



(11) **EP 3 557 072 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

(51) Int Cl.:
F04D 19/04 ^(2006.01) **F04D 27/02** ^(2006.01)
F04D 29/056 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19159776.4**

(22) Anmeldetag: **27.02.2019**

(54) **ÜBERWACHUNG DER LAGEREINRICHTUNG EINER VAKUUMPUMPE**

MONITORING THE BEARING ASSEMBLY OF A VACUUM PUMP

SURVEILLANCE D'UN DISPOSITIF DE PALIER D'UNE POMPE À VIDE

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.10.2019 Patentblatt 2019/43

(73) Patentinhaber: **PFEIFFER VACUUM GMBH
35614 Asslar (DE)**

(72) Erfinder:
• **Böttcher, Jochen
35394 Gießen-Rödgen (DE)**

- **Schnarr, Johannes
35625 Rechtenbach (DE)**
- **Stoll, Tobias
35644 Hohenahr (DE)**
- **Schweighöfer, Michael
35641 Schöffengrund (DE)**

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A2- 0 851 127 JP-A- S62 282 194
JP-A- 2018 159 340 US-A1- 2011 103 934**

EP 3 557 072 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit zumindest einer Pumpstufe, die zumindest einen Rotor umfasst, der mittels zumindest einer Lagereinrichtung drehbar gelagert ist.

[0002] Derartige Vakuumpumpen sind grundsätzlich bekannt und finden eine breite Anwendung, beispielsweise in der Industrie und/oder im wissenschaftlichen Umfeld. Dabei sind nicht nur deren (Betriebs-)Kosten, Leistungsfähigkeit oder Baugröße wesentliche Faktoren, die für den jeweiligen Anwender von Bedeutung sind. Sie müssen auch zuverlässig sein, da ein Ausfall zu Schäden an den Vakuumanlagen führen kann, denen sie zugeordnet sind.

[0003] Die JP S62 282194 A und die EP 0 851 127 A2 offenbaren jeweils eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vakuumpumpe der eingangs genannten Bauart zu schaffen, bei der sich anbahnende Schäden noch frühzeitig erkannt werden können, im Idealfall bevor diese tatsächlich ausfällt.

[0005] Erfindungsgemäß wird eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen von Anspruch 1 bereitgestellt. Im Schadensfall oder kurz davor weicht der ermittelte Betriebszustand häufig von einem für den jeweiligen Betriebsmodus charakteristischen normalen Betriebszustand ab. Ein Erkennen einer solchen Abweichung kann dann zur Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen genutzt werden.

[0006] Die Bestimmung der Temperatur der Lagereinrichtung kann direkt an ihr selbst vorgenommen werden. Es ist jedoch auch möglich, die Temperatur in der Nähe der Lagereinrichtung zu bestimmen, insbesondere an Bauteilen, die in einem engen - bevorzugt direktem - Kontakt mit der Lagereinrichtung stehen. Bei einer Bestimmung der Temperatur im nahen Umfeld der Lagereinrichtung kann davon ausgegangen werden, dass der bestimmte Wert im Wesentlichen dem entspricht, der direkt an der Lagereinrichtung bestimmt werden würde.

[0007] Durch eine Bestimmung einer Temperatur der Lagereinrichtung mittels der räumlich nahe bei dieser angeordneten ersten Sensoreinrichtung kann auf ihren Zustand rückgeschlossen werden. Da diese Temperatur allerdings auch in einem fehlerfreien Zustand der Lagereinrichtung bzw. der Vakuumpumpe innerhalb vergleichsweise breiter Grenzen variieren kann, ist die Analyse dieser Temperatur alleine jedoch nicht in jedem Fall aufschlussreich.

[0008] Um eine verlässlichere Analyse des tatsächlichen Zustands der Lagereinrichtung zu ermöglichen, ist daher die zweite Sensoreinrichtung vorgesehen. Sie bestimmt den Zustand der Vakuumpumpe in einem räumlichen Abstand, um zumindest eine weitere Temperatur zu erhalten, die von dem Zustand der Lagereinrichtung nicht oder nur wenig beeinflusst wird.

[0009] Letztlich werden somit Temperaturen verglichen, die einerseits stark und andererseits wenig bis im Wesentlichen gar nicht durch den Zustand der Lagereinrichtung beeinflusst werden. Durch diesen Vergleich können Rückschlüsse auf den Betriebszustand der Lagereinrichtung und/oder dessen zeitliche Änderung gezogen werden. Bei dem Vergleich der Temperaturen können deren diskrete Werte und/oder deren zeitliche Veränderung berücksichtigt werden.

[0010] Beispielsweise erkennt die Steuereinrichtung auf Basis des Vergleichs, dass die Vakuumpumpe ordnungsgemäß funktioniert, wenn sich die beiden unterschiedlichen Temperaturen innerhalb vorgegebener Grenzen kohärent verändern. Bei einem Hochfahren der Pumpe kann etwa ein Anwachsen beider Temperaturen zu erwarten sein. Sobald sie jedoch auseinanderlaufen, kann dies als Hinweis auf einen sich anbahnenden Lagerschaden aufgefasst werden. Es sind jedoch auch andere Szenarien der zeitlichen Entwicklung der Temperaturen denkbar, die für oder gegen eine Veränderung des Betriebszustands der Lagereinrichtung sprechen.

[0011] In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass auch mehr als zwei Sensoreinrichtungen vorgesehen sein können, deren Messdaten zur Bestimmung des Betriebszustands der Lagereinrichtung herangezogen werden, um die Zuverlässigkeit der Analyse zu erhöhen und/oder besonderen Anforderungen der Pumpe gerecht zu werden.

[0012] Weitere Ausführungsformen der Erfindung sind in der Beschreibung, den Ansprüchen sowie den beigelegten Zeichnungen angegeben.

[0013] Beispielsweise umfassen die erste und/oder die zweite Sensoreinrichtung einen Temperatursensor. Ein schadhaftes oder verschlissenes Lager weist oftmals Schäden an Komponenten des Lagers auf (z.B. bei einem Kugellager Schäden an den Laufbahnen der Kugeln und/oder am Kugelkäfig), was zu einer erhöhten Lagerreibung führt, die sich wiederum in einer Temperaturerhöhung und/oder in einer Änderungen des Schwingungsverhaltens des Lagers niederschlägt.

[0014] Die Konstruktion der Vakuumpumpe kann dahingehend optimiert sein, einen bestimmten Wert der Wärmeleitfähigkeit zwischen den Temperatursensoren zu erreichen. Bei einem optimalen Wärmewiderstand zwischen den Sensoren wird die Auswertung der ermittelten Temperaturspreizung vereinfacht.

[0015] Die Lagereinrichtung kann zumindest ein Wälzlager, insbesondere zumindest ein Kugellager umfassen. Das Erfindungskonzept ist jedoch auch bei anderen Lagertypen, z.B. bei Gleitlagern, einsetzbar.

[0016] Die erste Sensoreinrichtung kann derart angeordnet sein, dass die Temperatur eines Bauteils der Vakuumpumpe - direkt oder indirekt - bestimmbar ist, das die Lagereinrichtung aufnimmt. Beispielsweise ist ein Temperatursensor vorgesehen, der die Temperatur einer Lagerfassung oder eines der Lagereinrichtung benachbarten Bauteils erfasst. Die Temperatur der Lagereinrichtung kann aber auch direkt an ihr selbst gemessen

werden. Bei der Erfassung der Temperatur kann beispielsweise mit einem herkömmlichen Temperatursensor oder mit einem IR-Sensor gearbeitet werden.

[0017] Erfindungsgemäß umfasst die Vakuumpumpe eine aktive Kühleinrichtung, die zumindest zu einer Kühlung eines Bauteils der Vakuumpumpe vorgesehen ist, dessen Betriebsparameter durch die zweite Sensoreinrichtung bestimmbar ist. Dieses Bauteil kann beispielsweise ein Gehäusebauteil sein.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Lagereinrichtung von einem ersten Bauteil der Vakuumpumpe aufgenommen, das separat von einem zweiten Bauteil der Vakuumpumpe, insbesondere einem Gehäusebauteil (z.B. ein Unterteil) der Vakuumpumpe, ausgebildet ist, dem die zweite Sensoreinrichtung zugeordnet ist. Zwar sind Bauformen denkbar, bei denen die beiden Bauteile durch eine thermische Isolierung voneinander (weitgehend) thermisch entkoppelt sind, bevorzugt stehen das erste und das zweite Bauteil jedoch thermisch leitend miteinander in Verbindung. Es ist aber auch denkbar, dass die erste und die zweite Sensoreinrichtung bzw. deren Messbereich an einem Bauteil angeordnet sind, z.B. an einem Unterteil der Pumpe. Die Sensoreinrichtungen sind auch in diesem Fall räumlich beabstandet, d.h. die erste Sensoreinrichtung ist lagernah angeordnet, während die zweite Sensoreinrichtung lagerfern angeordnet ist.

[0019] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren gemäß Anspruch 6.

[0020] Dem Vergleich kann eine Datenfilterung und/oder -konversion vorangehen oder er kann diese oder ähnliche Verfahren umfassen. Es kann auch vorgesehen sein, dass bei der Datenbearbeitung und/oder -analyse Stabilitätskriterien berücksichtigt werden. Ziel dieser Maßnahmen ist unter anderem, dass nicht relevante (z.B. kurzfristige) Schwankungen in den Daten, die ein falsches Bild vom Zustand des Lagers zeichnen könnten, eliminiert werden.

[0021] D.h. die erste Sensoreinrichtung ist entweder so angeordnet, dass sie die Temperatur der Lagereinrichtung direkt messen kann. Es ist aber auch denkbar, dass die Messung in der näheren Umgebung der Lagereinrichtung durchgeführt wird. Dann kann davon ausgegangen werden, dass der gemessene Wert im Wesentlichen dem entspricht, den man bei einer direkten Messung erhalten würde. Die zweite Sensoreinrichtung soll dahingegen einen Wert eines Betriebszustands liefern, der wenig bis kaum von dem Zustand der Lagereinrichtung beeinflusst wird. Er wird daher in einiger Entfernung von der Lagereinrichtung bestimmt.

[0022] Erfindungsgemäß werden also eine Temperatur der Lagereinrichtung oder eines benachbarten Bauteils, das in direktem oder in direkten Kontakt mit der Lagereinrichtung steht, und eine Temperatur eines Abschnitts eines Gehäuses der Vakuumpumpe als Basis zur Ermittlung des Betriebszustands der Lagereinrichtung herangezogen.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführungsform des

Verfahrens umfasst der Vergleich der Temperatur der Lagereinrichtung und der Temperatur der Vakuumpumpe eine Bildung eines Vergleichsparameters. Bei einer Unter- und/oder Überschreitung eines vordefinierten oder erlernten Schwellwerts des Vergleichsparameters wird ein Störfall festgestellt. Für den Vergleichsparameter kann auch ein Parameterraum definiert werden, der einem normalen oder abnormen Zustand entspricht.

[0024] Der Vergleich der Temperatur der Lagereinrichtung und der Temperatur der Vakuumpumpe kann eine Bildung einer Differenz der Temperatur umfassen, wobei bei einer Überschreitung eines vordefinierten oder erlernten Schwellwerts der Differenz ein Störfall festgestellt wird. Der Vergleich kann aber auch eine Quotientenbildung o.ä. umfassen

[0025] Bei Feststellung des Störfalls kann ein Warnsignal ausgegeben werden. Alternativ oder zusätzlich wird automatisch - z.B. durch die Steuereinrichtung - in den Betrieb der Vakuumpumpe eingegriffen, wenn der Störfall eintritt. Beispielsweise wird die Pumpe schonend oder abrupt stillgesetzt oder die Drehzahl der Pumpe wird reduziert, um sie in einen "sicheren" Betriebsmodus zu versetzen. Die Reaktion auf den Eintritt des Störfalls kann in Abhängigkeit von der ermittelten Schwere des Störfalls gewählt werden.

[0026] Um die Zuverlässigkeit der Ermittlung des Betriebszustands zu erhöhen, kann vorgesehen sein, dass der Betriebszustand der Vakuumpumpe erst bestimmt wird, wenn die Temperatur der Vakuumpumpe einen statischen oder quasi-statischen Wert oder Wertebereich erreicht hat. Beispielsweise schwingt sich die Temperaturverteilung in der Vakuumpumpe bei einem Hochfahren der Pumpe erst nach einiger Zeit ein. Die bestimmten Temperaturen der Sensoreinrichtungen liefern währenddessen daher womöglich noch ein Bild, das nicht unbedingt zuverlässige Rückschlüsse auf den tatsächlichen Zustand der Lagereinrichtung zulässt. Es wird mit der entsprechenden Analyse also erst begonnen bzw. die entsprechenden Messdaten werden erst berücksichtigt, wenn die Pumpe einen stabilen Zustand erreicht hat, um die Wahrscheinlichkeit von Fehlalarmen zu minimieren.

[0027] Bei der Bestimmung des Betriebszustands der Vakuumpumpe können weitere Faktoren berücksichtigt werden, insbesondere externe und/oder interne Parameter, bevorzugt eine Laufzeit und/oder ein Alter der Vakuumpumpe, eine externe mechanische Belastung der Vakuumpumpe, eine externe Temperaturbelastung der Vakuumpumpe und/oder ein Betriebsmodus der Vakuumpumpe.

[0028] In vielen Fällen werden die Temperaturen der Lagereinrichtung und/oder der Vakuumpumpe auch von Faktoren beeinflusst, die nicht nur von dem Zustand der Lagereinrichtung und/oder z.B. einer Drehzahl der Pumpe abhängen. Auch ein Alter der Pumpe, eine Laufzeit nach dem letzten Serviceintervall, eine "Historie" der Pumpe (wie lange wurde sie bei welchen Drehzahlen bzw. in welchen Betriebsmodi betrieben), ein Alter des verwendeten Schmiermittels o.ä. beeinflussen die Tem-

peraturen bei einem Betrieb der Pumpe. Gleiches gilt für externe Faktoren, wie etwa eine mechanische Belastung und/oder Schwingungsbelastung der Pumpe und/oder eine Temperaturbelastung der Pumpe.

[0029] So Daten zu diesen Faktoren vorliegen, können sie bei der Ermittlung des Betriebszustands der Lagereinrichtung berücksichtigt werden. Beispielsweise wird der vorstehend beschriebene Schwellwert entsprechend angepasst.

[0030] Die bei der Ermittlung des Betriebszustands der Lagereinrichtung erhaltenen Daten können auch genutzt werden, um einen Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem eine Wartung der Pumpe bzw. der Lagereinrichtung vorgenommen werden sollte. Dem Anwender kann auch eine Restlaufzeit des Wartungsintervalls ausgegeben werden. Mit anderen Worten können die genannten Daten zur Optimierung der Wartung genutzt werden, da die Wartungsintervalle bedarfsgerecht und abhängig von der Intensität der Nutzung der Pumpe angepasst werden können.

[0031] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer nicht erfindungsgemäßen Turbomolekularpumpe,
- Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,
- Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,
- Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,
- Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C und
- Fig. 6 einen Querschnitt einer erfindungsgemäßen Turbomolekularpumpe.

[0032] Die in Fig. 1 gezeigte Turbomolekularpumpe 111 umfasst einen von einem Einlassflansch 113 umgebenen Pumpeneinlass 115, an welchen in an sich bekannter Weise ein nicht dargestellter Rezipient angeschlossen werden kann. Das Gas aus dem Rezipienten kann über den Pumpeneinlass 115 aus dem Rezipienten gesaugt und durch die Pumpe hindurch zu einem Pumpenauslass 117 gefördert werden, an den eine Vorvakuumpumpe, wie etwa eine Drehschieberpumpe, angeschlossen sein kann.

[0033] Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z.B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe ange-

ordneten Elektromotors 125. Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0034] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vor dem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, gebracht werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann.

[0035] Die untere Seite 141 der Vakuumpumpe kann als Standfläche dienen, sodass die Vakuumpumpe 111 auf der Unterseite 141 stehend betrieben werden kann. Die Vakuumpumpe 111 kann aber auch über den Einlassflansch 113 an einem Rezipienten befestigt werden und somit gewissermaßen hängend betrieben werden. Außerdem kann die Vakuumpumpe 111 so gestaltet sein, dass sie auch in Betrieb genommen werden kann, wenn sie auf andere Weise ausgerichtet ist als in Fig. 1 gezeigt ist. Es lassen sich auch Ausführungsformen der Vakuumpumpe realisieren, bei der die Unterseite 141 nicht nach unten, sondern zur Seite gewandt oder nach oben gerichtet angeordnet werden kann.

[0036] An der Unterseite 141, die in Fig. 2 dargestellt ist, sind noch diverse Schrauben 143 angeordnet, mittels denen hier nicht weiter spezifizierte Bauteile der Vakuumpumpe aneinander befestigt sind. Beispielsweise ist ein Lagerdeckel 145 an der Unterseite 141 befestigt.

[0037] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann.

[0038] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0039] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgaspumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0040] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0041] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotor-

welle 153 befestigten radialen Rotorscheiben 155 und zwischen den Rotorscheiben 155 angeordneten und in dem Gehäuse 119 festgelegten Statorscheiben 157. Dabei bilden eine Rotorscheibe 155 und eine benachbarte Statorscheibe 157 jeweils eine turbomolekulare Pumpstufe. Die Statorscheiben 157 sind durch Abstandsringe 159 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten.

[0042] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 163, 165, die koaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0043] Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind durch die Mantelflächen, also durch die radialen Innen- und/oder Außenflächen, der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 und der Holweck-Statorhülsen 167, 169 gebildet. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Statorhülse 167 liegt der radialen Außenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 171 gegenüber und bildet mit dieser die der Turbomolekularpumpen nachfolgende erste Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 steht der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 173 gegenüber und bildet mit dieser eine zweite Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 liegt der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Rotorhülse 165 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 175 gegenüber und bildet mit dieser die dritte Holweck-Pumpstufe.

[0044] Am unteren Ende der Holweck-Rotorhülse 163 kann ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der radial außenliegende Holweck-Spalt 171 mit dem mittleren Holweck-Spalt 173 verbunden ist. Außerdem kann am oberen Ende der inneren Holweck-Statorhülse 169 ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der mittlere Holweck-Spalt 173 mit dem radial innenliegenden Holweck-Spalt 175 verbunden ist. Dadurch werden die ineinander geschachtelten Holweck-Pumpstufen in Serie miteinander geschaltet. Am unteren Ende der radial innenliegenden Holweck-Rotorhülse 165 kann ferner ein Verbindungskanal 179 zum Auslass 117 vorgesehen sein.

[0045] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 163, 165 weisen jeweils mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf, während die gegenüberliegenden Mantelflächen der

Holweck-Rotorhülsen 163, 165 glatt ausgebildet sind und das Gas zum Betrieb der Vakuumpumpe 111 in den Holweck-Nuten vorantreiben.

[0046] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153 sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslasses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0047] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0048] Im Betrieb der Vakuumpumpe 111 wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 185 übertragen und in Folge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 185 in Richtung des größeren werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 185 zu dem Wälzlager 181 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt. Das Wälzlager 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wannenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vakuumpumpe eingefasst.

[0049] Das Permanentmagnetlager 183 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 191 und eine statorseitige Lagerhälfte 193, welche jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen 195, 197 umfassen. Die Ringmagnete 195, 197 liegen einander unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts 199 gegenüber, wobei die rotorseitigen Ringmagnete 195 radial außen und die statorseitigen Ringmagnete 197 radial innen angeordnet sind. Das in dem Lagerspalt 199 vorhandene magnetische Feld ruft magnetische Abstoßungskräfte zwischen den Ringmagneten 195, 197 hervor, welche eine radiale Lagerung der Rotorwelle 153 bewirken. Die rotorseitigen Ringmagnete 195 sind von einem Trägerabschnitt 201 der Rotorwelle 153 getragen, welcher die Ringmagnete 195 radial außenseitig umgibt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind von einem statorseitigen Trägerabschnitt 203 getragen, welcher sich durch die Ringmagnete 197 hindurch erstreckt und an radialen Streben 205 des Gehäuses 119 aufgehängt ist. Parallel zu der Rotationsachse 151 sind die rotorseitigen Ringmagnete 195 durch ein mit dem Trägerabschnitt 203 gekoppeltes Deckelelement 207 festgelegt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind parallel zu der Rotationsachse 151 in der einen Richtung durch einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 209 sowie einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 211 festgelegt. Zwischen dem Befestigungsring 211 und den Ringmagneten 197 kann außerdem eine Tellerfeder 213 vorgesehen sein.

[0050] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw.

Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Betrieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, da eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215 ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff gelangt, ist groß genug bemessen, sodass das Fanglager 215 im normalen Betrieb der Vakuumpumpe nicht in Eingriff gelangt, und gleichzeitig klein genug, sodass eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen unter allen Umständen verhindert wird.

[0051] Die Vakuumpumpe 111 umfasst den Elektromotor 125 zum drehenden Antreiben des Rotors 149. Der Anker des Elektromotors 125 ist durch den Rotor 149 gebildet, dessen Rotorwelle 153 sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckt. Auf den sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt der Rotorwelle 153 kann radial außenseitig oder eingebettet eine Permanentmagnetanordnung angeordnet sein. Zwischen dem Motorstator 217 und dem sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt des Rotors 149 ist ein Zwischenraum 219 angeordnet, welcher einen radialen Motorspalt umfasst, über den sich der Motorstator 217 und die Permanentmagnetanordnung zur Übertragung des Antriebsmoments magnetisch beeinflussen können.

[0052] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 kann ein Sperrgas, das auch als Spülgas bezeichnet wird, und bei dem es sich beispielsweise um Luft oder um Stickstoff handeln kann, in den Motorraum 137 gelangen. Über das Sperrgas kann der Elektromotor 125 vor Prozessgas, z.B. vor korrosiv wirkenden Anteilen des Prozessgases, geschützt werden. Der Motorraum 137 kann auch über den Pumpenauslass 117 evakuiert werden, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0053] Zwischen der Rotornabe 161 und einer den Motorraum 137 begrenzenden Wandung 221 kann außerdem eine sog. und an sich bekannte Labyrinthdichtung 223 vorgesehen sein, insbesondere um eine bessere Abdichtung des Motorraums 217 gegenüber den radial außerhalb liegenden Holweck-Pumpstufen zu erreichen.

[0054] Fig. 6 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Turbomolekularpumpe, bei der jedoch beispielhaft Bereiche angegeben sind, in denen der jeweilige Messbereich der eingangs beschriebenen ersten und die zweiten Sensoreinrichtung liegt. Im vorliegenden Beispiel ist einerseits zumindest ein Temperatursensor (nicht gezeigt) vorgesehen, der derart angeordnet ist,

dass er die in einem Bereich T1 herrschende Temperatur bestimmen kann. Der Bereich T1 ist dem Einsatz 189 zugeordnet, der das Kugellager 181 aufnimmt. Alternativ oder zusätzlich kann eine Temperaturmessung in einem Bereich T1' erfolgen. Der Bereich T1' liegt in dem Unterteil 121 und steht in direktem Kontakt mit dem Einsatz 189.

[0055] Der oder die Temperatursensoren messen - direkt oder indirekt - also die dort herrschenden Temperaturen, was direkte Rückschlüsse auf die Temperatur des Wälzlagers 181 ermöglicht, da sich die Bereiche T1 und T1' in räumlicher Nähe zu dem Lager 181 befinden. Auch eine Temperaturmessung direkt an einer Komponente des Lagers 181, z.B. an dessen Außenring, ist denkbar.

[0056] Bei einem Lagerschaden und/oder einem Verschleiß des Lagers 181 erhitzt sich dieses stärker als normal. Um trennen zu können, ob eine Temperaturerhöhung des Lagers 181 - diese führt dann auch zu einer Temperaturerhöhung in den Bereichen T1, T1' - nicht ihre Ursache in einer höheren Belastung der Pumpe an sich hat, werden die in den Bereichen T1, T1' ermittelten Temperaturdaten mit Daten verglichen, die in zumindest einem Bereich gemessen werden, die nicht oder nur kaum von einer Temperaturerhöhung des Lagers 181 beeinflusst wird. Im vorliegenden Beispiel ist der von dem Lager 181 räumlich beabstandete Bereich T2 des Unterteils 121.

[0057] Steigt dort in einer bestimmten Situation ebenfalls die Temperatur, so kann auf einen normalen Temperaturanstieg geschlossen werden, der z.B. vom Betriebsmodus der Pumpe und/oder von externen Faktoren bestimmt wird. Bei einer ungewöhnlichen Spreizung der in den Bereichen T1, T1' einerseits und im Bereich T2 andererseits gemessenen Daten und/oder bei einem Temperaturanstieg nur in den Bereichen T1, T1' kann dies auf einen zunehmenden Verschleiß des Lagers 181 oder einen anstehenden Schaden zurückzuführen sein. Eine Steuereinrichtung der Pumpe, die die genannten Daten erfasst und auswertet, erkennt dies und leitet (automatisch) Gegenmaßnahmen ein (z.B. Warnsignal, Stillsetzung der Pumpe, Änderung des Betriebsmodus, Anpassung des Wartungsintervalls o.ä.). Bei der Auswertung der genannten Daten können - wie eingangs erläutert - auch externe Faktoren und/oder die "Geschichte" der Pumpe sowie der Betriebsmodus, mit dem die Pumpe jeweils aktuell betrieben wird, berücksichtigt werden, um die Lagerüberwachung zu optimieren. Die für die Lagerüberwachung verwendeten Schwellenwerte und/oder Vergleichsparameter können in der Steuereinrichtung hinterlegt sein und/oder erlernt werden. Es kann vorgesehen sein, dass die im Rahmen der Lagerüberwachung ermittelten Daten bzw. die daraus hervorgegangenen Analysen abgespeichert und/oder an externe Datenspeicher (z.B. einen Server des Pumpenherstellers) übermittelt werden, um Wartungsintervalle anpassen und/oder Fehler frühzeitig erkennen und deren Ursachen besser analysieren zu können.

[0058] Der Bereich T2 und die Bereiche T1, T1' sind

thermisch gekoppelt, um in einem normalen Betrieb einen Temperatenausgleich zu ermöglichen. Bei einem ordnungsgemäßen Betrieb der Pumpe stellt sich nämlich bei einem gegebenen Lastzustand nach einer gewissen Zeit eine statische oder quasi-statische Temperaturverteilung ein. Bevorzugt wird der Zustand des Lagers 181 erst überwacht, wenn ein solcher Zustand erreicht wurde, um die Gefahr von Fehllarmen zu minimieren.

[0059] Es ist eine aktive Kühlung, z.B. eine Wasserkühlung, vorgesehen, die vor allem den Bereich T2 beeinflusst. Die Kühlung vergrößert die Spreizung zwischen den in den Bereichen T1, T1' einerseits und T2 andererseits gemessenen Temperaturwerten, was die Datenanalyse vereinfacht. Von einer entsprechenden Kühleinrichtung ist in Fig. 6 nur ein Kühlmittelanschluss 225 gezeigt.

[0060] Beispielhafte Spreizungen sind - abhängig von der Kühlung - Temperaturdifferenzen von 1°C bis 5°C bei einem normalen Lagerzustand. Bei einem sich anbahnenden Lagerschaden steigt die Spreizung auf Werte von z.B. mehr als 5°C, mehr als 6°C, mehr als 15°C oder sogar noch größere Werte.

[0061] Vorstehend wurde das Konzept der vorliegenden Erfindung anhand von Temperatursensoren erläutert. Deren lagernahen und lagerfernen Messbereiche T1, T1' bzw. T2 sind rein beispielhaft angegeben. Es versteht sich, dass die Temperaturen auch an mehreren Stellen gemessen werden können, um eine noch bessere Datenbasis zu erhalten.

[0062] Das Erfindungskonzept ist nicht auf Turbomolekularpumpen beschränkt, sondern kann auch bei anderen Pumpentypen zum Einsatz gelangen.

Bezugszeichenliste

[0063]

111 Turbomolekularpumpe
113 Einlassflansch
115 Pumpeneinlass
117 Pumpenauslass
119 Gehäuse
121 Unterteil
123 Elektronikgehäuse
125 Elektromotor
127 Zubehöranschluss
129 Datenschnittstelle
131 Stromversorgungsanschluss
133 Fluteinlass
135 Sperrgasanschluss
137 Motorraum
139 Kühlmittelanschluss
141 Unterseite
143 Schraube
145 Lagerdeckel
147 Befestigungsbohrung
148 Kühlmittelleitung
149 Rotor

151 Rotationsachse
153 Rotorwelle
155 Rotorscheibe
157 Statorscheibe
5 159 Abstandsring
161 Rotornabe
163 Holweck-Rotorhülse
165 Holweck-Rotorhülse
167 Holweck-Statorhülse
10 169 Holweck-Statorhülse
171 Holweck-Spalt
173 Holweck-Spalt
175 Holweck-Spalt
179 Verbindungskanal
15 181 Wälzlager
183 Permanentmagnetlager
185 Spritzmutter
187 Scheibe
189 Einsatz
20 191 rotorseitige Lagerhälfte
193 statorseitige Lagerhälfte
195 Ringmagnet
197 Ringmagnet
199 Lagerspalt
25 201 Trägerabschnitt
203 Trägerabschnitt
205 radiale Strebe
207 Deckelelement
209 Stützring
30 211 Befestigungsring
213 Tellerfeder
215 Not- bzw. Fanglager
217 Motorstator
219 Zwischenraum
35 221 Wandung
223 Labyrinthdichtung
225 Kühlmittelanschluss

T1, T1' lagernaher Messbereich
40 T2 lagerferner Messbereich

Patentansprüche

45 1. Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit zumindest einer Pumpstufe, die zumindest einen Rotor umfasst, der mittels zumindest einer Lagereinrichtung drehbar gelagert ist, mit einer ersten Sensoreinrichtung, die benachbart zu der Lagereinrichtung angeordnet ist und mit der eine Temperatur der Lagereinrichtung bestimmbar ist, und mit einer zweiten Sensoreinrichtung, die beabstandet von der Lagereinrichtung angeordnet ist und mit der eine Temperatur der Vakuumpumpe, insbesondere eine Temperatur eines Gehäuses der Vakuumpumpe, bestimmbar ist, wobei eine Steuereinrichtung vorgesehen ist, die dazu ausgebildet und eingerichtet ist, die Temperatur der Lagereinrichtung und die Tem-

50

55

- peratur der Vakuumpumpe miteinander zu vergleichen und auf Basis des Vergleichs einen Betriebszustand der Lagereinrichtung zu ermitteln, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vakuumpumpe eine aktive Kühleinrichtung umfasst, die zumindest zu einer Kühlung eines Bauteils der Vakuumpumpe vorgesehen ist, dessen Temperatur durch die zweite Sensoreinrichtung bestimmbar ist.
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und die zweite Sensoreinrichtung einen Temperatursensor umfassen.
3. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagereinrichtung zumindest ein Wälzlager, insbesondere zumindest ein Kugellager umfasst.
4. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Sensoreinrichtung derart angeordnet ist, dass die Temperatur eines Bauteils der Vakuumpumpe - direkt oder indirekt - bestimmbar ist, das die Lagereinrichtung aufnimmt.
5. Vakuumpumpe nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagereinrichtung von einem ersten Bauteil der Vakuumpumpe aufgenommen wird, das separat von einem zweiten Bauteil der Vakuumpumpe, insbesondere einem Gehäusebauteil der Vakuumpumpe, ausgebildet ist, dem die zweite Sensoreinrichtung zugeordnet ist, insbesondere wobei das erste und das zweite Bauteil thermisch leitend miteinander gekoppelt sind.
6. Verfahren zum Betrieb einer Vakuumpumpe gemäß zumindest einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Temperatur der Lagereinrichtung und die Temperatur der Vakuumpumpe miteinander verglichen werden und auf Basis des Vergleichs ein Betriebszustand der Lagereinrichtung ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vergleich der Temperatur der Lagereinrichtung und der Temperatur der Vakuumpumpe eine Bildung eines Vergleichsparameters umfasst und dass bei einer Unter- und/oder Überschreitung eines Schwellwerts des Vergleichsparameters ein Störfall festgestellt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vergleich der Temperatur der Lagereinrichtung und der Temperatur der Vakuumpumpe eine Bildung einer Differenz der Temperatur umfasst und dass bei einer Überschreitung eines Schwellwerts der Differenz ein Störfall festgestellt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Feststellung des Störfalls ein Warnsignal ausgegeben wird und/oder automatisch in den Betrieb der Vakuumpumpe eingegriffen wird.
10. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Betriebszustand der Vakuumpumpe erst bestimmt wird, wenn die Temperatur der Vakuumpumpe einen statischen oder quasi-statischen Wert oder Wertebereich erreicht hat.
11. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Bestimmung des Betriebszustands der Vakuumpumpe weitere Faktoren berücksichtigt werden, insbesondere externe und/oder interne Parameter, bevorzugt eine Laufzeit und/oder ein Alter der Vakuumpumpe, eine externe mechanische Belastung der Vakuumpumpe, eine externe Temperaturbelastung der Vakuumpumpe und/oder ein Betriebsmodus der Vakuumpumpe.

Claims

1. A vacuum pump, in particular a turbomolecular pump, having at least one pump stage which comprises at least one rotor which is rotatably supported by means of at least one bearing device; having a first sensor device which is arranged adjacent to the bearing device and by which a temperature of the bearing device can be determined; and having a second sensor device which is arranged spaced apart from the bearing device and by which a temperature of the vacuum pump, in particular a temperature of a housing of the vacuum pump, can be determined, wherein a control device is provided which is configured and adapted to compare the temperature of the bearing device and the temperature of the vacuum pump with one another and to determine an operating state of the bearing device on the basis of the comparison, **characterized in that** the vacuum pump comprises an active cooling device which is at least provided for a cooling of a component of the vacuum pump whose temperature can be determined by the second sensor device.

2. A vacuum pump in accordance with claim 1,
characterized in that
the first sensor device and the second sensor device
comprise a temperature sensor.
3. A vacuum pump in accordance with at least one of
the preceding claims, **characterized in that**
the bearing device comprises at least one rolling el-
ement bearing, in particular at least one ball bearing.
4. A vacuum pump in accordance with at least one of
the preceding claims, **characterized in that**
the first sensor device is arranged such that the tem-
perature of a component of the vacuum pump which
receives the bearing device can be - directly or indi-
rectly - determined.
5. A vacuum pump in accordance with claim 4,
characterized in that
the bearing device is received by a first component
of the vacuum pump which is formed separately from
a second component of the vacuum pump, in partic-
ular a housing component of the vacuum pump, with
which the second sensor device is associated, in par-
ticular with the first component and the second com-
ponent being thermally conductively coupled to one
another.
6. A method of operating a vacuum pump in accord-
ance with at least one of the claims 1 to 5,
wherein the temperature of the bearing device and
the temperature of the vacuum pump are compared
with one another and an operating state of the bear-
ing device is determined on the basis of the compar-
ison.
7. A method in accordance with claim 6,
characterized in that
the comparison of the temperature of the bearing
device and the temperature of the vacuum pump
comprises a formation of a comparison parameter;
and **in that** a disturbance is determined on a falling
below and/or exceeding of a threshold value of the
comparison parameter.
8. A method in accordance with claim 7,
characterized in that
the comparison of the temperature of the bearing
device and the temperature of the vacuum pump
comprises a formation of a difference of the temper-
ature; and **in that** a disturbance is determined on a
falling below and/or exceeding of a threshold value
of the comparison parameter.
9. A method in accordance with claim 7 or claim 8,
characterized in that,
on the determination of the disturbance, a warning
signal is output and/or an automatic intervention into

the operation of the vacuum pump takes place.

10. A method in accordance with at least one of the
claims 6 to 9,

characterized in that

the operating state of the vacuum pump is only de-
termined when the temperature of the vacuum pump
has reached a static or quasi-static value or value
range.

11. A method in accordance with at least one of the
claims 6 to 10,

characterized in that

further factors are considered in the determination
of the operating state of the vacuum pump, in par-
ticular external and/or internal parameters, prefera-
bly a running time and/or an age of the vacuum
pump, an external mechanical load on the vacuum
pump, an external temperature load on the vacuum
pump and/or an operating mode of the vacuum
pump.

Revendications

1. Pompe à vide, en particulier pompe turbomoléculai-
re, comprenant au moins un étage de pompage qui
comprend au moins un rotor monté de façon rotative
au moyen d'au moins un dispositif formant palier, un
premier dispositif capteur qui est disposé au voisi-
nage du dispositif formant palier et qui permet de
déterminer une température du dispositif formant pa-
lier, et un second dispositif capteur qui est disposé
à distance du dispositif formant palier et qui permet
de déterminer une température de la pompe à vide,
en particulier une température d'un carter de la pom-
pe à vide,
dans laquelle
il est prévu un dispositif de commande qui est réalisé
et conçu pour comparer mutuellement la tempéra-
ture du dispositif formant palier et la température de
la pompe à vide et pour déterminer un état de fonc-
tionnement du dispositif formant palier sur la base
de la comparaison,
caractérisée en ce que
la pompe à vide comprend un dispositif de refroidis-
sement actif qui est prévu au moins pour refroidir un
composant de la pompe à vide dont la température
peut être déterminée par le second dispositif cap-
teur.
2. Pompe à vide selon la revendication 1,
caractérisée en ce que
les premier et second dispositifs capteurs compren-
nent un capteur de température.
3. Pompe à vide selon l'une au moins des revendica-

- tions précédentes,
caractérisée en ce que
 le dispositif formant palier comprend au moins un roulement, en particulier au moins un roulement à billes.
4. Pompe à vide selon l'une au moins des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 le premier dispositif capteur est disposé de telle sorte que la température d'un composant, recevant le dispositif formant palier, de la pompe à vide peut être déterminée directement ou indirectement.
5. Pompe à vide selon la revendication 4,
caractérisée en ce que
 le dispositif formant palier est reçu par un premier composant de la pompe à vide, qui est réalisé séparément d'un second composant de la pompe à vide, en particulier séparément d'un composant de carter de la pompe à vide, auquel est associé le second dispositif capteur, en particulier les premier et second composants étant couplés l'un à l'autre de manière thermoconductrice.
6. Procédé pour faire fonctionner une pompe à vide selon l'une au moins des revendications 1 à 5, dans lequel
 la température du dispositif formant palier et la température de la pompe à vide sont comparées l'une à l'autre, et un état de fonctionnement du dispositif formant palier est déterminé sur la base de la comparaison.
7. Procédé selon la revendication 6,
caractérisé en ce que
 la comparaison de la température du dispositif formant palier et de la température de la pompe à vide inclut la formation d'un paramètre de comparaison, et **en ce que**
 lorsque l'on passe au-dessous et/ou au-dessus d'une valeur seuil du paramètre de comparaison, on constate un dysfonctionnement.
8. Procédé selon la revendication 7,
caractérisé en ce que
 la comparaison de la température du dispositif formant palier et de la température de la pompe à vide inclut la formation d'une différence de températures, et **en ce que**
 lorsque l'on passe au-dessus d'une valeur seuil de la différence, on constate un dysfonctionnement.
9. Procédé selon la revendication 7 ou 8,
caractérisé en ce que
 lorsque le dysfonctionnement est constaté, un signal d'avertissement est émis et/ou il se produit une intervention automatique dans le fonctionnement de

la pompe à vide.

10. Procédé selon l'une au moins des revendications 6 à 9,
caractérisé en ce que
 l'état de fonctionnement de la pompe à vide n'est déterminé que lorsque la température de la pompe à vide a atteint une valeur ou une plage de valeurs statique ou quasi-statique.
11. Procédé selon l'une au moins des revendications 6 à 10,
caractérisé en ce que
 d'autres facteurs sont pris en compte lors de la détermination de l'état de fonctionnement de la pompe à vide, en particulier des paramètres externes et/ou internes, de préférence un temps de fonctionnement et/ou un âge de la pompe à vide, une charge mécanique externe de la pompe à vide, une charge de température externe de la pompe à vide et/ou un mode de fonctionnement de la pompe à vide.

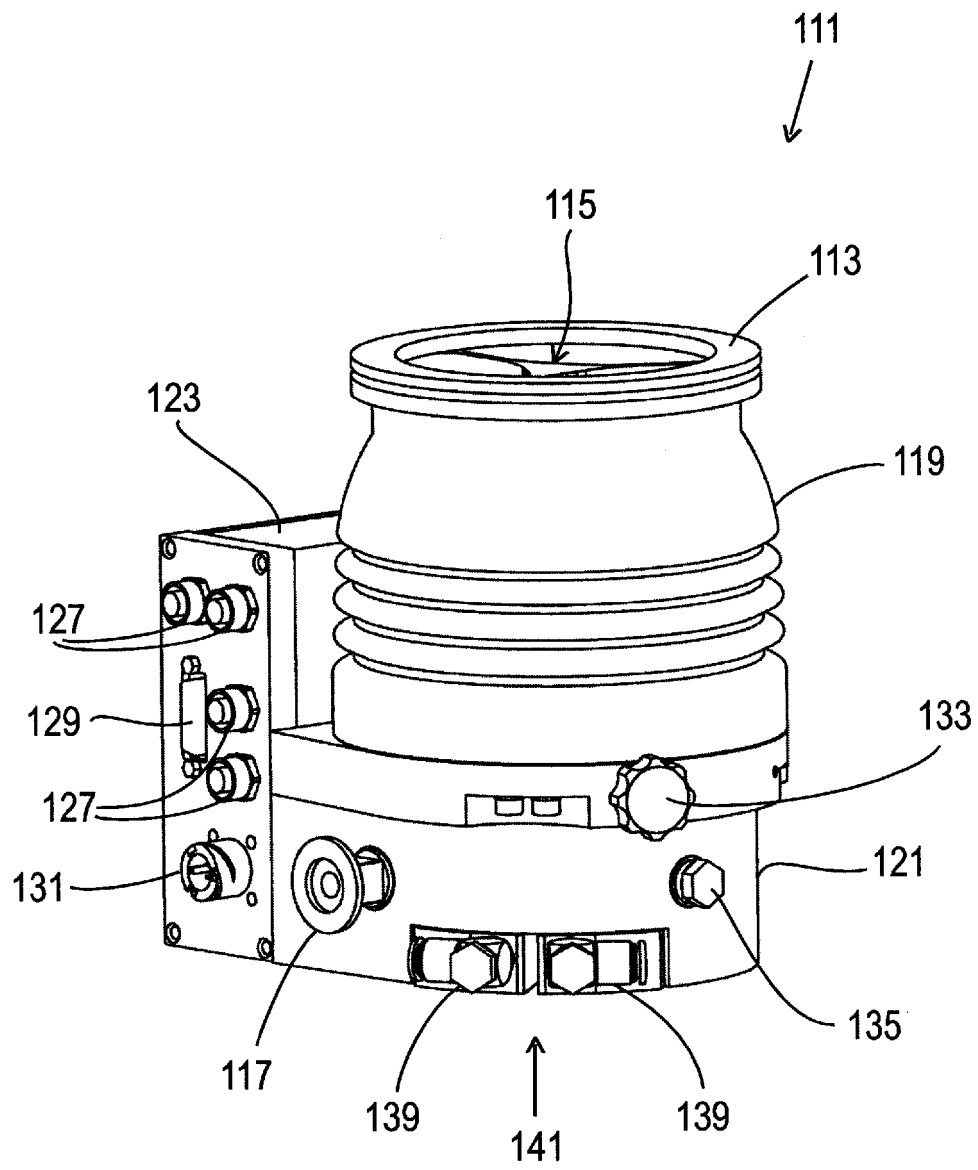


Fig. 1

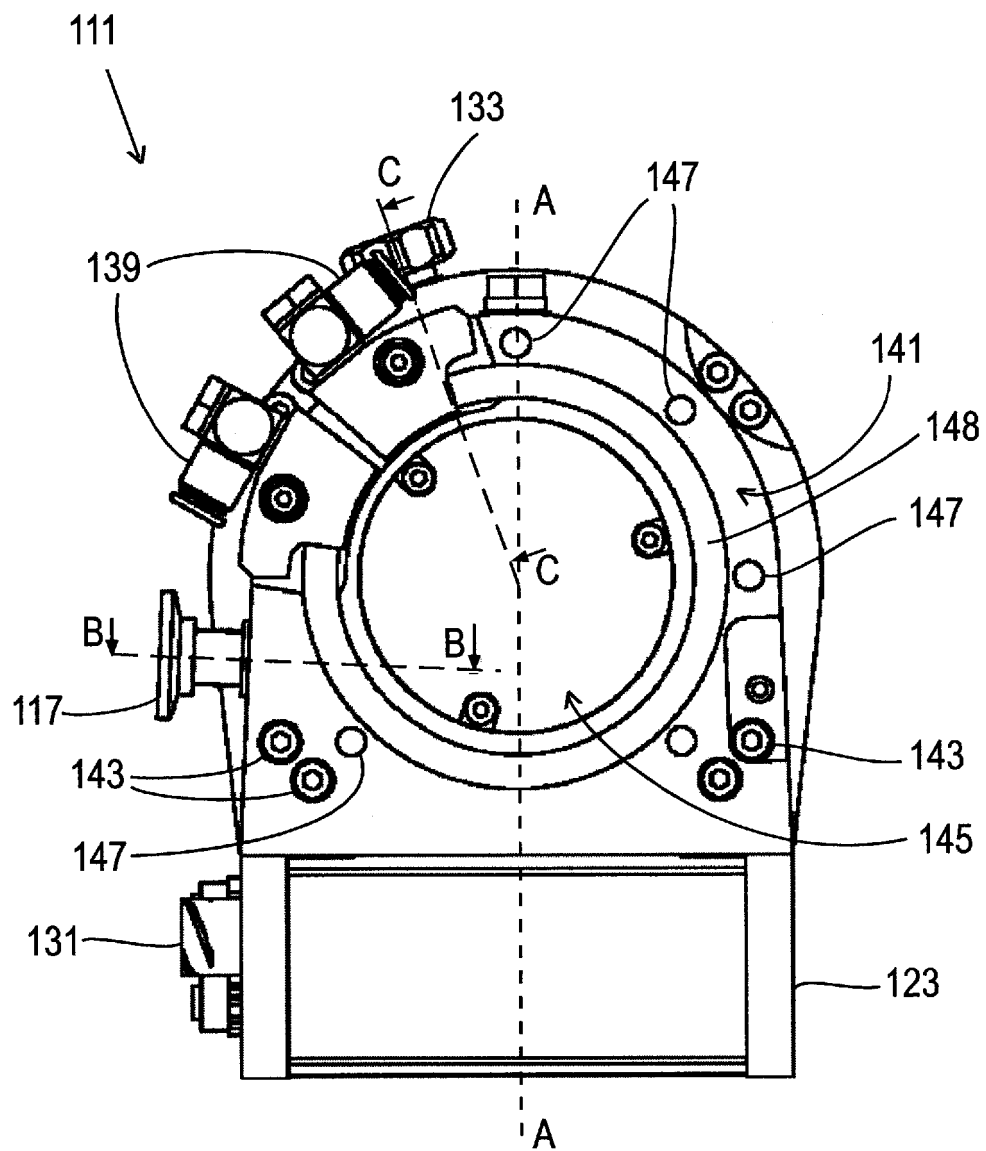


Fig. 2

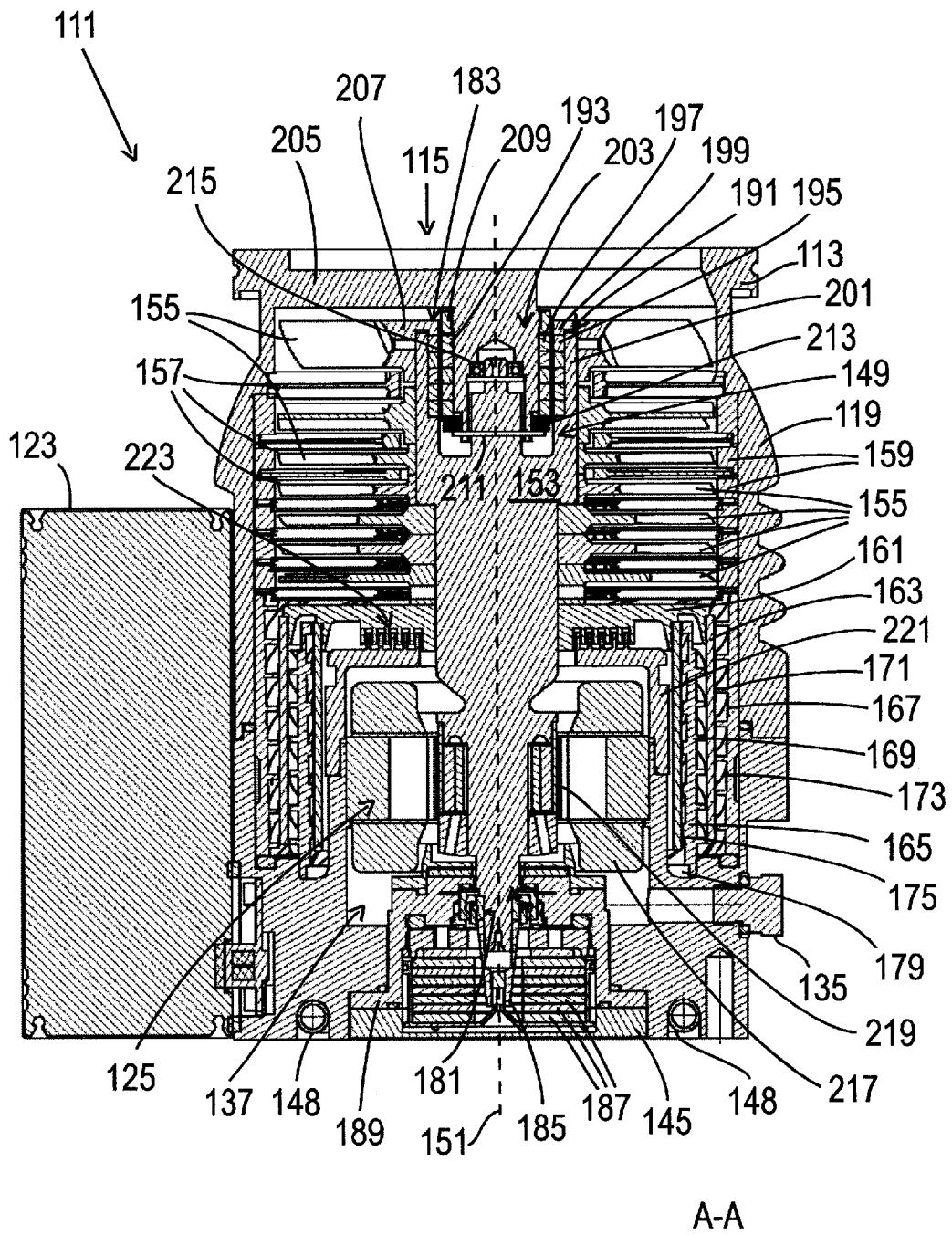


Fig. 3

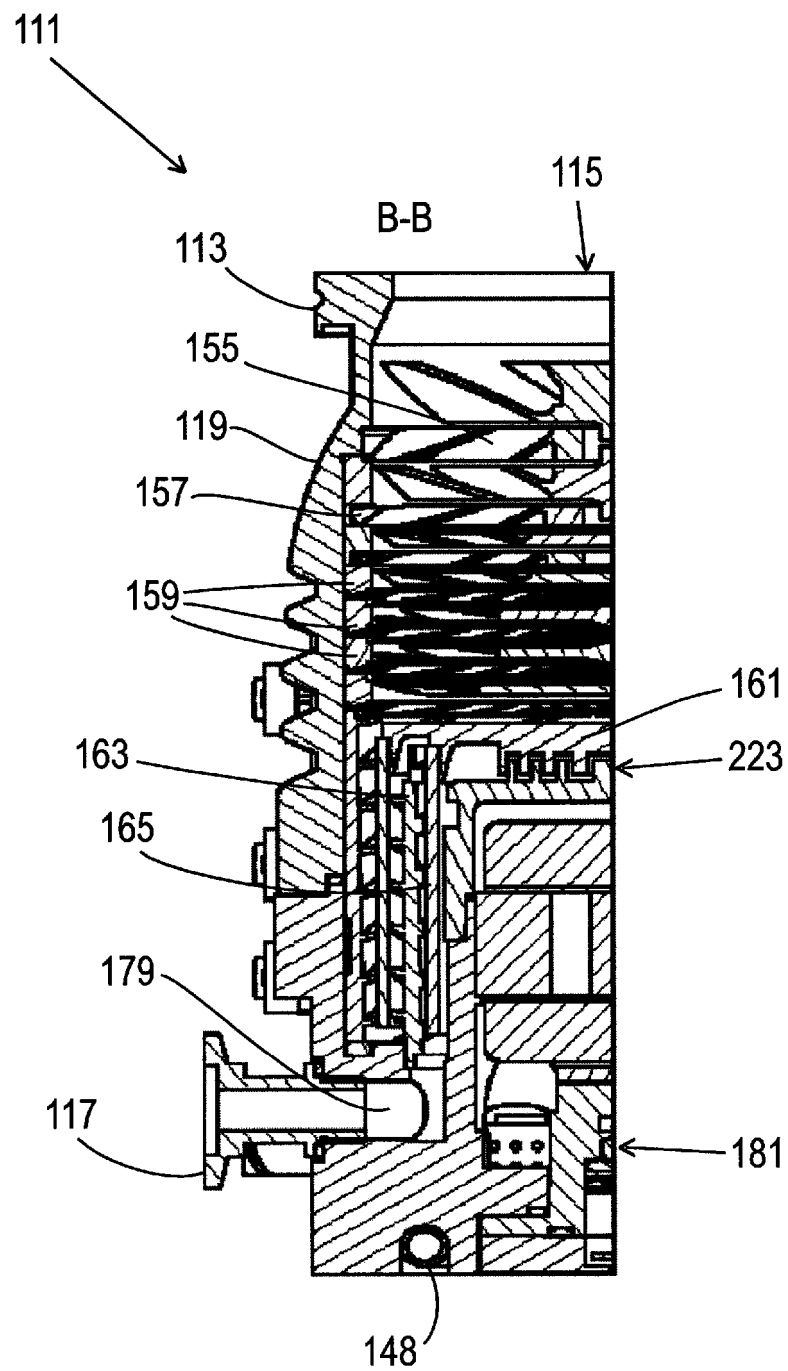


Fig. 4

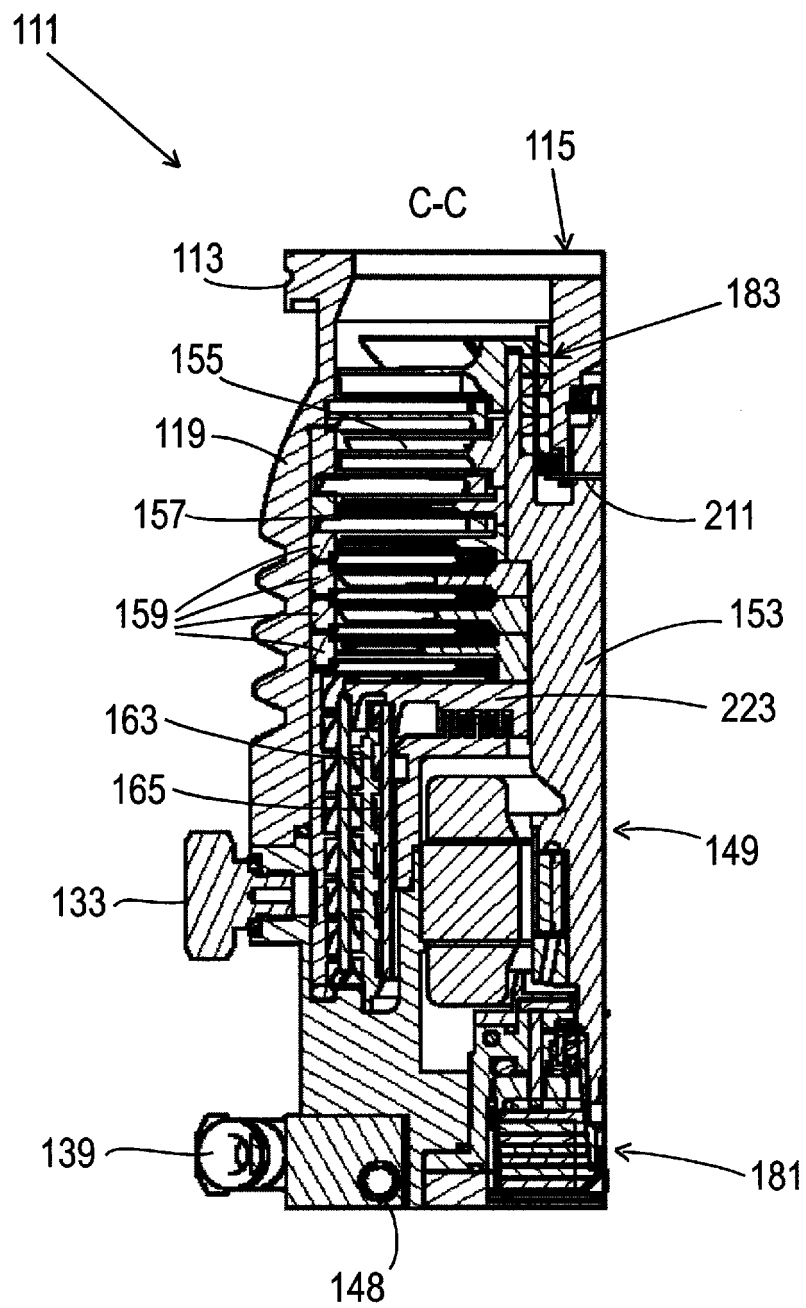


Fig. 5

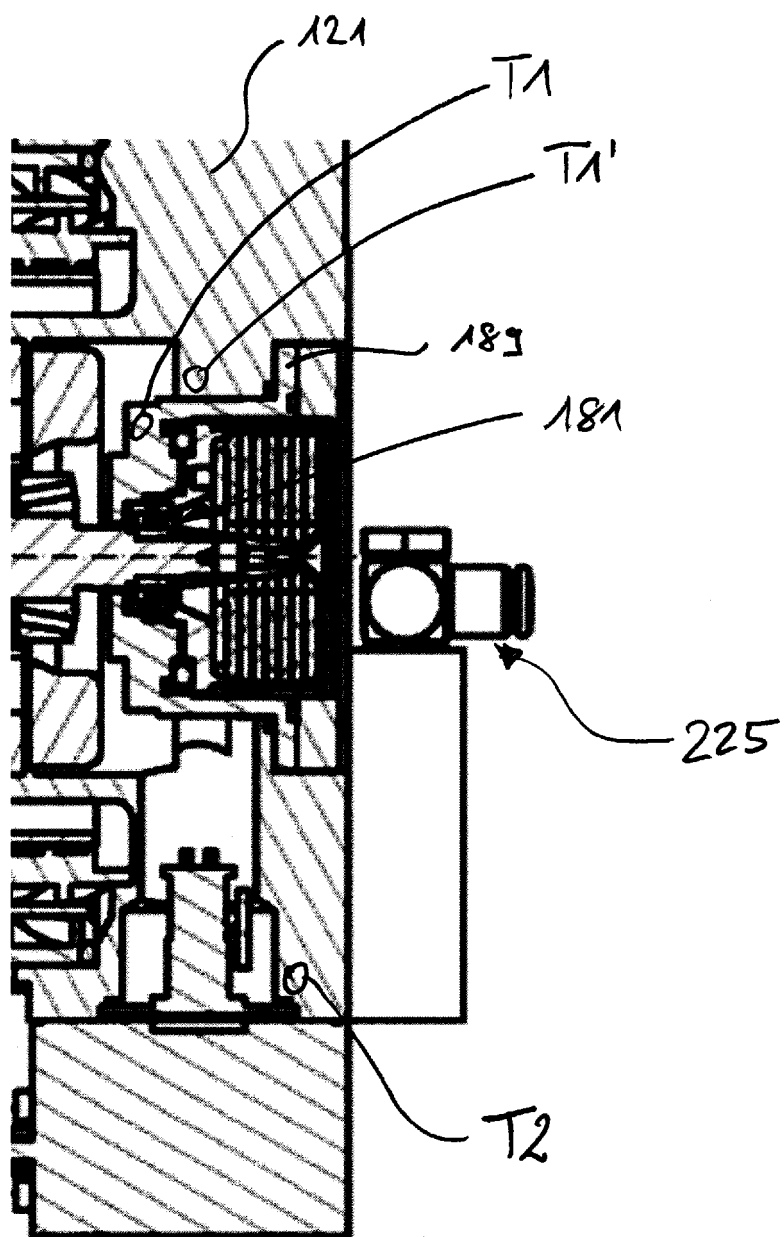


Fig. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP S62282194 A [0003]
- EP 0851127 A2 [0003]