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

(11) **EP 2 452 076 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.03.2017 Patentblatt 2017/10

(21) Anmeldenummer: **10708100.2**

(22) Anmeldetag: **25.01.2010**

(51) Int Cl.:
F04D 29/26 *(2006.01)* ***F04D 29/28*** *(2006.01)*
F01D 5/02 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2010/050002

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/003409 (13.01.2011 Gazette 2011/02)

(54) **LAUFRAD FÜR EINE TURBOMASCHINE**

TURBOMACHINE IMPELLER

ROTOR DE TURBOMACHINE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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

(30) Priorität: **04.07.2009 DE 102009031737**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.05.2012 Patentblatt 2012/20

(73) Patentinhaber: **MAN Diesel & Turbo SE**
86153 Augsburg (DE)

(72) Erfinder: **LANGE, Christoph**
51069 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 2 621 201
DE-A1- 10 101 165
DE-A1-102007 012 641
DE-B1- 2 457 231
DE-C1- 19 736 333
DE-U1- 29 702 119
GB-A- 770 004
GB-A- 1 191 110
JP-U- S6 326 701
US-A- 4 697 987

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 2 452 076 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Laufrad für eine Turbomaschine, insbesondere eine Radialturbomaschine, mit einer Laufradstimseite und einem daran anschließenden Schrumpfbund zum Aufschrumpfen auf einen Rotor der Turbomaschine, sowie eine Turbomaschine mit einem Rotor und einem darauf aufgeschrumpften Laufrad.

[0002] In Turbomaschinen setzten Laufräder Energie eines sie durchströmenden Fluids und mechanische Energie eines die Laufräder tragenden Rotors aneinander um. In Radialturbomaschinen werden ein oder mehrere Laufräder hierzu quer zur Drehachse des Rotors durchstromt.

[0003] Laufräder sind dabei häufig durch Schrumpfsitze, i.e. ein Übermaß des Rotoraußendurchmessers gegenüber einem Laufradinnendurchmesser, axial auf dem Rotor reibschlüssig festgelegt. Um dabei die Kontaktfläche des Schrumpfsitzes zu vergrößern, weisen bekannte Laufräder an einer oder beiden Stirnseiten Schrumpfbunde auf, i.e. axiale Fortsätze der eigentlichen Laufradscheibe, die einen geringeren Durchmesser aufweisen, Zur Absicherung der sicherheitsrelevanten axialen Festlegung der Laufräder können die Schrumpfbunde zusätzlich mit Schrumpfbundstiften, die fluchtende Bohrungen von Bund und Rotor durchgreifen, gesichert sein.

[0004] Solche Laufräder werden beispielsweise von den Dokumenten GB 770 004 A, JP S63 26701 U und US 4 697 987 A offenbart.

[0005] Auf die Laufräder wirken aufgrund der teilweise sehr hohen Drehzahlen, etwa in von Gas oder Dampf durchströmten Kompressoren, Verdichtern oder Turbinen, Fliehkräfte, die unter anderem zu einer Aufweitung des Laufradinnendurchmessers führen und so die durch den Schrumpfsitz aufgeprägten Normalspannungen und mit ihnen den axial festlegenden Relbschluss reduzieren. Schrumpfbundstifte können dabei nachteilig auf Biegung bzw. Scherung beansprucht und durch radiale Mikrobewegungen belastet werden. Beides kann zu einem verschlechterten Betrieb, zu Verschleiß oder sogar zum Versagen der Turbomaschine führen.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Turbomaschine zur Verfügung zu stellen.

[0007] Zur Lösung dieser Aufgabe ist ein Laufrad nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 gemäß dessen kennzeichnendem Merkmal weitergebildt. Anspruch 10 stellt eine Turbomaschine mit einem solchen Laufrad. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

[0008] Ein erfindungsgemäßes Laufrad ist zur Befestigung an einem Rotor einer Turbomaschine, insbesondere einer Radialturbomaschine wie einem Radialkompressor bzw. -verdichter, vorgesehen. Hierzu ist an wenigstens einer Laufradstirnseite, vorzugsweise der stromabwärtigen Rückseite bzw. -wand der die Laufschaufeln tragenden Laufradscheibe, ein Schrumpfbund vorgesehen, der in einer bevorzugten Ausführung einstückig mit der Laufradscheibe ausgebildet ist. Durch, insbesondere thermisches, Aufweiten des Innendurchmessers einer Zentralbohrung des Schrumpfbundes und/oder Komprimieren des zugeordneten Rotoraußendurchmessers wird der Schrumpfbund auf den Rotor aufgeschrumpft.

[0009] Zwischen der Laufradstimseite und dem mit ihr verbundenen Schrumpfbund ist eine radial außenliegende Umfangsnut ausgebildet. Als Umfangsnut wird insbesondere eine lokale Querschnittsverringerung bezeichnet, wie sie beispielsweise durch Einstechen des sich drehenden Schrumpfbundes mit einem Drehmeißel hergestellt werden kann.

[0010] Durch diese Materialschwächung wird eine teilweise Entkoppelung der Laufradscheibe, die aufgrund ihres in der Regel erheblich größeren Außendurchmesseres höheren Fliehkräften ausgesetzt ist, und dem Schrumpfbund, dessen Schrumpfsitz das Laufrad als Ganzes axial festlegt, erreicht. Weitet sich die Laufradscheibe unter Fliehkrafteinfluss, werden insbesondere entsprechende Biegemomente, die zu einer Aufweitung des Schrumpfbundes führen, in der insoweit gelenkähnlich wirkenden Umfangsnut nicht oder nur reduziert in den Schrumpfbund eingeleitet. Dies kann dazu führen, dass die axiale Kontaktlänge zwischen Schrumpfbund und Rotor sich im Betrieb vorteilhafterweise weniger reduziert, da der Schrumpfbund sich nur in einem kürzeren Abschnitt aufweiset. Das kann es insbesondere ermöglichen,

[0011] Schrumpfbundstifte in Bereichen des Schrumpfbundes anzuordnen, welche sich nicht oder weniger aufweiten als herkömmlich, ohne Nut in die Laufradscheibe übergehende Schrumpfbunde. Solche Schrumpfbundstifte werden dann vorteilhafterweise weniger belastet.

[0012] Überraschenderweise führt also eine vermeintliche Schwächung des Laufrades durch eine lokale Materialverringerung In Form einer radialen Einschnürung zwischen Laufradscheibe und Schrumpfbund zu einem verbesserten Schrumpfsitz des Schrumpfbundes im Betrieb. Diese Vorteile überwiegen die mit der insoweit elastischeren Anbindung der Laufradscheibe an den Schrumpfbund einhergehende größere radiale Aufweitung der Laufradscheibe insbesondere in einem Dichtungsbereich sowie die geringeren übertragbaren Leistungen.

[0013] Die Umfangsnut kann in fertigungs-, montage-, festigkeitstechnischer, thermodynamischer und/oder dynamischer Hinsicht optimiert sein. So ist beispielsweise eine Umfangsnut, deren Seitenwände im Wesentlichen senkrecht zur Drehachse des Laufrades orientiert sind, besonders einfach, beispielsweise spanabhebenden, herstellbar. Abgerundete Übergänge bzw. Kanten zwischen Nutseitenwände und Nutgrund und/oder der radial äußeren Mantelfläche des Schrumpfbundes verringern gleichermaßen die Verletzungsgefahr bei der Montage als auch die Kerbwirkung mit entsprechendem Einfluss auf die Festigkeit, insbesondere die Dauerfestigkeit und Anfälligkeit gegen Schwingungen. Eine entsprechende Bemaßung von Nutbreite und/oder -tiefe beeinflusst den

Wärmeübergang zwischen Laufradscheibe und Schrumpfbund im Betrieb und beim Aufschrumpfen sowie die Steifigkeit der Anbindung der 1 aufradscheibe an den Schrumpfbund und damit das Schwingungsverhalten und die Aufweitung der Laufradscheibe unter Fliehkraft und Axialschub des Arbeisfluides.

[0014] Erfindungsgemäß ist die Umfangsnut radial mehrfach abgestuft, i.e. in Richtung der Drehachse des Laufrades weist sie bereichsweise unterschiedliche Außendurchmesser auf Zusätzlich ist es auch möglich, dass die Umfangsnut eine gegen die Drehachse geneigte Mantelfläche und/oder eine gekrümmte Mantelfläche aufweist. Besonders günstige fertigungs-, montage-, und festigkeitstechnische, thermodynamische und dynamische Eigenschaften ergeben sich bei radialen Nuttiefen in einem Bereich zwischen dem 0,1-fachen und dem 0,99-fachen, insbesondere dem 0,3-fachen und dem 0,7-fachen, bevorzugt dem 0,5-fachen und dem 0,65-fachen, vorzugsweise etwa dem 0,55-fachen der radialen Höhe des Schrumpfbundes. i.e. des maximalen radialen Abstandes zwischen Innen- und Außendurchmesser des Schrumpfbundes.

[0015] Bevorzugt ist die Umfangsnut im Wesentlichen unmittelbar an der Laufradstirnseite bzw. der Laufradscheibe angeordnet, um so einen größeren zusammenhängenden axialen Sitz des verbleibenden Schrumpfbundes zu erreichen.

[0016] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und dem Ausführungsbeispiel. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert,

Fig. 1: einen Teil eines Rotors mit einem aufgeschrumpften Laufrad nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung im Meridian- bzw. Längsschnitt bei Stillstand; und

Fig. 2: das Laufrad nach Fig. 1 im Betrieb.

[0017] Fig. 1 zeigt im Meridianschnitt einen Teil eines Rotors 1 eines Radiakompressors, auf dem ein Laufrad 2 befestigt ist. Dieses weist eine Laufradscheibe 2.1 und einen integral mit dieser ausgebildeten Schtumpfbund 2.3 auf, der an der stromabwärtigen, von den Laufschaufeln abgewandten Rückseite 2.2 der Laufradscheibe 2.1 angeordnet ist.

[0018] Das Laufrad 2 weist eine durchgehende, zylindrische Zentralbohrung auf, deren Innendurchmesser-Nenn- und Toleranzmaße derart kleiner gewählt sind als die Nenn- und Toleranzmaße des Rotoraußendurchmessers in diesem Bereich, dass sich auch bei Betriebstemperaturen ein ausreichender Schrumpfsitz ergibt. der das Laufrad 2 in axialer Richtung x reibschlüssig auf dem Rotor 1 festlegt. Zusätzlich sind mehrere, beispielsweise drei bis fünf Schrumpfbundstifte 4 in im Wesentlichen gleichmäßig über dem Umfang verteilte Durchgangsbohrungen im Schrumpfbund 2.3 und damit fluchtenden Sackbohrungen im Rotor 1 eingeführt und sichern so die axiale Lage des Laufrades 2 auf dem Rotor 1.

[0019] Strichliert ist die Außenkontur eines herkömmlichen Laufrades eingezeichnet, bei dem die Rückwand der Laufradscheibe in einem Radius 2.4' in den Schrumpfbund übergeht. Wird ein solches Laufrad mit einer Betriebsdrehzahl Ω (vgl. Fig. 2) beaufschlagt, weiten die Fliehkräfte das Laufrad radial auf. Die aufgrund ihres größeren Außendurchmessers stärker fliehkraftbelastete Laufradscheibe übt dabei ein Kipp- bzw. Biegemoment auf den Schrumpfbund aus, was zusätzlich zu den ihm eingeprägten Fliehkräften und den radialen Zugkräften, die die steif an ihn gefesselte Laufradscheibe auf ihn ausübt, zu einer Aufweitung des Schrumpfbundes und dementsprechend zu einer Verringerung der Kontaktfläche zwischen Rotor und Schrumpfbund bzw. der Normalspannungen und der durch diese gewährleisteten Reibschluss führt.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen Laufrad ist stattdessen unmittelbar am Laufradrücken 2.2 anstelle des Radius 2.4' eine Umfangsnut 3 ausgebildet, indem das Laufrad 2 nach dem Urformen, zum Beispiel durch Schmieden oder Gießen, spanabhebende bearbeitet wurde, indem beispielsweise mit einem Drehmeisel eingestochen wurde. Die Umfangsnut 3 weist dementsprechend Seitenwände (links, rechts in Fig. 1), die im Wesentlichen senkrecht zur Drehachse x des Laufrades 2 sind, und einen gerundeten Nutgrund (unten in Fig. 1) auf. Der Übergang der Nut 3 in die radial äußere Mantelfläche des Schrumpfbundes 2.3 weist ebenfalls einen Radius auf (nicht dargestellt), um Kerbwirkung und Verletzungsgefahr zu vorringern.

[0021] Fig. 2 zeigt in übertriebener Darstellung das erfindungsgemäße Laufrad im Betrieb, i.e. bei einer Rotation Ω um die Drehachse x. Aufgrund der Fliehkräfte weitet sich insbesondere die Laufradscheibe 2.1 mit ihrem aufgrund der Laufschaufeln größeren Außendurchmesser, dargestellt durch das Abheben im linken bzw. vorderen Laufradbereich nach oben. Die auf den Schrumpfbund 2.3 wirkenden Fliehkräfte sowie auf ihn übertragene radiale Zugkräfte von der Laufradscheibe 2.1 weiten auch den Schrumpfbund 2.3. Da jedoch die Umfangsnut 3, deren Nutbreite (links-rechts in Fig. 1) im Wesentlichen das 0,25-fache der gesamten axialen Länge des Schrumpfbundes von seiner rechten Stirnseite bis zur Rückwand 2.2, und dessen Nuttiefe (oben-unten in Fig. 1) im Wesentlichen das 0,65-fache der radialen Höhe des Schrumpfbundes von seinem Innen- zu seinem Außendurchmesser beträgt, gelenkartig wirkt, übt die Laufradscheibe 2.1 nur ein geringes Kipp- bzw. Biegemoment auf den Schrumpfbund 2.3 aus, so dass sich dessen tragende Schrumpfsitzlänge weniger verringert als bei herkömmlichen Laufrädern.

[0022] Dementsprechend wird durch die Einschnürung 3 ein verbesserter Schrumpfsitz im Betrieb erreicht. Insbesondere werden die im hinteren Bereich angeordneten Schrumpfbundstifte 4 weniger beansprucht und so die Sicherheit erhöht. Eine gegenüber herkömmlichen Laufrädern größere radiale Aufweitung am vorderen Laufradbereich (links in Fig. 1) ist demgegenüber ver-

nachlässigbar bzw. durch entsprechende Dimensionierung eines Dichtungsdurchmessers (nicht dargestellt) zu kompensieren.

Bezugszeichenliste

[0023]

1	Rotor
2	Laufrad
2.1	Laufradscheibe
2.2	Laufradrücken (Laufradstirnseite)
2.3	Schrumpfbund
2.4'	Radius (Stand der Technik)
3	Umfangsnut
4	Schrumpfbundstift

Patentansprüche

1. Laufrad (2) für eine Turbomaschine, insbesondere eine Radialturbomaschine, mit einer Laufschaufeln tragenden Laufradscheibe (2.1) und einem an dessen Laufradstirnseite (2.2) anschließenden Schrumpfbund (2.3), mit einer tragenden Schrumpfbundsitzlänge, wobei der Schrumpfbund (2.3) zum Aufschrumpfen auf einen Rotor (1) der Turbomaschine geeignet ist, wobei zwischen Laufradstirnseite (2.2) der Laufradscheibe (2.1) und dem mit ihr verbundenen Schrumpfbund (2.3) eine radial außenliegende Umfangsnut (3) ausgebildet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Umfangsnut (3) radial mehrfach abgestuft ist.

2. Laufrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schrumpfbund (2.3) an einer stromabwärtigen Rückwand (2.2) des Laufrades (2) angeordnet ist.

3. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schrumpfbund einstückig mit der Laufradscheibe (2.1) des Laufrads ausgebildet ist.

4. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut (3) unmittelbar an der Laufradstimseite (2.2) ausgebildet ist.

5. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nuttiefe in radialer Richtung wenigstens das 0,1-fache, insbesondere wenigstens das 0,3-fache und bevorzugt wenigstens das 0,5-fache der radialen Höhe des Schrumpfbundes beträgt; und/oder dass die Nuttiefe in radialer Richtung höchstens das 0,99-fache, insbesondere höchstens das 0,7-fache und bevorzugt höchstens das 0,65-fache der radialen Höhe des Schrumpfbundes beträgt.

6. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Bohrung zur Aufnahme eines Schrumpfbundstiftes (4), die zwischen der Umfangsnut (3) und einer Stirnseite des Schrumpfbundes (2.3) angeordnet ist.

7. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut (3) radial innen und/oder aurßen abgerundet ist.

8. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut (3) durch Urformen, Umformen und/oder spanabhebende Bearbeitung, insbesondere Einstechen mit einem Drehmeisel, hergestellt ist.

9. Laufrad nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut (3) eine gekrümmte und/oder gegen die Drehachse des Rotors (1) geneigte Mantelfläche aufweist.

10. Turbomaschine, insbesondere Radialturbomaschine, mit einem Laufrad (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Claims

1. An impeller (2) for a turbomachine, in particular a radial turbomachine, with an impeller disc (2.1) carrying moving blades and a shrink collar (2.3) following the impeller face end (2.2), with a supporting shrink collar seat length, wherein the shrink collar (2.3) is suitable for shrinking onto a rotor (1) (of the turbomachine), wherein between impeller face end (2.2) of the impeller disc (2.1) and the shrink collar (2.3) connected to the same a circumferential groove (3) located radially outside is formed, **characterized in that** the circumferential groove (3) is radially stepped multiple times.

2. The impeller according to Claim 1, **characterized in that** the shrink collar (2.3) is arranged on a downstream back wall (2.2) of the impeller (2).

3. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the shrink collar is unitarily formed with the impeller disc (2.1) of the impeller.

4. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the circumferential groove (3) is directly formed on the impeller face end (2.2).

5. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the groove depth in radial direction amounts to at least 0.1 times, in particular at least 0.3 times and preferably at least 0.5 times the radial height of the shrink collar; and/or **in that** the groove depth in radial direction amounts to a maximum of 0.99 times, in particular a maximum of 0.7 times and preferably a maximum of 0.65 times the radial height of the shrink collar.

6. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized by** at least one bore for receiving a shrink collar pin (4), which is arranged between the circumferential groove (3) and a face end of the shrink collar (2.3).

7. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the circumferential groove (3) is rounded radially inside and/or outside.

8. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the circumferential groove (3) is produced by casting, forming and/or chip-removing processing, in particular plunging with a plunging tool.

9. The impeller according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the circumferential groove (3) has an outer surface that is curved and/or inclined towards the axis of rotation of the rotor (1).

10. The turbomachine, in particular radial turbomachine, with an impeller (2) according to any one of the preceding claims.

Revendications

1. Rotor (2) pour une turbomachine, notamment une turbomachine radiale, comportant un disque de rotor (2.1) supportant des pales de rotor et une frette (2.3) se rattachant à son côté frontal de rotor (2.2), comportant une longueur d'assise de frette, dans lequel la frette (2.3) convient pour un frettage sur un rotor (1) de la turbomachine, dans lequel entre le côté frontal du rotor (2.2) du disque de rotor de rotor (2.1) et la frette (2.3) qui lui est reliée, une rainure circonférentielle (3) radiale située le plus à l'extérieur est réalisée, **caractérisé en ce que** la rainure circonférentielle (3) présente des gradins radiaux multiples.

2. Rotor selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la frette (2.3) est disposée sur une paroi arrière (2.2) en aval du rotor (2).

3. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la frette est réalisée en un seul tenant avec le disque de rotor (2.1) du rotor.

4. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la rainure circonférentielle (3) est réalisée directement sur le côté frontal de rotor (2.2).

5. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la profondeur de rainure dans la direction radiale correspond au moins à 0,1 fois, notamment au moins 0,3 fois et de préférence au moins 0,5 fois la hauteur radiale de la frette ; et/ou **en ce que** la profondeur de rainure dans la direction radiale correspond au maximum à 0,99 fois, notamment au maximum à 0,7 fois et de préférence au maximum à 0,65 fois la hauteur radiale de la frette.

6. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé par** au moins un alésage pour recevoir une goupille de frette (4), qui est disposé entre la rainure circonférentielle (3) et un côté frontal de la frette (2.3).

7. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la rainure circonférentielle (3) est arrondie radialement à l'intérieur et/ou à l'extérieur.

8. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la rainure circonférentielle (3) est fabriquée par transformation primaire, façonnage et/ou usinage avec enlèvement de copeaux, notamment piquage avec un burin.

9. Rotor selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la rainure circonférentielle (3) présente une surface de gaine incurvée et/ou inclinée contre l'axe de rotation du rotor (1).

10. Turbomachine, notamment turbomachine radiale, comportant un rotor (2) selon une des revendications précédentes.

Fig. 1

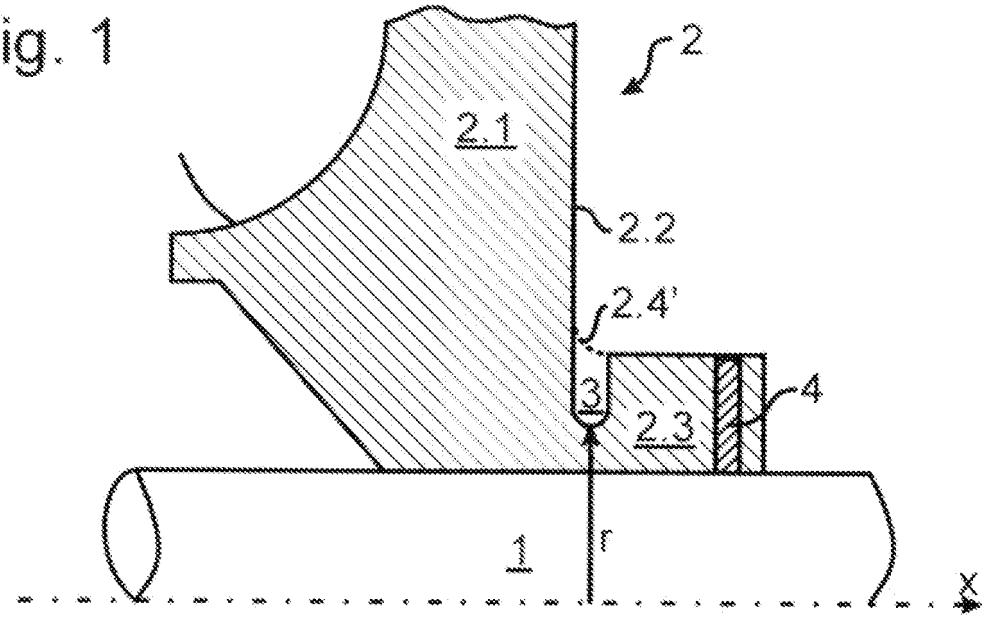
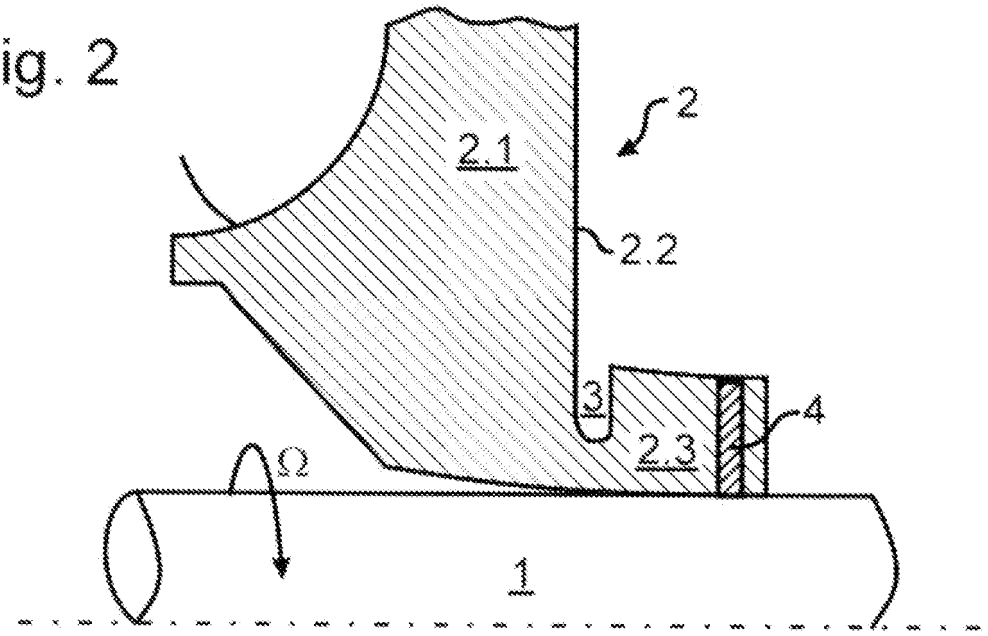


Fig. 2



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

- GB 770004 A **[0004]**
- JP S6326701 U **[0004]**
- US 4697987 A **[0004]**