

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1127/2009
(22) Anmeldetag: 17.07.2009
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2011

(51) Int. Cl. : **F16C 33/10** (2006.01)
F16C 33/14 (2006.01)
F16N 37/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 505381A1

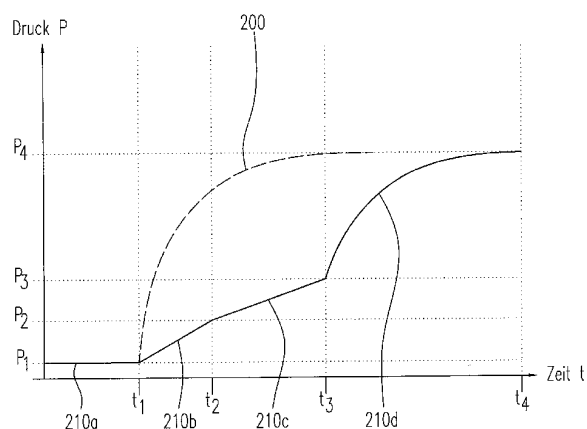
(73) Patentinhaber:
MINEBEA CO., LTD.
4106-73 OAZA-MIYOTA (JP)

(72) Erfinder:
BAUER MARTIN
VILLINGEN-SCHWENNINGEN (DE)
LÖHR MARKUS
BRIGACHTAL (DE)

(54) VERFAHREN ZUM EINBRINGEN EINES LAGERFLUIDS IN DEN LAGERSPALT EINES FLUIDDYNAMISCHEN LAGERS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen eines Lagerfluids in einen Lagerspalt (16; 416) eines fluiddynamischen Lagers, wobei der Lagerspalt (16; 416) zwischen einem feststehenden Teil (10; 410, 412) und einem rotierenden Teil (12; 13; 413) des Lagers gebildet wird, wobei in einem Schritt (100) das fluiddynamische Lager in einer Unterdruckkammer (30) angeordnet wird, in einem weiteren Schritt (110) die Unterdruckkammer (30) bis auf einen vorgegebenen ersten Druck P_1 evakuiert wird, in einem weiteren Schritt (120, 130) eine vorgegebene Menge an Lagerfluid (34) in den Lagerspalt (16; 416) oder einen mit dem Lagerspalt verbundenen Dichtungsspalt (22) eingebracht wird, und in einem weiteren Schritt (140) der Druck in der Unterdruckkammer (30) entsprechend einer vorgegebenen Druck-Zeit-Funktion (210a-210d) erhöht wird. Erfindungsgemäß wird der Druck in der Unterdruckkammer (30) ausgehend vom ersten Druck P_1 stufenweise auf einen zweiten Druck P_2 , dann auf einen dritten Druck P_3 und schließlich auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$ erhöht.

Fig. 4



Beschreibung

VERFAHREN ZUM EINBRINGEN EINES LAGERFLUIDS IN DEN LAGERSPALT EINES FLUIDDYNAMISCHEN LAGERS

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen eines Lagerfluids in den Lagerspalt eines fluiddynamischen Lagers, insbesondere in einen Lagerspalt, der zwischen einem feststehenden und einem rotierenden Teil des Lagers gebildet wird.

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Spindelmotoren, wie sie beispielsweise zum Antrieb von Speicherplattenlaufwerken eingesetzt werden, rotieren mit hohen Geschwindigkeiten und benötigen daher entsprechend geeignete Lagersysteme. Es ist bekannt, bei Spindelmotoren fluiddynamische Lagersysteme zu verwenden. Ein Spindelmotor mit einem solchen fluiddynamischen Lagersystem bekannter Bauart ist in Figur 1 dargestellt. Das Lagersystem umfasst eine Lagerbuchse 10, welche eine Lagerbohrung aufweist. Eine Welle 12 ist in der Lagerbohrung der Lagerbuchse 10 drehbar angeordnet. Der Durchmesser der Lagerbohrung in der Lagerbuchse 10 ist geringfügig größer als der Außendurchmesser der Welle 12, so dass zwischen Lagerbuchse 10 und Welle 12 ein Lagerspalt 16 verbleibt, der mit einem geeigneten Schmiermittel in Form eines Lagerfluids gefüllt werden muss. Entsprechende Lagerflächen der Lagerbuchse 10 und der Welle 12 bilden zwei voneinander beabstandete Radiallager 14a, 14b aus. An einem Ende der Welle 12 ist eine Stopperring 18 angeordnet, der in einer Aussparung der Lagerbuchse 10 angeordnet ist und eine übermäßige axiale Bewegung der Welle 12 in der Lagerbuchse 10 verhindert. Am anderen Ende der Welle ist ein Rotorbauteil 13 befestigt, das zusammen mit einer Stirnfläche der Lagerbuchse 10 ein Axiallager 15 ausbildet, welches die axialen Kräfte aufnimmt. Der Lagerspalt 16 ist an einer Seite durch eine Abdeckplatte 20 verschlossen. Auf der anderen Seite endet der Lagerspalt 16 beispielsweise in einem Dichtungsspalt 22, der vorzugsweise als konische Kapillardichtung ausgebildet ist und als Reservoir und Ausgleichsvolumen für das im Lagerspalt 16 befindliche Lagerfluid dient. Der Dichtungsspalt ist teilweise mit Lagerfluid gefüllt. Voneinander entfernte Bereiche des Lagerspalts 16 sind durch einen Rezirkulationskanal 17 miteinander verbunden. Das Lagersystem ist in einer Basisplatte 24 gehalten, an welcher eine Statoranordnung 26 befestigt ist. Die Statoranordnung 26 bildet zusammen mit einem am Rotorbauteil 13 befestigten Rotormagneten 28 das elektromagnetische Antriebssystem des Spindelmotors.

[0003] Ein wesentlicher, aber schwierig handhabbarer Verfahrensschritt bei der Herstellung eines solchen Lagersystems ist das Einbringen des Lagerfluids in den Lagerspalt 16 und den Dichtungsspalt 22. Eine bekannte Methode liegt darin, zunächst das Lager, bestehend aus Lagerbuchse 10, Welle 12, Rotorbauteil 13, Stopperring 18 und Abdeckplatte 20 wie aus Figur 1 ersichtlich, aufzubauen, und danach das Lagerfluid in den Lagerspalt 16 einzufüllen.

[0004] Hierzu wird gemäß Figur 2, die Lageranordnung in eine Unterdruckkammer 30 platziert und hiernach die Unterdruckkammer 30 evakuiert bis auf einen Druck von beispielsweise 60 μ bar oder weniger. Durch das Evakuieren wird die im Lagerspalt 16 und Dichtungsspalt 22 befindliche Luft nahezu vollständig entfernt. Nun wird mittels einer Befüllvorrichtung 32, einem sogenannten Dispenser, der manuell oder automatisiert bedient wird, eine vorgegebene Menge an Lagerfluid 34 in den Bereich des Dichtungsspalts 22 aufgebracht. Das Lagerfluid 34 bildet oberhalb und teilweise innerhalb des ringförmigen Dichtungsspalts 22 einen ununterbrochenen Fluidring 36, der zumindest den oberen Bereich des Dichtungsspalts 22 vollständig bedeckt. Vor dem Einbringen des Lagerfluids 34 wird dem Lagerfluid vorzugsweise die darin gelöste Luft und Feuchtigkeit entzogen, beispielsweise durch Vakuumieren, Rühren oder Beaufschlagung mittels Ultraschall.

[0005] Nachdem das Lagerfluid 34 in den Dichtungsspalt 22 eingebracht wurde, wird die Unterdruckkammer 30 auf Umgebungsdruck belüftet und das Lagerfluid 34 wird durch den auf das

Fluid wirkenden atmosphärischen Luftdruck in den Dichtungsspalt 22 und von dort in den Lagerspalt 16 hineingedrückt. Die Menge des eingebrachten Lagerfluids 34 ist so bemessen, dass der Lagerspalt 16 vollständig und der Dichtungsspalt 22 teilweise mit Lagerfluid ausgefüllt werden. Danach kann das mit Lagerfluid gefüllte Lager aus der Unterdruckkammer 30 entfernt und weiteren Verarbeitungsschritten zugeführt werden. Selbstverständlich können auch mehrere Lager in der Unterdruckkammer angeordnet sein und gleichzeitig oder nacheinander befüllt werden.

[0006] Ein Problem bei diesem bekannten Befüllungsverfahren ist, dass durch das stoßartige Belüften der Vakuumkammer „Unterbrechungen“ im Fluidfilm entstehen können, so dass anstatt Lagerfluid teilweise Luft in den Lagerspalt 16 eindringt, und der Lagerspalt 16 nicht vollständig mit Lagerfluid 26 gefüllt wird. Dies ist insbesondere kritisch bei Lagern, die einen Rezirkulationskanal 17 aufweisen, dessen Öffnung sich in der Nähe des Dichtungsspaltes 22 befindet. Wird nicht entdeckt, dass Luft während des Befüllvorgangs in den Lagerspalt 16 eindringt, kann es beim Betrieb des Lagers zu einem Abreißen des Fluidfilms und zu einer Beschädigung oder einem Ausfall des Lagers kommen. Ferner kann Lagerfluid auslaufen.

[0007] In der AT 505 381 B1 wird vorgeschlagen, den Druck in der Unterdruckkammer zunächst langsam zu steigern, um Lufteinschlüsse im Lagerspalt zu vermeiden. Viele fluiddynamische Lager besitzen jedoch einen Rezirkulationskanal mit relativ großem Querschnitt, der den Bereich, in welchem das Lagerfluid eingefüllt wird, direkt mit einem größeren Hohlraum innerhalb des Lagers verbindet. Wenn man nun den Druck in der Unterdruckkammer in dem Druckbereich, in welchem der Luftdruck das Lagerfluid in das Lagerinnere drückt, zu schnell erhöht, dann fließt eine große Menge an Lagerfluid anstatt durch den Lagerspalt direkt durch den Rezirkulationskanal in die Hohlräume im Lager. Im Bereich der Einlassmündung des Rezirkulationskanals entsteht dadurch ein großer Sog, und es werden Luftblasen zusammen mit dem Lagerfluid in den Rezirkulationskanal gesaugt. Zugleich soll die Zykluszeit zur Befüllung der Fluidlager mit Lagerfluid möglichst kurz bemessen sein.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0008] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Einbringen eines Lagerfluids in einen Lagerspalt eines fluiddynamischen Lagers anzugeben, das ein vollständiges und blasenfreies Befüllen des Lagerspaltes erlaubt.

Dabei sollen die Fluidlager in einer möglichst kurzen Zykluszeit mit Lagerfluid befüllt werden.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0010] Bevorzugte Ausgestaltungen und weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Einbringen des Lagerfluids lehnt sich an das in der Einleitung beschriebene Verfahren an, wobei zunächst das Lager in eine Unterdruckkammer platziert wird und diese Unterdruckkammer auf einen vorgegebenen ersten Druck P_1 evakuiert wird. Nachdem der Druck P_1 erreicht ist, wird nach einer gewissen Wartezeit über eine entsprechende Befüllvorrichtung eine vorgegebene Menge an Lagerfluid auf ein offenes Ende des Lagerspalts aufgebracht bzw. zumindest teilweise in ein solches eingebracht. In einem weiteren Schritt wird der Druck in der Unterdruckkammer ausgehend vom ersten Druck P_1 entsprechend einer vorgegebenen Druck-Zeit-Funktion bis auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$ erhöht. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Druck in der Unterdruckkammer ausgehend vom ersten Druck P_1 stufenweise und kontrolliert auf einen zweiten Druck P_2 , dann auf einen dritten Druck P_3 und schließlich auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$ erhöht wird.

[0012] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Erhöhen des Drucks innerhalb der Unterdruckkammer, ausgehend von dem vorgegebenen ersten Druck P_1 ab einem ersten Zeitpunkt t_1 bis auf einen zweiten Druck P_2 , der zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 erreicht wird. Danach folgt ein Erhöhen des Drucks in der Unterdruckkammer vom zweiten Druck P_2 bis auf den dritten Druck P_3 , der zu einem dritten Zeitpunkt t_3 erreicht wird. Schließlich erfolgt ein

Erhöhen des Drucks von dem dritten Druck P_3 bis auf den atmosphärischen Umgebungsdruck $P_4=P_0$, der zu einem vierten Zeitpunkt t_4 erreicht wird.

[0013] Insbesondere ist es vorzugsweise vorgesehen, dass der Druck in der Unterdruckkammer zwischen den Zeitpunkten $[t_1; t_2]$ schneller ansteigt als im Zeitraum $[t_2; t_3]$, dass der Druck jedoch in beiden vorgenannten Zeiträumen deutlich langsamer ansteigt als im Zeitraum $[t_3; t_4]$. Dabei ist vorgesehen, dass der erste Druck P_1 vorzugsweise kleiner gleich 0,20 mbar (20 Pa) ist und besonders bevorzugt in einem Druckbereich zwischen 25 μ bar und 60 μ bar liegt, dass der zweite Druck P_2 vorzugsweise größer gleich 1 mbar (100 Pa) und der dritte Druck P_3 größer als 30 mbar (3000 Pa), jedoch kleiner als 130 mbar ist. Die einzelnen Zeitspannen der Druckerhöhungen sind vorzugsweise unterschiedlich lang gewählt. Die Zeitspanne $[t_1; t_2]$ beträgt vorzugsweise zwischen 1 und 5 Sekunden, die Zeitspanne $[t_2; t_3]$ zwischen 10 und 30 Sekunden und die Zeitspanne $[t_3; t_4]$ weniger als 10 Sekunden.

[0014] Erfindungsgemäß ist die Steigung der zugehörigen Druck-Zeit-Funktion zwischen den Zeitpunkten $[t_1; t_2]$ und $[t_2; t_3]$ deutlich kleiner als die Steigung der Druck-Zeit-Funktion zwischen den Zeitpunkten $[t_3; t_4]$. Insbesondere ist die Steigung der Druck-Zeit-Funktion in der ersten Zeitspanne $[t_1; t_2]$ etwa genauso groß wie die Steigung während der zweiten Zeitspanne $[t_2; t_3]$.

[0015] Durch das kontrollierte Belüften der Vakuumkammer wird erfindungsgemäß erreicht, dass das Lagerfluid blasenfrei und ohne Unterbrechung des geschlossenen Fluidfilms in den Lagerspalt gepresst wird. Insbesondere vorteilhaft ist dieses Befüllverfahren für Lagersysteme mit ein- oder zweiseitig offenem Lagerspalt, die einen Rezirkulationskanal aufweisen, der gegenüberliegende Abschnitte des Lagerspalts miteinander verbindet, da im letzteren Fall eine deutlich größere Fluidmenge in das Lager gefüllt werden muss.

[0016] Demgegenüber ist es für die Druckbereiche unterhalb von 1 mbar und oberhalb von 130 mbar nicht notwendig, langsam zu belüften, um die Zykluszeit während der Befüllung der Fluidlager zu reduzieren. Vielmehr wurde ermittelt, dass bei einem Druckniveau unterhalb von 1 mbar das Lagerfluid noch nicht in das Lagerinnere gedrückt wird und dass oberhalb von 130 mbar das Lagerfluid bereits vollständig in das Lagerinnere gedrückt wurde.

[0017] Der erfindungsgemäße kontrollierte Belüftungsvorgang der Unterdruckkammer kann beispielsweise computergesteuert durchgeführt werden, wobei der Druck innerhalb der Unterdruckkammer permanent gemessen wird und in Abhängigkeit davon ein Ventil zur Belüftung der Unterdruckkammer angesteuert wird.

Das Ventil zum kontrollierten Belüften der Unterdruckkammer ist während der Zeitspanne $[t_1; t_2]$ mehr als 40% und weniger als 70% geöffnet, vorzugsweise ca. 60%. Der Druck in der Unterdruckkammer steigt relativ schnell von P_1 auf P_2 . Während der Zeitspanne $[t_2; t_3]$ wird das Ventil weniger weit geöffnet als während der Zeitspanne $[t_1; t_2]$, vorzugsweise auf ca. 50%. Der Druck in der Unterdruckkammer steigt nun langsamer von P_2 auf P_3 . In der Zeitspanne $[t_2; t_3]$ verteilt sich das Lagerfluid vollständig im Lagerspalt und den zu befüllenden Hohlräumen des Lagers. Beim Erreichen des Drucks P_3 in der Unterdruckkammer zum Zeitpunkt t_3 kann das Ventil zu 100% geöffnet werden und während der Zeitspanne $[t_3; t_4]$ aufrecht erhalten werden, bis in der Unterdruckkammer Umgebungsdruck hergestellt ist.

[0018] Eine Vorrichtung zum Einbringen von Lagerfluid in den Lagerspalt eines fluiddynamischen Lagers zur Durchführung des Verfahrens zeichnet sich aus durch eine Unterdruckkammer, entsprechende Mittel zum kontrollierten Einbringen einer vorgegebenen Menge an Lagerfluid in den Lagerspalt sowie Mittel zur Erzeugung eines Unterdrucks und zur kontrollierten Belüftung der Unterdruckkammer bis auf Umgebungsdruck entsprechend einer vorgegebenen Druck-Zeit-Funktion.

[0019] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. Aus den Zeichnungen ergeben sich weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- [0020]** Figur 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch einen Spindelmotor mit fluiddynamischem Lager.
- [0021]** Figur 2 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein fluiddynamisches Lager und dessen Anordnung in einer Unterdruckkammer.
- [0022]** Figur 3 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm der Verfahrensschritte zum Einfüllen des Lagerfluids in ein Lagerfluid.
- [0023]** Figur 4 zeigt ein Druck-Zeit-Diagramm und eine Gegenüberstellung der Druckverläufe bei einer herkömmlichen Belüftung der Unterdruckkammer sowie der erfindungsgemäßen Belüftung.
- [0024]** Figur 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Öffnung eines Ventils zur Belüftung der Unterdruckkammer.

BESCHREIBUNG EINES BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELS DER ERFINDUNG

[0025] Das Verfahren zum Einbringen des Lagerfluids in das Lager wird nun insbesondere anhand der Figuren 2 bis 4 beschrieben. Der Aufbau eines fluiddynamischen Lagers und der prinzipielle Befüllvorgang wurde bereits im einleitenden Teil der Beschreibung anhand der Figuren 1 und 2 erläutert.

[0026] In einem ersten Verfahrensschritt 100 entsprechend Figur 3 werden ein oder mehrere Lager in eine Unterdruckkammer 30 eingeschleust. Als nächstes wird die Unterdruckkammer 30 mittels einer Vakuumpumpe 38 evakuiert, vorzugsweise auf einen Druck von zwischen 2,5 Pa und 20 Pa, besonders bevorzugt auf einen Druck von zwischen 2,5 Pa und 6 Pa (0,06 mbar). Nach dem Evakuieren der Unterdruckkammer 30, wird ein Befüllen des Lagers mittels einer geeigneten Befüllvorrichtung durchgeführt. Die Befüllvorrichtung 32 wird derart positioniert, dass das aus einer Spitze der Befüllvorrichtung 32 austretende Lagerfluid 34 im Bereich des Dichtungsspalts 22 auf das Lager auf- bzw. zumindest partiell eingebracht werden kann. In einem Schritt 120 wird nun das Lager mit der vorgegebenen Fluidmenge befüllt. Das Lagerfluid 34 bildet einen geschlossenen Fluidring 36 oberhalb sowie teilweise innerhalb des Dichtungsspalts 22, der nach einiger Zeit teilweise in den Lagerspalt 16 migriert. Nach diesem Befüllschritt wird eine vorgegebene Ruhezeit abgewartet, die beispielsweise 1 bis 6 Sekunden betragen kann. Befinden sich mehrere Lager in der Unterdruckkammer 30, so werden die Lager unmittelbar nacheinander mit der vorgegebenen Teilmenge an Lagerfluid befüllt, so dass sich die vorgegebene Ruhezeit für die einzelnen Lager automatisch ergibt.

[0027] Während des Befüllvorgangs bleibt das regelbare Ventil 40 zur Belüftung der Unterdruckkammer fest geschlossen bzw. der Druck wird bei weiter laufender Vakuumpumpe durch das geregelte Ventil 40 auf einem konstanten Druckniveau gehalten. Der Druck in der Unterdruckkammer wird auf einem geringen Druckniveau konstant gehalten.

[0028] In einem Schritt 140 erfolgt nun eine kontrollierte Druckerhöhung in der Unterdruckkammer 30 entsprechend einer vorgegebenen Druck-Zeit-Funktion. Dabei wird die Druckerhöhung beispielsweise stufenweise in mehreren Schritten durchgeführt, aber vorzugsweise in drei Schritten. Die Druckerhöhung kann über das Ventil 40 kontrolliert gesteuert werden, das die Unterdruckkammer 30 mit der Außenatmosphäre verbindet. Durch die Druckerhöhung wird das Lagerfluid in den Lagerspalt gedrückt. Es wurde dabei erkannt, dass dieser Vorgang in einem Druckbereich von zwischen 1 mbar und 130 mbar stattfindet. Die Druckerhöhung kann alternativ auch linear, exponentiell oder durch andere stetige Funktionen vorgenommen werden.

[0029] Ist das Lager bzw. sind die Lager mit Lagerfluid befüllt, erfolgt im Schritt 150 eine Ausschleusung des Lagers/der Lager aus der Unterdruckkammer 30.

[0030] In Figur 4 ist der Druckverlauf in der Unterdruckkammer 30 während des Befüll- und Belüftungsvorgangs anhand der Kurvenabschnitte 210a bis 210d dargestellt. Zunächst herrscht in der Unterdruckkammer 30 ein Druck P_1 (z.B. 6 Pa). Bei diesem Druck P_1 findet während des

Kurvenabschnitts 210a der Befüllvorgang der Fluidlager statt, der zu einem Zeitpunkt t_1 beendet ist. Das Lagerfluid wird in den Dichtungsspalt 22 eingebracht. Ab dem Zeitpunkt t_1 wird das Ventil 40 teilweise geöffnet und der Druck in der Unterdruckkammer steigt entsprechend des Kurvenabschnitts 210b von dem Druck P_1 mit einer moderaten Steigung auf einen Druck P_2 (beispielsweise 100 Pa) an. Diese Phase dauert nur 1 bis 5 Sekunden. Der Druck P_2 entspricht dem Druck, bei dem das Lagerfluid gerade noch nicht in den Lagerspalt 16 gepresst wird.

[0031] Anschließend wird das Ventil 40 soweit geschlossen, dass der Druck entsprechend des Kurvenabschnitts 210c vom Druck P_2 mit einer ebenfalls flachen Steigung langsam auf einen Druck P_3 zwischen 3000 Pa und 13000 Pa steigt. Der Druck P_3 wird zu einem Zeitpunkt t_3 erreicht. Durch diesen langsamen Druckanstieg wird die anfängliche Benetzungsschwelle und Kapillarhaftung des Lagerfluids auf den metallischen Oberflächen des Lagers überwunden und das Lagerfluid beginnt vom Dichtungsspalt 22 in den Lagerspalt 16 zu fließen. Außerdem verhindert dieser langsame Druckanstieg, dass der geschlossene Fluidfilm während des Eindringens des Fluids in den Lagerspalt und insbesondere den Rezirkulationskanal abreißt und während des Befüllvorganges Luft in das Lager eindringen kann. Eine schnelle Druckerhöhung, wie es bei herkömmlichen Füllverfahren üblich war, würde die Durchflussgeschwindigkeit des Lagerfluids zu stark ansteigen lassen, was zu einem Abriss des geschlossenen Fluidfilms und zu einem Einschluss von Luft innerhalb des Lagers führen konnte. Die Phase 210c dauert beispielsweise zwischen 10 und 30 Sekunden.

[0032] Nachdem das Lagerfluid in den Lagerspalt und den Rezirkulationskanal eingedrungen ist, kann nun während der letzten Phase 210d das Ventil 40 vollständig geöffnet werden. Der Druck in der Unterdruckkammer 30 steigt darauf während der Zeitspanne $[t_3; t_4]$ in weniger als 10 Sekunden von dem Druck P_3 relativ rasch auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$.

[0033] Zum Vergleich zeigt die Kurve 200 den Druckverlauf bei einem willkürlichen Öffnen eines Druckventils zum Belüften der Unterdruckkammer. Dieser Druckverlauf 200 wird durch eine Strömung durch das Ventil hervorgerufen und steigt anfangs schnell an und legt sich asymptotisch bis an den Umgebungsdruck P_4 an. Im Gegensatz dazu verläuft der erfindungsgemäße Druckanstieg entsprechend des Kurvenabschnitts 210 c wesentlich langsamer und gleichmäßiger, wodurch die Gefahr von Lufteinschlüssen im Lagerspalt während des Belüftungsvorganges insbesondere bei zweiseitig offenen Lagern bzw. von Lagern mit einem Rezirkulationskanal zuverlässig vermieden werden.

[0034] Während der Zeitdauer $[t_3; t_4]$ ist der Druckanstieg somit deutlich größer als während der Zeitdauer $[t_2; t_3]$. Vorzugsweise ist die Druckdifferenz P_4-P_3 pro Zeitdifferenz t_4-t_3 größer als 75 mbar/s, also $\frac{P_4-P_3}{t_4-t_3} \geq 75 \frac{\text{mbar}}{\text{s}}$, während der Druckanstieg P_3-P_2 während der Zeitdifferenz t_3-t_2

kleiner ist als 20 mbar/s. Ebenso ist $\frac{P_2-P_1}{t_2-t_1} \leq 20 \frac{\text{mbar}}{\text{s}}$.

[0035] Figur 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Öffnung eines Ventils, z.B. des Ventils 40 in Figur 2, zur kontrollierten Belüftung der Unterdruckkammer. Die in Figur 5 gezeigten Öffnungsstellungen des Ventils über die Zeit werden nun in Verbindung mit dem in Figur 4 dargestellten Druckverlauf in der Unterdruckkammer erläutert. Nach dem Evakuieren der Unterdruckkammer bleibt das Ventil bis zum Zeitpunkt t_1 geschlossen, das heißt die Ventilöffnung beträgt 0% (Ventil-Öffnungsverlauf 310a). Der Druck in der Unterdruckkammer beträgt konstant P_1 . Das Ventil wird nun während der Zeitspanne $[t_1; t_2]$ mehr als 40% und weniger als 70%, vorzugsweise 60% geöffnet (Ventil-Öffnungsverlauf 310b). Der Druck in der Unterdruckkammer steigt in relativ kurzer Zeit von P_1 auf P_2 . Beim Erreichen des Drucks P_2 zum Zeitpunkt t_2 wird die Öffnung des Ventils auf ca. 50% reduziert und während der Zeitspanne $[t_2; t_3]$ aufrecht erhalten, solange bis in der Unterdruckkammer der Druck P_3 zum Zeitpunkt t_3 erreicht ist (Ventil-Öffnungsverlauf 310c). Ab dem Zeitpunkt t_3 und während der Zeitspanne $[t_3; t_4]$ wird das Ventil nun zu 100% geöffnet, bis in der Unterdruckkammer der Umgebungsdruck P_4 zum Zeitpunkt t_4 erreicht ist (Ventil-Öffnungsverlauf 310d).

[0036] Zusätzlich kann ein weiteres Ventil vorgesehen werden, das ab dem Zeitpunkt t_3 , zu welchem der Druck P_3 erreicht ist, zu 100 % geöffnet wird, um die Belüftung der Unterdruckkammer auf den Umgebungsdruck P_4 noch weiter zu beschleunigen.

[0037] In Figur 6 ist ein Schnitt durch eine weitere Ausgestaltung eines Spindelmotors mit fluiddynamischem Lagersystem gezeigt, dessen Lagerspalt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren mit Lagerfluid befüllt werden kann.

[0038] Das fluiddynamische Lagersystem umfasst eine feststehende Welle 412, die in einem Lagerbauteil 410 gehalten ist. Das Lagerbauteil 410 ist wiederum in einer Basisplatte 424 gehalten. Ein Rotorbauteil 413 ist drehbar auf der Welle 412 angeordnet und weist eine zentrische Bohrung auf, deren Durchmesser etwas größer ist, als der Außendurchmesser der Welle 412, so dass zwischen Welle und dem Rotorbauteil ein Lagerspalt 416 gebildet wird, der mit Lagerfluid befüllt werden muss. Entlang des Lagerspaltes 416 sind zwei Radiallager 414a, 414b angeordnet. Die axialen Kräfte werden durch ein Axiallager 415 aufgenommen, welches getrennt durch den Lagerspalt 416 zwischen einer Stirnseite des Rotorbauteils 413 und einer gegenüberliegenden Fläche des Lagerbauteils 410 gebildet wird. Der Lagerspalt 416 ist beidseitig offen. Eine Seite des Lagerspaltes 416 wird abgedichtet durch einen Dichtungsspalt 422, der zwischen einer Mantelfläche des Rotorbauteils 413 und einer inneren Mantelfläche des Lagerbauteils 410 gebildet ist. Auf der anderen Seite wird der Lagerspalt 416 durch einen Dichtungsspalt 430 abgedichtet, der gebildet wird zwischen einer inneren Umfangsfläche des Rotorbauteils 413 und einer äußeren Umfangsfläche eines mit der Welle verbundenen Stopperrings 418. Der Stopperring hat zum einen die Funktion eines Stoppers, um ein Lösen des Rotorbauteils 413 von der Welle 412 zu verhindern und zum anderen die Funktion der Bildung eines Dichtungsspaltes 430, wobei der Außenumfang des Stopperrings 418 mit Pumpstrukturen 432 versehen sein kann, so dass sich im Bereich des Dichtungsspaltes 430 zusätzlich eine Pumpdichtung befindet, deren Pumpwirkung ins Innere des Lagers gerichtet ist. Jenseits des Dichtungsspaltes 430 wird ein Hohlraum 434 gebildet, der insbesondere zum Befüllen des Lagers dient und gleichzeitig als Ausgleichsreservoir für das Lagerfluid bei Stillstand des Motors wirkt. An dieser Seite wird der Lagerspalt bzw. der Hohlraum 434 durch eine Abdeckung 420 abgedeckt. Zum Befüllen des Lagers mit Lagerfluid wird vorzugsweise die gesamte vorgesehene Füllmenge in den Hohlraum 434 eingebracht und entsprechend dem oben beschriebenen Befüllverfahren in den Lagerspalt 416 befördert.

[0039] Der Spindelmotor umfasst ein elektromagnetisches Antriebssystem mit einer mit der Basisplatte verbundenen Statoranordnung 426 sowie einen entsprechenden Rotormagneten 428, der am Rotorbauteil 413 befestigt ist.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

10	Lagerbuchse
12	Welle
13	Rotorbauteil
14a, 14b	Radiallager
15	Axiallager
16	Lagerspalt
17	Rezirkulationskanal
18	Stopperring
20	Abdeckplatte
22	Dichtungsspalt (Reservoir)
24	Basisplatte
26	Statoranordnung
28	Rotormagnet
30	Unterdruckkammer
32	Befüllvorrichtung
34	Lagerfluid
36	Fluidring
38	Vakuumpumpe
40	Ventil
100-150	Verfahrensschritte
200	Druckverlauf (unkontrolliertes Entlüften)
210a	Druckverlauf (Einfüllvorgang)
210b	Druckverlauf (erfindungsgemäßes Entlüften, Teil 1)
210c	Druckverlauf (erfindungsgemäßes Entlüften, Teil 2)
210d	Druckverlauf (erfindungsgemäßes Entlüften, Teil 3)
310a	Ventil-Öffnungsverlauf
310b	Ventil-Öffnungsverlauf
310c	Ventil-Öffnungsverlauf
310d	Ventil-Öffnungsverlauf
410	Lagerbauteil
412	Welle
413	Rotorbauteil
414a, 414b	Radiallager
415	Axiallager
416	Lagerspalt
417	Rezirkulationskanal
418	Stopperring
420	Abdeckung
422	Dichtungsspalt (Reservoir)
424	Basisplatte
426	Statoranordnung
428	Rotormagnet
430	Dichtungsspalt
432	Pumpstrukturen
434	Hohlraum

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einbringen eines Lagerfluids in einen Lagerspalt (16; 416) eines fluiddynamischen Lagers, wobei der Lagerspalt (16; 416) zwischen einem feststehenden Teil (10; 410, 412) und einem rotierenden Teil (12; 13; 413) des Lagers gebildet wird, wobei:
 - a) in einem Schritt (100) das fluiddynamische Lager in einer auf Umgebungsdruck P_0 stehenden Unterdruckkammer (30) angeordnet wird,
 - b) in einem weiteren Schritt (110) die Unterdruckkammer (30) bis auf einen vorgegebenen ersten Druck P_1 evakuiert wird,
 - c) in einem weiteren Schritt (120, 130) eine vorgegebene Menge an Lagerfluid (34) in den Lagerspalt (16; 416) oder einen mit dem Lagerspalt verbundenen Dichtungsspalt (22) eingebracht wird,
 - d) in einem weiteren Schritt (140) der Druck in der Unterdruckkammer ausgehend vom ersten Druck P_1 entsprechend einer vorgegebenen Druck-Zeit-Funktion bis auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$ erhöht wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Druck in der Unterdruckkammer (30) ausgehend vom ersten Druck P_1 stufenweise auf einen zweiten Druck P_2 , dann auf einen dritten Druck P_3 und schließlich auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$ erhöht wird, wobei Schritt d) die folgenden Teilschritte umfasst:

 - d1) Erhöhen des Drucks in der Unterdruckkammer (30) zu einem ersten Zeitpunkt t_1 vom ersten Druck P_1 bis auf einen zweiten Druck P_2 , der zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 erreicht wird,
 - d2) Erhöhen des Drucks in der Unterdruckkammer (30) vom zweiten Druck P_2 bis auf den dritten Druck P_3 , der zu einem dritten Zeitpunkt t_3 erreicht wird,
 - d3) Erhöhen des Drucks in der Unterdruckkammer (30) vom dritten Druck P_3 bis auf Umgebungsdruck $P_4=P_0$, der zu einem vierten Zeitpunkt t_4 erreicht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Druck P_1 kleiner gleich 0,20 mbar (20 Pa) ist.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Druck P_2 größer gleich 1 mbar (100 Pa) ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dritte Druck P_3 größer gleich 30 mbar (3000 Pa) und kleiner als 130 mbar ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Umgebungsdruck $P_4=P_0$ dem herrschenden Atmosphärendruck entspricht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckdifferenz (P_3-P_2) der Druck-Zeit-Funktion (210c) im Zeitintervall $[t_2; t_3]$ sowie die Druckdifferenz (P_2-P_1) der Druck-Zeit-Funktion (210b) im Zeitintervall $[t_1; t_2]$ kleiner ist als die Druckdifferenz (P_4-P_3) der Druck-Zeit-Funktion (210d) im Zeitintervall $[t_3; t_4]$.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass gilt $\frac{P_3-P_2}{t_3-t_2} \leq 20 \frac{\text{mbar}}{\text{s}}$ und $\frac{P_2-P_1}{t_2-t_1} \leq 20 \frac{\text{mbar}}{\text{s}}$ und $\frac{P_4-P_3}{t_4-t_3} \geq 75 \frac{\text{mbar}}{\text{s}}$.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitspanne $[t_1; t_2]$ zwischen 1 und 5 Sekunden beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitspanne $[t_2; t_3]$ zwischen 10 und 30 Sekunden beträgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitspanne $[t_3; t_4]$ weniger als 10 Sekunden beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Ventil (40) zum kontrollierten Belüften der Unterdruckkammer (30) verwendet wird, und dass das Ventil (40) während der Zeitspanne $[t_1; t_2]$ mehr als 40% und weniger als 70% geöffnet ist, dass das Ventil (40) während der Zeitspanne $[t_2; t_3]$ weniger weit geöffnet ist als während der Zeitspanne $[t_1; t_2]$ und dass das Ventil (40) zu 100% geöffnet ist während der Zeitspanne $[t_3; t_4]$.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

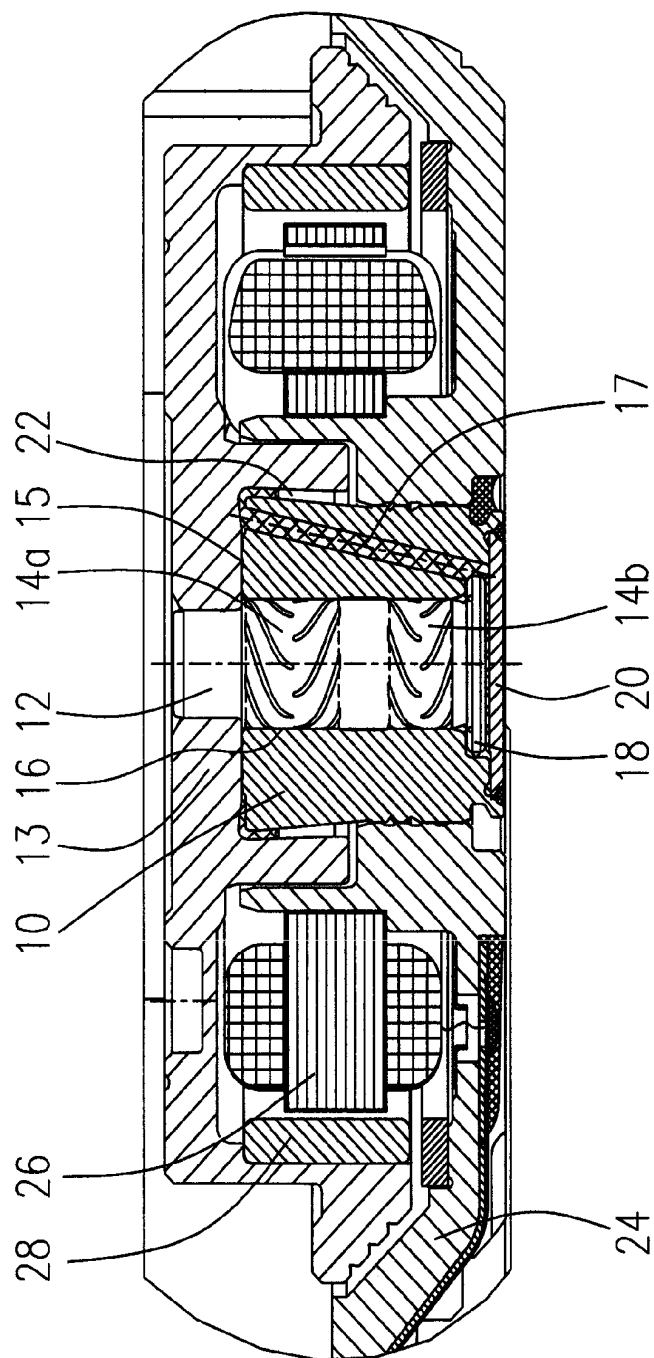
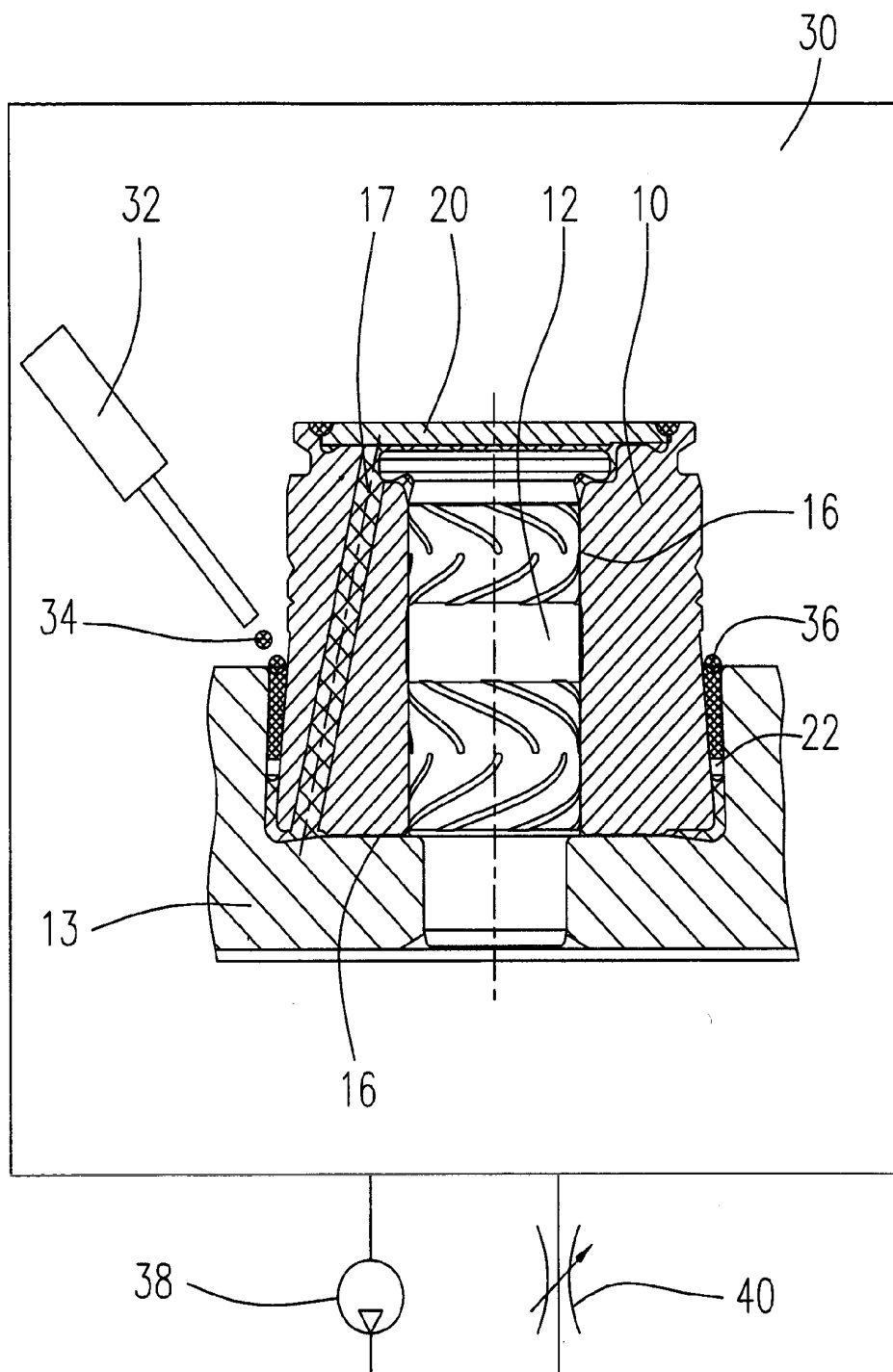
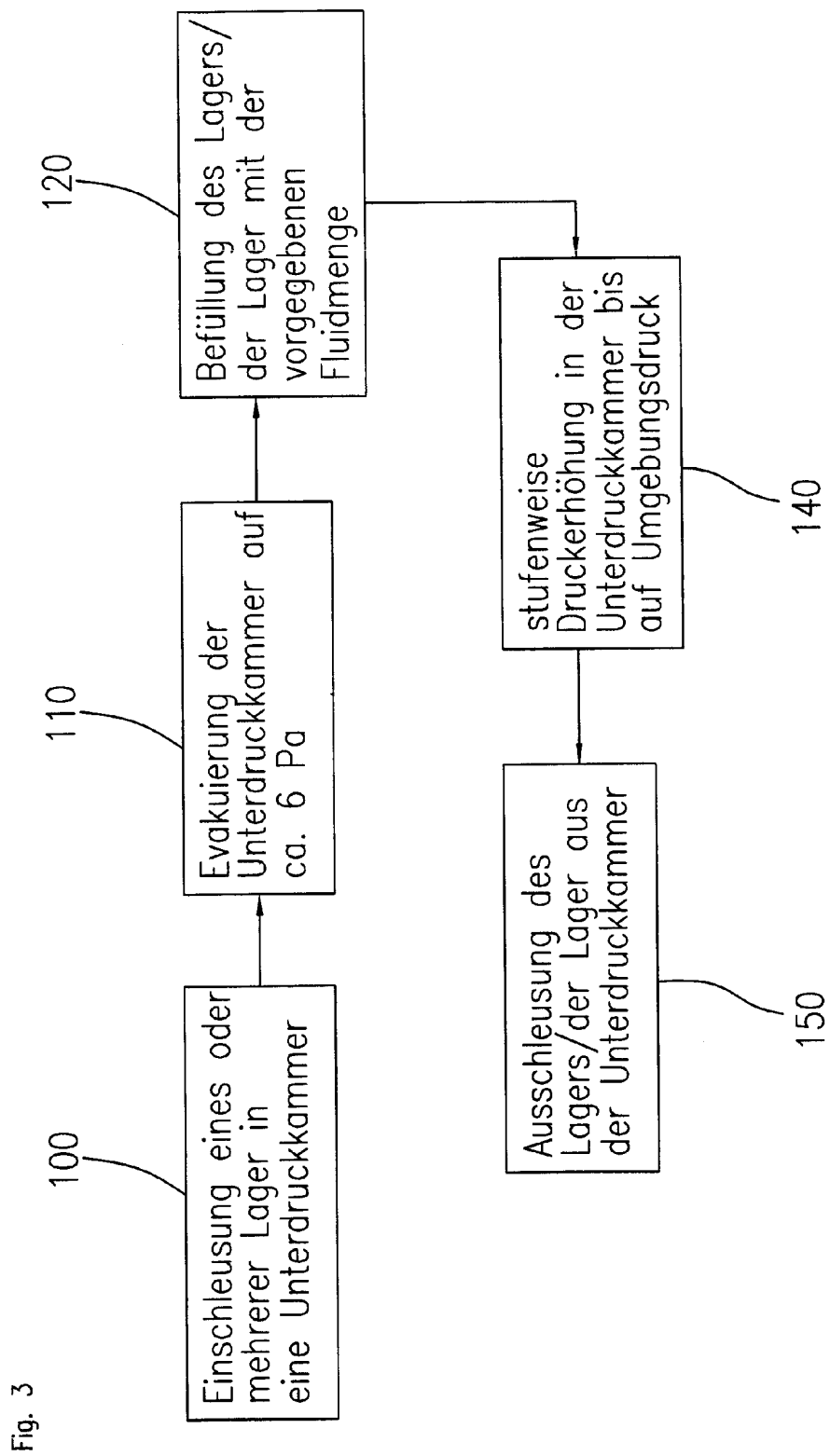


Fig. 1

Fig. 2





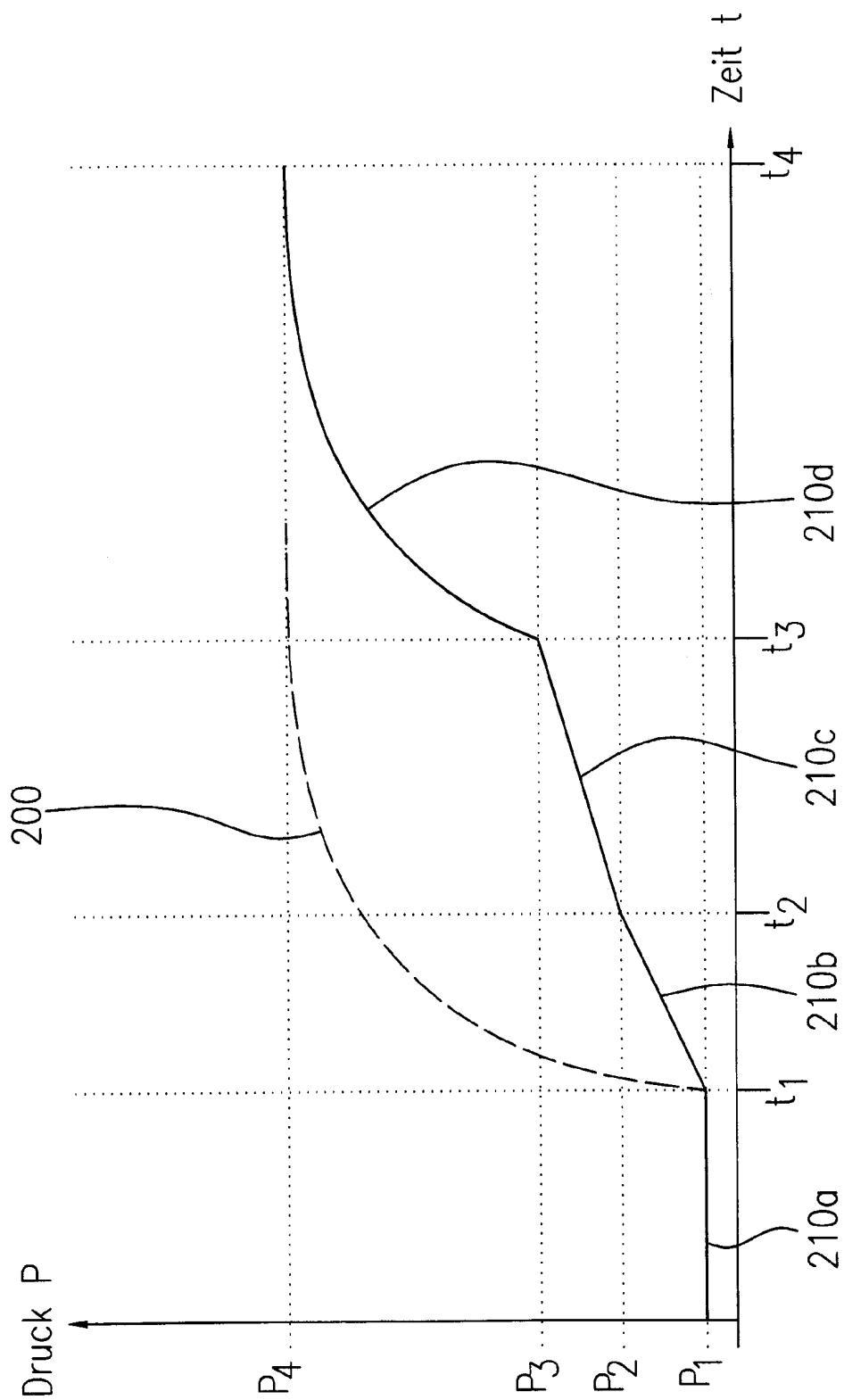


Fig. 4

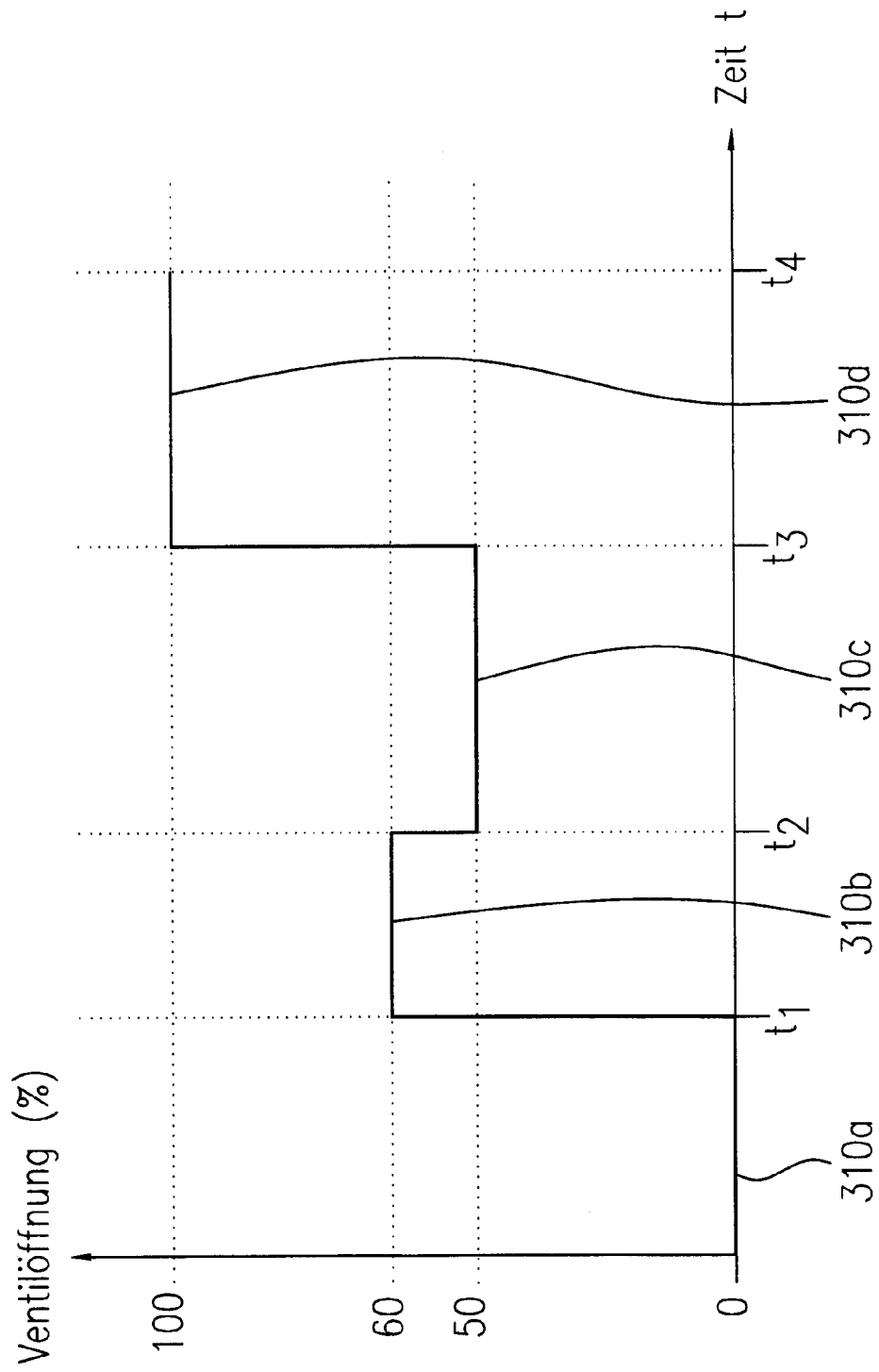


Fig. 5

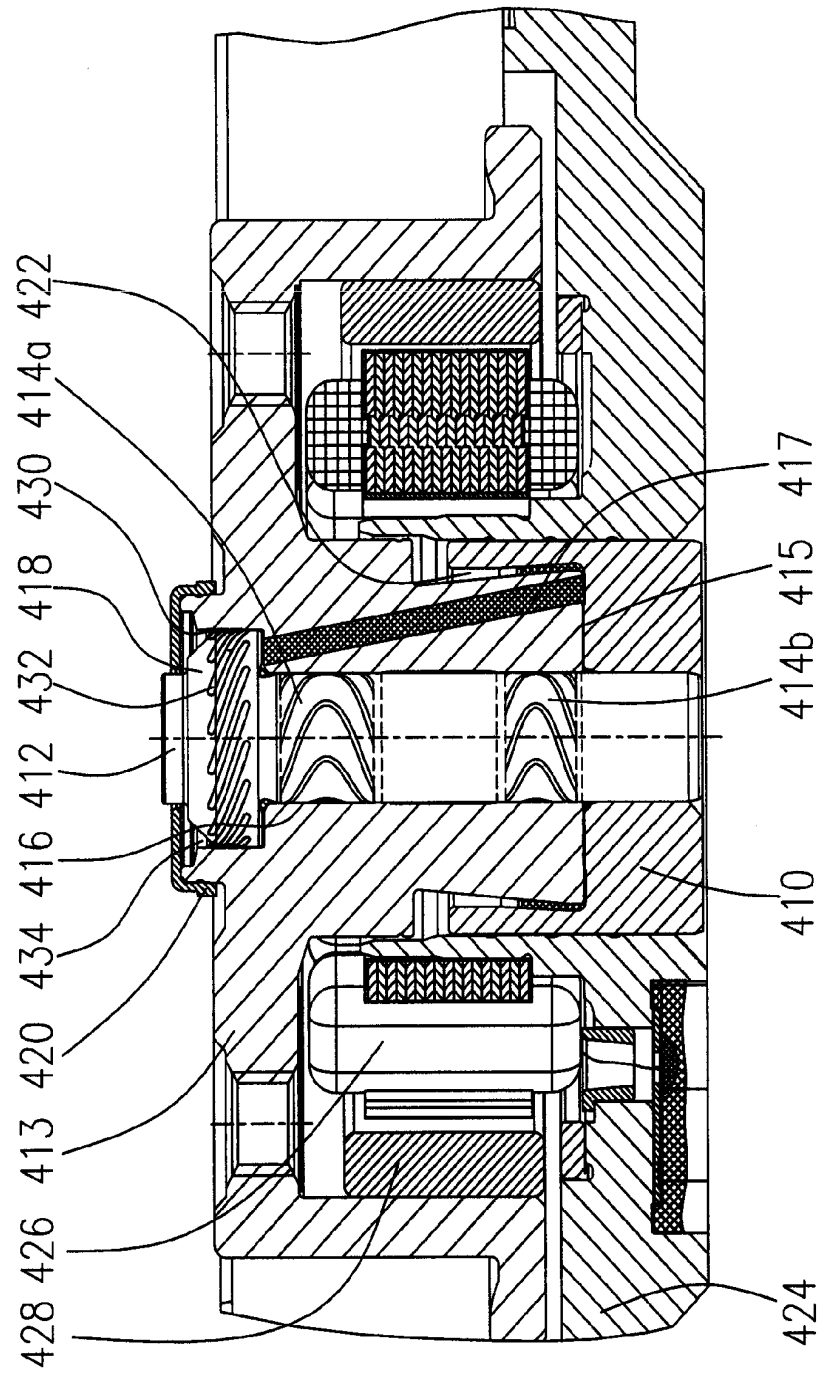


Fig. 6