



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.11.2012 Patentblatt 2012/45

(51) Int Cl.:
F04D 19/04 (2006.01) **F04D 29/66** (2006.01)
F04D 29/058 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12002241.3**

(22) Anmeldetag: **28.03.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **05.05.2011 DE 102011105806**

(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum GmbH**
35614 Aßlar (DE)

(72) Erfinder:
• **Bernhardt, Helmut**
35584 Wetzlar (DE)
• **Lobach, Wolfgang**
14612 Falkensee (DE)
• **Stammeler, Herbert**
35396 Giessen (DE)
• **Stroh, Anja**
35428 Langgöns (DE)
• **Tatzber, Bernhard**
35305 Grünberg (DE)

(54) **Vakuumpumpe mit Rotor**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe (10) mit einem Rotor (20), welcher Wuchtmittel umfasst, einem den Rotor in Drehung versetzenden Antrieb (38, 40), Lagern (44, 50; 60, 62, 64, 66, 68, 70) zum Unterstützen des Rotors, einem Sensormittel zum Erfassen eines Wuchtzustandes des Rotors und zum Zusammenwirken mit einer Auswerteeinheit (134), welche angepasst ist, eine Änderung des Wuchtzustandes (232) zu erkennen, wobei die Vakuumpumpe angepasst ist, mit einer Rotorlageerkennungseinheit (132) zur Bestimmung einer Rotorlage zusammenzuwirken. Um den Wuchtzustand möglichst einfach ändern zu können, wird vorgeschlagen, dass ein Zuordnungsmittel zur Zuordnung des Wuchtzustands zur Rotorlage vorgesehen ist, so dass ein Anpassen der Wuchtmittel ermöglicht ist, um der Änderung des Wuchtzustands zu begegnen. Die Erfindung betrifft außerdem eine Anordnung mit einer Vakuumpumpe und Verfahren zum Wuchten eines Rotors einer Vakuumpumpe.

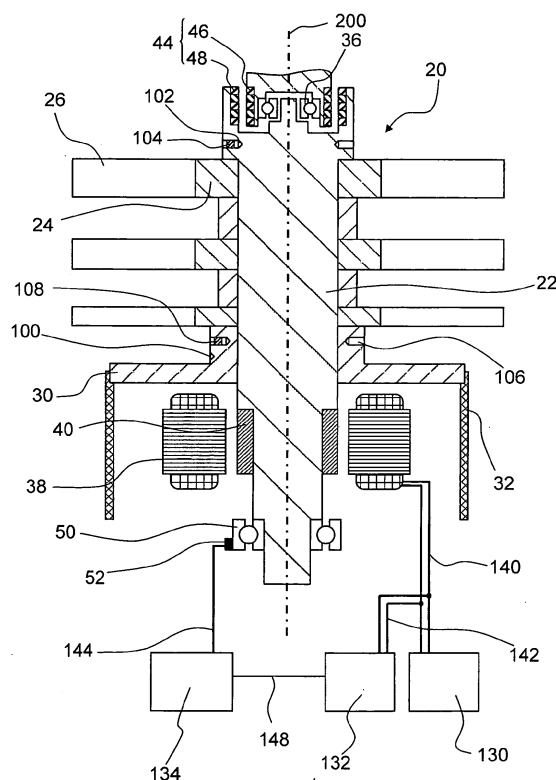


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Anordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 14 und ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 15.

[0002] Die Laufqualität einer Vakuumpumpe, insbesondere einer solchen mit einem schnell drehenden Rotor, hängt entscheidend von der Wuchtgüte des Rotors oder der Rotoren ab. Im Herstellungsprozess einer Vakuumpumpe kann eine sehr hohe Wuchtgüte erreicht werden, da der Wuchtvorgang unter besten Bedingungen und zum Teil in speziellen Vorrichtungen durchgeführt wird.

[0003] Früher wurden Vakuumpumpen, insbesondere molekulare und turbomolekulare Vakuumpumpen, nur in sauberen Anwendungen eingesetzt, bei denen ein möglichst tiefer Enddruck im Vordergrund stand. Heute sind sie ganz anderen Bedingungen ausgesetzt. Immer häufiger werden Vakuumpumpen zum Absaugen von Prozessgasen genutzt, die zu teilweise extremen Prozessablagerungen auf dem Rotor und im Pumpsystem führen. Die Wuchtgüte einer Vakuumpumpe kann sich bei hohem Verschmutzungsgrad innerhalb nur weniger Monate soweit verschlechtern, dass ein weiterer Betrieb erst nach erneutem Wuchten zulässig ist.

[0004] Im Stand der Technik sind Maßnahmen gegen dieses Problem bekannt.

[0005] Eine dieser Maßnahmen ist gezieltes Temperaturmanagement. Bei diesem werden einzelne Bereiche der Vakuumpumpe einer Wärmebehandlung unterzogen, um Ablagerungen zu vermeiden.

[0006] Eine andere Lösung zur Begrenzung von Ablagerungen sieht vor, inertes Gas zuzugeben. Ziel ist entweder eine weitgehende Abgrenzung der Prozessbestandteile von den Oberflächen der Vakuumpumpe oder eine Beschleunigung der Durchpumpgeschwindigkeit.

[0007] Auch funktionelle Beschichtungen von Oberflächen sowie Optimierung der Gasführungsgeometrie werden eingesetzt.

[0008] Letztlich zögern diese Maßnahmen das Unvermeidliche nur durch Verlangsamung des Ablagerungsprozesses hinaus. Die Wuchtgüte sinkt auch weiterhin und früher oder später wird ein Zustand erreicht, an dem die Wuchtgüte verbessert werden muss. Dies bedeutet in der Regel einen Austausch der Vakuumpumpe, also hohe Materialkosten und Zeitausfall, da zum Austauschen in den Prozess eingegriffen wird.

[0009] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vakuumpumpe zu schaffen, bei der die Unwuchtänderung kostengünstiger gehandhabt werden kann.

[0010] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen des ersten Anspruchs, durch eine Anordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 14 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Die abhängigen Ansprüche 2 bis 13 geben vorteilhafte Weiterbildungen an.

[0011] Die beanspruchten Merkmale schaffen eine

Vakuumpumpe, deren Wuchtgüte auf einfachste Art verbessert werden kann. Dies kann beim Kunden vor Ort geschehen. Die Erfindung kann so ausgeführt werden, dass die Vakuumpumpe nicht von der Vorrichtung des Kunden entfernt werden muss. Anstelle eines kostenintensiven Austauschs mit eventuell anschließender Zerlegung der Vakuumpumpe tritt ein schnelles Nachwuchten in einer Prozesspause. Hierdurch wird ein enormer Kosten- und Zeitvorteil erreicht.

[0012] Anhand von Ausführungsbeispielen und deren Weiterbildungen soll die Erfindung näher erläutert und die Darstellung ihrer Vorteile vertieft werden.

[0013] Es zeigen:

- Fig. 1: Schematische Anordnung mit Vakuumpumpe;
- Fig. 2: Schematische Darstellung der Komponenten einer Vakuumpumpe mit einem in Wälzlager und Magnetlager gelagerten Rotor;
- Fig. 3: Schematische Darstellung der Komponenten einer Vakuumpumpe mit einem in fünf Achsen aktiv magnetisch gelagerten Rotor;
- Fig. 4: Prinzipdarstellung zur Verdeutlichung des Wuchtzustands;
- Fig. 5: Prinzipdarstellung zur Veranschaulichung der Änderung des Wuchtzustands;
- Fig. 6: Schnitt durch einen glockenförmigen Rotor mit Wuchtbohrungen;
- Fig. 7: Draufblick auf einen glockenförmigen Rotor mit Wuchtmitteln;
- Fig. 8: Schnitt durch einen glockenförmigen Rotor in Höhe der Wuchtmittel.

[0014] In einer schematischen Darstellung zeigt Fig. 1 eine Anordnung mit einer Vakuumpumpe. Eine Kammer 2, in der beispielsweise ein Beschichtungsprozess abläuft, besitzt einen Kammerflansch 4, an welchem gasdicht eine Vakuumpumpe 10 lösbar befestigt ist. In ihrem Inneren beherbergt die Vakuumpumpe einen Rotor 20. Gas, welches in der Vakuumpumpe gefördert und verdichtet wird, wird an die Gasauslassleitung 6 übergeben, die beispielsweise zu einer nicht gezeigten Vorvakuumpumpe führt, welche das Gas dann bis zu Atmosphärendruck verdichtet. Die Vakuumpumpe besitzt eine Pumpenelektronik 12, die direkt an die Vakuumpumpe angeflanscht sein kann. Innerhalb der Pumpenelektronik sind Elektronikbaugruppen für verschiedene Aufgaben vorgesehen, beispielsweise Antriebsbaugruppen, Schnittstellenansteuerungen und ähnliches. Mit der Pumpenelektronik ist ein Anzeigeelement 16 verbunden, welches als Bildschirm im Gehäuse der Pumpenelektronik, als lösbar verbundenes Handgerät mit optischem Signalinstrument oder als über eine Schnittstelle verbundener Rechner ausgeführt sein kann.

[0015] Eine erste Ausführungsform des Innenlebens der Vakuumpumpe ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. Der Rotor 20 besitzt eine Welle 22, welche wenigstens eine Scheibennabe 24 trägt, an welcher ein Kranz von Schaufeln 26 befestigt ist. Ein erstes Ende der Welle wird

durch ein radiales Permanentmagnetlager 44, umfassend einen Lagerstator 46 und einen Lagerrotor 48, getragen. Ein Fanglager 36 verhindert den Kontakt von Lagerstator und Lagerrotor im Falle hoher und zu starker Auslenkung führender Kräfte auf den Rotor.

[0016] Ein zweites Ende der Welle liegt dem ersten gegenüber. In seiner Nähe wird die Welle von einem Wälzlager 50 in axialer und radialer Richtung drehbar unterstützt.

[0017] Zwischen Permanentmagnetlager und Wälzlager ist ein Motormagnet 40 auf der Welle angebracht, welcher mit einem bestromten Motorstator 38 zusammenwirkt und die Welle in schnelle Drehung um eine Drehachse 200 versetzt.

[0018] Zwischen Scheibennabe und Motormagnet weist der Rotor eine mit der Welle rotierfähig verbundene Holwecknabe 30 auf, die einen Holweckzylinder 32 trägt.

[0019] Zum Wuchten des Rotors weist dieser Wuchtmittel auf. Diese umfassen in dem Beispiel nach Fig. 2 Wuchtbohrungen und darin eingebrachte, beispielsweise eingeschraubte, Wuchtgewichte. Eine erste Mehrzahl Wuchtbohrungen 102 mit Wuchtgewichten 104 ist nahe dem Permanentmagnetlager vorgesehen. Eine zweite Mehrzahl Wuchtbohrungen 106 mit Wuchtgewichten 108 ist in der Holwecknabe angebracht.

[0020] Die Bestromung des Motorstators wird durch eine mittels Bestromungsleitungen mit dem Motorstator verbundenen Antriebssteuerung 130 bewirkt. Eine Rotorlageerkennungseinheit 132 ist mittels Lageerkennungsanzapfungen 142 mit den Bestromungsleitungen verbunden und wertet aus den Signalen der Bestromungsleitungen, beispielsweise der durch den Motormagneten induzierten Gegen-Elektromotorischen Kraft, die Rotorlage aus. Denkbar ist der Einsatz von Hallsonden oder ähnlichem, das gezeigte Beispiel hat jedoch einen Kostenvorteil durch Verzicht auf Bauteile und vermeidet eine Fehlerquelle. Die Rotorlageerkennungseinheit kann Bestandteil der Antriebssteuerung sein und beispielsweise auf ein in der Antriebssteuerung ablaufendes Motormodell im Falle eines sinusförmig kommutierten Synchronmotors zurückgreifen, um die Rotorlage zu ermitteln.

[0021] Mit dem Wälzlager ist ein Schwingungssensor 50 verbunden, der die Schwingungen des Wälzlagers aufnimmt. In diesem Schwingungssignal ist die Information über die Unwucht des Rotors 20 enthalten. Der Schwingungssensor ist über eine Sensorverbindung 144 mit einer Auswerteeinheit 132 wirkverbunden. Diese ist zudem mittels einer Lageerkennungsverbindung 148 mit der Rotorlageerkennungseinheit wirkverbunden.

[0022] Die Auswerteeinheit ist so gestaltet, dass sie aus dem Schwingungssignal die Information über die Unwucht erzeugt und der Information über die Rotorlage zuordnet. Durch ein Zuordnungsmittel, beispielsweise einer auf der Holwecknabe vorgesehene Ausnehmung 100, auf dem Rotor ist es ermöglicht, die Information über die Unwucht den Wuchtbohrungen und Wuchtgewichten eindeutig zuzuordnen.

[0023] Bevor das Zusammenwirken der Teile und das Verfahren eingehender beschrieben werden, stellt Fig. 3 eine ebenfalls geeignete Ausgestaltung des Innenlebens der Vakuumpumpe 10 vor.

5 **[0024]** Der Rotor 20 umfasst in diesem Beispiel neben der Welle 22 einen glockenförmigen Körper 28, oft auch kurz Glocke genannt, welcher die Schaufeln 26 trägt. Durch die Glocke wird ein Hohlraum geschaffen, in welchem die Welle angeordnet ist. Diese umgebend beinhaltet er wenigstens teilweise die Komponenten einer Magnetlagerung zur Unterstützung des Rotors in fünf Achsen.

10 **[0025]** Der Rotor weist Wuchtmittel auf, die Wuchtbohrungen und Wuchtgewichte umfassen. Die Wuchtbohrungen 102 der ersten Wuchtebene und die darin befindlichen Wuchtgewichte 104 befinden sich stirnseitig an der Glocke, auf der der Welle abgewandten Außenseite. Die Wuchtbohrungen 106 und die darin befindlichen Wuchtgewichte 108 der zweiten Wuchtebene sind am Mantel der Glocke zwischen zwei Schaufelreihen vorgesehen. Um die Zugänglichkeit der Wuchtgewichte auch nach längerem Betrieb des Rotors und dadurch entstehenden Ablagerungen zu gewährleisten, können die Wuchtbohrungen und Wuchtgewichte geschützt sein.

25 Hierfür kann ein Deckel 80 vorgesehen sein, der die Wuchtbohrungen der ersten Ebene schützt und lösbar mit der Glocke verbunden ist. Zwischen den Schaufelreihen kann sein Verschluss 82 vorgesehen sein, der beispielsweise als ein um die Glocke umlaufendes Metallband gestaltet ist.

30 **[0026]** Eine Zuordnungsmittel, das beispielsweise als kleine Ausnehmung 100 in Form einer Senkung gestaltet ist, erlaubt eine Zuordnung der Wuchtbohrungen zur Stellung des Motormagneten und somit die Zuordnung des Wuchtzustandes des Rotors zu den Wuchtbohrungen.

35 **[0027]** Zum Schutz gegen Ablagerungen kann das Zuordnungsmittel, im gezeigten Beispiel die Ausnehmung, ähnlich den Wuchtbohrungen abgedeckt sein. In Fig. 3 ist eine Alternative gezeigt, die auch auf die Wuchtbohrungen und Wuchtgewichte anwendbar ist. Durch einen Sperrgaseinlass 84 wird Sperrgas unter die Glocke eingelassen, wodurch sowohl Glocke als auch Magnetlagerung vor Prozessgasen geschützt werden. Die Markierung ist nun so auf der Glocke angeordnet, dass sie vom Sperrgas angeströmt und somit Prozessablagerungen auf der Markierung unterdrückt werden.

40 **[0028]** Die Magnetlagerung umfasst einen dem glockenseitigen Ende der Welle zugeordneten oberen Radiallagerstator 60, einen oberen Radialsensor 62, einen unteren Radiallagerstator 64, sowie einen unteren Radialsensor 66. Mit diesen Radialagern wird die Lagerung in jeweils zwei senkrechten Raumrichtungen bewirkt. Die Radialsensoren geben Aufschluss über die Lage der Welle innerhalb der Radiallagerstatoren.

45 **[0029]** Die verbliebene fünfte Achse ist entlang der Drehachse 200 orientiert und wird von einem Axiallager gestützt. Hierzu dienen ein Axiallagerstator 68 und rotor-

50

seitig eine Axiallagerscheibe 70.

[0030] Die Bestromung der Spulen der Radial- und Axiallagerstatoren wird gemäß der Signale der Radial- und Axialsensoren von einer mit den Sensoren und den Spulen verbundenen Magnetlagersteuerung 136 eingestellt. Die Signale der Sensoren beinhalten die Information über den Wuchtzustand des Rotors.

[0031] Eine ausreichende Anzahl von Fanglagern 36 stellt die Lagerung bei unbestromter Lagerung sicher.

[0032] Ein Antrieb versetzt die Welle und damit den Rotor in schnelle Drehung und umfaßt einen Motorstator 38 und einen Motorrotor 40. Die Bestromung des Motorstators wird von der Antriebssteuerung 130 über Bestromungsleitungen 140 bewirkt.

[0033] Eine Rotorlageerkennungseinheit 132 ist vorgesehen, welche in geeigneter Form die Drehstellung des Rotors erkennt. Im gezeigten Beispiel sind Lageerkennungszapfungen 142 vorgesehen, mit denen die Lageinformation aus der durch den Motormagneten des Motorrotors induzierten Gegenmotorische Kraft bestimmt wird.

[0034] Eine Auswerteeinheit 134 ist mit der Rotorlageerkennungseinheit 132 und mit der Magnetlagersteuerung 136 wirkverbunden. Sie ist so gestaltet, dass eine Rotorlage dem aus den Magnetlagersensorsignalen ermittelten Wuchtzustand des Rotors zugeordnet wird. Aufgrund der Markierung ist der Wuchtzustand dann eindeutig den Wuchtbohrungen und Wuchtgewichten zugeordnet.

[0035] Das Zusammenwirken der vorgenannt an Hand der Fig. 2 und 3 beschriebenen Teile soll anhand der Fig. 4 näher erläutert werden. Schematisch dargestellt sind die erste Wuchtebene 204 und die zweite Wuchtebene 206, in welchen Wuchtgewichte 104 und 108 vorgesehen sind. Mit diesen Wuchtgewichten wird der Rotor bei der Herstellung möglichst gut gewuchtet, so dass sich ein ruhiger Lauf um die Drehachse 200 ergibt.

[0036] Der Motorrotor besitzt eine ausgeprägte Richtung 202, die beispielsweise aus der Magnetisierungsrichtung eines Motormagneten folgt. Diese Richtung ist den Positionen der Wuchtbohrungen fest zugeordnet, da Motorrotor und Wuchtbohrungen auf dem Rotor ortsfest sind. Wiederum auf dem Rotor ortsfest ist die Markierung 100.

[0037] Während des Betriebes kommt es beispielsweise zu Ablagerungen auf dem Rotor. Da solche Ablagerungen nie vollständig rotationssymmetrisch stattfinden, führen sie zu einer Veränderung des Wuchtzustands, welche in der Fig. 4 durch eine Unwucht 208 in einer Unwuchtebene 210 dargestellt ist. Die Unwucht führt zu einem unruhigen Lauf um die Drehachse und es ist nun das Ziel, durch eine Veränderung der Wuchtgewichte der verschiedenen Wuchtebenen diese Unwucht zu kompensieren.

[0038] Die Auswirkungen der Unwucht sind in den Sensorsignalen enthalten. Der Nachweis kann durch Sensoren in zwei zur Drehachse senkrechten Richtungen gemessen werden. Alternativ kann ein Sensor vor-

gesehen sein, der nur in einer Richtung misst und dessen Signal dann phasenbezogen analysiert wird, denn während des Umlaufs um die Drehachse liegt die Unwucht einmal in Richtung und einmal senkrecht zur Sensorrichtung.

[0039] Die Auswerteeinheit ist nun so gestaltet, dass sie aus dem durch die Unwucht veränderten Wuchtzustand eine notwendige Veränderung einzelner Wuchtgewichte in den Wuchtebenen ableitet und diese der Rotorlage zuordnet. Dabei kann der Absolutwert der Unwucht ausgegeben werden. Eine einfachere Ausgestaltung sieht jedoch vor, die Auswerteeinheit so zu gestalten, dass sie nur die relative Änderung des Wuchtzustandes bezogen auf den Wuchtzustand nach Herstellen der Pumpe ermittelt. Aus dieser folgt die notwendige Veränderung der Wuchtmittel, im gezeigten Beispiel der einzelnen Wuchtgewichte. Diese Änderungen sind zunächst der Rotorlage zugeordnet, also der Richtung 202. Da diese in fester Beziehung zum Zuordnungsmittel steht, sind die Änderungen auch diesem zugeordnet. Nach Ausgabe der notwendigen Veränderungen der Wuchtgewichte über das Anzeigeelement 16, welches dementsprechend zur Ausgabe der Information über die Änderung der Wuchtmittel angepasst ist, ist ein Servicetechniker in der Lage, die notwendigen Veränderungen vorzunehmen, indem er das Zuordnungsmittel des Rotors, beispielsweise die Ausnehmung, aufsucht und von dieser ausgehend die einzelnen Wuchtbohrungen aufsucht und die darin befindlichen Wuchtgewichte anpasst. Die Anpassung kann ein einfacher Austausch des Wuchtgewichtes sein.

[0040] Der Verlauf des Wuchtzustands und das Verfahren zum Wuchten sollen an der schematischen Darstellung für einen zweidimensionalen Fall nach Fig. 5 näher erläutert werden.

[0041] In der Wuchtebene 102 sind die Wuchtgewichte 104a bis 104d vorgesehen, die am Rotor über den Umfang verteilt und mit Abstand zur Drehachse 200 angeordnet sind. Eine erste Raumrichtung 212 und eine zweite, zur ersten senkrechte Raumrichtung 214 spannen die Wuchtebene auf.

[0042] Der Rotor kann nie so exakt gefertigt werden, dass der Massenschwerpunkt mit der Drehachse zusammenfällt. Er befindet sich daher in einem Fertigungswuchtzustand 230, der einen ruhigen Lauf des Rotors bei den geforderten hohen Drehzahlen nicht ermöglicht. Daher werden die Wuchtgewichte hinzugefügt, um einen Ausgangswuchtzustand 232 zu erreichen, bei dem der Massenschwerpunkt hinreichend dicht an der Drehachse liegt. Dabei kommen die Massen im Ausgangszustand 240a bis 240d zum Einsatz, der Rotor befindet sich nach diesem Verfahrensschritt im Ausgangswuchtzustand.

[0043] Während der Benutzung der Pumpe kommt es nach und nach zu Ablagerungen, die den Wuchtzustand gemäß des Wuchtverlaufs 250 verändern, bis der Wuchtzustand durch Ablagerungen 234 erreicht wird. Dieser Wuchtzustand erfordert für den weiteren Betrieb der Pumpe ein Nachwuchten des Rotors.

[0044] Wie zuvor beschrieben, ist der Wuchtzustand in den Sensorsignalen enthalten. Die Auswerteeinheit ist dazu ausgelegt und gestaltet, die Änderungen der Wuchtmittel zu berechnen und diese der Rotorlage und durch das Zuordnungsmittel den Wuchtmitteln zuzuordnen. Alternativ kann auch der Absolutwert der Unwucht berechnet und ausgegeben werden. In beiden Fällen wird als Teil des Verfahrens der Wuchtzustand des Rotors überwacht und einer Rotorlage zugeordnet.

[0045] Das Verfahren sieht nun vor, dass bei einer Änderung des Wuchtzustands, beispielsweise durch die vorgenannten Ablagerungen, am Rotor vorgesehene Wuchtmittel zur Verbesserung des Wuchtzustands verändert werden. Im Beispiel werden mit Hilfe der Massenänderungen 244a bis 244d die Wuchtgewichte auf die Masse nach Wuchten 242a bis 242d gebracht. In der Folge wird der neue Wuchtzustand 236 erreicht, der einen weiteren Betrieb des Rotors erlaubt.

[0046] Eine Weiterbildung des Zuordnungsmittels zeigt Fig. 6 als Schnitt durch einen Rotor nach Fig. 3, wobei die Maßnahme auch auf einen Rotor nach Fig. 2 anwendbar ist. Im Draufblick ist die in Umfangsrichtung umlaufende Reihe von Schaufeln 26 zu sehen. Diese sind an der Glocke 28 befestigt. Über den Umfang der Glocke sind Wuchtbohrungen 106 verteilt. Alle oder ein Teil der Wuchtbohrungen können durchgängig gestaltet sein wie die Wuchtbohrung 112.

[0047] Das Zuordnungsmittel kann anstelle oder zusätzlich zu der in den Fig. 2 und 3 gezeigten Ausnehmung eine Wuchtbohrung mit größerem Durchmesser 110 umfassen.

[0048] Eine andere Weiterbildung des Zuordnungsmittels sieht eine nicht rotationssymmetrische Verteilung des Wuchtmittels in Umfangsrichtung vor. In Fig. 6 ist dies gezeigt. Die Wuchtbohrungen 106 befinden sich in einem Normalabstand 220, wobei asymmetrisch platzierte Bohrungen 114 vorgesehen sind, die einen verkürzten Abstand 222 zu wenigstens einer der nächstliegenden Wuchtbohrungen besitzen.

[0049] Weitere Ausgestaltungsformen des Zuordnungsmittels zeigen die Fig. 7 und 8.

[0050] In Fig. 7 ist ein Draufblick auf einen Rotor 20 mit Glocke 28 gezeigt, an deren äußeren Umfang Schaufeln 26 angeordnet sind. Im inneren Bereich nahe der Drehachse 200 und in einem Abstand 260 zu dieser sind Verbindungsschrauben 150 vorgesehen, mit denen die Glocke an der in Fig. 3 gezeigten Welle befestigt ist. Das Zuordnungsmittel umfasst in diesem Beispiel eine asymmetrische Verbindungsschraube 152. Die Asymmetrie wird durch einen kürzeren Abstand 262 zur Drehachse erreicht. Alternativ oder zusätzlich kann diese Verbindungsschraube einen anderen Durchmesser aufweisen. Andere Arten, diese Verbindungsschraube asymmetrisch zu den anderen auszuführen, sind denkbar, beispielsweise mit Hilfe von Unterlegscheiben, Markierungen, Farbgestaltung, um einige zu nennen. Das Wuchtmittel umfasst in diesem Beispiel Ausgleichstellen 154, die über den Umfang verteilt sind. An diesen Stellen wird

Material abgetragen, beispielsweise auf schneidende oder schleifende Weise, wodurch der Wuchtzustand des Rotors gezielt verändert wird. Die asymmetrische Verbindungsschraube ist einer der Ausgleichsstellen eindeutig zugeordnet, so dass durch das Zuordnungsmittel das Wuchtmittel eindeutig der Rotorlage zugeordnet ist.

[0051] In Fig. 8 ist ein Schnitt durch einen Rotor mit Glocke 28 auf Höhe von Wuchtbohrungen 112 gezeigt. Am äußeren Umfang des Rotors sind Schaufeln 26 befestigt. Die Anzahl der Schaufeln und die Anzahl der Wuchtbohrungen stehen in einem mit Rest teilbaren Verhältnis, im gezeigten Beispiel sind es acht Schaufeln und fünf Wuchtbohrungen. Durch dieses Verhältnis der Anzahl ist es möglich, eine zugeordnete Wuchtbohrung 156 zu schaffen, die beispielsweise einer Schaufelkante 158 einer Schaufel eindeutig zugeordnet ist. Das Zuordnungsmittel umfasst in diesem Beispiel Elemente des Rotors, nämlich die Schaufeln, die derart in anderer Weise als das Wuchtmittel, nämlich die Wuchtbohrungen, um die Drehachse 200 verteilt sind, dass eine eindeutige Zuordnung des Wuchtmittels und zu einem der Elemente entsteht.

[0052] Neben Wuchtbohrungen und Ausgleichsstellen sind im Stand der Technik auch Mittel wie beispielsweise exzentrisch gestaltete Wuchtringe bekannt, durch deren Drehung um die Drehachse der Wuchtzustand gezielt verändert wird. Auch auf diese Lösungen ist die Erfindung anwendbar.

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (10) mit einem Rotor (20), welcher Wuchtmittel umfasst, einem den Rotor in Drehung versetzenden Antrieb (38, 40), Lagern (44, 50; 60, 62, 64, 66, 68, 70) zum Unterstützen des Rotors, einem Sensormittel zum Erfassen eines Wuchtzustandes des Rotors und zum Zusammenwirken mit einer Auswerteeinheit (134), welche angepasst ist, eine Änderung des Wuchtzustandes (232) zu erkennen, wobei die Vakuumpumpe angepasst ist, mit einer Rotorlageerkennungseinheit (132) zur Bestimmung einer Rotorlage zusammenzuwirken, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Zuordnungsmittel zur Zuordnung des Wuchtzustands zur Rotorlage vorgesehen ist, so dass ein Anpassen der Wuchtmittel ermöglicht ist, um der Änderung des Wuchtzustands zu begegnen.
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eines der Lager ein Kugellager (50) umfasst, welches den Rotor (20) in radialer Richtung abstützt.
3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lager ein aktives magnetisches Radiallager (60, 62, 64, 66) umfassen.

4. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Sensormittel einen Schwingungssensor (52) umfasst, wobei das Sensormittel eingerichtet ist, Schwingungen in wenigstens einer Raumrichtung zu erfassen. 5
 5. Vakuumpumpe nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Sensormittel einen Radialabstandssensor (62, 66) umfasst. 10
 6. Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wuchtzustand einen Absolutwert und die Lage einer Unwucht (208) beinhaltet. 15
 7. Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wuchtzustand eine relative Änderung der Unwucht (208) beinhaltet. 20
 8. Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuordnungsmittel eine Markierung auf dem Rotor umfasst. 25
 9. Vakuumpumpe nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Markierung eine Senkung (100) auf dem Rotor umfasst.
 10. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wuchtmittel eine Mehrzahl auf dem Rotor verteilter Wuchtbohrungen (102, 106; 110, 112, 114, 156) zur Aufnahme jeweils eines Wuchtgewichtes (104, 108; 104a, 104b, 104c, 104d) umfasst. 30
35
 11. Vakuumpumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuordnungsmittel als nicht-rotationssymmetrische Gestaltung des Wuchtmittels, insbesondere als nicht-rotationssymmetrische Verteilung der Wuchtbohrungen (114), gestaltet ist. 40
 12. Vakuumpumpe nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wuchtmittel, insbesondere die Wuchtbohrungen (102, 106; 110, 112, 114, 156), vor Prozessablagerungen geschützt sind. 45
 13. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuordnungsmittel Elemente des Rotors umfasst, die derart in anderer Weise als das Wuchtmittel um die Drehachse verteilt sind, dass eine eindeutige Zuordnung des Wuchtmittels und zu einem der Elemente entsteht. 50
55
 14. Anordnung mit einer Vakuumpumpe (10) mit einem Rotor (20), welcher Wuchtmittel umfasst, einem den Rotor in Drehung versetzenden Antrieb (38, 40), La-
- gern (44, 50; 60, 62, 64, 66, 68, 70) zum Unterstützen des Rotors, einem Sensormittel zum Erfassen eines Wuchtzustandes (232) des Rotors, einer Auswertereinheit (134), welche angepasst ist, eine Änderung des Wuchtzustandes zu erkennen, und einer Rotorlageerkennungseinheit (132) zur Bestimmung einer Rotorlage, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vakuumpumpe ein Zuordnungsmittel zur Zuordnung des Wuchtzustandes zur Rotorlage umfasst, so dass ein Anpassen der Wuchtmittel ermöglicht ist, um der Änderung des Wuchtzustandes zu begegnen.
15. Verfahren zum Wuchten eines Rotors (20) einer Vakuumpumpe (10), wobei der Rotor in einen Ausgangswuchtzustand (232) gebracht ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wuchtzustand des Rotors überwacht wird, der Wuchtzustand einer Rotorlage zugeordnet wird und bei einer Änderung des Wuchtzustands am Rotor vorgesehene Wuchtmittel zur Verbesserung des Wuchtzustands verändert werden.

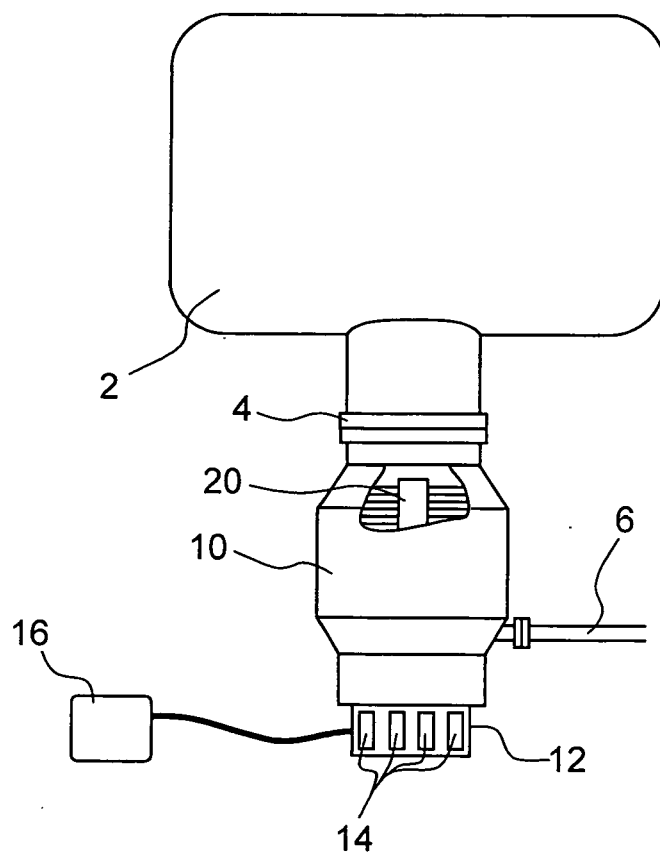


Fig. 1

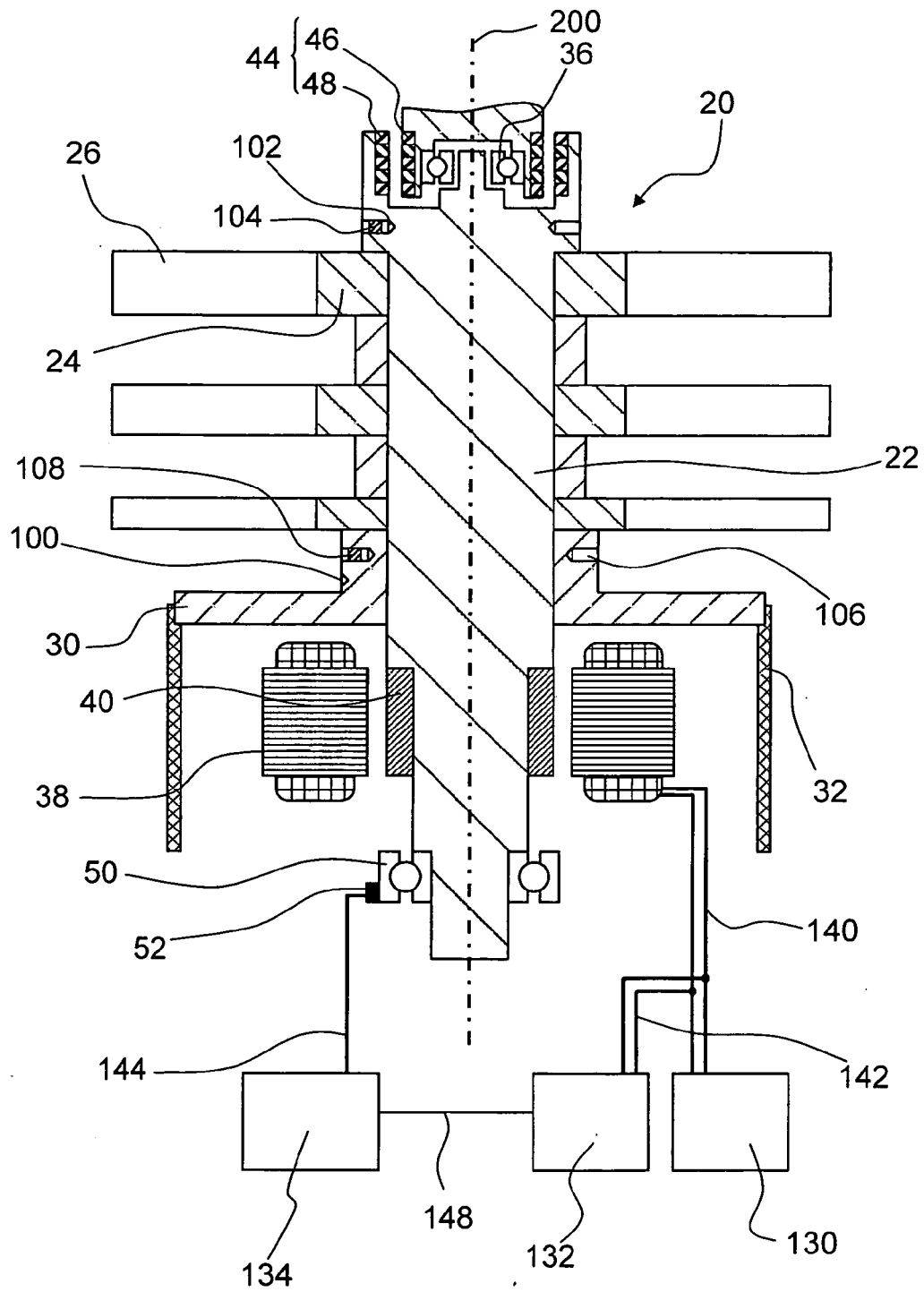


Fig. 2

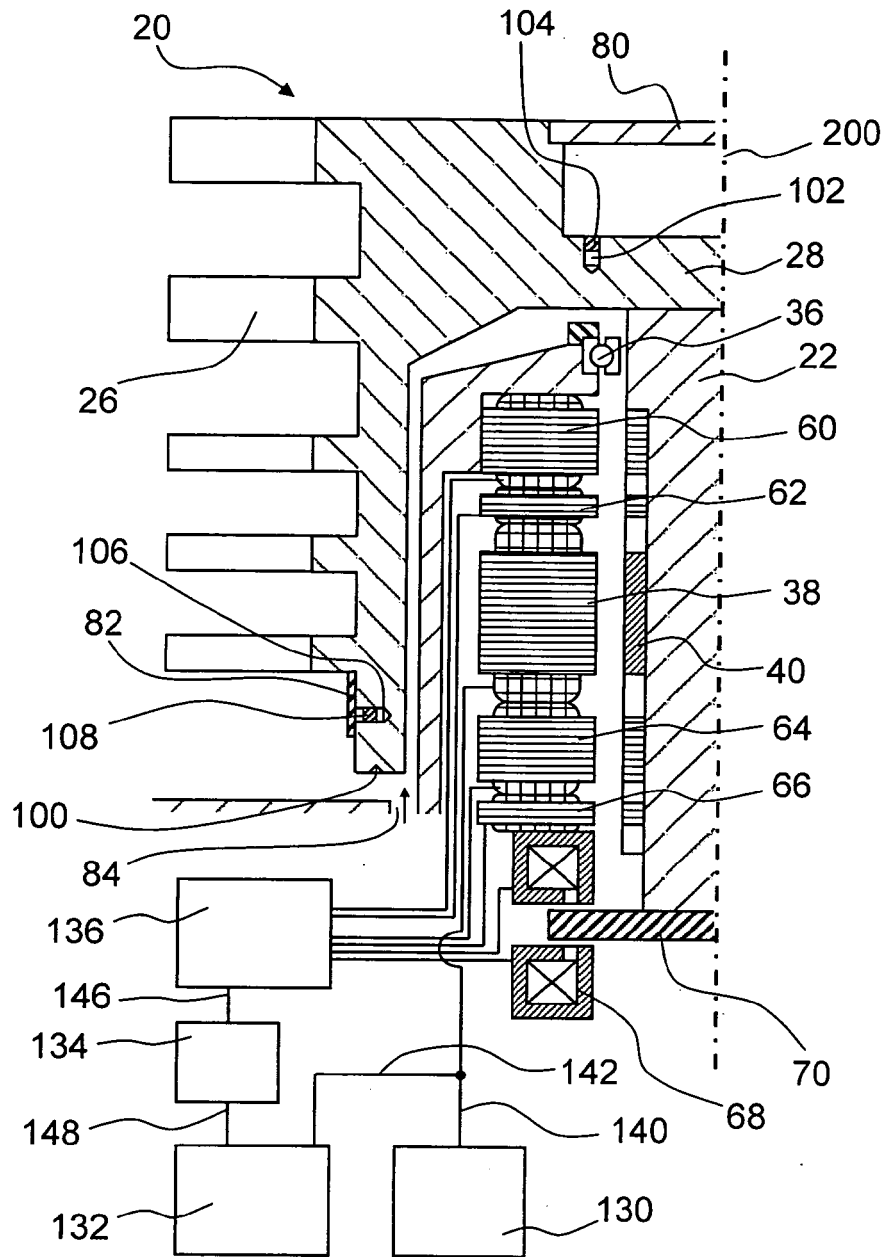


Fig. 3

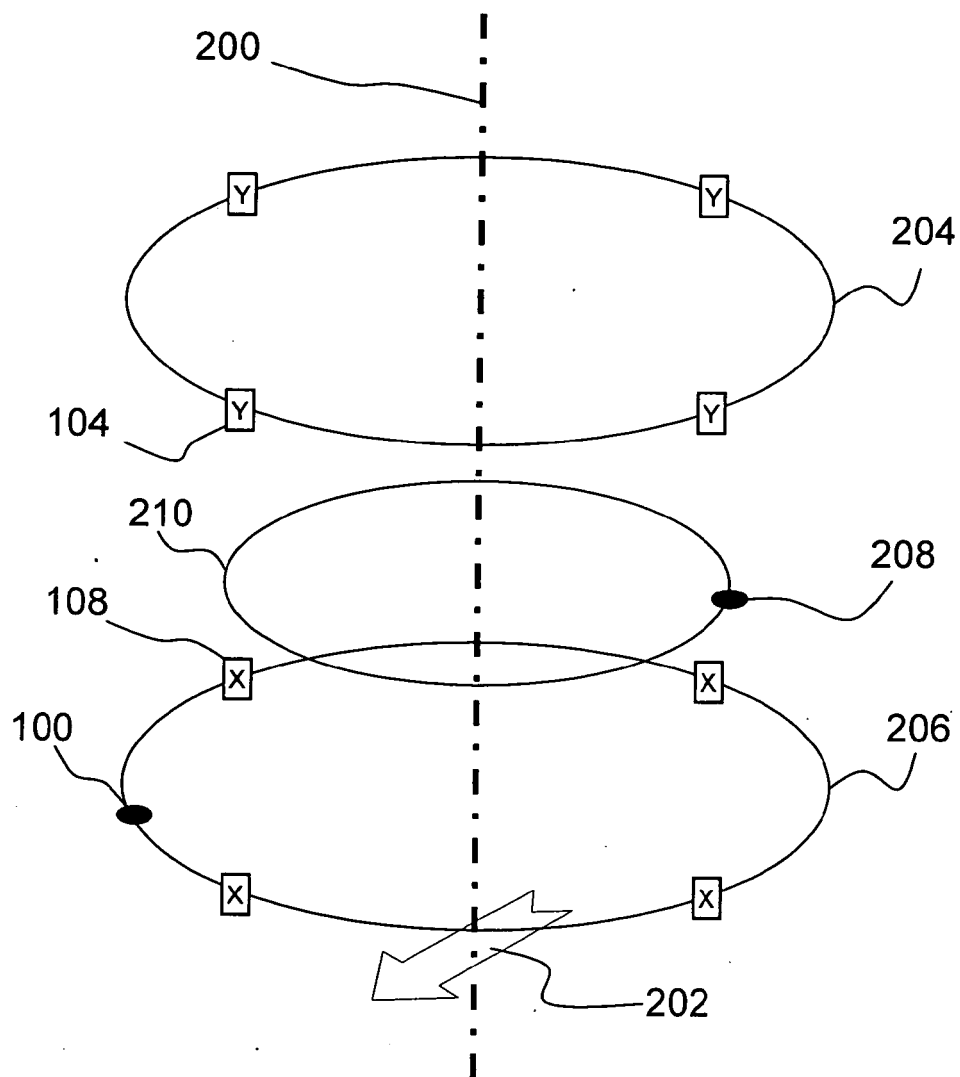


Fig. 4

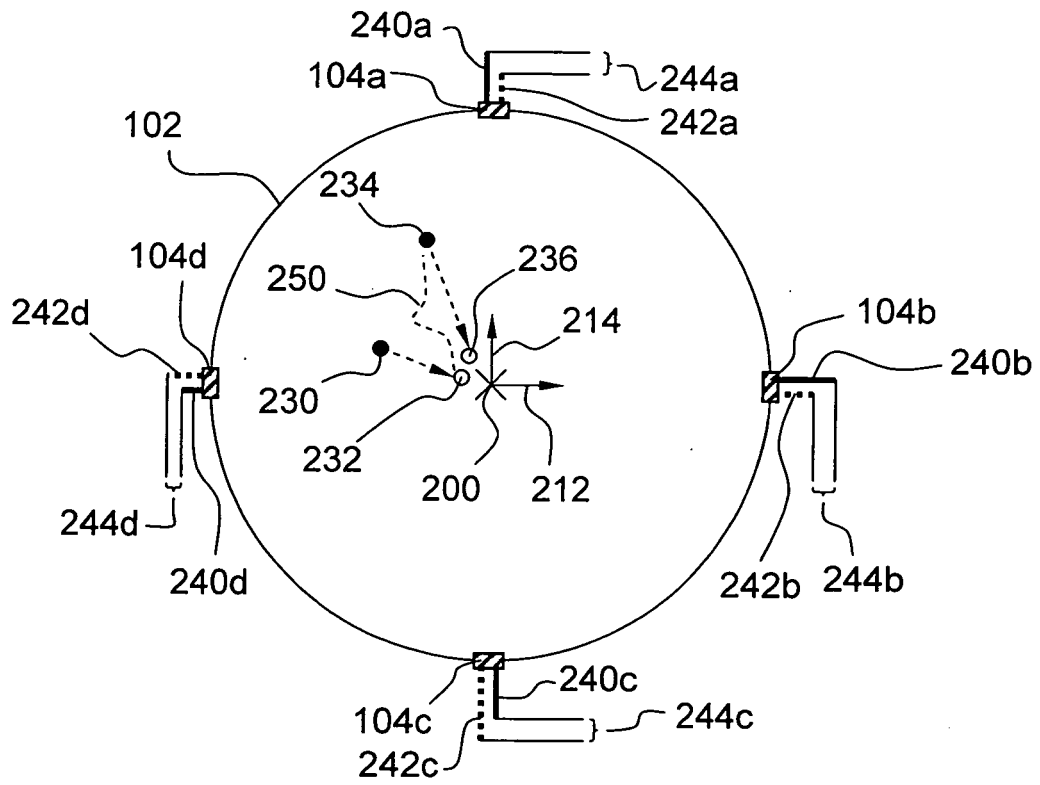


Fig. 5

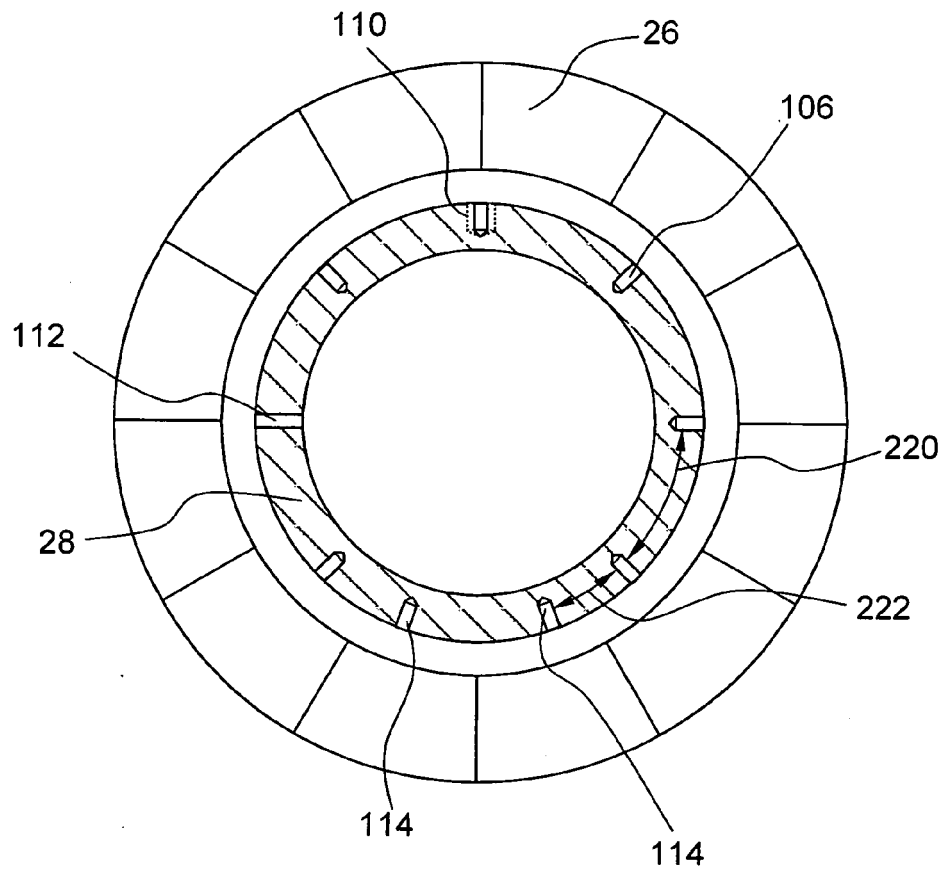


Fig. 6

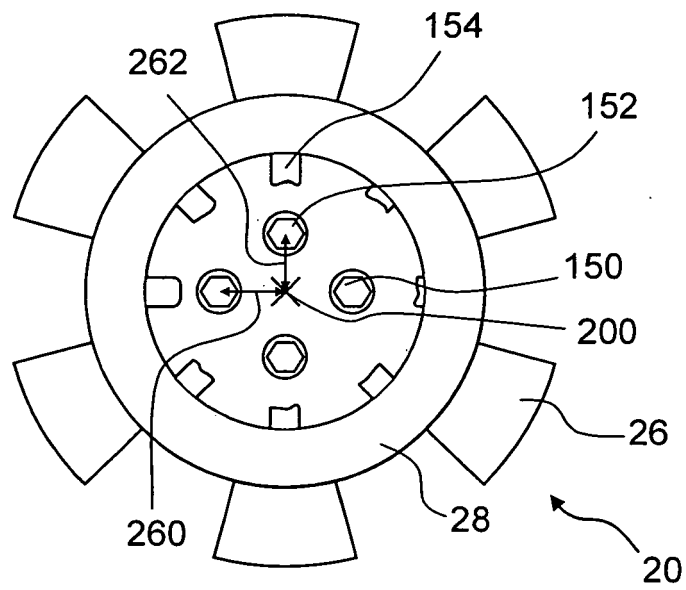


Fig. 7

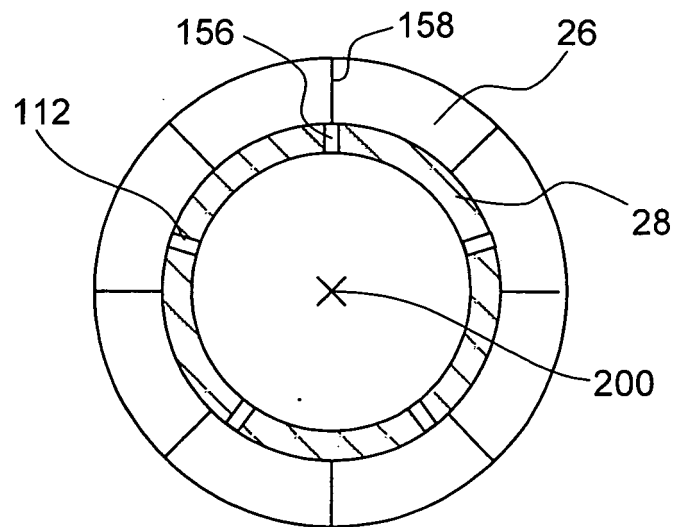


Fig. 8