(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Mai 2013 (30.05.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/076107 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01C 21/08 (2006.01) *F04C 19/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/073150

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. November 2012 (21.11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
11190049.4 22. November 2011 (22.11.2011) EP

(71) Anmelder: **STERLING INDUSTRY CONSULT GMBH** [DE/DE]; Lindenstraße 170, 25524 Itzehoe (DE).

(72) Erfinder: **KÖSTERS, Heiner**; Buschweg 3, 25524 Itzehoe (DE). **TAMM, Matthias**; Am Paradies 16, 25524 Itzehoe (DE). **SCHÜTZE, Daniel**; Danziger Strasse 31, 25524 Itzehoe (DE).

(74) Anwalt: **GLAWE DELFS MOLL**; Rothenbaumchaussee 58, 20148 Hamburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: LIQUID-RING VACUUM PUMP, AND IMPELLER FOR A LIQUID-RING VACUUM PUMP

(54) **Bezeichnung** : FLÜSSIGKEITSRING-VAKUUMPUMPE UND FLÜGELRAD FÜR EINE FLÜSSIGKEITSRING-VAKUUMPUMPE

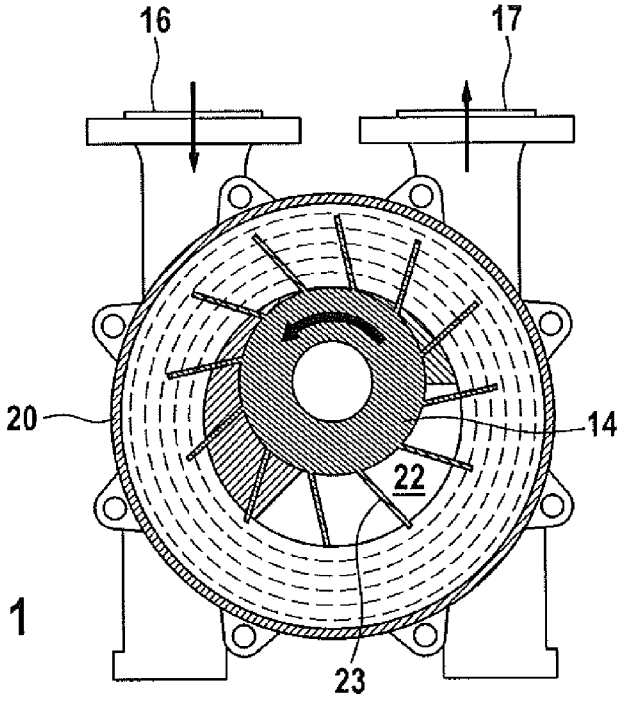


Fig. 1

(57) **Abstract**: The invention relates to a liquid-ring vacuum pump comprising a pump casing (20) and an impeller (14) that is eccentrically mounted in the pump casing (20). According to the invention, the impeller (14) is made of a material having a modulus of elasticity of less than 4000 N/mm^2. The invention further relates to an impeller (14) for such a pump. The disclosed impeller allows the pump to operate closer to the cavitation limit.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft eine Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe mit einem Pumpengehäuse (20) und einem exzentrisch in dem Pumpengehäuse (20) gelagerten Flügelrad (14). Erfindungsgemäß besteht das Flügelrad (14) aus einem Material, dessen Elastizitätsmodul kleiner als 4000 N/mm^2 ist. Die Erfindung betrifft außerdem ein Flügelrad (14) für eine solche Pumpe. Mit dem erfindungsgemäßen Flügelrad wird es möglich, die Pumpe näher an der Kavitationsgrenze zu betreiben.

WO 2013/076107 A2

LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe und Flügelrad für eine Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe

Die Erfindung betrifft eine Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe mit einem Pumpengehäuse und einem exzentrisch in dem Pumpengehäuse gelagerten Flügelrad. Die Erfindung betrifft außerdem ein Flügelrad für eine solche Pumpe. Pumpen dieser Art können zum Evakuieren von Behältern oder sonstigen abgeschlossenen Räumen verwendet werden. Eine Eingangsöffnung der Pumpe wird an den zu evakuierenden Raum angeschlossen, das in dem Raum enthaltene Gas wird durch die Eingangsöffnung angesaugt, in der Pumpe komprimiert und durch eine Ausgangsöffnung wieder abgegeben.

In Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen wird durch das Flügelrad ein Flüssigkeitsring in Bewegung gehalten, so dass die Kammern zwischen den Flügeln des Flügelrads durch den Flüssigkeitsring abgeschlossen werden. Da das Flügelrad exzentrisch in dem Pumpengehäuse gelagert ist, dringt der Flüssigkeitsring je nach Winkelstellung des Flügelrads unterschiedlich weit in die Kammer ein und wirkt dadurch als Kolben, der das Volumen der Kammer verändert. Da die gesamte dafür erforderliche Kraft durch das Flügelrad übertragen wird, ist das Flügelrad ein hoch belastetes Bauteil.

Insbesondere unterliegt das Flügelrad einer starken Wechselbelastung, da die Kraft auf die Flügel in unterschiedlichen

Richtungen wirkt je nachdem, ob der Flüssigkeitsring sich in die Kammern hinein bewegt oder aus den Kammern heraus bewegt. Bislang ging man davon aus, dass ein zuverlässiger und schwingungsarmer Betrieb der Pumpe nur dann möglich ist, wenn das Flügelrad mit hoher Steifigkeit ausgelegt ist. Durch die hohe Steifigkeit wird erreicht, dass eine Verformung des Flügelrads unter den Wechselbelastungen vermieden wird. Eine Verformung des Flügelrads ist unerwünscht, weil dann größere Toleranzen zwischen dem Flügelrad und dem Pumpengehäuse erforderlich werden. Durch größere Toleranzen erhöht sich aber der Leckfluss, was gleichzeitig eine Verminderung des Wirkungsgrads der Pumpe bedeutet.

Das Flügelrad wird mehreren Belastungen ausgesetzt. Neben den Flieh- und Beschleunigungskräften tritt besonders die Druckbelastung der Flügel in den Vordergrund. Beim Übergang zwischen der Druck- und Saugseite ist ein starker Druckwechsel festzustellen, welcher zu einer Wechselbelastung durch Biegung führt. Dabei treten an der Blattwurzel hohe Biegewechselspannungen auf. Diese werden bei Kondensatmitförderung weiter vergrößert. Prinzipbedingt ist bei einer Flüssigkeitsringvakuumpumpe Kavitation nicht zu verhindern. Kavitation führt nicht nur zu einer Schädigung der Oberfläche, auch treten zusätzlich zu den o.g. Belastungen weitere Biegewechselspannungen auf. Für die Fertigung des Flügelrads müssen Werkstoffe ausgewählt werden, die diesen Belastungen standhalten.

Bei bisherigen Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen besteht das Flügelrad überwiegend aus metallischen Werkstoffen. So finden wir geschweißte Stahlkonstruktionen, Graugußräder, Räder aus Edelstahl oder Bronze. Der Elastizitätsmodul bei diesen Materialien ist regelmäßig größer als 100.000 N/mm^2. Auch Flügelräder aus faserverstärkten Kunststoffen sind bekannt, CN

201650734. Der Elastizitätsmodul liegt dann in der Größenordnung von 20.000 N/mm². Bislang war es für den Fachmann eine derartige Selbstverständlichkeit, dass mechanisch hoch belastete Bauteile nur aus faserverstärkten Kunststoffen und nicht aus unverstärkten Kunststoffen hergestellt werden, dass dies nicht einmal einer ausdrücklichen Erwähnung wert war, vgl. etwa Faragallah W H: „Liquid ring vacuum pumps and compressors", 1. Januar 1985, Beltz Offsetdruck, Seite 187.

Bei der Auswahl der Werkstoffe spielen insbesondere die Festigkeit des Werkstoffs, die chemische Beständigkeit, die Kavitationsbeständigkeit und der Preis eine Rolle.

Ein Nachteil bei Flügelrädern mit hoher Steifigkeit besteht darin, dass schlagartige Belastungen, die das Flügelrad im Betrieb der Pumpe erfährt, im Wesentlichen ungefiltert auf weitere Komponenten der Pumpe übertragen werden. Mit schlagartigen Belastungen des Flügelrads ist insbesondere zu rechnen, wenn es in dem Flüssigkeitsring zu Kavitation kommt. Wenn das Flügelrad eine hohe Steifigkeit hat, müssen Betriebszustände, in denen ein Risiko von Kavitation besteht, unbedingt vermieden werden. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen werden deswegen üblicherweise so betrieben, dass jederzeit ein klarer Abstand zur Kavitationsgrenze eingehalten wird. Dadurch wird allerdings ein Teil des möglichen Wirkungsgrads geopfert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe vorzustellen, bei der das Risiko von Schäden durch Kavitation vermindert ist. Ausgehend vom eingangs genannten Stand der Technik wird die Aufgabe gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Erfindungsgemäß besteht das Flügelrad aus einem Material, dessen Elastizitätsmodul kleiner

als 4000 N/mm² ist. Vorteilhafte Ausführungsformen finden sich in den Unteransprüchen.

Die Erfindung schlägt damit ein Flügelrad vor, das sich unter dem Einfluss von Kräften wesentlich stärker verformt als entsprechende Flügelräder aus klassischen Materialien. Aufgrund seiner Nachgiebigkeit ist das Material geeignet, der Wechselbelastung und den auftretenden Kavitationskräften nachzugeben und dadurch Spannungen abzubauen. Die Erfindung hat erkannt, dass die damit verbundenen Nachteile aufgewogen werden durch die verbesserte Beständigkeit der Pumpe gegenüber Kavitation. Die bei Kavitation auftretenden schlagartigen Belastungen werden durch das Flügelrad abgefedert und nicht ungefiltert auf die anderen Komponenten der Pumpe übertragen. Dadurch wird es möglich, die Pumpe näher an der Kavitationsgrenze zu betreiben, ohne dass die Lebensdauer dadurch erheblich vermindert wird. Durch einen Betrieb nahe der Kavitationsgrenze wird der Wirkungsgrad der Pumpe erhöht.

Schäden durch Kavitation können auch an dem Flügelrad selbst auftreten. Durch hohe lokale Belastungen wird zunächst die Oberfläche angegriffen. Anschließend kann der Schaden sich weiter in die Struktur des Flügelrads fortsetzen. Dies tritt insbesondere auf, wenn das Flügelrad aus einem faserverstärkten Material besteht. Wo die Fasern an die Oberfläche des Flügelrads treten, ist die Oberfläche nämlich anfällig für erste Beschädigungen. An diesen offenliegenden Fasern können sich beim Auftreten von Kavitation Kavitationsbläschen anlagern und beim Implodieren zu starken Oberflächenschäden führen. Das Flügelrad besteht deswegen vorzugsweise aus einem nicht-faserverstärkten Material. Es ergibt sich dann eine homogene Oberfläche, die weniger Angriffspunkte für Beschädigungen aufweist.

Kostengünstig in der Herstellung ist es, wenn das Flügelrad aus Kunststoff hergestellt wird. Unverstärkte Kunststoffmaterialien haben zudem den Vorteil, dass die Geräuschemissionen im Kavitationsbetrieb gering sind, da unverstärkte Kunststoffe über ein gutes Dämpfungsverhalten verfügen. In Betracht kommt beispielsweise Polyoxymethylen (POM), Polyetherketone (PEEK), Polyamide (PA), Polybutylenterephthalat (PBT), Polycarbonate (PC), Polyphenylensulfid (PPS). Der Elastizitätsmodul dieser Materialien liegt zwischen 2000 N/mm² und 4000 N/mm².

Das Flügelrad ist vorzugsweise mit einer Nabe versehen, über die eine schlüssige Verbindung mit einer Welle der Pumpe hergestellt werden kann. Die Welle ist exzentrisch in dem Pumpengehäuse gelagert, während die Nabe in dem Flügelrad zentriert ist. Von der Nabe erstreckt sich eine Mehrzahl von Flügeln radial nach außen. Die Anzahl der Flügel kann beispielsweise zwischen 10 und 20 liegen.

Die jeweils zwischen zwei Flügeln eingeschlossenen Kammern bilden zusammen mit dem Flüssigkeitsring die Arbeitskammern der Pumpe. Zu einer Stirnseite hin sind die Kammern offen, um die Zufuhr und Abfuhr des zu fördernden Gases zu ermöglichen. Mit dieser Stirnseite grenzt das Flügelrad an eine Steuerscheibe der Pumpe an, in der in geeigneten Positionen Einlassöffnungen und Auslassöffnungen vorgesehen sind. Der Spalt zwischen den Flügeln und der Steuerscheibe wird möglichst klein gehalten, um den Leckfluss zu minimieren. Die Flügel können relativ zur Axialrichtung geneigt sein, so dass das Flügelrad durch die Strömungskraft in Richtung der Steuerscheibe gedrückt wird.

An der gegenüberliegenden Stirnseite des Flügelrads sind die Kammern vorzugsweise abgeschlossen. Das Flügelrad kann zu diesem Zweck einen scheibenförmigen Vorsprung umfassen, der sich von der Nabe so weit radial nach außen erstreckt, dass der scheibenförmige Vorsprung im Betrieb der Pumpe über seinen gesamten Umfang in den Flüssigkeitsring hineinragt. Für eine wirksame Kraftübertragung auf den Flüssigkeitsring ragen die Flügel vorzugsweise weiter in den Flüssigkeitsring hinein als der scheibenförmige Vorsprung.

Die Erfindung betrifft außerdem ein Flügelrad für eine solche Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe. Das Flügelrad umfasst eine Nabe für eine schlüssige Verbindung zu einer exzentrisch gelagerten Welle der Pumpe. Von der Nabe erstreckt sich eine Mehrzahl von Flügeln radial nach außen. An einer Stirnseite sind die Flügel über mindestens die Hälfte ihrer radialen Erstreckung durch einen scheibenförmigen Vorsprung abgedeckt. Erfindungsgemäß besteht das Flügelrad aus einem Material, dessen Elastizitätsmodul kleiner als 4000 N/mm² ist.

Das Flügelrad ist vorzugsweise einstückig aus einem Kunststoffmaterial hergestellt, wobei das Kunststoffmaterial weiter vorzugsweise unverstärkt ist. Das Flügelrad kann mit weiteren Merkmalen fortgebildet werden, die oben mit Bezug auf die erfindungsgemäße Pumpe beschrieben sind.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand vorteilhafter Ausführungsformen beispielhaft beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Schnittdarstellung einer erfindungsgemäßen Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe;

Fig. 2: die Pumpe aus Fig. 1 in einer Seitenansicht; und

Fig. 3: eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Flügelrads.

Bei einer in Fig. 1 gezeigten Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe ist ein Flügelrad 14 exzentrisch in einem Pumpengehäuse 20 gelagert. Flüssigkeit im Innenraum der Pumpe wird von dem in Drehung befindlichen Flügelrad 14 mitgeführt und bildet einen Flüssigkeitsring, der sich von der äußeren Wand des Pumpengehäuses 20 radial nach innen erstreckt. Aufgrund der exzentrischen Lagerung ragen die Flügel des Flügelrads 14 je nach Winkelposition unterschiedlich tief in den Flüssigkeitsring hinein. Das Volumen einer zwischen zwei Flügen eingeschlossenen Kammer 22 verändert sich dadurch. Der Flüssigkeitsring wirkt damit wie ein Kolben, der während einer Umdrehung des Flügelrads 14 in der Kammer auf- und abfährt.

Von einer Eingangsöffnung 16 führt ein Kanal in den Innenraum der Pumpe, in dem das Flügelrad 14 sich dreht. Der Kanal 16 mündet in dem Bereich, in dem die Flügel des Flügelrads 14 aus dem Flüssigkeitsring auftauchen, in dem also die zwischen zwei Flügeln eingeschlossene Kammer sich vergrößert. Durch die sich vergrößernde Kammer wird Gas durch die Eingangsöffnung 16 in die Kammer gesaugt. Nachdem die Kammer ihr maximales Volumen erreicht hat, dringt der Flüssigkeitsring bei der weiteren Drehung des Flügelrads 14 wieder in die Kammer ein. Wenn das Gas durch den weiter eindringenden Flüssigkeitsring hinreichend komprimiert ist, wird es durch eine Austrittsöffnung 17 bei Atmosphärendruck wieder abgegeben. Eine solche Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe dient dazu, einen an die Eingangsöffnung 16 angeschlossenen Raum auf einen Druck von beispielsweise 50 Millibar zu evakuieren.

Gemäß Fig. 2 ist das Flügelrad 14 über eine Welle 18 mit einem Antriebsmotor 19 verbunden. Die Pumpe ist in Blockbauweise ausgeführt, der Antrieb und das Flügelrad 14 sind also gemeinsam in dem Pumpengehäuse 20 aufgenommen. Über eine an dem Pumpengehäuse 20 angeordnete Steuereinheit 21 wird dem Antrieb 19 elektrische Energie zugeführt und die Drehzahl der Pumpe eingestellt.

Das Flügelrad 14 hat gemäß Fig. 3 fünfzehn Flügel 23, die sich von einer zentralen Nabe 24 radial nach außen erstrecken. Über die Nabe 24 ist das Flügelrad 14 mit der Welle 18 der Pumpe verbunden. Die Flügel 23 haben eine dreidimensionale Form, die eine Krümmung bezogen auf die Radialrichtung einschließt. Die in Fig. 3 sichtbare Stirnseite des Flügelrads 14 weist im eingebauten Zustand in Richtung der Steuerscheibe der Pumpe. Die zwischen jeweils zwei Flügeln 23 angeordneten Kammern 22 sind also zu der Steuerscheibe hin offen, so dass das zu fördernde Gas durch Öffnungen in der Steuerscheibe zugeführt und abgeführt werden kann.

An seiner gegenüberliegenden Stirnseite hat das Flügelrad 14 einen scheibenförmigen Vorsprung 25, der sich von der Nabe 24 radial nach außen erstreckt. Die radiale Erstreckung des scheibenförmigen Vorsprungs 25 ist so, dass der scheibenförmige Vorsprung 25 über seinen gesamten Umfang in den Flüssigkeitsring eintaucht, wenn die Pumpe in Betrieb ist. Die Flügel 23 ragen in radialer Richtung etwas über den scheibenförmigen Vorsprung 25 hinaus, so dass eine wirksame Kraftübertragung zwischen den Flügeln 23 und dem Flüssigkeitsring erreicht wird.

Das Flügelrad 14 ist einstückig hergestellt aus einem nichtfaserverstärktem Kunststoffmaterial. Der Elastizitätsmodul

des Materials liegt zwischen 2000 N/mm² und 4000 N/mm². Das Material ist also vergleichsweise flexibel, so dass schlagartige Belastungen auf das Flügelrad von dem Material teilweise aufgenommen werden können.

Da das Material nicht-faserverstärkt ist, hat das Flügelrad eine homogene Oberfläche. Auch wenn es in Folge von Kavitation in der Betriebsflüssigkeit lokal zu großen Druck- und Geschwindigkeitsspitzen kommt, hält die Oberfläche den Belastungen stand und es kommt nicht zu Schäden an dem Flügelrad. Durch das erfindungsgemäße Flügelrad kann die Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe aus diesen Gründen näher an der Kavitationsgrenze betrieben werden, so dass der Wirkungsgrad der Pumpe erhöht ist.

Patentansprüche

1. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe mit einem Pumpengehäuse (20) und einem exzentrisch in dem Pumpengehäuse (20) gelagerten Flügelrad (14), dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) aus einem Material besteht, dessen Elastizitätsmodul kleiner als 4000 N/mm^2 ist.

2. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) aus einem nichtfaserverstärkten Material besteht.

3. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) eine homogene Oberfläche aufweist.

4. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) aus einem Kunststoffmaterial besteht.

5. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) aus Polyoxymethylen (POM), Polyetherketone (PEEK), Polyamide (PA), Polybutylenterephthalat (PBT), Polycarbonate (PC) oder Polyphenylensulfid (PPS) besteht.

6. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Material des Flügelrads (14) einen Elastizitätsmodul von wenigstens 2000 N/mm^2 hat.

7. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Flügel (23) des Flügelrads (14) zwischen 10 und 20 liegt.

8. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad (14) einen sich von einer Nabe (24) radial nach außen erstreckenden scheibenförmigen Vorsprung (25) aufweist, der im Betrieb der Pumpe in den Flüssigkeitsring hineinragt.

9. Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Flügel (23) des Flügelrads (14) weiter in den Flüssigkeitsring hineinragen als der scheibenförmige Vorsprung (25).

10. Flügelrad für eine solche Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit einer Nabe (24) für eine schlüssige Verbindung zu einer exzentrisch gelagerten Welle (18) der Pumpe, mit einer Mehrzahl von Flügeln (23), die sich von der Nabe (24) radial nach außen erstrecken, wobei die Flügel (23) an einer Stirnseite über mindestens die Hälfte ihrer radialen Erstreckung durch einen scheibenförmigen Vorsprung (25) abgedeckt sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Flügelrad aus einem Material besteht, dessen Elastizitätsmodul kleiner als 4000 N/mm^2 ist.

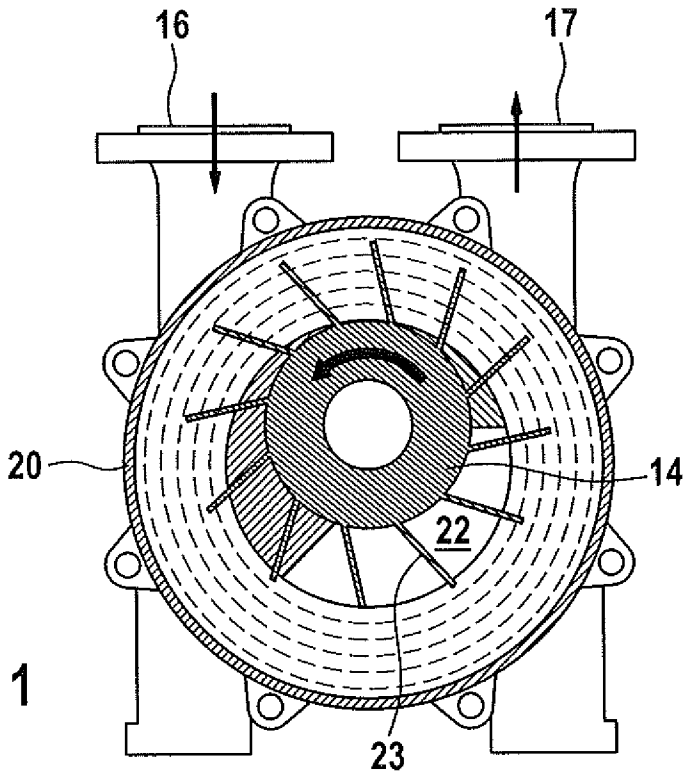


Fig. 1

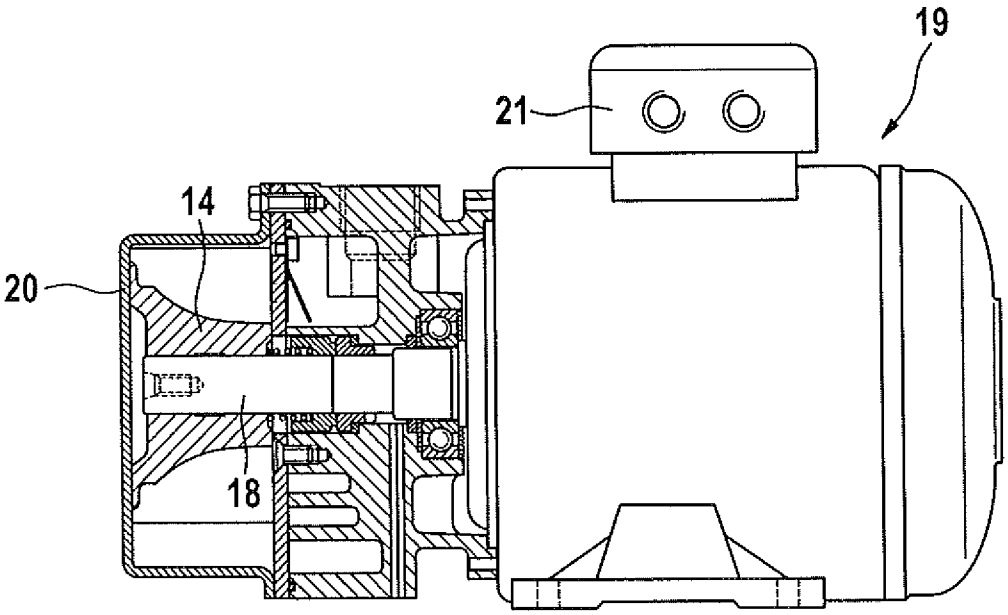


Fig. 2

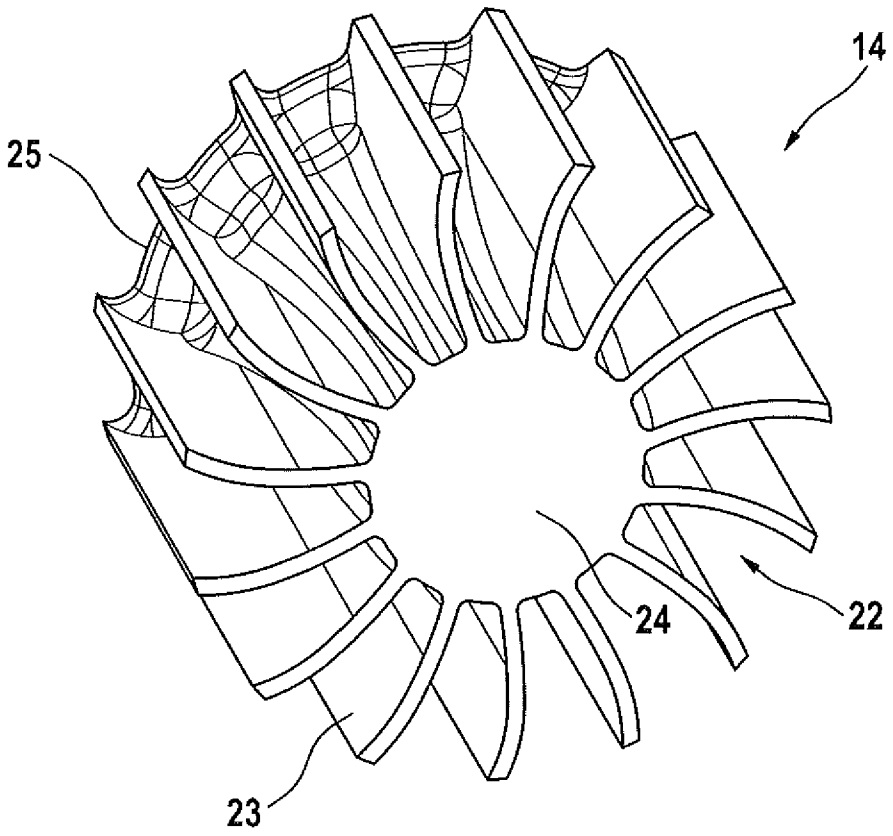


Fig. 3