitzen Winkel ausbilden. Der Lagerkonus 26 ist in einer zweiten Lagerbuchse 28 angeordnet, die ebenfalls konische Lagerflächen aufweist, die durch einen zweiten

üblicherweise mit Lagerfluid gefüllten Lagerspalt 32 von den konischen Lagerflächen des zweiten Lagerkonus' 26 getrennt sind. Auch die offenen Enden des zweiten Lagerspalts 32 sind durch jeweils einen Dichtungsspalt 34 in Form einer konischen Kapillardichtung, sowie einen Dichtungsspalt 36 mit Pumpdichtung und einer zusätzlichen konischen Kapillardichtung abgedichtet. Der Dichtungsspalt 34 wird begrenzt durch eine äußere Umfangsfläche des zweiten Lagerkonus' 28 und eine innere Umfangsfläche der zweiten Lagerbuchse 28. Der Dichtungsspalt 34 bildet mit dem Lagerspalt 32 einen stumpfen Winkel ($\geq 90^\circ$) und mit der Drehachse 52 einen spitzen Winkel.

[0045] Die beiden Lagerbuchsen 16 und 28 der entgegengesetzt wirkenden konischen Lager grenzen aneinander an und sind durch eine Distanzscheibe 38 voneinander getrennt, die gleichzeitig zur Kompensation der Temperaturexpansion der Lagerbuchsen 16, 28 dient. Der verbleibende Zwischenraum 42 zwischen dem Außenumfang der Welle 12 und den beiden Lagerbuchsen 16, 28 bzw. der Distanzscheibe 38 ist belüftet, um einen Druckausgleich zur Umgebung herzustellen. Hierzu kann die Welle 12 entsprechende Bohrungen 48, 48a aufweisen, die den Zwischenraum 42 mit der Außenatmosphäre verbindet. Alternativ zu der gezeigten Ausführung kann eine weitere Bohrung 48b zur Belüftung auch in einen Zwischenraum 46 zwischen der Basisplatte 10 und dem unteren konischen Lager münden. Im Lagerkonus 26 sind vorzugsweise Rezirkulationskanäle 37 angeordnet, durch welche eine Zirkulation des Lagerfluids im konischen Lager möglich wird.

[0046] Die beiden Dichtungsspalte 22, 34 bilden die äußere Begrenzung des mit Lagerfluids gefüllten Teil des Lagers. Damit keine Verunreinigungen in die Dichtungsspalte 22 und 34 eindringen können und insbesondere lediglich eine möglichst geringe Menge des von der Oberfläche der Dichtungsspalte verdunstenden Lagerfluids aus dem Lager entweicht, sind die beiden einzelnen konischen Lager jenseits der Dichtungsspalte 22, 34 jeweils durch eine Abdeckung 18, 30 abgedeckt. Die Abdeckungen 18, 30 sind beispielsweise Stanzteile in Form eines profilierten Blechrings, der einen äußeren Rand aufweist, der auf einen Rand der beiden Lagerbuchsen 16, 28 aufgesteckt bzw. aufgepresst und evtl. dort zusätzlich festgeklebt ist. Jede der beiden Abdeckungen 18, 30 erstreckt sich radial nach innen in Richtung der Welle 12 und bildet an der Welle 12 einen abgeknickten Schenkel, der zusammen mit der Oberfläche der Welle 12 einen engen Luftspalt 50 bildet.

[0047] Die beiden Lagerbuchsen 16 und 28 werden in einer zentralen Aussparung einer Nabe 40 des Spindelmotors gehalten, beispielsweise durch eine Pressverbindung, und/oder werden in die Nabe 40 eingeklebt. Hierbei kann der Klebstoff als Schmiermittel für die Pressverbindung dienen und eine bessere Abdichtung des Lagers gewährleisten. Beide Lagerbuchsen 16 und 28 weisen am Außenumfang vorzugsweise einen Bund auf, der auf einer Stirnseite des Rands der Öffnung der Nabe 40 aufliegt. Vorzugsweise sind die Lagerbuchsen 16, 28 aus Stahl, Keramik oder Ähnlichem, insbesondere aus einem Material mit einem kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, gefertigt, während die Nabe 40 beispielsweise aus Aluminium, also einem Material mit vergleichsweise großem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, gefertigt ist und zur Aufnahme von Speicherplatten dient, die ebenfalls aus Aluminium bestehen.

Alternativ können die beiden Lagerbuchsen einteilig aus Stahl hergestellt sein, insbesondere dann, wenn die Nabe Speicherplatten aus Glas trägt und daher ebenfalls aus Stahl besteht und vorzugsweise einteilig mit den Lagerbuchsen ausgestaltet ist. Die Lagerkonusse 14, 26 sind relativ zu den Lagerbuchsen 16, 28 so angeordnet, dass die Lagerspalte 20, 32 bei Raumtemperatur eine definierte Breite von einigen Mikrometern aufweisen. Die Tragfähigkeit der konischen Lager hängt unter anderem von der Breite der Lagerspalte 20, 32 und der Viskosität des darin enthaltenen Lagerfluids ab.

[0048] Der Spindelmotor wird angetrieben durch ein elektromagnetisches Antriebssystem, das aus einer an der Basisplatte 10 befestigten Statoranordnung (nicht dargestellt) besteht und einem gegenüberliegend der Statoranordnung an der Nabe 40 befestigten Rotormagneten 45, der radial von einem ferromagnetischen Joch 44 umgeben ist.

[0049] Zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit des Lagersystems wird das Lagersystem auf-

gebaut, wobei die Lagerspalte 20, 32 nicht mit Lagerfluid gefüllt werden.

[0050] Es werden von außen radiale Zugänge in Form von Zugangsbohrungen 60a, 60b, 60c geschaffen. Eine erste Zugangsbohrung 60a wird radial von außen bis zu einem Ringspalt 54 am unteren Ende des äußeren Dichtungsspalts 22 des ersten konischen Lagers geschaffen. In den Ringspalt 54 münden die Rezirkulationskanäle 25 des ersten Lagerkonus' 14.

Eine zweite Zugangsbohrung 60b wird radial von außen bis zum Zwischenraum 42 zwischen den beiden konischen Lagern geschaffen. Als zweiter Zugang können auch die Bohrungen 48 und 48a in der Welle 12 verwendet werden, die direkt in den Zwischenraum 42 münden.

Eine dritte Zugangsbohrung 60c wird radial von außen bis zu einem Ringspalt 56 am unteren Ende des äußeren Dichtungsspalts 34 des zweiten konischen Lagers geschaffen.

In diese Zugangsbohrungen 60a, 60b, 60c werden Röhrchen 62a, 62b, 62c oder Schläuche mit passendem Durchmesser eingebracht. Jedes Röhrchen 62a, 62b, 62c ist mit einem entsprechenden Drucksensor 64a, 64b, 64c verbunden.

[0051] Die luftführenden Verbindungen zwischen den jeweiligen Zugängen 60a, 60b, 60c, die innerhalb des Lagersystems verlaufen, werden verschlossen. Hierfür wird beispielsweise Klebstoff verwendet, der zwischen der Welle 12 und den Lagerbuchsen 16, 28 im Übergangsbereich zwischen den Lagerspalten 20, 32 und den angrenzenden inneren Dichtungsspalten 24, 36 eingebracht wird und die Lagerspalte zwischen den Drucksensoren verschließt. Somit messen die Drucksensoren 64a, 64b, 64c nur die Drücke, die an den zugeordneten Öffnungen des Lagersystems anliegen. Der erste Drucksensor 64a misst den Druck, der am äußeren Dichtungsspalt 22 des oberen Lagers anliegt.

Der zweite Drucksensor 64b misst den Druck, der im Zwischenraum 42 zwischen den Lagern, den inneren Dichtungsspalten 24, 36 und den Bohrungen 48 der Welle 12 anliegt. Der dritte Drucksensor 64c misst den Druck, der am äußeren Dichtungsspalt 34 des unteren Lagers anliegt.

[0052] Der Spindelmotor mit dem entsprechend präparierten Lagersystem wird nun einem üblichen Reinigungsprozess unterzogen, wie er während der Fertigung des Spindelmotors durchgeführt wird. Der Reinigungsprozess kann beispielsweise eine Reinigung mittels Druckluft oder CO₂-Schnee oder Ähnlichem sein, bei dem ein unter Druck aufgebrachtener Reinigungsstrahl 66 eines Reinigungsmediums für eine bestimmte Einwirkzeit auf den Spindelmotor einwirkt.

[0053] Der Reinigungsstrahl 66 trifft von einer Seite, beispielsweise der Oberseite, mit hohem Druck auf den Spindelmotor und das Lagersystem auf und umspült den Spindelmotor. Dadurch stellen sich an den Öffnungen des Lagersystems, d. h. dem Dichtungsspalt 22, dem Dichtungsspalt 34 und der Bohrung 48 der Welle 12, unterschiedliche Drücke ein, die von den Drucksensoren 64a, 64b, 64c erfasst werden.

[0054] Der Differenzdruck (Pd_1) am Lagerspalt 20 zwischen den Öffnungen der Dichtungsspalte 22 und 24 ergibt sich aus dem Differenzbetrag der von den Drucksensoren 64a und 64b gemessenen Drücke.

Der Differenzdruck (Pd_2) am Lagerspalt 32 zwischen den Öffnungen der Dichtungsspalte 34 und 36 ergibt sich aus dem Differenzbetrag der von den Drucksensoren 64b und 64c gemessenen Drücke.

[0055] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform einer Anordnung zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems zur Drehlagerung eines Spindelmotors. Das fluiddynamische Lagersystem des Spindelmotors besteht aus zwei separaten fluiddynamischen konischen Lagern. Das fluiddynamische Lagersystem unterscheidet sich etwas von dem fluiddynamischen Lagersystem von Fig. 1. Gleiche Bauteile und Bauteile mit gleichen Funktionen sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet wie beim Lagersystem von Fig. 1.

[0056] Im Unterschied zu Fig. 1 besitzt das Lagersystem von Fig. 2 eine einteilige Lagerbuchse 17, die beide Lagerkonusse 14, 26 der beiden fluiddynamischen konischen Lager umgibt. Der

Zwischenraum 42 zwischen den beiden konischen Lagern wird durch einen ringförmigen Freistich an der inneren Umfangfläche der Lagerbuchse 17 gebildet. Der Freistich kann auch an der Welle 12 vorgesehen werden. Die beiden Lagerspalte 20, 32 der konischen Lager sowie Abschnitte der kapillaren Dichtungsspalte 22, 24 und 34, 36 sind mit Lagerfluid gefüllt.

[0057] Die Lagerbuchse 17 ist in einer Nabe 40 des Spindelmotors aufgenommen. Die Vorrichtung zur Prüfung der Differenzdruckfestigkeit des Lagersystems umfasst vorzugsweise ein Unterteil 70, auf dem der untere Rand der Nabe 40 vorzugsweise abdichtend aufliegt. Das Unterteil 70 weist eine erste aktive Kammer 72 auf, deren Öffnung dem Lagersystem zugewandt ist. In diese erste aktive Kammer 72 münden die Öffnungen des außen liegenden Dichtungsspalt 34 des unteren Lagers sowie die Bohrungen 48, 48a, 48b der Welle 12, die mit den Öffnungen der innen liegenden Dichtungsspalte 24, 36 verbunden sind.

[0058] Ferner umfasst die Vorrichtung ein Oberteil 78, das auf dem oberen Rand der Nabe 40 vorzugsweise abdichtend aufliegt. Das Oberteil 78 weist eine zweite passive Kammer 80 auf, deren Öffnung dem Lagersystem zugewandt ist. In diese zweite passive Kammer 80 mündet die Öffnung des außen liegenden Dichtungsspalt 22 des oberen Lagers.

[0059] Die erste aktive Kammer 72 ist über eine Zugangsöffnung 74 mit einer Druckluftquelle 76 verbunden. Druckluft steht in diesem Zusammenhang allgemein für ein unter Druck in die erste aktive Kammer 72 einleitbares Gas. Die zweite passive Kammer 80 besitzt ebenfalls eine Zugangsöffnung 82, die mit einem Drucksensor 84 verbunden ist.

[0060] Zur Messung der Differenzdruckfestigkeit des oberen konischen Lagers des Lagersystems wird nur der Druck (Pa) in der ersten aktiven Kammer 72 ausgehend vom Umgebungsdruck stetig erhöht. Dieser Druck (Pa) liegt zum einen an beiden Dichtungsspalten 34, 36 des unteren Lagers gleichermaßen an, was keinen Effekt auf das untere Lager hat und das bei dieser Messung nicht berücksichtigt wird. Der Druck (Pa) liegt über die Bohrungen 48, 48a der Welle 12 am innen liegenden Dichtungsspalt 24 des oberen Lagers an.

In der passiven Kammer herrscht ein Druck (Pp), der zu Beginn der Messung ebenfalls dem Umgebungsdruck entspricht. Dieser Druck (Pp) liegt an dem außen liegenden Dichtungsspalt 22 des oberen Lagers an.

[0061] Der Druck (Pa) in der aktiven Kammer 72 wird nun so lange erhöht, bis der Druckwiderstand des Fluidlagers überwunden ist, das heißt der Druckunterschied (Pa) - (Pp) so groß wird, dass Luft von der aktiven Kammer 72 durch den innen liegenden Dichtungsspalt 24, den Lagerspalt 20 und den außen liegenden Dichtungsspalt 22 des oberen Lagers in die passive Kammer 80 strömt. Durch die Luftströmung erhöht sich der Druck (Pp) in der passiven Kammer 80 geringfügig, was durch den Drucksensor 84 erfasst wird.

Es wird nun der Differenzdruck (Pd) = (Pa) - (Pp) gebildet, welche dem gesuchten Lagerwiderstandsdruck (PL) entspricht, d. h. dem Druckunterschied, bei dem Luft durch das obere Lager strömt.

[0062] Um die Differenzdruckfestigkeit des unteren Lagers zu bestimmen, wird die Anordnung bestehend aus der Nabe 40 und dem Lagersystem umgedreht und zwischen dem Unterteil 70 und dem Oberteil 78 der Vorrichtung gehalten.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN:

10	Basisplatte
12	Welle
14	erster Lagerkonus
14a	Lagerrillen

- 16 erste Lagerbuchse
- 17 Lagerbuchse einteilig
- 18 Abdeckung
- 20 erster Lagerspalt
- 22 Dichtungsspalt
- 24 Dichtungsspalt
- 24a Pumpdichtung
- 25 Rezirkulationskanal
- 26 zweiter Lagerkonus
- 26a Lagerrillen
- 28 zweite Lagerbuchse
- 30 Abdeckung
- 32 zweiter Lagerspalt
- 34 Dichtungsspalt
- 36 Dichtungsspalt
- 36a Pumpdichtung
- 37 Rezirkulationskanal
- 38 Distanzscheibe
- 40 Nabe
- 42 Zwischenraum
- 44 Joch
- 45 Rotormagnet
- 46 Zwischenraum
- 48 Bohrung
- 48a, b Bohrung
- 50 Luftspalt
- 52 Drehachse
- 54 Ringspalt
- 56 Ringspalt
- 60a, b, c Zugangsbohrung
- 62a, b, c Rührchen
- 64a, b, c Drucksensor
- 66 Reinigungsstrahl
- 70 Unterteil
- 72 erste aktive Kammer
- 74 Zugangsöffnung
- 76 Druckluftquelle, Drucksensor
- 78 Oberteil
- 80 zweite passive Kammer
- 82 Zugangsöffnung
- 84 Drucksensor

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Differenzdruckfestigkeit eines fluiddynamischen Lagersystems mit mindestens einem mit einem Lagerfluid gefüllten Lagerspalt (20, 32) mit mindestens zwei Öffnungen (22, 34), mit den Schritten:
Verbinden einer ersten Öffnung (34) des Lagerspalts (20) mit einer ersten aktiven Kammer (72), wobei in der ersten aktiven Kammer (72) ein Druck (P_a) herrscht,
Verbinden einer zweiten Öffnung (22) des Lagerspalts (20) mit einer zweiten passiven Kammer (80), wobei in der zweiten passiven Kammer (80) ein Druck (P_p) herrscht,
gekennzeichnet durch die Schritte:
Erhöhen und Messen des Drucks (P_a) in der ersten aktiven Kammer (72), wiederholtes Messen des Drucks (P_p) in der zweiten passiven Kammer (80), wobei sobald ein Ansteigen des Drucks (P_p) in der zweiten passiven Kammer (80) erfasst wird, ein Differenzdruck (P_d) = (P_a) - (P_p) ermittelt wird, der einem Lagerwiderstandsdruck (P_L) entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste aktive Kammer (72) und/oder die zweite passive Kammer (80) luftdicht verschlossen sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste aktive Kammer (72) und/oder die zweite passive Kammer (80) nicht vollkommen luftdicht verschlossen sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Luftströmung durch den Lagerspalt (20, 32) anhand eines Strömungssensors auf der Seite der ersten aktiven Kammer (72) erfasst wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

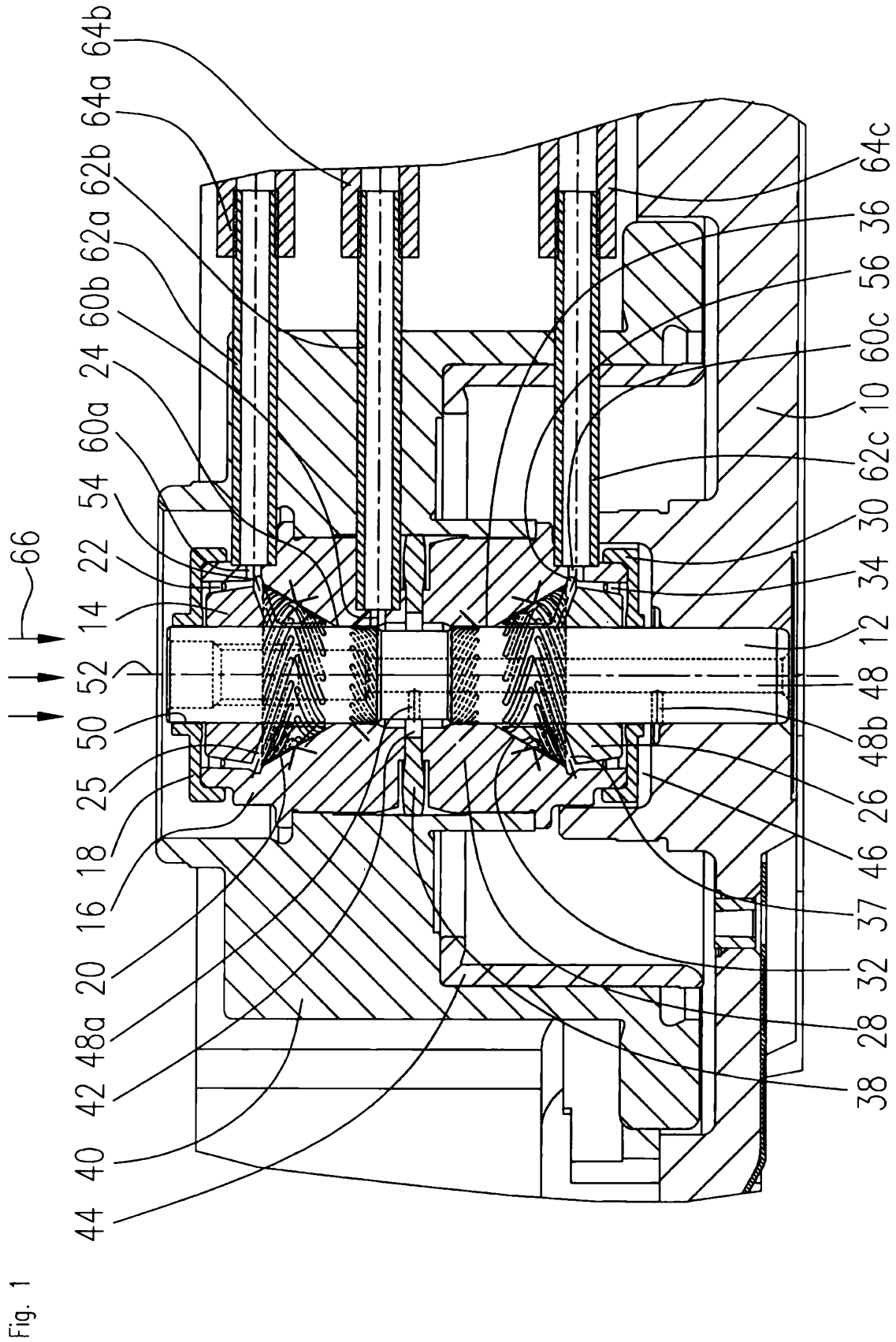


Fig. 1

2/2

