

(19)



(11)

EP 2 295 813 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

16.03.2011 Patentblatt 2011/11

(51) Int Cl.:

F04D 19/04 ^(2006.01)**F04D 27/02** ^(2006.01)(21) Anmeldenummer: **10007376.6**(22) Anmeldetag: **16.07.2010**

(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 SE SI SK SM TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

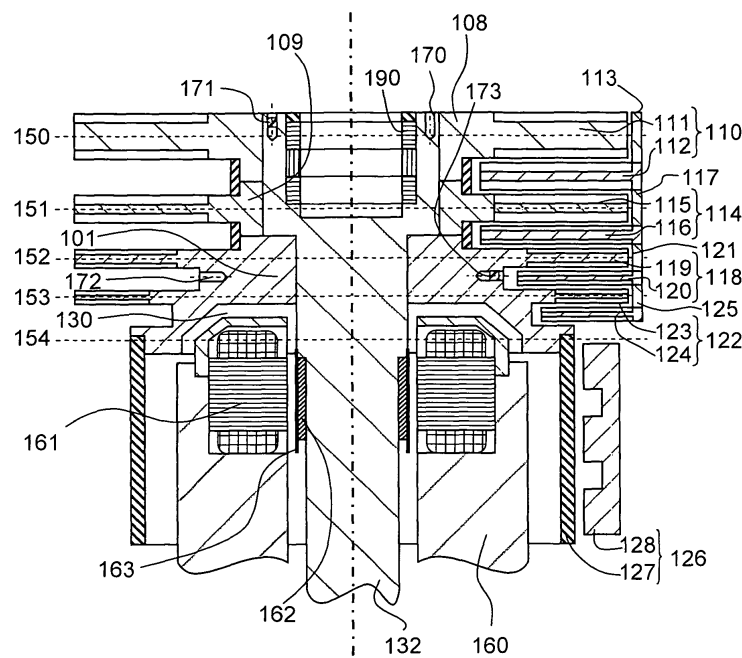
BA ME RS(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum GmbH****35614 Asslar (DE)**

(72) Erfinder:

• **Bernhardt, Helmut****35584 Wetzlar (DE)**• **Tatzber, Bernhard****30305 Grünberg (DE)**(30) Priorität: **01.08.2009 DE 102009035812**(54) **Turbomolekularpumpenrotor**

(57) Die Erfindung betrifft einen Turbomolekularpumpenrotor mit in einer ersten (119; 219; 319; 419; 519) und zweiten Pumpstruktur (123; 223; 323; 423; 523), wobei jede Pumpstruktur geeignet und vorgesehen ist, mit einer statorseitigen Pumpstruktur (120, 124; 220, 224; 320, 324; 420, 424; 520, 523) eine Pumpstufe zu bilden.

Um das Burstverhalten der Turbomolekularpumpe zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass ein erstes Rotor-
teil (101; 201; 301; 401; 501) die erste Pumpstruktur und die zweite Pumpstruktur (123; 223; 323; 423; 523) umfasst und der Turbomolekularpumpenrotor eine dritte Pumpstruktur (111, 115; 211, 215; 311, 315; 411, 415; 511, 515, 519) aufweist.

**Fig. 1****EP 2 295 813 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Turbomolekularpumpenrotor nach dem Oberbegriff des ersten Anspruchs.

[0002] Im Stand der Technik haben sich in den Jahrzehnten einige wenige Prinzipien herausgebildet, nach denen Turbomolekularpumpenrotoren aufgebaut sind.

[0003] Eine erste gängige Bauart besteht darin, Scheiben mit einer Reihe Turboschaufeln zu versehen und diese auf eine Welle aufzuschumpfen oder zu klemmen. Einen solchen Aufbau zeigt die EP-A-1559914. Gerade bei Turbomolekularpumpen mit großem Saugvermögen und fünfachsig aktiver Magnetlagerung führt dies zu großen Baulängen.

[0004] Eine andere gängige Bauform schafft eine kürzere Bauweise, indem eine zentrale Welle mit den notwendigen Antriebs- und Lagerkomponenten von einem Rotorkörper umgeben ist, wobei Welle und Rotorkörper stirnseitig miteinander verbunden sind. Der Rotorkörper kann aus mehreren Scheiben aufgebaut sein, wie beispielsweise die DE 1728487 zeigt. Es ist jedoch üblicher, den Rotorkörper als einstückiges Teil zu schaffen, wie es in der ersten Abbildung der EP-A-1517042 vorgestellt wird. Dieser Aufbau ist zwar günstig in Bezug auf die Baulänge, schafft aber andere Probleme, beispielsweise das im Folgenden beschriebene Burstproblem. Die Drehzahlen der Turbomolekularpumpen liegen im Bereich von einigen zehntausend Umdrehungen in der Minute. Gerade bei großen Pumpen mit einem Saugvermögen von mehreren hundert Litern pro Sekunde, bei denen diese Art Rotorkörper vorteilhaft sind, erreichen die in diesem gespeicherten Rotationsenergien sehr hohe Werte. Bei einem so genannten Burst, bei dem der Rotorkörper zerreißt und die in ihm gespeicherte Energie schlagartig an das Gehäuse abgegeben wird, kann eine Gefährdung der Umgebung nicht vollkommen ausgeschlossen werden, da die abgegebene Energie die Verbindung von Gehäuse und abzupumpenden Rezipienten überlasten kann.

[0005] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, einen Turbomolekularpumpenrotor vorzustellen, durch den insbesondere die genannten Gefährdungen vermieden werden.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Turbomolekularpumpenrotor mit den Merkmalen des ersten Anspruchs, einer Turbomolekularpumpe nach Anspruch 6 und einem Rotorbauteil nach Anspruch 8. Die Ansprüche 2 bis 5 und 7 geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung an.

[0007] Die Sicherheit im Falle des Bursts wird erhöht, da der Turbomolekularpumpenrotor nach Anspruch 1 keinen durchgängigen Rotorkörper darstellt. Dies reduziert die Größe der Bruchstücke und zieht den Zerreißprozess in die Länge. Hierdurch wird eine Überlastung der Verbindung von Gehäuse der Turbopumpe und abzupumpenden Rezipienten verhindert. Das erste Rotorteil, welches die erste Pumpstruktur und die zweite

Pumpstruktur umfasst, kann aus flachem Material hergestellt werden, welches bei gegebenem Kostenrahmen mit höherer Festigkeit erhältlich ist. Dies führt zu einer weiteren Erhöhung der Sicherheit.

[0008] Diese Gestaltung lässt sich weiterbilden, indem das erste Rotorteil eine Ausnehmung aufweist, welche sich in axialer Richtung erstreckt und radial innen liegt, das heißt von der Symmetrie- und Rotationsachse derart in radialer Richtung erstreckt, dass ein Hohlraum entsteht. In diesem Hohlraum können dann vorteilhaft weitere Komponenten angeordnet sein, beispielsweise eine Labyrinthdichtung oder Teile der Lagerung und des Antriebs. Hierdurch wird Baulänge eingespart.

[0009] Eine andere Weiterbildung zielt drauf ab, die dritte Pumpstruktur als beschauelte Rotorscheibe zu gestalten. Dies erhöht zum einen die Sicherheit, da sich solche Einzelscheiben im Burst unkritisch verhalten, zum anderen erlaubt die Scheibenbauweise gerade im Hochvakuumbereich größere Freiheiten bei der Gestaltung der Schaufeln. Im Hochvakuumbereich sind die Schaufeln steil gegen die Bewegungsrichtung angestellt und erstrecken sich lang in axialer und tangentialer Richtung. Sind mehrere Schaufelreihen für diesen Druckbereich an einem gemeinsamen Körper angeordnet, unterliegt die Gestaltung Beschränkungen durch Fertigungsverfahren wie Fräsen und Sägen. Dies gilt für Scheiben nicht, so dass auf diese Weise bessere Vakuumdaten erreicht werden.

[0010] In einer weiteren Weiterbildung wird vorgeschlagen, einen Armierungsring zwischen den mit Schaufeln versehenen Tragringen anzuordnen, da hierdurch das Burstverhalten weiter verbessert wird.

[0011] Eine wiederum andere Weiterbildung schlägt vor, dass der Turbomolekularpumpenrotor ein zweites Rotorteil mit wenigstens zwei Pumpstrukturen aufweist. Hierdurch wird ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Burstverhalten erreicht, zudem die Zahl der zu fügenden Teile gering gehalten. Aufgrund der verringerten Abmessungen der Rohteile wird bei diesen an Kosten gespart.

[0012] Anhand von Ausführungsbeispielen soll die Erfindung und ihre Weiterbildungen näher erläutert und die Darstellung ihrer Vorteile vertieft werden. Es zeigen:

Fig. 1: Schnitt durch einen Turbomolekularpumpenrotor und den Antriebsbereich einer Turbomolekularpumpe gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 2: Schnitt durch einen Turbomolekularpumpenrotor und den Antriebs- und Lagerbereich einer Turbomolekularpumpe gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel.

Fig. 3: Schnitt durch einen Turbomolekularpumpenrotor gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 4: Schnitt durch einen Turbomolekularpumpenrotor gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel.

Fig. 5: Schnitt durch einen Turbomolekularpumpenrotor gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel.

[0013] Ein erstes Ausführungsbeispiel eines Turbomolekularpumpenrotors ist in einem Schnitt entlang der Drehachse in Figur 1 gezeigt.

[0014] Die Abbildung zeigt zunächst einen Teil 160 der Gehäuses der Turbomolekularvakuumpumpe, im Folgenden Turbopumpe. Dieser Teil nimmt die Motorspule 161 auf, welche ein umlaufendes Magnetfeld erzeugt. Dieses wirkt mit dem Motormagnet 162 zusammen und versetzt den Turbomolekularpumpenrotor in schnelle Drehung. Der Motormagnet ist von einer Hülse 163 verdeckt und gegen negative Auswirkungen der einwirkenden Fliehkräfte gesichert auf der Welle 132 des Turbomolekularpumpenrotors angeordnet. Die Welle weist an einer ihrer Stirnseiten, vorzugsweise der Hochvakuumseite zugewandt, eine Ausnehmung auf, in der wenigstens ein Permanentmagnetring 190 angeordnet, welcher den rotorseitigen Teil eines schmiermittelfreien Magnetlagers zum Tragen des Turbomolekularpumpenrotors bildet.

[0015] Die Turbopumpe weist einen Pumpenstator auf, der als statorseitige Pumpstrukturen mit Schaufeln versehene Statorscheiben 112, 116, 120 und 124 umfasst, welche mittels Distanzringe 113, 117, 121 und 125 axial voneinander beabstandet sind. Der Pumpenstator umfasst als weitere statorseitige Pumpstruktur zudem einen Holweckstator 128.

[0016] Der Turbomolekularpumpenrotor umfasst als rotorseitige Pumpstrukturen Rotorschaukelkränze 111, 115, 119 und 123 sowie eine Rotorhülse 127. Die Rotorschaukelkränze werden jeweils von Schaufeln gebildet, die sich am Rotor radial auswärts erstrecken und für jeden der Rotorschaukelkränze in einer der Ebenen 150, 151, 152 und 153 liegen. Die Bestigungsebene der Rotorhülse bildet die Ebene 154. Die Ebenen 150, 151, 152, 153 und 154 sind in axialer Richtung voneinander beabstandet.

[0017] Die Pumpstrukturen 111 und 112 wirken zusammen und bilden eine erste Pumpstufe 110, welche ansaugseitig angeordnet ist und im Hochvakuumbereich arbeitet. Die Pumpstrukturen 115 und 116, 119 und 120, sowie 123 und 124 bilden weitere Pumpstufen 114, 118 und 122 für den mittleren Druckbereich. Rotorhülse 127 und Holweckstator 128 bilden zusammen eine Holweckstufe.

[0018] Die Welle trägt das erste Rotorbauteil 101, welches die Schaufeln der Rotorschaukelkränze 119 und 123 umfasst, vorteilhaft sind die Schaufeln einstückige Bestandteile des ersten Rotorbauteils. Das erste Rotorbauteil trägt zudem die Rotorhülse 127, welche einen Kohlefaserverbundwerkstoff umfasst. Das erste Rotorteil weist eine Ausnehmung 130 auf. Diese erstreckt sich in axialer und radialer Richtung derart, dass ein Hohlraum entsteht. In diesen ragen Teile des Gehäuses 160 und der Motorspule 161 hinein, so dass eine kurze Bau-

länge der Turbopumpe erreicht wird. Ein weiterer Vorteil ergibt sich dadurch, dass die Rotorschaukelkränze für den Druckbereich angepasst sind, der zwischen dem Druckbereich für die Holweckpumpstufe und der Hochvakuumstufe liegt. In diesem Druckbereich sind die Schaufelwinkel flach, das heißt die Schaufel ist nur leicht gegen die Rotorschaukelkranzebene geneigt. Zusammen mit der geringeren radialen Tiefe der Schaufel als im Hochvakuumbereich erlaubt dies eine kostengünstige Herstellung durch Einsägen von Kanälen in einen zylindrischen Ausgangskörper.

[0019] Die Welle trägt auf der dem Hochvakuum zugewandten Seite des ersten Rotorbauteils einen ersten Tragring 108 und einen zweiten Tragring 109. Der erste Tragring trägt die als Rotorschaukelkranz ausgebildete Pumpstruktur der ersten Pumpstufe 110 welche für den Hochvakuumdruckbereich ausgelegt ist. Der zweite Tragring trägt die als Rotorschaukelkranz gestaltete Pumpstruktur der zweiten Pumpstufe 114. In dem Druckbereich dieser beiden Pumpstufen sind die Schaufelwinkel steiler, das heißt, die Schaufel ist stärker als bei den Pumpstufen 118 und 122 gegen die Rotorschaukelkranzebene geneigt. Daher ist die Herstellung als Scheibe, welche Tragring und Rotorschaukelkranz aufweist, kostengünstig und weniger durch die Herstellungsweise eingeschränkt. Die Einschränkung besteht bei mehrreihiger Bauweise darin, dass das bearbeitende Werkzeug bei der Bearbeitung der Schaufeln der einen Reihe auf die Schaufeln der anderen Reihen Rücksicht nehmen muss.

[0020] Die Bauweise mit einem ersten Rotorbauteil sowie erstem und zweitem Tragring bringt große Vorteile für das Burstverhalten mit sich. Dies liegt zum einen daran, dass die Größe des größten Bruchstückes in dieser Bauweise im Vergleich zur vollständig einstückigen Glocke deutlich verringert wird. Zum anderen können bei gleichem Ausgangspreis höherwertige, insbesondere festere, Ausgangsmaterialien für die Rotorbauteile benutzt werden. Außerdem wird der zeitliche Ablauf des Bursts günstig beeinflusst, da ein sich bildender Riss in einem Bauteil auf die Grenzen zum nächsten Bauteil trifft. Hierdurch ergibt sich eine zeitliche Streckung, die bei gleicher gespeicherter Energie zu einer Verringerung der auftretenden Kräfte führt.

[0021] Das Burstverhalten kann dadurch noch verbessert werden, dass zwischen erstem und zweitem Tragring und zweitem Tragring und erstem Rotorbauteil ein Armerungsring angeordnet ist.

[0022] Vorteilhaft sind Bohrungen 172 für Wuchtgewichte 173 zwischen den Rotorschaukelkränzen 119 und 123 angeordnet. Zusammen mit Bohrungen 170 und Wuchtgewichten 171 in der Stirnseite der Welle kann der Rotor mit gut zugänglichen Gewichten gewuchtet werden.

[0023] Das erste Rotorteil kann je nach Anforderungen an Vakuumdaten der Turbopumpe mehr als zwei Rotorschaukelkränze aufweisen, zudem kann die Zahl der Tragringe gegenüber der Figur erhöht oder verringert wer-

den.

[0024] Ein zweites Ausführungsbeispiel eines Turbomolekularpumpenrotors ist in einem Schnitt entlang der Drehachse in Figur 2 gezeigt.

[0025] Dieses Beispiel betrifft eine mit aktiven Magnetlagern ausgestattete Turbomolekularpumpe. Im Gehäuseteil 260 sind, die Welle 232 umgebend, ein Fanglager 295, eine Radiallagerspule 291, ein Radialsensor 293 und die Motorspule 261 angeordnet. Die Motorspule wirkt mit dem auf der Welle befindlichen und durch eine Hülse 263 gesicherten Motormagneten 262 zusammen, so dass bei Bestromung der Motorspule die Welle in schnelle Drehung versetzt wird. Der Radialsensor wirkt mit dem wellenseitigen Radialsensortarget 294 zusammen und ermöglicht einer nicht gezeigten Magnetlagersteuerelektronik die Bestimmung der radialen Auslenkung des Rotors und damit der Ansteuerung der Radiallagerspule. Diese wirkt mit dem wellenseitigen Radiallagertarget 292 zusammen und erlaubt durch Bestromen der Radiallagerspule die radiale Positionierung der Welle das heißt des Grades der Auslenkung von der Mittelachse. Das Fanglager dient der Vermeidung des Kontaktes von Gehäuse und Welle im Falle großer Auslenkungen. Als ruhende Pumpstrukturen weist die Turbomolekularpumpe dieses Beispiels dem Vorvakuum zugewandt einen Holweckstator 228 auf, in welchem schraubenlinienartig Kanäle verlaufen, die mit der am Rotor angeordneten Hülse 227 zusammenwirken und zusammen eine Holweckstufe 226 bilden.

[0026] Weitere ruhende Pumpstrukturen sind die mit Schaufelkränzen versehenen Statorscheiben 212, 216, 220 und 224, welche durch zwischen ihnen angeordneten Distanzringen 213, 217, 221 und 225 axial beabstandet sind. In die axialen Zwischenräume zwischen den Statorscheiben tauchen die als Rotorschaukelkränze 211, 215, 219 und 223 gestalteten Pumpstrukturen ein. Ruhende und rotorseitige Pumpstrukturen wirken paarweise zusammen. Der Rotorschaukelkranz 211 bildet mit der Statorscheibe 212 zusammen die erste, der Kammer zugewandte und im Hochvakuum arbeitende Pumpstufe 210. Entsprechend bilden Statorscheibe 216 und Rotorschaukelkranz 215 die nachfolgende zweite Pumpstufe 214, Statorscheibe 220 und Rotorschaukelkranz 219 die dritte Pumpstufe 218 und schließlich Statorscheibe 224 und Rotorschaukelkranz 223 die am Übergabedruck zur Holweckstufe arbeitende vierte Pumpstufe 222. Die Rotorschaukelkränze sind jeweils in voneinander axial beabstandeten Ebenen 250, 251, 252 und 253 angeordnet, der Befestigungsbereich der Rotorhülse bildet die Ebene 254.

[0027] Die rotorseitigen Pumpstrukturen in Form der Rotorschaukelkränze 219 und 223 sind am ersten Rotorteil 201 angeordnet und bilden mit diesem einen einstückigen Körper. Die Rotorhülse 227 ist mit dem ersten Rotorteil verbunden. Das erste Rotorteil weist eine Ausnehmung 230 in ihrem Zentrum auf. Dieser sich axial und radial von der Mitte aus erstreckende Hohlraum nimmt das Fanglager wenigstens teilweise auf, so dass vorteil-

haft die Baulänge der Turbopumpe reduziert ist. Der Hohlraum kann so weit vergrößert werden, dass sich das Gehäuseteil 260, welches Radiallager, Radialsensor und Motorspule beinhaltet, über einen Teil seiner axialen Ausdehnung darin befindet. Dies führt zu einer weiteren Verringerung der sich in Richtung Rotorsymmetrieachse erstreckenden Baulänge der Turbopumpe.

[0028] Das erste Rotorteil ist mit einem Sicherungsmittel, im Beispiel einer Schraube 280, mit der Stirnseite der Welle 232 verbunden. Die Welle weist eine Ausnehmung auf, mit der ein Zapfen 289 des ersten Rotorteils in Eingriff steht, wodurch die radiale Positionierung vereinfacht wird.

[0029] Das erste Rotorteil besitzt gemäß diesem Beispiel einen Trägerabschnitt 201a. Dieser erstreckt sich vom ersten Rotorteil aus axial in Richtung Hochvakuum, also in die der Welle abgewandten Richtung. Auf diesem Trägerabschnitt sind ein Tragring 208 angeordnet, mit welchem der Rotorschaukelkranz 211 verbunden ist. Ein weiterer Tragring 209 und der Rotorschaukelkranz 215 sind ebenfalls miteinander verbunden. Die Tragringe mit Rotorschaukelkranz sind günstig herstellbar, beispielsweise durch Sägen aus Vollmaterial. Hierfür steht kostengünstig hochfestes Material zur Verfügung. Die Trennung zwischen erstem Rotorteil und Tragringen erhöht die Burstsicherheit, in dem das Zerreißen des Bauteils an dieser Trennung verzögert wird. Zudem wird die maximale Größe der Fragmente reduziert. Durch den Trägerabschnitt 201a ist eine sichere und dauerhafte Zentrierung der Tragringe gewährleistet, so dass eine Unwuchsveränderung auf Grund verloren gehender Zentrierung vermieden werden kann.

[0030] In einer Weiterbildung ist ein Armierungsring 281 vorgesehen, der so angeordnet ist, dass er beide Tragringe 208 und 209 auf deren Oberfläche berührt und einem Aufweiten der Tragringe in radialer Richtung durch Fliehkräfte entgegenwirkt.

[0031] Eine andere Weiterbildung sieht vor, stirnseitig in den Trägerabschnitt 201a a Wuchtbohrungen 270 vorzusehen, in die Wuchtgewichte 271 eingesetzt werden können. Zusammen mit zwischen den Rotorschaukelkränzen 219 und 223 vorgesehen unteren Wuchtbohrungen 272 und darin je nach Bedarf befindlichen Wuchtgewichten 273 wird eine sehr gute Wuchtung des Rotors bei einfacher Zugänglichkeit der Wuchtbohrungen erreicht.

[0032] Das erste Rotorteil kann je nach Anforderungen an Vakuumdaten der Turbopumpe mehr als zwei Rotorschaukelkränze aufweisen, zudem kann die Zahl der Tragringe gegenüber der Figur erhöht oder verringert werden.

[0033] Ein drittes Ausführungsbeispiel eines Turbomolekularpumpenrotors ist in einem Schnitt entlang der Drehachse in Figur 3 gezeigt. Es ist ein alternativer Aufbau des Turbomolekularpumpenrotors ohne die weiteren Komponenten der Turbopumpe dargestellt.

[0034] Der Turbomolekularpumpenrotor umfasst eine Welle 332, mit deren Stirnseite ein erstes Rotorteil 301

verbunden ist. Die Welle weist eine Ausnehmung auf, mit der ein Zapfen 389 des ersten Rotorteils in Eingriff steht, wodurch die radiale Zentrierung bewirkt wird. Die Welle befindet sich mit einem Teil ihrer Länge in einem Hohlraum 330, der von der Rotationsachse des ersten Rotorteils ausgehend sich über einen Teil des Radiuses und in axialer Richtung erstreckt. Dieser Hohlraum nimmt einen Teil der weiteren Komponenten der Turbopumpe, zum Beispiel Teile von Lager und Antrieb, auf, wodurch die Baulänge der Turbopumpe reduziert wird. Das erste Rotorteil weist drei Rotorscheufelkränze 319, 323 und 329 auf, die in drei Ebenen 352, 353 und 354 angeordnet sind.

[0035] Auf der der Welle abgewandten Seite des ersten Rotorteils befindet sich ein zweites Rotorteil 302. Dieses wird durch Zentriermittel 382 gegenüber dem ersten Rotorteil zentriert. Gemäß des Beispiels ist das Zentriermittel als Ausnehmung im ersten Rotorteil gestaltet, mit der das zweite Rotorteil in Eingriff steht. Das zweite Rotorteil weist eine, dem ersten Rotorteil abgewandte, hochvakuumseitige Ausnehmung 383 auf, in welcher eine Schraube 380 angeordnet ist, welche der sicheren Verbindung von Welle, ersten und zweitem Rotorteil dient. Das zweite Rotorteil umfasst die Rotorscheufelkränze 311 und 315, welche in den Ebenen 350 und 351 angeordnet sind. Auch dieser Aufbau führt zu einem günstigen Verhalten im Falle eines Bursts aufgrund der Größe der entstehenden Fragmente. Ein Vorteil dieser Anordnung ist die geringe Zahl der Bauteile, so dass wenige Teile zu fügen sind. Gleichzeitig ist das Ausgangsmaterial günstiger als im Falle einer Vollglocke, das heißt eines einzelnen Grundkörpers, der alle Rotorscheufelkränze umfasst.

[0036] Die Zahl der Rotorscheufelkränze, die an jedem der Rotorteile angeordnet ist, ist abhängig von der vakuumtechnischen Auslegung der Turbopumpe größer oder gleich zwei.

[0037] Ein viertes Ausführungsbeispiel eines Turbomolekularpumpenrotors ist in einem Schnitt entlang der Drehachse in Figur 4 gezeigt. Es ist ein alternativer Aufbau des Turbomolekularpumpenrotors ohne die weiteren Komponenten der Turbopumpe dargestellt.

[0038] Neben dem ersten Rotorteil 401, welches die in den axial beabstandeten Ebenen 452, 453 und 454 angeordneten Rotorscheufelkränze 419, 423 und 429 umfasst, weist dieser Turbomolekularpumpenrotor ein zweites Rotorteil 402 mit einem Fortsatz 402a auf. Auf diesem Fortsatz sind die Tragringe 408 und 409 angeordnet, welche beispielsweise durch Aufschrumpfen oder Klemmen positioniert sind. Der Rotorscheufelkranz 415 der Ebene 451 ist einstückig mit dem Tragring 409 ausgeführt. Der in der Ebene 450 befindliche Rotorscheufelkranz 411 ist einstückig mit dem Tragring 408 ausgeführt. Der Fortsatz 402a umgibt die hochvakuumseitige Ausnehmung 483, in der eine Schraube 480 angeordnet ist. Diese verbindet erstes Rotorteil 401, zweites Rotorteil 402 und die Welle 432 miteinander. Das erste Rotorteil weist auf ihrer der Welle zugewandten Sei-

te eine Ausnehmung 430 auf, welche Raum für statorseitige Komponenten, beispielsweise Lager und Motor, schafft. Diese Ausnehmung reduziert die Baulänge der Turbopumpe. Der Aufbau aus zwei Teilen und Tragringen verbessert das Verhalten im Falle eines Bursts sehr deutlich. Vorteilhaft sind Zentriermittel wie im dritten Beispiel vorhanden, die eine sichere Zentrierung von erstem und zweitem Rotorteil zueinander gewährleisten. Der Aufbau gemäß dieses vierten Beispiels erlaubt durch die Gestaltung mit Tragringen große Freiheiten bei der Wahl der Schaufelgeometrien der Rotorscheufelkränze 411 und 415. Zudem wird eine gute Zentrierung der Tragringe erreicht, so dass das Wuchtverhalten verbessert wird. Welle und erstes Rotorteil werden durch einen Zapfen 489 zueinander zentriert, welcher mit einer stirnseitigen Ausnehmung der Welle in Eingriff steht.

[0039] Das erste Rotorteil kann je nach Anforderungen an die Vakuumdaten der Turbopumpe mehr als zwei Rotorscheufelkränze aufweisen, zudem kann die Zahl der Tragringe gegenüber der Figur erhöht oder verringert werden.

[0040] Ein fünftes Ausführungsbeispiel eines Turbomolekularpumpenrotors ist in einem Schnitt entlang der Drehachse in Figur 5 gezeigt. Es ist ein alternativer Aufbau des Turbomolekularpumpenrotors ohne die weiteren Komponenten der Turbopumpe dargestellt.

[0041] Der im Teilschnitt gezeigte Turbomolekularpumpenrotor weist Rotorscheufelkränze 511, 515 und 519 auf, die in den axial beabstandeten Ebenen 550, 551 und 552 angeordnet und Teil der ersten Rotorteils 501 sind. Jeder Rotorscheufelkranz weist wie in den vorangegangenen Beispielen Schaufeln auf, die sich radial erstrecken und gegen die Bewegungsrichtung angestellt sind. Das erste Rotorteil ist mittels der Schraube 580 mit einer Stirnseite der Welle 532 verbunden. Welle und erstes Rotorteil werden durch einen Zapfen 589 zueinander zentriert, welcher mit einer stirnseitigen Ausnehmung der Welle in Eingriff steht. Mit der vorvakuumseitigen Stirnseite 586 des ersten Rotorteils ist ein zweites Rotorteil 502 verbunden. Diese Verbindung ist durch ein geeignetes Sicherungsmittel, beispielsweise einer Verbindungsschraube 585, gewährleistet. Die Zentrierung von erstem und zweitem Rotorteil wird mittels eines mit einer Ausnehmung des ersten Rotorteils im Eingriff stehenden und an der Stirnseite des zweiten Rotorteils befindlichen Vorsprungs 597 erreicht. Bei der Gestaltung des Zentriermittels muss die Dynamik beachtet werden. Bei schneller Drehung des Rotors versuchen Fliehkräfte eine Aufweitung im Bereich der Verbindung von erstem und zweitem Rotorteil zu bewirken. Hierdurch darf die Zentrierung nicht verlorengehen. Gewährleistet wird dies in einer vorteilhaften Form durch einen Armierungsring 581. Er ist in einer Ausnehmung angeordnet, so dass er vorteilhaft keinen Einfluss auf den Spalt zwischen Rotor und Stator hat. Das zweite Rotorteil umfasst die in den axial beabstandeten Ebenen 553 und 554 angeordneten Pumpstrukturen in Form eines Rotorscheufelkranzes 553 und eine Holweckhülse 584. Das erste Rotorteil

weist eine Ausnehmung 530 auf, welche zusammen mit dem zentrischen Durchgangsloch 588 des zweiten Rotorteils einen großen Hohlraum zu Aufnahme von Lager- und Motorbauteilen der Turbopumpe ergibt. Der Turbomolekularpumpenrotor dieses Beispiels vereint ein stark ausgeprägtes Vorteil der Baulängenverkürzung mit einem sehr sicheren Burstverhalten, denn auch bei diesem Rotor entstehen im Burstfall nur kleine Fragmente. Die Anzahl der Rotorscheufelkränze am zweiten Rotorteil kann höher sein und je nach Bedarf auf die Holweckhülse verzichtet werden. Dies hängt von den erwünschten Vakuumdaten ab.

292, 293, 294) und ein aktives axiales Magnetlager umfasst.

8. Rotorbauteil für einen Turbomolekularpumpenrotor, **dadurch gekennzeichnet, dass** es wenigstens zwei Pumpstrukturen (119, 123; 219, 223; 319, 323; 419, 423; 515, 519) und eine Ausnehmung aufweist (130; 230; 330; 430; 530) und zum Verbinden mit einem eine weitere Pumpstruktur umfassendem Rotorbauteil (108, 109; 208, 209; 302; 402; 502) angepasst ist.

Patentansprüche

1. Turbomolekularpumpenrotor mit in einer ersten (119; 219; 319; 419; 519) und zweiten Pumpstruktur (123; 223; 323; 423; 523), wobei jede Pumpstruktur geeignet und vorgesehen ist, mit einer statorseitigen Pumpstruktur (120, 124; 220, 224; 320, 324; 420, 424; 520, 523) eine Pumpstufe zu bilden, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erstes Rotorteil (101; 201; 301; 401; 501) die erste Pumpstruktur und die zweite Pumpstruktur (123; 223; 323; 423; 523) umfasst und der Turbomolekularpumpenrotor eine dritte Pumpstruktur (111, 115; 211, 215; 311, 315; 411, 415; 511, 515, 519) aufweist.
2. Turbomolekularpumpenrotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Rotorteil (101; 201; 301; 401; 501) eine radial innenliegende und sich in axialer Richtung erstreckende Ausnehmung (130; 230; 330; 430; 530) aufweist.
3. Turbomolekularpumpenrotor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dritte Pumpstruktur auf einem Tragring (108, 109; 208, 209; 408, 409) angeordnete Schaufeln umfasst.
4. Turbomolekularpumpenrotor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** er zwei Tragringe (108, 109; 208, 209; 408, 409) mit daran angeordneten Schaufeln umfasst und zwischen den Tragringen ein Armierungsring (281) vorgesehen ist.
5. Turbomolekularpumpenrotor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** er einen zweiten Rotorteil (302; 402; 502) mit zwei Pumpstrukturen (311, 315; 411, 415; 511, 515, 519) umfasst, welche geeignet und vorgesehen sind, mit jeweils einer statorseitigen Pumpstruktur eine Pumpstufe zu bilden.
6. Turbomolekularpumpe mit einem Turbomolekularpumpenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
7. Turbomolekularpumpe nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein aktives radiales (291,

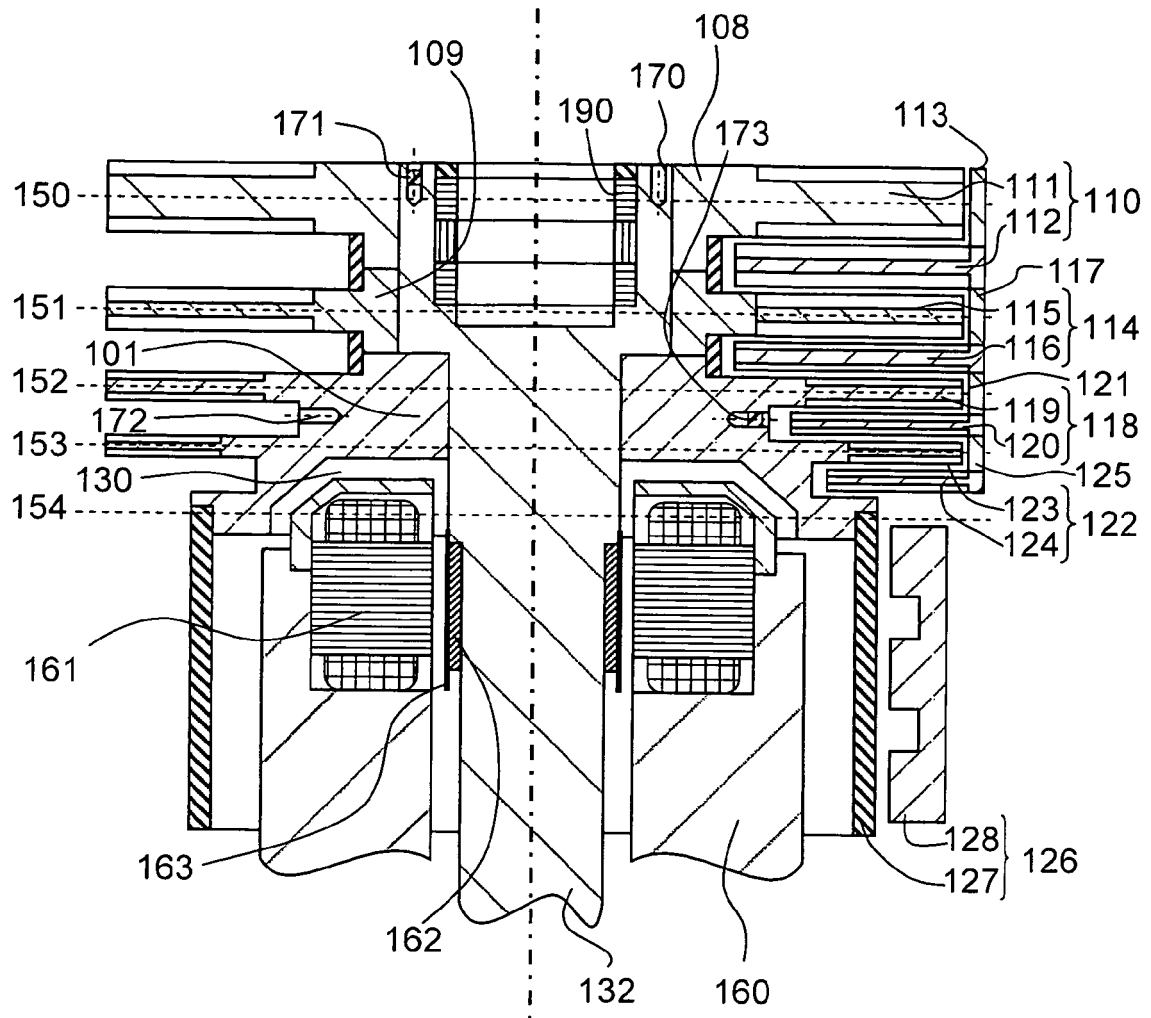


Fig. 1

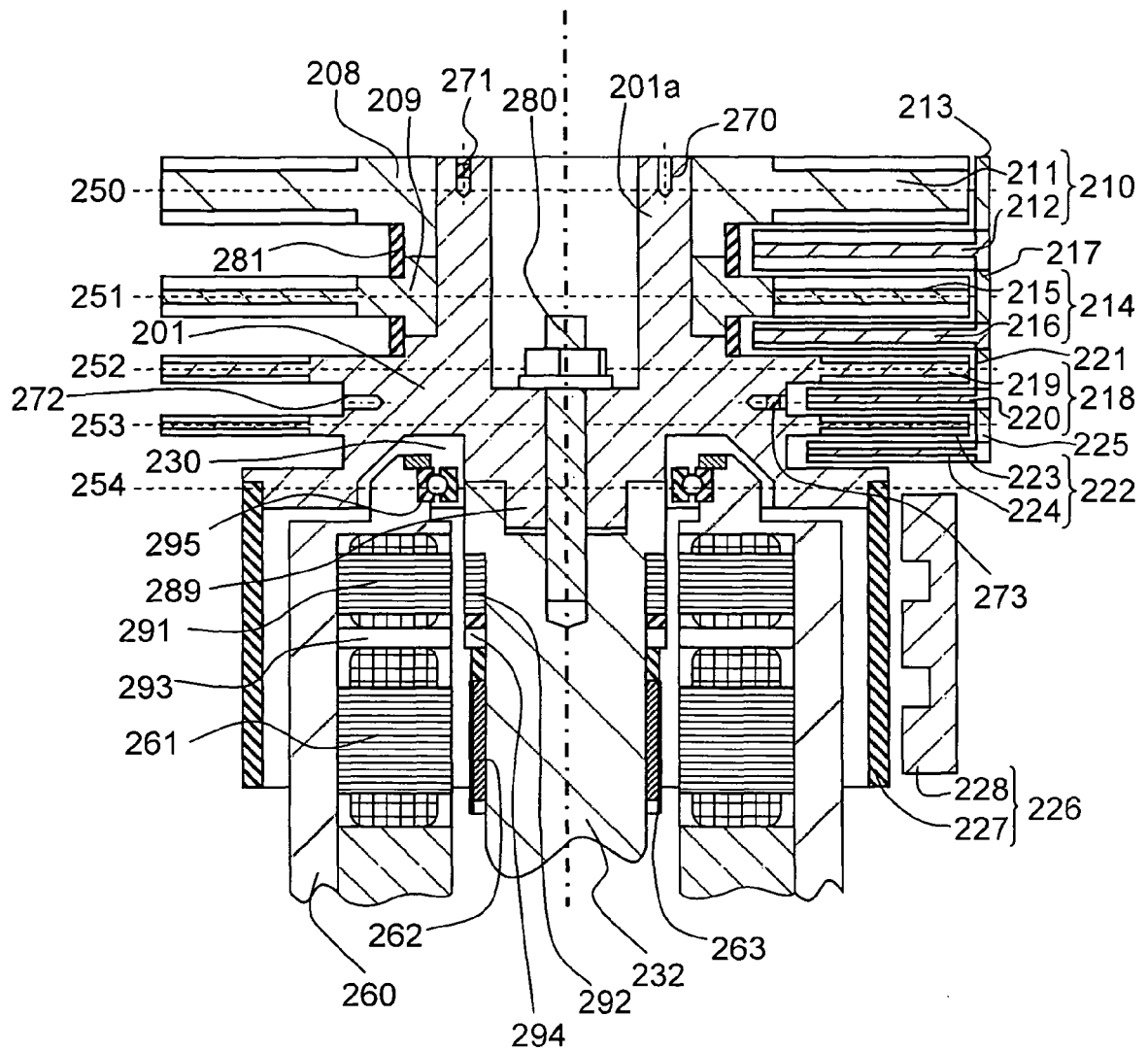


Fig. 2

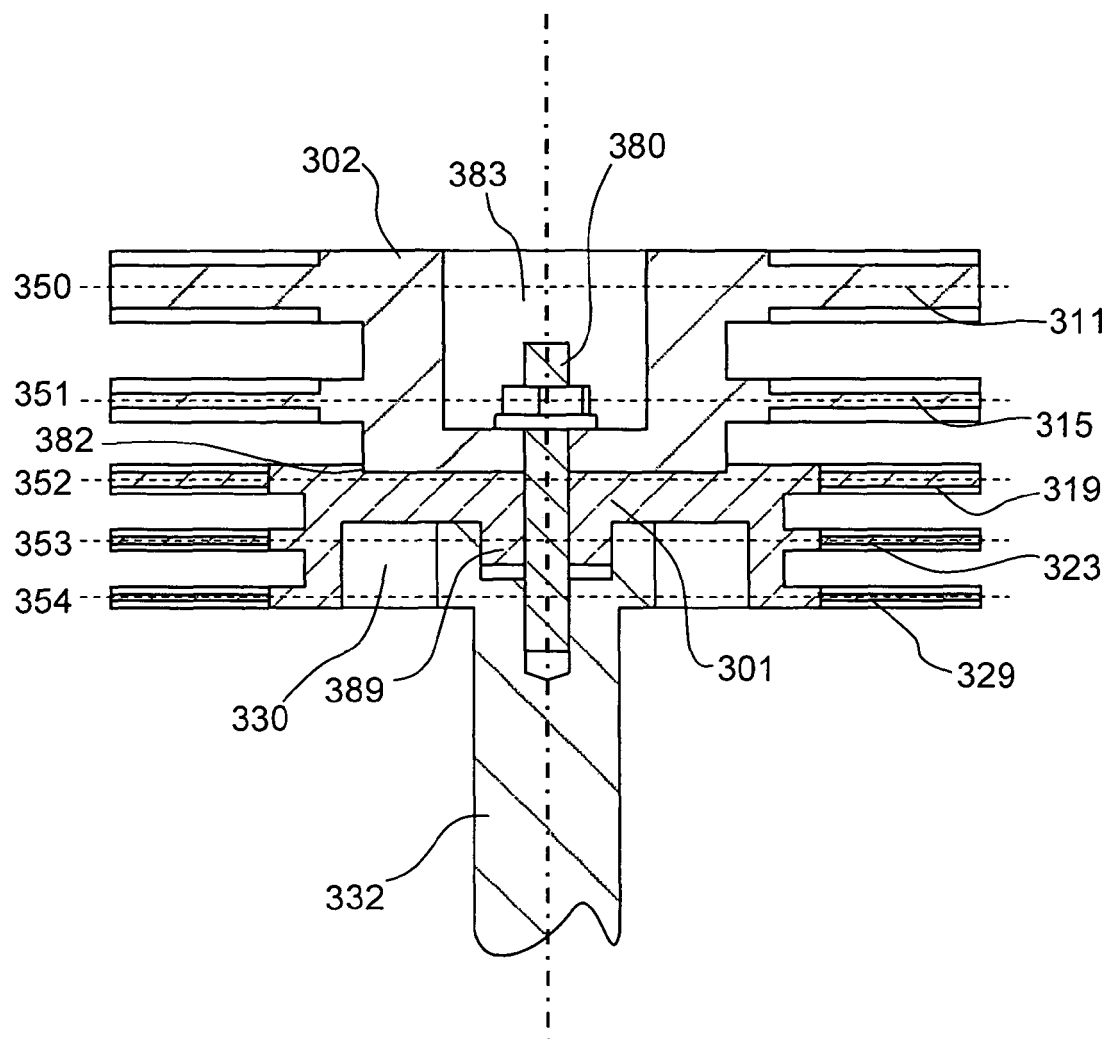


Fig. 3

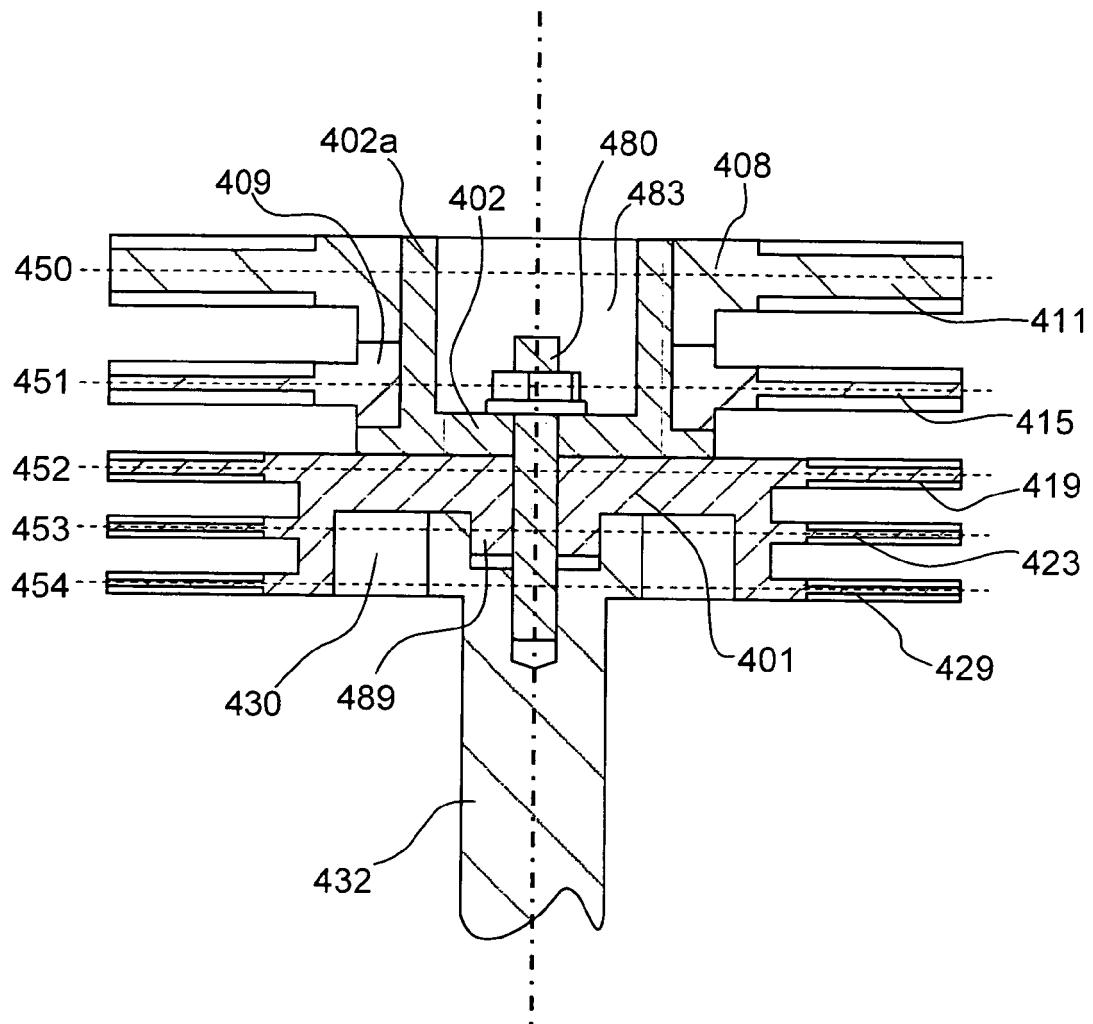


Fig. 4

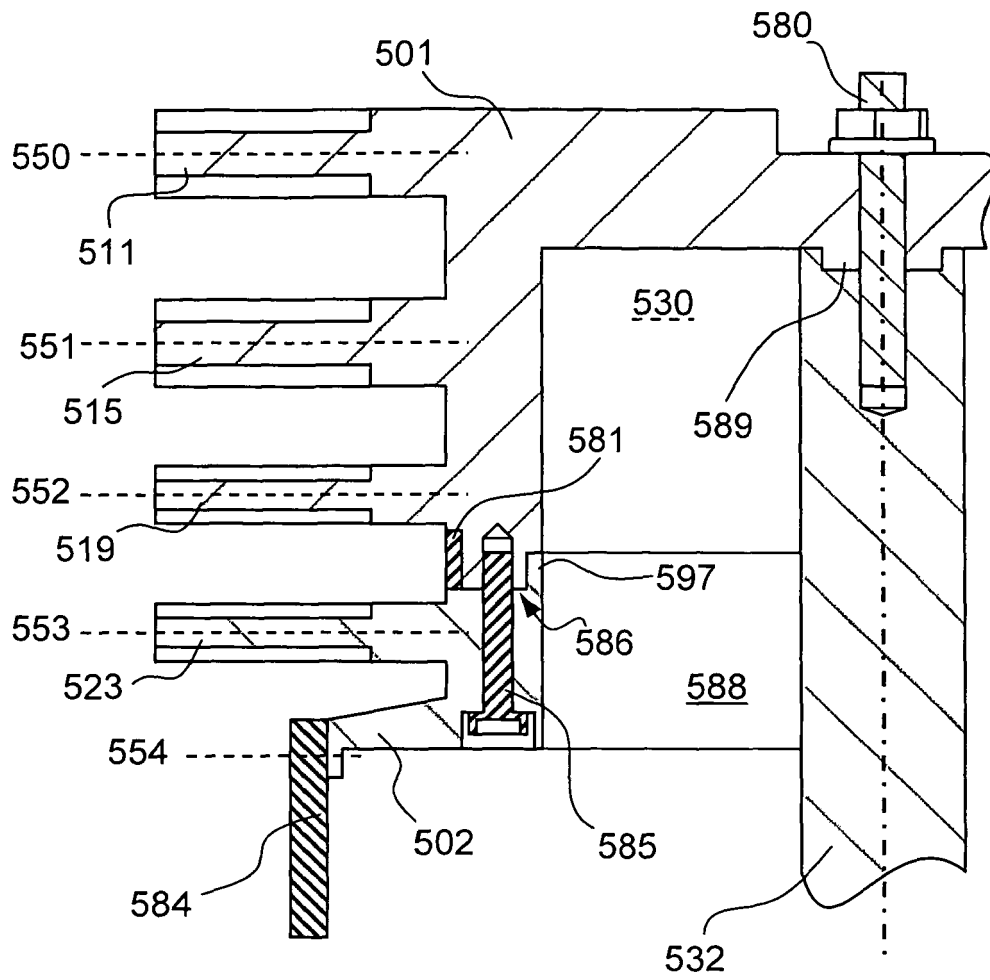


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1559914 A [0003]
- DE 1728487 [0004]
- EP 1517042 A [0004]