

(19)



(11)

EP 1 726 780 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
24.09.2014 Patentblatt 2014/39

(51) Int Cl.:
F01D 5/02 (2006.01)

F01D 25/28 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06114120.6**

(22) Anmeldetag: **17.05.2006**

(54) Gasturbinentriebwerk mit einer Anordnung zum Feinauswuchten des Rotors

Gas turbine engine comprising a precision balancing assembly of the turbine rotor

Turbomachine comprenant un assemblage de correction de balourd de précision pour le rotor

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **26.05.2005 DE 102005025086**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.11.2006 Patentblatt 2006/48

(73) Patentinhaber: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co
KG
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)**

(72) Erfinder:
• **Pichel, Sacha
12203 Berlin (DE)**

• **JAHNS, Ingo
12309 Berlin (DE)**
• **WIRTH, Moritz
12101 Berlin (DE)**

(74) Vertreter: **Gross, Felix et al
Patentanwälte Maikowski & Ninnemann
Postfach 15 09 20
10671 Berlin (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 321 630 DE-A1- 3 911 163
FR-A- 2 630 496 US-A- 2 964 972
US-A- 3 053 504 US-A- 3 985 465
US-A- 5 545 010 US-B1- 6 279 420

EP 1 726 780 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Gasturbinentriebwerk mit einer Anordnung zum Feinauswuchten des in vollständig montiertem Zustand von einem Außen- und einem Innengehäuse umgebenen Rotors .

[0002] Die Rotoren der Kompressoren und Turbinen eines Gasturbinentriebwerks rotieren mit sehr hoher Geschwindigkeit. Nicht richtig ausbalancierte Rotoren verursachen daher ein Durchbiegen der Welle, das zu Spielüberbrückungen und zum Anstreifen des Rotors an feststehenden Teilen führen kann. Die damit entstehenden hohen Laufspalte führen jedoch zu einem Wirkungsgradverlust. Des Weiteren werden unerwünschte Vibrationen verursacht mit der Folge eines vorzeitigen Lagerverschleißes oder akuten Lagerschäden. Die Lebensdauer der Rotorkomponenten wird dadurch erheblich eingeschränkt. Das Auswuchten erfolgt bekanntermaßen durch Hinzufügen von Gewichten oder Materialentnahme an den rotierenden Bauteilen.

[0003] Das Ausbalancieren der mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Rotoren eines Gasturbinentriebwerks erfolgt zunächst bei der Herstellung der rotierenden Einzelteile des Triebwerks durch Materialentnahme an den Einzeltrommeln. Anschließend wird der Rotor in zusammengebautem Zustand ein zweites Mal ausgewuchtet. Nachdem das Triebwerk mit dem in einem Innen- und einem Außengehäuse untergebrachten Rotor vollständig montiert ist, sind lediglich kleinere Korrekturen an der Niederdruckwelle möglich, während ein Feinauswuchten, das heißt, das Beseitigen von Restunwuchten an der in zusammengebautem Zustand des Gasturbinentriebwerks schwer zugänglichen Hochdruckwelle mit von einem Außengehäuse und einem Innengehäuse umgebenen Rotoren praktisch nicht möglich ist oder erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Auch eine Restunwucht an der Hochdruckwelle kann noch zu erheblichen Vibrationen und den damit verbundenen Folgeschäden führen.

[0004] Die US 5 545 010 beschreibt eine Vorrichtung zum Auswuchten eines Gasturbinentriebwerks, bei der der Zugang zu den rotierenden Komponenten mit den erforderlichen Ausgleichsgewichten in einem von einem Außengehäuse umgebenen Zustand erfolgt. Die Vorrichtung umfasst einen an einer Außenfläche an der Eingangsseite des Kompressors zusätzlich angebrachten oder integral angeformten Ring mit radial in gleichmäßigem Abstand ausgebildeten Gewindebohrungen zum Ein- oder Ausschrauben von Auswuchtgewichten. Der Zugang zu dem Ring mit den Gewindebohrungen bzw. Ausgleichsgewichten erfolgt hier über eine in der Wand des Lufteinlasskanals zum Kompressor vorgesehene, zu den Gewindebohrungen ausgerichtete Öffnung. Die hier offenbarte Anordnung ist insofern nachteilig, als der Ring ein relativ hohes Gewicht aufweist und die Zugänglichkeit über den Gaspfad nur an der ersten Rotorstufe am Kompressor möglich ist. Die Auswuchtgewichte sind nahe dem Lager und in einem Bereich geringen Durchmessers

angebracht. Das ist rotordynamisch wenig effektiv und erfordert entsprechend große Gewichte.

[0005] Ferner offenbart die US 6279420 ein Gasturbinentriebwerk mit einer Anordnung zum Feinauswuchten gemäß dem Stand der Technik.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum Feinauswuchten des in vollständig montiertem Zustand von einem Außen- und Innengehäuse umgebenen Rotors eines Gasturbinentriebwerks anzugeben, die bei geringem Eigengewicht und mit nur kleinen Auswuchtgewichten ein effektives Feinauswuchten des Rotors ermöglicht.

[0007] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einer gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 ausgebildeten Anordnung gelöst. Aus den Unteransprüchen ergeben sich vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0008] Der Kern der Erfindung besteht in der regelmäßig beabstandeten Anordnung von mit einer Durchgangsbohrung mit Innengewindeabschnitt versehenen Einsetzkörpern in der die Schaufelfüße der Rotorschaukeln aufnehmenden Umfangsnut der hinteren Rotor-scheiben des Kompressors oder der Turbine. Die Durchgangsbohrung des jeweiligen Einsetzkörpers liegt in einer bestimmten Rotorposition in einer Flucht mit jeweils einer im Innen- und im Außengehäuse des Rotors vorgesehenen Öffnung, über die beim Auswuchten ein Führungsrohr zum Zuführen und Einschrauben einer Auswuchtschraube und zum Führen eines Werkzeugs an die Durchgangsbohrung anschließt. Dadurch ist es mit geringem Aufwand möglich, in zusammengebautem Zustand des Triebwerks, das heißt, nach der Endmontage oder nach Reparaturen, verbleibende Restunwuchten zu beseitigen und somit die Lebensdauer des Triebwerks zu verlängern. Das Auswuchten erfolgt zudem in einem rotordynamisch optimalen Bereich, das heißt, es kann - mit geringem zusätzlichem Gewicht - weit außen an den Rotorscheiben und in einem mittleren Teil des Rotors durchgeführt werden. Aufgrund der Nutzung der vorhandenen Umfangsnuten kann das Auswuchtsystem mit geringem Aufwand in vorhandene Triebwerke eingebaut werden. Im Vergleich mit bekannten Gewichtsausgleichssystemen ist der Kosten- und Gewichts-aufwand gering.

[0009] In weiterer Ausbildung der Erfindung ist der Einsetzkörper so ausgebildet, dass die Durchgangsbohrung senkrecht oder in spitzem Winkel zur Rotorachse ausgerichtet ist und die Öffnungen im Innen- und Außengehäuse senkrecht über der Umfangsnut oder entsprechend versetzt zu dieser angeordnet sind. Bei schräger Ausrichtung der Durchgangsbohrung kann auch ein im Innengehäuse vorhandener Luftentnahmeschlitz als Öffnung fungieren.

[0010] In Ausgestaltung der Erfindung bestehen die Einsetzkörper aus einem an den Nutquerschnitt angepassten Basisteil und einem daran anschließenden Gewindeteil zur Aufnahme der Auswuchtschraube.

[0011] Die Außenumfangsfläche des Einsetzkörpers wird von den Ausnehmungen benachbarter Schaufel-

plattformen umfasst. Die Auswuchtschraube ist, um deren Lösen im Betrieb zu verhindern, mit einer Selbstsicherung ausgestattet.

[0012] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine detaillierte Schnittansicht einer von einem Innen- und Außengehäuse umgebenen hinteren Rotorstufe des Kompressors eines Gasturbinentriebwerks während des Einsetzens eines Auswuchtgewichtes;

Fig. 2 eine Ansicht nach Fig. 1, jedoch im Betriebszustand des Triebwerks nach Abschluss des Auswuchtens;

Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung eines in die Umfangsnut einer Rotorscheibe des Kompressors eingefügten Einsetzkörpers;

Fig. 4 einen Längsschnitt mit einem zwischen zwei Rotorscheufeln in der Umfangsnut angeordneten Einsetzkörper; und

Fig. 5 eine Schnittdarstellung einer anderen Rotorstufe, bei der das Auswuchtgewicht über einen im Innengehäuse vorhandenen Schlitz in einen schräg angeordneten Einsetzkörper eingebracht wird.

[0013] In den Zeichnungsfiguren bezeichnen bei einem Triebwerk die Bezugszeichen 1 das Außengehäuse, 2 das Innengehäuse und 3 den Rotor, hier eine hintere Rotorstufe des Kompressors. In dieser hinteren Rotorstufe sind die Rotorscheufeln 4 in eine am Außenumfang der Rotorscheibe 5 vorgesehene Umfangsnut 6 eingesetzt. In der Umfangsnut 6 befinden sich weiterhin mehrere, in regelmäßigem Abstand am Umfang verteilt angeordnete Einsetzkörper 7. Der Einsetzkörper 7 umfasst ein der Querschnittsform der Umfangsnut 6 angepasstes Basisteil 8, ein Gewindeteil 9, das in gegenüberliegende Ausnehmungen von zwei aneinander grenzenden Plattformen 10 jeweils benachbarter Rotorscheufeln 4 eingeschlossen ist, und eine Bohrung 11 mit einem Innengewindeabschnitt 12a. Bestandteil der Anordnung zum Feinauswuchten ist ferner eine erste Öffnung 13 im Innengehäuse 2 und eine zur ersten Öffnung 13 senkrecht ausgerichtete zweite Öffnung 14 im Außengehäuse 1. In einer bestimmten Drehstellung des Rotors 3 fluchten die Bohrungen 11 mit den ersten und zweiten Öffnungen 13, 14, so dass ein diese durchdringendes Führungsrohr 15 auf die Bohrung 11 des jeweiligen Einsetzkörpers 7 aufgesetzt werden kann. Das Führungsrohr 15 wird in der Öffnung 14 des Außengehäuses fixiert, z.B. über eine Passung oder durch Befestigungsschrauben. Über das Führungsrohr 15 kann nun zum Zwecke des Feinauswuchtens des vollständig montierten, von dem Innen- und dem Außengehäuse 1, 2 umgebenen Rotors 3 eine

Auswuchtschraube 16 zu der jeweiligen Bohrung 11 im Einsetzkörper 7 geleitet und mit einem in das Führungsrohr 15 eingeführten Werkzeug 17 in den Einsetzkörper 7 eingeschraubt werden.

[0014] In einer anderen - in Fig. 5 gezeigten - Ausführungsform sind die Einsetzkörper 7' mit einer schräg angeordneten, auf einen im Innengehäuse 2 ohnehin vorhandenen Luftentnahmeschlitz 18 ausgerichteten Bohrung 11' ausgebildet. In einer bestimmten Position des Rotors 3 liegt die Bohrung 11' mit dem versetzt angeordneten Luftentnahmeschlitz 18 und der noch weiter versetzt angeordneten zweiten Öffnung 14 im Außengehäuse 1 in einer Flucht. In diesem Fall kann auf die oben erwähnte erste Öffnung 13 im Innengehäuse verzichtet werden. Das Führungsrohr 15 wird - fluchtend mit der winklig angeordneten Bohrung 11' - schräg durch das Außengehäuse 1 und das Innengehäuse 2 geführt und auf den Einsetzkörper 7' aufgesetzt, um dann die Auswuchtschraube 16 zuzuführen und mit dem Werkzeug 17 in den Innengewindeabschnitt der Bohrung 11' des Einsetzkörpers 7' einzuschrauben.

[0015] Nach dem Einschrauben der Auswuchtschraube 16 wird das Werkzeug 17 und das Führungsrohr 15 herausgezogen und die erste und zweite Öffnung im Innen- und im Außengehäuse werden mit einem - in Fig. 2 dargestellten - Doppelstöpsel 19, der am Außengehäuse 1 verschraubt ist, verschlossen.

[0016] Mit den zuvor beschriebenen Ausführungsformen können nach der vollständigen Montage oder nach Reparaturen des Triebwerks Unwuchten bzw. Restunwuchten in zusammengebautem Zustand ausgeglichen werden. Das Auswuchten erfolgt - rotordynamisch optimal - in einem weit außen liegenden Durchmesserbereich der Rotorscheibe 5, so dass das zum Auswuchten erforderliche zusätzliche Gewicht gering ist. Die Anordnung der Einsetzkörper 7, 7' in einem vorgegebenen regelmäßigen Abstand jeweils zwischen zwei Rotorscheufeln 4 in den vorhandenen Umfangsnuten 6 von Rotorscheiben 5 des Kompressors oder der Turbine ist mit geringem Aufwand und bei gleichzeitig niedrigem Gewicht möglich.

Bezugszeichenliste

[0017]

1	Außengehäuse
2	Innengehäuse
3	Rotor
4	Rotorscheufel
5	Rotorscheibe
6	Umfangsnut
7, 7'	Einsetzkörper
8	Basisteil v. 7, 7'
9	Gewindeteil v. 7, 7'
10	Plattform v. 4
11, 11'	Bohrung v. 7
12a	Innengewindeabschnitt v. 11, 11'

- 12b erweiterter Durchmesserbereich v. 11, 11'
- 13 erste Öffnung in 2
- 14 zweite Öffnung in 1
- 15 Führungsrohr
- 16 Auswuchtschraube
- 17 Werkzeug
- 18 Luftentnahmeschlitz
- 19 Doppelstöpsel

häuse (1) vorgesehene zweite Öffnung (14) durch einen Einfachstöpsel verschließbar ist.

- 4. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 1,
5 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Bohrung (11, 11') im Einsetzkörper (7, 7') einen Innengewindeabschnitt (12a) aufweist.

Patentansprüche

- 1. Gasturbinentriebwerk mit einer Anordnung zum Feinauswuchten des in vollständig montiertem Zustand von einem Außengehäuse (1) und einem Innengehäuse (2) umgebenen Rotors (3), wobei die Anordnung (4) fixierte Einsetzkörper (7, 7') mit jeweils einer einen Innengewindeabschnitt (12a) aufweisenden radialen Bohrung (11, 11') umfasst, wobei die jeweilige Bohrung (11, 11') in einer bestimmten Drehstellung des Rotors (3) in einer Flucht mit einer ersten Öffnung (13) im Innengehäuse (2) und einer zweiten Öffnung (14) im Außengehäuse (1) liegt und zur Führung eines Werkzeugs (17) ein vorübergehend angeordnetes Führungsrohr (15) die beiden Öffnungen (13, 14) bis zur Bohrung (11, 11') hin durchgreift, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einsetzkörper (7, 7') zur Aufnahme einer Auswuchtschraube (16) in regelmäßigem Abstand in die zum Anbringen der Rotorscheaufeln (4) vorgesehene Umfangsnut (6) von mindestens einer der Rotorscheiben (5) des Kompressors oder der Turbine eingefügt und zwischen aneinander grenzenden Plattformen (10) der Rotorscheaufeln (4) fixiert sind, wobei die Einsetzkörper (7, 7') jeweils ein an die Querschnittsform der Umfangsnut (6) angepasstes Basisteil (8) und ein von Ausnehmungen in den aneinander grenzenden Plattformen (10) der Rotorscheaufeln (4) umfasstes Gewindeteil (9) aufweisen und wobei das Führungsrohr (15) auch zur Zuführung der Auswuchtschraube (16) dient.
- 2. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und die zweite Öffnung (13, 14) senkrecht übereinander und fluchtend mit einer der Bohrungen (11) angeordnet sind und die Öffnungen (13, 14) nach dem Auswuchten durch einen Doppelstöpsel (19) verschließbar sind.
- 3. Gasturbinentriebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bohrung (11') in spitzem Winkel zur Axialrichtung und in einer Flucht mit einem versetzt angeordneten, als erste Öffnung fungierenden Luftentnahmeschlitz (18) im Innengehäuse und einer noch weiter versetzt angeordneten zweiten Öffnung (14) im Außengehäuse (1) ausgerichtet ist, wobei die im Außenge-

10 Claims

- 1. Gas-turbine engine with an arrangement for precision balancing of the rotor (3) that in the fully assembled state is surrounded by an outer casing (1) and an inner casing (2), with the arrangement (4) including fixed inserts (7, 7') each having a radial bore (11, 11') provided with a female threaded section (12a), with the respective bore (11, 11') being in line with a first opening (13) in the inner casing (2) and a second opening (14) in the outer casing (1) at a certain rotational position of the rotor (3), and with a temporarily installed guide tube (15) for guiding a tool (17) passing through the two openings (13, 14) up to the bore (11, 11'), **characterized in that** the inserts (7, 7') for receiving a balancing screw (16) are inserted at an even spacing into the circumferential groove (6) provided for installing the rotor blades (4) of at least one of the rotor disks (5) of the compressor or the turbine, and fixed between adjacent platforms (10) of the rotor blades (4), with the inserts (7, 7') each having a base part (8) that matches the cross-sectional shape of the circumferential groove (6) and a threaded part (9) encompassed by recesses in the adjacent platforms (10) of the rotor blades (4), and with the guide tube (15) also being used for inserting the balancing screw (16).
- 2. Gas-turbine engine in accordance with Claim 1, **characterized in that** the first and the second openings (13, 14) are positioned vertically one above the other and in line with one of the bores (11) and that the openings (13, 14) after balancing can be closed using a twin plug (19).
- 3. Gas-turbine engine in accordance with Claim 1, **characterized in that** the bore (11') is positioned at an acute angle to the axial direction and in line with an offset air bleeding slot (18) acting as first opening in the inner casing and with an even farther offset second opening (14) in the outer casing (1), where the second opening (14) provided in the outer casing (1) can be closed using a single plug.
- 4. Gas-turbine engine in accordance with Claim 1, **characterized in that** the bore (11, 11') in the insert (7, 7') is provided with a female threaded section (12a).

Revendications

1. Moteur à turbine à gaz comprenant un arrangement destiné à l'équilibrage de précision du rotor (3) entouré à l'état entièrement monté par un carter extérieur (1) et un carter intérieur (2), dans lequel l'arrangement (4) comprend des inserts (7, 7') fixés comportant respectivement un perçage radial (11, 11') présentant une section de taraudage (12a), dans lequel dans une position de rotation précise du rotor (3), le perçage respectif (11, 11') se trouve en alignement avec une première ouverture (13) dans le carter intérieur (2) et une deuxième ouverture (14) dans le carter extérieur (1), et pour guider un outil (17), un tube de guidage (15) placé provisoirement passe à travers les deux ouvertures (13, 14) jusqu'au perçage (11, 11'), **caractérisé en ce que** pour loger une vis d'équilibrage (16), les inserts (7, 7') sont insérés à intervalles réguliers dans la gorge circonférentielle (6) prévue pour placer les aubes de rotor (4) d'au moins un des disques de rotor (5) du compresseur ou de la turbine, et fixés entre des plateformes (10) contiguës des aubes de rotor (4), dans lequel les inserts (7, 7') présentent respectivement une partie de base (8) adaptée à la forme de la section transversale de la gorge circonférentielle (6) et une partie filetée (9) entourée par des évidements dans les plateformes (10) contiguës des aubes de rotor (4), et dans lequel le tube de guidage (15) sert également à amener la vis d'équilibrage (16).
2. Moteur à turbine à gaz selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** la première et la deuxième ouvertures (13, 14) sont situées verticalement l'une au-dessus de l'autre et alignées avec l'un des perçages (11), et qu'après l'équilibrage, les ouvertures (13, 14) peuvent être fermées par un double bouchon (19).
3. Moteur à turbine à gaz selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** le perçage (11') est orienté selon un angle aigu par rapport au sens axial et en alignement avec une fente de prélèvement d'air (18) décalée, faisant office de première ouverture dans le carter intérieur, et avec une deuxième ouverture (14) encore plus décalée dans le carter extérieur (1), la deuxième ouverture (14) prévue dans le carter extérieur (1) pouvant être fermée par un simple bouchon.
4. Moteur à turbine à gaz selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** le perçage (11, 11') dans l'insert (7, 7') présente une section de taraudage (12a).

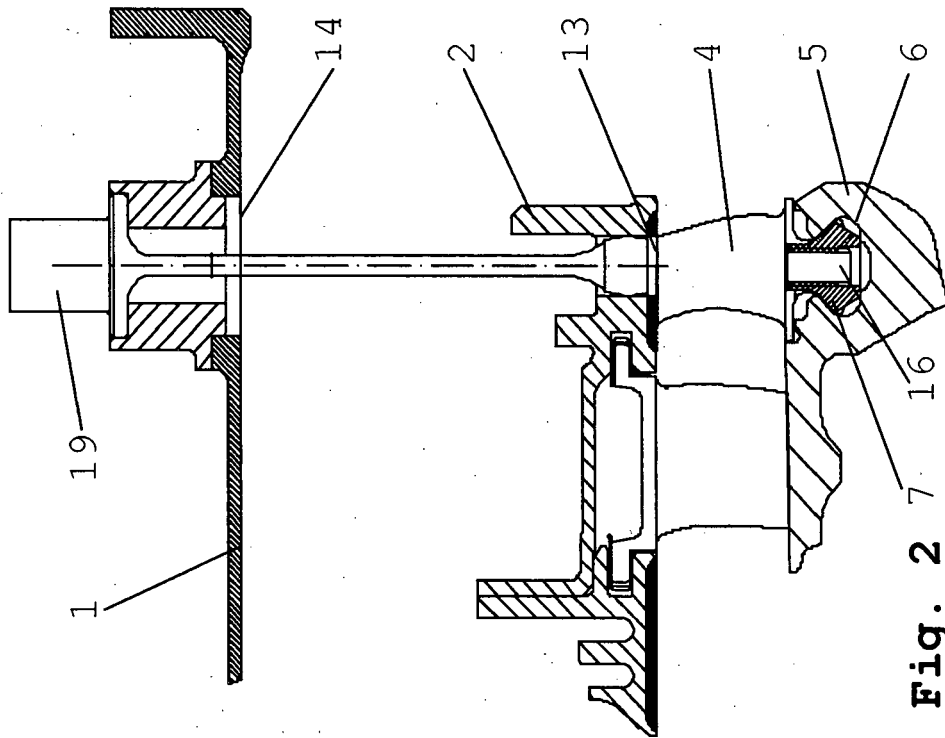


Fig. 2

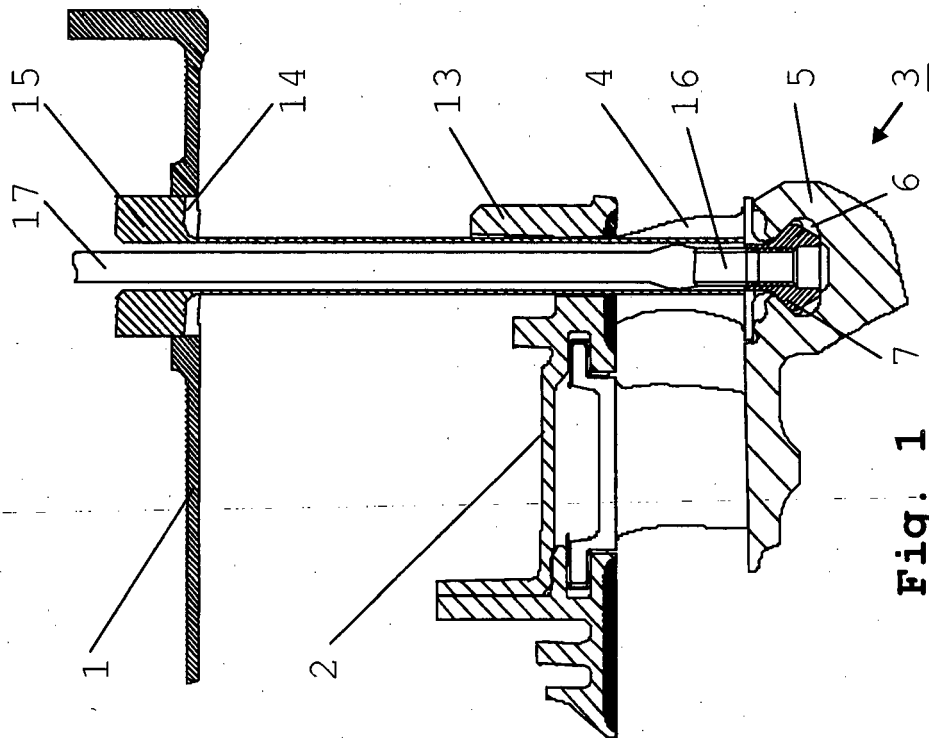
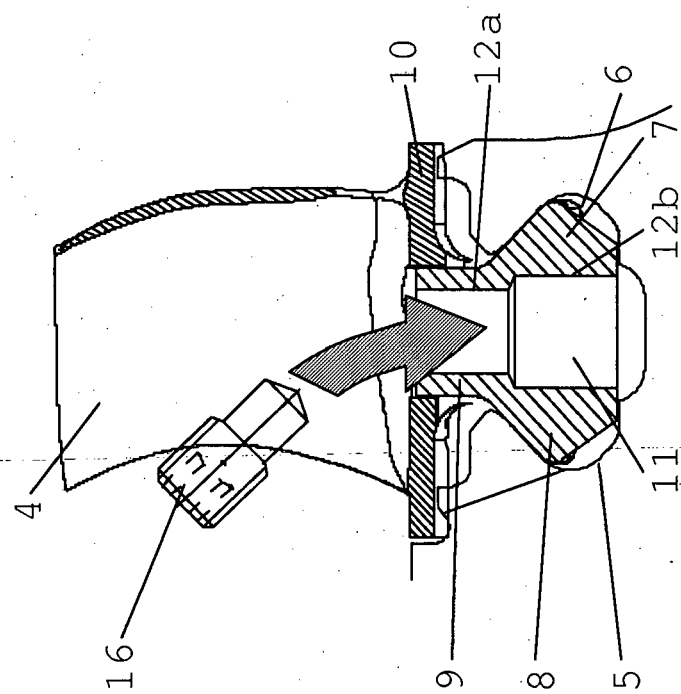
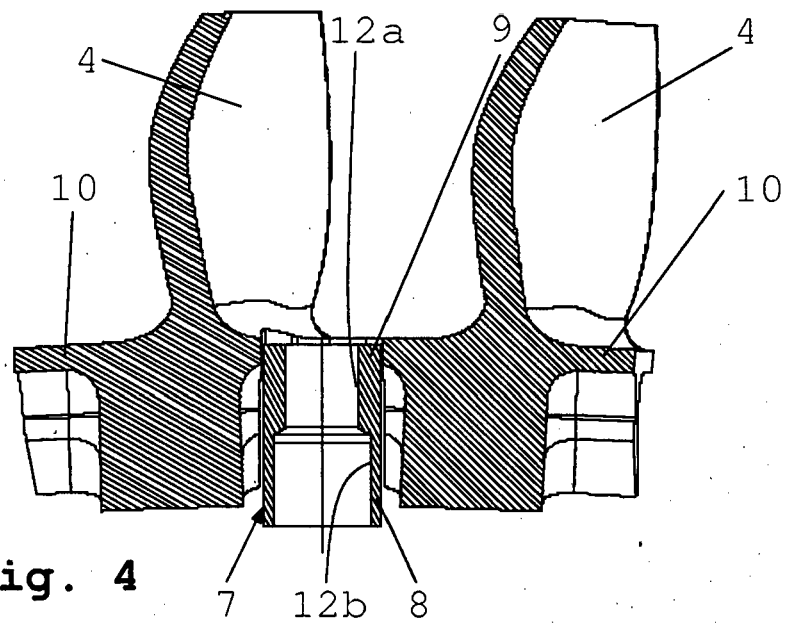


Fig. 1



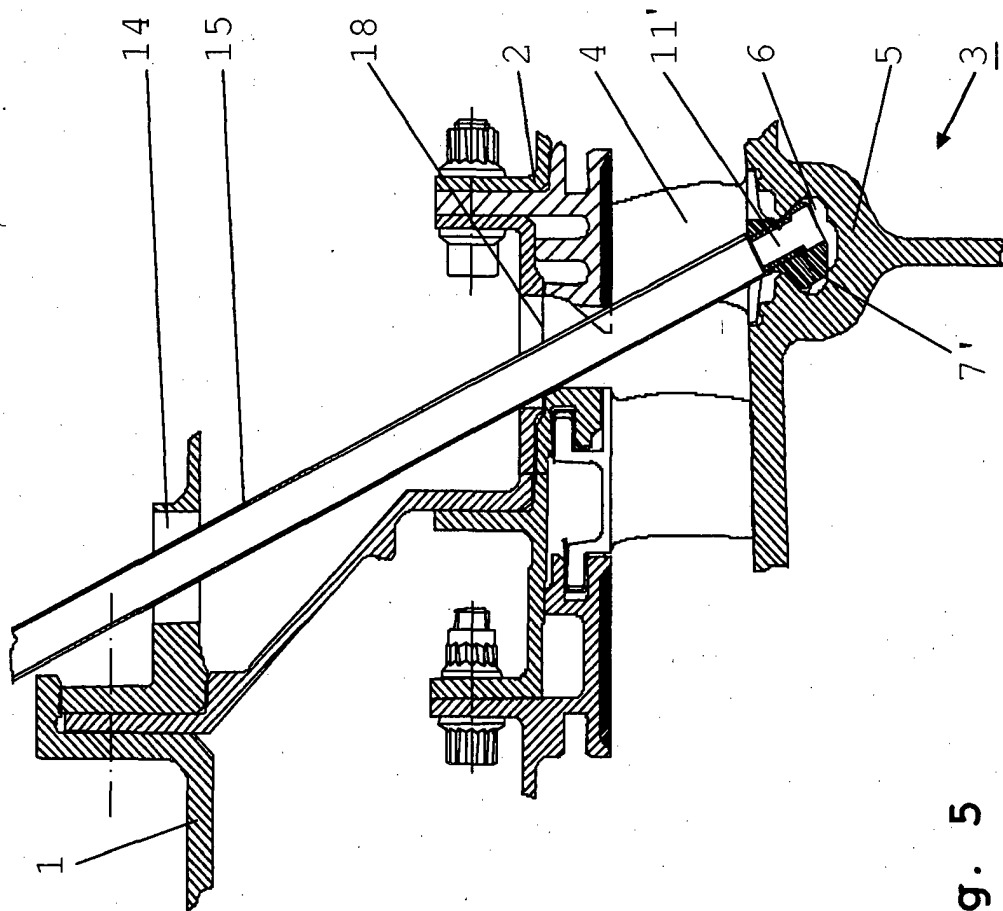


Fig. 5

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

- US 5545010 A [0004]
- US 6279420 B [0005]