

(19)



(11)

**EP 3 929 443 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**23.04.2025 Patentblatt 2025/17**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F04D 7/04** <sup>(2006.01)</sup> **F04D 29/02** <sup>(2006.01)</sup>  
**F04D 29/22** <sup>(2006.01)</sup> **F04D 29/16** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **21178749.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F04D 29/026; F04D 7/04; F04D 29/167;**  
**F04D 29/2294; F05D 2230/90; F05D 2300/224**

(22) Anmeldetag: **10.06.2021**

(54) **KREISELPUMPE ZUR FÖRDERUNG FESTSTOFFHALTIGER MEDIEN**

CENTRIFUGAL PUMP FOR CONVEYING MEDIA CONTAINING SOLIDS

POMPE CENTRIFUGE DESTINÉ AU TRANSPORT DES MILIEUX CONTENANT DES SOLIDES

(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: **26.06.2020 DE 102020003848**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**29.12.2021 Patentblatt 2021/52**

(73) Patentinhaber: **KSB SE & Co. KGaA**  
**67227 Frankenthal (DE)**

(72) Erfinder: **PITTROFF, Markus**  
**67227 Frankenthal (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2014/201458 WO-A1-2017/158003**  
**DE-A1- 102012 218 861 DE-A1- 102017 223 602**  
**US-A1- 2007 071 907 US-B1- 9 677 560**

**EP 3 929 443 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 Kreispumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit einer Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung von einem ersten Raum in einen zweiten Raum und einem geschlossenen Laufrad.

**[0002]** Beispielgebend für ein feststoffhaltiges Medium ist Abwasser, insbesondere kommunales und industrielles Abwasser. Dieses umfasst in der Regel Rohabwasser (z. B. Schmutzwasser, Fäkalien), Abwasser (mechanisch gereinigtes Wasser aus Klärbecken), Schlamm (z. B. Belebt-, Frisch-, Faul- sowie Impfschlamm) und Regenwasser. Industrielles Abwasser kann unter Umständen sehr korrosiv oder abrasiv auf die eingesetzten Kreispumpen, insbesondere die medienberührenden Bauteile der Kreispumpe, wirken.

**[0003]** Durch den Kontakt mit dem strömenden, feststoffhaltigen Medium kann es zu einem Abtrag an Material in der Kreispumpe kommen. Dieser Abtrag wird auch als Abrasion bezeichnet. Abrasionserscheinungen können die Funktionsfähigkeit der Kreispumpe stark beeinträchtigen. Insbesondere wenn sich zusätzliche Partikel in der Strömung befinden, beispielsweise Feststoffpartikel wie Sand, kann dies zu einem starken Abtrag an Material kommen. Verschleißfeste Werkstoffe sind dann zwingend notwendig, um die Abrasion zu minimieren.

**[0004]** Es ist bekannt, bei Kreispumpen zur Förderung hochabrasiver Medien die strömungsführenden Teile wie Laufrad, Spaltring, Schleißwand etc. aus korrosionsbeständigen nichtmetallischen Werkstoffen herzustellen oder diese Teile mit einem Überzug aus Gummi, Kunststoff oder Email zu versehen. Herkömmliche Werkstoffe, die dabei eingesetzt werden, sind begrenzt in Bezug auf ihre Festigkeit bzw. ihre Korrosionsbeständigkeit. Auch weisen herkömmliche Werkstoffe nur eine begrenzte Verschleißhinderung beim Kontakt mit dem strömenden Medium auf.

**[0005]** Beim Fördern feststoffhaltiger Medien muss überdies mit einem durch die abrasive Wirkung der Schmutzteile verursachten Abtrag des Laufrads sowie einer sogenannten Spalterweiterung einer vorhandenen Spaltdichtung gerechnet werden.

**[0006]** Spaltdichtungen dienen in Kreispumpen zur Abdichtung von Räumen unterschiedlicher Drücke. Die Anordnung umfasst ein nicht rotierendes Element und ein rotierendes Element. Bei dem nicht rotierenden Element kann es sich beispielsweise um einen Spaltring handeln, der am Gehäuse angeordnet ist, oder um das Gehäuse selbst bzw. um ein Gehäuseteil. Bei dem rotierenden Element kann es sich beispielsweise um einen Laufring handeln, der auf dem Laufrad angeordnet ist, oder um das Laufrad selbst bzw. einen Teil des Laufrades, beispielsweise bei einem geschlossenen Laufrad die Deckscheibe des Laufrades. Es ist also vor allem bei Schmutzwasserkreispumpen mit Spaltdichtungen mit einem ansteigenden Wirkungsgradverlust aufgrund ab-

rasiven Verschleißes mit zunehmender Betriebsdauer zu rechnen.

**[0007]** Die DE 10 2017 223 602 A1 gibt ein Laufrad einer Kreispumpe mit Formstücken auf Basis von Siliziumkarbid an. Die Härte des Materials soll die Kreispumpe vor abrasivem Verschleiß schützen. Dazu werden verschiedene Formstücke aus Siliziumkarbid in ein Gusswerkzeug eingelegt und anschließend mit einem metallischen Gusswerkstoff ausgegossen, so dass sich ein geschlossenes Laufrad bildet.

**[0008]** Die DE 10 2018 214 650 A1 beschreibt ein Spaltring-Laufring-Paar einer Kreispumpe auf Basis von Kalziumcarbonat in der Modifikation Aragonit, die mit einer hohen Härte verschleißbeständiger gegen abrasive Stoffe ist.

**[0009]** Aufgrund der hohen Sprödigkeit der meisten abrasionsbeständigen keramischen Werkstoffe sind die vorgeschlagenen keramischen Lösungen bei bestimmten Bauteilgeometrien i. d. R. sehr teuer und aufwändig in der Umsetzung und können u. U. (beispielsweise durch Ausbrechen von Teilen) zu Betriebsstörungen führen.

**[0010]** Die WO 2014/201458 A1 beschreibt eine elektrische Tauchpumpe mit einer Diamantbeschichtung, wobei die Diamantbeschichtung mindestens eine Komponente der elektrischen Tauchpumpe zumindest teilweise bedeckt, um Reibung, Verschleiß oder Betriebstemperatur der mindestens einen Komponente zu reduzieren.

**[0011]** Die US 9 677 560 B1 offenbart sowohl eine Diamantbeschichtung als auch eine Graphitbeschichtung bei einer Zentrifugalpumpe.

**[0012]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Kreispumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit einem verschleißbeständigen Laufrad anzugeben. Das Weiteren soll eine Beschädigung eines Laufrings durch abrasiven Verschleiß wirksam verringert werden. Darüber hinaus sollte die Pumpe den Wirkungsgrad im Betrieb lange aufrechterhalten können. Die Kreispumpe soll sich durch eine hohe Zuverlässigkeit und eine lange Lebensdauer auszeichnen. Sie soll zudem eine einfache Montage gewährleisten. Weiterhin soll die Kreispumpe durch möglichst geringe Herstellungskosten überzeugen.

**[0013]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Kreispumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Varianten sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0014]** Erfindungsgemäß ist das geschlossene Laufrad einer Kreispumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien an der Oberfläche, insbesondere der Deckscheibenoberfläche, mit einer Kohlenstoffschicht beschichtet. Dadurch wird die Härte der Oberfläche enorm gesteigert, wodurch ein effizienter Schutz gegen abrasiven Verschleiß durch die strömenden Feststoffpartikel des Fördermediums entsteht.

**[0015]** Das zentrale Bauteil einer Kreispumpe ist das Laufrad, das die mechanische Energie als Impuls an das Fluid übergibt. Die Laufradform bestimmt, wie die Strö-

mung aus der Pumpe austritt. Hinsichtlich der Bauform des Laufrades werden geschlossene, halboffene und offene Formen unterschieden. Bei einem geschlossenen Laufrad ist mindestens eine Laufradschaufel auf beiden Seiten mit je einer Scheibe verbunden. Dabei nennt man die vordere, der Zuströmung zugewandte Scheibe Deckscheibe. Die hintere Scheibe, die meist der konstruktive Ursprung der Schaufel ist, heißt Tragscheibe. Durch das Umschließen einer Schaufel durch die Deck- und Tragscheibe wird ein geschlossener Kanal erzeugt, der eine Ausrichtung durch die Schaufelkrümmung erfährt.

**[0016]** Für die Förderaufgabe Abwasser eignen sich geschlossene Laufräder mit reduzierter Schaufelzahl und großem Kugeldurchgang, um mögliche Verstopfungen durch die Feststoffpartikel bzw. die Verzopfungen im Abwasser zu vermeiden. Idealerweise werden hierzu geschlossene Einschaufelräder und/oder geschlossene Ein-, Zwei- oder Dreikanalräder verwendet. Gemäß der Erfindung sind diese Laufräder mit einer Kohlenstoffschicht beschichtet, so dass sie über eine enorm harte Oberfläche verfügen, die vorzugsweise einen idealen Schutz vor abrasiver und korrosiver Einwirkung durch feststoffhaltige Medien wie beispielsweise Abwasser bildet.

**[0017]** Vorteilhafterweise weist insbesondere die Deckscheibe eines geschlossenen Laufrades eine Kohlenstoffschicht auf. Gerade die Deckscheibe tritt mit dem feststoffhaltigen Medium zuerst in Kontakt und erhält durch die harte Kohlenstoffschicht einen Schutz vor Abrasion. Im Besonderen weisen die Flächen der Deckscheibe, die zusammen mit einem Spaltring eine Dichtung zur Reduzierung einer Rückströmung vom Druck- in den Saugraum bilden, eine Kohlenstoffschicht auf. Insbesondere sind das planar bearbeitete radiale und/oder axiale Oberflächen der Deckscheibe, die eine Kohlenstoffschicht aufweisen.

**[0018]** Idealerweise weist auch die innere Oberfläche eines geschlossenen Laufrads, also die Innenwände eines Kanals, der durch die Tragscheibe, die Schaufelflanke und die Deckscheibe gebildet wird, eine Schicht aus Kohlenstoff auf. Hierdurch werden vorteilhafterweise die Laufradflächen mit einer besonders harten Schutzschicht vor Abrasion versehen, die direkt an der Impulsübertragung des Laufrads auf das feststoffhaltige Medium beteiligt sind.

**[0019]** Erfindungsgemäß verfügt eine Kreiselpumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit mindestens einer Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung über ein rotierendes Element, das zumindest teilweise eine Schicht aus Kohlenstoff aufweist. Eine solche Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung ist gemäß der Erfindung als Spaltdichtung ausgestaltet, die von einem Spaltring und einem Laufring gebildet wird.

**[0020]** Diese Anordnung dient zur Abdichtung von Räumen unterschiedlicher Drücke und wirkt als Drossel zwischen diesen Räumen. In dieser Anordnung ist ein erster Raum als ein Raum mit höherem Druck und ein

zweiter Raum als ein Raum mit geringerem Druck zu verstehen. In der Kreiselpumpe ist dementsprechend der Raum höheren Druckes der Raum des Druckstutzens sowie des Spiralgehäuses. Der Raum niedrigeren Druckes ist der Raum des Ansaugbereiches vor dem Laufrad.

**[0021]** Erfindungsgemäß ist auf dem geschlossenen Laufrad an einer radialen und optional zusätzlich an einer axialen Fläche der Deckscheibe mindestens ein Laufring unmittelbar angeordnet, der zusammen mit mindestens einem Spaltring eine Spaltdichtung bildet. Erfindungsgemäß weist dieser Laufring an mindestens einer radialen und optional zusätzlich an einer axialen Fläche eine Schicht aus Kohlenstoff auf. Hierdurch wird die Härte eines gewöhnlichen Laufrings aus einem Gusswerkstoff und/oder einem nichtrostenden Stahl-Werkstoff enorm gesteigert, wodurch wiederum insbesondere die Flächen, die an der Ausbildung der Spaltdichtung beteiligt sind, vor der abrasiven Einwirkung des feststoffhaltigen Mediums geschützt werden.

**[0022]** Der zum Laufring korrespondierende Spaltring der Spaltdichtung ist mittels Presspassung am Pumpengehäuse angeordnet und ist dementsprechend sowohl feststehend als auch nicht rotierend. Der Spaltring ist als solcher unmittelbar am Pumpengehäuse angeordnet.

**[0023]** Fläche, und zwar der Spaltringinnenseite und optional zusätzlich an einer axialen Fläche wie beispielsweise der Spaltringstirnseite eine Kohlenstoffschicht auf. Dadurch wird die Härte eines gewöhnlichen Spaltrings aus einem Gusswerkstoff und/oder einem nichtrostenden Stahl-Werkstoff enorm gesteigert. Der Spaltring erhält somit einen wirksamen Schutz gegen die abrasive Einwirkung von Feststoffpartikel im Fördermedium.

**[0024]** Von besonderem Vorteil ist die Kohlenstoffschicht hinsichtlich eines Berührens oder Anlaufens von einem Laufring und dem dazu korrespondierenden Spaltring. Aufgrund der besonders glatten Oberfläche der Kohlenstoffschicht sowie deren außergewöhnlichen Härte verhält sich der Laufring unempfindlich gegenüber einer anstreifenden Einwirkung eines Spaltrings.

**[0025]** Unter den Kohlenstoffschichten werden Schichten verstanden, in denen Kohlenstoff der überwiegende Bestandteil ist. Die Kohlenstoffschicht kann beispielsweise mit einer PVD- (engl. Physical Vapor Deposition), einer physikalischen Gasphasenabscheidung etwa durch Verdampfen oder Sputtern) oder einem CVD- (engl. Chemical Vapor Deposition; Chemische Gasphasenabscheidung) Verfahren aufgebracht werden.

**[0026]** Erfindungsgemäß handelt es sich um eine tetraedrische wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschicht, die auch als ta-C Schicht bezeichnet wird. Die dem Kristallgitter von Graphit zugehörigen Atombindungen (insgesamt jeweils 3) kennzeichnet man mit der Bezeichnung "sp<sup>2</sup>". Dabei liegt eine sp<sup>2</sup>-Hybridisierung vor.

**[0027]** Bei einer Diamantschicht bildet jedes Kohlenstoffatom mit vier benachbarten Atomen eine tetraederförmige Anordnung. Bei dieser räumlichen Anordnung

sind alle Atomabstände gleich gering. Es wirken daher sehr hohe Bindungskräfte zwischen den Atomen, und zwar in allen Raumrichtungen. Daraus resultieren die hohe Festigkeit und die extreme Härte des Diamanten. Die dem Kristallgitter von Diamanten zugehörigen Atombindungen, insgesamt jeweils vier, kennzeichnet man mit der Bezeichnung "sp<sup>3</sup>". Somit liegt eine sp<sup>3</sup>-Hybridisierung vor.

**[0028]** Bei einer besonders günstigen Variante der Erfindung besteht die Kohlenstoffschicht aus einer Mischung von sp<sup>3</sup>- und sp<sup>2</sup>-hybridisiertem Kohlenstoff. Diese Schicht ist durch eine amorphe Struktur gekennzeichnet. In dieses Kohlenstoffnetzwerk können auch Fremdatome wie Wasserstoff, Silizium, Wolfram oder Fluor eingebaut sein.

**[0029]** Die erfindungsgemäße Anordnung einer Kohlenstoffschicht auf einem geschlossenen Laufrad und einem Element zur Verhinderung einer Rückströmung, wie beispielsweise ein Laufring, führt zu einer erheblichen Reduzierung des abrasiven Abtrags.

**[0030]** Durch die Anordnung einer Kohlenstoffschicht auf einem geschlossenen Laufrad, insbesondere auf den radialen und/oder axialen Flächen der Deckscheibe, die zur Ausbildung eines Dichtspaltes genutzt werden, wird eine extrem glatte Oberfläche mit Antihafteigenschaften geschaffen, ohne dass eine aufwendige mechanische Nachbearbeitung des Laufrads erforderlich ist. Des Weiteren können mehrere Laufräder in einem Beschichtungsreaktor, der vorzugsweise als Vakuumkammer ausgeführt ist, eingebracht werden, wo bei mäßiger thermischer Belastung, die ta-C Beschichtung aufgebracht wird. Somit zeichnet sich die erfindungsgemäße Kreiselpumpe mit geschlossenem Laufrad durch verhältnismäßig geringe Herstellungskosten aus.

**[0031]** Bei einer besonders günstigen Variante der Erfindung wird die Kohlenstoffschicht als Beschichtung auf ein Laufrad und/oder auf einen Laufring aufgebracht. Die Dicke der Schicht beträgt vorteilhafterweise mehr als 0,5 µm, vorzugsweise mehr als 1,0 µm, insbesondere mehr als 1,5 µm. Weiterhin erweist es sich als günstig, wenn die Kohlenstoffschicht weniger als 18 µm, vorzugsweise weniger als 16 µm, insbesondere weniger als 14 µm beträgt.

**[0032]** Idealerweise weist die Beschichtung aus Kohlenstoff eine äußerst glatte axiale Oberfläche mit Antihafteigenschaften auf, bei der der Mittenrauheitswert R<sub>a</sub> der Kohlenstoffschicht weniger als 0,7 µm, vorzugsweise weniger als 0,5 µm, insbesondere weniger als 0,3 µm beträgt.

**[0033]** Die ta-C Beschichtung weist einen sehr geringen Reibbeiwert bei gleichzeitig sehr guter chemischer Beständigkeit auf. Die Härte der Beschichtung kommt der Härte von Diamanten sehr nahe, wobei die Härte vorzugsweise mehr als 20 GPa, vorzugsweise mehr als 30 GPa, insbesondere mehr als 40 GPa und weniger als 120 GPa, vorzugsweise weniger als 110 GPa, insbesondere weniger als 100 GPa beträgt.

**[0034]** Mit durchschnittlich 40 bis 75 GPa sind ta-C

Beschichtungen härter als a-C:H Schichten. Zudem enthält ta-C keinen Wasserstoff. Deshalb ist davon auszugehen, dass ta-C im Kontakt mit Wasser (bei Temperaturen oberhalb 80 °C) beständiger ist als a-C:H. Im Kontakt mit anderen - insbesondere polaren - Flüssigkeiten, die Moleküle enthalten, in denen Wasserstoff gebunden ist, könnte ta-C ebenfalls besser beständig sein als a-C:H.

**[0035]** Vorzugsweise wird die Kohlenstoffschicht nicht unmittelbar auf das Laufrad und/oder den Laufring aufgebracht, sondern es wird zunächst eine Haftvermittlerschicht vorgesehen. Diese besteht bevorzugt aus einem Werkstoff, der sowohl gut an Stahl haftet als auch eine Kohlenstoffdiffusion verhindert, z. B. durch die Bildung stabiler Carbide. Als Haftvermittlungsschichten, die diese Anforderungen erfüllen, kommen passenderweise dünne Schichten aus Chrom, Titan oder Silizium zum Einsatz. Insbesondere haben sich Chrom- und Wolframcarbide als Haftvermittler bewährt.

**[0036]** Bei einer vorteilhaften Variante der Erfindung weist die Beschichtung eine Haftvermittlerschicht auf, die vorzugsweise einen Chromwerkstoff beinhaltet. Vorzugsweise besteht die Haftvermittlerschicht zu mehr als 30 Gew.-%, vorzugsweise mehr als 60 Gew.-%, insbesondere mehr als 90 Gew.-% aus Chrom.

**[0037]** Bei der erfindungsgemäßen ta-C Beschichtung handelt es sich um eine einfache, schnell realisierbare und wirtschaftliche Beschichtung für geschlossene Laufräder und/oder Laufringe in Kreiselumpen. Die erfindungsgemäße Beschichtung weist neben einer sehr großen Härte auch hervorragende Gleiteigenschaften und eine gute chemische Beständigkeit auf.

**[0038]** Zudem ermöglicht die Erfindung auch eine Beschichtung von Laufradgeometrien mit speziellen Abmessungen. Darüber hinaus lassen sich Laufradgeometrien realisieren, die zuvor aus keramischen Werkstoffen fertigungsbedingt schwer realisierbar waren. Insbesondere zeichnen sich die meisten metallischen Werkstoffe durch eine höhere Duktilität im direkten Vergleich zu einem keramischen Werkstoff aus.

**[0039]** Der Vorteil der höheren Härte durch die ta-C Beschichtung liegt darin begründet, dass kleine und große Feststoffpartikel, die oft in den feststoffhaltigen Medien enthalten sind, nun stark vermindert abrasiv auf das Laufrad und/oder den Laufring der Spaltdichtung wirken können. Durch die Strömung wirken diese Feststoffteilchen normalerweise wie ein Schleifmittel. Laufräder und Laufringe der Spaltdichtung, die mit ta-C beschichtet sind, verfügen über eine äußerst harte Schutzschicht gegen Abrasion, wodurch deren Einsatzzeit in der Förderung feststoffhaltiger Medien deutlich erhöht ist.

**[0040]** Vorzugsweise werden zur Beschichtung PECVD/PACVD-Verfahren eingesetzt. Dabei erfolgt eine Plasmaanregung der Gasphase durch die Einkopplung von gepulster Gleichspannung ("pulsed DC"), mittelfrequenter (KHz-Bereich) oder hochfrequenter (MHz-Bereich) Leistung. Aus Gründen einer maximierten Prozessvariabilität bei unterschiedlichen Werkstückgeo-

metrien und Beladungsdichten hat sich zudem die Einkopplung von gepulster Gleichspannung bewährt.

**[0041]** Idealerweise werden zur Beschichtung PVD Verfahren eingesetzt. Diese Verfahren sind besonders einfach und weisen eine niedrige Prozesstemperatur auf. Diese Technologie führt zu Schichten, in die je nach Bedarf auch Fremdatome eingebaut sein können. Die Prozessführung erfolgt vorzugsweise so, dass Gefüge- und Dimensionsänderungen der zu beschichtenden Werkstoffe (metallisch, Grauguss, etc.) ausgeschlossen sind.

**[0042]** Gegenüber einer CVD-Diamantschicht hat die ta-C Beschichtung den Vorteil, dass die Beschichtungstemperatur für CVD-Diamantschichten 600 bis 1000 °C beträgt und für amorphe Kohlenstoffschichten wie ta-C deutlich unter 500 °C liegt. Dies ist insbesondere für das Beschichten metallischer Werkstoffe von hoher technischer Relevanz. Die Herstellung von PVD-Diamantschichten ist nicht möglich.

**[0043]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen und aus den Zeichnungen selbst. Dabei zeigt:

- Fig. 1 Schnittdarstellung einer Kreiselpumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit einem geschlossenen Einschaufelrad,
- Fig. 2 Schnittdarstellung eines geschlossenen Dreikanalrads,
- Fig. 3 perspektivische Darstellung eines geschlossenen Mehrkanalrads,
- Fig. 4 Ausschnittsvergrößerung im Bereich des Saugmunds,
- Fig. 5 Detailschnitt eines rotierenden Elements.

**[0044]** Fig. 1 zeigt eine Schnittdarstellung einer Kreiselpumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit einer Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung 13 von einem ersten Raum in einen zweiten Raum. Die Anordnung 13 umfasst ein feststehendes, nicht rotierendes Element 2, das in diesem Ausführungsbeispiel mit dem geschlossenen Einschaufelrad 4 zusammenwirkt. Das Element 2 ist als Spaltring ausgebildet. Über den Saugmund 1 strömt das feststoffhaltige Medium in die Pumpe ein, wird von dem geschlossenen Einschaufelrad 4, welches drehfest durch die Befestigung 12 mit der Welle 9 verbunden ist, mit Bewegungsenergie beaufschlagt und verlässt das Pumpengehäuse 10 über den Druckstutzen 5. Die Welle 9 ist durch die Kugellager 8 drehbar gelagert. Der Lagerträgerdeckel 7 verschließt den Pumpenraum in Richtung Antrieb. Gemäß der Erfindung ist das geschlossene Einschaufelrad 4 mit einer Kohlenstoffschicht, vorzugsweise mit einer amorphen Kohlenstoffschicht, insbesondere mit ta-C, beschichtet. Hierbei weisen insbesondere die Deckscheibe 3 und die Innenwandflächen 11 des geschlossenen Einschaufelrads 4 eine Schicht aus ta-C auf. Somit wird ein besonders idealer Schutz vor abrasivem Verschleiß und auch

gegen das Anlaufen des geschlossenen Einschaufelrads 4 gegen das nicht rotierende Element 2 erreicht.

**[0045]** Fig. 2 zeigt eine Schnittdarstellung eines geschlossenen Dreikanalrads. Das Laufrad 4 besteht aus einer Tragscheibe 11, von der ausgehend die nicht dargestellten Schaufeln ragen. Eine Deckscheibe 3 verschließt den Raum der Schaufeln mit der Tragscheibe 11 in der Art, dass sich geschlossene Kanäle bilden. Des Weiteren verfügt die Deckscheibe 3 des Laufrads 4 über eine axiale Fläche in Form einer Laufradstirnseite 23 und eine radiale Fläche 24, die beide besonders planar bearbeitet sind. Erfindungsgemäß ist die Laufradstirnseite 23 sowie die radiale Fläche 24 mit einer Schicht aus Kohlenstoff, insbesondere mit ta-C beschichtet. Die Laufradstirnseite 23 und/oder die radiale Fläche 24 bilden mit einem nicht dargestellten, im Pumpengehäuse angeordneten, feststehenden und nicht rotierenden Spaltring eine sogenannte Spaltdichtung. Aufgrund der ta-C Beschichtung sind die spaltdichtungsbildenden Flächen des Laufrads 4 besonders gegen abrasiven Verschleiß durch das Fördern eines feststoffhaltigen Mediums und den damit einhergehenden Wirkungsgradverlust geschützt.

**[0046]** Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung eines geschlossenen Mehrkanalrads 4. Ausgehend von der Tragscheibe 11 ragen die Schaufeln 25 in Richtung der Medienzuströmung. Die Deckscheibe 3 verschließt den Raum mit den Schaufeln 25 und der Tragscheibe 11, so dass sich mindestens ein teilweise geschlossener Kanal 26 bildet. Gemäß der Erfindung weisen die Innenwandflächen des Kanals 26 eine ta-C Beschichtung auf, die das Laufrad 4 aus gewöhnlichem Gusswerkstoff und/oder Edelstahl-Werkstoff gegen die abrasive Wirkung der strömenden Feststoffteilchen schützt. Auf diese Weise lassen sich Standardlaufräder aus bekanntem Material kostengünstig herstellen und durch die Beschichtung mit einer bis zu 18 µm starken Kohlenstoffschicht für hochabrasive Anwendungen bereitstellen. Erfindungsgemäß ist auch die Laufradstirnseite 23 sowie die radiale Fläche 24 mit einer Schicht aus Kohlenstoff, insbesondere mit ta-C beschichtet. Diese spaltdichtungsbildenden Flächen der Deckscheibe 3, die mit einem nicht dargestellten Spaltring einen Spalt zur Reduzierung einer Rückströmung von der Druckseite zur Saugseite der Kreiselpumpe bilden, sind dadurch besonders gegen abrasiven Verschleiß sowie gegen den damit einhergehenden Wirkungsgradverlust der Kreiselpumpe geschützt.

**[0047]** Fig. 4 zeigt eine Ausschnittsvergrößerung im Bereich des Saugmunds 1 gemäß der Erfindung. Die Kreiselpumpe weist eine Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung 13 in Form einer Spaltdichtung auf. Diese umfasst ein rotierendes Bauteil 14, das als Laufring ausgebildet ist und ein nicht rotierendes Bauteil 2, das als Spaltring ausgebildet ist. Das rotierende Bauteil 14 ist an einer radialen Außenseite der Deckscheibe 3 des Laufrads 4 angeordnet. Das rotierende Bauteil 14 rotiert somit mit dem Laufrad 4. Das nicht rotierende

Bauteil 2 ist am Pumpengehäuse 10 angeordnet und weist eine radiale Ringinnenseite als Führung auf, die mit der radialen Ringaußenseite des rotierenden Bauteils 14 zusammenwirkt und die Spaltdichtung bildet. Das rotierende Bauteil 14 und das Element 2 sind erfindungsgemäß mit ta-C beschichtet. Dadurch wird ein besonders idealer Schutz vor abrasivem Verschleiß erzielt.

**[0048]** Bei der Ausführung gemäß der Darstellung in Fig. 4 ist zusätzlich zu einer Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung 13 eine weitere Anordnung 20 vorgesehen, die ein rotierendes Element 22 und ein nicht rotierendes Element 21 umfasst. Das rotierende Element 22 ist als Ring ausgebildet, der auch als Winkellauftring bezeichnet wird und der an der axialen Stirnseite der Deckscheibe 3 angeordnet ist. Dazu weist das rotierende Element 22 einen sich in axialer Richtung erstreckenden Vorsprung 19 auf, der in eine Nut 15 in der Deckscheibe 3 eingreift. Das nicht rotierende Element 21 ist als axial verschieblicher Ring ausgebildet, der von einer Fläche 16 des Pumpengehäuses 10 gegen eine radiale Verschiebung geführt wird. Ein Krafterzeugungselement 17 übt eine Kraft auf das nicht rotierende Element 21 aus und drückt das nicht rotierende Element 21 gegen das rotierende Element 22. Das Krafterzeugungselement 17 ist als Feder ausgebildet. Im Ausführungsbeispiel kommt dabei eine Wellfeder zum Einsatz. In einer alternativen Variante der Erfindung ist der Einsatz einer Gruppen- oder Sinusfeder denkbar. Das nicht rotierende Element 21 wird von einem Dichtungselement 18 zu dem Gehäuseteil 10 abgedichtet. Bei dem Dichtungselement 18 handelt es sich vorzugsweise um einen O-Ring.

**[0049]** Das rotierende Element 22 und das nicht rotierende Element 21 sind aus einem Edelstahl-Werkstoff ausgeführt, der erfindungsgemäß mit ta-C beschichtet ist. Die beiden axial zueinander gerichteten Stirnflächen des rotierenden Elements 22 und des nicht rotierenden Elements 21 werden von dem Krafterzeugungselement 17 aufeinandergedrückt. Es entsteht dabei ein minimaler Spalt. Die Reibung wird durch die ta-C Beschichtung minimiert. Es bildet sich ein Schmierfilm aus Fördermedium in dem Spalt zwischen den sich berührenden Flächen des rotierenden Elements 22 und des nicht rotierenden Elements 21 aus. Die Anordnung 20 verhindert gemeinsam mit der Einrichtung 13 eine Rückströmung aus einem Druckraum 5 der Pumpe in einen Saugraum 1 der Kreiselpumpe.

**[0050]** Fig. 5 zeigt einen Detailschnitt eines rotierenden Elements 14, 22 in Form eines Laufrings, der an einer axialen Oberfläche 27 und an einer radialen Oberfläche 28 mit einer Kohlenstoffschicht, insbesondere mit ta-C beschichtet ist. Durch die Beschichtung mit ta-C an mindestens einer Laufringstirnseite und mindestens einer Laufringaußenseite können Laufringe aus einem gewöhnlichen Gusswerkstoffe und/oder einem Edelstahl-Werkstoff hergestellt werden und mittels ta-C Beschichtung verschleißbeständige Eigenschaften erhalten. Dabei beträgt die Dicke der ta-C Schicht mehr als 0,5  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise mehr als 1,0  $\mu\text{m}$ , insbesondere mehr als

1,5  $\mu\text{m}$  und/oder weniger als 18  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise weniger als 16  $\mu\text{m}$ , insbesondere weniger als 14  $\mu\text{m}$ . Die Härte der ta-C Beschichtung beträgt vorzugsweise mehr als 20 GPa, vorzugsweise mehr als 30 GPa, insbesondere mehr als 40 GPa und weniger als 120 GPa, vorzugsweise weniger als 110 GPa, insbesondere weniger als 100 GPa und schützt dadurch den gewöhnlichen Lauftring vor der abrasiven Einwirkung der Feststoffteilchen des Fördermediums.

## Patentansprüche

1. Kreiselpumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien 1. Kreiselpumpe zur Förderung feststoffhaltiger Medien mit mindestens einer Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung (13, 20) von einem ersten Raum in einen zweiten Raum und mit einem geschlossenen Laufrad (4), das eine Tragscheibe (11) umfasst, von der mindestens eine Schaufel (25) weg ragt, die von einer Deckscheibe (3) in der Art abgedeckt wird, so dass sich mindestens ein zumindest teilweise geschlossener Kanal (26) bildet, wobei die Oberfläche des Laufrades (4) zumindest teilweise eine Schicht aus Kohlenstoff aufweist, wobei das geschlossene Laufrad (4) mit einem nicht rotierenden Gegenelement (2, 21), welches unmittelbar am Pumpengehäuse (10) angeordnet ist, zusammenwirkt, wobei das Gegenelement (2, 21) zumindest teilweise eine Schicht aus Kohlenstoff aufweist, wobei die Kreiselpumpe eine Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung (13) in Form einer Spaltdichtung aufweist, wobei die Spaltdichtung ein rotierendes Bauteil (14), das als Laufring ausgebildet ist, und ein nicht rotierendes Bauteil (2), das als Spaltring ausgebildet ist, umfasst, wobei das rotierende Bauteil (14) an einer radialen Außenseite der Deckscheibe (3) des Laufrades (4) angeordnet ist, wobei das rotierende Bauteil (14) mit dem Laufrad (4) rotiert, wobei das nicht rotierende Bauteil (2) am Pumpengehäuse (10) angeordnet ist und eine radiale Ringinnenseite als Führung aufweist, die mit der radialen Ringaußenseite des rotierenden Bauteils (14) zusammenwirkt und die Spaltdichtung bildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** das rotierende Bauteil (14) und das nicht rotierende Bauteil (2) mit einer tetraedrischen wasserstofffreien amorphen Kohlenstoffschicht bzw. ta-C beschichtet sind, wobei zusätzlich zu der Anordnung zur Reduzierung einer Rückströmung (13) eine weitere Anordnung (20) vorgesehen ist, die ein rotierendes Element (22) und ein nicht rotierendes Element (21) umfasst, wobei das rotierende Element (22) als Ring ausgebildet und an der axialen Stirnseite der Deckscheibe (3) angeordnet ist, wobei das rotierende Element (22) einen sich in axialer Richtung erstreckenden Vorsprung (19) aufweist, der in eine Nut (15) in der Deckscheibe (3) eingreift, wobei das

nicht rotierende Element (21) als axial verschieblicher Ring ausgebildet ist, der von einer Fläche (16) des Pumpengehäuses (10) gegen eine radiale Verschiebung geführt wird, wobei ein Krafterzeugungselement (17) eine Kraft auf das nicht rotierende Element (21) ausübt und das nicht rotierende Element (21) gegen das rotierende Element (22) drückt, wobei das Krafterzeugungselement (17) als Feder ausgebildet ist, wobei das nicht rotierende Element (21) von einem Dichtungselement (18) zu dem Gehäuseteil (10) abgedichtet wird, wobei es sich bei dem Dichtungselement (18) vorzugsweise um einen O-Ring handelt, wobei das rotierende Element (22) und das nicht rotierende Element (21) aus einem Edelstahl-Werkstoff ausgeführt sind, der mit ta-C beschichtet ist, wobei die beiden axial zueinander gerichteten Stirnflächen des rotierenden Elements (22) und des nicht rotierenden Elements (21) von dem Krafterzeugungselement (17) aufeinandergedrückt werden..

2. Kreislumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Deckscheibe (3) des geschlossenen Laufrads (4) an einer radialen Fläche (24) eine Schicht aus Kohlenstoff aufweist.
3. Kreislumpumpe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Deckscheibe (3) des geschlossenen Laufrads (4) an einer axialen Fläche (23) eine Schicht aus Kohlenstoff aufweist.
4. Kreislumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Innenwände von vollständig umschlossenen Räumen des Laufrades (4) zumindest teilweise eine Schicht aus Kohlenstoff aufweisen.
5. Kreislumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das geschlossene Laufrad (4) aus einem metallischen Werkstoff, vorzugsweise einem Gusswerkstoff oder einem nicht-rostenden Stahl-Werkstoff, gefertigt ist.
6. Kreislumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der Kohlenstoffschicht mehr als 0,5  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise mehr als 1,0  $\mu\text{m}$ , insbesondere mehr als 1,5  $\mu\text{m}$ , und/oder weniger als 18  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise weniger als 16  $\mu\text{m}$ , insbesondere weniger als 14  $\mu\text{m}$ , beträgt.
7. Kreislumpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenhärte der mit Kohlenstoffschicht beschichteten Oberfläche des Gegenelements (2) mehr als 20 GPa, vorzugsweise mehr als 30 GPa, insbesondere mehr als 40 GPa, und/oder weniger als 120 GPa, vorzugsweise weniger als 110 GPa, insbesondere weniger als 100 GPa, beträgt.

## Claims

1. Centrifugal pump for conveying solids-containing media, having at least one arrangement for reducing a backflow (13, 20) from a first space into a second space, and having a closed impeller (4) which comprises a rear shroud (11) away from which at least one blade (25) projects, said at least one blade being covered by a cover shroud (3) in such a way that at least one at least partially closed channel (26) is formed, wherein the surface of the impeller (4) at least partially has a layer of carbon, wherein the closed impeller (4) interacts with a non-rotating counterpart element (2, 21) which is arranged directly on the pump casing (10), wherein the counterpart element (2, 21) at least partially has a layer of carbon, wherein the centrifugal pump has an arrangement for reducing a backflow (13) in the form of a gap seal, wherein the gap seal comprises a rotating component (14), which is in the form of a running ring, and a non-rotating component (2), which is in the form of a split ring, wherein the rotating component (14) is arranged on a radial outer side of the cover shroud (3) of the impeller (4), wherein the rotating component (14) rotates with the impeller (4), wherein the non-rotating component (2) is arranged on the pump casing (10) and has a radial ring inner side as a guide, which interacts with the radial ring outer side of the rotating component (14) and forms the gap seal, **characterized in that** the rotating component (14) and the non-rotating component (2) are coated with a tetrahedral hydrogen-free amorphous carbon layer or ta-C, wherein, in addition to the arrangement for reducing a backflow (13), a further arrangement (20) comprising a rotating element (22) and a non-rotating element (21) is provided, wherein the rotating element (22) is in the form of a ring and is arranged on the axial end face of the cover shroud (3), wherein the rotating element (22) has an axially extending projection (19) which engages into a groove (15) in the cover shroud (3), wherein the non-rotating element (21) is in the form of an axially displaceable ring which is guided by a surface (16) of the pump casing (10) against radial displacement, wherein a force-generating element (17) exerts a force on the non-rotating element (21) and presses the non-rotating element (21) against the rotating element (22), wherein the force-generating element (17) is in the form of a spring, wherein the non-rotating element (21) is sealed off from the casing part (10) by a seal element (18), wherein the seal element (18) is preferably an O-ring, wherein the rotating element (22) and the non-rotating element (21) are formed from a high-grade-steel material coated with ta-C, wherein the two axially mutually facing end faces of the rotating element (22) and the non-rotating element (21) are pressed onto one another by the force-generating

element (17).

2. Centrifugal pump according to Claim 1, **characterized in that** the cover shroud (3) of the closed impeller (4) has a layer of carbon on a radial surface (24). 5
3. Centrifugal pump according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the cover shroud (3) of the closed impeller (4) has a layer of carbon on an axial surface (23). 10
4. Centrifugal pump according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the inner walls of completely enclosed spaces of the impeller (4) at least partially have a layer of carbon. 15
5. Centrifugal pump according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the closed impeller (4) is made of a metallic material, preferably a cast material or a rust-resistant steel material. 20
6. Centrifugal pump according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the thickness of the carbon layer is greater than 0.5  $\mu\text{m}$ , preferably greater than 1.0  $\mu\text{m}$ , in particular greater than 1.5  $\mu\text{m}$ , and/or less than 18  $\mu\text{m}$ , preferably less than 16  $\mu\text{m}$ , in particular less than 14  $\mu\text{m}$ . 25
7. Centrifugal pump according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the surface hardness of the surface of the counterpart element (2) coated with a carbon layer is greater than 20 GPa, preferably greater than 30 GPa, in particular greater than 40 GPa, and/or less than 120 GPa, preferably less than 110 GPa, in particular less than 100 GPa. 30 35

## Revendications

1. Pompe centrifuge pour le transport de milieux contenant des matières solides, comprenant au moins un agencement (13, 20) pour réduire un reflux d'un premier espace dans un deuxième espace et avec une roue à aubes fermée (4) qui comprend un disque de support (11) à partir duquel s'étend au moins une aube (25) qui est recouverte par un disque de recouvrement (3) de telle sorte qu'au moins un canal (26) au moins partiellement fermé soit formé, la surface de la roue (4) présentant au moins partiellement une couche de carbone, la roue fermée (4) coopérant avec un contre-élément (2, 21) non-rotatif, qui est agencé directement sur le corps de pompe (10), le contre-élément (2, 21) présentant au moins partiellement une couche de carbone, la pompe centrifuge présentant un agencement (13) pour réduire un reflux sous la forme d'un joint d'étanchéité, le joint d'étanchéité comprenant un composant rotatif (14) 40 45 50

qui est réalisé sous la forme d'une bague de roulement, et un composant non-rotatif (2) qui est réalisé sous la forme d'une bague de protection, le composant rotatif (14) étant agencé sur un côté extérieur radial du disque de recouvrement (3) de la roue (4), le composant rotatif (14) tournant avec la roue (4), le composant non-rotatif (2) étant agencé sur le corps de pompe (10) et présentant une face intérieure annulaire radiale servant de guidage, qui coopère avec la face extérieure annulaire radiale du composant rotatif (14) et forme le joint d'étanchéité, **caractérisé en ce que** le composant rotatif (14) et le composant non-rotatif (2) sont recouverts d'une couche de carbone amorphe tétraédrique exempte d'hydrogène, ou ta-C, un autre agencement (20) étant prévu en plus de l'agencement (13) pour réduire un reflux, lequel comprend un élément rotatif (22) et un élément non-rotatif (21), l'élément rotatif (22) étant réalisé sous forme d'une bague et étant agencé sur la face frontale axiale du disque de recouvrement (3), l'élément rotatif (22) présentant une saillie (19) s'étendant dans la direction axiale, qui s'engage dans une rainure (15) formée dans le disque de recouvrement (3), l'élément non-rotatif (21) étant conçu sous la forme d'une bague déplaçable axialement, qui est guidée par une surface (16) du corps de pompe (10) contre un déplacement radial, un élément (17) générateur de force exerçant une force sur l'élément non-rotatif (21) et poussant l'élément non-rotatif (21) contre l'élément rotatif (22), l'élément (17) générateur de force étant conçu sous la forme d'un ressort, l'élément non-rotatif (21) étant rendu étanche par rapport à la partie de boîtier (10) par un élément d'étanchéité (18), l'élément d'étanchéité (18) étant de préférence un joint torique, l'élément rotatif (22) et l'élément non-rotatif (21) étant réalisés en un matériau en acier inoxydable qui est revêtu de ta-C, les deux surfaces frontales orientées axialement l'une vers l'autre de l'élément rotatif (22) et de l'élément non-rotatif (21) étant pressées l'une contre l'autre par l'élément (17) générateur de force. 55

2. Pompe centrifuge selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le disque de recouvrement (3) de la roue fermée (4) présente une couche de carbone sur une surface radiale (24).
3. Pompe centrifuge selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisée en ce que** le disque de recouvrement (3) de la roue fermée (4) présente une couche de carbone sur une surface axiale (23).
4. Pompe centrifuge selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** les parois internes d'espaces entièrement fermés de la roue (4) présentent au moins partiellement une couche de carbone.
5. Pompe centrifuge selon l'une des revendications 1 à 55



4, **caractérisée en ce que** la roue fermée (4) est fabriquée en un matériau métallique, de préférence un matériau de fonderie ou un matériau en acier inoxydable.

5

6. Pompe centrifuge selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** l'épaisseur de la couche de carbone est supérieure à  $0,5\mu\text{m}$ , de préférence supérieure à  $1,0\mu\text{m}$ , notamment supérieure à  $1,5\mu\text{m}$ , et/ou inférieure à  $18\mu\text{m}$ , de préférence inférieure à  $16\mu\text{m}$ , notamment inférieure à  $14\mu\text{m}$ .

10

7. Pompe centrifuge selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** la dureté superficielle de la surface du contre-élément (2) revêtue de la couche de carbone est supérieure à 20GPa, de préférence supérieure à 30GPa, notamment supérieure à 40GPa, et/ou inférieure à 120GPa, de préférence inférieure à 110GPa, notamment inférieure à 100GPa.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

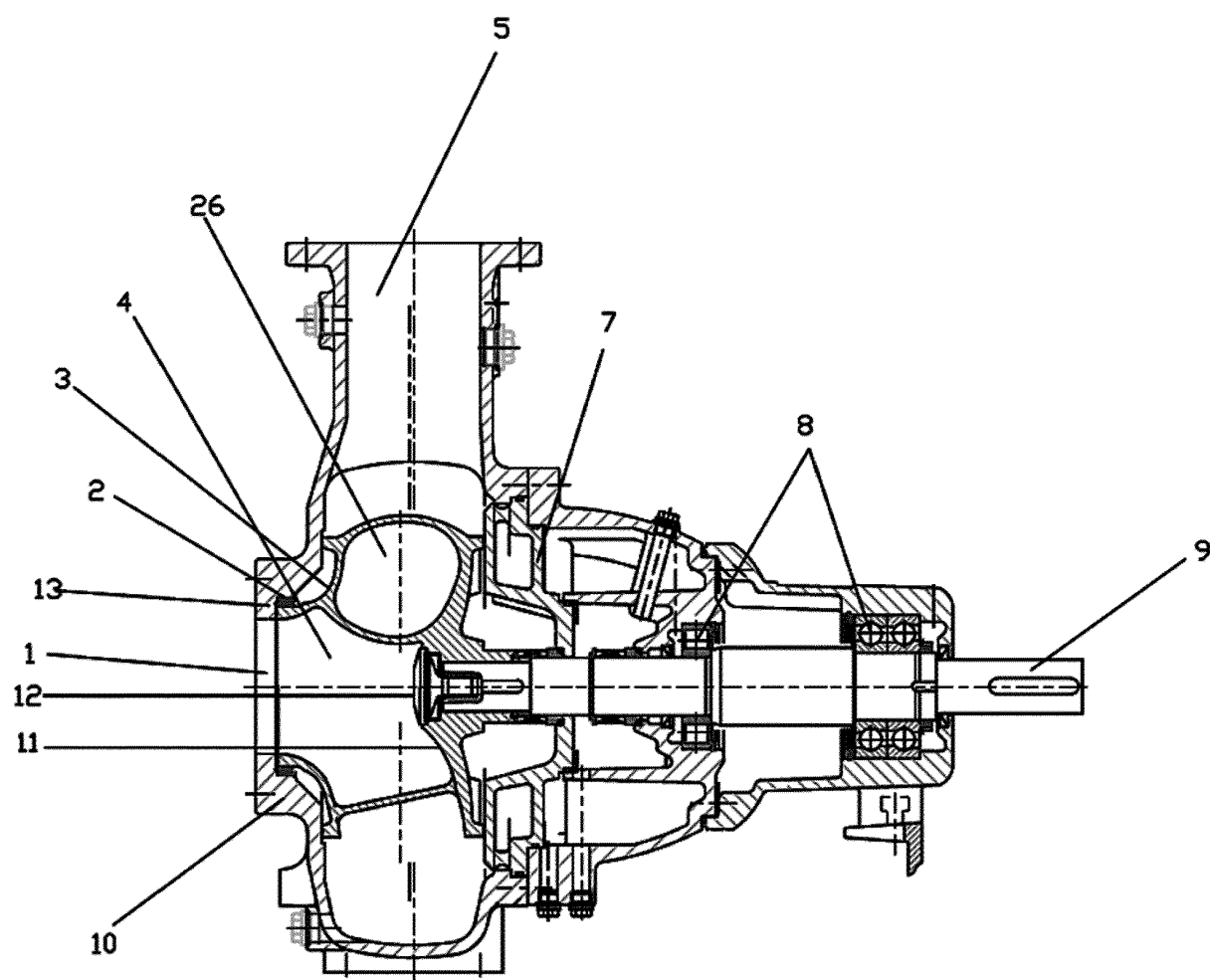


Fig. 2

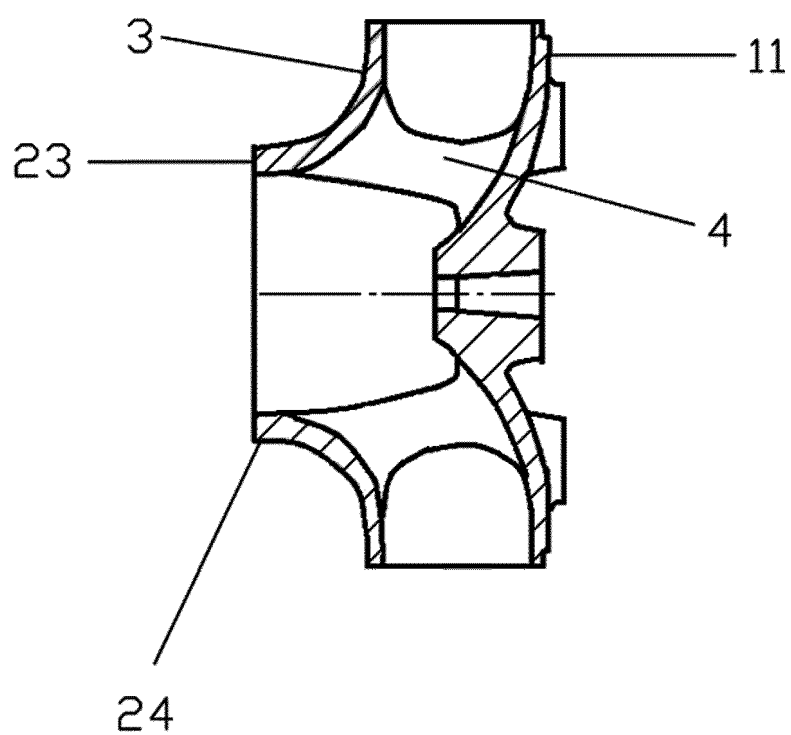


Fig. 3

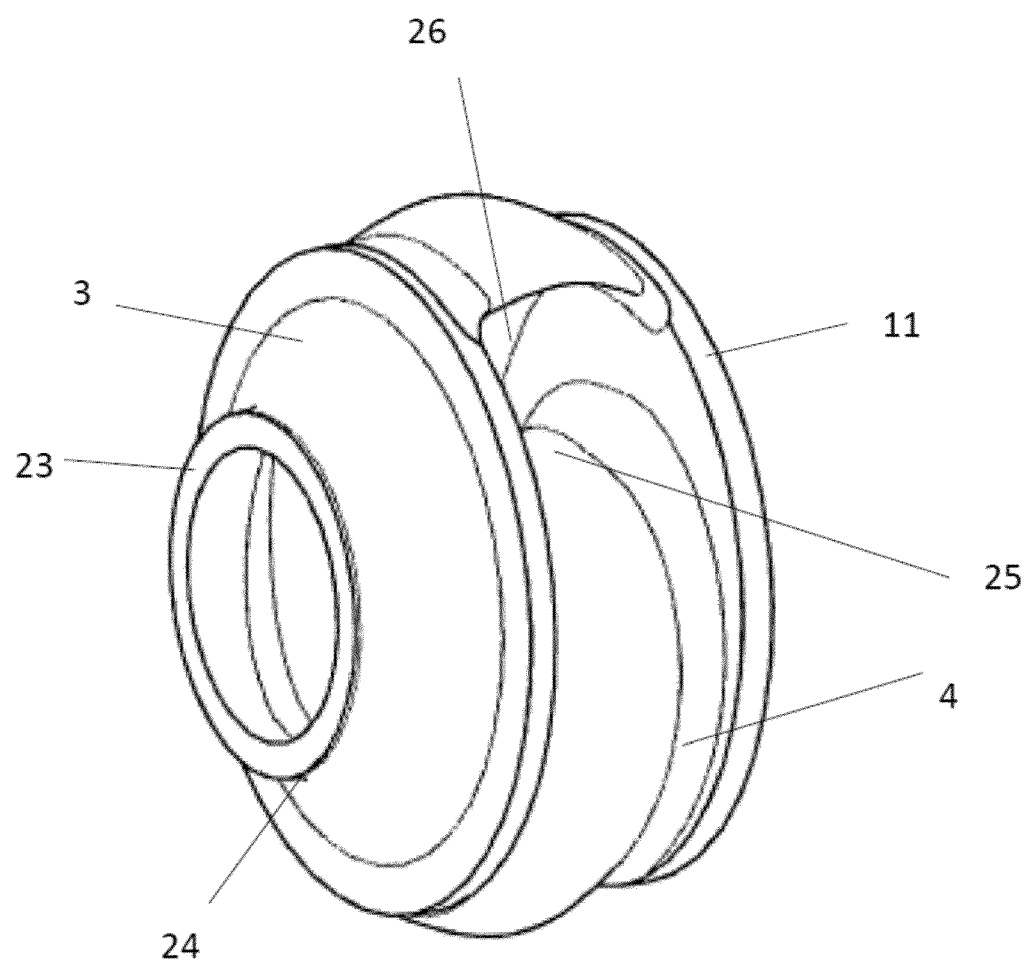


Fig. 4

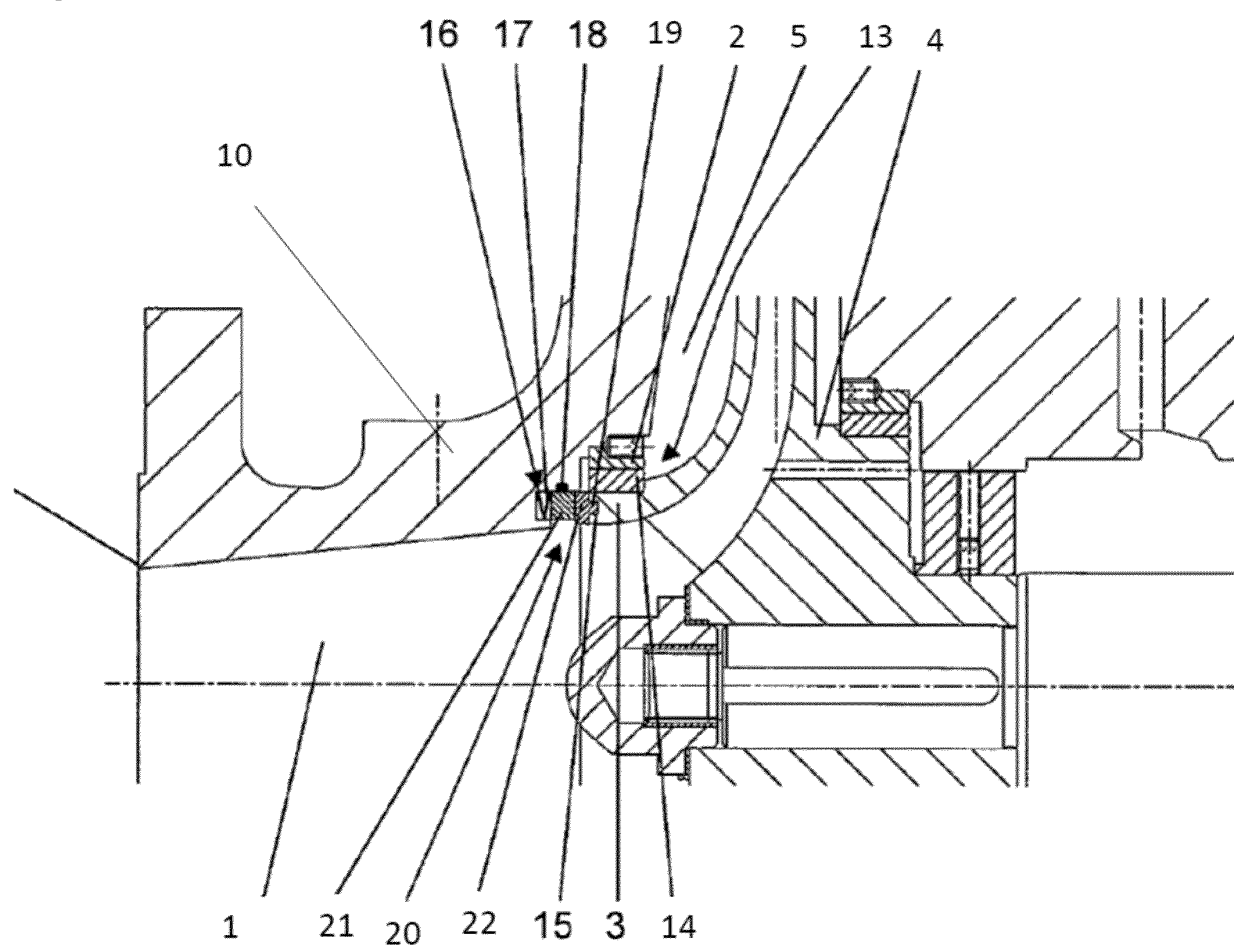
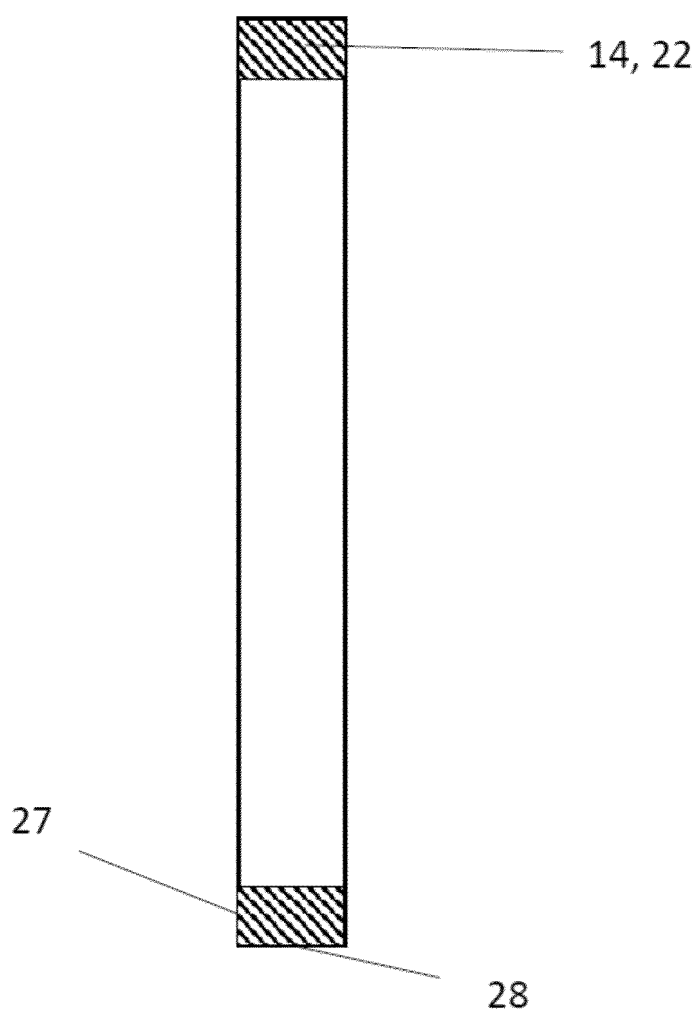


Fig. 5



**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 102017223602 A1 [0007]
- DE 102018214650 A1 [0008]
- WO 2014201458 A1 [0010]
- US 9677560 B1 [0011]