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

(11) **EP 2 458 222 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
**30.05.2012 Patentblatt 2012/22**

(51) Int Cl.:
***F04D 19/04*** *(2006.01)* ***F04D 29/54*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **11008602.2**

(22) Anmeldetag: **27.10.2011**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
**BA ME**

(30) Priorität: **26.11.2010 DE 102010052660**

(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum GmbH**
**35614 Aßlar (DE)**

(72) Erfinder:
- **Schweighöfer, Michael**
  **35641 Schöffengrund (DE)**
- **Stammler, Herbert**
  **35586 Wetzlar (DE)**
- **Stoll, Tobias**
  **35644 Hohenahr (DE)**

(54) **Turbomolekularpumpe**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbomolekularpumpe (1) mit einem Rotor (10), welcher einen Schaufelkranz aufweist, einer Statorscheibe (14, 16, 18), welche einen Tragring (50, 60), einen mit diesem verbundenen Schaufelkranz und zwei Teilscheiben (140, 142) umfasst, wobei jede Teilscheibe einen Tragringabschnitt (52, 56, 62, 66; 62'; 62"; 62"', 66"'; 62"", 66"") und eine an diesem angeordnete Stoßkante (54, 58, 64, 68, 70, 72, 74, 76; 64', 74'; 64", 74"; 64"', 74"') aufweist und sich die Stoßkanten der Teilscheiben berühren. Um ein Überlappen der Teilscheiben zu verhindern, wird vorgeschlagen, dass die Stoßkanten der Teilscheiben derart geformt sind, dass sie wenigstens abschnittsweise gekreuzt aufeinanderstoßen, so dass ein Überlappen der Teilscheiben verhindert wird.

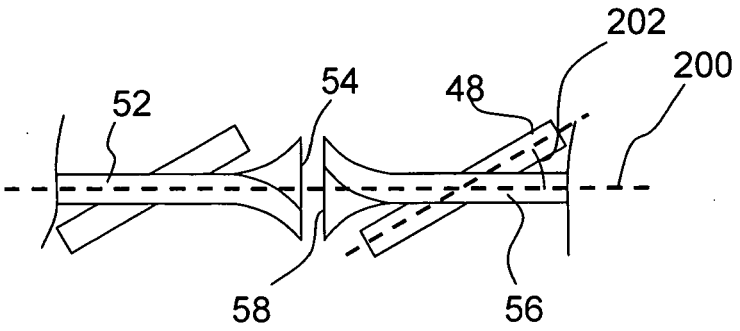


**Fig. 3**

EP 2 458 222 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Turbomolekularpumpe nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Seit Jahrzehnten werden Turbomolekularpumpen in der Vakuumtechnik zur Erzeugung von Hochvakuum und Ultrahochvakuum eingesetzt. Die Vakuumerzeugung beruht in ihnen auf einem Rotor mit mehreren entlang der Rotorachse zueinander versetzten Schaufelkränzen, zwischen denen statorseitig stehende Schaufelkränze angeordnet sind.

**[0003]** Verschiedene Gestaltungsformen der statorseitigen Schaufelkränze sind im Stand der Technik bekannt. Nachfolgend werden so genannte Blechstatorscheiben betrachtet. Diese werden typischerweise aus Feinblech hergestellt, indem zunächst durch Stanzen oder Schneiden die Schaufeln des Schaufelkranzes freigelegt und in einem nachfolgenden Umformschritt aus der Scheibenebene herausgedreht werden. Diese Blechstatorscheiben sind kostengünstig und sind insbesondere für den Bereich des Vorvakuums beliebt, in welchem die Schaufeln nur um wenige Grad aus der Scheibenebene herausgestellt sind.

**[0004]** Da jeder statorseitige Schaufelkranz um die Welle des Rotors herum und in der Regel zwischen zwei rotorseitigen Schaufelkränzen angeordnet ist, erfordert die Montierbarkeit, die Blechstatorscheibe einer Stufe aus mehrerer, in der Regel zwei, Teilscheiben zu bilden. Dadurch wird die geringe Dicke des Bleches zu einem Nachteil: dort, wo die Teilscheiben aneinanderstoßen, können die dünnen Bleche übereinanderrutschen. Die Schaufeln des Schaufelkranzes sind dann falsch positioniert und weichen unter anderem in Richtung der Rotorachse von ihrer Solllage ab. In der Folge wird der Spalt zwischen rotorseitigem und statorseitigem Schaufelkranz aufgebraucht. In besonderen Betriebsbedingungen, beispielsweise bei hohen Gaslasten kann dies zu einem Kontakt zwischen rotorseitigen und statorseitigen Bauteilen führen. Im schlimmsten Fall ist das Versagen der Pumpe die Folge.

**[0005]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung eine Turbomolekularpumpe vorzustellen, in welcher das Überlappen der Teilscheiben verhindert ist.

**[0006]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Turbomolekularpumpe mit den Merkmalen des ersten Anspruchs. Die abhängigen Ansprüche 2 bis 11 geben vorteilhafte Weiterbildungen an.

**[0007]** Es ist vorgesehen, dass die Statorscheibe zwei Teilscheiben aufweist und die sich berührenden Stoßkanten der Teilscheiben derart geformt sind, dass sie wenigstens abschnittsweise gekreuzt aufeinanderstoßen. Dies kann durch Herausdrehen wenigstens eines Teiles der Stoßkante aus der Scheibenebene bewirkt werden. Hierdurch wird ein Überlappen der Teilscheiben verhindert, wobei das Herausdrehen im ohnehin notwendigen Umformschritt erfolgen kann, in welchem die Schaufeln aus der Scheibenebene herausgedreht werden. Es ist lediglich eine Bearbeitung des Umformwerkzeuges notwendig.

**[0008]** Die Weiterbildungen bringen weitere Vorteile, beispielsweise eine besonders einfache Fertigung in der Ausgestaltung nach Anspruch 2. Die Gestaltungen nach den Ansprüchen 3 und 4 verhindern nicht nur ein Überlappen, sondern Verriegeln die Tragringabschnitte gegen eine Auslenkung aus der Scheibenebene heraus. Die Montage dieser Weiterbildung wird in der Ausprägung nach Anspruch 5 erleichtert. Eine Verwendelung des Tragringes, insbesondere des inneren Tragringes, nach einem der Ansprüche 6 bis 9 führt zu einer Versteifung des Tragringes, so dass die Widerstandsfähigkeit gegen hohe Axialkräfte, beispielsweise durch hohe Gaslasten, verbessert wird. Auch das Einprägen einer Sicke nach Anspruch 10 ist in Bezug auf die Steifigkeit gegen senkrecht auf die Scheibenebene wirkende Kräfte von Vorteil.

**[0009]** An Hand von Ausführungsbeispielen und deren Weiterbildungen soll die Erfindung näher erläutert und die Darstellung ihrer Vorteile vertieft werden.

**[0010]** Es zeigen:

Fig. 1: Schematischer Schnitt durch eine Turbomolekularvakuumpumpe;

Fig. 2: Draufsicht auf zwei Teilscheiben einer Statorscheibe;

Fig. 3: Seitenansicht in der Scheibenebene auf die in Berührung stehenden Abschnitte der Teilscheiben;

Fig. 4: Blick auf eine Teilscheibe und deren Stoßkanten;

Fig. 5: Alternative Bauform zur Variante der Fig. 4;

Fig. 6: a) Blick auf einen Tragringabschnitt mit Nut, b) Blick auf eine Stoßkante mit Nut;

Fig. 7: Teilscheibe mit einem gewendelten Tragringabschnitt in einer ersten Ausführung;

Fig. 8: Blick auf den gewendelten Tragringabschnitt gemäß erster Ausführung;

Fig. 9: Teilscheibe mit einem gewendelten Tragringabschnitt in einer zweiten Ausführung;

Fig. 10: Blick auf den gewendelten Tragringabschnitt gemäß zweiter Ausführung;

Fig. 11: a) Blick auf eine Statorscheibe mit Teilscheiben und einem Tragring, welcher eine Sicke aufweist, b) Blick auf die Stoßkante einer Teilscheibe;

Fig. 12: a) und b) alternative Querschnittsformen der

Sicke;

Fig. 13: a) Draufblick auf Ausschnitt von Tragringabschnitten, welche Laschen aufweisen, b) Blick in der Scheibenebene.

Fig. 14: Blick auf den Stoßbereich einer Weiterbildung der Teilscheiben mit Sicke.

**[0011]** Es zeigt Fig. 1 einen Schnitt durch eine Turbomolekularpumpe 1. Sie besitzt einen Flansch 4, der lösbar an dem Flansch einer zu evakuierenden Kammer befestigt ist. Durch die Ansaugöffnung 6 wird Gas in die Pumpe eingesaugt und durch den Auslass 8 ausgestoßen. Im Gehäuse 2 sind Rotor 10 und Stator 20 angordnet, durch deren Zusammenwirken die Förderwirkung erreicht wird.

**[0012]** Der Rotor umfasst eine Welle 12, auf der eine vorvakuumseitige Rotorscheibe 14, eine mittlere Rotorscheibe 16 und eine hochvakuumseitige Rotorscheibe 18 vorgesehen sind, wobei jede der Rotorscheiben einen aus einer Mehrzahl von Schaufeln bestehenden Schaufelkranz besitzt. Die Welle wird hochvakuumseitig durch ein Permanentmagnetlager 40 und vorvakuumseitig durch ein Wälzlager 42 drehbar unterstützt. Ein Antrieb 44 versetzt den Rotor in schnelle Drehung von einigen Zehntausend Umdrehungen in der Minute.

**[0013]** Der Stator umfasst eine vorvakuumseitige Statorscheibe 24, eine mittlere Statorscheibe 26 und eine hochvakuumseitige Statorscheibe 28. Diese sind durch Distanzringe 30, 32 und 34 in Bezug auf die Welle axial von einander beabstandet und mit den Rotorscheiben alternierend angeordnet. Die Statorscheiben besitzen ebenfalls Schaufelkränze.

**[0014]** Die Anzahl von Rotor- und Statorscheiben hängt von den gewünschten vakuumtechnischen Parametern wie Saugvermögen und Druckverhältnis zwischen Ansaugöffnung und Auslass ab. Der Rotor kann anstelle von Scheiben auch in im Stand der Technik bekannter Glockenbauweise gebaut sein, zudem können beide Lager vorvakuumseitig angeordnet sein.

**[0015]** Die nachfolgend anhand der Fig. 2 bis 14 beschriebenen Ausführungsbeispiele können auf eine, mehrere oder jede der aus Feinblech hergestellten Statorscheiben der Turbomolekularpumpe angewendet werden.

**[0016]** In der Draufsicht nach Fig. 2 auf eine Statorscheibe 14 aus Feinblech sind deren erste und zweite Teilscheiben 140 und 142 voneinander beabstandet dargestellt. Im montierten Zustand stoßen beiden Teilscheiben aneinander.

**[0017]** Die Statorscheibe weist einen äußeren Tragring 50 und einen inneren Tragring 60 auf. Ein erster Tragringabschnitt 52 des äußeren Tragringes ist Teil der ersten Teilscheibe 140, ein zweiter Tragringabschnitt 56 ist Teil der zweiten Teilscheibe 142. Der Tragring 60 besitzt einen ersten inneren Tragringabschnitt 62, der Bestandteil der ersten Teilscheibe ist, und einen zweiten inneren Tragringabschnitt 66, der Teil der zweiten Teilscheibe ist. Schaufeln 48 sind an innerem und äußerem Tragring befestigt und bilden einen Schaufelkranz.

**[0018]** Die Tragringabschnitte 52 und 56 beziehungsweise 62 und 66 stoßen im montierten Zustand an Stoßkanten aneinander. Im Detail berühren sich die Stoßkanten 54 und 58 sowie 70 und 72 der äußeren Tragringabschnitte und die Stoßkanten 64 und 68 sowie 74 und 76 der inneren Tragringabschnitte.

**[0019]** In der Seitenansicht in Fig. 3 ist als Beispiel der Bereich der Tragringabschnitte 52 und 56 dargestellt. Die Tragringabschnitte definieren eine Scheibenebene 200. Gegen diese sind die Schaufeln 48 verkippt, wobei der Anstellwinkel 202 zwischen Schaufelebene und Scheibenebene von dem Druckbereich abhängt, in dem die Scheibe verwendet wird. In der Regel nimmt der Anstellwinkel zwischen Hochvakuumseite und Vorvakuumseite ab. Die Stoßkanten 54 und 58 sind ebenfalls gegen die Scheibenebene geneigt, wobei die Verkippung vorzugsweise gegensinnig erfolgt, so dass sich die Stoßkanten kreuzen. Durch dieses Kreuzen wird ein Überlappen wirkungsvoll mit sehr einfachen Mitteln erhindert, da das Verkippen der Stoßkanten in einem Arbeitsgang mit dem Herausdrehen der Schaufeln aus der Scheibenebene erfolgen kann.

**[0020]** Die Fig. 4 und 5 zeigen die Seitenansicht einer Teilscheibe aus Richtung der Welle.

**[0021]** In Fig. 4 sind die Stoßkanten 54 und 70 des äußeren Tragringabschnitts gegen die Scheibenebene 200 geneigt, während die Stoßkanten 64 und 74 des inneren Tragringabschnitts in der Scheibenebene liegen. Vorteilhaft ist, beide Stoßkanten 54 und 70 in gleicher Richtung gegen die Scheibenebene zu neigen. Dadurch ist es möglich, beide Teilscheiben symmetrisch zu gestalten und gleichzeitig einen Schutz gegen das Überlappen zu erreichen. Die gezeigte Teilscheibe kann sowohl als Teilscheibe 140 als auch als Teilscheibe 142 verwendet werden, so dass die Zahl unterschiedlicher Teile in der Turbopumpe verringert und Montagefehler vermieden werden.

**[0022]** In Fig. 5 liegen die Stoßkanten 72 und 58 des äußeren Tragringabschnittes in der Scheibenebene 200, während die Stoßkanten 76 und 68 des inneren Tragringabschnittes in gleichem Sinne gegen die Scheibenebene geneigt sind.

**[0023]** Alternativ können sowohl die Stoßkanten des inneren als auch des äußeren Tragringabschnittes gegen die Scheibenebene geneigt sein, wodurch die Sicherheit gegen Überlappen erhöht wird.

**[0024]** Eine Weiterbildung zeigen Fig. 6a und Fig. 6b. In die Stoßkante 54 des Tragringabschnitts 52 ist eine Ausnehmung 80 eingearbeitet, so dass die Stoßkanten 54 und 56 zweier Teilscheiben nach Montage ineinandergreifen. Vorteilhaft ist, die Weite 204 der Ausnehmung nur geringfügig größer die Dicke 206 der Teilscheibe zu wählen, da dies eine präzise Positionierung der Teilscheiben zueinander bewirkt.

**[0025]** Dies erhöht ebenfalls die Sicherheit gegen

Überlappen der Teilscheiben. Dies lässt sich vorteilhaft weiterbilden, indem die Ausnehmung Abschrägungen 82 aufweist, so dass sich die Ausnehmung in Richtung Stoßkante aufweitet. Die Abschrägungen bewirken eine Führung der Tragringabschnitte während der Montage, wodurch eine Zentrierung erfolgt. Eine andere Weiterbildung sieht vor, an beiden Teilscheiben Ausnehmungen vorzusehen, was eine besonders gute Verriegelung der Tragringabschnitte bewirkt.

**[0026]** Zwei Weiterbildungen, die sich auf den inneren Tragring beziehen, sind in den Fig. 7 bis 10 gezeigt.

**[0027]** Die erste Weiterbildung ist in Fig. 7 in einer Vorderansicht und in Fig. 8 in einem teilweisen Draufblock dargestellt. Der innere Tragringabschnitt 62' ist über seine Länge verwendelt gestaltet. Die Stoßkanten 64' und 74' sind in gleichem Sinne gegen die Scheibenebene 200 geneigt. Die Schaufeln 48 der Teilscheibe sind über Stege 84, welche in der Scheibenebene liegen, mit dem inneren Tragringabschnitt verbunden. Die neutrale Faser 88 der Verwendelung, also jener Bereich des Tragringabschnitts, der über die gesamte Länge des Tragringabschnitts in der Scheibenebene liegt, liegt im Wesentlichen auf der Kante des Tragringabschnitts, mit welcher die Stege verbunden sind.

**[0028]** Die zweite Weiterbildung ist in Fig. 9 in einer Vorderansicht und in Fig. 10 in einem teilweisen Draufblock dargestellt. Auch hier ist der innere Tragringabschnitt 62' über seine Länge, also zwischen den zur Scheibenebene 200 geneigten Stoßkanten 64" und 74", verwendelt gestaltet. Die Schaufeln 48 sind wiederum über Stege 84 mit dem inneren Tragringabschnitt verbunden. Die Stege sind jedoch mit der in der Scheibenebene liegenden neutralen Faser 88 verbunden, wobei diese nicht auf der Kante des Tragringabschnittes sonderen im inneren liegt. Spalte 86 sind zwischen Kante und neutraler Faser geformt, so dass die Stege in der Scheibenebene zu liegen kommen.

**[0029]** Die Verwendelung des inneren Tragringabschnitts ist gegenüber einer ebenfalls denkbaren Verwendelung des äußeren Tragringabschnitts vorteilhaft, da aufwändige, an die Verwendelung angepasste Gestaltungen des Distanzringes entfallen.

**[0030]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel zeigen die Fig. 11 bis 13. In Fig. 11a sind die inneren Tragringabschnitte 62'" und 66'" zweier Teilscheiben im Draufblick zu sehen. Mindestens die Teilscheibe 62'" weist eine Sikke 100 auf, die bis an die Stoßkanten 62'" und 74"' geführt ist. Vorteilhaft, um die Teilscheiben als Gleichteil gestalten zu können, verläuft die Sicke gemäß Fig. 11a nicht koaxial zum Tragring. Dies ist Fig. 11b anhand der Radien veranschaulicht. Der Radius des tiefsten Punkts der Sicke besitzt an der Stoßkante 64"' einen großen Radius 104, der größer als der kleine Radius 102 an der Stoßkante 74'" ist. Durch diese Wahl der Radien wird ein Übereinandergleiten der Stoßkanten verhindert. Radial innerhalb und außerhalb der Sicke liegen ebene Abschnitte 106 und 102, an denen die Stoßkanten der Teilscheiben aufeinanderliegen verlaufen.

**[0031]** Die Sicke kann unterschiedliche Querschnitte besitzen. In Fig. 11 besitzt die Sicke 100 einen im Wesentlichen dreieckigen Querschnitt. Die Sicke 100' in Fig. 12a hat einen rechteckigen, die Sicke 100" in Fig. 12b einen runden Querschnitt.

**[0032]** Die Sicke kann zudem in einer Weiterbildung, gezeigt in Fig. 13a und 13b, Laschen 110 und 112 aufweisen, die bei Montage die Sicken 100 der Tragringabschnitte 62'" und 66"' in Eingriff miteinander bringen. Dies wird in der Variante nach Fig. 13 erreicht, in dem die Laschen an gekreuzt aufeinander stehenden Abschnitten der Sicke angeordnet sind, so dass sich eine Wirkung analog der Fig. 6a und b ergibt. In Fig. 13b ist der Tragringabschnitt 66'" gestrichelt dargestellt, der Tragringabschnitt 62'" mit durchgezogener Linie. Diese Darstellung veranschaulicht die gekreuzte Stellung der Sickenabschnitte zueinander.

**[0033]** In Fig. 14 ist eine Ausprägung dieses Gedankens gezeigt, bei der die Tragringabschnitte 62"" und 66"" Sicken 100 aufweisen, welche an den Stoßkanten 64"" und 68"" derart radial zueinander versetzt angeordnet sind, dass sie sich nicht überdecken. An den Stoßkanten der Tragringabschnitte sind Laschen 114 und 116 angeordnet, die jeweils in den durch die Sicke des gegenüberliegenden Tragringabschnitts geschaffenen Raum hineinragen. Durch diese Gestaltung wird zum einen ein Überlappen der Tragringabschnitte verhindert, zum anderen die Verschiebung der Tragringabschnitte in axialer Richtung begrenzt. Bei Anpassung der Laschen derart, dass sie die volle Breite der Sicke besitzen, wird die axiale Bewegung vollständig unterdrückt.

**[0034]** Die Sicke kann abschnittsweise nur im Bereich der Stoßkanten vorgesehen sein. Vorteilhaft ist, sie über die gesamte Länge des Tragringabschnitts zwischen den Stoßkanten verlaufen zu lassen, da so als weiterer Vorteil eine Versteifung des Tragringabschnitts erreicht wird.

**[0035]** An den unterschiedlichen Enden der Tragringabschnitte können verschiedene der gezeigten Maßnahmen eingesetzt werden, so dass an einer Teilscheibe eines oder mehrere der vorgestellten Beispiele kombiniert werden. Auch ist die Kombination einzelner Merkmale der Beispiele möglich.

## Patentansprüche

1. Turbomolekularpumpe (1) mit einem Rotor (10), welcher einen Schaufelkranz aufweist, einer Statorscheibe (14, 16, 18), welche einen Tragring (50, 60), einen mit diesem verbundenen Schaufelkranz und zwei Teilscheiben (140, 142) umfasst, wobei jede Teilscheibe einen Tragringabschnitt (52, 56, 62, 66; 62'; 62"; 62"', 66"'; 62"", 66"") und eine an diesem angeordnete Stoßkante (54, 58, 64, 68, 70, 72, 74, 76; 64', 74'; 64", 74"; 64"', 74"') aufweist und sich die Stoßkanten der Teilscheiben berühren, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stoßkanten der Teilscheiben derart geformt sind, dass sie wenigstens

abschnittsweise gekreuzt aufeinanderstoßen, so dass ein Überlappen der Teilscheiben verhindert wird.

2. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stoßkanten der Teilscheiben geradlinig geformt sind.

3. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens der Tragringabschnitt einer Teilscheibe eine zur Stoßkante hin geöffnete Ausnehmung (80) aufweist, welche im Eingriff mit dem Tragringabschnitt einer zweiten Teilscheibe steht.

4. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Tragringabschnitte beider Teilscheiben Ausnehmungen (80) aufweisen, welche ineinandergreifend angeordnet sind.

5. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmung selbstzentrierend geformt ist, insbesondere sich zur Stoßkante hin aufweitend.

6. Turbomolekularpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
**dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Tragringabschnitt (62'; 62") radial innerhalb des Schaufelkranzes angeordnet und entlang seines Umfangs verwendelt gestaltet ist.

7. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schaufelkranz vorgesehene Schaufeln (48) mit einer neutralen Faser (88) des Tragringabschnitts (62'; 62") verbunden sind.

8. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Tragringabschnitt (62") und im Schaufelkranz vorgesehenen Schaufeln Stege (84) vorgesehen sind, welche mit einer neutralen Faser (88) des Tragringabschnitts verbunden sind, und zwischen Steg und Tragringabschnitt ein Spalt (86) vorgesehen ist.

9. Turbomolekularpumpe nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der verwendelte Tragringabschnitt mehrmals die durch den Schaufelkranz festgelegte Scheibenebene schneidet.

10. Turbomolekularpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Tragringabschnitt (62"', 66"'; 62"", 66"") eine sich in Umfangsrichtung erstreckende Sicke (100; 100'; 100") umfasst.

11. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sicken (100) zweier Teilscheiben jeweils an einer der Stoßkanten ein Sickenende aufweisen und diese Sickenenden radial versetzt zueinander angeordnet sind.

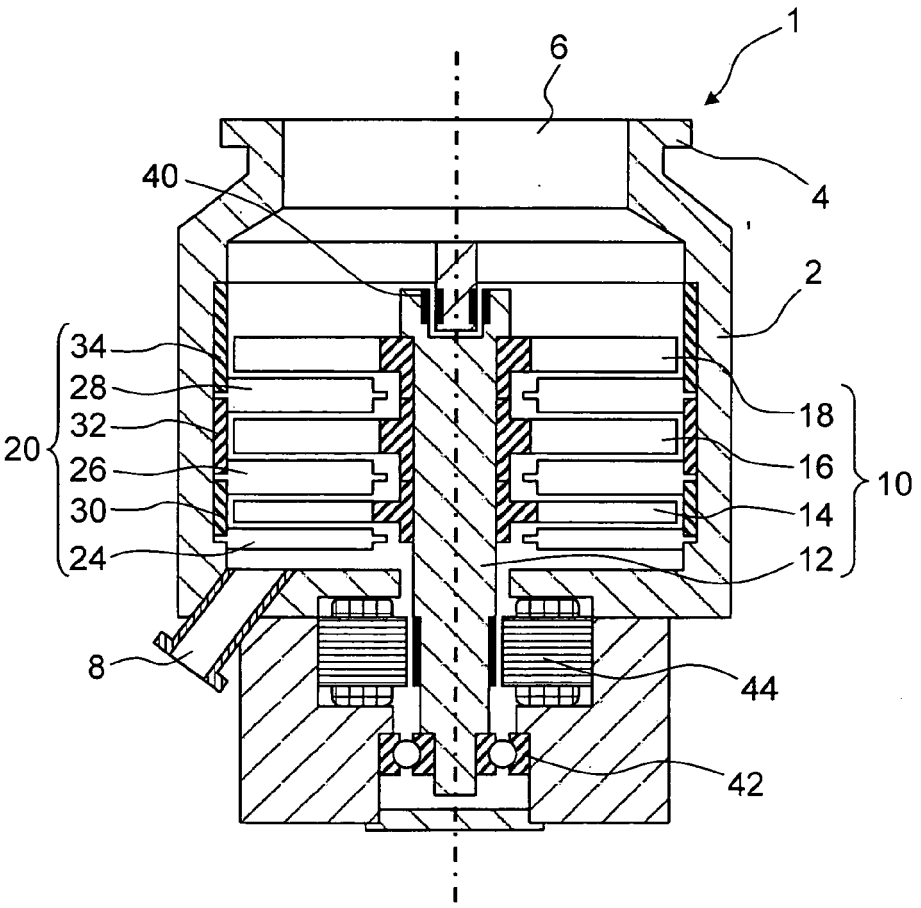


Fig. 1

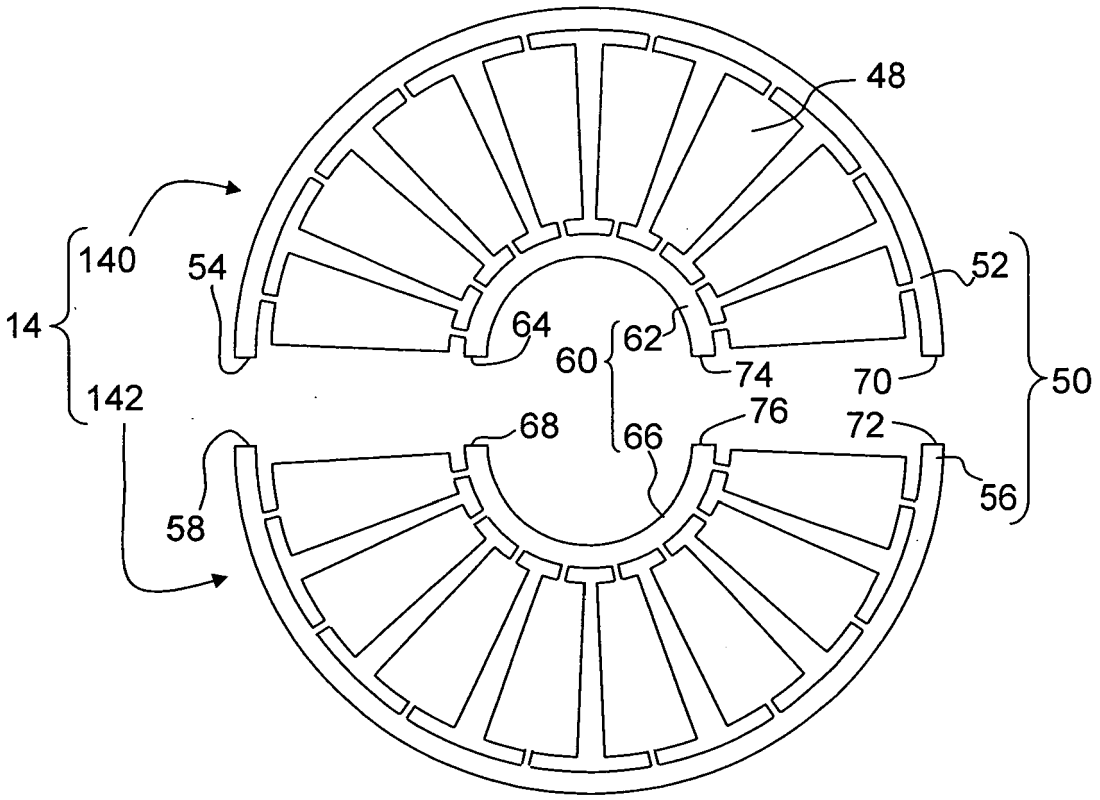
48
140
54
52
14
64
62
60
74
70
50
142
68
76
72
66
56
58

Fig. 2

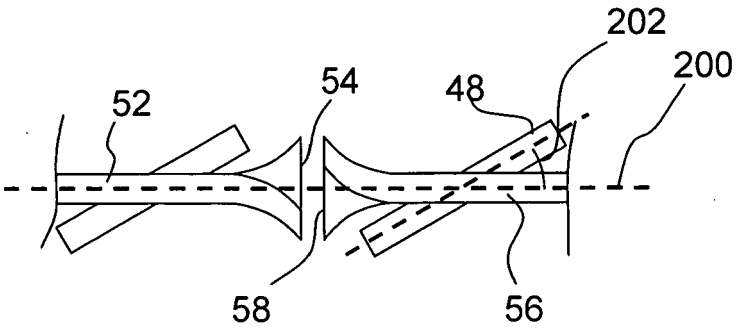
202
200
54
48
52
58
56

Fig. 3

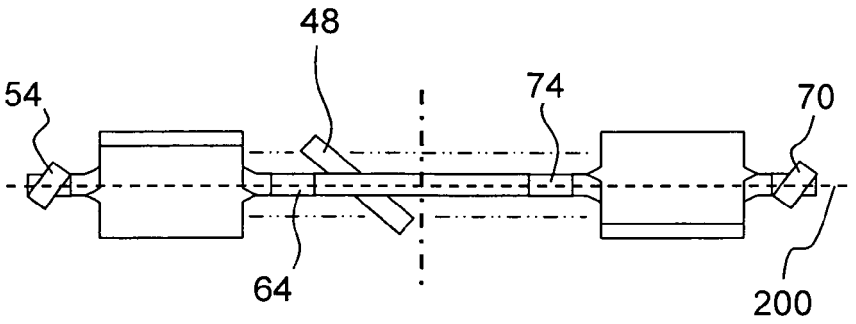


Fig. 4

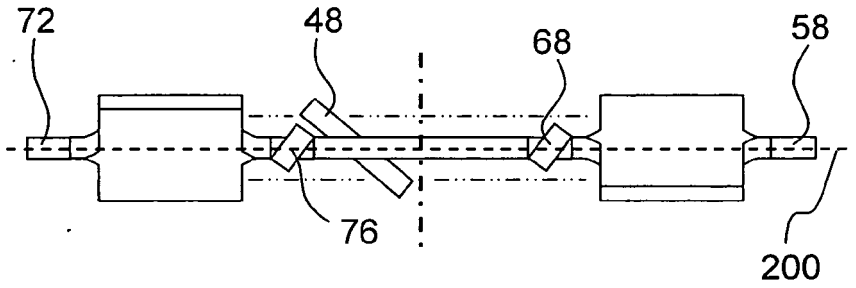


Fig. 5

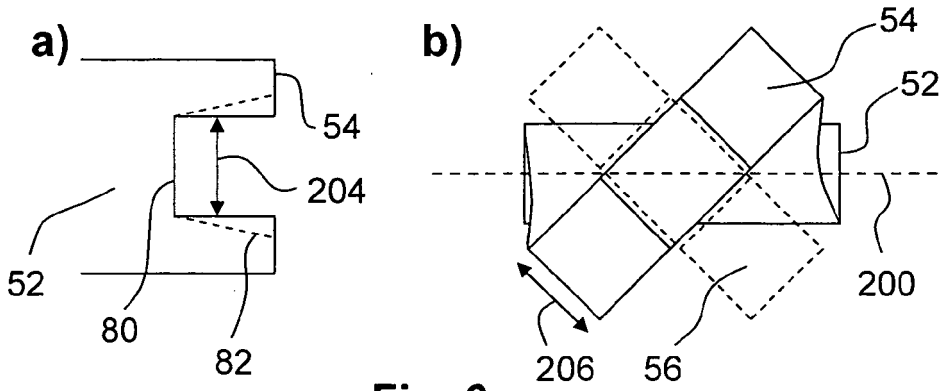


Fig. 6

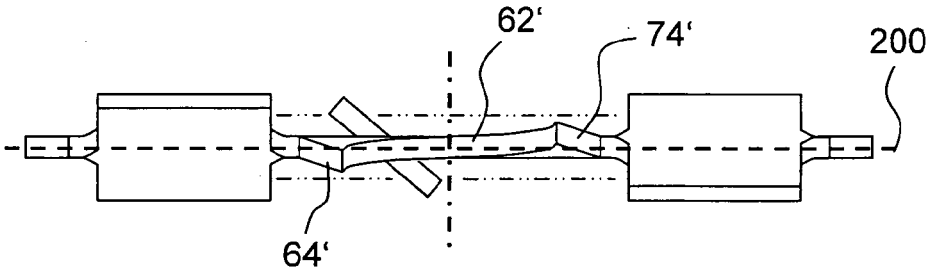


Fig. 7

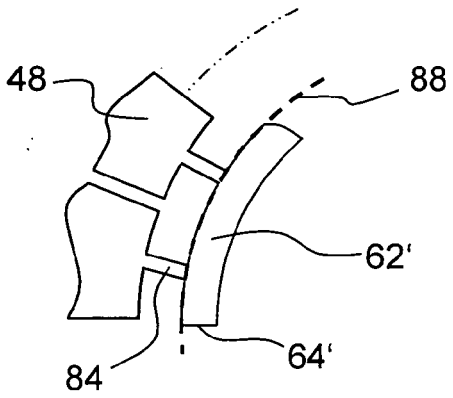


Fig. 8

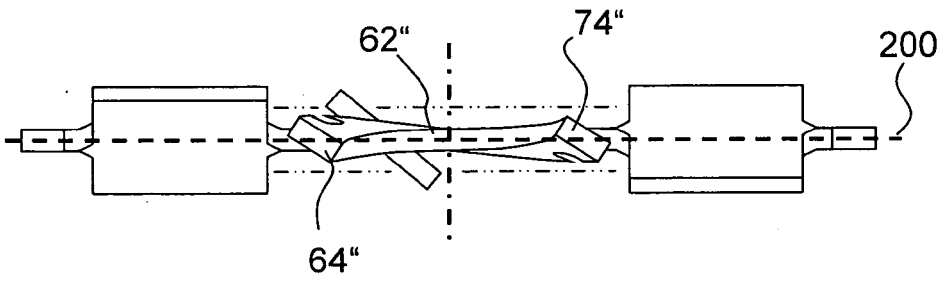


Fig. 9

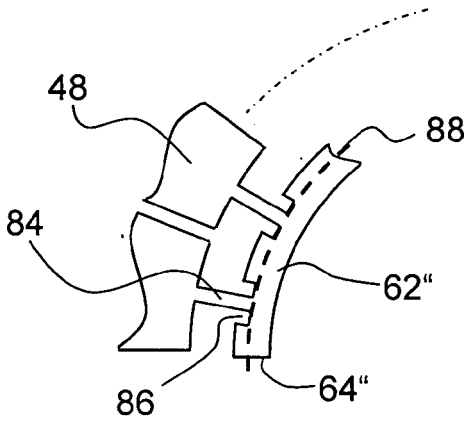


Fig. 10

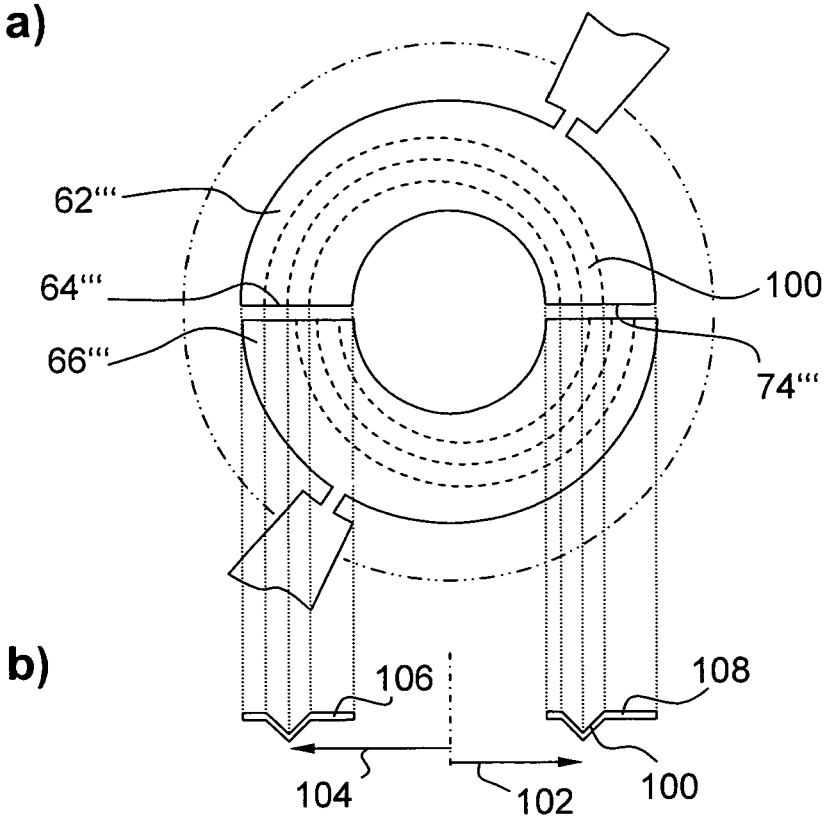


Fig. 11

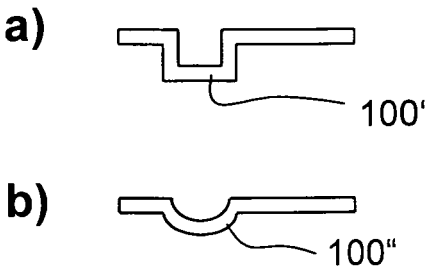


Fig. 12

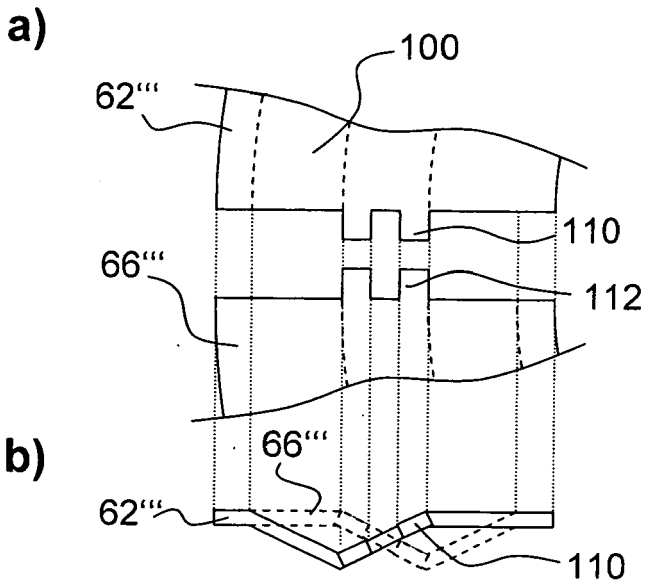


Fig. 13

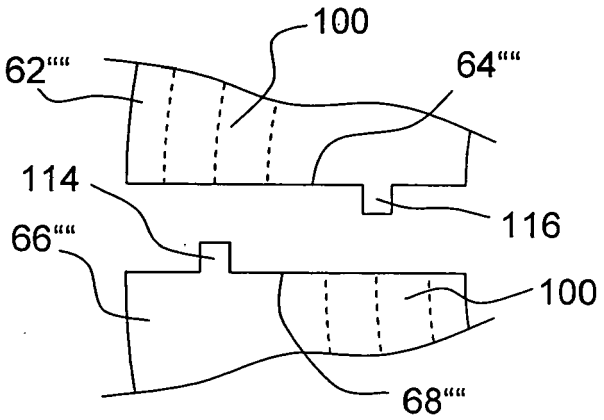


Fig. 14