

(19)



(11)

**EP 2 565 463 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**23.01.2019 Patentblatt 2019/04**

(51) Int Cl.:  
**F04D 19/04** <sup>(2006.01)</sup> **F04D 29/02** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **12180536.0**

(22) Anmeldetag: **15.08.2012**

(54) **Vakuumpumpe**

Vacuum pump

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**

(30) Priorität: **05.09.2011 DE 102011112691**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**06.03.2013 Patentblatt 2013/10**

(73) Patentinhaber: **Pfeiffer Vacuum GmbH  
35614 Aßlar (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Conrad, Armin  
35745 Herborn (DE)**

• **Stanzel, Jörg  
35583 Wetzlar (DE)**  
• **Shirinov, Aleksandr  
35578 Wetzlar (DE)**

(74) Vertreter: **Knefel, Cordula  
Wertherstrasse 16  
35578 Wetzlar (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2006/090103 DE-A1-102005 008 643  
DE-T2- 60 319 585 GB-A- 2 420 379  
JP-A- 2009 108 752 US-B1- 6 419 444**

**EP 2 565 463 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 Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe mit einem Rotor nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, ein Verfahren zum Herstellen eines Rotors nach dem Oberbegriff von Anspruch 10 und einen Abschnitt für einen Rotor nach dem Oberbegriff von Anspruch 15.

**[0002]** In Vakuumpumpen werden verschiedene physikalische Effekte zur Erzeugung von Druckunterschieden ausgenutzt. Ein solcher Effekt ist der Impulsübertrag auf Gasmoleküle durch ein schnell bewegtes Bauteil. Eine spezielle Ausprägung sieht eine rotierende Hülse vor, welche mit einer feststehenden, coaxial angeordneten Statorhülse zusammenwirkt. Wird diese Statorhülse mit gewindeartig gestalteten Kanälen versehen und die Pumpstufe im molekularen Druckbereich eingesetzt, wird im Allgemeinen von einer Holweckstufe gesprochen.

**[0003]** Die vakuumtechnische Leistungsfähigkeit einer Holweckstufe hängt unter anderem von der Drehzahl der Hülse und der Form der Kanäle ab. Eine Verbesserung der vakuumtechnischen Leistungsfähigkeit ist in der DE 196 32 375 vorgestellt, in der mehrere coaxial zueinander und im Gasstrom parallel zueinander angeordnete, rotierende Hülsen benutzt werden.

**[0004]** Eine andere Möglichkeit zur Steigerung der Leistungsfähigkeit betrifft die Drehzahl. Mit steigender Drehzahl steigt die Belastung der Hülse durch Trägheitskräfte. Um eine geringe Verformung der Hülse zu erreichen, durch die vakuumtechnisch vorteilhafte enge Spalte ermöglicht werden, stellt die EP 1 408 237 A1 eine Hülse aus kohlenstofffaserverstärktem Material vor. Ähnliche Vorrichtungen sind bekannt aus GB 2 420 379 A und US 6 419 444 B1.

**[0005]** Das der Erfindung zugrunde liegende technische Problem besteht darin, die Leistungsfähigkeit einer Vakuumpumpe der beschriebenen Art weiter zu erhöhen.

**[0006]** Dieses technische Problem wird durch einen Abschnitt mit den Merkmalen des Anspruches 1, eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruches 2 und einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 11 gelöst. Die abhängigen Ansprüche 3 bis 10 sowie 12 bis 15 geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung an.

**[0007]** Die erfindungsgemäße Vakuumpumpe mit einem Rotor, welcher wenigstens einen Abschnitt aus einem Faserverbundstoff mit wenigstens einer Faserrichtung umfasst, zeichnet sich dadurch aus, dass der Abschnitt wenigstens eine schraubenlinienartig angeordnete Nut aufweist und Fasern des Faserverbundwerkstoffes derart ausgerichtet sind, dass wenigstens ein Teil der Fasern mit der Faserrichtung parallel zu der Nut ausgerichtet ist.

**[0008]** Fertigungsbedingt liegen nicht alle Fasern exakt parallel mit einer Faserrichtung, die parallel zu der Nut ausgerichtet ist. Dadurch, dass wenigstens ein Teil der Fasern mit der Faserrichtung derart ausgerichtet ist,

dass die Faserrichtung im Wesentlichen parallel zur Nut ausgerichtet ist, erhält man die geforderte Stabilität.

**[0009]** Das bedeutet, dass die Faserrichtung im Wesentlichen parallel zu der Nut ausgerichtet ist.

5 **[0010]** Vorteilhaft weist der Abschnitt wenigstens eine schraubenlinienartig angeordnete Nut auf und die Faserrichtung ist parallel zu der Nut ausgerichtet, so dass der Abschnitt dem Einwirken von Fliehkräften bei Betrieb der Vakuumpumpe widersteht.

10 **[0011]** Es wurde festgestellt, dass eine Nut auf einem Abschnitt eines Rotors die Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Vakuumdaten verbessert, beispielsweise erhöht sie die Kompression. Durch Ausrichtung von Nut und Faserlage aneinander wird eine hohe Festigkeit des Abschnittes erreicht. Aufgrund der Ausrichtung sind lange Faserlängen im Rotor auch an die Nut angrenzend möglich, womit auch an diesen Stellen eine hohe Festigkeit erreicht wird. Eine hohe Festigkeit bringt eine lange Lebensdauer mit sich, außerdem erlaubt sie eine schnelle Rotation des Rotors und damit eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit bei der Vakuumerzeugung. Die geringe Ausdehnung von Faserverbundmaterialien unter einwirkenden Fliehkräften ermöglicht enge Spalte zwischen Abschnitt und zugeordnetem Stator, was ebenfalls eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit mit sich bringt.

25 **[0012]** Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst der Abschnitt eine Hülse. Das bedeutet, dass der Abschnitt, der wenigstens eine schraubenlinienartig angeordnete Nut aufweist, als Hülse ausgebildet ist. Dieser hülsenartige Aufbau wird insbesondere in Holweckpumpstufen verwendet.

30 **[0013]** Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass auf einer Innenseite der Hülse eine innere Nut und auf einer Außenseite der Hülse eine äußere Nut vorgesehen sind. Dieser Aufbau wird dadurch erreicht, dass eine weitere innere Schicht auf einer inneren Mantelfläche der Hülse angeordnet wird. Durch diese weitere Schicht wird die Stabilität der Hülse deutlich erhöht.

35 **[0014]** Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass sich die Nut vollständig über eine axiale Ausdehnung des Abschnittes erstreckt.

**[0015]** Hierdurch wird die Erhöhung der Pumpleistung am besten erzielt.

45 **[0016]** Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beträgt ein Umschlingungswinkel der Nut mehr als 360°. Hierdurch wird eine sehr hohe Stabilität der Hülse erreicht.

50 **[0017]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Abschnitt wenigstens eine erste und eine zweite Schicht umfasst, wobei die Nut in einer der Schichten angeordnet ist. Durch diesen Aufbau wird erreicht, dass die Nut in einer Schicht, die die Hülse verstärkt, angeordnet ist. Die Nut wird nicht aus dem Material der Hülse genommen, so dass die Stabilität der Hülse durch die weitere Schicht erhöht wird. Die Nut in der Schicht gewährleistet, dass die Pumpleistung ebenfalls verbessert wird.

**[0018]** Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die erste Schicht eine erste Matrix und die zweite Schicht eine zweite Matrix umfasst. In der Matrix sind die Fasern des Faserverbundwerkstoffes angeordnet. Die Fasern liegen damit in einer ersten Faserrichtung. Die Fasern, die die Hülse bilden, liegen im Wesentlichen parallel zu einer Abschlusskante. Hierdurch ist gewährleistet, dass bei schneller Drehung auftretende Fliehkräfte so im Wesentlichen entlang der Faserrichtung wirkende Kräfte erzeugen, so dass die Hülse diesen sehr gut widerstehen kann.

**[0019]** Die zweite Schicht weist vorteilhaft eine zweite Matrix auf. Hierdurch besteht die Möglichkeit, die Fasern, die einen Vorsprung auf der Hülse bilden, in einem spitzen Winkel zu der Abschlusskante verlaufen zu lassen. Hierdurch wird die Stabilität der Hülse, das heißt des Abschnittes deutlich erhöht.

**[0020]** Vorteilhaft weist die Nut einen ersten Nutabschnitt und einen zweiten Nutabschnitt mit voneinander verschiedenen Geometrien auf. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft bei Pumpen mit einem Gaseinlass und zwei Gasauslässen. Da bei dieser Ausführungsform die Förderrichtung der Nuten entgegengesetzt ausgebildet und von dem Gaseinlass weggerichtet ist, ist es vorteilhaft, zwei Nutabschnitte vorzusehen, die einen entgegengesetzten Drehsinn aufweisen. Das bedeutet, dass die Nutabschnitte voneinander verschiedene Geometrien aufweisen.

**[0021]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem ersten und dem zweiten Nutabschnitt eine um den Rotor umlaufende Nut vorgesehen. Dort, wo die Nuten der gegenläufigen Nutabschnitte zusammenstoßen, ist die den Rotor umlaufende Nut vorgesehen, um zu gewährleisten, dass das von dem Gaseinlass auf die umlaufende Nut treffende Gas in Richtung der beiden spiralförmig ausgebildeten Nuten gefördert wird.

**[0022]** Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines Rotors einer Vakuumpumpe, welcher eine Hülse umfasst, in welchem die Hülse aus einem Faserwerkstoff mit einer Faserrichtung gewickelt und der Faserwerkstoff zur Bildung eines Faserverbundwerkstoffes in einer Kunststoffmatrix eingebettet wird, das sich dadurch auszeichnet, dass die Faserrichtung in einem Winkel zu einer Abschlusskante der Hülse gewickelt und eine an der Faserrichtung ausgerichtet Nut geformt wird. Im Idealfall ist die Nut parallel zur Faserrichtung ausgebildet.

**[0023]** Durch diese Ausbildung ist gewährleistet, dass der Abschnitt dem Einwirken von Fliehkräften bei Betrieb der Vakuumpumpe widersteht.

**[0024]** Eine vorteilhafte Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass das Formen der Nut ein Fräsen entlang der Faserrichtung umfasst. Diese Art der Herstellung der Nut ist relativ einfach.

**[0025]** Gemäß einem alternativen Verfahren ist vorgesehen, dass das Formen der Nut durch das Wickeln des Faserwerkstoffes auf eine Negativform erfolgt. Hierdurch

ist gewährleistet, dass der Faserwerkstoff zum einen durch einen Fräsvorgang nicht beschädigt wird, zum anderen ist dies eine Material sparende Art der Herstellung, da durch das Wickeln die Nuten ausgebildet werden und damit später kein Material entfernt werden muss.

**[0026]** Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass eine erste Schicht mit einer ersten Faserrichtung und eine zweite Schicht mit einer zweiten Faserrichtung gewickelt werden und die Nut in wenigstens einer der Schichten geformt wird. Diese Ausführungsform weist den Vorteil auf, dass die Hülse sehr stabil wird, da zum einen die verschiedenen Schichten geformt werden und zum anderen die Faserrichtungen voneinander abweichen. Die Abweichung bedeutet, dass im Idealfalle zwischen der Faserrichtung der ersten Schicht und der Faserrichtung der zweiten Schicht ein spitzer Winkel eingeschlossen wird.

**[0027]** Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Nut mit einem ersten Nutabschnitt und einem zweiten Nutabschnitt mit voneinander verschiedenen Geometrien geformt wird. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft bei zweiflutigen Pumpen, die einen Gaseinlass und zwei Gasauslässe aufweisen. Bei diesen Pumpen ist es erforderlich, dass die Nuten der beiden Abschnitte gegenläufig zueinander angeordnet sind.

**[0028]** Gemäß der Erfindung ist weiterhin ein Abschnitt für einen Rotor einer Vakuumpumpe unter Schutz gestellt, welcher einen Faserverbundstoff mit einer Faserrichtung umfasst, der sich dadurch auszeichnet, dass der Abschnitt eine Nut aufweist und Fasern des Faserverbundstoffes derart ausgerichtet sind, dass wenigstens ein Teil der Fasern mit der Faserrichtung parallel zu der Nut ausgerichtet ist. Hierdurch ist gewährleistet, dass der Abschnitt dem Einwirken von Fliehkräften bei Betrieb der Vakuumpumpe widersteht.

**[0029]** Anhand eines Ausführungsbeispiels und seiner Weiterbildungen soll die Erfindung näher erläutert und die Darstellung ihrer Vorteile vertieft werden. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Vakuumpumpe mit einem Rotor, welcher eine Hülse aufweist;
- Fig. 2 einen Schnitt durch einen Teil der Hülse zur Verdeutlichung der Lage von Nut und Faserrichtung;
- Fig. 3 einen Schnitt durch eine Hülse mit innerer, äußerer und Umfangsnut;
- Fig. 4 eine Seitenansicht auf eine Negativform;
- Fig. 5 einen Querschnitt durch die Negativform zur Herstellung einer Hülse mit innerer Nut und Wickeln der Nutstege;

- Fig. 6 einen Querschnitt durch die Negativform und Wickeln der mittleren Schicht;
- Fig. 7 einen Längsschnitt durch eine doppelflutige Vakuumpumpe gemäß zweitem Beispiel;
- Fig. 8 einen Rotor in Seitenansicht in einer Weiterbildung;
- Fig. 9 einen Verlauf von Kompression über Ausstoßdruck zur Darstellung eines erreichten Vorteiles.

**[0030]** Einen Längsschnitt durch eine Vakuumpumpe zeigt Fig. 1. Ein Gehäuse 2 weist einen Einlass 4 auf, durch den Gas in die Vakuumpumpe gelangt. Ausgestoßen wird dieses nach Verdichten durch die pumpaktiven Elemente durch einen Auslass 6.

**[0031]** Im Gehäuse 2 befindet sich ein Rotor 12, der von einem Permanentmagnetlager 8 und einem Wälzlager 10 drehbar unterstützt wird. Alternative Lagerungen umfassen aktive Magnetlager und Gaslager. Ein Antrieb 18 versetzt ihn in Drehung um eine Drehachse 310, wobei sich die Drehzahl nach den verwendeten Pumpprinzipien bemisst und im Falle molekularen Pumpens bei einigen zehntausend Umdrehungen pro Minute liegt. Ein turbomolekularer Pumpabschnitt 14 kann vorgesehen sein, ein molekularer Pumpabschnitt 16 ist vorgesehen, wobei letzterer im Gasstrom nachgelagert ist und zu höheren Drücken hin verdichtet.

**[0032]** Teil des Rotors 12 ist ein zum Molekularpumpabschnitt 16 gehörender Abschnitt 22, der eine Nabe 20 und eine an der Nabe 20 befestigte Hülse 24 umfasst. Weiterhin umfasst der Abschnitt 22 wenigstens einen schraubenlinienartig auf der äußeren Mantelfläche der Hülse verlaufenden Steg 28. Zwischen den Stegen 28 benachbarter Windungen verbleibt wenigstens eine schraubenlinienartig verlaufende Nut 30 mit einer Nuttiefe T, wobei zwischen Steg 28 und einer Abschlusskante 26 der Hülse 24 ein spitzer Winkel 312 besteht. Diese Nut 30 oder Mehrzahl an Nuten 30 erzeugt zusammen mit einem Stator 40 eine Pumpwirkung. Der Stator 40 kann eine glatte innere Mantelfläche 42 haben oder auf dieser schraubenlinienartig verlaufende Nuten besitzen.

**[0033]** In Fig. 2 ist der Aufbau des Abschnittes im Bereich des gestrichelten Kastens aus Fig. 1 in einer teilgeschnittenen, perspektivischen Teilansicht dargestellt.

**[0034]** Eine erste Schicht 50 umfasst einen Faserverbundwerkstoff mit Fasern 60, die in einer ersten Matrix 62 eingebettet sind. Die Fasern 60 liegen in einer ersten Faserrichtung 314. Diese Schicht 50 bildet die Hülse 24, daher liegen die Fasern im Wesentlichen parallel zur Abschlusskante 26. Bei schneller Drehung auftretende Fliehkräfte erzeugen so im Wesentlichen entlang der Faserrichtung 314 wirkende Kräfte, so dass die Hülse 24 diesen sehr gut widerstehen kann.

**[0035]** Eine zweite Schicht 52 ist mit der ersten Schicht

50 verbunden und umfasst einen Faserverbundwerkstoff mit Fasern 60, die in eine zweite Matrix 64 eingebettet sind. Die Fasern 60 dieser Schicht 52 sind mehrheitlich in dem Winkel 312 zur Abschlusskante 26 orientiert, den auch Steg 28 und Abschlusskante 26 miteinander bilden. Auf diese Weise ist eine Faserrichtung 316 derart an der Nut 30 ausgerichtet, dass der Abschnitt dem Einwirken von Fliehkräften bei Betrieb der Vakuumpumpe widersteht. Den Steg 28 belastende Fliehkräfte besitzen hauptsächlich eine Kraftkomponente entlang der Faserrichtung 316 der zweiten Schicht 52. Eine hohe Stabilität wird erreicht, wenn der Umschlingungswinkel mehr als 360° beträgt. Vorteilhaft ist es, die Wicklung über die gesamte axiale Länge des Steges 28 auszuführen.

**[0036]** Der Faserverbundwerkstoff kann ein Kohlenstofffaserverbund, CFK, sein, da dieser hinreichend gut den auftretenden Kräften begegnen kann. Die Temperaturendeckung und chemische Beständigkeit sind ebenfalls vorteilhaft beim Einsatz in Vakuumpumpen.

**[0037]** Die Nuttiefe T kann einer kompletten Schichtstärke S entsprechen. Eine höhere Festigkeit wird erreicht, wenn sie geringfügig geringer ist, also  $T < S$  gilt.

**[0038]** Eine Weiterbildung des Abschnittes ist in einem Schnitt in Fig. 3 dargestellt.

**[0039]** Der dort gezeigte Abschnitt besitzt drei Schichten 50, 52 und 54. Schicht 50 ist die mittlere der drei Schichten und bildet eine tragende Hülse. Auf der äußeren Oberfläche ist die Schicht 52 vorgesehen, die schraubenlinienartige Nut 30 und Steg 28, wie anhand Fig. 2 beschrieben, besitzt.

**[0040]** Auf einer inneren Mantelfläche der Schicht 50 ist die dritte Schicht 54 angeordnet. Diese Schicht 54 ist in Bezug auf Faserlage und Matrix nach den Gesichtspunkten der zweiten Schicht 52 aufgebaut. Sie weist eine erste innere Nut 32 und eine zweite innere Nut 36 auf, die eine unterschiedliche Steigung besitzen. Dies wird erreicht, indem ein erster Steg 34 einen ersten Winkel 320 mit der Abschlusskante 26 und ein zweiter Steg 38 einen zweiten Winkel 322 mit der Abschlusskante 26 bildet, wobei erster und zweiter Winkel 320, 322 verschieden voneinander sind. Die Drehsinne der schraubenlinienartigen Nuten in den Schichten 52 und 54 können gleich oder gegensinnig sein.

**[0041]** Hergestellt wird der Abschnitt des Rotors 12 nach Fig. 1 und Fig. 2 und die äußere Schicht 52 des Abschnittes nach Fig. 3, indem zunächst die erste Schicht 50 gebildet wird. Diese entsteht durch Wickeln von Fasern derart, dass diese mehrheitlich in Umfangsrichtung liegen. Diese werden in eine Matrix eingebettet. Die zweite und äußere Schicht 52 wird nun gebildet, indem Fasern in einem Winkel 320, 322 zur Abschlusskante 26 der ersten Schicht 50 auf die erste Schicht 50 gewickelt werden und dann ebenfalls in eine Matrix eingebettet werden. Es ist nun möglich, zwischen Fasern Freiraum zu lassen, das heißt, nur die Stege 28 in der zweiten Schicht 52 zu wickeln. Vorteilhafter ist es, eine durchgängige zweite Schicht 52 zu schaffen, in die nach Aushärten eine Nut 30 derart eingestochen wird, dass

der Winkel 320, 322 zur Abschlusskante 26 im Wesentlichen dem Winkel entspricht, in dem die Fasern der zweiten Schicht 52 auf die erste Schicht 50 gewickelt wurden. Ein Vorteil an diesem Verfahren ist, dass die Nuttiefe leicht variiert werden kann. Beispielsweise kann an einem axialen Ende des Abschnittes eine tiefere Nut als am gegenüberliegenden axialen Ende des Abschnittes geformt werden. Dies ist im Hinblick auf die vakuumtechnische Leistungsfähigkeit wünschenswert, wenn das weniger tiefe Nutende im höheren Druckbereich arbeitet. Im Bereich der weniger tiefen Nut ist die zweite Schicht 52 nicht vollständig weggenommen und an der tiefsten Stelle der Nut erreicht die Nuttiefe maximal den Wert der Schichtdicke S. Hierdurch wird besonders hohe Widerstandsfähigkeit gegen Fliehkräfte aufrecht erhalten.

**[0042]** Es können sich Nuttiefe T oder Nutbreite oder beide über die Länge der Nut 30 ändern, wodurch vorteilhaft die Geometrie der Nut 30 an den Arbeitsdruckbereich angepasst wird und die Leistungsfähigkeit der Pumpe verbessert werden kann.

**[0043]** Die Herstellung der Nuten auf der inneren Mantelfläche der Hülse soll anhand der Fig. 4 bis 6 näher erläutert werden.

**[0044]** Eine Negativform 70 besitzt einen zylindrischen Abschnitt, auf dessen Mantelfläche eine schraubenlinienartige Formnut 72 eingebracht ist. In diese Formnut 72 wird nun bandartiges Fasermaterial 74 gewickelt, so dass die Formnut 72 nach und nach aufgefüllt wird. Fig. 5 zeigt einen halbgefüllten Zustand im Querschnitt. Ist die Formnut 72 gefüllt und die Matrix geschaffen, ist das Herstellen der dritten Schicht 54 beendet. Nun werden Fasern 76 um die Mantelfläche selbst gewickelt, vergleiche Fig. 6, und so die Schicht 50 hergestellt.

**[0045]** Die Formnut 72 kann als mehrgängige Schraubenlinie geformt sein.

**[0046]** Werden nur die Formnuten 72 gefüllt und anschließend die Mantelfläche gewickelt, entsteht eine Hülse 24, die lediglich innen eine Nut aufweist. Dies schafft ein sehr stabiles Gebilde.

**[0047]** Nach dem abgeschlossenen Wickelvorgang wird die Negativform 70 durch Herausdrehen aus der hergestellten Hülse 24 entfernt.

**[0048]** Die vakuumtechnische Leistungsfähigkeit der Anordnung soll anhand der Fig. 9 belegt werden. In ihr ist das Druckverhältnis zwischen Einlass und Auslass bei nicht vorhandenem Gasdurchsatz, die so genannte Leerlaufkompression, über dem Ausstoßdruck dargestellt. Die Kurve 300 zeigt eine übliche Anordnung, in der lediglich ein Stator eine schraubenlinienartige Nut aufweist, wie sie beispielsweise in so genannten Holweckpumpstufen verwendet wird. Die Kurve 302 zeigt eine Anordnung mit einer Nut auf dem Rotor. Die Leerlaufkompression ist deutlich erhöht.

**[0049]** Die Verwendung der Erfindung ist nicht auf den bisher gezeigten Fall beschränkt.

**[0050]** In Fig. 7 ist eine zweiflutige Vakuumpumpe im Schnitt gezeigt. Sie besitzt ein Gehäuse 202, welches mit einem Gaseinlass 204 und zwei Gasauslässen 206

ausgerüstet ist. Die Gasauslässe 206 können durch einen im Gehäuse 202 vorgesehenen inneren Kanal zusammengefasst sein. Ein Rotor 212 ist in Lagern 208 und 210 drehbar gelagert und wird von einem Antrieb 218 angetrieben. Der Rotor 212 weist einen Abschnitt mit einer Hülse 224 auf, auf deren äußeren Mantelfläche zwei Nuten 230a und 230b nach oben beschriebenem Verfahren geformt sind. Die Förderrichtung der Nuten 230a, 230b ist entgegengesetzt und von dem Gaseinlass 204 weggerichtet, wie die Pfeile in Fig. 7 verdeutlichen. Die Nuten 230a, 230b weisen einen entgegengesetzten Drehsinn auf. Die Nuten auf dem Abschnitt wirken mit statorseitigen Nuten 242a und 242b zusammen, die ebenfalls schraubenlinienartig mit entgegengesetztem Drehsinn gestaltet sind. Die Nuten 230a, 230b der Hülse 224 sind den statorseitigen Nuten 242a, 242b gegenüberliegend angeordnet.

**[0051]** Einen anderen Gestaltungsgesichtspunkt zeigt Fig. 8 auf. Ein Abschnitt 222' besitzt eine schraubenlinienartige Nut, die einen ersten Nutabschnitt 250 und einen zweiten Nutabschnitt 254 aufweist. Die Geometrien, insbesondere die Querschnitte, der Nutabschnitte 250, 254 sind unterschiedlich. So weist der erste Nutabschnitt 250 einen halbkreisförmigen Querschnitt und der zweite Nutabschnitt 254 einen dreieckigen Querschnitt auf. Zwischen den Nutabschnitten 250, 254 ist eine umlaufende Nut 260 vorgesehen. Die Querschnitte erlauben eine Anpassung an den Druckbereich, in dem der jeweilige Nutabschnitt bevorzugt wirken soll. Alternativ oder zusätzlich können die Geometrien in Bezug auf die Steigung der Schraubenlinie voneinander abweichen. Der umlaufende Nutabschnitt kann am Übergangspunkt zwischen unterschiedlichen Strömungsbereichen vorgesehen sein.

Bezugszahlen

**[0052]**

2	Gehäuse
4	Einlass
6	Auslass
8	Permanentmagnetlager
10	Wälzlager
12	Rotor
14	turbomolekularer Pumpabschnitt
16	molekularer Pumpabschnitt
18	Antrieb
20	Nabe
22	Abschnitt des molekularen Pumpabschnittes
24	Hülse
26	Abschlusskante
28	Steg
30	Nut
32	eine innere Nut
34	erster Steg
36	zweite innere Nut
38	zweiter Steg

40	Stator
42	Mantelfläche des Stators 40
50	erste Schicht
52	zweite Schicht, mittlere Schicht
54	dritte Schicht
60	Fasern
62	Matrix
64	zweite Matrix
70	Negativform
72	Formnut
74	bandartiges Fasermaterial
76	bandartiges Fasermaterial
202	Gehäuse
204	Gaseinlass
206	Gasauslässe
208	Lager
210	Lager
212	Rotor
218	Antrieb
222'	Abschnitt
224	Hülse
230a	Nuten
230b	Nuten
242a	statorseitige Nuten
242b	statorseitige Nuten
250	Nutabschnitt
254	zweiter Nutabschnitt
260	Nut
300	Kurve
302	Kurve
310	Drehachse
312	Winkel
314	Faserrichtung
316	Faserrichtung
320	erster Winkel
322	zweiter Winkel
S	Schichtstärke
T	Nuttiefe

## Patentansprüche

1. Abschnitt (22; 224; 222') für einen Rotor (12; 212) einer Vakuumpumpe, welcher einen Faserverbundwerkstoff mit einer Faserrichtung (314, 316) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abschnitt (22; 224; 222') eine Nut (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) aufweist und Fasern (60) des Faserverbundstoffes derart ausgerichtet sind, dass wenigstens ein Teil der Fasern (60) mit der Faserrichtung (314, 316) parallel zu der Nut (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) ausgerichtet ist, so dass der Abschnitt dem Einwirken von Fliehkräften bei Betrieb der Vakuumpumpe widersteht.
2. Vakuumpumpe mit einem Rotor (12; 212), welcher wenigstens einen Abschnitt (22; 224; 222') gemäß

dem Oberbegriff des Anspruches 1 aus einem Faserverbundwerkstoff mit wenigstens einer Faserrichtung (314, 316) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abschnitt (22; 224; 222') wenigstens eine schraubenlinienartig angeordnete Nut (30; 32, 36; 230a, 230b) aufweist und Fasern (60) des Faserverbundstoffes derart ausgerichtet sind, dass wenigstens ein Teil der Fasern (60) mit der Faserrichtung (314, 316) parallel zu der Nut (30; 32, 36; 230a, 230b) ausgerichtet ist.

3. Vakuumpumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abschnitt (22; 224; 222') eine Hülse (24; 224) umfasst.

4. Vakuumpumpe nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf einer Innenseite der Hülse (24; 224) eine innere Nut (32, 36) und auf einer Außenseite der Hülse (24; 224') eine äußere Nut (30) vorgesehen sind.

5. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Nut (30; 230a; 230b) vollständig über eine axiale Ausdehnung des wenigstens einen Abschnittes (22; 224; 222') erstreckt.

6. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Umschlingungswinkel der Nut (30; 32, 36; 230a; 230b) mehr als 360° beträgt.

7. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abschnitt (22; 224; 222') wenigstens eine erste und eine zweite Schicht (50, 52) umfasst, wobei die Nut (30; 32, 36; 230a; 230b) in einer der Schichten (50, 52) angeordnet ist.

8. Vakuumpumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Schicht (50) eine erste Matrix (62) und die zweite Schicht (52) eine zweite Matrix (64) umfasst.

9. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nut einen ersten Nutabschnitt (250) und einen zweiten Nutabschnitt (254) mit voneinander verschiedenen Geometrien umfasst.

10. Vakuumpumpe nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen erstem und zweitem Nutabschnitt (250, 254) eine um den Rotor (12) umlaufende Nut (260) vorgesehen ist.

11. Verfahren zum Herstellen eines Rotors (12; 212) einer Vakuumpumpe, welcher eine Hülse (24; 224; 222') umfasst, in welchem die Hülse (24; 224; 222')

aus einem Faserwerkstoff mit einer Faserrichtung (314, 316) gewickelt und der Faserwerkstoff zur Bildung eines Faserverbundwerkstoffes in einer Kunststoffmatrix eingebettet wird,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Faserrichtung (314, 316) in einem Winkel (312) zu einer Abschlusskante (26) der Hülse gewickelt und eine an der Faserrichtung ausgerichtete Nut (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) geformt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Formen der Nut (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) ein Fräsen entlang der Faserrichtung (314, 316) umfasst.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Formen der Nut (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) das Wickeln des Faserwerkstoffes auf eine Negativform (70) umfasst.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Schicht (50) mit einer ersten Faserrichtung (314) und eine zweite Schicht (52) mit einer zweiten Faserrichtung (316) gewickelt werden und die Nut in wenigstens einer der Schichten geformt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nut mit einem ersten Nutabschnitt (250) und einem zweiten Nutabschnitt (254) mit voneinander verschiedenen Geometrien geformt wird.

#### Claims

1. Part (22; 224; 222') for a rotor (12; 212) of a vacuum pump, which comprises a fibre composite material with a fibre direction (314, 316), **characterised in that** the part (22; 224; 222') has a groove (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) and fibres (60) of the fibre composite material are oriented such that at least a part of the fibres (60) is aligned with the fibre direction (314, 316) parallel to the groove (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254), so that the part resists the influence of centrifugal forces during operation of the vacuum pump.
2. Vacuum pump with a rotor (12; 212), which comprises at least one part (22; 224; 222') according to the preamble of claim 1, made of a fibre composite material with at least one fibre direction (314, 316), **characterised in that** the part (22; 224; 222') comprises at least one helically arranged groove (30; 32, 36; 230a, 230b) and fibres (60) of the fibre composite material are oriented such that at least a part of the fibres (60) is aligned with the fibre direction (314, 316) parallel to the groove (30; 32, 36; 230a, 230b).

3. Vacuum pump according to claim 2, **characterised in that** the part (22; 224; 222') comprises a sleeve (24; 224).

4. Vacuum pump according to claim 3, **characterised in that** provided on an interior side of the sleeve (24; 224) is an inner groove (32, 36) and provided on an exterior side of the sleeve (24; 224) is an outer groove (30).

5. Vacuum pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** the groove (30; 230a; 230b) extends completely over an axial extent of the at least one part (22; 224; 222').

6. Vacuum pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** a wrap angle of the groove (30; 32, 36; 230a; 230b) is more than 360°.

7. Vacuum pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** the part (22; 224; 222') comprises at least one first and one second layer (50, 52), wherein the groove (30; 32, 36; 230a; 230b) is arranged in one of the layers (50, 52).

8. Vacuum pump according to claim 7, **characterised in that** the first layer (50) comprises a first matrix (62) and the second layer (52) comprises a second matrix (64).

9. Vacuum pump according to one of the preceding claims, **characterised in that** the groove comprises a first groove portion (250) and a second groove portion (254) with mutually different geometries.

10. Vacuum pump according to claim 9, **characterised in that** a groove (260) encircling the rotor (12) is provided between the first and the second groove portion (250, 254).

11. Method for producing a rotor (12; 212) of a vacuum pump, which comprises a sleeve (24; 224; 222'), in which the sleeve (24; 224; 222') is wound from a fibre material with a fibre direction (314, 316) and the fibre material is embedded in a plastics matrix to form a fibre composite material, **characterised in that** the fibre direction (314, 316) is wound at an angle (312) to a termination edge (26) of the sleeve and a groove (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) is formed aligned to the fibre direction.

12. Method according to claim 11, **characterised in that** the formation of the groove (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) comprises a milling along the fibre direction (314, 316).

13. Method according to claim 11 or 12, **characterised in that** the formation of the groove (30; 32, 36; 230a;

230b; 250, 254) comprises the winding of the fibre material onto a negative mould (70).

14. Method according to one of the claims 11 to 13, **characterised in that** a first layer (50) is wound with a first fibre direction (314) and a second layer (52) is wound with a second fibre direction (316) and the groove is formed in at least one of the layers.
15. Method according to one of the claims 11 to 14, **characterised in that** the groove is formed with a first groove portion (250) and a second groove portion (254) with mutually different geometries.

#### Revendications

1. Partie (22; 224; 222') destinée à un rotor (12; 212) d'une pompe à vide, qui comprend un matériau composite fibreux présentant une direction des fibres (314, 316),  
**caractérisée en ce que** la partie (22; 224; 222') présente une rainure (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) et les fibres (60) du matériau composite fibreux sont orientées de telle manière qu'au moins une partie des fibres (60) soient orientées avec la direction des fibres (314, 316) parallèle à la rainure (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254), de telle manière que la partie résiste à l'effet de forces centrifuges lors du fonctionnement de la pompe à vide.
2. Pompe à vide avec un rotor (12; 212), qui comprend au moins une partie (22; 224; 222') selon le préambule de la revendication 1 en un matériau composite fibreux avec au moins une direction des fibres (314, 316),  
**caractérisée en ce que** la partie (22; 224; 222') présente au moins une rainure disposée sous forme hélicoïdale (30; 32, 36; 230a; 230b) et des fibres (60) du matériau composite fibreux sont orientées de telle manière qu'au moins une partie des fibres (60) soient orientées avec la direction des fibres (314, 316) parallèle à la rainure (30; 32, 36; 230a, 230b).
3. Pompe à vide selon la revendication 2,  
**caractérisée en ce que** la partie (22; 224; 222') comprend une douille (24; 224).
4. Pompe à vide selon la revendication 3,  
**caractérisée en ce qu'il** est prévu sur un côté intérieur de la douille (24; 224) une rainure intérieure (32, 36) et sur un côté extérieur de la douille (24; 224) une rainure extérieure (30).
5. Pompe à vide selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la rainure (30; 230a; 230b) s'étend entièrement sur une extension axiale de ladite au moins une partie (22;

224; 222').

6. Pompe à vide selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'un** angle d'enlacement de la rainure (30; 32, 36; 230a; 230b) vaut plus de 360°.
7. Pompe à vide selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la partie (22; 224; 222') comprend au moins une première et une seconde couches (50, 52), dans laquelle la rainure (30; 32, 36; 230a; 230b) est disposée dans une des couches (50, 52).
8. Pompe à vide selon la revendication 7,  
**caractérisée en ce que** la première couche (50) comprend une première matrice (62) et la seconde couche (52) comprend une seconde matrice (64).
9. Pompe à vide selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la rainure comprend une première partie de rainure (250) et une seconde partie de rainure (254) avec des géométries différentes l'une de l'autre.
10. Pompe à vide selon la revendication 9,  
**caractérisée en ce qu'il** est prévu une rainure (260) entourant le rotor (12) entre la première et la seconde parties de rainure (250, 254).
11. Procédé de fabrication d'un rotor (12; 212) d'une pompe à vide, qui comprend une douille (24; 224; 222'), dans lequel on enroule la douille (24; 224; 222') en un matériau fibreux avec une direction des fibres (314, 316) et on incorpore le matériau fibreux dans une matrice en matière plastique pour la formation d'un matériau composite fibreux, **caractérisé en ce que** l'on enroule la direction des fibres (314, 316) sous un angle (312) par rapport à une arête terminale (26) de la douille et on forme une rainure (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) orientée selon la direction des fibres.
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** la formation de la rainure (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) comprend un fraisage le long de la direction des fibres (314, 316).
13. Procédé selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** la formation de la rainure (30; 32, 36; 230a; 230b; 250, 254) comprend l'enroulement du matériau fibreux sur un moule négatif (70).
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce que** l'on enroule une première couche (50) avec une première direction des fibres (314) et une seconde couche (52) avec une seconde direction des fibres (316) et on forme



la rainure dans au moins une des couches.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce que** l'on forme la rainure avec une première partie de rainure (250) et une seconde partie de rainure (254) avec des géométries différentes l'une de l'autre.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

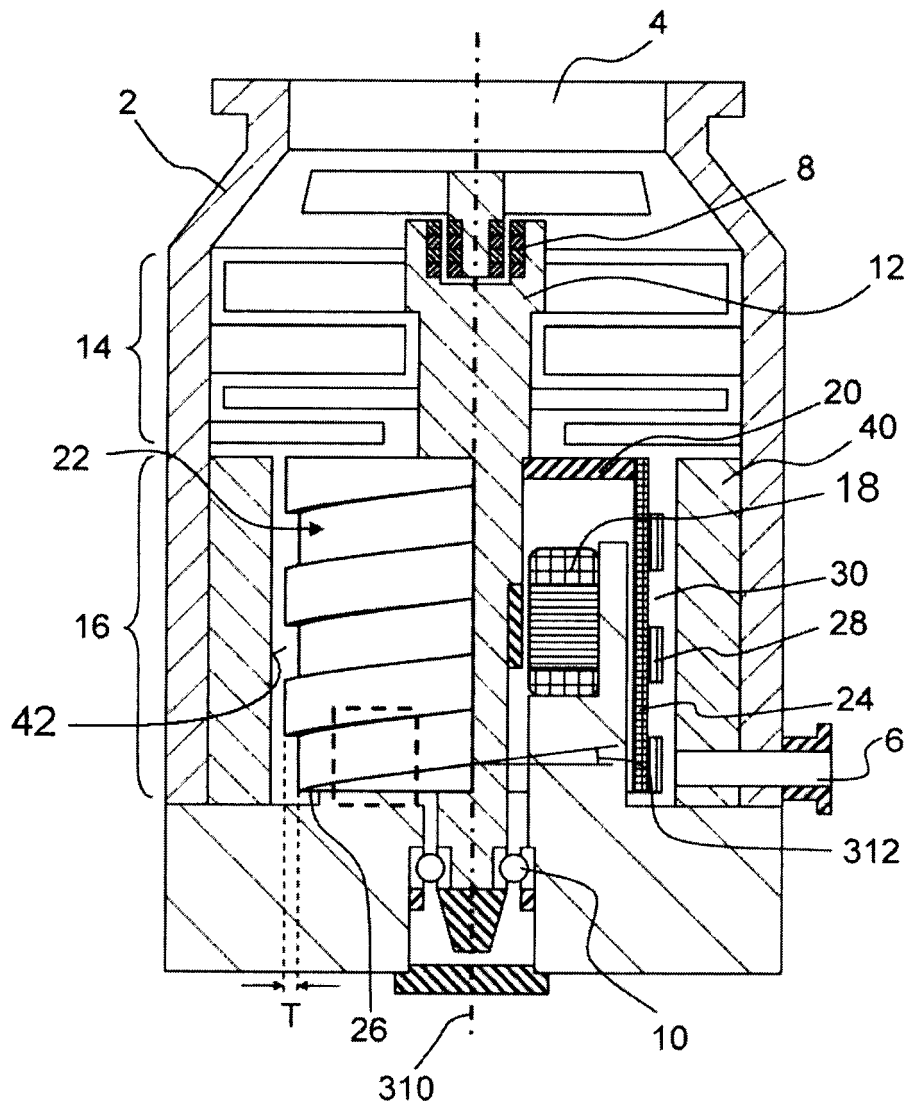
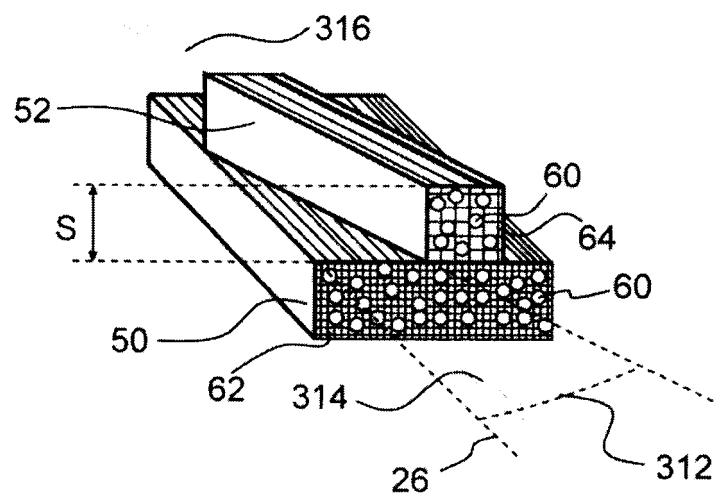
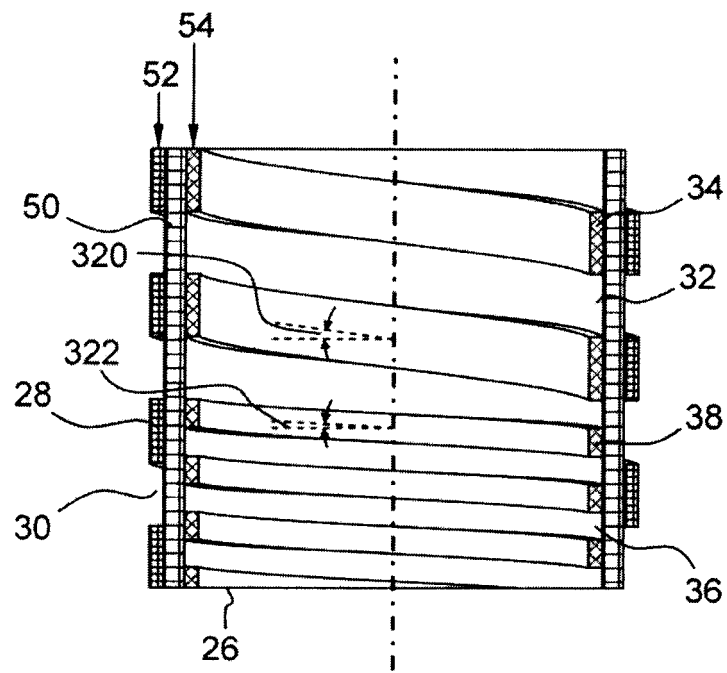


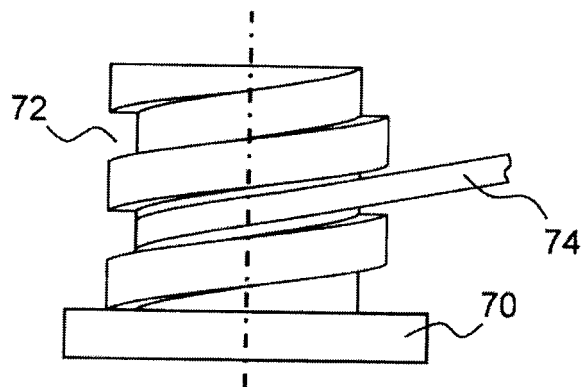
Fig. 1



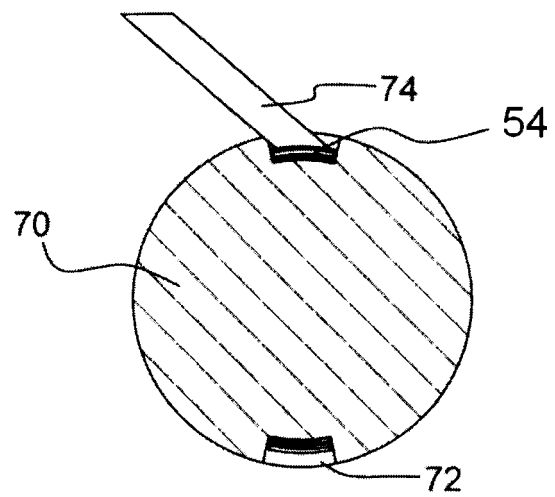
**Fig. 2**



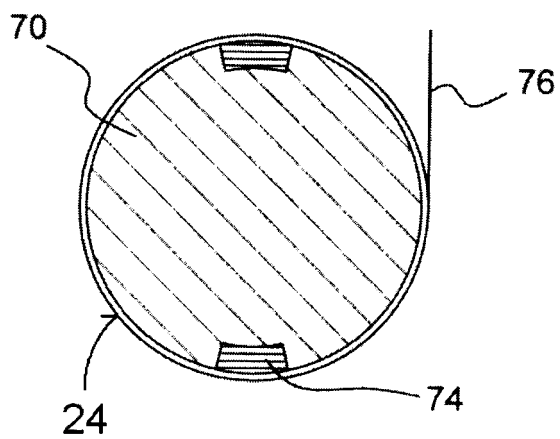
**Fig. 3**



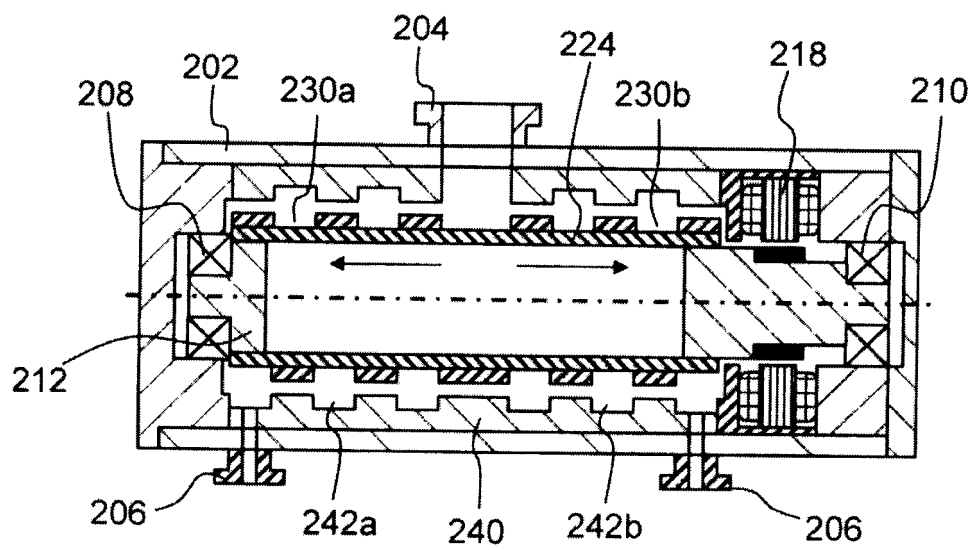
**Fig. 4**



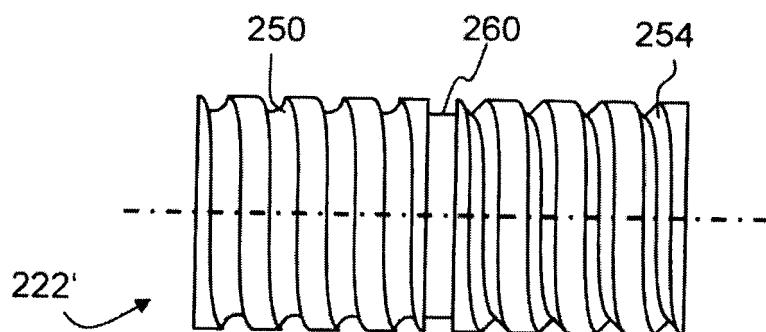
**Fig. 5**



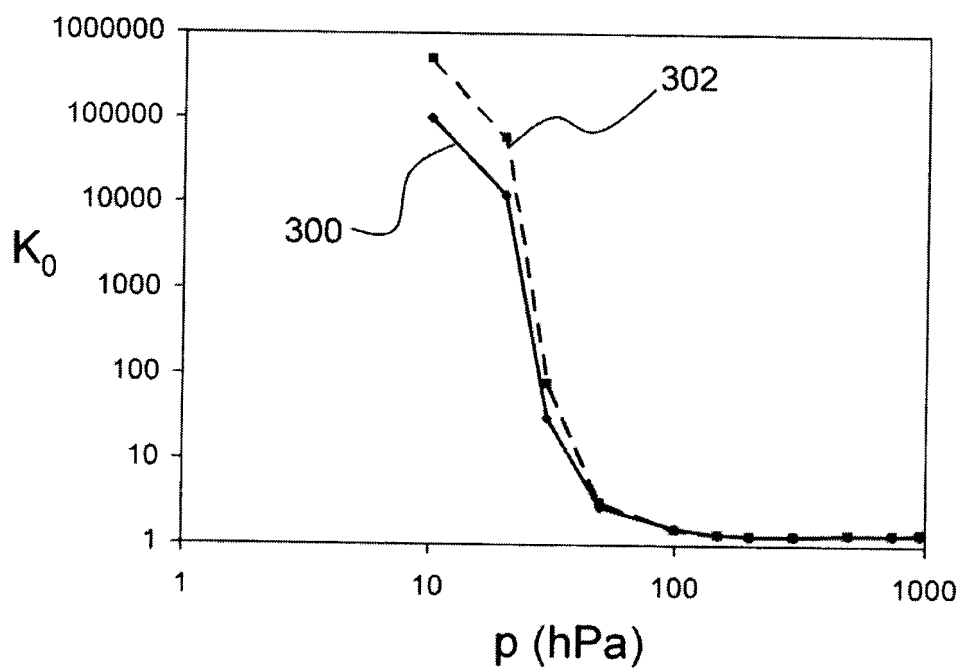
**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

**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**

- DE 19632375 [0003]
- EP 1408237 A1 [0004]
- GB 2420379 A [0004]
- US 6419444 B1 [0004]