



(10) **DE 10 2015 219 954 A1** 2017.04.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 219 954.1**

(22) Anmeldetag: **14.10.2015**

(43) Offenlegungstag: **20.04.2017**

(51) Int Cl.: **F16F 15/34 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827
Blankenfelde-Mahlow, DE**

(72) Erfinder:

Obereich, Falko, 01945 Ruhland, DE

(74) Vertreter:

**Maikowski & Ninnemann Patentanwälte
Partnerschaft mbB, 10707 Berlin, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

US	2007 / 0 231 103	A1
US	2013 / 0 011 253	A1
US	5 052 891	A
US	4 539 864	A

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

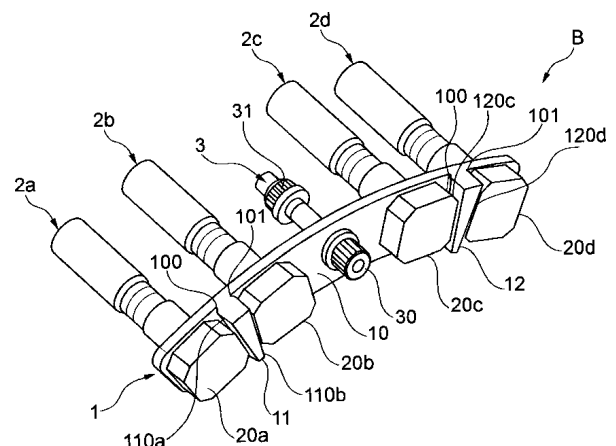
(54) Bezeichnung: **Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier rotierender Bauteile in einer Gasturbine und Auswuchtverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft insbesondere eine Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier rotierender Bauteile in einer Gasturbine, wobei die Baugruppe (B, Ba) wenigstens das Folgende aufweist:

- ein Halteelement (1, 1.1, 1.2, 1a) für mindestens zwei Verbindungselemente (2a–2d), die zur drehfesten Verbindung der mindestens zwei Bauteile (R, S, W) aneinander vorgesehen sind, wobei das Halteelement (1, 1.1, 1.2, 1a)
- für jedes der Verbindungselemente (2a–2d) eine Öffnung (14a, 14b, 15a, 15b) aufweist, in die ein Abschnitt eines Verbindungselements (2a–2d) hindurch gesteckt werden kann, und

- zwischen zwei Öffnungen (14a, 14b; 15a, 15b) einen Abschnitt (11; 12) ausbildet, der bei in die Öffnungen (14a, 14b; 15a, 15b) eingesteckten Verbindungselementen (2a–2d) diese gegen ein Verdrehen in der Öffnung (14a, 14b; 15a, 15b) sichert, und

- mindestens ein Befestigungselement (3), das dazu eingerichtet und vorgesehen ist, das Halteelement (1, 1.1, 1.2, 1a) an einem der Bauteile (R, S) zu halten und/oder das Halteelement (1, 1.1, 1.2) und mindestens zwei Bauteile (R, S) der Baugruppe (B, Ba) zu verbinden, bevor die mindestens zwei rotierenden Bauteile (R, S, W) über die Verbindungselemente (2a–2d) drehfest miteinander verbunden werden. Erfindungsgemäß ist das Befestigungselement (3) zusätzlich dazu eingerichtet und vorgesehen, mindestens ein Wuchtelement (4) an dem Halteelement (1, 1.1, 1.2) festzulegen, um eine Unwucht der rotierenden Bauteile (R, S, W) im Bereich ihrer Verbindung ausgleichen zu können. Ferner ist ein Auswuchtverfahren vorgeschlagen, bei dem im Fall einer gemessenen Unwucht Halteelemente (1, 1.1, 1.2) unterschiedlichen Gewichts ausgetauscht werden und/oder mindestens ein Wuchtelement (4) an einem Halteelement (1, 1.1, 1.2) angebracht wird, um die Unwucht auszugleichen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft insbesondere eine Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier Bauteile in einer Gasturbine sowie ein Verfahren zum Auswuchten einer Anordnung mit mindestens einer solchen Baugruppe.

[0002] Innerhalb einer Gasturbine müssen unterschiedliche Bauteile drehfest miteinander verbunden werden. Dies trifft sowohl statische, d.h. im Betrieb der Gasturbine und bewegte Bauteile als auch rotierende Bauteile im Bereich einer Verdichter- oder Turbinenstufe. Für die drehfeste Verbindung miteinander bilden die einzelnen Gasturbinenbauteile üblicherweise Flansche mit mehreren Öffnungen oder Bohrungen aus, durch die zur drehfesten Verbindung Verbindungselemente, wie zum Beispiel Gewindebolzen gesteckt und verschraubt werden. Für die drehfeste Verbindung von Gasturbinenbauteilen werden üblicherweise mehrere entlang eines Umfangs eines Gasturbinenbauteils angeordnete Verbindungselemente genutzt. Diese Verbindungselemente können zur Vereinfachung der Montage verdrehsicher an einem der Bauteile gehalten sein, wenn die drehfeste Verbindung mit dem wenigstens einen anderen Bauteil erfolgt. In diesem Zusammenhang ist es beispielsweise aus der EP 1 091 089 B1, der US 5,052,891A und der US 2013/0011253 A1 bekannt, an einem separaten Halteelement für zwei Verbindungselemente eine Verdrehsicherung vorzusehen. Über dieses Halteelement sind dann beispielsweise bei als Verbindungselementen vorgesehenen Bolzen die Bolzen an ihren Bolzenköpfen gegen eine Drehung gesichert, wenn auf diese eine Mutter aufgeschraubt wird.

[0003] Bei der aus der US 2013/0011253 A1 bekannten Lösung für die Verbindung zweier stationärer Gasturbinenbauteile im Bereich eines Gehäuses ist an einem Halteelement zudem ein Befestigungselement in Form eines vorstehenden Zapfens ausgebildet. Hierüber kann das Halteelement an einem der zu verbindenden Bauteile vorpositioniert werden. Der an dem Halteelement ausgeformte Zapfen wird hierfür einfach in eine entsprechende Öffnung an einem randseitigen Flansch des Bauteils eingesteckt. Bei entsprechender Länge des Zapfens kann dieser auch miteinander fluchtende Öffnungen an den mehreren zu verbindenden Bauteilen durchgreifen, um das Halteelement vorzupositionieren.

[0004] Aus der Praxis ist ferner bekannt, Halteelemente, an denen die Verbindungselemente für die Verbindung zweier Gasturbinenbauteile verdrehsicherer gehalten sind, auch für die zusätzliche Anbringung von Wuchtgewichten zu nutzen, wenn es sich bei den miteinander zu verbindenden Bauteilen um im Betrieb der Gasturbine rotierende Bauteile handelt. Hierfür ist dann regelmäßig an einem Halteelement ein Abschnitt vorgesehen, an den für das Auswuchten notwendige Gewichte angeklemt oder angeschraubt werden können. Um den bei rotierenden Bauteilen innerhalb einer Gasturbine bestehenden Anforderungen an eine möglichst geringe Unwucht gerecht zu werden, werden hierbei oftmals entlang einer Kreislinie um eine Rotationsachse der Gasturbinenbauteile mindestens ein Dutzend Befestigungsstellen definiert, an denen jeweils ein Wuchtgewicht angebracht werden kann.

[0005] In der EP 1 380 722 B1 ist vorgeschlagen, sogenannte Kratzschutzplatten unterschiedlicher Form und Masse für das Auswuchten an rotierenden Gasturbinenbauteilen vorzusehen. Über derartige Kratzschutzplatten wird verhindert, dass bei der Montage ein für die drehfeste Verbindung genutzter Bolzen oder eine hierfür genutzte Schraube über seinen Bolzen- oder Schraubenkopf direkt an einer Flanschoberfläche an einem der Bauteile anliegt und der Bolzenkopf bei der Montage die Flanschoberfläche beschädigt. Die als Halteelemente nutzbaren Kratzschutzplatten der EP 1 380 722 B1 werden üblicherweise mit separat anzubringenden Verdrehsicherungen kombiniert, um bei der Montage die Bolzenköpfe in Position zu halten.

[0006] Ausgehend von dem zuvor genannten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die drehfeste Verbindung zweier Gasturbinenbauteile über mehrere (mindestens zwei) Verbindungselemente, wie zum Beispiel Gewindebolzen oder Schrauben, zu verbessern und den Montageprozess zu vereinfachen sowie bei rotierenden Gasturbinenbauteilen das Auswuchten zu erleichtern.

[0007] Diese Aufgabe wird sowohl mit einer Baugruppe des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 6 als auch mit einem Auswuchtverfahren des Anspruchs 13 gelöst.

[0008] Erfindungsgemäß ist eine Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier rotierender Bauteile in einer Gasturbine vorgeschlagen, wobei diese Baugruppe wenigstens ein Halteelement, mindestens zwei Verbindungselemente und mindestens ein Befestigungselement umfasst. Die mindestens zwei typischerweise längserstreckten Verbindungselemente, zum Beispiel in Form von (Gewinde-)Bolzen, Gewindestäben oder Schrauben, sind zur drehfesten Verbindung der beiden Bauteile aneinander vorgesehen. Das Halteelement weist für jedes der Verbindungselemente eine Öffnung auf, in die ein Abschnitt eines Verbindungsele-

ments entlang einer Einsteckachse hindurch gesteckt werden kann. Zwischen zwei Öffnungen bildet das Halteelement einen vorzugsweise stegartigen Abschnitt aus, der bei in die Öffnungen eingesteckten Verbindungselementen diese gegen eine Verdrehung in der Öffnung um die Einsteckachse sichert. Über das Befestigungselement wird das Halteelement z.B. an wenigstens einem der Bauteile gehalten, bevor die Bauteile über die Verbindungselemente drehfest miteinander verbunden werden. Zusätzlich ist das Befestigungselement vorliegend dazu eingerichtet und vorgesehen, mindestens ein Wuchtelement an dem Halteelement festzulegen, um eine Unwucht der rotierenden Bauteile im Bereich ihrer Verbindung ausgleichen zu können. Das mindestens eine Befestigungselement erfüllt somit eine Doppelfunktion. Einerseits ist hierüber das Halteelement bestimmungsgemäß vorpositionierbar. Andererseits dient das Befestigungselement der Festlegung mindestens eines Wuchtelements (Wuchtgewichts), über das eine detektierte Unwucht ausgeglichen werden kann.

[0009] Vorzugsweise ist das Befestigungselement als separates Bauteil ausgebildet, das durch eine Halteöffnung des Halteelements greift. Das Befestigungselement kann somit beispielsweise ein Gewindebolzen oder eine Schraube sein. Auf diesen Bolzen oder diese Schraube wird dann in einer Ausführungsvariante eine Mutter geschraubt, um das Halteelement an wenigstens einem der Bauteile festzulegen, bevor die drehfeste Verbindung über die zusätzlichen Verbindungselemente erfolgt. Ein Wuchtelement oder mehrere Wuchtelemente können hierbei beispielsweise über einen (Bolzen- oder Schrauben-)Kopf des jeweiligen Befestigungselements an dem Halteelement gehalten sein. Alternativ oder ergänzend kann ein Wuchtelement über eine mit dem Befestigungselement verbundene Mutter an dem Halteelement gehalten sein, zum Beispiel wenn das Befestigungselement in Form eines Bolzens oder einer Schraube so positioniert ist, dass der Bolzen- oder Schraubenkopf in Richtung einer Verdichterwelle zeigt.

[0010] Dementsprechend wird es auch bevorzugt, dass ein an dem Befestigungselement festgelegtes Wuchtelement über das Befestigungselement formschlüssig an dem Halteelement fixiert ist. Über den Formschluss ist dann auch sichergestellt, dass das jeweilige Wuchtelement gerade bei sehr schnell rotierenden Gasturbinenbauteilen sicher an dem Halteelement und damit den Gasturbinenbauteilen gehalten ist.

[0011] Der von dem Halteelement ausgebildete Abschnitt zur Sicherung der Verbindungselemente gegen ein Verdrehen ist zum Beispiel stegartig ausgebildet. Beispielsweise erstreckt sich ein solcher stegartiger Abschnitt radial bezogen auf eine Rotationsachse der beiden drehfest miteinander verbundenen Gasturbinenbauteile, wenn die Baugruppe bestimmungsgemäß montiert wurde. Zwei Verbindungselemente können somit axial durch die entsprechenden Öffnungen an dem Halteelement eingesteckt werden. Ein Verdrehen der in die Öffnung eingesteckten Verbindungselemente ist dann aber über den sich zwischen den Öffnungen befindlichen stegartigen Abschnitt verhindert.

[0012] Um gerade bei kreisringförmigen Flanschen zweier im Betrieb der Gasturbine rotierender Bauteile eine Anlage der Verbindungselemente, zum Beispiel im Bereich von Bolzenköpfen, an einem zur Verdrehsicherung vorgesehenen Abschnitt des Halteelements zu verbessern, ist dieser in einer Ausführungsvariante keilförmig ausgebildet. Hierbei verbreitert sich der Abschnitt in einer radial nach außen weisenden Richtung, um für zwei auf gegenüberliegenden Seiten dieses keilförmigen Abschnitts angrenzenden Bolzen- oder Schraubenköpfen eine größere Anlagefläche bereitzustellen.

[0013] Um für einen Kopf eines Verbindungselements an dem Halteelement eine größere Anlagefläche in Verbindungs- oder Steckrichtung bereitzustellen, ist in einem Ausführungsbeispiel am Fuß eines stegartigen Abschnitts an der Basis des Halteelements, an der die Verbindungselemente anliegen und an der der stegartige Abschnitt erhaben vorsteht, eine längserstreckte Einkerbung vorgesehen. Über diese Einkerbung ist eine Auflagefläche für einen Kopf des Verbindungselements vergrößert, ohne hierfür das Halteelement oder den Kopf des Verbindungselements selbst vergrößern zu müssen. Die längserstreckte Einkerbung am Fuß des stegartigen Abschnitts ist hierbei nach Art eines Freistichs dazu genutzt, den Kopf des Verbindungselements oberhalb der Einkerbung in definierter Weise an dem stegartigen Abschnitt anliegen zu lassen oder zumindest hieran angrenzend positionieren zu können.

[0014] Zwar ist die Ausbildung einer längserstreckten Einkerbung am Fuß des stegartigen, als Verdrehsicherung wirkenden Abschnitts gerade für die drehfeste Verbindung zweier im Betrieb der Gasturbine rotierender Bauteile von Vorteil. Jedoch ist eine derart optimierte Verbindung auch bei statischen Bauteilen, die drehfest miteinander zu verbinden sind, von Vorteil. Dieser Aspekt ist somit nicht auf rotierende Gasturbinenbauteile und insbesondere nicht in diesem Bereich verwendete Schrauben- oder Bolzenverbindungen für rotierende Bauteile einer Verdichter- oder Turbinenstufe der Gasturbine beschränkt.

[0015] Eine erfindungsgemäß ausgestrahlte Baugruppe kommt bevorzugt in einer Anordnung zum Einsatz, bei der die mindestens zwei Gasturbinenbauteile über eine erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppe oder mehrerer solcher Baugruppen drehfest miteinander verbunden sind.

[0016] Beispielsweise sind wenigstens zwei erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppen, je mit Halteelement, mindestens zwei Verbindungselementen und einem Befestigungselement, entlang einer Kreislinie um eine Rotationsachse zweier rotierender Gasturbinenbauteile zueinander beabstandet angeordnet, um die wenigstens zwei Gasturbinenbauteile drehfest miteinander zu verbinden. Durch die Möglichkeit über das Befestigungselement zusätzliche Wuchtelemente zum Auswuchten festlegen zu können, hat sich gezeigt, dass bei entsprechender Dimensionierung des Halteelements und der Wuchtelemente weniger als ein Dutzend, vorzugsweise weniger als neun Verbindungsstellen ausreichend sind, um die wenigstens zwei Gasturbinenbauteile mittels erfindungsgemäß ausgestrahlte Baugruppen drehfest miteinander zu verbinden und ausreichende Möglichkeiten zum Auswuchten vorzusehen. An jeder der Verbindungsstellen ist dann beispielsweise ein Halteelement mit mindestens zwei oder vier Verbindungselementen vorgesehen. In einer Ausführungsvariante sind beispielsweise entlang einer Kreislinie an einem kreisringförmigen Flansch eines Rotorbauteils sechs Verbindungsstellen äquidistant verteilt vorgesehen.

[0017] Zur Reduzierung des Aufwands beim Auswuchten und zur Verringerung der für das Auswuchten benötigten Komponenten, ist in einer Weiterbildung vorgesehen, ein Halteelement für wenigstens zwei Verbindungselemente selbst als Wuchtelement zu nutzen und nicht nur das (zusätzlich) über das Befestigungselement hieran festgelegte Wuchtelement oder Wuchtgewicht. So können wenigstens zwei Baugruppen mit unterschiedlich schweren Halteelementen entlang einer Kreislinie um eine Rotationsachse der Gasturbinenbauteile zueinander beabstandet vorgesehen sein, um hierüber eine festgestellte Unwucht im Bereich der Verbindung der wenigstens zwei Gasturbinenbauteile auszugleichen. So können beispielsweise unterschiedlich schwere Halteelemente für erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppen vorgehalten sein, die je nach Bedarf, d.h., zum Ausgleichen einer entsprechenden Unwucht, und für das Halten der Verbindungselemente verwendbar sind.

[0018] In einem Ausführungsbeispiel sind unterschiedlich schwere Halteelemente mit identischer Länge ausgebildet. Unter einer „Länge“ des Halteelements wird hierbei üblicherweise die Umfangslänge entlang einer Umfangsrichtung um die Rotationsachse verstanden. Ein schwereres der mindestens zwei Halteelemente weist hier dann aber in mindestens einem Abschnitt eine größere Dicke und/oder Breite auf, wenn es aus demselben Material gefertigt ist. Die unterschiedlich schweren Halteelemente können somit beispielsweise bezogen auf eine Rotationsachse der wenigstens zwei miteinander drehfest zu verbindenden Bauteile der Anordnung in radialer Richtung gleich breit und in Umfangsrichtung gleich lang sein, sind aber im Bereich wenigstens eines Abschnitts unterschiedlich dick. Die Längen der unterschiedlichen schweren Halteelemente in Umfangsrichtung sind vorzugsweise zwecks Austauschbarkeit stets gleich. Ob die Breite oder die Dicke oder beide Größen bei unterschiedlich schweren Halteelementen verschieden gewählt sein können, hängt üblicherweise von den äußeren Randbedingungen (wie z.B. Bauraum, einer konstanten Klemmlänge der Verbindungselemente, etc.) ab.

[0019] Durch die Nutzung eines Halteelements selbst als möglichem Wuchtgewicht und der Möglichkeit, hieran über das ohnehin vorgesehene Befestigungselement wenigstens ein zusätzliches Wuchtelement und damit Wuchtgewicht festlegen zu können, ist gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ein verbessertes Auswuchtverfahren vorgeschlagen.

[0020] Hierbei werden zunächst mindestens zwei unterschiedlich schwere erste und zweite Halteelemente mit je mindestens einem Befestigungselement sowie mindestens ein Wuchtelement, das über ein Befestigungselement an einem ersten oder zweiten Halteelement festlegbar ist, bereitgestellt. Nach einer ersten Variante werden die mindestens zwei im Betrieb der Gasturbine rotierenden Gasturbinenbauteilen drehfest miteinander verbunden, so dass sie gemeinsam um dieselbe Rotationsachse rotieren. Hierbei sind die für die drehfeste Verbindung benötigten Verbindungselemente durch identisch ausgebildete und gleich schwere erste Halteelemente geführt. Vorzugsweise wurden diese Halteelemente vor der Verbindung an einem der Gasturbinenbauteile fixiert. Gegebenenfalls sind die entsprechenden Verbindungselemente bereits an ein Halteelement eingesteckt und hieran vorpositioniert, bevor das jeweilige Halteelement an dem Gasturbinenbauteil fixiert wird. Anschließend wird eine Unwucht im Bereich der Verbindung der mindestens zwei Gasturbinenbauteile, z.B. mittels einer Auswuchtvorrichtung in Form einer Wuchtmaschine, gemessen. Wird eine Unwucht festgestellt, wird wenigstens eines der ersten Halteelemente durch ein zweites Halteelement mit einem anderen Gewicht ausgetauscht und/oder es wird mindestens ein Wuchtelement an einem der Halteelemente angebracht, um die Unwucht auszugleichen. Hierbei können letztendlich auch mehrere Wuchtelemente vorgesehen und über ein Befestigungselement an einem ersten oder zweiten Halteelement festlegbar sein.

[0021] Nach einer zweiten Variante wird zum Auswuchten eine Auswuchtvorrichtung eingesetzt, die wenigstens eines der im Betrieb rotierenden und dann drehfest miteinander verbundenen Gasturbinenbauteil durch ein maßgeschneidertes, ggf. mehrteiliges Vorrichtungsbauteil, einen sogenannten Dummy, simuliert. Beispielsweise handelt es sich bei wenigstens einem der Gasturbinenbauteile um ein Bauteil einer Hochdruckturbinen eines Gasturbinentriebwerks und bei dem wenigstens einen anderen Gasturbinenbauteil um ein Bauteil eines Verdichters des Gasturbinentriebwerks, z.B. eine Verdichterwelle. Über die Auswuchtvorrichtung, üblicherweise in Form einer sogenannten „Wuchtmaschine“, wird dann beispielsweise die Hochdruckturbinen oder der Verdichter simuliert und eine Schnittstelle zur drehfesten Verbindung mit dem auszuwuchtenden Gasturbinenbauteil oder mehreren auszuwuchtenden, bereits – z.B. über mehrere Befestigungselemente – aneinander fixierten Gasturbinenbauteilen ausgebildet.

[0022] Bei einem erfindungsgemäßen Auswuchtverfahren sowohl nach der ersten als auch nach der zweiten Alternative ist bei vergleichsweise geringer Anzahl möglicher Verbindungsstellen für Halteelemente (Wuchtpositionen) und einer – gegenüber bisher üblichen Ansätzen – reduzierten Anzahl von einem oder mehreren zusätzlichen Wuchtgewichten mit unterschiedlicher Masse trotzdem eine sehr hohe Wuchtgüte erreichbar.

[0023] In einem Ausführungsbeispiel werden mindestens drei unterschiedlich schwere erste, zweite und dritte Halteelemente mit je mindestens einem Befestigungselement bereitgestellt. Die ersten Halteelemente weisen dabei ein erstes (Standard-)Gewicht auf und sind zum erstmaligen Verbinden der mindestens zwei drehfesten miteinander zu verbindenden Bauteilen aneinander vorgesehen. Wird eine Unwucht festgestellt, stehen die zweiten und dritten Halteelemente mit hiervon abweichenden höheren Gewichten, also zweite und dritte Halteelemente einer zweiten und dritten Gewichtsstufe, zur Verfügung, um die Unwucht auszugleichen. Bevorzugt, insbesondere bei größeren Unwuchten erfolgt hierbei über das Gewicht der zweiten und dritten Halteelemente die Anbringung eines um ein Vielfaches größeren Wuchtgewichts als bei der (zusätzlichen)Anbringung eines (Zusatz-)Wuchtelements, das an einem Befestigungselement eines ersten, zweiten oder dritten Halteelements festgelegt wird.

[0024] Um über die zweiten und dritten Halteelemente ein Wuchtgewicht in gleich bleibenden Stufen erhöhen zu können, ist eine Gewichtsdiﬀerenz zwischen den Gewichten eines zweiten und eines ersten Halteelements identisch zu der Gewichtsdiﬀerenz zwischen den Gewichten eines dritten und zweiten Halteelements. Die Gewichtsunterschiede zwischen Halteelementen benachbarter Gewichtsstufen sind somit identisch und liegen beispielsweise bei 12,5 g. Hierbei wie auch im Folgenden beziehen sich die Begriffe „Gewicht“ und „Gewichtsdiﬀerenz“ zwischen den Halteelementen immer auf die tatsächlich wirkende Wuchtmasse (also das Netto-Mehrgewicht, welches zur Korrektur einer Unwucht zur Verfügung steht).

[0025] Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass das Gesamtgewicht eines einzelnen über ein Befestigungselement an einem Halteelement anbringbaren Wuchtelementes oder das Gesamtgewicht mehrerer über ein Befestigungselement an einem Halteelement anbringbarer (unterschiedlich oder gleich schwerer) Wuchtelemente genau einer minimalen, d.h., der geringst möglichen Gewichtsdiﬀerenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen (benachbarter Gewichtsstufen) entspricht. Anstelle das Halteelement einer ersten Gewichtsstufe gegen ein nächst schwereres Halteelement einer benachbarten Gewichtsstufe austauschen zu müssen, kann somit in dieser Variante stattdessen ein zusätzliches Wuchtelement mit demselben Netto-Mehrgewicht zum Ausgleich einer entsprechenden Unwucht verwendet werden.

[0026] In einer anderen Variante ist vorgesehen, dass eine Gewichtsdiﬀerenz, die durch ein an einem Halteelement festlegbares Wuchtelement oder mehrere an dem Halteelement festlegbare Wuchtelemente bereitgestellt werden kann, genau der Hälfte oder maximal der Hälfte der minimalen Gewichtsdiﬀerenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen entspricht. Mit anderen Worten sind beispielsweise mehrere (mindestens zwei) gleich oder unterschiedlich schwere Wuchtelemente über das eine Befestigungselement an einem Halteelement festlegbar und die minimale Gewichtsdiﬀerenz zwischen unterschiedlich schweren Halteelementen ist (a) genauso groß wie oder (b) größer als das Doppelte des maximalen Gesamtgewichts aller über ein Befestigungselement an einem Halteelement bestimmungsgemäß festlegbaren Wuchtelemente. Mit anderen Worten sind hier mehrere Wuchtelemente vorgesehen und feiner abgestuft als die unterschiedlich schweren Halteelemente, um über die an einem Befestigungselement festlegbaren Wuchtelemente eine genauere Abstimmung zum Ausgleich einer Unwucht vornehmen zu können.

[0027] In einem Ausführungsbeispiel nach der vorgenannten Variante (a) sind z.B. drei unterschiedlich schwerere Typen von Wuchtelementen zu 1,25 g, 2,5 g und 3,75 g vorgesehen, von denen maximal zwei Wuchtelemente (z.B. zu je 3,75 g) über ein Befestigungselement an einem Halteelement festlegbar sind. Die Halteelemente unterscheiden sich hier dann in Gewichten zu 15 g (= $2 \times (3,75 \text{ g} + 3,75 \text{ g})$), 30 g und 45 g, so dass

hierüber selbst bei einer geringeren Anzahl von möglichen, durch die Verbindungsstellen der Bauteile definierten Wuchtpositionen (z.B. sechs) in 1,25 g Schritten Ausgleichswuchtmassen über lediglich drei unterschiedlich schwere Halteelemente und lediglich drei unterschiedlich schwere Wuchtelemente bereitgestellt werden können (vgl. auch Tabellen 3a bis 3d).

[0028] Alternativ ist für eine Abstufung der möglichen Wuchtmassen in gleichbleibenden Schritten eine Variante vorgesehen, bei der lediglich ein einzelnes Wuchtelement über das Befestigungselement an einem Halteelement anbringbar ist und dieses Wuchtelement ein Gewicht aufweist, das genau der Hälfte der minimalen Gewichts-differenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen entspricht. Hier gibt es dann zwar ein oder mehrere unterschiedlich schwere Halteelemente (z.B. mit einem Netto-Mehrgewicht von 10 g je Gewichtsstufe) und nur ein Wuchtelement (z.B. mit einem Netto-Mehrgewicht von 5 g), wobei jeweils nur ein Halteelement und über das Befestigungselement nur ein Wuchtelement an den Verbindungsstellen fixiert werden können. Indem dann aber das Netto-Mehrgewicht zwischen den Halteelementen genau dem Doppelten des Gewichts des bei Bedarf zusätzlich anbringbaren Wuchtelements entspricht, kann die Wuchtmasse in gleichbleibenden Abstufungen um den Betrag des Gewichts des Wuchtelementes erhöht werden (z.B. in Stufen zu 5 g).

[0029] In einem Ausführungsbeispiel nach der vorgenannten Variante (b) übersteigt bei Verwendung mehrerer unterschiedlich schwerer Wuchtelemente für ein Feinwuchten die minimale Gewichts-differenz zwischen zwei Halteelementen das Doppelte des maximalen Gesamtgewichts aller Wuchtelemente nur um genau den Betrag einer minimalen Gewichts-differenz zwischen unterschiedlich schweren Wuchtelementen. Beispielsweise beträgt eine minimale Gewichts-differenz unterschiedlich schwerer Halteelemente dann 12,5 g und eine minimale Gewichts-differenz zwischen unterschiedlichen Wuchtelementen 0,5 g. Das maximale Gesamtgewicht aller mit einem Befestigungselement fixierbaren Wuchtelemente soll hier dann 6 g betragen ($12,5 \text{ g} = 2 \times 6 \text{ g} + 0,5 \text{ g}$ oder $(12,5 \text{ g} - 0,5 \text{ g})/2 = 6 \text{ g}$). Eine durch ein Wuchtelement oder mehrere Wuchtelemente mögliche zusätzliche Gewichts-differenz (6g) ist hier somit geringer als die Hälfte (6,25 g) der minimalen, d.h., der geringst möglichen Gewichts-differenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen (12,5 g). Oder eben mit anderen Worten ist hier die minimale Gewichts-differenz zwischen zwei Halteelementen (12,5 g) genau das Doppelte des maximalen Gesamtgewichts aller Wuchtelemente ($2 \times 6 \text{ g}$), die an einem Halteelement bestimmungsgemäß festlegbar sind, plus dem Betrag einer minimalen Gewichts-differenz (0,5 g) zwischen unterschiedlich schweren Wuchtelementen.

[0030] In einer anderen Variante ist vorgesehen, dass ein Satz von Wuchtelementen mit mindestens drei unterschiedlichen Gewichtsstufen für ein Feinwuchten bereitgestellt wird, bei dem eine Gewichts-differenz zwischen zwei Typen von Wuchtelementen unmittelbar aufeinanderfolgender Gewichtsstufen (zum Beispiel der Gewichtsstufe n und der Gewichtsstufe $n - 1$) identisch ist und maximal einem Zehntel einer minimalen Gewichts-differenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen entspricht. Der Unterschied zwischen dem Gewicht eines Wuchtelements einer Gewichtsstufe (n) und dem Gewicht eines Wuchtelement einer nächsthöheren Stufe ($n + 1$) ist somit stets kleiner als $1/10$ einer minimalen Gewichts-differenz zwischen zwei verschiedenen schweren Halteelementen. So liegt beispielsweise in einer hierauf basierenden Ausführungsvariante der minimale Unterschied zwischen zwei verschiedenen schweren Halteelementen bei 12,5 g, während die größte Differenz zwischen zwei Gewichten zweier (Zusatz-)Wuchtelemente aufeinanderfolgende Gewichtsstufen bei maximal 1g liegt. So sind beispielsweise zweite Halteelemente (Halteelemente eines zweiten Typs) vorgesehen, die gegenüber den ersten Halteelementen (Halteelementen eines ersten Typs) ein Netto-Mehrgewicht von 12,5 g aufweisen sowie dritte Halteelemente (Halteelemente eines dritten Typs), die gegenüber den zweiten Halteelementen ein Netto-Mehrgewicht von 12,5 g (und damit gegenüber den ersten Halteelementen ein Mehrgewicht von 25 g) aufweisen. Die Gewichte der zusätzlichen, vorzugsweise standardisierten Wuchtelemente sind dabei in 0,5 g, 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g und 6 g gestaffelt. Eine minimale Netto-Gewichts-differenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen liegt somit hier bei 12,5 g. Die maximale Netto-Gewichts-differenz zwischen zwei Wuchtelementen unmittelbar aufeinanderfolgende Gewichtsstufen liegt hier des weiteren bei 1g. Vorzugsweise sind ferner maximal 6 g an Gesamtmasse über ein Wuchtelement oder mehrere Wuchtelemente an einem Befestigungselement festlegbar.

[0031] Die Messung einer Unwucht im Bereich der Verbindung der mindestens zwei Gasturbinenbauteile oder einer Unwucht im Bereich der Verbindung zwischen Gasturbinenbauteil und Vorrichtungsbau-teil wird beispielsweise mittels einer Auswuchtvorrichtung ausgeführt, die einem Nutzer Position, Anzahl und/oder Gewicht anzubringender Wuchtelemente und/oder Position und Gewicht anzubringender (respektive auszutauschender) Halteelemente anzeigt, um eine gemessene Unwucht auszugleichen. Hierfür ist in der Auswuchtvorrichtung beispielsweise eine Auswertelogik implementiert, die nicht nur die auszugleichende Gesamtunwucht und deren Position anzeigt, sondern auch einen Nutzer darüber informiert, welche und wie viele der zur Verfügung ste-

henden Wuchtelemente und Halteelemente zum Ausgleich der entsprechenden Unwucht an welcher der möglichen Verbindungsstellen angebracht oder ausgetauscht werden müssen. Hierbei berücksichtigt die Auswertelogik vorzugsweise auch, dass nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Typen und damit unterschiedlich schwerer Wuchtelemente und Halteelemente zur Verfügung stehen. Beispielsweise ist die Anzahl austauschbarer Halteelemente mit unterschiedlichem Gewicht auf drei und die Anzahl nutzbarer, standardisierter (Zusatz-)Wuchtelemente mit unterschiedlichen Gewichten auf unter acht, vorzugsweise auf sieben limitiert. So berücksichtigt die Auswertelogik beispielsweise, dass die für den Ausgleich einer Unwucht erforderliche Wucht- bzw. Korrekturmasse von 12g durch ein anderes Halteelement mit einem Netto-Mehrgewicht „Netto-Wuchtgewicht“ von 12,5g an der gegenüberliegenden Position und durch ein Zusatzwuchtelement von 0,5g im Bereich der festgestellten Unwucht erlangt werden kann, um die gemessene Unwucht auszugleichen.

[0032] Alternativ kann selbstverständlich vorgesehen sein, dass die Auswuchtvorrichtung einem Nutzer lediglich die positionsbezogene Unwucht anzeigt und der Nutzer dann selbst anhand der zur Verfügung stehenden Verbindungsstellen und der zur Verfügung gestellten Gewichte der unterschiedlichen Halteelemente und (Zusatz-)Wuchtelemente – zum Beispiel mithilfe einer entsprechenden Tabelle – die notwendigen Elemente und Positionen ermittelt, um die gemessene Unwucht auszugleichen.

[0033] Die Erfindung ist offensichtlich bei unterschiedlichen Typen von Gasturbinen vorteilhaft einzusetzen. Eine mögliche Variante ist dabei insbesondere die Umsetzung in einem Gasturbinentriebwerk.

[0034] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden bei der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren deutlich.

[0035] Hierbei zeigen:

[0036] Fig. 1 in perspektivischer Ansicht ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Baugruppe für das drehfeste Verbinden eines rotierenden Bauteils einer Hochdruckturbinen in einem Gasturbinentriebwerk mit einer Halteplatte als Halteelement und vier hieran gehaltenen Gewindebolzen;

[0037] Fig. 2 ausschnittsweise eine Schnittdarstellung der über einen Gewindebolzen der Baugruppe der Fig. 1 bereitgestellten Verbindung dreier Bauteile in der Hochdruckturbinen;

[0038] Fig. 3A–Fig. 3B verschiedene Ansichten der Halteplatte der Baugruppe der Fig. 1;

[0039] Fig. 4A–Fig. 4B verschiedene Ansichten einer zweiten, schwereren Halteplatte; Fig. 5A–Fig. 5B verschiedene Ansichten einer dritten, noch schwereren Halteplatte;

[0040] Fig. 6 eine Baugruppe der Fig. 1 im bestimmungsgemäß montierten Zustand mit einem an die Halteplatte montiertem Zusatzwuchtelement;

[0041] Fig. 7 in mit der Fig. 1 übereinstimmender Ansicht eine erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppe mit der zweiten Halteplatte gemäß den Fig. 4A und Fig. 4B und einem hieran festgelegten Zusatzwuchtelement;

[0042] Fig. 8A eine Vorderansicht auf einen kreisringförmigen Flansch einer Radscheibe für die Hochdruckturbinen mit hieran bestimmungsgemäß angeordneten Baugruppen mit je einer Halteplatte und vier Gewindebolzen zur drehfesten Verbindung mit einem weiteren rotierenden Turbinenbauteil;

[0043] Fig. 8B Schnittdarstellung entlang der in der Fig. 8A eingezeichneten Schnittlinie CA-CA zur Veranschaulichung der Befestigungselemente zur formschlüssigen Verbindung von einem Halteelement und einem Wuchtelement an mindestens einem Gasturbinenbauteil;

[0044] Fig. 8C eine Rückansicht entlang der Turbinen- oder Rotationsachse mit Blick auf den kreisringförmigen Flansch der Radscheibe des Hochdruckverdichters;

[0045] Fig. 8D Schnittdarstellung entlang der in der Fig. 8C eingezeichneten Schnittlinie AC-AC;

[0046] Fig. 9 den kreisringförmigen Flansch der Fig. 8A unter Veranschaulichung der sechs möglichen Verbindungsstellen für je eine erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppe und unter exemplarischer Darstellung zweier Unwuchtstellen;

[0047] Fig. 10 schematisch ein Ablaufdiagramm für ein erfindungsgemäßes Auswuchtverfahren;

[0048] Fig. 11 in Schnittdarstellung und ausschnittsweise einen Teil einer Halteplatte mit zwei hieran anliegenden Bolzenköpfen, die über einen Steg gegen eine Verdrehung gesichert sind, der an seinem Fuß zwei sich gegenüberliegende Einkerbungen aufweist;

[0049] Fig. 12A–Fig. 12D die verschiedenen Ansichten eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Baugruppe mit einer Halteplatte für zwei Gewindebolzen;

[0050] Fig. 13 ausschnittsweise und in Schnittdarstellung eine Auswuchtvorrichtung, die eine Verdichterwelle für das Auswuchten von Gasturbinenbauteilen simuliert, mit Hervorhebung zweier Wuchtebenen am Hochdruckturbinenrotor;

[0051] Fig. 14 ausschnittsweise und in Schnittdarstellung eine Hochdruckturbinenrotor eines Gasturbinenriebwerks mit Hervorhebung zweier Wuchtebenen.

[0052] Die Fig. 14 zeigt ausschnittsweise ein Gasturbinenriebwerk in Schnittdarstellung im Bereich der Hochdruckturbinen. Die Hochdruckturbinen ist hierbei entlang einer Triebwerksachse M hinter dem Hochdruckverdichter angeordnet. Drehfest miteinander verbundene (Rotor-)Radscheiben R und R2 tragen hierbei in an sich bekannter Weise Laufschaufeln L und L2. An einem axial hinteren Ende ist die eine Radscheibe R2 über einen kreisringförmigen Flansch mit einem ebenfalls rotierenden Turbinenbauteil, zum Beispiel einer Lagerwelle, verbunden. Die drehfeste Verbindung erfolgt in einem Verbindungsbereich V2. Die drehfest mit der Radscheibe R2 verbundene weitere Radscheibe R ist in einem Verbindungsbereich V1 an ihrem axial vorderen Ende drehfest mit einer Abdeckscheibe S und einem weiteren Wellenteil, in diesem Beispiel der Verdichterwelle W des Gasturbinenriebwerks verbunden. Die Verbindung in den Verbindungsbereichen V1 und V2 erfolgt jeweils über mehrere entlang des Umfangs verteilt angeordnete Gewindebolzen. Um hierbei im Betrieb des Gasturbinenriebwerks Vibrationen und Schwingungen bei den sich extrem schnell drehenden Radscheiben R und R2 zu vermeiden, werden die Verbindungsbereiche V1 und V2 aufwendig in Wuchtebenen F_T und R_T auf eventuelle Unwucht geprüft. Werden in diesen Wuchtebenen F_T und R_T Unwuchten festgestellt, werden diese über Wuchtelemente ausgeglichen, um eine möglichst schwingungsfreie Rotation der Verdichter- und Turbinenwelle zu erreichen.

[0053] Im Zuge der erfindungsgemäßen Lösung ist hierbei insbesondere zur Verbesserung eines Auswuchtverfahrens ein Halteelement zur Anbringung mehrerer Stufenbolzen und deren Sicherung gegen ein Verdrehen bei der Montage vorgeschlagen, das zusätzlich selbst als Wuchtelement dienen kann und an dem in einfacher Weise und insbesondere ohne zusätzliche Befestigungselemente Zusatzwuchtelemente festgelegt werden können.

[0054] So zeigt die Fig. 1 exemplarisch eine Befestigungsbaugruppe B für die drehfeste Verbindung der Radscheibe R, der Abdeckscheibe S und der Verdichterwelle W miteinander. Über sechs dieser Befestigungsbaugruppen B sind die drei genannten Bauteile R, S, W über jeweils kreisringförmig ausgestrahlte Flansche RF, SF und WF drehfest miteinander verbunden. Eine Befestigungsbaugruppe B weist hierbei ein Halteelement in Form einer Halteplatte 1 auf, die eine kreissegmentartige Basis 10 definiert. An dieser Basis 10 sind – wie sich auch anhand der Zusammenschau der Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 3A–Fig. 3B ergibt – paarweise Bolzenöffnungen 14a, 14b und 15a, 15b vorgesehen. Durch jede dieser Bolzenöffnungen 14a, 14b, 15a oder 15b wird ein Verbindungselement in Form eines Hammerkopfbolzens oder Gewindebolzen 2a, 2b, 2c oder 2d mit einem T-förmigen Kopf gesteckt. Ein Bolzenkopf 20a, 20b, 20c und 20d eines Gewindebolzens 2a, 2b, 2c oder 2d liegt hierbei dann an der Basis 10 an. Die Gewindeabschnitte der Gewindebolzen 2a, 2b, 2c und 2b sind durch entsprechende Öffnungen in den Turbinenbauteilen R, S und W geführt. Durch aufgeschraubte Muttern 21 werden dann die Turbinenbauteile R, S und W aneinander fixiert und drehfest miteinander verbunden.

[0055] Um beim Aufschrauben der Muttern 21 ein Mitdrehen der Bolzen 2a bis 2d zu verhindern, bildet die Halteplatte 1 an ihrer Basis vorstehende Stege 11 und 12 für jeweils ein Paar von Gewindebolzen 2a–2b und 2c–2d aus. Die einzelnen Stege 11 und 12 stehen hierbei erhaben an der Basis 10 hervor und weisen eine Keilform auf. Das verjüngende Ende dieses Keils weist dabei in Richtung der Rotationsachse, um die die Bauteile R, S und W im Betrieb des Gasturbinenriebwerks rotieren. Mit anderen Worten verbreitern sich die Stege 11 und 12 radial nach außen. Die Abstände eines Paares von Öffnungen 14a, 14b oder 15a, 15b sind hierbei so auf die Bolzenköpfe 20a, 20b und 20c, 20d abgestimmt, dass der zwischen zwei Öffnungen 14a, 14b oder 15a, 15b ausgeformte Steg 11 oder 12 die in die Bolzenöffnungen 14a, 14b und 15a, 15b eingesteckten Gewindebolzen 2a bis 2d gegen eine Verdrehung sichert.

[0056] Jeder Steg **11** oder **12** weist hierfür Seitenflächen **110a**, **110b** oder **120c**, **120d** auf, die jeweils einem angrenzenden Bolzenkopf **20a**, **20b** oder **20c**, **20d** zugewandt sind. An diesen Seitenflächen **110a**, **110b** oder **120c**, **120d** liegt oder schlägt ein Bolzenkopf **20a**, **20b** oder **20c**, **20d** an, um eine Verdrehung des jeweiligen Gewindebolzen **2a** bis **2d** in seinem in die Halteplatte **1** eingesteckten Zustand zu verhindern. Am Fuß jeden Steges **11** oder **12** ist beiderseits im Bereich der Basis **10** jeweils nach Art eines Freistichs eine längserstreckte und im bestimmungsgemäß verbauten Zustand radial verlaufende Einkerbung **100** oder **101** vorgesehen. Über diese Einkerbungen **100** und **101** an den rippenartig vorstehenden Stegen **11** und **12** können die jeweiligen Bolzenköpfe **20a** bis **20d** im Bereich des jeweiligen Steges **11** oder **12** problemlos flächig an der Basis **10** aufliegen. Gleichzeitig ist ohne zusätzlichen Bauraumbedarf für die Halteplatte **1** sichergestellt, dass die Bolzenköpfe **20a** bis **20d** definiert im Bereich der Seitenflächen **110a**, **110b** und **120c**, **120d** der Stege **11** und **12** vorliegen, um die Gewindebolzen **2a** bis **2d** gegen eine Verdrehung zu sichern.

[0057] Um eine Halteplatte **1** mit oder ohne hieran bereits festgelegte Gewindebolzen **2a** bis **2d** an dem Flansch RF der Radscheibe R oder an den Flanschen RF und SF der Turbinenbauteile R, S zu halten, ist an der Basis **10** eine Befestigungsöffnung **13** für ein Befestigungselement der Befestigungsbaugruppe B in Form eines Befestigungsbolzen **3** vorgesehen. Über diesen Befestigungsbolzen **3** und eine hierauf aufgeschraubte Mutter **31** kann die Halteplatte **1** an dem Flansch RF der Radscheibe R fixiert werden und es können die Flansche RF und SF der Radscheibe R und der Abdeckscheibe S miteinander verbunden werden. Derart können mit den Befestigungselementen **3** die Turbinenbauteile R und S zusammen mit den Halteelementen **1** vormontiert werden. Die anschließende Verschraubung der Verdichterwelle W und der Turbinenwelle, die unter anderem die Radscheiben R, R2 und die Abdeckscheibe S umfasst, erfolgt über die Gewindebolzen **2a** bis **2d** und die jeweils zugehörigen Muttern **21**.

[0058] Ein Kopf **30** des Befestigungsbolzens **3** liegt hierbei an derselben Seite der Basis **10** vor wie die Bolzenköpfe **20a** bis **20d** der Gewindebolzen **2a** bis **2d**. Es sei aber darauf hingewiesen, dass dies selbstverständlich nicht zwingend ist und z.B. auch vorgesehen sein kann, die Befestigungsbolzen **3** so zu verbauen, dass der jeweilige Schraubenkopf auf dem Bauteil S und die Mutter auf der Basis **10** aufliegt. Die Befestigungsöffnung **13** für den Befestigungsbolzen **3** ist hierbei in etwa mittig zwischen den zwei Paaren von Bolzenöffnungen **14a**, **14b** und **15a**, **15b** ausgebildet. Der Kopf **30** des Befestigungsbolzens **3** steht somit in etwa mittig zwischen den zwei Paaren von Bolzenköpfen **20a/20b** und **20c/20d** an der Basis **10** hervor, wenn die Befestigungsbaugruppe B bestimmungsgemäß montiert ist. Vorliegend liegen eine Befestigungsöffnung **13** und die Bolzenöffnungen **14a**, **14b** und **15a**, **15b** auf einer Kreislinie um die Triebwerksachse M. Dies ist aber nicht zwingend. So können die radialen Positionen der Befestigungsöffnung **13** und der Bolzenöffnungen **14a**, **14b** und **15a**, **15b** auch voneinander abweichen.

[0059] Vorliegend ist die Befestigungsbaugruppe B zur Anbringung an dem Flansch RF der Radscheibe R im Bereich einer in axialer Richtung hinteren Stirnseite vorgesehen. Auf der in axialer Richtung vorderen Seite, an der die Muttern **21** auf die durchgesteckten Gewindebolzen **2a** bis **2d** aufgeschraubt werden, ist entsprechend der Schnittdarstellung der Fig. 2 noch eine Kratzschutzplatte **22** vorgesehen. Diese Kratzschutzplatte **22** verhindert beim Aufdrehen der jeweiligen Mutter **21** ein Zerkratzen der Flanschoberfläche des Flansches WF der Verdichterwelle W.

[0060] Im Zuge der erfindungsgemäßen Lösung sind vorliegend unterschiedliche Typen von Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** mit unterschiedlichen Gewichten bereitgestellt. Darüber hinaus ist jeder Befestigungsbolzen **3** nicht nur dazu vorgesehen, eine Halteplatte **1**, **1.1** oder **1.2** bestimmungsgemäß vorzumontieren und vorzupositionieren und im vorliegenden Beispiel die Flansche RF und SF der Bauteile R und S aneinander zu fixieren. Vielmehr ist an jedem Befestigungsbolzen **3** auch wenigstens ein vorzugsweise hülsenförmiges (Zusatz-)Wuchtelement **4** festlegbar, um eine eventuelle Unwucht in der Wuchtebene F_T auszugleichen. Für das Auswuchten können aber an einem Befestigungsbolzen **3** auch unterschiedlich geformte Wuchtelemente festlegbar sein. Die Anzahl der unterschiedlich Formen und Gewichte ist vorliegend aber standardisiert und damit limitiert.

[0061] Die Fig. 4A, Fig. 4B und Fig. 5A–Fig. 5B zeigen dabei in mit den Fig. 3A und Fig. 3B übereinstimmenden Ansichten zwei weitere Typen von zweiten und dritten Halteplatten **1.1** und **1.2**, die über unterschiedlich ausgestaltete Basen **10.1** und **10.2** unterschiedlich schwer ausgelegt sind. Während eine zweite Halteplatte **1.1** der Fig. 4A und Fig. 4B gegenüber einer ersten Halteplatte **1** in radialer Richtung verbreitert ist und damit eine Breite b_1 aufweist, die größer ist als eine Breite b der ersten Halteplatte **1** nach den Fig. 3A und Fig. 3B, ist eine dritte Halteplatte **1.2** der Fig. 5A und Fig. 5B gegenüber der Variante der Fig. 4A und Fig. 4B lediglich lokal aufgedickt. Die Halteplatten **1.1** und **1.2** der Fig. 4A–Fig. 4B und Fig. 5A–Fig. 5B weisen somit identische Breiten b_1 und Längen (in Umfangsrichtung) auf. Die schwerere Halteplatte **1.2** ist aber an einem radial innen liegenden Bereich der Basis **10.2** mit einer Aufdickung **102** versehen, die an der Basis **10.2** erhaben vorsteht.

Alle Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** haben identische Umfangslängen, um die Austauschbarkeit der Halteplatten **1**, **1.1**, **1.2** untereinander zu gewährleisten. Zudem haben alle Halteelemente **1**, **1.1**, **1.2** eine identische Dicke im Kontaktbereich der Verbindungselemente in Form der Gewindebolzen **2a** bis **2d**, wodurch eine Änderung der Klemmlänge der Verbindungselemente vermieden wird.

[0062] Die Gewichte der einzelnen Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** unterscheiden sich jeweils, beispielsweise um 12,5 g. Demgegenüber sind die zur Anbringung über den Befestigungsbolzen **3** vorgesehenen Zusatzwuchtelemente **4** deutlich leichter und erreichen einzeln maximal ein Gewicht von 6 g.

[0063] In einer bevorzugten Variante stehen sieben unterschiedliche Wuchtelemente **4** zur Anbringung an einem Befestigungsbolzen **3** zur Verfügung. Diese weisen jeweils ein Gewicht von 0,5 g, 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g und 6 g auf. In Kombination mit den unterschiedlich schweren Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** können damit in Abstufungen von 0,5 g Wuchtgewichte bis zu einem Gesamtgewicht von 31 g zum Ausgleich von Unwuchten befestigt werden. Diese Abstufung ist nicht nur relativ feingliedrig, sondern gestattet trotz der überschaubaren Anzahl von unterschiedlichen Zusatzwuchtelementen **4** und Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** bei vergleichsweise wenigen (vorliegend sechs) Verbindungsstellen für die Anbringung von Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** einen effektiven und genauen Ausgleich auch von größeren Unwuchten. Eine Verbindungsstelle an dem Flansch RF der Radscheibe R ist hierbei so ausgestaltet, dass an den entlang des Umfangs vorgesehenen sechs Verbindungsstellen für die Anordnung einer Halteplatte **1** auch alternativ die schwereren Halteplatten **1.1** oder **1.2** angeordnet werden können. Die Abstände der Bolzenöffnungen **14a**, **14b** und **15a**, **15b** untereinander sowie zu einer Befestigungsöffnung **13** für den Befestigungsbolzen **3** sind hierbei bei den unterschiedlichen Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2**, wie anhand der **Fig. 6** und **Fig. 7** veranschaulicht ist, zueinander identisch, sodass die Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** problemlos gegeneinander ausgetauscht werden können und (in Bezug auf ihre Befestigungsmöglichkeit, d.h., das Vorsehen einer Durchgangsöffnung für den Befestigungsbolzen **3** identisch ausgestaltete) Zusatzwuchtelemente **4** über den jeweiligen Befestigungsbolzen **3** an einer Halteplatte **1**, **1.1** oder **1.2** festgelegt werden können.

[0064] Entsprechend der **Fig. 8A** sind in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sechs jeweils um 60° zueinander beabstandete Verbindungsstellen an dem Flansch RF der Radscheibe R definiert. An jeder Verbindungsstelle ist eine Durchgangsöffnung für einen Befestigungsbolzen **3** vorgesehen, um hierüber eine Halteplatte **1**, **1.1** oder **1.2** zu positionieren. Entsprechend der Schnittdarstellung der **Fig. 8B** durchgreift hierbei der Befestigungsbolzen **3** nicht nur den Randflansch RF der Radscheibe R, sondern auch den Flansch SF der Abdeckscheibe S. Derart kann beispielsweise eine Halteplatte **1** an den bereits miteinander verbundenen Bauteilen R und S über einen verschraubten Befestigungsbolzen **3** gehalten sein. Die Abdeckscheibe S ist vorliegend gegenüber der Radscheibe R axial vorgespannt, um einen Kontakt beider Bauteile R, S im Bereich des Scheibenkopfes auch bei ungünstigen Bauteiltoleranzen sicherzustellen. Insofern werden im vorliegenden Beispiel über die Befestigungsbolzen **3** nicht nur die Halteplatten **1** am Flansch RF gehalten, sondern auch beide Flansche RF und SF zusammengehalten und eine axiale Verschiebung des Flansches SF der Abdeckscheibe S relativ zu dem Flansch RF der Radscheibe R verhindert, bevor deren drehfeste Verbindung mit der Verdichterwelle W an deren Flansch WF erfolgt. An dem Flansch WF der Verdichterwelle W ist dann beispielsweise lediglich eine Aussparung oder Öffnung für die Aufnahme der auf den Befestigungsbolzen **3** aufgeschraubten Mutter **31** ausgebildet. Im vorliegenden Fall sind alle im Flansch WF der Verdichterwelle W ausgebildeten Aussparungen oder Öffnungen identisch, so dass die Anzahl der Positionierungsmöglichkeiten (in Umfangsrichtung) zwischen beiden Wellenteilen (Verdichter und Turbine) nicht eingeschränkt wird.

[0065] Anhand der **Fig. 8B** ist ferner auch der Aufbau eines Zusatzwuchtelements **4** näher veranschaulicht. Ein solches Zusatzwuchtelement **4** weist jeweils eine Basis **40** auf, die über den Kopf **30** des Befestigungsbolzens **3** formschlüssig an der Halteplatte **1** gehalten ist. Je nach Größe und Gewicht des Zusatzwuchtelements **4** kann der Kopf **30** des Befestigungsbolzens **3** teilweise oder vollständig in einem Hülsenabschnitt **41** des Zusatzwuchtelements **4** aufgenommen sein. Alternativ kann das Wuchtelement auch die Form einer Unterlegscheibe haben, wodurch die Fixierung mehrerer Wuchtelemente **4** an einem Befestigungselement möglich oder zumindest vereinfacht ist. Die Wuchtelemente sind vorliegend Standard-Wuchtelemente, so dass insgesamt nur zwei zusätzliche maßgeschneiderte, d.h., z.B. individuell für die erfindungsgemäße Lösung angepasste, schwerere Halteelemente in Form der Halteplatten **1.1** und **1.2** erforderlich sind, um ein Auswuchten über eine verhältnismäßig große Bandbreite zu ermöglichen.

[0066] Mit den **Fig. 8C** und **Fig. 8D** wird in Ergänzung zu den **Fig. 8A** und **Fig. 8B** veranschaulicht, wie über den jeweiligen Befestigungsbolzen **3** die zugehörige Halteplatte, hier z.B. eine Halteplatte **1.2** entsprechend den **Fig. 5A** und **Fig. 5B**, an dem Flansch RF der Radscheibe R fixiert ist und die beiden Flansche RF und SF der Radscheibe R und der Abdeckscheibe S miteinander verbunden sind. Hierbei zeigt die **Fig. 8C** die für

die Muttern **21** vorgesehenen Kratzschutzplatten **22**, die jeweils vier Gewindebolzen **2b**, **2a** und **2d**, **2c** zweier nebeneinander liegender Halteplatten zugeordnet sind. Zwischen zwei Kratzschutzplatten **22** ist jeweils eine Mutter **31** für einen Befestigungsbolzen **3** ersichtlich.

[0067] Anhand der **Fig. 9** und **Fig. 10** soll nachfolgend noch die Durchführung eines Auswuchtverfahrens auf Basis der erfindungsgemäßen Lösung veranschaulicht werden. Hierbei ist in der **Fig. 9** zunächst der Flansch RF der Radscheibe R mit den sechs äquidistant zueinander kann an dessen Umfang vorgesehenen Befestigungsstellen für die Halteplatten **1**, **1.1** oder **1.2** veranschaulicht. Hierbei sind dementsprechend Verbindungsstellen (A) bis (F) bei 0°, 60°, 120°, 180°, 240° und 300° gezeigt. Im Zuge eines möglichen erfindungsgemäßen Auswuchtverfahrens werden vorliegend die Halteplatten **1** über ihre Befestigungsbolzen **3** an den Flanschen RF und SF fixiert, so dass die Flansche RF und SF hierüber miteinander verbunden sind. Die komplett montierte Turbinenwelle mit den Gasturbinenbauteilen S, R, R2, L, L2 und der Lagerwelle bestückt mit mehreren (vorliegend sechs) identischen Halteplatten **1** am Flansch RF der Radscheibe R wird anschließend über mindestens zwölf Gewindebolzen **2a** bis **2d** mit der Verdichterwelle W oder – entsprechend der **Fig. 13** – mit einem Vorrichtungsbauenteil T eines entsprechenden Simulators verbunden und anschließend auf einer Auswuchtvorrichtung in Form einer Wuchtmaschine aufgenommen und eingerichtet. Die **Fig. 13** zeigt hierbei in mit der **Fig. 14** weitestgehend übereinstimmender Schnittansicht ausschnittsweise eine Auswuchtvorrichtung, in der die Turbinenwelle mit dem Vorrichtungsbauenteil T, welches eine Verdichterwelle W simuliert, verbindbar ist. In der Auswuchtvorrichtung wird insbesondere gemessen, ob in der Wuchtebene F_T entsprechend der **Fig. 13** oder der **Fig. 14** eine Unwucht vorliegt. Nach dem Start des Auswuchtverfahrens in einem Schritt A1 entsprechend der **Fig. 10** erfolgt demgemäß zunächst die Messung einer Unwucht in einem Schritt A2.

[0068] In einem nachfolgenden Schritt A3 gibt die Auswuchtvorrichtung aus, ob und wo eine Unwucht vorliegt. Hierbei werden stets die Lage in Umfangsrichtung {°} und der Betrag der Unwucht {g·mm} gemessen. Somit kann die Unwucht auch als ein Vektor dargestellt werden. In der **Fig. 9** sind exemplarisch zwei mögliche Unwuchtstellen U1 bei 260° (gerechnet von der Verbindungsstelle (A) entgegen dem Uhrzeigersinn) und U2 bei 230° eingetragen.

[0069] Anhand der ausgegebenen Unwucht in [g·mm] und der ausgegebenen Unwuchtposition kann ein Nutzer nun durch geeignete Kombination der zusätzlich zur Verfügung gestellten zwei weiteren Typen von Halteplatten **1.1** und **1.2** sowie den bereitgestellten Satz von Zusatzwuchtelementen **4** die festgestellte Unwucht ausgleichen. In einer möglichen Ausführungsvariante ist bereits in der Auswuchtvorrichtung eine entsprechende Auswertelogik hinterlegt, um dem Nutzer direkt Anzahl und Position auszutauschender Halteplatten **1** und/oder Anzahl, Position und/oder Gewicht anzubringender Zusatzwuchtelemente **4** anzuzeigen.

[0070] Wird beispielsweise an der Unwuchtstelle U1 eine Unwucht von 2450 g·mm bei 260° festgestellt, sind die Halteplatten **1** an den Verbindungsstellen (B) und (C) durch Halteplatten **1.1** mit einem Netto-Mehrgewicht („Netto-Wuchtgewicht“) von 12,5 g zu ersetzen. Ferner ist an den unveränderten Halteplatten an der Verbindungsstelle (A) ein Zusatzwuchtelement von 2 g und an der Verbindungsstelle (D) ein Zusatzwuchtelement von 0,5 g vorzusehen. Darüber hinaus ist an der ausgetauschten Halteplatte **1.1** an der Verbindungsstelle (B) ein Zusatzwuchtelement **4** mit einem Gewicht von 6 g vorzusehen:

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	Ge- samt- Masse
Auszugleichende Un- wucht 2450g·mm bei 260°	2g	12,5g +6g	12,5g	0,5g	-	-	33,5g

(Tabelle 1)

[0071] Durch die Festlegung von insgesamt 33,5 g (Netto-)Ausgleichsmasse an den Positionen (A) bis (D) wird ein Korrekturvektor mit dem Betrag von 2450 g·mm bei einem Winkel von 80,5° erzeugt, wodurch die gemessene Anfangsunwucht bis auf 20,7 g·mm (Restunwucht) korrigiert werden kann.

[0072] Wird an der Unwuchtstelle U2 eine Unwucht von 4700 g·mm festgestellt, ist diese über den Austausch der Halteplatten **1** an den Verbindungsstellen (A) und (B) insbesondere durch Halteplatten **1.2** des dritten Typs mit einem Netto-Mehrgewicht („Netto-Wuchtgewicht“) von 25 g auszugleichen, wobei diese jeweils mit Zusatzwuchtelement von 0,5 g (Verbindungsstelle (A)) und 6 g (Verbindungsstelle (B)) versehen werden müssen.

Darüber hinaus wäre an der Verbindungsstelle (C) anstatt der (Standard-)Halteplatte **1** eine Halteplatte **1.1** des zweiten Typs mit einem Mehrgewicht von 12,5 g und ein Zusatzwuchtelement **4** von 3 g vorzusehen. An der Verbindungsstelle (F) ist darüber hinaus ein Zusatzwuchtelement **4** von 0,5 g anzuordnen:

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	Gesamt-Masse
Auszugleichende Unwucht 4700g·mm bei 230°	25g +0,5g	25g +6g	12,5g +3g	-	-	0,5g	72,5g

(Tabelle 2)

[0073] Durch die Festlegung von insgesamt 72,5 g (Netto-)Ausgleichsmasse an den Positionen (A), (B), (C) und (F) wird ein Korrekturvektor mit dem Betrag von 4685g·mm bei einem Winkel von 49.9° erzeugt, wodurch die gemessene Anfangsunwucht bis auf 16,3 g·mm (Restunwucht) korrigiert werden kann.

[0074] Eine aus der **Fig. 9** jeweils ersichtliche Position (B1), (B2) ist in diesem Beispiel diejenige Position, die der jeweiligen Unwucht U1 oder U2 genau gegenüberliegt. Mit anderen Worten ist eine Position (B1) oder (B2) nicht festgelegt, sondern variabel, d. h. abhängig von der Winkellage der gemessenen Unwucht. Die Position (B) für das Anbringen der Ausgleichswuchtmassse weist hierbei den geringsten Winkelversatz zu der jeweiligen Position (B1) oder (B2) auf.

[0075] Wie die vorgenannten Beispiele anschaulich zeigen, kann in der vorliegenden Variante bei einer vergleichsweise geringen Anzahl von nur sechs wohl definierten Verbindungsstellen für die drei Halteplatten **1**, **1.1** und **1.2** mit unterschiedlichen Wuchtgewichten und einer geringen Anzahl (hier: sieben) von fein abgestuften Zusatzwuchtelementen **4** ein sehr präziser Ausgleich von Unwuchten erfolgen. Nach der Anbringung der entsprechenden Zusatzwuchtelemente **4** und einem eventuellen Austausch von Halteplatten **1** durch schwerere Halteplatten **1.1** oder **1.2** in einem Verfahrensschritt A4 endet dann das Auswuchtverfahren in einem Schritt A5 und die derart ausgerüsteten Bauteile können endgültig fixiert werden.

[0076] Die Klemmlängen der jeweiligen Verbindungselemente – hier in Form der Gewindebolzen **2a** bis **2d** – bleiben über die unterschiedlich schweren Halteplatten **1**, **1.1**, **1.2** unverändert, da auch die schweren Halteplatten **1.1** und **1.2** an der Basis **10** stets die gleiche Dicke in demjenigen Bereich aufweisen, an dem die (Bolzen-)Öffnungen **14a**, **14b**, **15a**, **15b** ausgebildet sind. Ferner liegen alle Öffnungen **13** und **14a**, **14b**, **15a**, **15b** für die Befestigungs- und Verbindungselemente **3** und **2a** bis **2d** auf einem Teilkreisradius und haben denselben Abstand. Hierdurch wird erreicht, dass nur ein Bohrungsmuster an der Verdichterwelle W erforderlich ist und beide Wellenteile entsprechend der Anzahl dieser Öffnungen zueinander positionierbar bleiben.

[0077] Unter Nutzung des erfindungsgemäßen Ansatzes kann in einer Ausführungsvariante bei nur sechs Verbindungsstellen (Wuchtpositionen) für drei Halteplattentypen auch mit einer geringeren Anzahl unterschiedlich schwerer Wuchtgewichte eine verbesserte Wuchtgüte gegenüber bisher in der Praxis üblichen Auswuchtverfahren erreicht werden. So können beispielsweise drei Typen Halteelemente **1**, **1.1** und **1.2** mit einer minimalen Gewichts-differenz von 15 g sowie drei unterschiedlich schwere Typen von hieran festlegbaren Zusatzwuchtelementen zu je 1,25 g, 2,5 g und 3,75 g für die sechs unterschiedlichen, am Umfang entlang gleich verteilten Verbindungsstellen vorgesehen sein. Wie die nachstehenden Tabellen 3a bis 3d hierbei verdeutlichen, kann bereits hiermit trotz der geringen Anzahl an vorgegebenen Wuchtpositionen eine feine Abstufung in Schritten zu je 1,25 g erreicht werden:

	0g	1,25g	2,5g	3,75g	5g	6,25g	7,5g	8,75g	10g
0°	0	1,25g	2,5g	3,75g	3,75g	3,75g	3,75g	15g	15g
					+1,25g	+2,5g	+3,75g		
180°	0	0	0	0	0	0	0	3,75g	2,5g
								+2,5g	+2,5g

(Tabelle 3a)

	11,25g	12,5g	13,75g	15g	16,25g	17,5g	18,75g	20g
0°	15g	15g	15g	15g	15g	15g	15g	15g
					+1,25g	+2,5g	+3,75g	+3,75g
								+1,25g

180°	3,75g	2,5g	1,25g	0	0	0	0	0
------	-------	------	-------	---	---	---	---	---

(Tabelle 3b)

	21,25g	22,5g	23,75g	25g	26,25g	27,5g	28,75g	30g
0°	15g	15g	30g	30g	30g	30g	30g	30g
	+3,75g	+3,75g						
	+2,5g	+3,75g						

180°	0	0	3,75g	2,5g	3,75g	2,5g	1,25g	0
			+2,5g	+2,5g				

(Tabelle 3c)

	31,25g	32,5g	33,75g	35g	36,25g	37,5g
0°	30g	30g	30g	30g	30g	30g
	+1,25g	+2,5g	+3,75g	+3,75g	+3,75g	+3,75g
				+1,25g	+2,5g	+3,75g

180°	0	0	0	0	0	0
------	---	---	---	---	---	---

(Tabelle 3d)

[0078] Werden 12 Wuchtpositionen vorgesehen, reichen unter Nutzung des erfindungsgemäßen Ansatzes z.B. bereits drei unterschiedlich schwere Typen von Halteelementen **1**, **1.1** und **1.2** mit einem Netto-Mehrgewicht zu je 12,5 g sowie ein Typ von Zusatzwuchtelement **4** zu 2,5 g aus, um eine akzeptable Wuchtgüte zu erreichen:

	0g	2,5g	5g	7,5g	10g	12,5g	15g
0°	0	2,5g	2,5g	12,5g	12,5g	12,5g	12,5g
			+2,5g				+2,5g
180°	0	0	0	2,5g	2,5g	0	0
				+2,5g			

(Tabelle 4a)

	17,5g	20g	22,5g	25g	27,5g	30g
0°	12,5g	25g	25g	25g	25g	25g
	+2,5g				+2,5g	+2,5g
	+2,5g					+2,5g
180°	0	2,5g	2,5g	0	0	0
		+2,5g				

(Tabelle 4b)

[0079] In der Schnittdarstellung der **Fig. 11** ist in vergrößertem Maßstab der als Verdrehsicherung fungierende Steg **11** mit zwei benachbarten Bolzenköpfen **20a** und **20b** dargestellt. Hierin sind auch nochmals die Einkerbungen **100** und **101** auf den voneinander abgewandten Seitenflächen **110a** und **110b** am Fuße des Steges **11** ersichtlich.

[0080] Mit den **Fig. 12A bis Fig. 12D** ist in unterschiedlichen Ansichten eine weitere Ausführungsvariante einer Halteplatte **1a** für eine Befestigungsbaugruppe **Ba** mit lediglich genau einem Paar von Gewindebolzen **2a** und **2b** veranschaulicht. In dieser Variante definiert eine vergleichsweise kurze Halteplatte **1a** lediglich zwei Bolzenöffnungen **14a** und **14b**, die durch einen einzelnen keilförmigen und radial verlaufenden Steg **11** voneinander getrennt sind. Am Fuß dieses Steges **11** sind beiderseits die Einkerbungen **100** und **101** vorgesehen. Im Übrigen bildet der Steg **11** auch hier eine Verdrehsicherung für die beiden in die Bolzenöffnungen **14a** und **14b** eingesteckten Gewindebolzen **2a** und **2b**.

[0081] Zwei Befestigungsbaugruppen **Ba** der **Fig. 12A bis Fig. 12D** können gegebenenfalls alternativ zu einer Befestigungsbaugruppe **B** für vier Gewindebolzen **2a bis 2d** entsprechend den zuvor erläuterten Ausführungsvarianten eingesetzt werden. Auch bei Verwendung von Befestigungsbaugruppen **Ba** mit lediglich zwei Bolzenöffnungen **14a, 14b** können für das Auswuchten unterschiedlich schwere Befestigungsgruppen **Ba** über unterschiedlich schwere Halteplatten und/oder über zusätzliche Wuchtelemente vorgesehen sein. Etwaige zusätzliche Wuchtelemente werden hierbei beispielsweise unter oder an einen Bolzenkopf eines Gewindebolzens **2a, 2b** montiert.

[0082] Bei allen dargestellten erfindungsgemäßen Ausführungsvarianten werden fest montierte Halteelemente in Form der Halteplatten **1, 1.1, 1.2, 1a** und damit jeweils eine Wuchtlösung ohne zusätzliche Halterungen, z.B. in Form von Schrauben oder Klemmen, vorgesehen, womit Wuchtgewichte an einer Welle einer Gasturbine befestigt werden können.

[0083] Im Übrigen ist es im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung natürlich nicht zwingend, eine erfindungsgemäß ausgestaltete Befestigungsbaugruppe **B** oder **Ba** für eine Turbinenwelle einzusetzen. Abweichend von der dargestellten Ausführung kann in einer Ausführungsvariante zum Beispiel selbstverständlich vorgesehen sein, eine erfindungsgemäß ausgestaltete Baugruppe an der Verdichterwelle **W** einzusetzen.

Bezugszeichenliste

1, 1.1, 1.2, 1a	Halteplatte (Halteelement)
10, 10.1, 10.2	Basis
100, 101	Einkerbung
102	Fortsatz
11	Steg (Verdrehsicherung)
110a, 110b	Seitenfläche
12	Steg (Verdrehsicherung)
120c, 120d	Seitenfläche
13	Befestigungsöffnung
14a, 14b	Bolzenöffnung
15a, 15b	Bolzenöffnung
20a, 20b, 20c, 20d	Bolzenkopf
21	Mutter
22	Kratzschutzplatte
2a, 2b, 2c, 2d	Gewindebolzen (Verbindungselement)
3	Befestigungsbolzen (Befestigungselement)
30	Kopf
31	Mutter
4	(Zusatz-)Wuchtelement
40	Basis
41	Hülsenabschnitt
b, b1	Breite
B, Ba	Befestigungsbaugruppe
F_T	Wuchtebene
L, L2	Laufschaufel
M	Triebwerksachse
R, R2	Radscheibe
RF	Flansch
R_T	Wuchtebene
S	Abdeckscheibe
SF	Flansch

U1, U2
T
V1, V2
W

Stelle mit Unwucht
Vorrichtungsbau teil / Dummy
Verbindungsbereich
Verdichterwelle (Wellenteil)

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 091089 B1 [0002]
- US 5052891 A [0002]
- US 2013/0011253 A1 [0002, 0003]
- EP 1380722 B1 [0005, 0005]

Patentansprüche

1. Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier rotierender Bauteile in einer Gasturbine, wobei die Baugruppe (B, Ba) wenigstens das Folgende aufweist:
 - ein Halteelement (**1, 1.1, 1.2, 1a**) für mindestens zwei Verbindungselemente (**2a–2d**), die zur drehfesten Verbindung der mindestens zwei Bauteile (R, S, W) aneinander vorgesehen sind, wobei das Halteelement (**1, 1.1, 1.2, 1a**)
 - für jedes der Verbindungselemente (**2a–2d**) eine Öffnung (**14a, 14b, 15a, 15b**) aufweist, in die ein Abschnitt eines Verbindungselements (**2a–2d**) hindurch gesteckt werden kann, und
 - zwischen zwei Öffnungen (**14a, 14b; 15a, 15b**) einen Abschnitt (**11; 12**) ausbildet, der bei in die Öffnungen (**14a, 14b; 15a, 15b**) eingesteckten Verbindungselementen (**2a–2d**) diese gegen ein Verdrehen in der Öffnung (**14a, 14b; 15a, 15b**) sichert, und
 - mindestens ein Befestigungselement (**3**), das dazu eingerichtet und vorgesehen ist, das Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) an einem der Bauteile (R, S) zu halten und/oder das Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) und mindestens zwei Bauteile (R, S) der Baugruppe (B, Ba) zu verbinden, bevor die mindestens zwei rotierenden Bauteile (R, S, W) über die Verbindungselemente (**2a–2d**) drehfest miteinander verbunden werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Befestigungselement (**3**) zusätzlich dazu eingerichtet und vorgesehen ist, mindestens ein Wuchtelement (**4**) an dem Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) festzulegen, um eine Unwucht der rotierenden Bauteile (R, S, W) im Bereich ihrer Verbindung ausgleichen zu können.
2. Baugruppe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Befestigungselement (**3**) als separates Bauteil ausgebildet ist, das durch eine Befestigungsöffnung (**13**) des Halteelements (**1, 1.1, 1.2**) greift.
3. Baugruppe nach 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein an dem Befestigungselement (**3**) festgelegtes Wuchtelement (**4**) über das Befestigungselement (**3**) formschlüssig an dem Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) fixiert ist.
4. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der von dem Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) ausgebildete Abschnitt zur Sicherung der Verbindungselemente (**2a–2d**) gegen ein Verdrehen stegartig ausgebildet ist.
5. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der von dem Halteelement (**1, 1.1, 1.2**) ausgebildete Abschnitt zur Sicherung der Verbindungselemente (**2a–2d**) gegen ein Verdrehen keilförmig ausgebildet ist.
6. Baugruppe für die drehfeste Verbindung mindestens zweier Bauteile in einer Gasturbine, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Baugruppe (B, Ba) wenigstens ein Halteelement (**1, 1.1, 1.2, 1a**) für mindestens zwei Verbindungselemente (**2a–2d**) aufweist, die zur drehfesten Verbindung der beiden Bauteile (R, S, W) aneinander vorgesehen sind, wobei das Halteelement (**1, 1.1, 1.2, 1a**)
 - für jedes der Verbindungselemente (**2a–2d**) an einer Basis (**10, 10.1, 10.2**) des Halteelements (**1, 1.1, 1.2, 1a**) eine Öffnung (**14a, 14b, 15a, 15b**) aufweist, in die ein Abschnitt eines Verbindungselements (**2a–2d**) hindurch gesteckt werden kann, und
 - zwischen zwei Öffnungen (**14a, 14b; 15a, 15b**) einen stegartigen Abschnitt (**11; 12**) ausbildet, der bei in die Öffnungen (**14a, 14b; 15a, 15b**) eingesteckten Verbindungselementen (**2a–2d**) diese gegen ein Verdrehen in der Öffnung (**14a, 14b; 15a, 15b**) sichert, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Fuß des stegartigen Abschnitts (**11; 12**) an der Basis (**10, 10.1, 10.2**) des Halteelements (**1, 1.1, 1.2, 1a**) eine längserstreckte Einkerbung (**100, 101**) vorgesehen ist.
7. Anordnung, mit mindestens zwei Gasturbinenbauteilen, die mittels mindestens einer Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 6 drehfest miteinander verbunden sind.
8. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei drehfest miteinander verbundenen Gasturbinenbauteile (R, S, W) im Betrieb der Gasturbine um eine Rotationsachse rotieren und wenigstens zwei Baugruppen (B, Ba) entlang einer Kreislinie um die Rotationsachse zueinander beabstandet angeordnet sind, um die wenigstens zwei Gasturbinenbauteile (R, S, W) drehfest miteinander zu verbinden.
9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass weniger als zwölf, insbesondere weniger als neun Verbindungsstellen vorgesehen sind, an denen die wenigstens zwei Gasturbinenbauteile (R, S, W) jeweils mittels einer Baugruppe (B, Ba) miteinander verbunden sind.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei drehfest miteinander verbundenen Gasturbinenbauteile (R, S, W) im Betrieb der Gasturbine um eine Rotationsachse rotieren und die mindestens zwei Gasturbinenbauteile (R, S, W) mittels wenigstens zweier Baugruppen (B, Ba) drehfest miteinander verbunden sind, bei denen die Halteelemente (1, 1.1, 1.2) unterschiedlich schwer sind.

11. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens zwei Baugruppen (B, Ba) mit unterschiedlich schweren Halteelementen (1, 1.1, 1.2) entlang einer Kreislinie um eine Rotationsachse der Gasturbinenbauteile zueinander beabstandet angeordnet sind.

12. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die unterschiedlich schweren Halteelementen (1, 1.1, 1.2) eine identische Länge aufweisen, das schwerere der mindestens zwei Halteelemente (1, 1.1, 1.2) aber in mindestens einem Abschnitt (102) eine größere Dicke und/oder Breite (b1) aufweist.

13. Verfahren zum Auswuchten einer Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen mindestens zweier unterschiedlich schwerer erster und zweiter Halteelemente (1, 1.1, 1.2) mit je mindestens einem Befestigungselement (3),
- Bereitstellen mindestens eines Wuchtelements (4), das über ein Befestigungselement (3) an einem ersten oder zweiten Halteelement (1, 1.1, 1.2) festlegbar ist,
- Verbinden mittels mehrerer Verbindungselemente (2a–2d), die Öffnungen (14a, 14b, 15a, 15b) an identisch ausgebildeten und gleich schweren ersten Halteelementen (1) durchgreifen,
 - (a) mindestens zweier im Betrieb der Gasturbine rotierender Gasturbinenbauteile (R, S, W) oder
 - (b) eines der im Betrieb der Gasturbine rotierenden Gasturbinenbauteile (R, S) mit einem Vorrichtungsteil (T) einer Auswuchtvorrichtung, das das mindestens eine andere im Betrieb der Gasturbine rotierende Gasturbinenbauteil (W) simuliert,
- Messung einer Unwucht im Bereich der Verbindung der mindestens zwei Gasturbinenbauteile (R, S, W) oder der Verbindung zwischen Gasturbinenbauteil (R, S) und Vorrichtungsteil (T), und,
- im Fall einer gemessenen Unwucht, Austausch wenigstens eines der ersten Halteelemente (1) durch ein zweites Halteelement (1.1, 1.2) mit anderem Gewicht und/oder Anbringung mindestens eines Wuchtelements (4) an einem der Halteelemente (1, 1.1, 1.2), um die Unwucht auszugleichen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens drei unterschiedlich schwere erste, zweite und dritte Halteelemente (1, 1.1, 1.2) mit je mindestens einem Befestigungselement (3) bereitgestellt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Gewichtsdivergenz zwischen den Gewichten eines zweiten und ersten Halteelements (1, 1.1) einer Gewichtsdivergenz zwischen den Gewichten eines dritten und zweiten Halteelements (1.1, 1.2) entspricht.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Satz von mindestens zwei unterschiedlich schweren und hinsichtlich ihrer Gewichte zueinander abgestuften Typen an Wuchtelementen (4) bereitgestellt wird, die über ein Befestigungselement (3) an den Halteelementen (1, 1.1, 1.2) festlegbar sind, um eine Unwucht auszugleichen.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine minimale Differenz zweier Gewichte unterschiedlich schwerer Halteelemente (1, 1.1, 1.2) nicht größer ist als das Doppelte des maximalen Gewichts, das über mindestens ein Wuchtelement (4) an einem Halteelement (1, 1.1, 1.2) anbringbar ist, addiert mit der kleinsten Abstufung im Gewicht zweier unterschiedlich schwerer Typen von Wuchtelementen (4).

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Gewichtsdivergenz, die durch ein an einem Halteelement (1, 1.1, 1.2) festlegbares Wuchtelement (4) oder mehrere an dem Halteelement (1, 1.1, 1.2) festlegbare Wuchtelemente (4) bereitgestellt werden kann, genau oder maximal der Hälfte der minimalen Gewichtsdivergenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen (1, 1.1, 1.2) entspricht.

19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Satz von Wuchtelementen (4) mit mindestens drei unterschiedlichen Gewichtsstufen bereitgestellt wird, bei dem eine Gewichtsdivergenz zwischen zwei Wuchtelementen (4) unmittelbar aufeinander folgender Gewichtsstufen identisch ist und maximal einem Zehntel einer minimalen Gewichtsdivergenz zwischen zwei unterschiedlich schweren Halteelementen (1, 1.1, 1.2) entspricht.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung einer Unwucht im Bereich der Verbindung der mindestens zwei Gasturbinenbauteile (R, S, W) oder der Verbindung zwischen Gasturbinenbauteil (R, S) und Vorrichtungsbau teil (T) mittels einer Auswuchtvorrichtung ausgeführt wird, die einem Nutzer Position, Anzahl und/oder Gewicht anzubringender Wuchtelemente (**4**) und/oder Position und Gewicht anzubringender Halteelemente (**1.1, 1.2**) anzeigt, um die gemessene Unwucht auszugleichen.

21. Gasturbinentriebwerk mit einer Baugruppe (B, Ba) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 und/oder einer Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 12.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

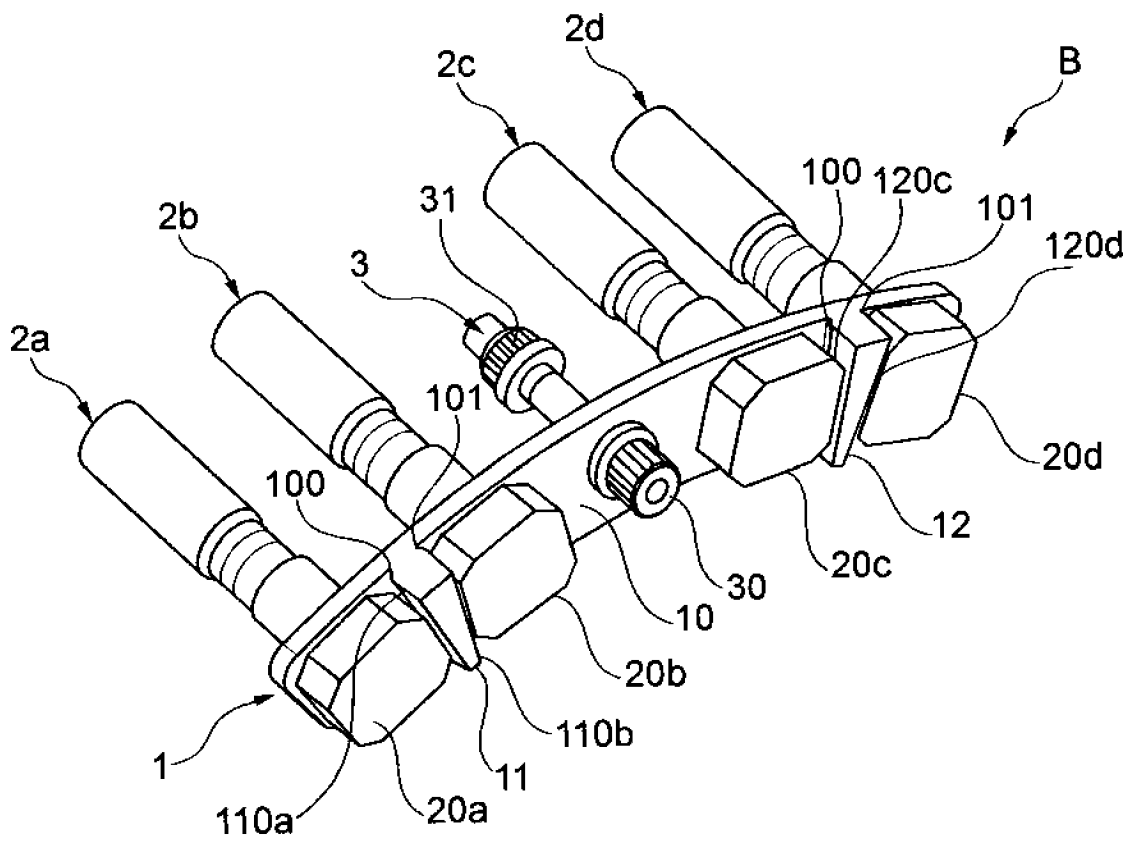


Fig. 1

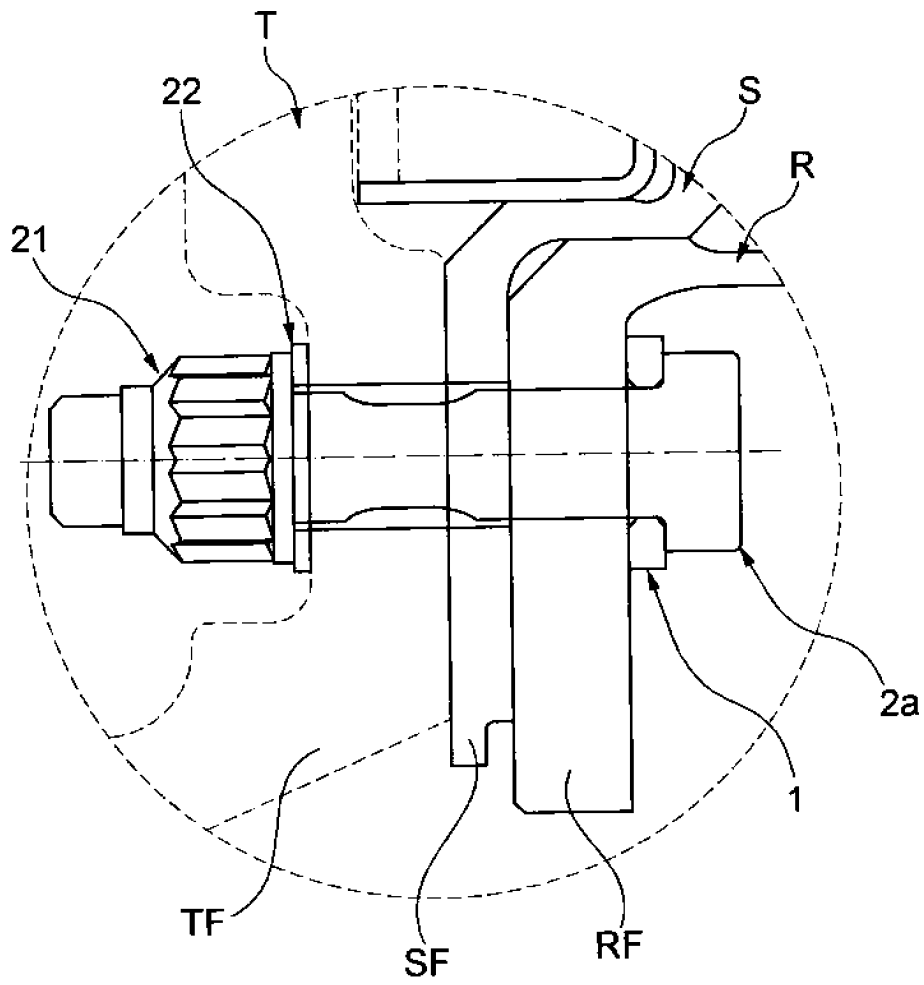
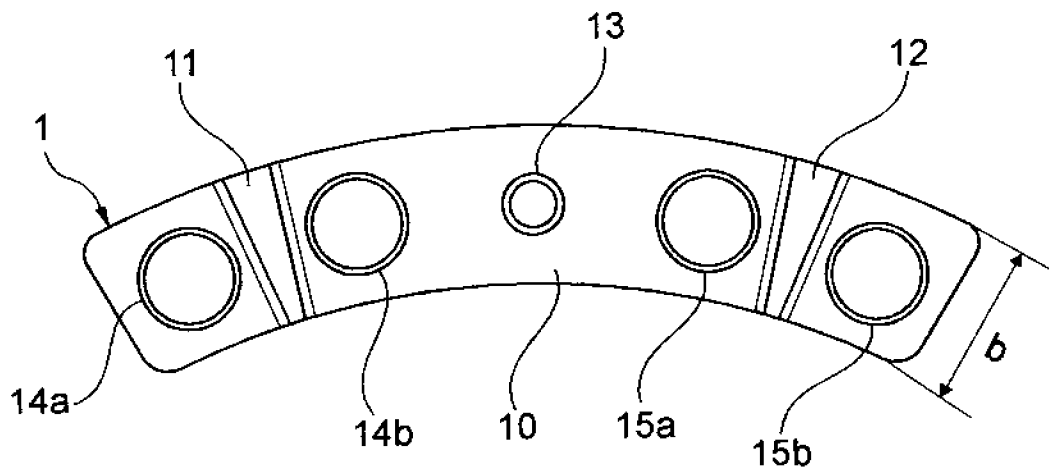
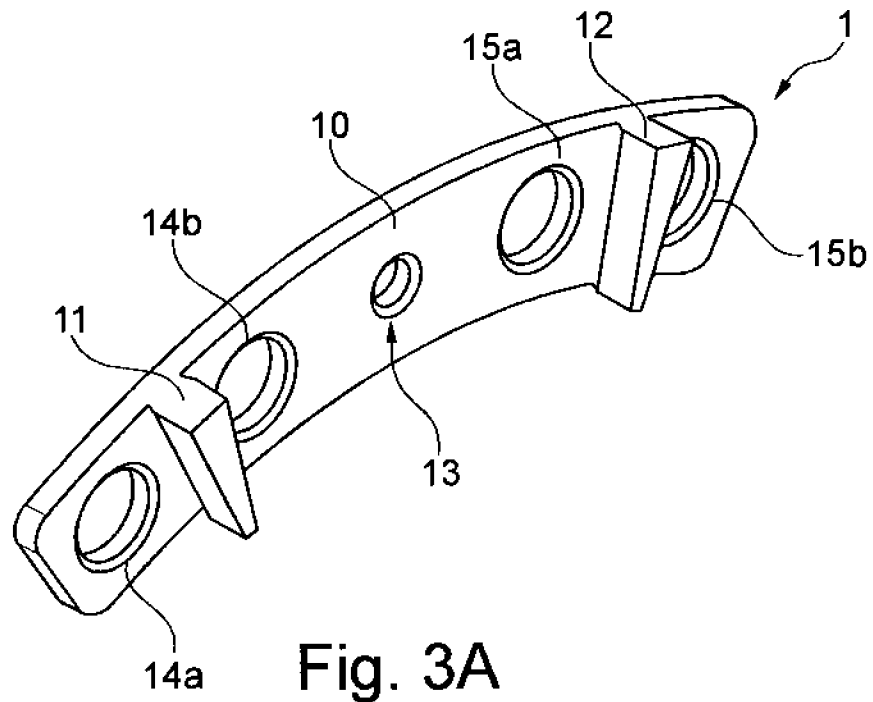


Fig. 2



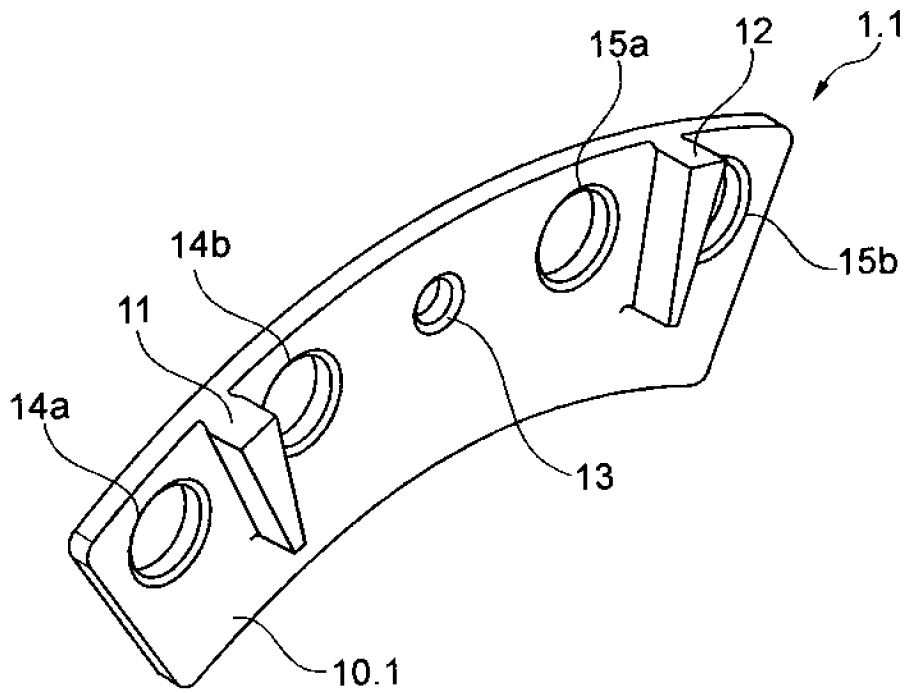


Fig. 4A

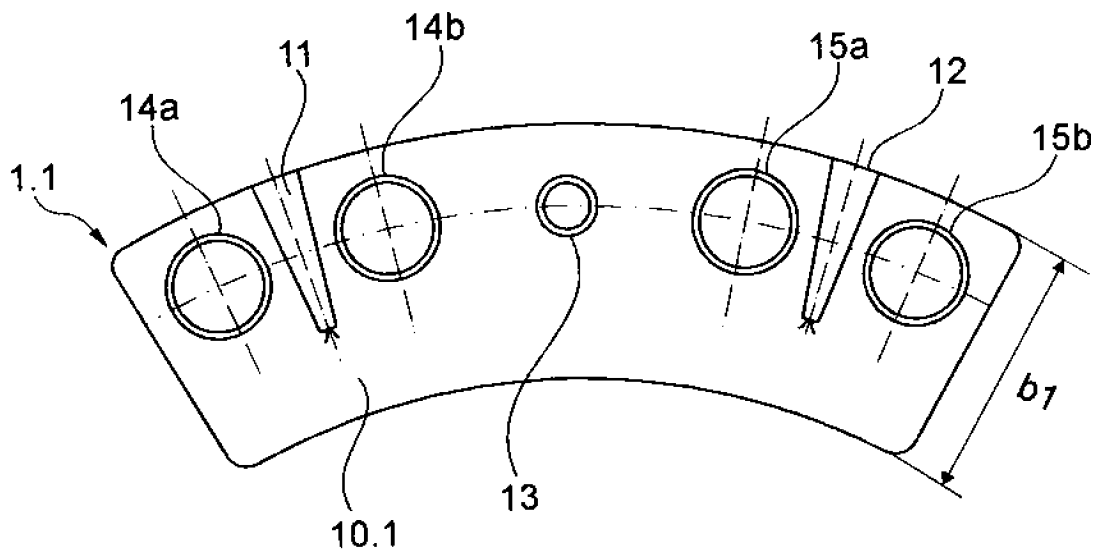


Fig. 4B

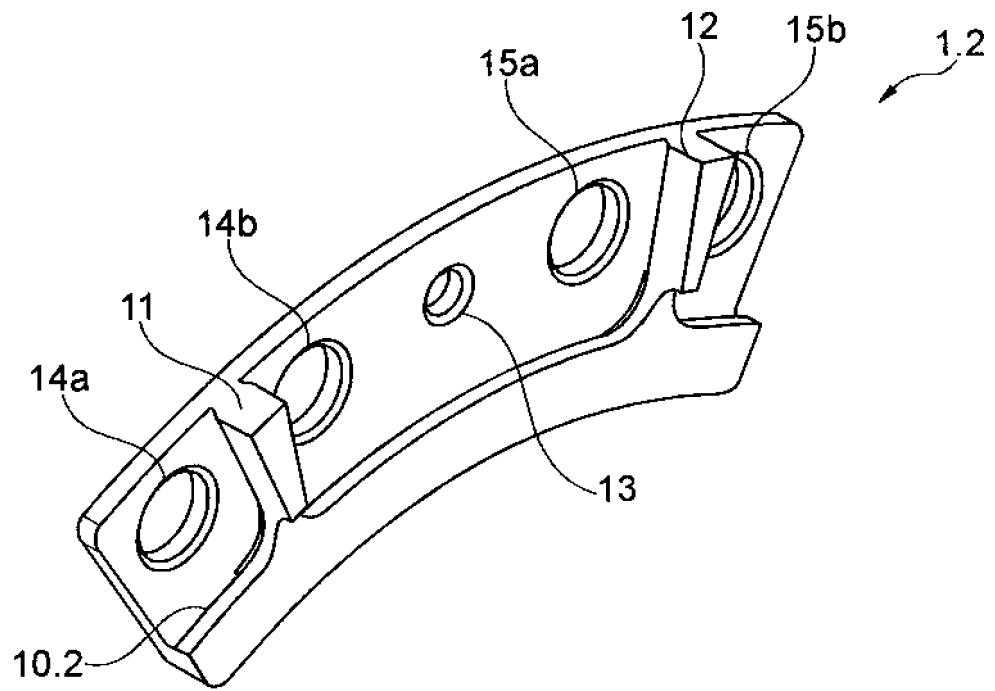


Fig. 5A

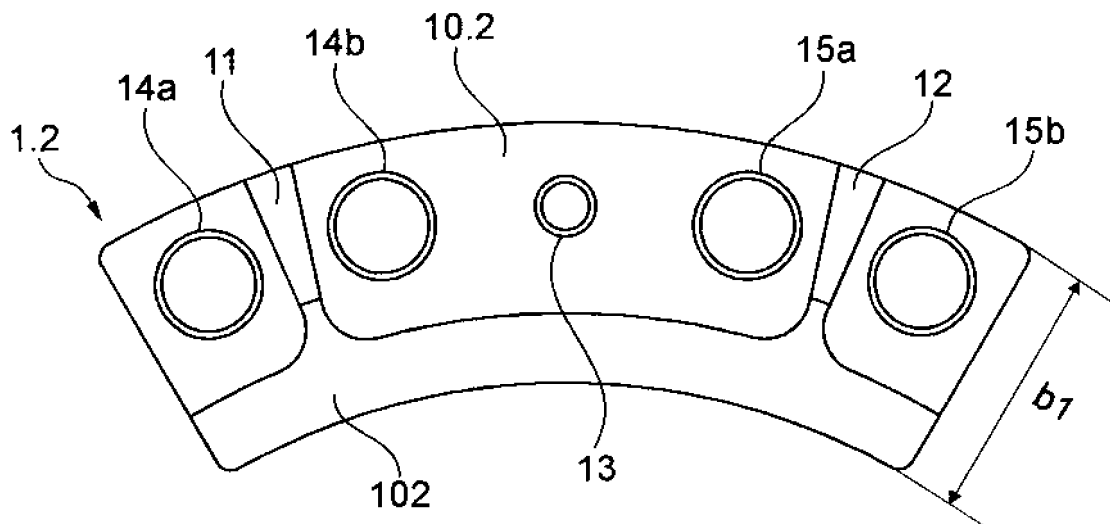


Fig. 5B

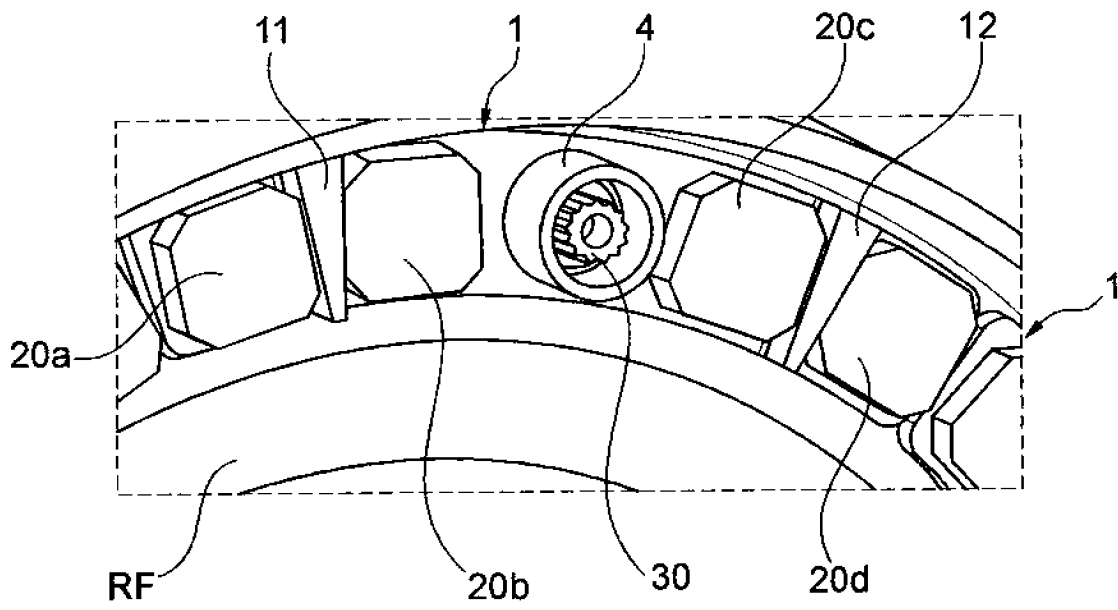


Fig. 6

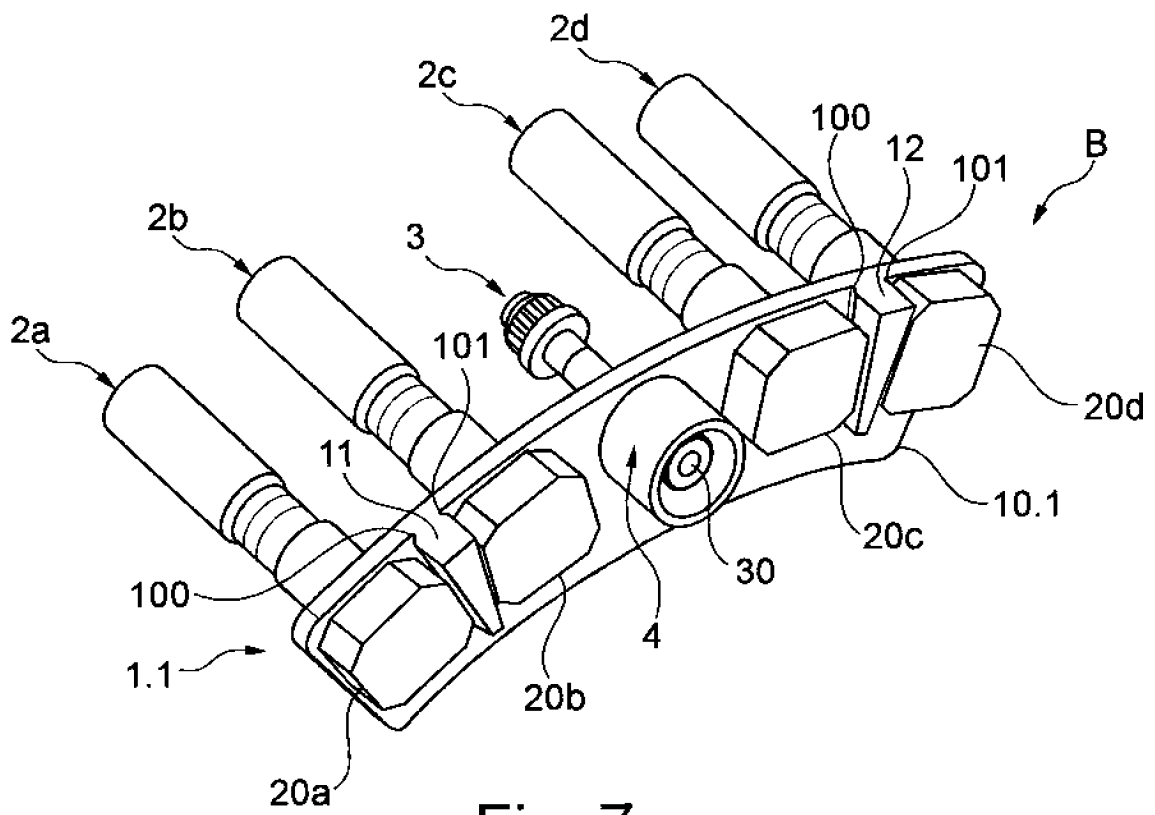


Fig. 7

FIG 8D
(AC-AC)

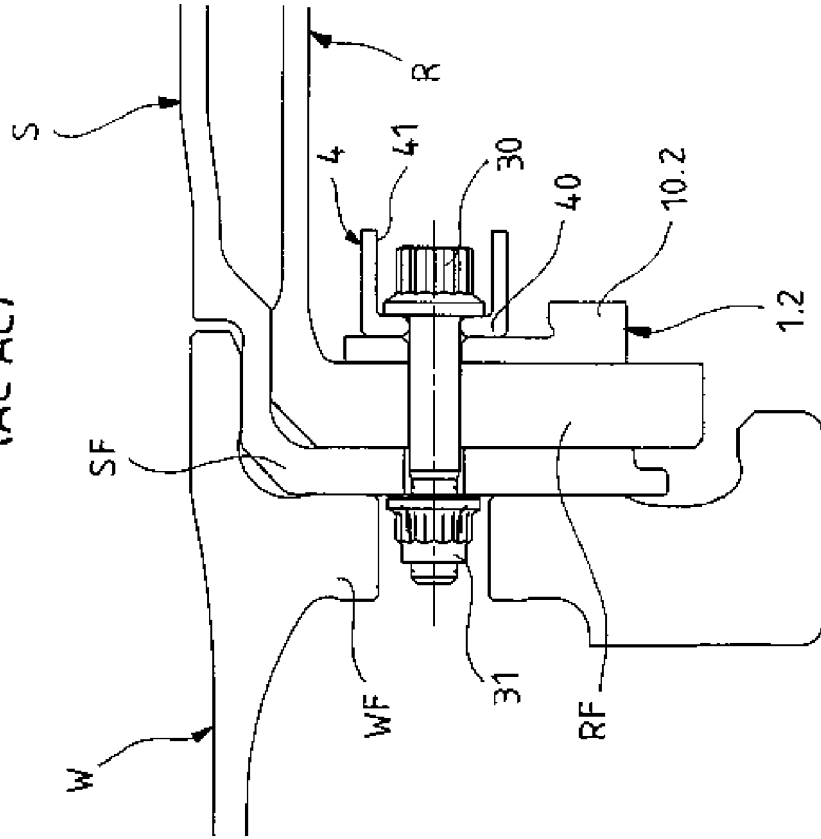
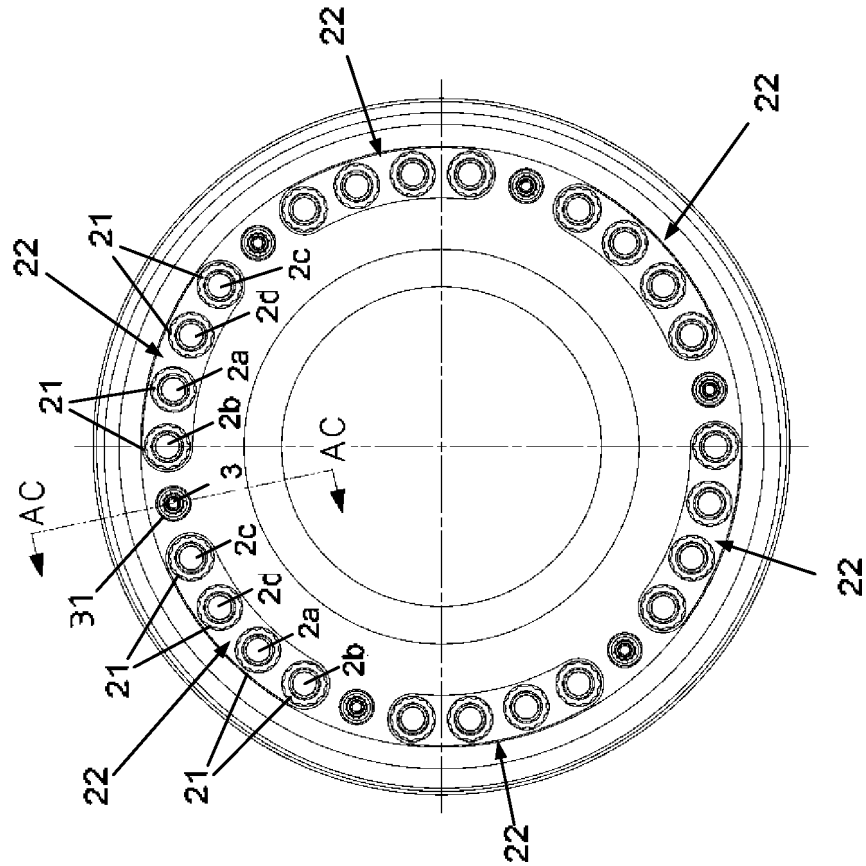


FIG 8C



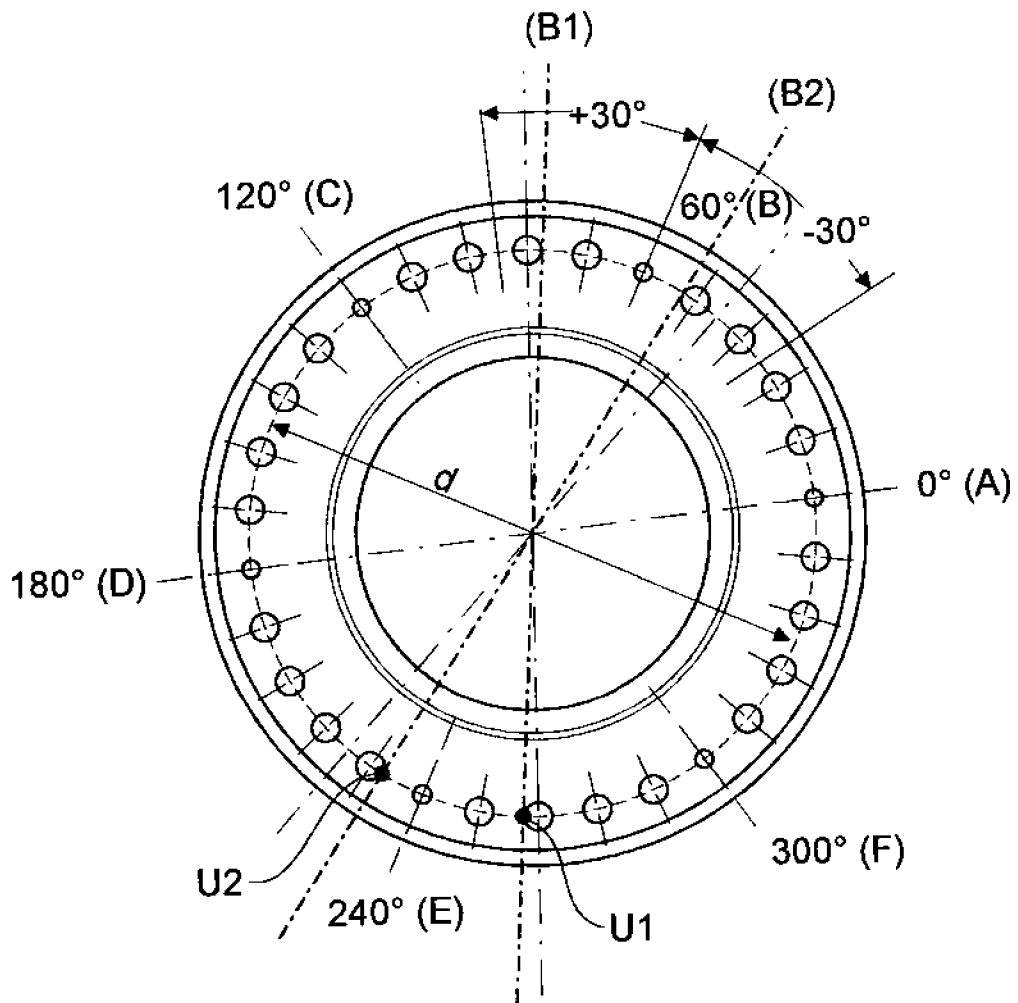


Fig. 9

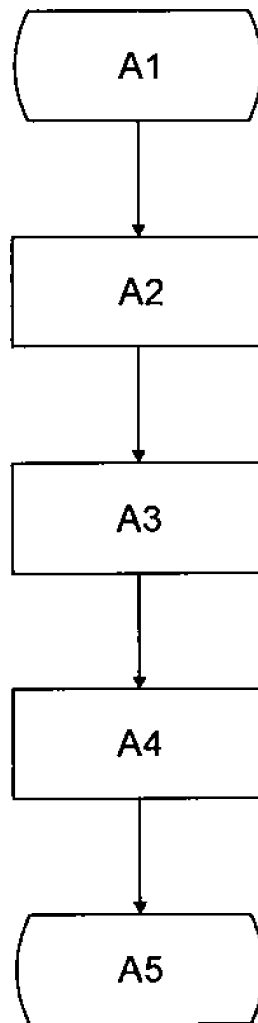


Fig. 10

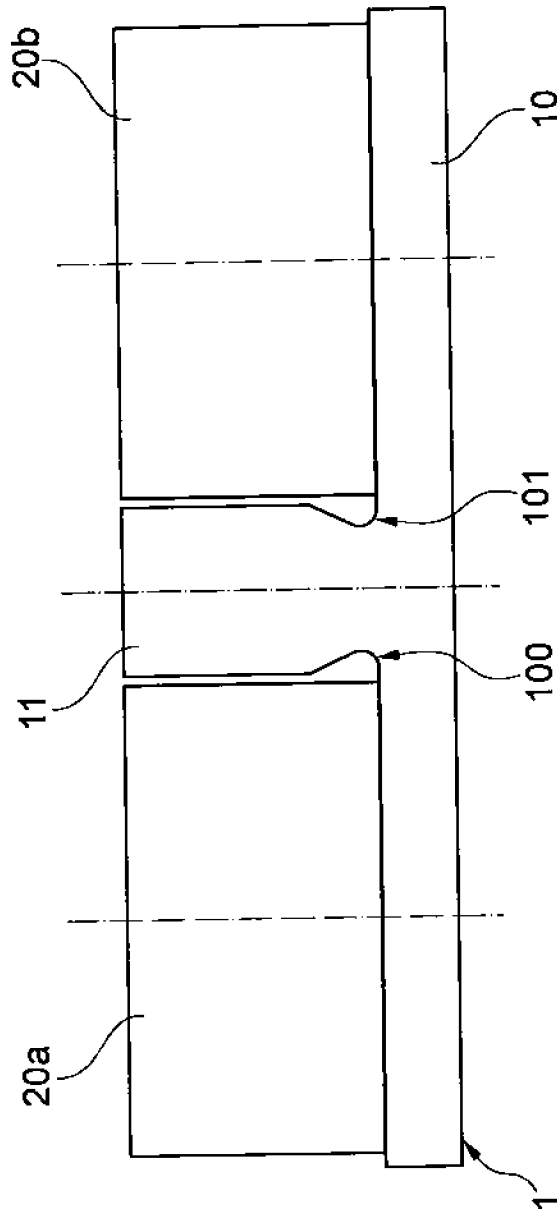


Fig. 11

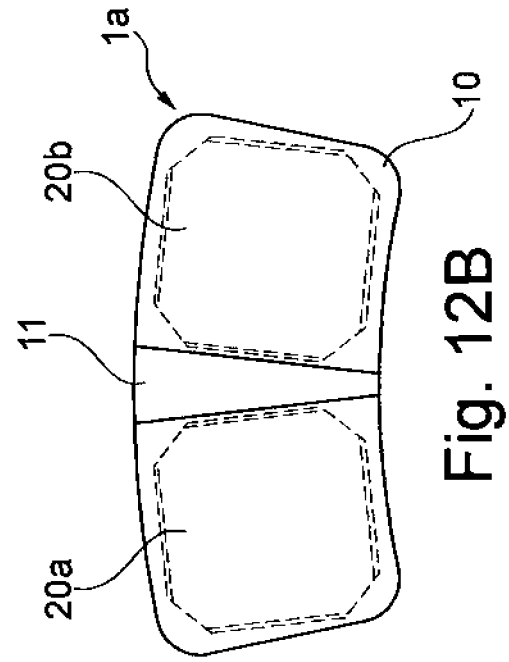


Fig. 12A

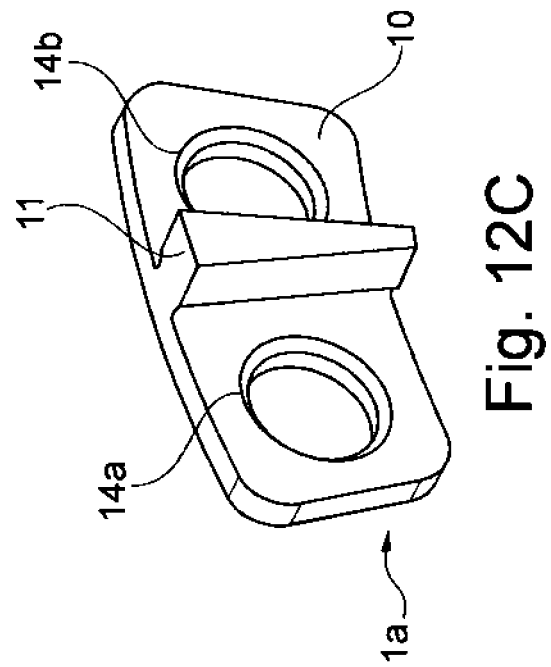


Fig. 12B

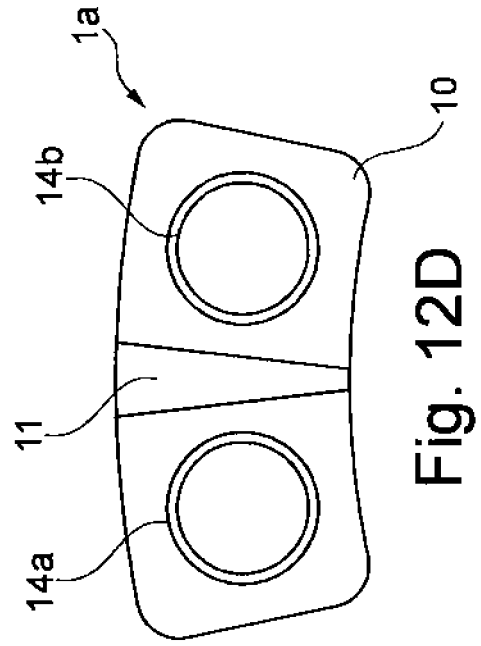


Fig. 12C

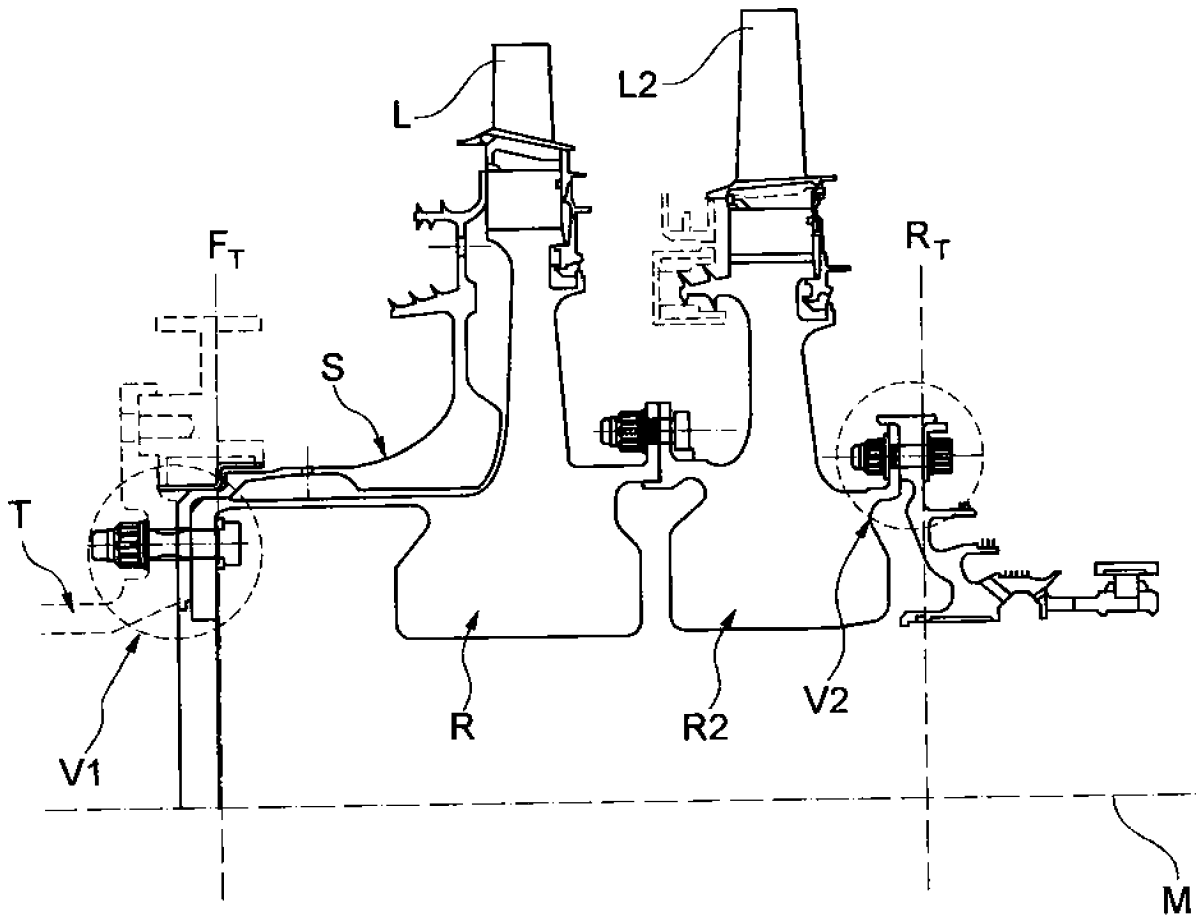


Fig. 13

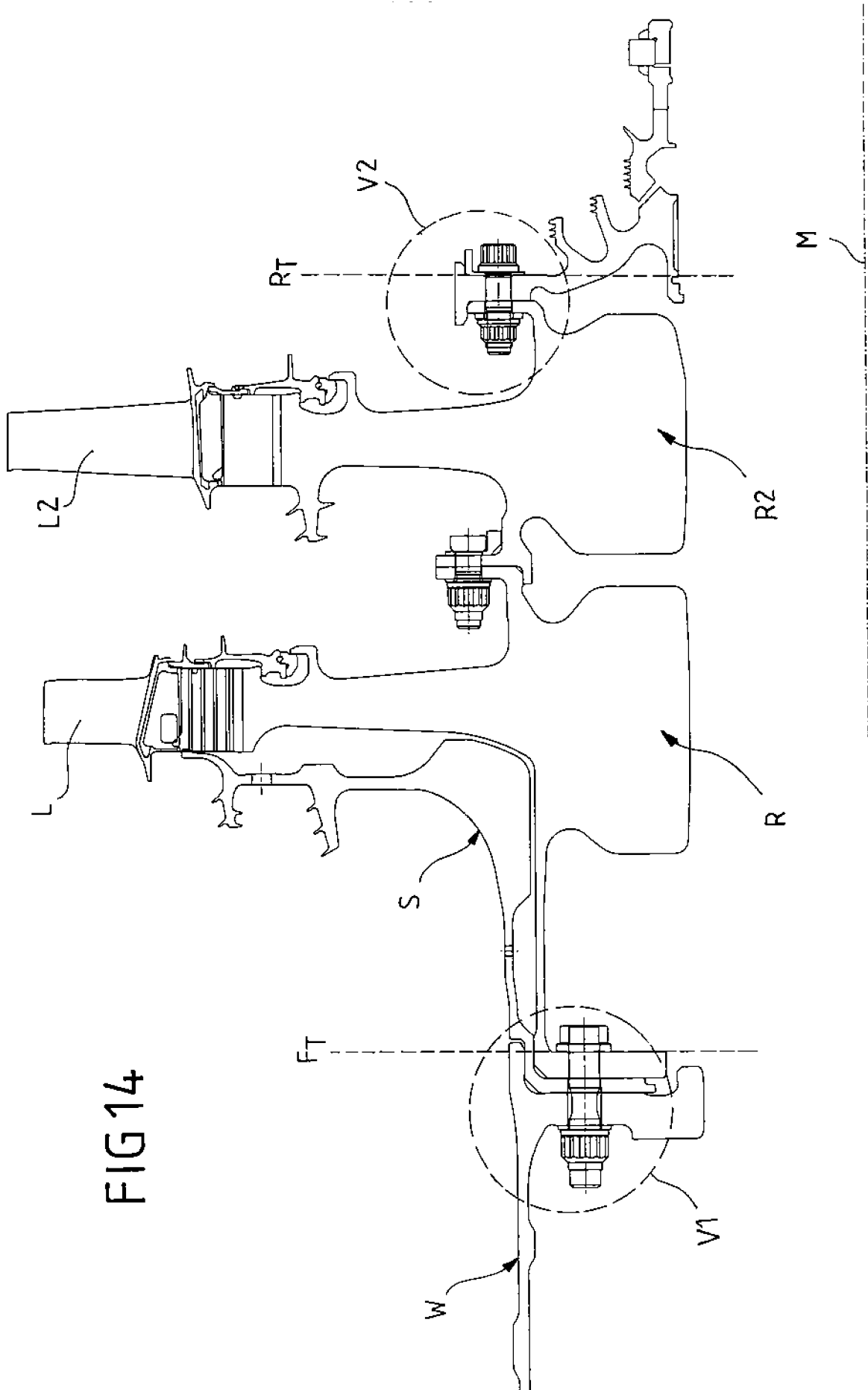


FIG 14