

(19)



(11)

EP 4 137 699 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

29.01.2025 Patentblatt 2025/05

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

F04D 19/04^(2006.01) F04D 27/00^(2006.01)

F04D 27/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22213776.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

F04D 19/04; F04D 27/001; F04D 27/0292

(22) Anmeldetag: **15.12.2022**

(54) **VAKUUMGERÄT UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOLCHEN**

VACUUM DEVICE AND METHOD FOR OPERATING SAME

APPAREIL À VIDE ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UN TEL APPAREIL 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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald**

**Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

22.02.2023 Patentblatt 2023/08

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 3 456 979	EP-A1- 3 686 432
EP-A1- 3 832 141	DE-A1- 10 157 143
DE-A1- 102006 032 648	US-A1- 2015 252 814
US-A1- 2016 245 273	US-A1- 2019 383 300

(73) Patentinhaber: **Pfeiffer Vacuum Technology AG
35614 Asslar (DE)**

(72) Erfinder: **BÖTTCHER, Jochen
35394 Gießen (DE)**

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).

EP 4 137 699 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe und Verfahren zum Betreiben einer solchen Vakuumpumpe.

[0002] Die meisten Vakuumpumpen weisen bewegliche Teile auf, die Verschleiß ausgesetzt sein können. Messröhren, die in Vakuumanlagen verwendet werden, weisen ebenso Teile auf, die aufgrund einer starken physischen Belastung einem Verschleiß ausgesetzt sein können. Der Verschleiß solcher Vakuumgeräte hängt von den Betriebsbedingungen und Umgebungsbedingungen des jeweiligen Vakuumgeräts und von der Alterung der beanspruchten Komponenten des Vakuumgeräts ab.

[0003] Der Verschleiß von Komponenten eines Vakuumgeräts kann dazu führen, dass bestimmte Funktionen des Vakuumgeräts nicht oder nicht mehr im erforderlichen Maß ausgeführt werden. Eine Turbomolekular-Vakuumpumpe kann beispielsweise Wälzlager und/oder Fanglager für deren Rotor aufweisen, bei denen ein gewisser Verschleiß letztlich zu einem Ausfall der Vakuumpumpe führen kann. Der Verschleiß kann ferner zu einer Vorschädigung an bestimmten Komponenten des Vakuumgeräts führen, die durch einen unkontrollierten weiteren Betrieb des Vakuumgeräts verschlimmert werden und zu einem kompletten Ausfall des Vakuumgeräts führen kann. Dies kann beispielsweise dann auftreten, wenn eine Vakuumpumpe trotz einer gewissen Vorschädigung eines Lagers weiterhin bei Nennbedingungen bezüglich der Temperatur, der Leistung und der Drehzahl betrieben wird. Wenn beispielsweise eine Vorschädigung des Lagers nicht erkannt wird, verkürzt der Betrieb bei Nennbedingungen die Zeit bis zum Ausfall der Pumpe.

[0004] Um den Ausfall eines Vakuumgeräts aufgrund von Verschleiß zu vermeiden, sind häufig Wartungsempfehlungen oder ähnliche Vorgaben vorgesehen, die beispielsweise eine Überprüfung des Vakuumgeräts nach einer vorgegebenen Betriebszeit oder unter bestimmten anderen Bedingungen definieren. Ein Ausfall des Vakuumgeräts kann jedoch beispielsweise aufgrund der Betriebsart einer jeweiligen Vakuumpumpe vor dem Ablauf eines solchen Wartungszeitraums auftreten, wenn der Verschleiß bestimmter Komponenten des Vakuumgeräts nicht erkannt wird. Umgekehrt kann jedoch die vorgesehene Betriebszeit bis zu einer Wartung zu konservativ gewählt sein, sodass unnötigerweise eine zu frühe Wartung durchgeführt wird. Dies führt zu unnötigen Kosten für den Betrieb des Vakuumgeräts.

[0005] In der EP 3 832 141 A1 sind eine Vakuumpumpe und ein Verfahren zum Betreiben einer solchen beschrieben. Die Vakuumpumpe weist einen Rotor auf, bei dem ein spezielles Störereignis detektiert wird, das den Rotor und ein Fanglager für den Rotor betrifft. Während des Störungsereignisses wird ein Verschleißinkrement geschätzt, das einer Variablen für den Gesamtverschleiß des Fanglagers hinzugefügt wird. Anhand dieser Variablen für den Gesamtverschleiß wird entschieden, ob eine

Maßnahme zur Stabilisierung des Rotors ausgeführt wird.

[0006] Die US 2019/0383300 A1 beschreibt eine Vakuumpumpe mit einem Wälzlager, dem ein Schmiermittel mit einer speziellen Pumpe zugeführt wird. Zur Steuerung der Zufuhr des Schmiermittels werden Vibrationen und die Temperatur der Vakuumpumpe ermittelt.

[0007] In der EP 3 456 979 A1 ist eine Vakuumpumpe beschrieben, für die eine Verschleißreserve in Prozent bis zu einer empfohlenen Wartung ermittelt wird. Zu diesem Zweck werden verschiedene Betriebsgrößen der Vakuumpumpe über einen bestimmten Zeitraum erfasst.

[0008] Die DE 101 57 143 A1 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erkennung von Verschleiß bei Pumpen. Verschleißrelevante Betriebsparameter der Pumpen werden mit Sensoren erfasst, um mittels einer Auswertungseinrichtung anhand der erfassten Betriebsparameter einen zu erwartenden Wert für eine Betriebsdauer bis zur Fälligkeit der nächsten Wartung oder dem Austausch von bestimmten Teilen der Pumpen zu ermitteln.

[0009] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Vakuumpumpe und ein Verfahren zum Betreiben einer solchen zu schaffen, bei denen ein Ausfall der Vakuumpumpe aufgrund von Verschleiß vermieden oder zumindest verzögert wird.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Vakuumpumpe und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen angegeben.

[0011] Die Vakuumpumpe umfasst eine Verschleißerkennungseinrichtung und eine Schutzeinrichtung. Die Verschleißerkennungseinrichtung ist ausgebildet, um einen Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe zu erfassen und für jede der erfassten Betriebsgrößen einen jeweiligen Verschleißindikator für die Vakuumpumpe zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente der Vakuumpumpe angibt. Die zumindest eine Komponente kann insbesondere ein Wälzlager der Vakuumpumpe sein. Die Schutzeinrichtung ist ausgebildet, um eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe auszuführen, wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. einen jeweiligen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet.

[0012] Der Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe umfasst unter anderem die Anzahl der Betriebsstunden der Vakuumpumpe. In diesem Fall kann die Verschleißerkennungseinrichtung ausgebildet sein, um die bisherigen Betriebsstunden der Vakuumpumpe zu erfassen. Die Verschleißerkennungseinrichtung kann zusätzlich oder alternativ ausgebildet sein, um spezifische, vorgegebene Störungsereignisse zu erkennen und ein erfasstes Störungsereignis einem bestimmten Verschleiß zuzuordnen. Anhand der Gesamtzahl der Betriebsstunden und optional auch anhand der ermittelten

Störsereignisse der Vakuumpumpe, kann die Verschleißerkennungseinrichtung diesen erfassten Betriebsgrößen einen bestimmten Zahlenwert als Verschleißindikator zuordnen. Zusätzlich erfasst die Verschleißerkennungseinrichtung als Betriebsgrößen bestimmte Betriebsparameter der Vakuumpumpe, welche die Temperatur und die Drehzahl der Vakuumpumpe umfassen. Der jeweilige Wert des Betriebsparameters kann über einen vorbestimmten Zeitraum erfasst werden, um den Verschleißindikator mit den derart erfassten Werten des Betriebsparameters in Beziehung zu setzen. Die über den vorbestimmten Zeitraum erfassten Werte des Betriebsparameters können beispielsweise summiert, integriert oder auf andere Weise miteinander verrechnet werden, um dadurch beispielsweise einen Mittelwert für den Betriebsparameter zu erhalten, anhand dessen der jeweilige Verschleißindikator ermittelt werden kann. Ferner ist es zusätzlich auch möglich, dass die Verschleißerkennungseinrichtung den Zustand eines bestimmten Betriebsmittels der Vakuumpumpe erfasst und diesen Zustand einem weiteren Verschleißindikator zuordnet. Ein solcher Zustand des Betriebsmittels kann beispielsweise die Temperatur eines Kühlmittels der Vakuumpumpe und/oder die Qualität bestimmter Schmierstoffe umfassen.

[0013] Der jeweilige Verschleißindikator nimmt somit einen bestimmten Zahlenwert an, der anhand der Betriebsstunden, optional auch anhand von Störsereignissen und anhand weiterer erfasster Betriebsparameter der Vakuumpumpe abgeleitet ist. Ein vorbestimmter Zustand des Verschleißindikators, der die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes in der Vakuumpumpe mittels der Schutzeinrichtung auslöst, umfasst in diesem Fall, dass der Zahlenwert des Verschleißindikators einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Ein weiterer Verschleißindikator kann einem bestimmten Zustand eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe direkt zugeordnet sein, sodass der Zustand des Betriebsmittels, z.B. das Überschreiten einer bestimmten Temperatur des Kühlmittels der Vakuumpumpe, die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes direkt auslöst.

[0014] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe kann umfassen, dass bestimmte Betriebsparameter der Vakuumpumpe derart angepasst werden, dass der Verschleiß der Komponente der Vakuumpumpe verringert wird. Beispielsweise eine maximal mögliche Drehzahl verringert werden, um die Vakuumpumpe weiterhin betreiben zu können, ohne dass beispielsweise eine Beschädigung an deren Wälzlager oder Fanglager auftritt.

[0015] Die erfindungsgemäße Vakuumpumpe zeichnet sich somit dadurch aus, dass nicht nur der Verschleiß der Komponente der Vakuumpumpe erfasst wird, unter anderem durch Zählen von Betriebsstunden, sondern dass zusätzlich anhand der Verschleißindikatoren eine geeignete Maßnahme zum Verringern des Verschleißes ausgelöst wird. Durch das Ermitteln des Verschleißindikators anhand der Betriebsgrößen der Vakuumpumpe

erfolgt ferner eine sorgfältige Diagnose der Vakuumpumpe. Dadurch ist es möglich, beispielsweise eine Warnung auszugeben, bevor eine tatsächliche Beeinträchtigung oder sogar ein Ausfall der Vakuumpumpe und somit der Anlage erfolgt, in welche die Vakuumpumpe eingebunden ist. Durch das Auslösen der Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe kann deren Betrieb ausgedehnt bzw. dessen Betriebsdauer verlängert werden, auch wenn dieser Betrieb aufgrund der Maßnahme mit Einschränkungen verbunden ist, die jedoch unter bestimmten Umständen tolerierbar sind. Insgesamt wird ein Ausfall der Vakuumpumpe aufgrund des Verschleißes einer ihrer Komponenten dadurch vermieden, dass der Verschleiß frühzeitig erkannt und eine Gegenmaßnahme zum Verringern oder sogar zum Vermeiden des weiteren Verschleißes dieser Komponente eingeleitet wird.

[0016] Wie bereits erwähnt, umfasst der Satz der Betriebsgrößen eine Betriebsdauer der Vakuumpumpe, und einer der Verschleißindikatoren umfasst einen Zahlenwert, der von der Betriebsdauer der Vakuumpumpe abgeleitet ist. Die Betriebsdauer kann ab einer vorhergehenden Wartung der Vakuumpumpe erfasst werden, wenn beispielsweise Teile oder Komponenten der Vakuumpumpe, die einem Verschleiß ausgesetzt sind, bei dieser Wartung repariert oder ausgetauscht werden. Alternativ kann die gesamte Betriebsdauer der Vakuumpumpe erfasst werden. Konkret werden die Betriebsstunden der Vakuumpumpe gezählt, sodass der Zahlenwert der Betriebsstunden den entsprechenden Verschleißindikator darstellt. Die Anzahl der Betriebsstunden wird mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen, dem eine gewisse Wahrscheinlichkeit zugeordnet ist, dass der Verschleiß der zumindest einen Komponente der Vakuumpumpe innerhalb einer relativ kurzen Zeitdauer zu einer Störung oder gar einem Ausfall der Vakuumpumpe führen kann. Ein solcher Schwellenwert kann konfigurierbar sein, d.h. dass der Schwellenwert an den speziellen Typ der Vakuumpumpe und an die Umgebung, in der die Vakuumpumpe verwendet wird, anpassbar sein kann. Ferner kann die Erfassung der Betriebsdauer der Vakuumpumpe mit einem geringen Aufwand verbunden sein, da beispielsweise bei vielen Vakuumpumpen ohnehin deren Betriebsstunden gezählt werden.

[0017] Zusätzlich umfasst der Satz der Betriebsgrößen Betriebsparameter der Vakuumpumpe. Die Verschleißerkennungseinrichtung ist ausgebildet, um den Verschleißindikator zu ermitteln, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden. Der Betriebsparameter umfasst eine Temperatur in einem vorbestimmten Bereich der Vakuumpumpe und eine Vibration der Vakuumpumpe. Beispielsweise kann eine Zeitdauer erfasst werden, während der die Temperatur der Vakuumpumpe oberhalb eines vorbestimmten Grenzwerts liegt. Die Intensität der Vibrationen und optional auch Frequenzen und/oder die Ampli-

tude der Vibrationen der Vakuumpumpe können über einen vorbestimmten Zeitraum erfasst werden.

[0018] Wenn die Amplitude der Vibrationen kumulativ für eine bestimmte

[0019] Zeitdauer einen vorbestimmten Grenzwert übersteigt und/oder vorbestimmte Charakteristiken in den Frequenzen der Vibrationen erkennbar sind, kann dies mit einem erhöhten Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten der Vakuumpumpe wie etwa deren Wälzlager verbunden sein. Die Messung der Vibrationen der Vakuumpumpe kann dadurch einem entsprechenden Verschleißindikator zugeordnet sein.

[0020] Ferner werden zusätzlich der Druck und die Drehzahl sowie optional ein Drehzahl/Druck-Zyklus oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und/oder ein Gasfluss in der Vakuumpumpe als Teil des Satzes der Betriebsgrößen der Vakuumpumpe erfasst. Aus der Erfassung dieser Betriebsgrößen über einen vorbestimmten Zeitraum kann wiederum ermittelt werden, ob in einem bestimmten Bereich oder an einer bestimmten Komponente der Vakuumpumpe ein erhöhter Verschleiß aufgetreten ist.

[0021] Zusätzlich kann der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe umfassen. In diesem Fall kann die Verschleißerkennungseinrichtung ausgebildet sein, um einen zusätzlichen Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels zu ermitteln. Der Zustand des Betriebsmittels kann insbesondere die Temperatur eines Kühlmittels und/oder die Qualität eines Schmiermittels für zumindest eine Komponente der Vakuumpumpe umfassen. Bei einer solchen Ausführungsform kann der Verschleiß einer Komponente der Vakuumpumpe somit indirekt anhand der Wechselwirkung der Komponente mit dem Betriebsmittel erfasst werden. Ein erhöhter Verschleiß einer bestimmten Komponente der Vakuumpumpe kann mit anderen Worten mit einer Veränderung des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels verbunden sein, sodass diese Änderung des Zustands des Betriebsmittels als Verschleißindikator verwendet werden kann. Beispielsweise können die Veränderung der Temperatur des Kühlmittels und/oder die Verringerung der Qualität des Schmiermittels, die beispielsweise durch eine Trübung eines Schmieröls einer Vakuumpumpe nachgewiesen werden kann, Indikatoren für den Verschleiß derjenigen Komponente der Vakuumpumpe darstellen, für die das Kühlmittel bzw. Schmiermittel vorgesehen ist.

[0022] Um den Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten der Vakuumpumpe, d.h. insbesondere des Wälzlagers, rechtzeitig und zuverlässig zu erkennen, umfasst der Satz von Betriebsgrößen mehrere Betriebsgrößen, die gleichzeitig erfasst werden. Wie erwähnt umfasst der Satz der Betriebsgrößen die Betriebsdauer der Vakuumpumpe, mehrere Betriebsparameter wie unter anderem die Temperatur und die Vibrationen der Vakuumpumpe und optional den Zustand eines Kühlmittels oder Schmiermittels. Jeder dieser Betriebsgrößen

ist ein jeweiliger Verschleißindikator zugeordnet. Die Schutzeinrichtung ist ausgebildet, um eine oder mehrere Maßnahmen zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe auszuführen, sobald zumindest einer der mehreren Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Da der Satz der Betriebsgrößen mehrere Betriebsgrößen umfasst, kann sichergestellt sein, dass die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe rechtzeitig ausgeführt wird und dass andererseits jedoch eine Wartung der Vakuumpumpe nicht unnötigerweise zu früh ausgeführt wird.

[0023] Ferner ist die Schutzeinrichtung ausgebildet sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe derart auszuführen, dass eine Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe begrenzt ist. Durch die Begrenzung der Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe können beispielsweise deren Temperatur, deren Vibrationen und/oder deren mechanische Last derart begrenzt werden, dass ein zusätzlicher Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten der Vakuumpumpe ausgeschlossen oder zumindest verringert ist. Die Begrenzung der Leistungsaufnahme kann die maximal mögliche Drehzahl der Vakuumpumpe verringern.

[0024] Ein Prozess, der in einer Vakuumanlage ausgeführt wird, in der die Vakuumpumpe installiert ist, kann durch die verringerte Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe eingeschränkt werden. Eine solche Einschränkung kann tolerierbar sein, sodass der Prozess trotz der verringerten Leistungsaufnahme weiterhin ausführbar ist. Durch die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe kann jedoch die verfügbare Betriebsdauer der Vakuumpumpe verlängert werden, sodass der Prozess trotz der Verringerung der Leistungsaufnahme weiterhin ausgeführt werden kann. Umgekehrt kann die Verringerung der Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe gerade durch die Verlängerung der verfügbaren Betriebsdauer der Vakuumpumpe ermöglichen, dass der Prozess weiterhin ausgeführt und zu Ende gebracht werden kann, was ohne die Verringerung der Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe aufgrund des zusätzlichen Verschleißes der Vakuumpumpe möglicherweise nicht gewährleistet ist. Wenn der Prozess jedoch durch die Begrenzung der Leistungsaufnahme nicht mehr korrekt durchgeführt werden kann, da beispielsweise aufgrund einer Verringerung der Drehzahl der Vakuumpumpe der Druck in einer Vakuumkammer ansteigt, die mit der Vakuumpumpe verbunden ist, kann eine Warnung ausgegeben werden. Dadurch kann ein Bediener des Prozesses bzw. der Vakuumanlage erkennen, dass die korrekte Ausführung des Prozesses nicht mehr sichergestellt ist und der Prozess beendet werden sollte.

[0025] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe kann ferner derart ausgeführt werden, dass die Verwendung von Betriebsreserven eingeschränkt wird, die während eines Normalbetriebs der Vakuumpumpe nicht in Betracht gezogen werden und

üblicherweise nur bei Übergängen zwischen Betriebszuständen der Vakuumpumpe eine Rolle spielen. Wenn beispielsweise eine Vakuumpumpe bezüglich des Drucks in einem Rezipienten, der mit der Vakuumpumpe verbunden ist, von einem bisherigen Betriebspunkt zu einem neuen Betriebspunkt übergehen soll, kann eine Verringerung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe dazu führen, dass die Vakuumpumpe für die Übergangsphase zwischen den zwei Betriebspunkten eine längere Zeitdauer benötigt, d.h. im Vergleich zu der Zeitdauer, die ohne die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme erforderlich wäre. Ein entsprechender Prozess, der in der Vakuumanlage mit dem Rezipienten ausgeführt wird, wird in einem solchen Fall durch die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe möglicherweise nicht beeinflusst, oder es führt die Begrenzung der maximalen Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe lediglich zu einer Verlängerung einzelner Prozessschritte. Dies kann tolerierbar sein, solange der Prozess an sich vollständig durchführbar ist.

[0026] Die Schutzeinrichtung kann ferner ausgebildet sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe derart auszuführen, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert ist. Mit anderen Worten wird aufgrund des Verschleißes einer Komponente der Vakuumpumpe, der mittels des jeweiligen Verschleißindikators erfasst wird, die Warnung und/oder Fehlermeldung früher, d.h. bei einem geringeren Grenzwert, als während des Normalbetriebs ausgegeben. Der Verschleißindikator kann in diesem Fall angeben, dass die Vakuumpumpe aufgrund des Verschleißes zumindest einer Komponente weniger belastbar ist und beispielsweise bei Erreichen des verringerten Grenzwerts einer bestimmten Betriebsgröße abgeschaltet werden sollte.

[0027] Die Schutzeinrichtung kann zusätzlich ausgebildet sein, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe durch eine Anpassung eines Zustands zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe auszuführen. Beispielsweise kann eine Menge eines zur Verfügung stehenden Betriebsmittels, beispielsweise eines Kühl- und/oder Schmiermittels, in Abhängigkeit von der Temperatur der Vakuumpumpe erhöht oder verringert werden, um einem zusätzlichen Verschleiß einer Komponente der Vakuumpumpe entgegenzuwirken.

[0028] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Vakuumpumpe. Gemäß dem Verfahren wird mittels einer Verschleißerkennungseinrichtung ein Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe erfasst, und für jede der erfassten Betriebsgrößen wird ein jeweiliger Verschleißindikator für die Vakuumpumpe ermittelt, der den Verschleiß einer Komponente der Vakuumpumpe angibt. Wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, wird mittels einer Schutzeinrich-

tung eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe ausgeführt. Ein vorbestimmter Zustand zum Auslösen der Maßnahme umfasst somit, dass einer der Verschleißindikatoren einen Zahlenwert aufweist, der größer als ein jeweiliger vorbestimmter Schwellenwert ist.

[0029] Die vorstehend beschriebene Vakuumpumpe ist folglich dafür vorgesehen, die Schritte des Verfahrens mittels der Verschleißerkennungseinrichtung und der Schutzeinrichtung auszuführen. Die vorstehenden Ausführungen zu der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe gelten daher sinngemäß auch für das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere hinsichtlich der Offenbarung, der Vorteile und der bevorzugten Ausführungsformen.

[0030] Der Satz der Betriebsgrößen umfasst eine Betriebsdauer der Vakuumpumpe, und ein Zahlenwert eines der Verschleißindikatoren wird von der Betriebsdauer der Vakuumpumpe abgeleitet. Das Ermitteln der Betriebsdauer der Vakuumpumpe umfasst, dass deren Betriebsstunden gezählt werden.

[0031] Der Satz der Betriebsgrößen umfasst zusätzlich mehrere Betriebsparameter der Vakuumpumpe. Der jeweilige Verschleißindikator kann in diesem Fall ermittelt werden, indem Werte des Betriebsparameters über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit dem Verschleißindikator in Beziehung gesetzt werden. Die Betriebsparameter umfassen die Temperatur der Vakuumpumpe und eine Intensität von Vibrationen und optional auch eine Amplitude oder Frequenzcharakteristika von Vibrationen der Vakuumpumpe, die kumulativ erfasst werden können. Die Betriebsparameter umfassen ferner einen Druck und eine Drehzahl eines Rotors der Vakuumpumpe sowie optional einen oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und/oder einen Gasfluss in der Vakuumpumpe.

[0032] Zusätzlich kann der Satz der Betriebsgrößen einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe umfassen. Ein zusätzlicher Verschleißindikator kann in diesem Fall anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels ermittelt werden. Der Zustand des Betriebsmittels kann beispielsweise die Temperatur eines Kühlmittels für die Vakuumpumpe und/oder die Qualität eines Schmiermittels für zumindest eine Komponente der Vakuumpumpe umfassen.

[0033] Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe wird derart mittels der Schutzeinrichtung ausgeführt, dass eine Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe begrenzt wird. Die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe kann zusätzlich derart ausgeführt werden, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert wird. Wiederum zusätzlich kann die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe ausgeführt werden, indem ein Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe angepasst wird. Das Anpassen des Zustands des Betriebsmittels kann umfassen, dass eine zur Verfügung stehen-

de Menge des Betriebsmittels für eine Komponente der Vakuumpumpe erhöht oder verringert wird, um dadurch den Verschleiß der Komponente zu verringern.

[0034] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer 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,

Fig. 6 ein Blockdiagramm einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe und

Fig. 7 ein Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] 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.

[0036] 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 angeordneten Elektromotors 125 (vgl. auch Fig. 3). 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.

[0037] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik ange-

schlossen werden.

[0038] 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, eingelassen 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. Andere existierende Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

[0039] 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. Grundsätzlich sind dabei beliebige Winkel möglich.

[0040] Andere existierende Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0041] 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.

[0042] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0043] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0044] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgasstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0045] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0046] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotorwelle 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.

[0047] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 167, 169 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.

[0052] 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.

[0053] 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. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt) kann anstelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0054] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0055] 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 größer 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.

[0056] 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 Ring-

magnete 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 201 gekoppeltes Deckelement 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.

[0057] 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, damit 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.

[0058] 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.

[0059] 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 wer-

den, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0060] 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.

[0061] Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Vakuumpumpe 600, bei dem es sich beispielsweise um die in Fig. 1 bis 5 dargestellte Turbomolekularpumpe 111 handelt. Die Vakuumpumpe 600 weist Komponenten 610 auf, von denen bekannt ist, dass sie möglicherweise während des Betriebs der Vakuumpumpe 600 einem Verschleiß ausgesetzt sind. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfassen die Komponenten 610 das Wälzlager 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) und das Not- bzw. Fanglager 215 (vgl. Fig. 3) sowie sämtliche vorstehend beschriebene Teile der Turbomolekularpumpe 111, die während deren Betrieb beweglich sind. Die Komponenten 610 können ferner einerseits die beweglichen Teile des Elektromotors 125 (vgl. Fig. 3) und andererseits diejenigen elektrischen und elektronischen Elemente des Elektromotors 125 umfassen, die während des Betriebs der Turbomolekularpumpe 111 einer besonderen Belastung ausgesetzt sind, beispielsweise einer erhöhten Temperatur und/oder einer hohen Spannung und/oder einer hohen Stromstärke.

[0062] Die Vakuumpumpe 600 umfasst ferner eine Verschleißerkennungseinrichtung 620, die mit den Komponenten 610 der Vakuumpumpe 600 in Verbindung steht, um einen Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe 600 zu erfassen und anhand der erfassten Betriebsgrößen zumindest einen Verschleißindikator für die Vakuumpumpe 600 zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente 610 der Vakuumpumpe 600 angibt. Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 erfasst dann, wenn die Vakuumpumpe 600 die Turbomolekularpumpe 111 ist, durch eine kommunikative Verbindung mit dem Elektromotor 125 als erstes Element des Satzes der Betriebsgrößen die Betriebsdauer der Vakuumpumpe 600 bzw. der Turbomolekularpumpe 111. Anhand der Betriebsdauer der Vakuumpumpe 600 leitet die Verschleißerkennungseinrichtung 620 einen Zahlenwert ab, der als ein Verschleißindikator der Vakuumpumpe 600 verwendet wird.

[0063] Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 erfasst ferner als weitere Betriebsgrößen Betriebsparameter der Vakuumpumpe 600, die im Falle der Turbomolekularpumpe 111 deren Temperatur, den Druck auf deren Hochvakuumseite, die Drehzahl des Rotors 149, einen oder mehrere Drehzahl/Druck-Zyklen und Vibrationen der Turbomolekularpumpe 111 umfassen, wobei letztere mittels eines nicht gezeigten Schwingungssensors gemessen werden. Anhand dieser erfassten Betriebsparameter der Vakuumpumpe 600 bzw. der Turbo-

molekularpumpe 111 ermittelt die Verschleißerkennungseinrichtung 620 wiederum einen jeweiligen Verschleißindikator, die für jeden der vorstehend genannten Betriebsparameter spezifisch und diesen zugeordnet sind. Werte der jeweiligen Betriebsgröße werden über eine vorbestimmte Zeitdauer erfasst und mit einem jeweiligen Schwellenwert verglichen, um zu ermitteln, ob eine oder mehrere der Komponenten 610 der Vakuumpumpe 600 einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt sind. Der Verschleißindikator wird dadurch mit den erfassten Werten des Betriebsparameters in Beziehung gesetzt. Die über die vorbestimmte Zeitdauer erfassten Werte des Betriebsparameters werden beispielsweise summiert, integriert oder auf andere Weise miteinander verrechnet, um dadurch einen Mittelwert für den Betriebsparameter zu erhalten, anhand dessen der Verschleißindikator ermittelt wird.

[0064] Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 erfasst ferner einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe 600, beispielsweise im Falle der Turbomolekularpumpe 111 die Qualität eines Schmiermittels für diejenigen Komponenten der Turbomolekularpumpe 111, die eine Schmierung erfordern. Die Qualität des Schmiermittels kann beispielsweise erfasst werden, indem eine oder mehrere physikalische und/oder chemische Eigenschaften des Schmiermittels überwacht werden, z.B. das Vorhandensein eines bestimmten Stoffs im Schmiermittel, dessen Zähigkeit und/oder dessen optische Eigenschaften.

[0065] Die Vakuumpumpe 600 umfasst außerdem eine Schutzeinrichtung 630, die dafür vorgesehen ist, eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe 600 auszuführen, wenn der zumindest eine Verschleißindikator einen vorbestimmten Zustand annimmt. Die Verschleißerkennungseinrichtung 620 steht mit der Schutzeinrichtung 630 in kommunikativer Verbindung und übergibt die jeweiligen Verschleißindikatoren der verschiedenen Betriebsgrößen der Vakuumpumpe 600 an die Schutzeinrichtung 630. Der Zustand des jeweiligen Verschleißindikators, anhand dessen die Schutzeinrichtung 630 die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe 600 auslöst, ist im Falle der Betriebsdauer und der Betriebsparameter dadurch gegeben, dass deren Werte einen jeweiligen vorbestimmten Schwellenwert überschreiten. Für die Betriebsmittel der Vakuumpumpe 600 ist ein vordefinierter Zustand des Betriebsmittels demjenigen Zustand des Verschleißindikators zugeordnet, der die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe 600 auslöst.

[0066] Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfasst diese Maßnahme, dass eine Leistungsaufnahme der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt wird. Dadurch wird auch die maximal erreichbare Drehzahl des Rotors 149 der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt. Durch diese Begrenzung der maximalen Drehzahl des Rotors 149 wird der Verschleiß des Wälzlagers 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) und auch des Not- bzw. Fanglagers 215 (vgl. Fig. 3)

verringert, der ansonsten auftreten würde, wenn die Turbomolekularpumpe 111 weiterhin bei ihrer Nenndrehzahl betrieben werden würde.

[0067] Fig. 7 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens 700 zum Betreiben der Vakuumpumpe 600, d.h. insbesondere der Turbomolekularpumpe 111. Bei 710 wird mittels der Verschleißerkennungseinrichtung 620 ein Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe 600 erfasst, die jeweils den verschiedenen Komponenten 610 der Vakuumpumpe 600 zugeordnet sind. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 umfassen die Betriebsgrößen unter anderem die Anzahl der Betriebsstunden der Turbomolekularpumpe 111, die Temperatur, die Drehzahl des Rotors 149 und den Druck in der Turbomolekularpumpe 111.

[0068] Bei 720 wird mittels der Verschleißerkennungseinrichtung 620 anhand der erfassten Betriebsgrößen ein jeweiliger Verschleißindikator für die Vakuumpumpe 600 ermittelt, der den Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten 610 der Vakuumpumpe 600 angibt. Bei 730 wird überprüft, ob zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. indem er einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Ist dies nicht der Fall, kehrt das Verfahren zum Schritt 710 zurück, um die Betriebsgrößen der Vakuumpumpe 600 weiterhin zu überwachen und einen neuen Satz der Betriebsgrößen zu erfassen.

[0069] Wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren, die bei 720 ermittelt wurden, jedoch den vorbestimmten Zustand annimmt, der einen erhöhten Verschleiß einer oder mehrerer Komponenten 610 angibt, wird bei 740 mittels der Schutzeinrichtung eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe 600 ausgeführt. Im Falle der Turbomolekularpumpe 111 besteht ein dieser Maßnahmen darin, dass die Leistungsaufnahme der Turbomolekularpumpe 111 begrenzt wird, um dadurch die maximale Drehzahl des Rotors 149 zu begrenzen und das Wälzlager 181 (vgl. Fig. 3 bis 5) sowie das Not- bzw. Fanglager 215 (vgl. Fig. 3) zu schonen.

Bezugszeichenliste

[0070]

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	5
147	Befestigungsbohrung	
148	Kühlmittelleitung	
149	Rotor	
151	Rotationsachse	
153	Rotorwelle	10
155	Rotorscheibe	
157	Statorscheibe	
159	Abstandsring	
161	Rotornabe	
163	Holweck-Rotorhülse	15
165	Holweck-Rotorhülse	
167	Holweck-Statorhülse	
169	Holweck-Statorhülse	
171	Holweck-Spalt	
173	Holweck-Spalt	20
175	Holweck-Spalt	
179	Verbindungskanal	
181	Wälzlager	
183	Permanentmagnetlager	
185	Spritzmutter	25
187	Scheibe	
189	Einsatz	
191	rotorseitige Lagerhälfte	
193	statorseitige Lagerhälfte	
195	Ringmagnet	30
197	Ringmagnet	
199	Lagerspalt	
201	Trägerabschnitt	
203	Trägerabschnitt	
205	radiale Strebe	35
207	Deckelelement	
209	Stützring	
211	Befestigungsring	
213	Tellerfeder	
215	Not- bzw. Fanglager	40
217	Motorstator	
219	Zwischenraum	
221	Wandung	
223	Labyrinthdichtung	
600	Vakuumpumpe	45
610	Komponente der Vakuumpumpe	
620	Verschleißerkennungseinrichtung	
630	Schutzeinrichtung	
700	Verfahren zum Betreiben der Vakuumpumpe	50
710-740	Verfahrensschritte	

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (111), umfassend:

- eine Verschleißerkennungseinrichtung (620), die ausgebildet ist, um einen Satz von Betriebs-

größen der Vakuumpumpe (111) zu erfassen und für jede der erfassten Betriebsgrößen einen jeweiligen Verschleißindikator für die Vakuumpumpe (111) zu ermitteln, der den Verschleiß zumindest einer Komponente (610) der Vakuumpumpe (111) angibt, insbesondere kann die zumindest eine Komponente (610) ein Wälzlager (181) der Vakuumpumpe (111) sein, wobei der jeweilige Verschleißindikator einen jeweiligen Zahlenwert annimmt, der von der jeweiligen Betriebsgröße der Vakuumpumpe (111) abgeleitet ist; und
- eine Schutzeinrichtung (630);

dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) auszuführen, wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. einen jeweiligen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet,

wobei der Satz der Betriebsgrößen eine Anzahl von Betriebsstunden der Vakuumpumpe (111), eine Temperatur der Vakuumpumpe (111), eine Drehzahl der Vakuumpumpe (111), einen Druck in der Vakuumpumpe (111) und eine Intensität von Vibrationen der Vakuumpumpe (111) umfasst und

wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) derart auszuführen, dass eine Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe (111) begrenzt ist.

2. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1, wobei der Satz der Betriebsgrößen ferner einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe (111) umfasst und die Verschleißerkennungseinrichtung (620) ausgebildet ist, um einen weiteren Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels zu ermitteln.

3. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 2, wobei der Zustand des Betriebsmittels die Temperatur eines Kühlmittels und/oder die Qualität eines Schmiermittels für die zumindest eine Komponente (610) der Vakuumpumpe (111) umfasst.

4. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) derart auszuführen, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert ist.

5. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 1

bis 4, wobei die Schutzeinrichtung (630) ausgebildet ist, um die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) durch eine Anpassung eines Zustands zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe (111) auszuführen.

6. Verfahren (700) zum Betreiben einer Vakuumpumpe (111), wobei das Verfahren umfasst, dass

mittels einer Verschleißerkennungseinrichtung (620) ein Satz von Betriebsgrößen der Vakuumpumpe (111) erfasst wird und für jede der erfassten Betriebsgrößen ein jeweiliger Verschleißindikator für die Vakuumpumpe (111) ermittelt wird, der den Verschleiß zumindest einer Komponente (610) der Vakuumpumpe (111) angibt, insbesondere kann die zumindest eine Komponente (610) ein Wälzlager (181) der Vakuumpumpe (111) sein

wobei der jeweilige Verschleißindikator einen jeweiligen Zahlenwert annimmt, der von der jeweiligen Betriebsgröße der Vakuumpumpe (111) abgeleitet wird, und

mittels einer Schutzeinrichtung (630) eine Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) ausgeführt wird, wenn zumindest einer der Verschleißindikatoren einen vorbestimmten Zustand annimmt, d.h. einen jeweiligen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet,

wobei der Satz der Betriebsgrößen eine Anzahl von Betriebsstunden der Vakuumpumpe (111), eine Temperatur der Vakuumpumpe (111), eine Drehzahl der Vakuumpumpe (111), einen Druck in der Vakuumpumpe (111) und eine Intensität von Vibrationen der Vakuumpumpe (111) umfasst, und

wobei die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) mittels der Schutzeinrichtung (630) derart ausgeführt wird, dass eine Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe (111) begrenzt wird.

7. Verfahren (700) nach Anspruch 6, wobei der Satz der Betriebsgrößen ferner einen Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe (111) umfasst und ein weiterer Verschleißindikator anhand des Zustands des zumindest einen Betriebsmittels ermittelt wird.

8. Verfahren (700) nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) derart ausgeführt wird, dass zumindest ein Grenzwert zum Ausgeben einer Warnung und/oder einer Fehlermeldung für zumindest eine der Betriebsgrößen verringert wird.

9. Verfahren (700) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Maßnahme zum Verringern des Verschleißes der Vakuumpumpe (111) ausgeführt wird, indem ein Zustand zumindest eines Betriebsmittels der Vakuumpumpe (111) angepasst wird.

Claims

1. A vacuum pump (111) comprising:

- a wear recognition device (620) which is configured to detect a set of operating variables of the vacuum pump (111) and to determine a respective wear indicator for the vacuum pump (111) for each of the detected operating variables, said wear indicator indicating the wear of at least one component (610) of the vacuum pump (111), wherein the at least one component (610) can in particular be a rolling element bearing (181) of the vacuum pump (111), wherein the respective wear indicator assumes a respective numerical value which is derived from the respective operating variable of the vacuum pump (111); and
- a protection device (630),

characterized in that the protection device (630) is configured to carry out a measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) when at least one of the wear indicators assumes a predetermined state, i.e. exceeds a respective predetermined threshold value,

wherein the set of operating variables comprises a number of operating hours of the vacuum pump (111), a temperature of the vacuum pump (111), a rotational speed of the vacuum pump (111), a pressure in the vacuum pump (111) and an intensity of vibrations of the vacuum pump (111), and

wherein the protection device (630) is configured to carry out the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) such that a power consumption of the vacuum pump (111) is limited.

2. A vacuum pump (111) according to claim 1, wherein the set of operating variables further comprises a state of at least one operating medium of the vacuum pump (111) and the wear recognition device (620) is configured to determine a further wear indicator based on the state of the at least one operating medium.
3. A vacuum pump (111) according to claim 2, wherein the state of the operating medium comprises the

temperature of a coolant and/or the quality of a lubricant for the at least one component (610) of the vacuum pump (111).

4. A vacuum pump (111) according to any one of the claims 1 to 3, wherein the protection device (630) is configured to carry out the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) such that at least one limit value for outputting a warning and/or an error message for at least one of the operating variables is reduced.
5. A vacuum pump (111) according to any one of the claims 1 to 4, wherein the protection device (630) is configured to carry out the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) by adjusting a state of at least one operating medium of the vacuum pump (111).

6. A method (700) for operating a vacuum pump (111), wherein the method comprises that

a set of operating variables of the vacuum pump (111) is detected by means of a wear recognition device (620) and a respective wear indicator for the vacuum pump (111) is determined for each of the detected operating variables, said wear indicator indicating the wear of at least one component (610) of the vacuum pump (111), wherein the at least one component (610) can in particular be a rolling element bearing (181) of the vacuum pump (111),

wherein the respective wear indicator assumes a respective numerical value which is derived from the respective operating variable of the vacuum pump (111), and

a measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) is carried out by means of a protection device (630) if at least one of the wear indicators assumes a predetermined state, i.e. exceeds a respective predetermined threshold value,

wherein the set of operating variables comprises a number of operating hours of the vacuum pump (111), a temperature of the vacuum pump (111), a rotational speed of the vacuum pump (111), a pressure in the vacuum pump (111) and an intensity of vibrations of the vacuum pump (111), and

wherein the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) is carried out by means of the protection device (630) such that a power consumption of the vacuum pump (111) is limited.

7. A method (700) according to claim 6, wherein the set of operating variables further comprises a state of at least one operating medium of the vacuum

pump (111) and a further wear indicator is determined based on the state of the at least one operating medium.

8. A method (700) according to claim 6 or 7, wherein the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) is carried out such that at least one limit value for outputting a warning and/or an error message for at least one of the operating variables is reduced.
9. A method (700) according to any one of the claims 6 to 8, wherein the measure for reducing the wear of the vacuum pump (111) is carried out by adjusting a state of at least one operating medium of the vacuum pump (111).

Revendications

1. Pompe à vide (111), comprenant :

- un dispositif de détection d'usure (620) conçu pour détecter un ensemble de grandeurs de fonctionnement de la pompe à vide (111) et pour déterminer, pour chacune des grandeurs de fonctionnement détectées, au moins un indicateur d'usure de la pompe à vide (111), qui indique l'usure d'au moins un composant (610) de la pompe à vide (111),

ledit au moins composant (610) pouvant être en particulier un palier de roulement (181) de la pompe à vide (111),

l'indicateur d'usure respectif prenant une valeur numérique respective dérivée de la grandeur de fonctionnement respective de la pompe à vide (111) ; et

- un dispositif de protection (630) ;

caractérisée en ce que le dispositif de protection (630) est conçu pour mettre en oeuvre une action visant à réduire l'usure de la pompe à vide (111) lorsque l'un au moins des indicateurs d'usure prend un état prédéterminé, c'est-à-dire lorsqu'il dépasse une valeur seuil respective prédéterminée, l'ensemble de grandeurs de fonctionnement incluant un nombre d'heures de fonctionnement de la pompe à vide (111), une température de la pompe à vide (111), une vitesse de rotation de la pompe à vide (111), une pression dans la pompe à vide (111) et une intensité de vibrations de la pompe à vide, et le dispositif de protection (630) étant conçu

- pour mettre en oeuvre l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) de manière à limiter une consommation de puissance de la pompe à vide (111).
2. Pompe à vide (111) selon la revendication 1, dans laquelle l'ensemble de grandeurs de fonctionnement inclut en outre un état d'au moins un agent de fonctionnement de la pompe à vide (111), et le dispositif de détection d'usure (620) est conçu pour déterminer un autre indicateur d'usure à partir de l'état dudit au moins un agent de fonctionnement.
3. Pompe à vide (111) selon la revendication 2, dans laquelle l'état de l'agent de fonctionnement inclut la température d'un agent de refroidissement et/ou la qualité d'un agent de lubrification pour ledit au moins un composant (610) de la pompe à vide (111).
4. Pompe à vide (111) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le dispositif de protection (630) est conçu pour mettre en oeuvre l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) de manière à réduire au moins une valeur limite de l'émission d'un avertissement et/ou d'un message d'erreur pour l'une au moins des grandeurs de fonctionnement.
5. Pompe à vide (111) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle le dispositif de protection (630) est conçu pour mettre en oeuvre l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) en adaptant un état d'au moins un agent de fonctionnement de la pompe à vide (111).
6. Procédé (700) de fonctionnement d'une pompe à vide (111), le procédé comprenant les étapes consistant à
- détecter, au moyen d'un dispositif de détection d'usure (620), un ensemble de grandeurs de fonctionnement de la pompe à vide (111), et déterminer, pour chacune des grandeurs de fonctionnement détectées, un indicateur d'usure respectif pour la pompe à vide (111), qui indique l'usure d'au moins un composant (610) de la pompe à vide (111), ledit au moins un composant (610) pouvant être en particulier un palier de roulement (181) de la pompe à vide, l'indicateur d'usure respectif prenant une valeur numérique respective qui est dérivée de la grandeur de fonctionnement respective de la pompe à vide (111), et mettre en oeuvre une action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) au moyen d'un dispositif de protection (630) lorsque l'un
- au moins des indicateurs d'usure prend un état prédéterminé, c'est-à-dire lorsqu'il dépasse une valeur seuil respective prédéterminée, l'ensemble de grandeurs de fonctionnement incluant un nombre d'heures de fonctionnement de la pompe à vide (111), une température de la pompe à vide (111), une vitesse de rotation de la pompe à vide (111), une pression dans la pompe à vide (111) et une intensité de vibrations de la pompe à vide (111), et l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) étant mise en oeuvre au moyen du dispositif de protection (630) de manière à limiter une consommation de puissance de la pompe à vide (111).
7. Procédé (700) selon la revendication 6, dans lequel l'ensemble de grandeurs de fonctionnement inclut en outre un état d'au moins un agent de fonctionnement de la pompe à vide (111), et un autre indicateur d'usure est déterminé à partir de l'état dudit au moins un agent de fonctionnement.
8. Procédé (700) selon la revendication 6 ou 7, dans lequel l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) est mise en oeuvre de manière à réduire au moins une valeur limite de l'émission d'un avertissement et/ou d'un message d'erreur pour l'une au moins des grandeurs de fonctionnement.
9. Procédé (700) selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel l'action de réduction de l'usure de la pompe à vide (111) est mise en oeuvre en adaptant un état d'au moins un agent de fonctionnement de la pompe à vide (111).

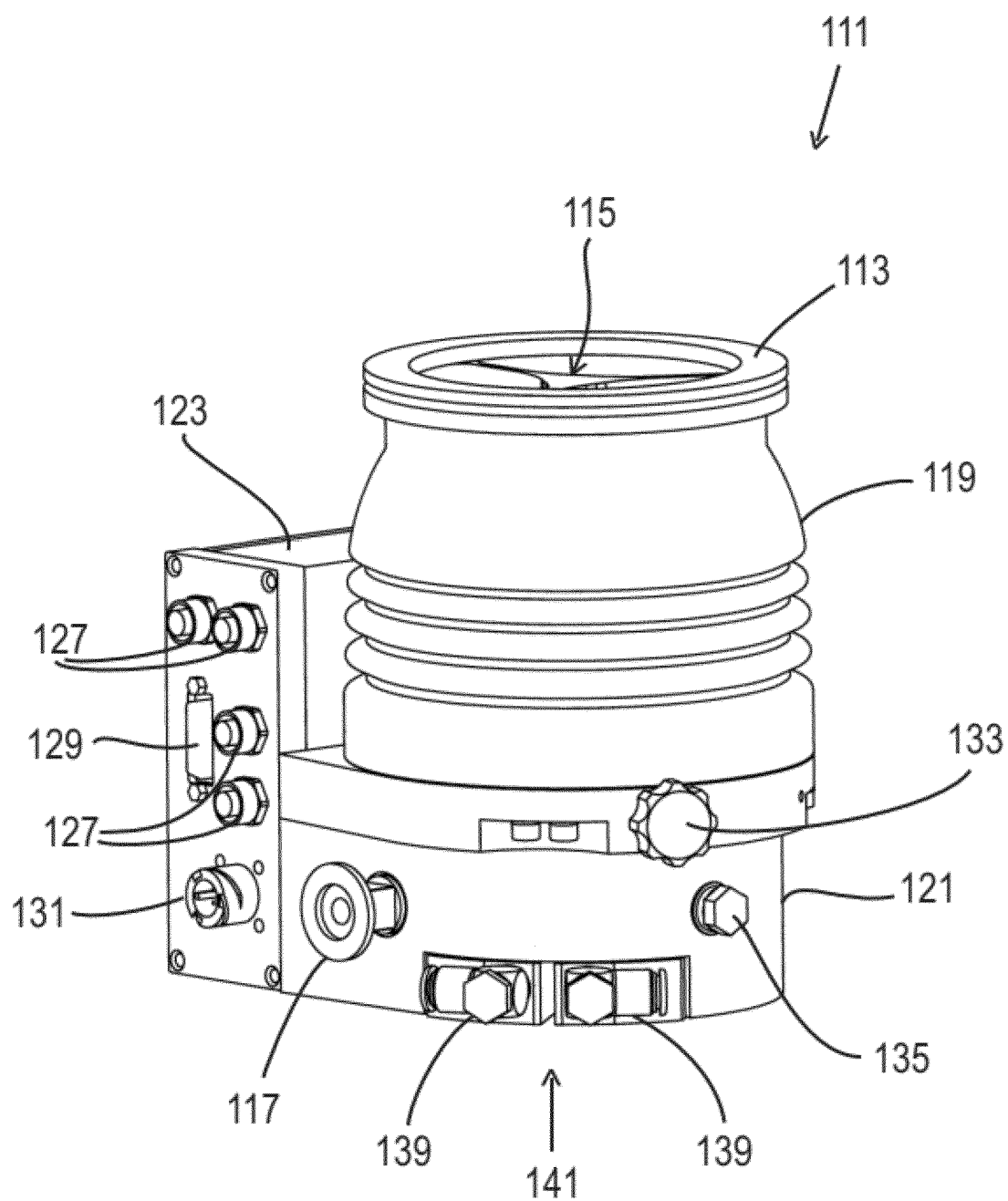


Fig. 1

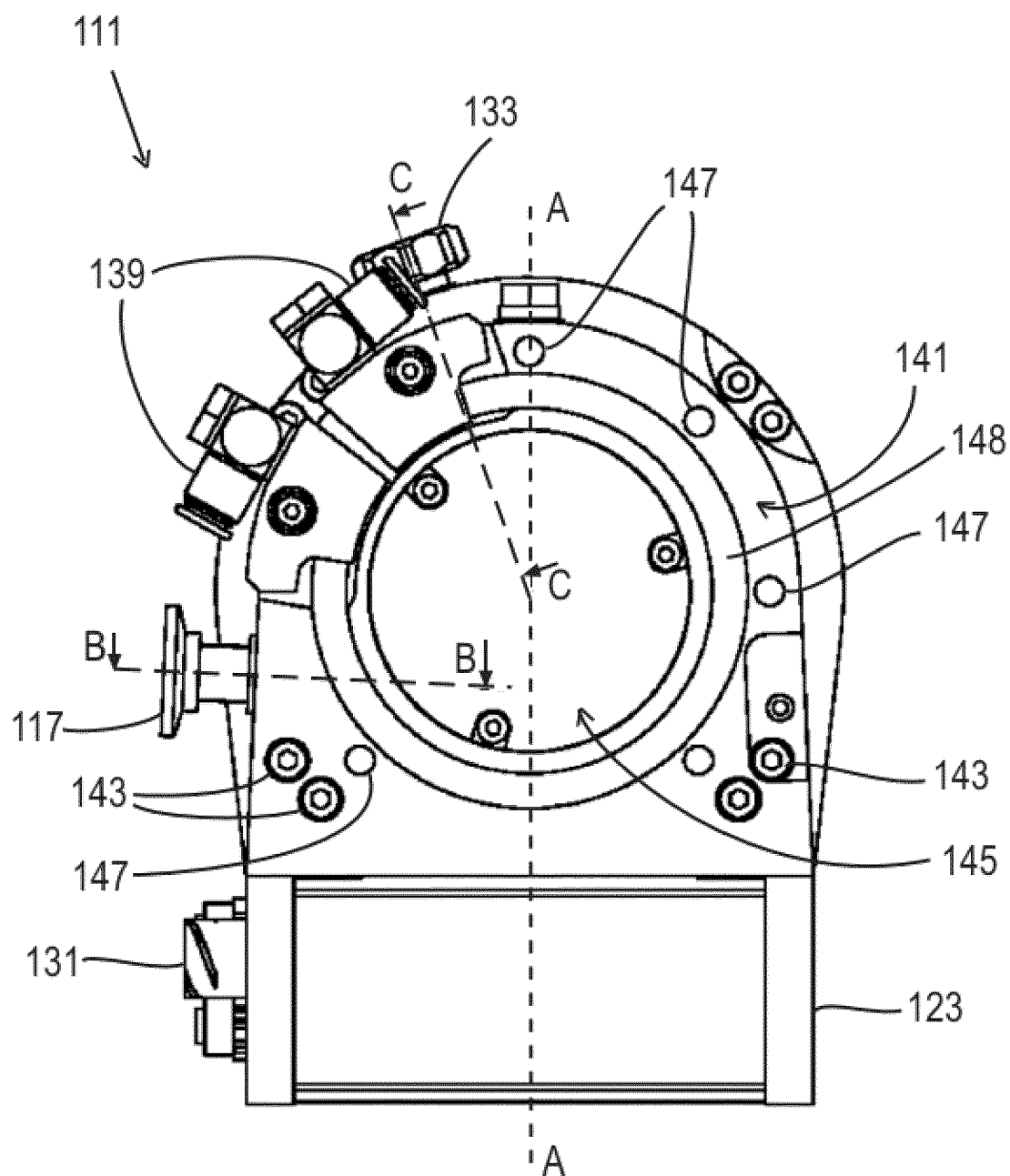


Fig. 2

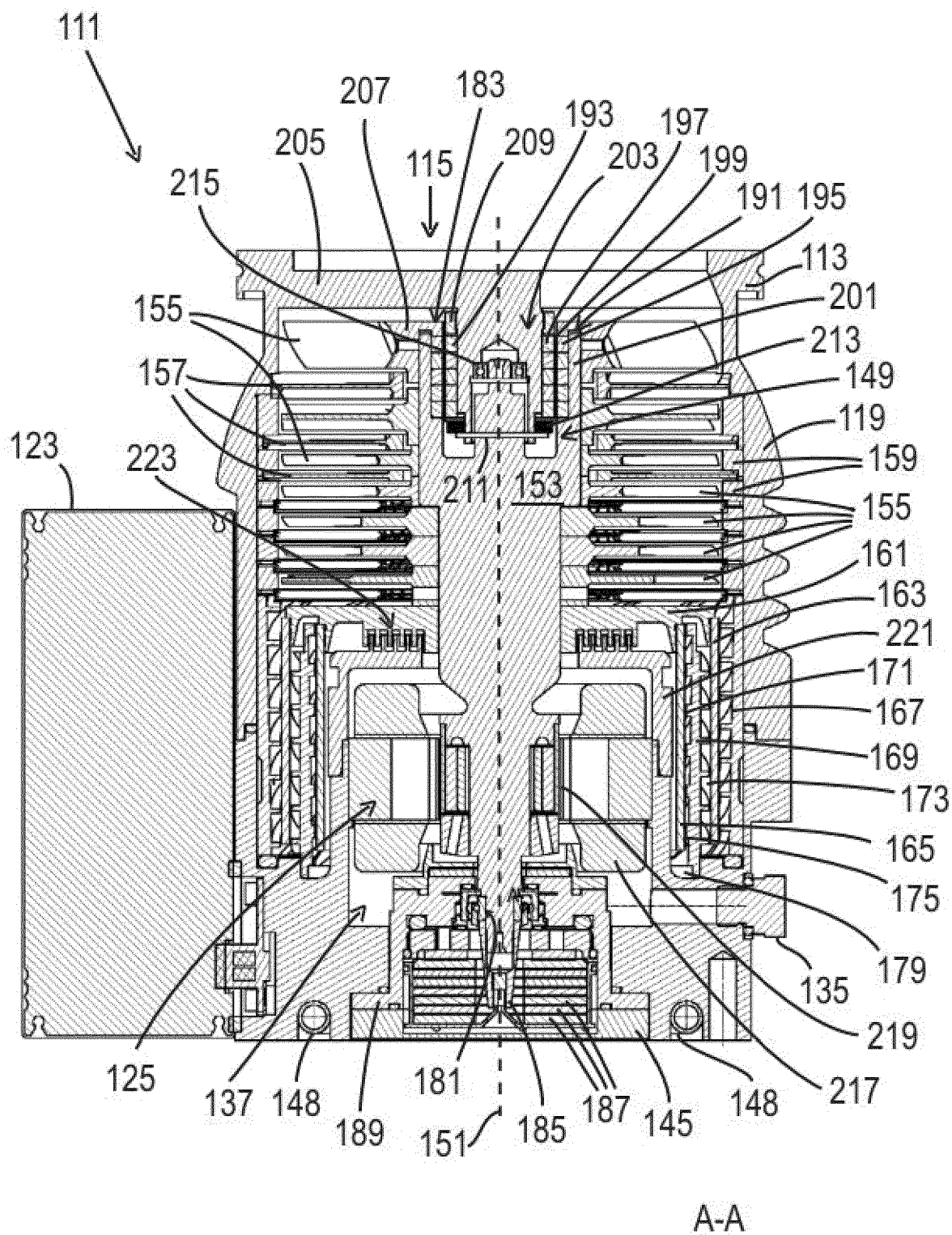


Fig. 3

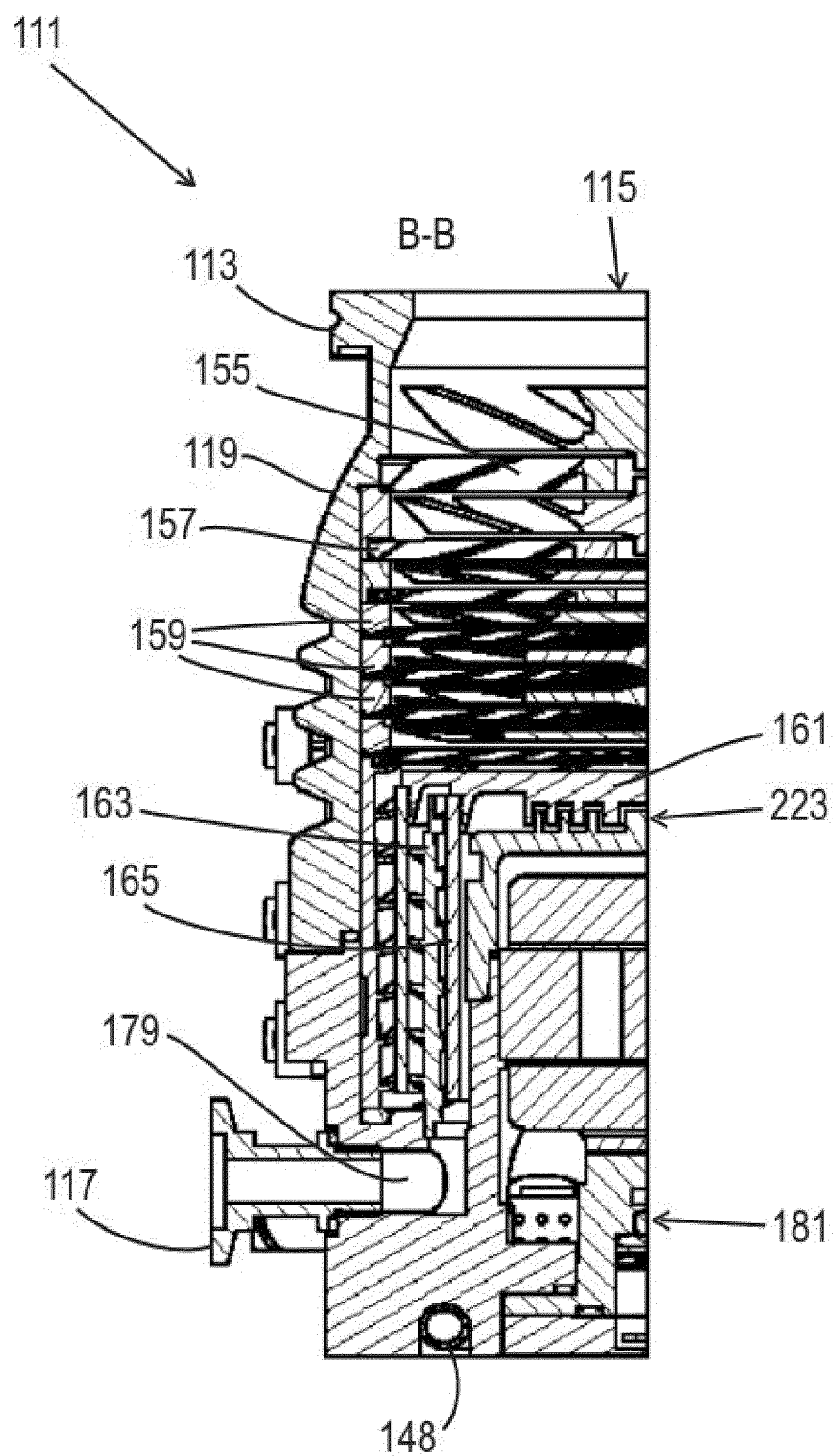


Fig. 4

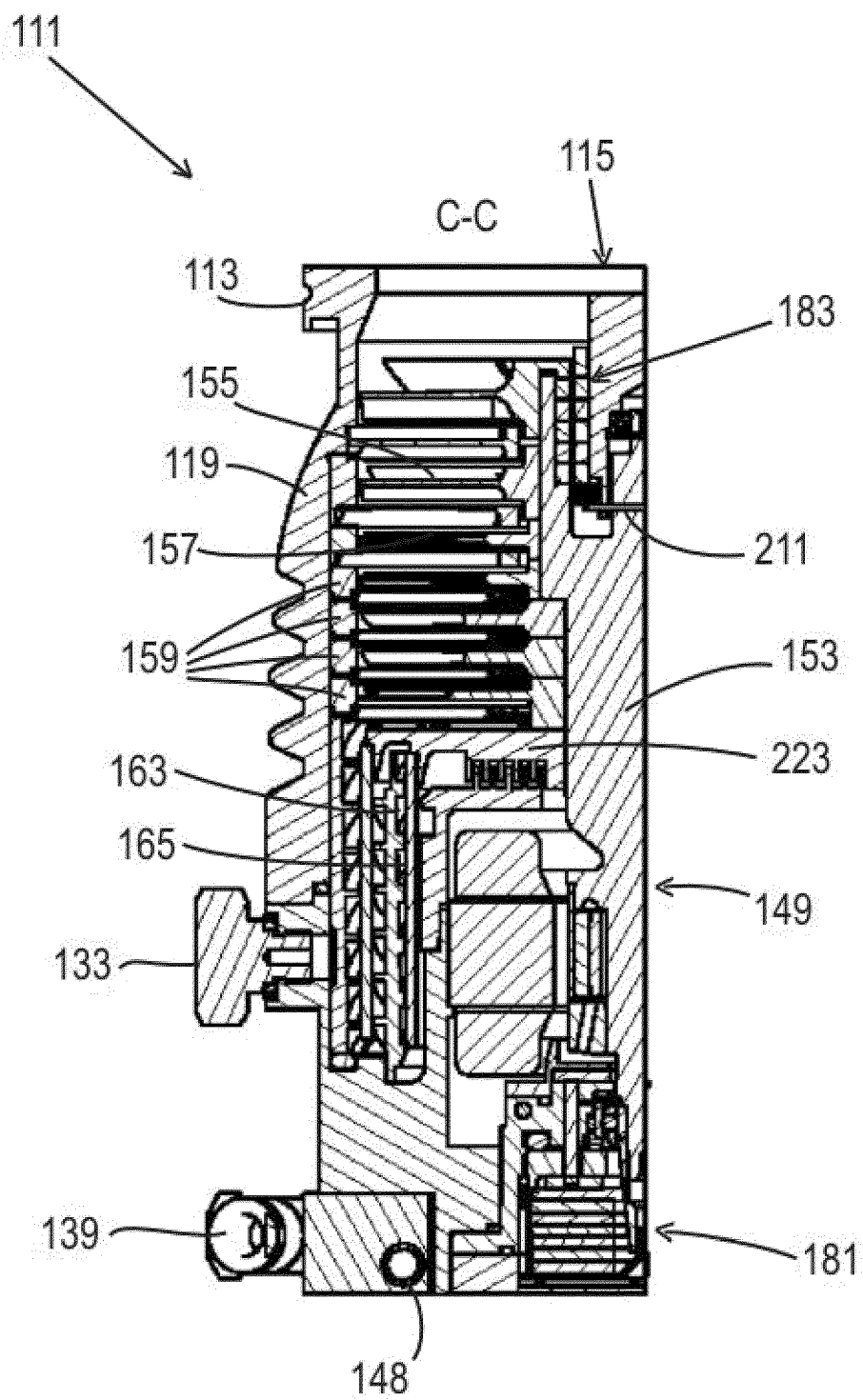


Fig. 5

Fig. 6

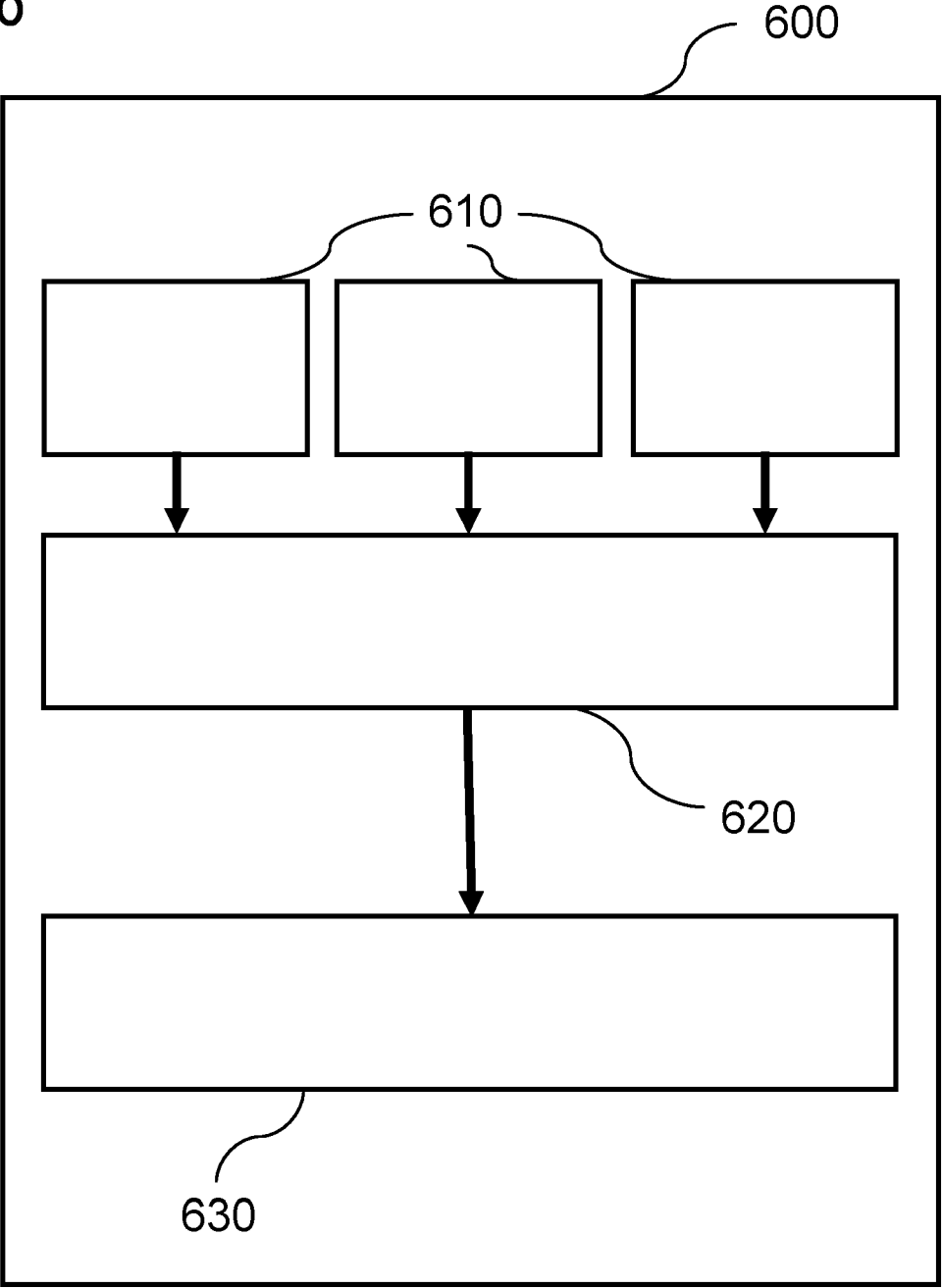
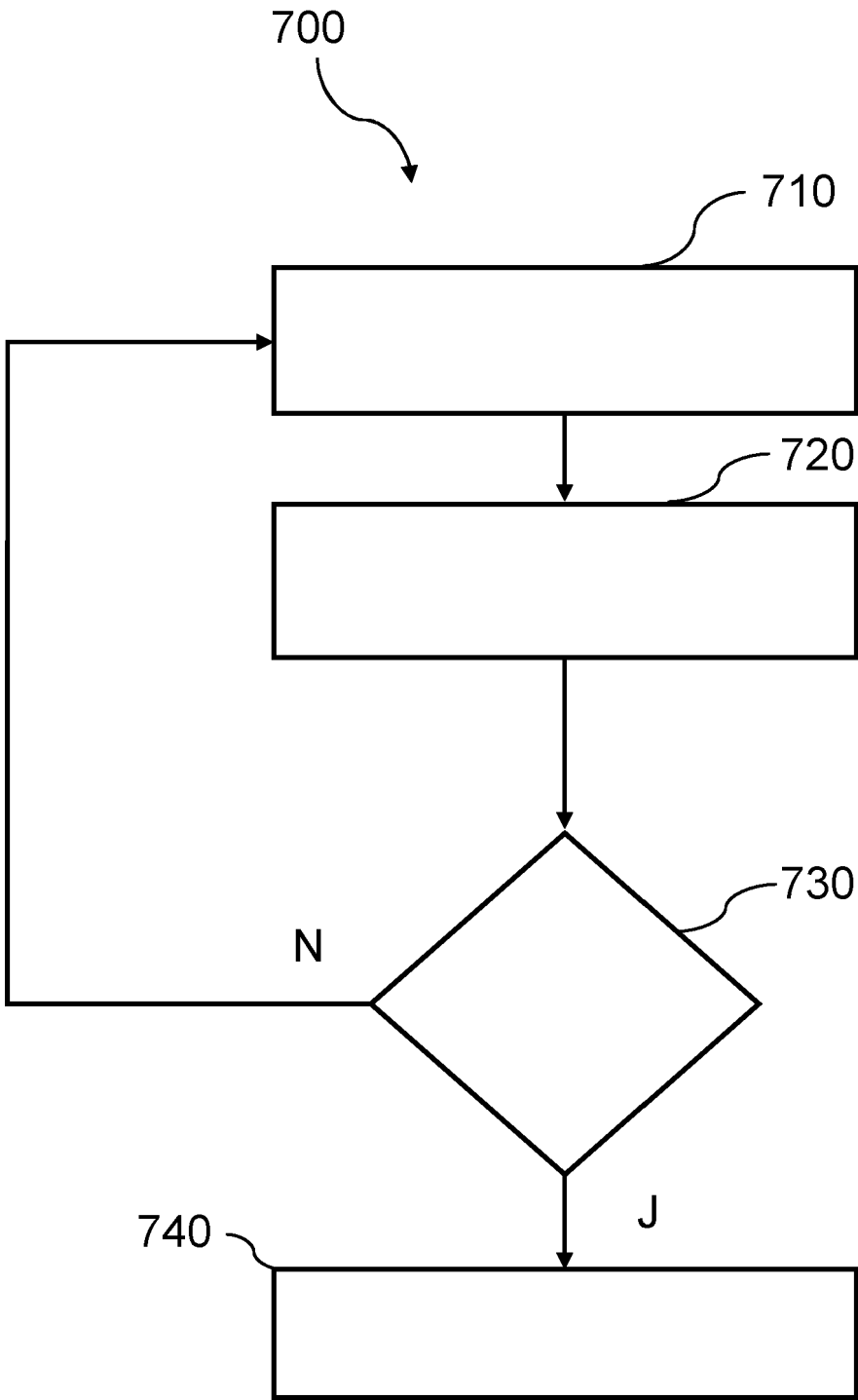


Fig. 7



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

- EP 3832141 A1 [0005]
- US 20190383300 A1 [0006]
- EP 3456979 A1 [0007]
- DE 10157143 A1 [0008]