(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 091 235 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.03.2020 Patentblatt 2020/11

(21) Anmeldenummer: **15166269.9**

(22) Anmeldetag: **04.05.2015**

(51) Int Cl.:
F04D 19/04 *(2006.01)* ***F04D 29/32*** *(2006.01)*

(54) ROTORSCHEIBE

ROTOR DISC

DISQUE DE ROTOR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.11.2016 Patentblatt 2016/45

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

(72) Erfinder:
- **Hofmann, Jan**
  35305 Grünberg (DE)
- **Hofmann, Bernd**
  35578 Wetzlar (DE)
- **Ankel, Matthias**
  35756 Mittenaar (DE)

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

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 965 761
DE-A1- 2 046 693
DE-A1- 2 923 632
US-A- 3 623 826

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

EP 3 091 235 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Rotorscheibe für einen Rotor einer Vakuumpumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Rotorscheibe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

[0002] Eine beispielhafte Turbomolekular-Vakuumpumpe umfasst einen Rotor mit einer Rotorwelle, auf der mehrere Rotorscheiben axial versetzt angeordnet sind oder auf der genau eine Rotorscheibe angeordnet ist. Eine jeweilige Rotorscheibe weist eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln auf. Um vakuumtechnische Leistungswerte, wie z.B. Saugvermögen und Kompressionsverhältnis, zu gewährleisten, die über die radiale Erstreckung einer jeweiligen Schaufel möglichst konstant sind, ist es bekannt, die Schaufeln jeweils nach radial außen verjüngt, d.h. konisch, auszuführen. D.h. die Schaufel ist radial innen dicker und wird nach radial außen allmählich dünner. Die Herstellung einer Rotorscheibe mit derart geformten Schaufeln ist aufwendig und es sind kostenintensive Werkzeugmaschinen und Werkzeuge notwendig.

[0003] Des Weiteren sind stufenförmig ausgebildete Schaufeln grundsätzlich bekannt, deren Dickenprofil eine oder mehrere Stufen aufweist (vgl. US 3,623,826; DE 20 46 693 A1; DE 29 23 632 A1 und EP 0 965 761 A1).

[0004] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, die Herstellung einer Rotorscheibe für einen Rotor einer Vakuumpumpe zu vereinfachen.

[0005] Die Aufgabe wird durch eine Rotorscheibe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, und insbesondere dadurch, dass wenigstens eine Schaufel ein Dickenprofil mit zumindest einer zwei Abschnitte der Schaufel trennenden Stufe aufweist. Erfindungsgemäß ist die Schaufel relativ zu einer zumindest im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse verlaufenden Ebene schräg gestellt, wobei jeder Abschnitt einen Anstellwinkel aufweist und der Anstellwinkel des radial inneren Abschnitts größer ist als der Anstellwinkel des radial äußeren Abschnitts. Die Schaufel kann also mit anderen Worten "in sich verdreht" sein, wobei eine kontinuierliche "In-Sich-Verdrehung" durch eine gestufte angenähert und ersetzt werden kann, um den Herstellungsprozess weiter zu vereinfachen und dennoch ausreichend gute Leistungswerte der Vakuumpumpe zu gewährleisten. Als Anstellwinkel wird im Rahmen dieser Offenbarung der Winkel bezüglich einer zur Rotationsachse senkrecht verlaufenden Ebene betrachtet.

[0006] Eine erfindungsgemäße Rotorscheibe lässt sich besonders einfach herstellen. Denn wenn ein gestuftes Dickenprofil zugelassen wird, können die Bewegungsbahnen eines Bearbeitungswerkzeugs und die Art des Werkzeugs selbst deutlich vereinfach werden. Z.B. kann dadurch die Schaufel bei einer möglichen Ausführungsform der Erfindung durch lediglich eindimensionale Bearbeitungsschritte hergestellt werden, d.h. ein Werkzeug wird in einem Bearbeitungsschritt nur entlang einer geraden Strecke verfahren. Dadurch lässt sich z.B. eine sonst vollständig dreidimensionale Bearbeitungsbahn ersetzen, welche aufwendige und kostenintensive Bearbeitungsmaschinen mit vielen Bearbeitungsfreiheitsgraden erfordert.

[0007] Im Stand der Technik wird davon ausgegangen, dass eine Rotorscheibe mit kontinuierlich geformten - also nicht gestuften - Schaufeln die beste vakuumtechnische Performance liefert, ähnlich wie dies z.B. bei Turbinen der Fall ist. Erfindungsgemäß wurde jedoch erkannt, dass eine gestufte Schaufel die Performance einer Vakuumpumpe gegenüber einer kontinuierlich geformten wenn überhaupt nur in geringem Umfang verringert. Dagegen steht eine erhebliche Vereinfachung des Herstellungsvorgangs einer erfindungsgemäßen Rotorscheibe, wodurch sich die Herstellungskosten deutlich verringern.

[0008] Die Erfindung bedeutet daher eine Abkehr von der Vorstellung, nur Rotorscheiben mit kontinuierlich oder stetig verjüngenden Schaufeln könnten ausreichende vakuumtechnische Leistungswerte erreichen, wobei die erfindungsgemäße Überwindung dieses Vorurteils erhebliches Einsparpotential bei der Herstellung der Rotorscheiben mit sich bringt.

[0009] Die Anzahl der Stufen ist erfindungsgemäß grundsätzlich beliebig. Durch eine größere Anzahl von Stufen kann z.B. eine sich nach radial außen verjüngende, zumindest bei theoretischer Betrachtung gewissermaßen ideale Form der Schaufel immer weiter angenähert werden. Dabei wird grundsätzlich weiterhin der erfindungsgemäße Vorteil der einfachen Herstellbarkeit gewährleistet, auch wenn eine größere Anzahl von Stufen mit einem größeren Herstellungsaufwand verbunden ist.

[0010] Bevorzugt sind alle Schaufeln der Rotorscheibe identisch ausgeführt, wobei dies aber nicht zwingend ist.

[0011] Bei einer Ausführungsform ist das Dickenprofil durch gegenüberliegende Flachseiten der Schaufel definiert. Eine Flachseite kann zumindest mit einer ihrer Normalen eine axiale, d.h. zu einer Rotationsachse der Rotorscheibe parallele, Komponente aufweisen. Eine jeweilige Flachseite unterscheidet sich von einer Schmalseite der Schaufel, welche sich z.B. senkrecht zur Rotationsachse erstreckt. Schmalseite und Flachseite unterscheiden sich von zumindest einer Stirnseite einer Schaufel, die eine Begrenzung der Schaufel in radialer Richtung nach radial außen darstellen kann. Dabei sind Übergänge zwischen Flachseiten, Schmalseiten und der Stirnseite aber nicht notwendigerweise unstetig, also zum Beispiel als scharfe Kanten, ausgeführt, wobei eine solche Ausgestaltung erfindungsgemäß aber möglich ist.

[0012] Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Stufe an einer der Flachseiten und zwischen einem radial inneren dickeren Abschnitt und einem radial äußeren dünneren Abschnitt der Schaufel ausgebildet. Die Schaufel weist bei dieser Ausführungsform also eine nach radial außen abnehmende Dicke auf, wobei diese Abnahme nicht kontinuierlich, sondern gestuft ist.

[0013] In wenigstens einem der Abschnitte kann zumindest eine der Flachseiten eben sein. Dadurch wird der Herstellungsvorgang weiter vereinfacht.

[0014] Die Dicke ist insbesondere über eine radiale Erstreckung des jeweiligen Abschnitts konstant. Auch hierdurch wird der Herstellungsvorgang weiter vereinfacht, da z.B. bei der Bearbeitung ein Freiheitsgrad der Maschine entfallen kann.

[0015] Die beiden Abschnitte der Schaufel können jeweils einen parallelogrammförmigen Querschnitt aufweisen. Der Querschnitt kann aber auch von einer Parallelogrammform abweichen. Der Querschnitt kann z.B. rechteckig, trapezförmig oder unregelmäßig drei- oder mehreckig sein und/oder runde Begrenzungslinien aufweisen. Unter einem Querschnitt ist hier ein Schnitt durch die Schaufel senkrecht zu einem Radius der Rotorscheibe zu verstehen.

[0016] Bei einem Ausführungsbeispiel umfasst die Stufe zumindest eine Fase und/oder Rundung. Dadurch können scharfe Kanten vermieden und/oder die Stabilität der Schaufel verbessert werden.

[0017] Die Aufgabe wird auch durch eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit zumindest einem mehrere separate, übereinander angeordnete, an einer Rotorwelle angebrachte Rotorscheiben oder genau eine separate, an einer Rotorwelle angebrachte Rotorscheibe umfassenden Rotor gelöst, bei der wenigstens eine Rotorscheibe in erfindungsgemäßer Weise ausgebildet ist.

[0018] Die Aufgabe wird ferner gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 7 zur Herstellung einer Rotorscheibe für eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit zumindest einem mehrere separate, übereinander angeordnete, an einer Rotorwelle angebrachte Rotorscheiben oder genau eine separate, an einer Rotorwelle angebrachte Rotorscheibe umfassenden Rotor, oder zur Herstellung einer solchen Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, wobei die Rotorscheibe einstückig aus einer aus Vollmaterial bestehenden Scheibe hergestellt wird, und wobei an der Scheibe durch Materialwegnahme eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln ausgebildet wird, und wobei zumindest eine Schaufel mit einem in radialer Richtung von innen nach außen verlaufenden Dickenprofil versehen wird, das zumindest eine zwei Abschnitte der Schaufel trennende Stufe aufweist.

Die Scheibe kann insbesondere als Kreis- bzw. Zylinderscheibe ausgeführt sein und kann alternativ oder zusätzlich bereits vor Ausbilden der Schaufel eine zentrale, insbesondere kreisförmige Öffnung aufweisen, die z.B. der Durchführung einer Rotorwelle dient. Die Materialwegnahme kann spanende Bearbeitung, wie z.B. Sägen oder Fräsen umfassen, kann aber auch anders ausgeführt werden. Erfindungsgemäß werden zur Erzeugung unterschiedlicher Anstellwinkel für die einzelnen Abschnitte einer jeweiligen Schaufel für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedliche Orientierungen des Werkzeugs relativ zu einer zumindest im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse verlaufenden Ebene gewählt. Somit hängt der Anstellwinkel nicht vom Werkzeug selbst, sondern nur von dessen Ausrichtung ab. Mit anderen Worten kann das Werkzeug auf den jeweils gewünschten Anstellwinkel eingestellt werden.

[0019] Bei einer Ausführungsform wird zum Ausbilden einer jeweiligen Schaufel mit einem Werkzeug wenigstens ein Bearbeitungsvorgang durchgeführt, der umfasst, dass mit dem Werkzeug mit einer radialen Komponente in die Scheibe eingefahren wird. Bei dieser Ausführungsform ist es möglich, nur eine einzige Bewegungsachse des Werkzeugs vorzusehen, wobei zur Ausbildung mehrerer Schaufeln einfach die Scheibe gegenüber dem Werkzeug, insbesondere um ihre Rotationsachse, verdreht zu werden braucht. Die Bearbeitung erfordert in diesem Fall also nur zwei Freiheitsgrade, wodurch eine Maschine zur Herstellung besonders kostengünstig ist.

[0020] Alternativ oder zusätzlich kann mit dem Werkzeug mit einer axialen Komponente entsprechend einem Anstellwinkel der Schaufel durch die Scheibe durchgefahren werden. Auch hierbei lässt sich die Scheibe einfach zur Herstellung der jeweils nächsten Schaufel verdrehen. Falls gemäß einer Ausführungsform das Werkzeug zumindest ein Kreissägeblatt umfasst, ergibt sich hierbei der Vorteil, dass der Bearbeitungsgrund, also der Bereich, der einer radialen Bearbeitungstiefe entspricht, gerade ausgebildet werden kann.

[0021] Das Werkzeug kann ein Doppel- oder Zwillingswerkzeug mit zwei gleichzeitig wirksamen, unter einem Abstand zueinander angeordneten Einzelwerkzeugen umfassen. Die Einzelwerkzeuge können z.B. sich drehen, miteinander gekoppelt sein, drehstarr bzw. drehfest miteinander verbunden sein, über ein Getriebe verbunden sein, parallele Drehachsen aufweisen und/oder zusammenfallende Drehachsen aufweisen. Ein Werkzeug, insbesondere ein Einzelwerkzeug, kann z.B. eine Säge, ein Sägeblatt, einen Fräser, eine Doppelsäge, eine Zwillingssäge und/oder dergleichen jeweils in Ein- oder Mehrzahl umfassen. Der Abstand der Einzelwerkzeuge kann eine Dicke eines jeweiligen Abschnitts der Schaufel bestimmen, wobei zur Herstellung von unterschiedlich dicken Abschnitten der Abstand verstellbar sein kann und/oder Werkzeuge mit unterschiedlichem Abstand zwischen den Einzelwerkzeugen vorgehalten werden können.

[0022] Bei einem Ausführungsbeispiel sind zur Erzeugung von Schaufelabschnitten mit über deren radiale Erstreckung konstanter Dicke die Einzelwerkzeuge parallel angeordnet. "Parallel" kann sich dabei z.B. auf eine gegebenenfalls vorhandene Drehachse des jeweiligen Einzelwerkzeugs, auf eine Bearbeitungsfläche des Einzelwerkzeugs und/oder auf eine Erstreckungsrichtung oder -ebene des Einzelwerkzeugs beziehen. Eine Maschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dadurch weiter vereinfacht.

[0023] In einer Weiterbildung werden zum Ausbilden

der einzelnen Abschnitte einer jeweiligen Schaufel mehrere Bearbeitungsvorgänge zeitlich nacheinander durchgeführt, wobei sich die Bearbeitungsvorgänge hinsichtlich einer radialen Bearbeitungstiefe voneinander unterscheiden. Dabei kann eine Stufe des Dickenprofils bei einer jeweiligen radialen Bearbeitungstiefe oder durch eine jeweilige radiale Bearbeitungstiefe ausgebildet werden. Die Bearbeitungsvorgänge können sich alternativ oder zusätzlich in einem Abstand zwischen Einzelwerkzeugen unterscheiden. Jedem Abschnitt der Schaufel kann z.B. ein Bearbeitungsvorgang zugeordnet sein.

[0024] Außerdem können für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedliche Werkzeuge und/oder unterschiedliche Einstellungen eines Werkzeugs verwendet werden. Unterschiede können z.B. in einer Art, einer Zähnezahl, einem Durchmesser und/oder einem Abstand der Einzelwerkzeuge bestehen.

[0025] Bei einer Ausführungsform wird für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge jeweils ein Doppel- oder Zwillingswerkzeug mit zwei gleichzeitig wirksamen, unter einem Abstand zueinander angeordneten Einzelwerkzeugen verwendet, wobei der Abstand für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedlich eingestellt wird. Das Herstellungsverfahren lässt sich dadurch beschleunigen. Z.B. kann ein jeweiliger Bearbeitungsvorgang erst für eine Mehrzahl der, insbesondere für alle, Schaufeln der Rotorscheibe durchgeführt werden, bevor ein weiterer Bearbeitungsvorgang für die betreffenden Schaufeln durchgeführt wird.

[0026] Das Verfahren kann z.B. entsprechend den vorstehend genannten Ausführungsformen der Vorrichtung weiter verbessert werden, und umgekehrt können die Rotorscheibe und die Vakuumpumpe entsprechend den hier beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens hergestellt bzw. weitergebildet werden.

[0027] Ein Beispiel betrifft auch einen Rotor einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, mit einer Rotorwelle, an der entweder genau eine separate, erfindungsgemäß ausgebildete Rotorscheibe angebracht ist, oder an der mehrere separate, übereinander angeordnete, jeweils erfindungsgemäß ausgebildete Rotorscheiben angebracht sind. Insbesondere - aber nicht nur - dann, wenn der Rotor nur genau eine Rotorscheibe umfasst, kann sich an die den Rotor umfassende Turbomolekularpumpstufe der Vakuumpumpe in Pumprichtung eine Molekularpumpstufe z.B. vom Holweck-Typ anschließen. Dabei kann die Rotorwelle der Turbomolekularpumpstufe gleichzeitig eine Welle der Molekularpumpstufe bilden, d.h. die Turbomolekularpumpstufe und die Molekularpumpstufe besitzen in einem solchen Ausführungsbeispiel dann eine gemeinsame Welle.

[0028] Weitere Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Figuren angegeben.

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend lediglich beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe in einem Querschnitt.

Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Rotorscheibe in einer isometrischen Ansicht.

Fig. 3 zeigt die Rotorscheibe von Fig. 2 in einer Draufsicht.

Fig. 4 zeigt die Rotorscheibe von Fig. 2 in einer Schnittansicht.

Fig. 5 zeigt Abschnitte einer erfindungsgemäßen Rotorschaufel mit unterschiedlichen Anstellwinkeln.

Fig. 6 zeigt einen Bearbeitungsvorgang zum Ausbilden einer Rotorschaufel gemäß der Erfindung.

Fig. 7 zeigt einen weiteren Bearbeitungsvorgang zum Ausbilden eines Abschnitts der Rotorschaufel gemäß der Erfindung.

Fig. 8 zeigt ein Werkzeug, welches erfindungsgemäß in einer dem Anstellwinkel einer Schaufel entsprechenden Orientierung arbeitet.

[0030] Die in Fig. 1 gezeigte, als Turbomolekularpumpe 10 ausgebildete Vakuumpumpe umfasst einen von einem Einlassflansch 32 umgebenen Pumpeneinlass 34 sowie mehrere Pumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 34 anstehenden Gases zu einem Pumpenauslass 35. Die Turbomolekularpumpe 10 umfasst einen Stator mit einem statischen Gehäuse 36 und einen in dem Gehäuse 36 angeordneten Rotor mit einer um eine Rotationsachse R drehbar gelagerten Rotorwelle 14.

[0031] Die Turbomolekularpumpe 10 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren mit der Rotorwelle 14 verbundenen turbomolekularen Rotorscheiben 12 und mehreren in axialer Richtung zwischen den Rotorscheiben 12 angeordneten und in dem Gehäuse 16 festgelegten turbomolekularen Statorscheiben 38, die durch Distanzringe 40 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten sind. Die Rotorscheiben 12 und Statorscheiben 38 stellen in einem Schöpfbereich 42 eine in Richtung der Pumprichtung P gerichtete axiale Pumpwirkung bereit.

[0032] Die Turbomolekularpumpe 10 umfasst zudem drei in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Der rotorseitige Teil der Holweck-Pumpstufen umfasst zwei an der Rotorwelle 14 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 46, 48, die koaxial zu der Rotationsachse R orientiert und ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 50, 52 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse R orientiert und ineinander geschachtelt sind. Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind jeweils durch die einander unter Ausbildung eines engen radialen Holweck-Spalts gegenüberliegenden radialen Mantelflächen, nämlich jeweils einer Holweck-Rotorhülse 46, 48 und einer Holweck-Statorhülse 50, 52, gebildet.

Dabei ist jeweils eine der pumpaktiven Oberflächen glatt ausgebildet, im vorliegenden Fall beispielsweise die der Holweck-Rotorhülse 46 bzw. 48, wobei die gegenüberliegende pumpaktive Oberfläche der jeweiligen Holweck-Statorhülse 50 bzw. 52 eine Strukturierung mit schraubenlinienförmig um die Rotationsachse R herum in axialer Richtung verlaufenden Nuten aufweist, in denen durch die Rotation des Rotors das Gas vorangetrieben und dadurch gepumpt wird.

[0033] Die drehbare Lagerung der Rotorwelle 14 wird durch ein Wälzlager 54 im Bereich des Pumpenauslasses 35 und ein Permanentmagnetlager 56 im Bereich des Pumpeneinlasses 34 bewirkt.

[0034] Das Permanentmagnetlager 56 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 60 und eine statorseitige Lagerhälfte 58, die jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen umfassen, wobei die Magnetringe unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts einander gegenüberliegen.

[0035] Innerhalb des Permanentmagnetlagers 56 ist ein Not- oder Fanglager 62 vorgesehen, das als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet ist und im normalen Betrieb der Vakuumpumpe ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors gegenüber dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor zu bilden, der eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert.

[0036] Im Bereich des Wälzlagers 54 ist an der Rotorwelle 14 eine konische Spritzmutter 64 mit einem zu dem Wälzlager 54 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen, die mit einem Abstreifer eines mehrere mit einem Betriebsmittel, wie z.B. einem Schmiermittel, getränkte saugfähige Scheiben 66 umfassenden Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt steht. Im Betrieb wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 64 übertragen und infolge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 64 in Richtung des größer werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 64 zu dem Wälzlager 54 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt.

[0037] Die Turbomolekularpumpe 10 umfasst einen Antriebsmotor 68 zum drehenden Antreiben des Rotors, dessen Läufer durch die Rotorwelle 14 gebildet ist. Eine nicht dargestellte Steuereinheit steuert den Antriebsmotor 68 an.

[0038] Eine jeweilige Rotorscheibe 12 umfasst eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln 16, von denen in der Schnittansicht der Fig. 1 zwei Schaufeln 16 der Rotorscheibe 12 sichtbar sind. Eine jeweilige Schaufel 16 weist zwei Stufen 22 auf (nur eine Stufe 22 ist in Fig. 1 sichtbar), die zwei Abschnitte der Schaufel 16 trennen. Die Stufen 22 der Schaufeln 16 der Rotorscheiben 12 sind in diesem Beispiel alle mit demselben Abstand zur Rotationsachse R angeordnet, wobei aber auch unterschiedliche Abstände denkbar sind. Die Stufen 22 verlaufen außerdem parallel zur Rotationsachse R, wobei auch ein anderer Verlauf, z.B. schräg zur Rotationsachse, möglich ist.

[0039] Fig. 2 zeigt eine Rotorscheibe 12 z.B. für den Einsatz in einer Turbomolekularpumpe 10 gemäß Fig. 1. Die Rotorscheibe 12 umfasst eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln 16, die radial innen an einer Rotornabe 27 entspringen und sich nach radial außen erstrecken.

[0040] Eine jeweilige Schaufel 16 umfasst zwei Schmalseiten 23, die die Schaufel 16 in axialer Richtung begrenzen und sich senkrecht zu der Rotationsachse R erstrecken. Die Schaufel 16 umfasst außerdem zwei Flachseiten 24 und eine nach radial außen weisende Stirnseite 25.

[0041] Jede Schaufel 16 umfasst zwei in radialer Richtung aufeinander folgende Abschnitte 18, 20, die durch an den Flachseiten 24 ausgebildete Stufen 22 definiert sind. Der radial innere Abschnitt 18 ist dicker ausgeführt als der radial äußere Abschnitt 20. Die Stufen 22 haben also zur Folge, dass die Schaufel 16 gewissermaßen nach radial außen hin schmaler und so einer kontinuierlich nach außen verjüngten Form angenähert wird, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist.

[0042] Ein jeweiliger Abschnitt 18, 22 weist zwei ebene und zueinander parallele Flachseiten 24 auf. Ein senkrecht zu einem Radius der Rotorscheibe 12 verlaufender Querschnitt eines jeweiligen Abschnitts 18, 20 weist die Form eines Parallelogramms auf, da die Schaufeln 16 schräg gestellt sind und die Schmalseiten 23 der Schaufeln 16 in einer senkrecht zur Rotationsachse R verlaufenden Ebene liegen (vgl. auch Fig. 5).

[0043] Die Schaufeln 16 sind also in Bezug auf eine zur Rotationsachse R senkrechte Ebene schräg ausgerichtet und weisen zu dieser Ebene einen Anstellwinkel auf, der im radial inneren Abschnitt 18 größer ist als im radial äußeren Abschnitt 20. Die Winkelverhältnisse der Schaufeln 16 sind in Fig. 5 näher erläutert.

[0044] In Fig. 3 ist die Rotorscheibe 12 der Fig. 2 in einer Draufsicht gezeigt. Die Schaufeln 16 sind mit ihren durch die Stufen 22 getrennten Abschnitten 18, 20 über den Umfang gleichmäßig verteilt angeordnet. Die Schaufeln 16 sind zudem identisch ausgeführt.

[0045] In Fig. 4 ist die Rotorscheibe 12 in einer Schnittansicht entlang der in Fig. 3 angedeuteten Schnittebene S gezeigt. Die gegenüberliegenden Schmalseiten 23 der Schaufeln 16 sind parallel zueinander und senkrecht zur Rotationsachse R ausgerichtet.

[0046] Fig. 5 veranschaulicht die Relativorientierung eines radial inneren Abschnitts 18 zu einem radial äußeren Abschnitt 20. Fig. 5 stellt dabei eine vereinfachte Seitenansicht einer Schaufel 16 von radial außen dar.

[0047] Der radial innere Abschnitt 18 weist eine größere Dicke als der radial äußere Abschnitt 20 auf. Außerdem weist der radial innere Abschnitt 18 einen Anstellwinkel A1 auf, der in Bezug auf eine zur Rotationsachse R senkrechte und zu einer Schmalseite 23 der Schaufel 16 parallele Ebene gemessen wird und der grö-

ßer ist als ein Anstellwinkel A2 des radial äußeren Abschnitts 20. Die Abschnitte 18, 20 sind durch Stufen 22 getrennt, von denen jeweils eine zur Bildebene im Wesentlichen parallele Stufenfläche sichtbar ist.

[0048] Der radial äußere Abschnitt 20 ist als ein Parallelogramm dargestellt, welches schmaler als ein den radial inneren Abschnitt 18 repräsentierendes Parallelogramm ist. Die Abschnitte 18, 20 enden in tangentialer Richtung, d.h. im Bild rechts bzw. links, in jeweils einem gemeinsamen Punkt. Dadurch wird eine maximale Differenz zwischen den Anstellwinkeln A1 und A2 der Abschnitte 18, 20 erreicht, was wiederum zu einem vorteilhaften Überlappungsverhältnis der Rotorscheibe 16 führt. Außerdem ist es somit möglich, die Schaufel 16 durch zwei lineare Bearbeitungsvorgänge auszubilden.

[0049] Unterschiedliche Anstellwinkel A1, A2 der beiden Abschnitte 18, 20 sind aber nicht zwingend, d.h. die Anstellwinkel A1, A2 der beiden Abschnitte können auch gleich groß sein.

[0050] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung einer Rotorscheibe 12 wird anhand der Fig. 6 bis 8 näher erläutert. Die Fig. 6 und 7 sind jeweils eine Draufsicht auf eine Scheibe parallel zur Rotationsachse der Scheibe, während Fig. 8 eine Ansicht in radialer Richtung und somit senkrecht zur Rotationsachse der Scheibe ist.

[0051] In Fig. 6 ist gezeigt, wie ein zwei Sägeblätter 28 umfassendes Doppelwerkzeug in eine Scheibe 26, welche als Halbzeug zur Herstellung einer Rotorscheibe 12 dient, in radialer Richtung eingefahren oder durch diese in axialer Richtung durchgefahren wird. Die Sägeblätter 28 weisen dabei eine maximale radiale Bearbeitungstiefe auf, die einem radial inneren Ende einer Schaufel 16 und somit einem Schaufelgrund entspricht. Die Sägeblätter 28 weisen einen Abstand zueinander auf, der einer Dicke des radial inneren Abschnitts 18 entspricht. Die Sägeblätter 28 können auf einer gemeinsamen Antriebswelle drehfest angebracht oder auch unabhängig voneinander angetrieben sein.

[0052] Nach dem in Fig. 6 veranschaulichten Bearbeitungsvorgang, welcher im Folgenden als erster Bearbeitungsvorgang bezeichnet wird, kann ein zweiter Bearbeitungsvorgang, wie er in Fig. 7 veranschaulicht ist, durchgeführt werden. In Fig. 7 weist ein Doppelwerkzeug zwei Sägeblätter 28 auf, die einen Abstand zueinander aufweisen, der kleiner ist als der Abstand zwischen den Sägeblättern 28 gemäß Fig. 6. Durch den hier kleineren Abstand zwischen den Sägeblättern 28 wird einem zweiten, radial äußeren Abschnitt 20 der Schaufel 16 eine kleinere Dicke verliehen. Zur Ausbildung des radial äußeren Abschnitts 20 weist der zweite Bearbeitungsvorgang eine radiale Bearbeitungstiefe auf, die kleiner ist als beim ersten Bearbeitungsvorgang. Dadurch wird ein radial äußerer Abschnitt 20 ausgebildet, der dünner ist als der radial innere Abschnitt 18, der durch den zweiten Bearbeitungsvorgang gewissermaßen "stehen gelassen" wird. Zwischen den Abschnitten 18, 20 verbleiben zwei Stufen 22, nämlich eine Stufe 22 auf jeder Flachseite 24, welche die Abschnitte 18, 20 in radialer Richtung trennen.

[0053] Die Fig. 6 und 7 dienen insofern lediglich zur Veranschaulichung eines erfindungsgemäßen Herstellungskonzeptes, als die so hergestellten Abschnitte 18, 20 parallel zur Rotationsachse der Scheibe verlaufende Flachseiten, d.h. einen Anstellwinkel von 90° besitzen.

[0054] Wie bei einem Herstellungsverfahren gemäß den Fig. 6 und 7 eine Schaufel 16 mit einem weniger als 90° betragenden Anstellwinkel A2 eines hier beispielhaft herangezogenen radial äußeren Abschnitts 20 hergestellt werden kann, veranschaulicht Fig. 8. Zwei Sägeblätter 28 sind parallel und unter einem Abstand zueinander angeordnet, der der Dicke des radial äußeren Abschnitts 20 entspricht. Die Sägeblätter 28 sind entsprechend dem erwünschten Anstellwinkel A2 des radial äußeren Abschnitts 20 zur Rotationsachse der Scheibe 26 bzw. zu einer senkrecht zur Rotationsachse verlaufenden Ebene ausgerichtet. Um den radial äußeren Abschnitt 20 auszubilden, werden die Sägeblätter 28, welche z.B. auf einer gemeinsamen Antriebswelle angeordnet sind, in der Bearbeitungsrichtung Q durch die Scheibe 26 durchgefahren oder senkrecht zur Bildebene eingefahren, wobei eine maximale radiale Bearbeitungstiefe beibehalten bzw. erreicht wird.

[0055] Das Werkzeug kann grundsätzlich während des Bearbeitungsvorgangs zusätzlich um eine radiale, d.h. in Fig. 8 zur Bildebene senkrechte, Achse, insbesondere kontinuierlich verdreht werden, während das Werkzeug in die Scheibe 26 eingefahren oder durch diese durchgefahren wird. Dabei ist es auch möglich, dass das Werkzeug über bestimmte radiale Strecken nicht verdreht wird, wodurch also abwechselnd gerade Abschnitte und verschränkte bzw. um einen, insbesondere kleinen, Winkel gewundene Abschnitte entstehen. Bevorzugt sind jedoch jeweils lineare Werkzeugbewegungen.

[0056] Der in Fig. 8 gezeigte Bearbeitungsvorgang entspricht einem zweiten Bearbeitungsvorgang gemäß Fig. 7. Ein erster Bearbeitungsvorgang zum Ausbilden eines radial inneren Abschnitts 18 kann analog zu diesem zweiten Bearbeitungsvorgang durchgeführt werden, wobei die Sägeblätter 28 jedoch in einem Anstellwinkel A1, z.B. gemäß Fig. 5, ausgerichtet und z.B. entlang einer entsprechend steileren Bearbeitungsrichtung Q durch die Scheibe 26 hindurchgefahren werden. Der Abstand der Sägeblätter 28 zueinander entspricht dabei der Dicke des radial inneren Abschnitts 18.

[0057] Anhand des beispielhaft beschriebenen Herstellungsverfahrens für eine Rotorscheibe 12 einer Turbomolekularpumpe 10 ist ersichtlich, dass zwei besonders einfache Bearbeitungsvorgänge ausreichen, um die Schaufeln 16 von Rotorscheiben 12 für leistungsfähige Turbomolekularpumpen 10 herzustellen. Ein jeweiliger der beschriebenen Bearbeitungsvorgänge weist dabei lediglich einen linearen Verfahrweg des Werkzeugs auf. Zwischen den Bearbeitungsvorgängen muss lediglich der Abstand der Sägeblätter 28 sowie ihre Winkelorientierung bezüglich der Scheibe 26 eingestellt werden, um

anschließend im zweiten Bearbeitungsvorgang wiederum eine lediglich lineare Bearbeitung durchzuführen. Dabei kann es vorteilhaft sein, den ersten Bearbeitungsvorgang für alle Schaufeln 16 der jeweiligen Rotorscheibe 12 durchzuführen, bevor der zweite Bearbeitungsvorgang für alle Schaufeln 16 durchgeführt wird. Zwischen einem ersten Bearbeitungsvorgang für eine erste Schaufel 16 und einem ersten Bearbeitungsvorgang für eine zweite Schaufel 16 kann die Scheibe 26 um die Rotationsachse R gegenüber dem Werkzeug verdreht werden, wobei aber alternativ auch das Werkzeug um die Scheibe 26 herumgeführt werden kann. Auch die Orientierung des Werkzeugs entsprechend einem Anstellwinkel A1, A2 kann durch ein entsprechendes Ausrichten der Scheibe 26 und/oder durch Ausrichten des Werkzeugs eingestellt werden.

Bezugszeichenliste

[0058]

10	Turbomolekularpumpe
12	Rotorscheibe
14	Rotorwelle
16	Schaufel
18	radial innerer Abschnitt
20	radial äußerer Abschnitt
22	Stufe
23	Schmalseite
24	Flachseite
25	Stirnseite
26	Scheibe
27	Rotornabe
28	Sägeblatt
32	Einlassflansch
34	Pumpeneinlass
35	Pumpenauslass
36	Gehäuse
38	Statorscheibe
40	Distanzring
42	Schöpfbereich
46	Holweck-Rotorhülse
48	Holweck-Rotorhülse
50	Holweck-Statorhülse
52	Holweck-Statorhülse
54	Wälzlager
56	Permanentmagnetlager
58	statorseitige Permanentmagnetlagerhälfte
60	rotorseitige Permanentmagnetlagerhälfte
62	Fanglager
64	Spritzmutter
66	saugfähige Scheibe
68	Antriebsmotor
A1	Anstellwinkel
A2	Anstellwinkel
P	Pumprichtung
Q	Bearbeitungsrichtung
R	Rotationsachse
S	Schnittebene

Patentansprüche

1. Rotorscheibe (12) für einen mehrere separate, übereinander angeordnete, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Rotorscheiben (12) oder genau eine separate, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Rotorscheibe (12) umfassenden Rotor einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe (10), wobei die Rotorscheibe (12) eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln (16) umfasst, die jeweils ein in radialer Richtung von innen nach außen verlaufendes Dickenprofil aufweisen, und
wobei wenigstens eine Schaufel (16) ein Dickenprofil mit zumindest einer zwei Abschnitte (18, 20) der Schaufel (16) trennenden Stufe (22) aufweist, wobei die Schaufel (16) relativ zu einer zumindest im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse (R) verlaufenden Ebene schräg gestellt ist, wobei jeder Abschnitt (18, 20) einen Anstellwinkel aufweist und **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anstellwinkel (A1) des radial inneren Abschnitts (18) größer ist als der Anstellwinkel (A2) des radial äußeren Abschnitts (20).

2. Rotorscheibe (12) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Dickenprofil durch gegenüberliegende Flachseiten der Schaufel (16) definiert ist.

3. Rotorscheibe (12) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Stufe (22) an einer der Flachseiten und zwischen einem radial inneren dickeren Abschnitt (18) und einem radial äußeren dünneren Abschnitt (20) der Schaufel (16) ausgebildet ist.

4. Rotorscheibe (12) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Dicke über eine radiale Erstreckung des jeweiligen Abschnitts (18, 20) konstant ist.

5. Rotorscheibe (12) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Stufe (22) zumindest eine Fase und/oder Rundung umfasst.

6. Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe (10), mit zumindest einem mehrere separate, übereinander angeordnete, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Rotorscheiben (12) oder genau eine separate, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Ro-

torscheibe (12) umfassenden Rotor, wobei wenigstens eine Rotorscheibe (12) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche ausgebildet ist.

7. Verfahren zur Herstellung einer Rotorscheibe (12) für eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe (10), mit zumindest einem mehrere separate, übereinander angeordnete, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Rotorscheiben (12) oder genau eine separate, an einer Rotorwelle (14) angebrachte Rotorscheibe (12) umfassenden Rotor, oder zur Herstellung einer solchen Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe (10),
wobei die Rotorscheibe (12) einstückig aus einer aus Vollmaterial bestehenden Scheibe (26) hergestellt wird, und
wobei an der Scheibe (26) durch Materialwegnahme eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Schaufeln (16) ausgebildet wird, und wobei zumindest eine Schaufel (16) mit einem in radialer Richtung von innen nach außen verlaufenden Dickenprofil versehen wird, das zumindest eine zwei Abschnitte (18, 20) der Schaufel (16) trennende Stufe (22) aufweist,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Erzeugung unterschiedlicher Anstellwinkel (A1, A2) für die einzelnen Abschnitte (18, 20) einer jeweiligen Schaufel (16) für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedliche Orientierungen des Werkzeugs relativ zu einer zumindest im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse (R) verlaufenden Ebene gewählt werden, so dass dass die Schaufel (16) relativ zu einer zumindest im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse (R) verlaufenden Ebene schräg gestellt ist, wobei jeder Abschnitt (18, 20) einen Anstellwinkel aufweist und der Anstellwinkel (A1) des radial inneren Abschnitts größer ist als der Anstellwinkel (A2) des radial äußeren Abschnitts (20).

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
zum Ausbilden einer jeweiligen Schaufel (22) mit einem Werkzeug (28) wenigstens ein Bearbeitungsvorgang durchgeführt wird, der umfasst, dass mit dem Werkzeug (28) mit einer radialen Komponente in die Scheibe (26) eingefahren und/oder mit einer axialen Komponente entsprechend einem Anstellwinkel (A1, A2) der Schaufel (16) durch die Scheibe (26) durchgefahren wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Werkzeug ein Doppel- oder Zwillingswerkzeug mit zwei gleichzeitig wirksamen, unter einem Abstand zueinander angeordneten Einzelwerkzeugen (28) umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Erzeugung von Schaufelabschnitten (18, 20) mit über deren radiale Erstreckung konstanter Dicke die Einzelwerkzeuge (28) parallel angeordnet sind.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
zum Ausbilden der einzelnen Abschnitte (18, 20) einer jeweiligen Schaufel (16) mehrere Bearbeitungsvorgänge zeitlich nacheinander durchgeführt werden, wobei sich die Bearbeitungsvorgänge hinsichtlich einer radialen Bearbeitungstiefe voneinander unterscheiden.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedliche Werkzeuge und/oder unterschiedliche Einstellungen eines Werkzeugs verwendet werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge jeweils ein Doppel- oder Zwillingswerkzeug mit zwei gleichzeitig wirksamen, unter einem Abstand zueinander angeordneten Einzelwerkzeugen (28) verwendet wird, wobei der Abstand für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterschiedlich eingestellt wird.

Claims

1. A rotor disk (12) for a rotor of a vacuum pump, in particular of a turbomolecular pump (10), comprising a plurality of separate rotor disks (12) arranged above one another and attached to a rotor shaft (14) or exactly one separate rotor disk (12) attached to a rotor shaft (14),
wherein the rotor disk (12) comprises a plurality of blades (16) which are arranged distributed in the peripheral direction and which each have a thickness profile extending from the inside to the outside in the radial direction;
wherein at least one blade (16) has a thickness profile having at least one step (22) which separates two sections (18, 20) of the blade (16);
wherein the blade (16) is inclined relative to a plane extending at least substantially perpendicular to an axis of rotation (R); and
wherein each section (18, 20) has an blade angle,
characterized in that the blade angle (A1) of the radially inner section (18) is larger than the blade angle (A2) of the radially outer section (20).

2. A rotor disk (12) in accordance with claim 1,
characterized in that
the thickness profile is defined by oppositely dis-

posed flat sides of the blade (16).

3. A rotor disk (12) in accordance with claim 1 or claim 2, **characterized in that** the step (22) is formed at one of the flat sides and between a radially inner thicker section (18) and a radially outer thinner section (20) of the blade (16).

4. A rotor disk (12) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the thickness is constant over a radial extent of the respective section (18, 20).

5. A rotor disk (12) in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the step (22) comprises at least one chamfer and/or rounded portion.

6. A vacuum pump, in particular a turbomolecular pump (10), having at least one rotor comprising a plurality of separate rotor disks (12) arranged above one another and attached to a rotor shaft (14) or exactly one separate rotor disk (12) attached to a rotor shaft (14), wherein at least one rotor disk (12) is configured in accordance with any one of the preceding claims.

7. A method of manufacturing a rotor disk (12) for a vacuum pump, in particular for a turbomolecular pump (10), having at least one rotor comprising a plurality of separate rotor disks (12) arranged above one another and attached to a rotor shaft (14) or exactly one separate rotor disk (12) attached to a rotor shaft (14), or of manufacturing such a vacuum pump, in particular a turbomolecular pump (10), wherein the rotor disk (12) is manufactured in one piece from a disk (26) comprising a solid material; wherein a plurality of blades (16) arranged distributed in the peripheral direction are formed at the disk (26) by material removal; and wherein at least one blade (16) is provided with a thickness profile extending from the inside to the outside in the radial direction and having at least one step (22) which separates two sections (18, 20) of the blade (16), **characterized in that** different orientations of the tool relative to a plane extending at least substantially perpendicular to an axis of rotation (R) are selected for the individual machining processes to produce different blade angles (A1, A2) for the individual sections (18, 20) of a respective blade (16) such that the blade (16) is inclined relative to a plane extending at least substantially perpendicular to an axis of rotation (R), with each section (18, 20) having an blade angle and the blade angle (A1) of the radially inner section being larger than the blade angle (A2) of the radially outer section (20).

8. A method in accordance with claim 7, **characterized in that** at least one machining process is carried out by a tool (28) to form a respective blade (22), said at least one machining process comprising the tool (28) being moved with a radial component into the disk (26) and/or the tool (28) being moved with an axial component in accordance with an blade angle (A1, A2) of the blade (16) through the disk (26).

9. A method in accordance with claim 7 or claim 8, **characterized in that** the tool comprises a double tool or twin tool having two simultaneously active individual tools (28) arranged at a spacing from one another.

10. A method in accordance with claim 9, **characterized in that** the individual tools (28) are arranged in parallel to produce blade sections (18, 20) having a constant thickness over their radial extent.

11. A method in accordance with any one of the claims 7 to 10, **characterized in that** a plurality of machining processes are carried out after one another in time to form the individual sections (18, 20) of a respective blade (16), with the machining processes differing from one another with respect to a radial machining depth.

12. A method in accordance with claim 11, **characterized in that** different tools and/or different settings of a tool are used for the individual machining processes.

13. A method in accordance with claim 11 or claim 12, **characterized in that** a respective double tool or twin tool having two simultaneously active individual tools (28) arranged at a spacing from one another is used for the individual machining processes, with the spacing being set differently for the individual machining processes.

Revendications

1. Disque de rotor (12) pour un rotor d'une pompe à vide, en particulier d'une pompe turbomoléculaire (10), rotor qui comprend plusieurs disques de rotor (12) distincts superposés montés sur un arbre de rotor (14) ou précisément un disque de rotor (12) distinct monté sur un arbre de rotor (14), dans lequel le disque de rotor (12) comprend une pluralité d'aubes (16) disposées en répartition en direction

périphérique et présentant chacune un profil d'épaisseur s'étendant en direction radiale depuis l'intérieur vers l'extérieur, et au moins une aube (16) présente un profil d'épaisseur ayant au moins un étage (22) séparant deux portions (18, 20) de l'aube (16),
l'aube (16) est posée en oblique par rapport à un plan s'étendant au moins sensiblement perpendiculairement à un axe de rotation (R),
chaque portion (18, 20) présente un angle de pose,
caractérisé en ce que
l'angle de pose (A1) de la portion (18) radialement intérieure est supérieur à l'angle de pose (A2) de la portion (20) radialement extérieure.

2. Disque de rotor (12) selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
le profil d'épaisseur est défini par des faces plates opposées de l'aube (16).

3. Disque de rotor (12) selon la revendication 1 ou 2,
caractérisé en ce que
l'étage (22) est réalisé sur l'une des faces plates et entre une portion (18) radialement intérieure plus épaisse et une portion (20) radialement extérieure plus mince de l'aube (16).

4. Disque de rotor (12) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
l'épaisseur est constante sur une extension radiale de la portion respective (18, 20).

5. Disque de rotor (12) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
l'étage (22) présente au moins un chanfrein et/ou un arrondi.

6. Pompe à vide, en particulier pompe turbomoléculaire (10), comportant au moins un rotor qui comprend plusieurs disques de rotor (12) distincts superposés montés sur un arbre de rotor (14) ou précisément un disque de rotor (12) distinct monté sur un arbre de rotor (14),
dans laquelle
au moins un disque de rotor (12) est réalisé selon l'une des revendications précédentes.

7. Procédé pour réaliser un disque de rotor (12) pour une pompe à vide, en particulier pour une pompe turbomoléculaire (10), comportant au moins un rotor qui comprend plusieurs disques de rotor (12) distincts superposés montés sur un arbre de rotor (14) ou précisément un disque de rotor (12) distinct monté sur un arbre de rotor (14), ou pour réaliser une telle pompe à vide, en particulier une telle pompe turbomoléculaire (10),
dans lequel
le disque de rotor (12) est réalisé d'un seul tenant à partir d'un disque (26) constitué en matériau massif, et
une pluralité d'aubes (16) disposées en répartition en direction périphérique sont réalisées par enlèvement de matière, et
au moins une aube (16) est pourvue d'un profil d'épaisseur s'étendant en direction radiale depuis l'intérieur vers l'extérieur et ayant au moins un étage (22) séparant deux portions (18, 20) de l'aube (16),
caractérisé en ce que
pour réaliser différents angles de pose (A1, A2) pour les portions individuelles (18, 20) d'une aube respective (16), différentes orientations de l'outil par rapport à un plan s'étendant au moins sensiblement perpendiculairement à un axe de rotation (R) sont choisies pour les différentes opérations d'usinage, de sorte que l'aube (16) est posée en oblique par rapport à un plan s'étendant au moins sensiblement perpendiculairement à un axe de rotation (R), chaque portion (18, 20) présentant un angle de pose, et l'angle de pose (A1) de la portion radialement intérieure étant supérieur à l'angle de pose (A2) de la portion radialement extérieure (20).

8. Procédé selon la revendication 7,
caractérisé en ce que
pour réaliser une aube respective (22) avec un outil (28), au moins une opération d'usinage est mise en œuvre qui consiste à faire entrer l'outil (28) dans le disque (26) avec une composante radiale et/ou à le faire passer à travers le disque (26) avec une composante axiale, en correspondance d'un angle de pose (A1, A2) de l'aube (16).

9. Procédé selon la revendication 7 ou 8,
caractérisé en ce que
l'outil comprend un outil double ou jumelé avec deux outils simples (28) qui agissent simultanément et qui sont disposés à distance l'un de l'autre.

10. Procédé selon la revendication 9,
caractérisé en ce que
les outils simples (28) sont disposés en parallèle pour réaliser des portions d'aube (18, 20) ayant une épaisseur constante sur leur extension radiale.

11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10,
caractérisé en ce que
pour réaliser les portions individuelles (18, 20) d'une aube respective (16), plusieurs opérations d'usinage sont effectuées successivement, les opérations d'usinage se distinguant les unes des autres quant à une profondeur d'usinage radiale.

12. Procédé selon la revendication 11,
caractérisé en ce que
différents outils et/ou différents réglages d'un outil

sont utilisés pour les opérations d'usinage individuelles.

13. Procédé selon la revendication 11 ou 12,
caractérisé en ce que
un outil double ou jumelé respectif ayant deux outils simples (28) qui agissent simultanément et qui sont disposés à distance l'un de l'autre est utilisé pour les opérations d'usinage individuelles, la distance étant réglée différemment pour les opérations d'usinage individuelles.

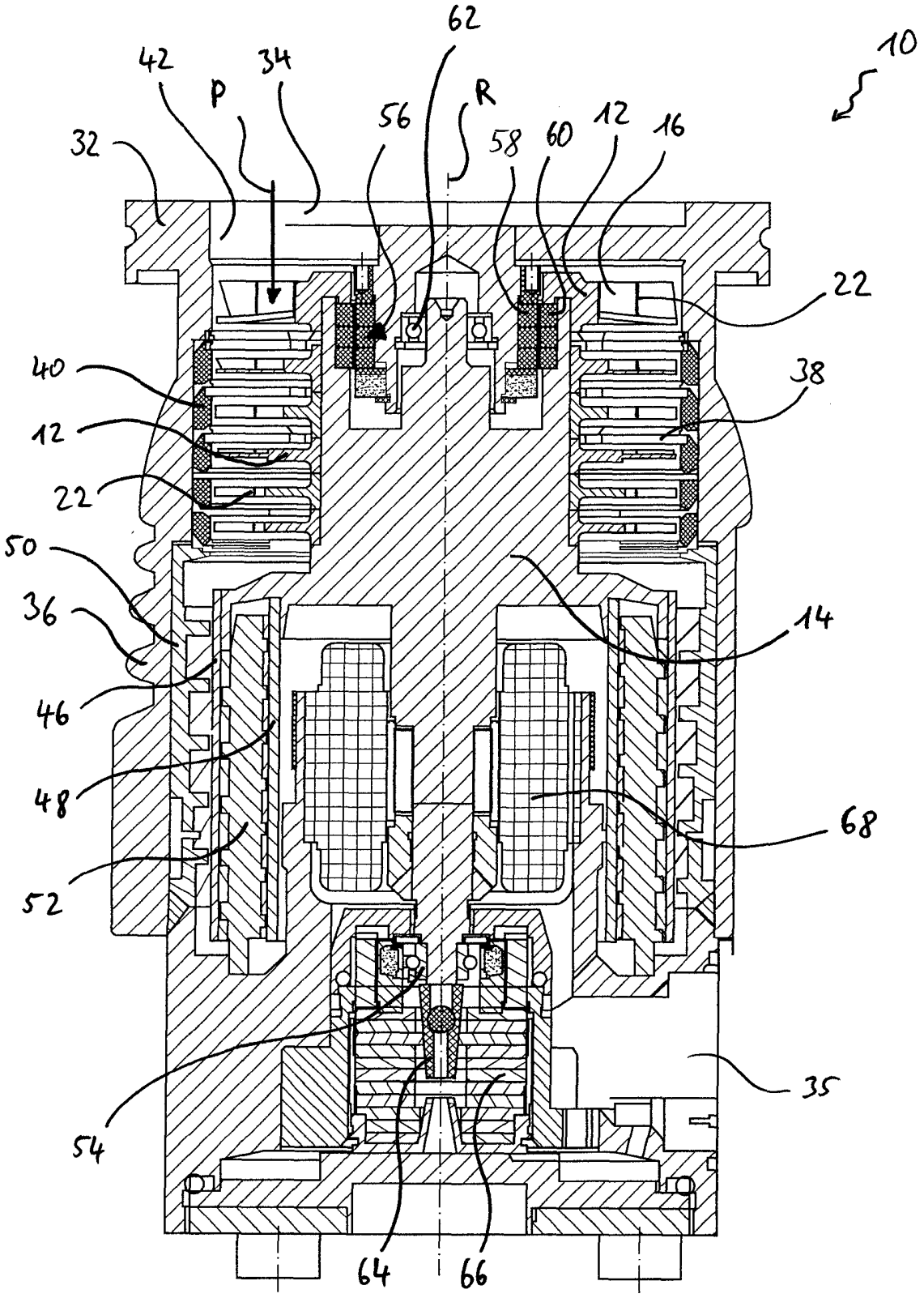

62
42
34
10
P
R
56
58
60
12
16
32
22
40
38
12
22
50
36
14
46
48
68
52
35
54
64
66

Fig. 1

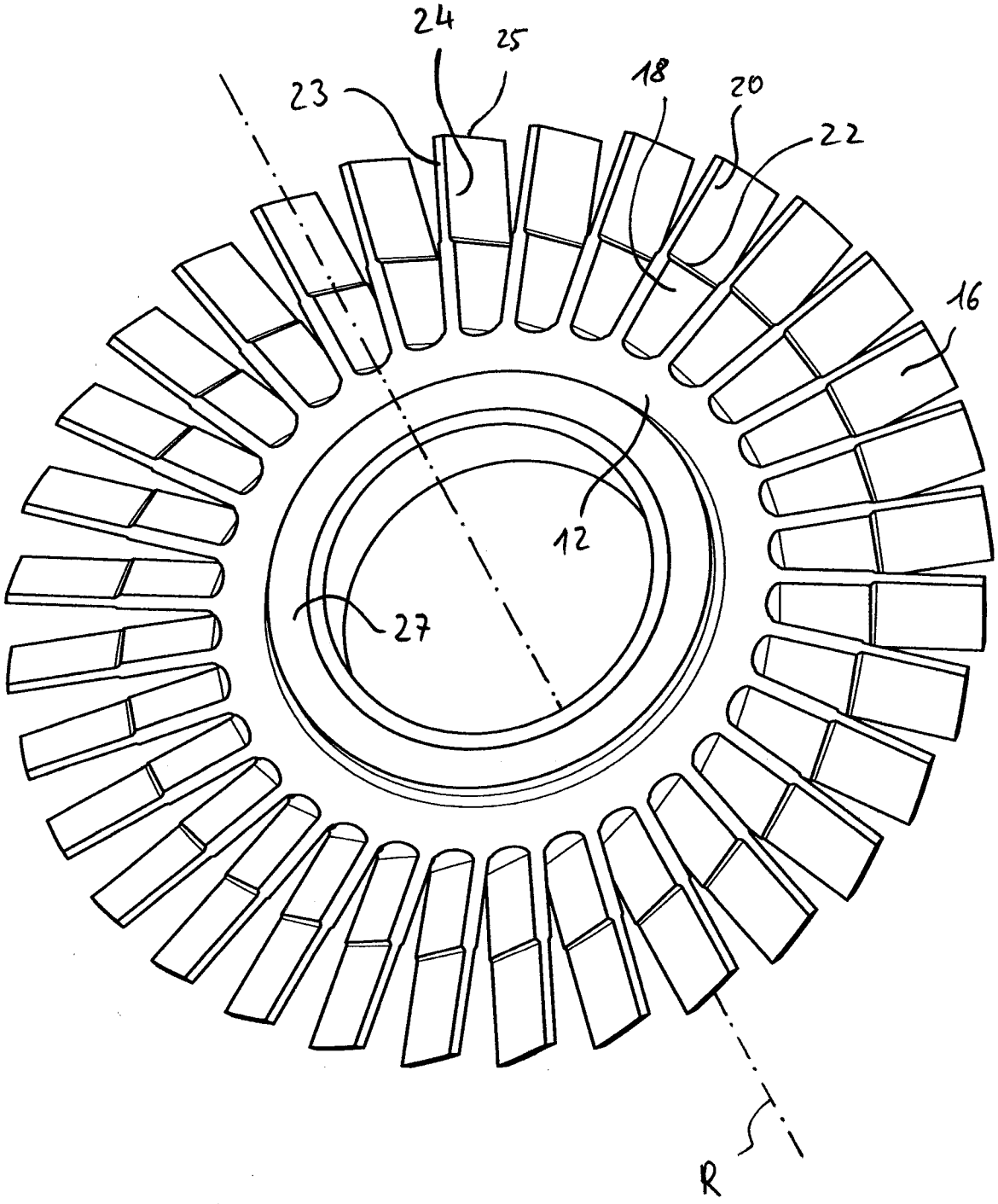
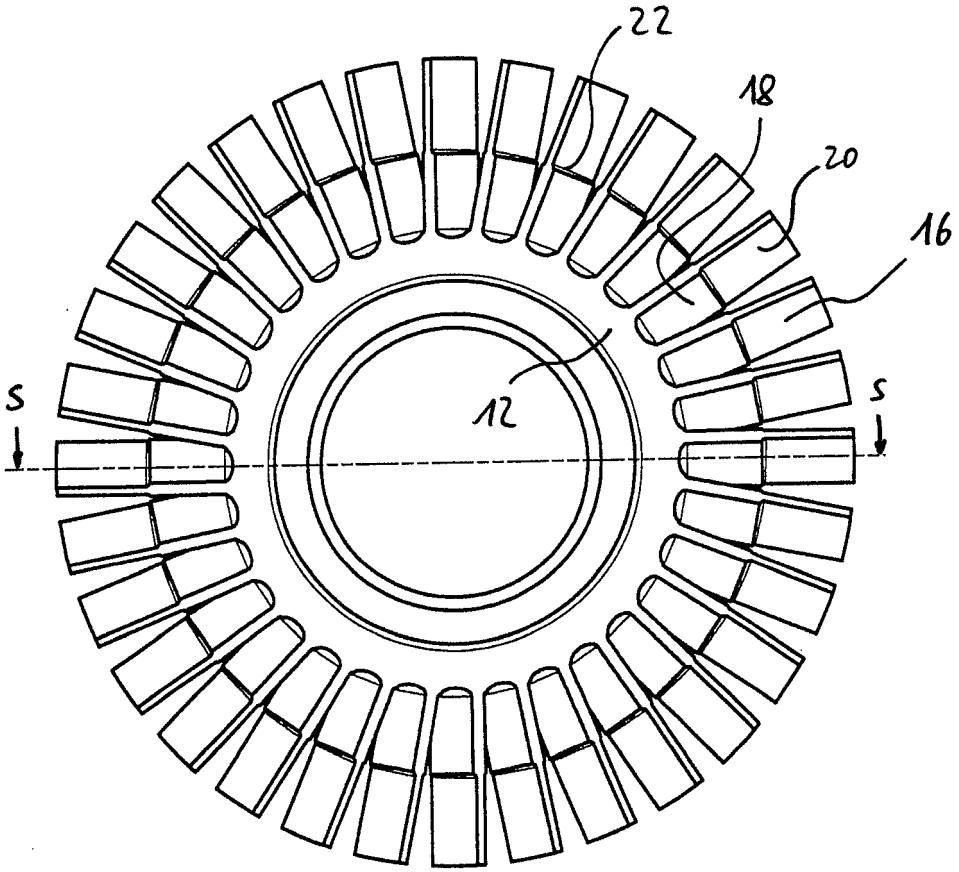


Fig. 2

Fig. 3



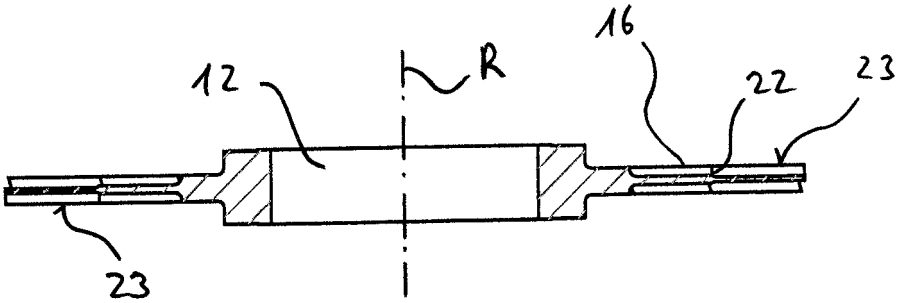


Fig. 4

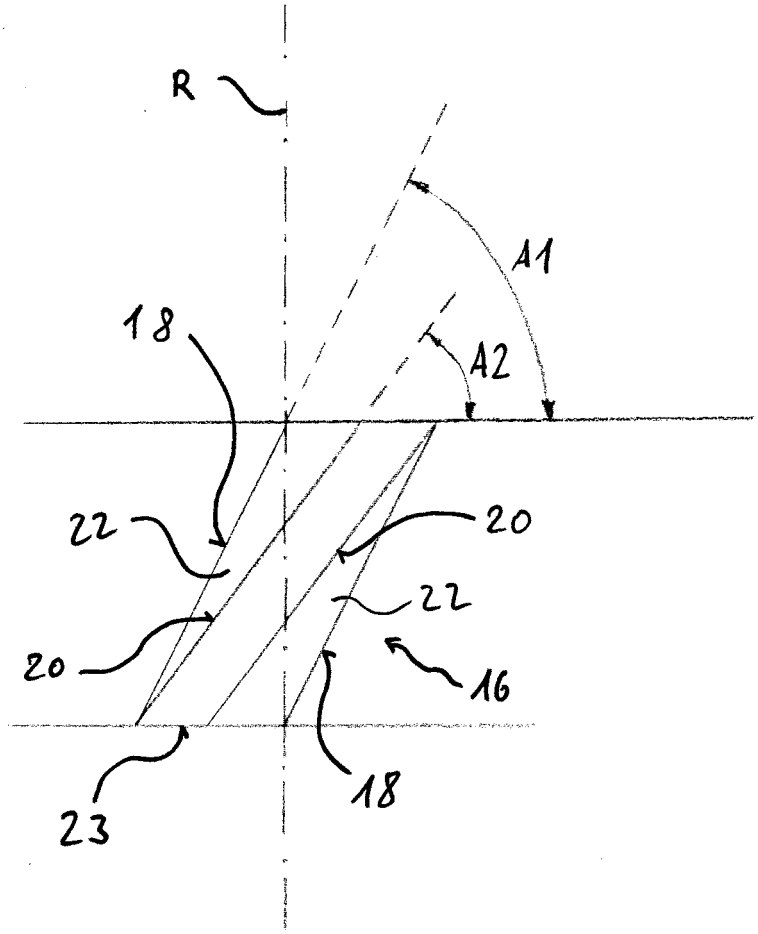


Fig. 5

Fig. 6

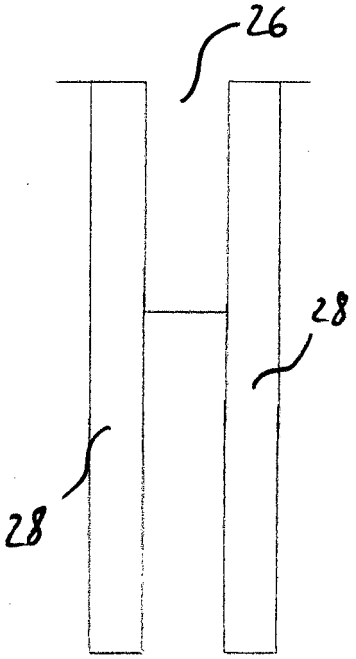


Fig. 7

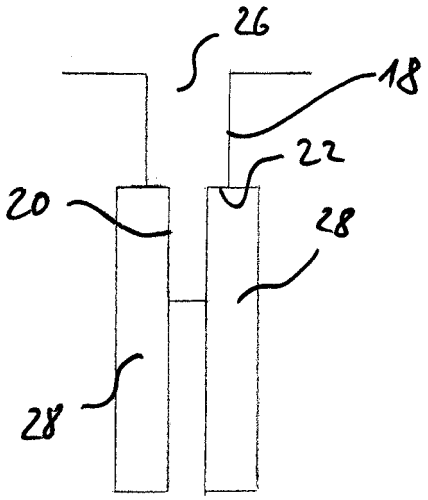
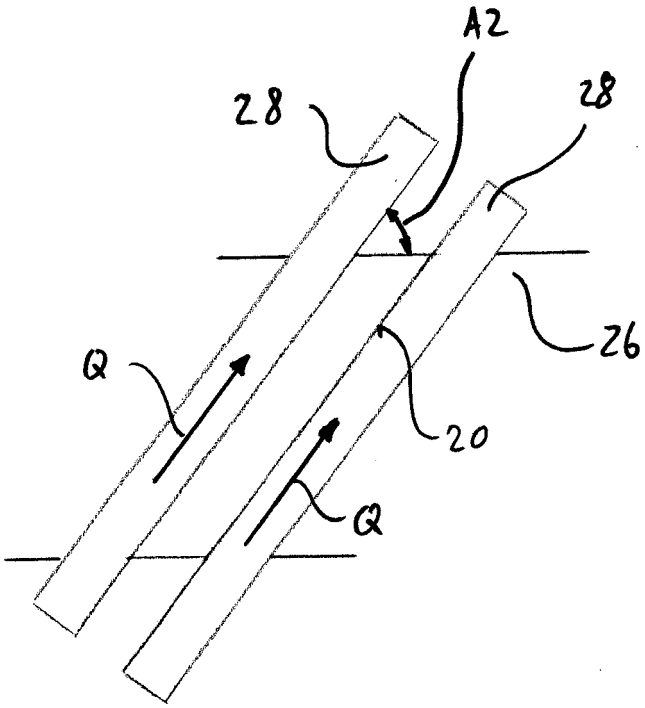


Fig. 8



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

- US 3623826 A **[0003]**
- DE 2046693 A1 **[0003]**
- DE 2923632 A1 **[0003]**
- EP 0965761 A1 **[0003]**