

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 722 104 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.11.2006 Patentblatt 2006/46

(51) Int Cl.:
F04C 18/16^(2006.01) F04C 18/08^(2006.01)
F04C 25/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: 06008149.4

(22) Anmeldetag: 20.04.2006

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: Pfeiffer Vacuum GmbH
35614 Asslar (DE)

(72) Erfinder:
• Martin, Harald
35578 Wetzlar (DE)
• Sachs, Ronald, Dr.
44135 Dortmund (DE)

(30) Priorität: 14.05.2005 DE 102005022470

(54) Rotorpaar für Schraubenverdichter

(57) Die Erfindung betrifft ein Rotorpaar für einen Schraubenverdichter, wobei die Rotoren in kämmendem, berührungslosen Eingriff stehen, die Rotoren jeweils mindestens einen Gang und eine stetige Steigungsänderung aufweisen, wobei die Form der Rotoren durch Schraubenprofile bestimmt ist. Zwischen Herstellungskosten und Anforderungen hinsichtlich der Kenn-

daten des Verdichters besteht ein Widerspruch. Um hier Verbesserungen zu erzielen, wird vorgeschlagen, das Schraubenprofil jedes Rotors an mindestens zwei axial beabstandeten Stellen mittels verschiedener Profiltypen zu gestalten und die Profiltypen an den Bereichsgrenzen stetig ineinander übergehen zu lassen, wobei die Profiltypen an den jeweiligen Druckbereich angepasst sind.

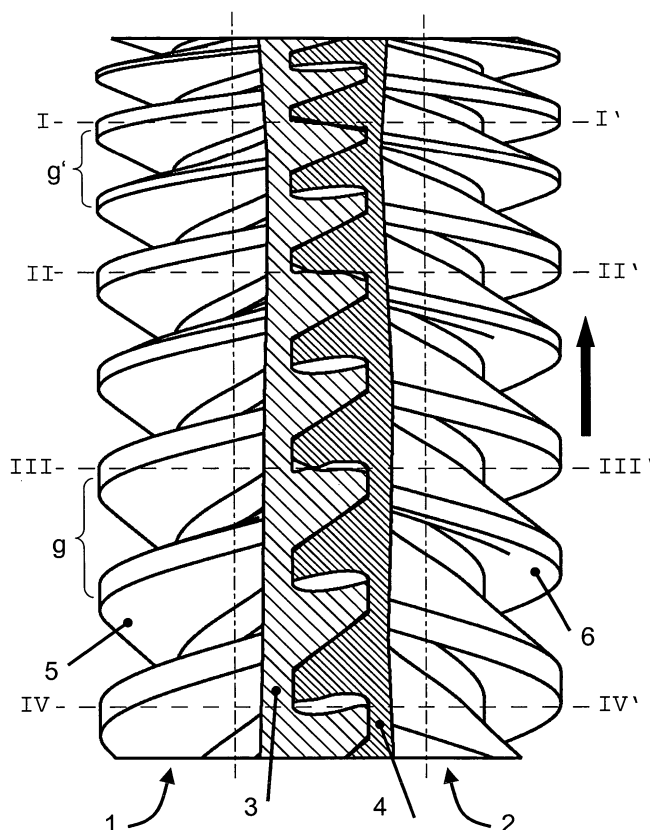


Fig. 1

EP 1 722 104 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Rotorpaar für einen Schraubenverdichter, wobei die Rotoren in kämmendem, berührungslosen Eingriff stehen, die Rotoren jeweils mindestens einen Gang und eine stetige Steigungsänderung aufweisen, wobei die Form der Rotoren durch ein Schraubenprofil bestimmt ist.

[0002] Schraubenverdichter werden seit einigen Jahren erfolgreich einerseits im Kompressorenbau und andererseits zur Erzeugung von Vakuum eingesetzt. In ihnen drehen sich synchron und gegenläufig zwei Rotoren, die berührungslos ineinander kämmen. Diese Rotoren besitzen Schraubengänge mit entgegengesetztem Drehsinn, oft auch als linksläufig und rechtsläufig bezeichnet. Es wird kein Dicht- und Schmiermittel wie beispielsweise Öl im Arbeitsraum der Maschinen benutzt, womit sich ein Teil des Erfolges erklärt. Eine Änderung der Steigung der Gewindegänge bewirkt eine Änderung des zwischen Rotoren und Gehäuse eingeschlossenen Volumens und erzeugt so eine entsprechende Verdichtung des im Volumen eingeschlossenen Gases. Über die axiale Länge der Rotoren bildet sich ein Druckgefälle aus, d.h. über die axiale Länge verteilt treten unterschiedliche Drücke auf.

[0003] Die Kenndaten der Verdichter und der zur Fertigung der Rotoren notwendige Aufwand werden maßgeblich von der Gestaltung der Schraubenrotoren bestimmt. Diese Gestalt ist durch das Schraubenprofil charakterisiert. Dieses kann durch die Profilumrisslinie beschrieben werden, die sich beispielsweise im Achs- oder im Stirnschnitt ergibt.

[0004] Die DE-OS 199 41 787 betrachtet die Profilumrisslinie des Zahnes, die sich im Achsschnitt ergibt. Sie schlägt vor, entlang der Umrisslinie einen Bereich mit einem geraden Abschnitt zu versehen, in dem sich ein linksläufiger und ein rechtsläufiger Rotor gegenüberstehen. Diesen Bereich bezeichnet man auch als Profileingriff. Durch die vorgestellte Maßnahme wird auf Hinterschneidungen verzichtet, die die Fertigung aufwändig und teuer machen. Allerdings müssen dafür Abstriche bei der Dichtheit in Kauf genommen werden, d.h. die vakuumtechnischen Eigenschaften sind schlechter als das Ideal. Die in dieser Druckschrift vorgeschlagenen und zitierten Zahnprofile basieren auf dem Verzahnungsgesetz.

[0005] Aus der US-PS 6,371,744 ist bekannt, die Profilumrisslinie im Stirnschnitt abschnittsweise mit einer sogenannten Quimbykurve zu versehen. Hierdurch ergibt sich eine relativ hohe Dichtheit mit geringen Rückströmungen. Allerdings sind Rotoren mit solch einem Profil aufwändig herzustellen.

[0006] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen, ein in Bezug auf die Kenndaten des Verdichters verbessertes Schraubenrotorpaar zu entwickeln und einen Spielraum bei der Gestaltung zu schaffen, der über den Stand der Technik hinausgeht.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Rotorpaar für einen Schraubenverdichter, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Profiltyp des Schraubenprofils an mindestens zwei entlang der Rotoren axial beabstandeten Stellen verschieden ist und dass die an den jeweiligen Druckbereich angepassten Profiltypen stetig ineinander übergehen.

[0008] Die kennzeichnenden Merkmale in den abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung auf.

[0009] Schraubenprofile lassen sich nicht nur wie im Stand der Technik über die Profilumrisslinie charakterisieren. Im Rahmen der Erfindung erwies es sich als vorteilhaft, die Schraubenprofile in Profiltypen einzuordnen. Diese Einordnung erfolgt über die Dichtwirkung am Profileingriff, die sich aus dem jeweiligen Profiltyp ergibt. Unterschiedliche Profile erzeugen die Dichtwirkung an radial unterschiedlichen Stellen des Rotors. Es gibt solche, die an einem äußeren radialen Bereich die optimale Dichtwirkung in Umfangsrichtung erzielen (beispielsweise sogenannte Quimby-Profile). Andere Profile dichten nahezu vollständig in radialer Richtung aber über einen geringen Teil des Umfangs ab. Der Abstand beider Rotoren in axialer Richtung an diesen Dichtstellen, auch als Spalthöhe bezeichnet, bestimmt die Güte der Dichtung, nicht aber den prinzipiellen Typ.

[0010] Erfindungsgemäß werden nun an verschiedenen axialen Stellen der Rotoren unterschiedliche Profiltypen eingesetzt. Hierdurch wird erreicht, dass der für einen Druckbereich am besten geeignete Profiltyp verwendet wird. Dies erlaubt es, kostengünstig zu fertigende Profiltypen dort einzusetzen, wo ihre Unzulänglichkeiten in Bezug auf die Kenndaten des Verdichters vertretbar sind.

[0011] Die vorgestellten Maßnahmen erlauben es, die Form des Spaltes, welcher am Profileingriff zwischen den Rotoren existiert, entlang der Rotorachse zu verändern und jeweils optimal an die Druckverhältnisse und Dichtungsanforderungen anzupassen. Grundlage der Gestaltung ist damit der Spalttyp und nicht das Verzahnungsgesetz wie im Stand der Technik.

[0012] Durch den stetigen Übergang von einem Profiltyp in den nächsten können die Rotoren einstückig hergestellt werden. Vor allem entstehen so keine Stufen und Kanten im Inneren der Schraubengänge, die sich ungünstig auf deren gasfördernde und —verdichtende Leistung auswirken würden.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform erfolgt die Steigungsänderung der Schraubengänge derart, dass sie bereichsweise Null ist. Dies ermöglicht eine Anpassung des Verdichtungsverlaufes entlang der Rotorachse an den Strömungs- bzw. Druckbereich. Da die Verdichtung unter anderem über die Steigung geregelt wird und bei der Verdichtung von Gasen Wärme entsteht, kann über die Steigungsänderung der Wärmehaushalt des Verdichters beeinflusst werden.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform ist die stetige Steigungsänderung derart, dass der Steigungsverlauf

durch eine Kurve dritten Grades beschrieben wird. Dies erlaubt einen möglichst einfachen Übergang von einer Steigung zur nächsten.

[0015] Ein weiterer Vorteil ergibt sich, wenn Steigungsänderung und Profiländerung mindestens abschnittsweise entlang der Achse nicht gleichzeitig geschehen. Diese Maßnahme führt zu einer teilweisen Entkopplung der Änderung der Verdichtung von der Steigungsänderung.

[0016] Der Profiltyp kann über einen axialen Bereich konstant sein, wobei auch eine Mehrzahl solcher Bereiche über die Rotorlänge vorhanden sein können. Dies stellt eine weitere Vereinfachung der Herstellung dar, ohne dass auf die Vorteile verzichtet werden muss, die durch die Kombination der Profiltypen entstehen.

[0017] Für manche geförderten Fluide ist es sinnvoll, Beschichtungen der Rotoren vorzusehen, damit diese nicht durch reaktive Bestandteile des Fluids zerstört werden.

[0018] Die oben genannten Vorteile dieses Rotorpaares sind besonders ausgeprägt, wenn das Rotorpaar in einer trocken verdichtenden Schraubenvakuumpumpe eingesetzt wird. In solchen Pumpen ist der Förderraum frei von Ölen und ähnlichen Stoffen, welche in anderen Vakuumpumpen u.a. zum Abdichten verwendet werden. Damit bestimmen die Spalte zwischen den Rotoren untereinander sowie zwischen Rotor und Gehäuse die schädlichen Gasströmungen entgegen der Förderrichtung. Diese Strömungen beeinflussen erheblich die Kenndaten der Vakuumpumpe. Hinzu kommt, dass Vakuumpumpen über verschiedene Druckbereiche hinweg arbeiten, in denen unterschiedliche Gasströmungsarten vorliegen. Die Wirkung der Spalte auf die Gasströmung ist von der Gasströmungsart abhängig. So wirkt eine gegebene Kombination aus Gestalt und Maßen eines Spaltes in verschiedenen Druckbereichen unterschiedlich. Die Profiltypen bedingen Gestalt und Maße der Spalte, die im Gasförderbereich auftreten. Somit ist beispielsweise möglich, kostengünstig zu fertigende Profiltypen dort einzusetzen, wo ihre Spaltcharakteristik mit dem Druckbereich vereinbar ist. Im gleichen Zug werden die kostenaufwändigen Profiltypen nur in den Druck- und damit auch axialen Bereichen der Rotoren angewendet, wo geringe Rückströmungen und gute Vakuumdaten gefordert sind. Gerade in Vakuumpumpen spielt der Wärmehaushalt eine große Rolle. Wärme entsteht auch hier durch die Verdichtung des geförderten Gases. Da die Wärmeleitung über das Gas mit zunehmender Verdünnung schlechter wird, muss die Entstehung der Verdichtungswärme kontrolliert werden, beispielsweise durch eine Verteilung der Verdichtung auf mehrere axiale Bereiche des Rotors. Auch kann es sinnvoll sein, mittels des Profiltypes die Verteilung des verdichteten und erwärmten Gases zu beeinflussen.

[0019] Im folgenden soll die Erfindung am Beispiel eines Rotorpaares für einen Schraubenverdichter erläutert werden, welches vier verschiedene Profiltypen aufweist. Dieser Schraubenverdichter ist insbesondere als Vakuumpumpe einsetzbar.

Anhand der Zeichnungen soll dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht werden.

5 Fig. 1: Rotorpaar in der Draufsicht auf die durch die Rotorenachsen aufgespannte Ebene.

Fig. 2: a) Partieller Stirnschnitt entlang I-I' mit einem ersten Profiltyp.
b) Partieller Stirnschnitt entlang II-II' mit einem zweiten Profiltyp.
10 c) Partieller Stirnschnitt entlang III-III' mit einem dritten Profiltyp.
d) Partieller Stirnschnitt entlang IV-IV' mit einem vierten Profiltyp.

15 Fig. 3: Partieller Achsschnitt durch die Ebene der Rotorachsen im Bereich zwischen den Wellen.

[0020] Die Figur 1 zeigt das Rotorpaar in einer Sicht auf die durch die Rotorenachsen aufgespannte Ebene. Das Rotorpaar wird gebildet durch einen linken Rotor 1 und einen rechten Rotor 2, wobei diese jeweils eine Welle 3, 4 aufweisen. Auf dieser Welle sind als pumpaktive Strukturen Schraubengänge aufgebracht, wobei diese rechtsläufig 5 und linksläufig 6 ausgebildet sind. Durch eine Verringerung der Steigung der Schraubengänge g auf g' kann eine Verdichtung des geförderten Mediums, beispielsweise eines Gasgemisches, erreicht werden. Die Rotoren stehen in kämmendem, berührungslosen Eingriff. An diesem Eingriff befindet sich zwischen den Rotoren der Profileingriffsspalt. Das Medium wird in der Figur von unten nach oben gefördert und verdichtet. Dies ist durch den Blockpfeil gekennzeichnet.

[0021] Figur 2a zeigt den partiellen Stirnschnitt durch das Rotorpaar auf Höhe I-I'. Die Rotoren 1 und 2 kämmen ineinander, d.h. in diesem Anblick überdecken sich die Schraubengänge 5 und 6 und stoßen jeweils bis nahezu an die Welle 3 bzw. 4. Dunkel eingefärbt und mit 8 gekennzeichnet ist der Bereich der höchsten Dichtwirkung zwischen den Rotoren. Der mit 9 bezeichnete Bereich besitzt nur eine geringe Dichtwirkung, was durch die beiden breiten Pfeile angedeutet ist, die Gasströmung symbolisieren. Die Gestalt des Bereichs mit hoher Dichtwirkung ist charakteristisch für den Profiltyp. Die gezeigte Gestalt des Bereichs 8 liegt nahezu ausschließlich radial zwischen den beiden Wellen. Die hohe Dichtwirkung in diesem Bereich wird durch ein stärkeres Überströmen an den Bereichen 9 erkauft. Solch ein Profiltyp ist einfach und kostengünstig herzustellen. Er wird im Ausführungsbeispiel an einer Stelle hohen Drucks eingesetzt, wo das Überströmen in 9 zu einer Verteilung des durch die Verdichtung erwärmten Gases führt. Dadurch wird der Wärmehaushalt der Vakuumpumpe beeinflusst.

[0022] Der in Figur 3 gezeigte Achsschnitt verdeutlicht die Bedeutung von Profiltyp und Spalthöhe. In diesem Schnitt beschreiben die Kurven 10 und 11 das Schraubenprofil der Rotoren 1 und 2. Zwischen den Rotoren gibt es mindestens einen Spalt S. Zum Vergleich sind

die Kurven 10' und 11' eingezeichnet, die einer anderen Gestaltung der Rotoren entsprechen. Durch den höheren Abstand der Kurven ergibt sich eine größere Spaltweite S'. Dadurch wird zwar die Güte der Dichtung verschlechtert, es handelt sich in beiden Fällen aber um denselben Profiltyp.

[0023] Die Figuren 2b bis 2d, die jeweils den partiellen Stirnschnitt an drei weiteren axialen Stellen der Rotoren zeigen, verdeutlichen die verschiedenen Profiltypen. Figur 2b zeigt in einem Schnitt auf der Rotorhöhe II-II' einen "S"-förmigen Verlauf des Bereichs höchster Dichtwirkung 8 während es zwei Bereiche 9 gibt, in denen Gas zwischen den Rotoren überströmen kann. Dieser Profiltyp stellt einen Kompromiss aus fertigungs- und vakuumtechnischen Anforderungen dar.

[0024] Figur 2c als Schnitt durch die Rotoren auf Höhe III-III' zeigt eine Übergangsform oder Mischform zwischen den Profiltypen 2b und 2d. Der Dichtbereich 8 ist vornehmlich entlang des Umfangs (wie in 2d) ausgebildet, besitzt aber auch eine Ausdehnung in radialer Richtung, wobei letztere nicht unmittelbar zwischen den Wellenachsen liegt (daher wie in 2b).

[0025] Figur 2d als Schnitt durch die Rotoren auf Höhe IV-IV' wiederum zeigt einen Profiltyp mit einem in zwei Teilbereiche aufgeteilten Dichtbereich 8. Er ist entlang der sich berührenden Umfangslinien der Rotoren ausgebildet. Die gezeigte Gestalt des Bereichs 8 wird durch eine sogenannte Quimbykurve im Profil des Zahnes am Eingriffsspalt erzeugt. Die auftretenden Spalte sind klein, die Dichtwirkung ist insgesamt hoch, weshalb dieser Profiltyp sehr gut für hohe Drücke geeignet ist. Dieser Profiltyp ist allerdings vergleichsweise aufwändig und teuer in der Herstellung.

[0026] Die vier in den Figuren 2a bis 2d gezeigten Profiltypen gehen nun erfindungsgemäß stetig ineinander über, so dass an mindestens zwei axialen Stellen der Rotoren unterschiedliche Profiltypen vorliegen. Dabei kann ein Profiltyp über einen längeren axialen Abschnitt konstant sein, bevor der Übergang zu einem anderen Profiltyp beginnt. Durch den stetigen Übergang der Profiltypen ergeben sich Mischvarianten der Profiltypen.

Patentansprüche

1. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter, wobei die Rotoren (1, 2) in kämmendem, berührungslosen Eingriff stehen, mit jeweils mindestens einem Gang, mit einer stetigen Steigungsänderung, wobei die Form der Rotoren durch ein Schraubenprofil bestimmt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Profiltyp des Schraubenprofils an mindestens zwei entlang der Rotoren axial beabstandeten Stellen (20, 21, 22) verschieden ist und dass die an den jeweiligen Druckbereich angepassten Profiltypen stetig ineinander übergehen.

2. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach An-

spruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steigungsänderung bereichsweise Null ist.

3. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die stetige Steigung durch eine Kurve dritten Grades beschrieben wird.

4. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Steigungsänderung und Profiländerung mindestens abschnittsweise entlang der Achse nicht gleichzeitig geschehen.

5. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Profiltyp über mindestens einen axialen Bereich konstant ist.

6. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotoren eine Beschichtung ihrer Oberfläche aufweisen.

7. Rotorpaar für einen Schraubenverdichter nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rotorpaar (1, 2) in einer trocken verdichtenden Schraubenvakuumpumpe verwendet wird.

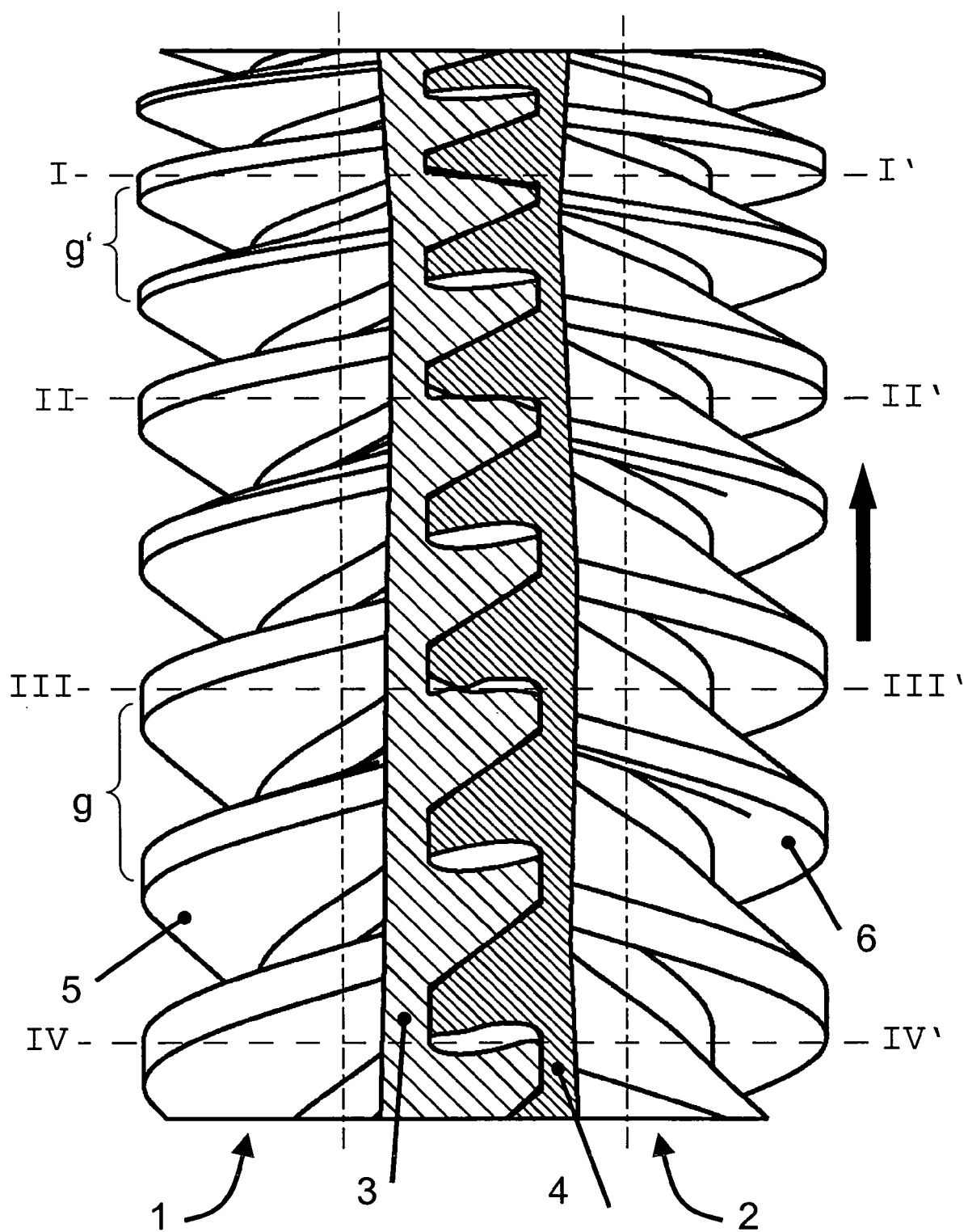


Fig. 1

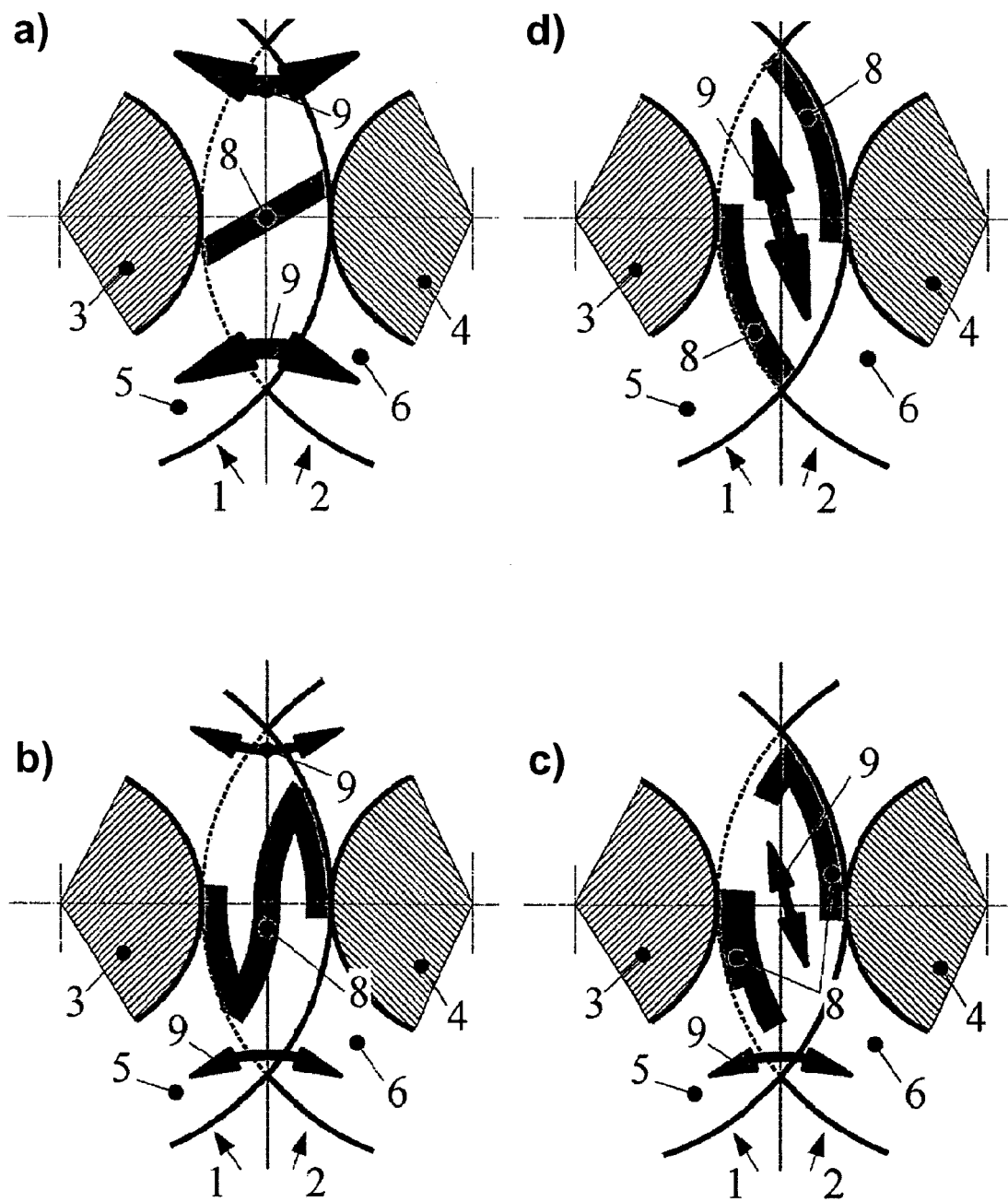


Fig. 2

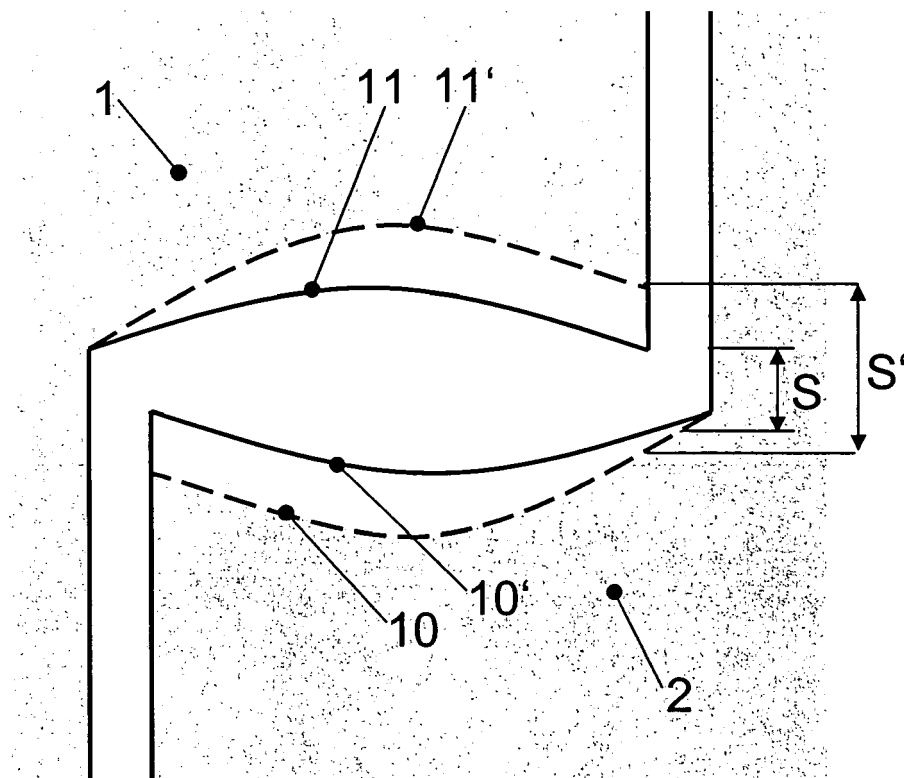


Fig. 3

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 19941787 A [0004]
- US 6371744 B [0005]