



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 21 642 T2** 2007.07.26

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 122 443 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 21 642.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 300 862.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **31.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.08.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.07.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.07.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04D 29/20** (2006.01)  
**F01D 5/02** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

<b>710656</b>	<b>09.11.2000</b>	<b>US</b>
<b>179212 P</b>	<b>31.01.2000</b>	<b>US</b>

(73) Patentinhaber:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IT**

(72) Erfinder:

**Lammas, Andrew John, Maineville, Ohio 45039, US; Dietz, Philip Wolfgang, Cincinnati, Ohio 45206, US**

(54) Bezeichnung: **Montage eines Rotors**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

Lauf des Triebwerks zu erreichen.

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ganz allgemein Gasturbinentriebwerke und insbesondere darin angeordnete Kompressoren.

**[0002]** Ein Turbofan-Gasturbinentriebwerk enthält strömungsmäßig in Reihe einen Bläser, einen mehrstufigen Axialkompressor, eine Brennkammer, eine Hochdruckturbine (HPT = High Pressure Turbine) und eine Niederdruckturbine (LPT = Low Pressure Turbine). In dem Kompressor wird Luft verdichtet, die mit Brennstoff gemischt und in der Brennkammer gezündet wird, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen, die durch die HPT und die LPT stromabwärts strömen, die aus den Verbrennungsgasen Energie extrahieren. Die HPT treibt den Kompressor über eine dazwischen angeordnete Rotorwelle an, und die LPT treibt über eine weitere dazwischen angeordnete Rotorwelle den Bläser an.

**[0003]** In einem mehrstufigen Axialkompressor werden viele Reihen oder Stufen von Kompressorrotorschaukeln verwendet, um den Druck der Luft zu steigern, während diese von Stufe zu Stufe stromabwärts durch den Kompressor strömt. Die Kompressorschaukelblätter sind an dem Umfang entsprechenden Rotorscheiben befestigt, die axial geeignet miteinander verbunden sind, um eine herkömmliche Rotoranordnung zu bilden, die an gegenüberliegenden Enden in geeigneter Lagerung montiert ist.

**[0004]** Eine typische Rotorscheibe weist in ihrem Umfang ausgebildete axiale Schwalbenschwanznuten auf, in denen axiale Schwalbenschwänze der entsprechenden Kompressorschaukeln gehalten werden. Alternativ kann der Umfang der Scheibe eine in Umfangsrichtung verlaufende Schwalbenschwanznut aufweisen, die dazu dient, zur Einführung in Umfangsrichtung eingerichtete Schwalbenschwänze von Schaukeln aufzunehmen. In beiden Fällen werden durch die Schaukeln während des Laufbetriebs erzeugte Zentrifugalkräfte über die Scheibe radial nach innen in einen dünneren Steg und wiederum in eine dickere Nabe übertragen, die eine beträchtliche Umfangs- bzw. Ringzugfestigkeit aufweist, um die Laufschaufellasten aufzunehmen.

**[0005]** Die Scheiben werden gesondert von den einzelnen Schaukeln hergestellt, wobei sämtliche genaue Herstellungstoleranzen aufweisen, um die Einheitlichkeit der Laufschaufeln und Scheiben um eine axiale Mittelachse um den Umfang herum zu maximieren. Da der Kompressorrotor mit hoher Rotationsgeschwindigkeit arbeitet, muss er mit einer minimalen radialen Exzentrizität bezüglich der Mittelachse und mit einer minimalen Massenunwucht um diese herum hergestellt sein. Auf diese Weise können eine minimale Unwucht und minimale daraus resultierende Schwingungen erhalten werden, um einen runden

**[0006]** Allerdings setzen mit Schaukeln bestückte Scheiben voraus, dass die tragenden Scheiben eine ausreichende Größe und eine entsprechende Masse aufweisen, um den Zentrifugalkräften und entsprechenden Spannungen zu widerstehen. Die Scheiben haben daher gewöhnlich vergrößerte Naben mit Bohrungen, die mit minimalem Durchmesser bemessen sind, wobei die Naben durch von dem Scheibenumfang ausgehende dünne Stege aufgehängt sind.

**[0007]** Die Konstruktion des Kompressorrotors kann verbessert werden, indem eine oder mehrere der mit Schaukeln bestückten Scheiben durch einheitliche oder einteilige Blisks ersetzt werden, bei denen die Schaukeln oder Schaukelblätter ohne Schwalbenschwänze mit dem Umfang der tragenden Scheibe einstückig ausgebildet sind. Die verbesserte mechanische Festigkeit der einteiligen Schaukelblätter und der tragenden Scheibe in der Blisk erlauben eine wesentliche Verringerung der Abmessungen der Scheibe und des damit verbundenen Gewichts. Die Gewichtsverringerung ist ein wesentliches Konstruktionsziel in der Herstellung leichtgewichtiger Turbofan-Triebwerke für den Antrieb von Flugzeugen während des Flugs.

**[0008]** Blisks werfen jedoch ein entsprechendes Problem im Zusammenhang mit ihrer Reparatur auf, die möglicherweise nach einem längeren Einsatz im Betrieb erforderlich wird. Eine Beschädigung von Kompressorschaukelblättern durch Fremdkörper verlangt abhängig von dem Grad der Beschädigung entweder eine Reparatur oder einen Austausch derselben. Im Falle der Ausgestaltung einer mit Schaukeln bestückten Scheibe lassen sich die einzelnen Schaukeln ohne weiteres von denen in den Scheiben ausgebildeten entsprechenden Schwalbenschwanznuten entfernen und an einem entfernten Ort reparieren oder einfach durch eine Ersatzlaufschaufel ersetzen.

**[0009]** Da Blisks einstückig mit der tragenden Scheibe ausgebildet sind, lassen sich die Schaukelblätter von der Blisk nicht voneinander unabhängig entfernen, was es deshalb erforderlich macht, dass die gesamte Blisk für deren Reparatur oder Austausch von dem Verdichter abgenommen werden muss. Die Entfernung einer Blisk erfordert die komplette Zerlegung des Kompressors, was bei einer Wartungsinstandsetzung sowohl zeitaufwendig als auch kostspielig ist.

**[0010]** Ein typischer Kompressorrotor für einen mehrstufigen Axialkompressor enthält mehrere Rotorkomponenten mit einer oder mehreren Rotorstufen, die an entsprechenden radialen Flanschen axial miteinander verbunden sind. Es gibt einige radiale Flansche zwischen den gegenüberliegenden Enden des gesamten Rotors, die entsprechende Lagersitze

aufweisen, die im Betrieb in Lagern getragen werden. Die mehreren Rotorkomponenten sind daher hinsichtlich einer Minimierung der Exzentrizität bezüglich der axialen Mittelachse des Triebwerks zusammenzubauen und als Einheit auszuwuchten, um Unwucht zu reduzieren.

**[0011]** Jeder radiale Flansch weist eine ebene ringförmige Stirnfläche auf, die mit mehreren in Umfangsrichtung beabstandeten axialen Löchern ausgebildet ist, durch die Befestigungsmittel in Form von Bolzenschrauben eingeführt sind und durch entsprechende Muttern gehalten werden, um die benachbarten Rotorkomponenten miteinander zu verbinden. Die gegenüberliegenden Enden jeder Rotorkomponente neigen dazu, hinsichtlich der Abmessungen Herstellungstoleranzen aufzuweisen, die gewöhnlich eine geringe relative Exzentrizität sowie eine Neigung oder eine mangelnde senkrechte Ausrichtung der Endebenen zur Folge haben. Wenn die Rotorkomponenten zusammengesetzt sind, summieren sich die Exzentrizität und die Neigung der einzelnen Komponenten gemeinsam auf. Dies erfordert eine geeignete Voruntersuchung der Komponenten und deren gezielte Indexierung oder Taktung, um die relative Exzentrizität an den tragenden Lagerebenen des Rotors zu minimieren.

**[0012]** Weiter wird der zusammengebaute Rotor anschließend einem Auswuchtverfahren unterworfen, um dessen unerwünschte Unwucht zu minimieren. Der in dieser Weise zusammengebaute und ausgewuchtete Rotor kann dann während der Montage des Kompressors und Triebwerks in sein entsprechendes Kompressorgehäuse eingebaut werden.

**[0013]** Zwar ist es möglich, eine einzelne Schaufel von einer mit Schaufeln bestückten Scheibe ohne eine komplette Zerlegung des Kompressorrotors zu entfernen, jedoch nicht im Fall eines Blinkschaufelblattes. Statt dessen ist das gesamte einteilige Laufrad zu entfernen und das Triebwerk sowie der Kompressor komplett zu zerlegen, und der Kompressorrotor erneut entsprechend zusammenzubauen und in dem oben beschriebenen aufwendigen Verfahren auszuwuchten.

**[0014]** Kleine einteilige Kompressorblisks mit einem Außendurchmesser von bis zu etwa 30 cm wurden im In und Ausland über viele Jahre hinweg kommerziell eingesetzt. Solche kleinen Blisks werden in verhältnismäßig kleinen Triebwerken verwendet. In einem Kompressorrotor können ein oder mehrere Blisks verwendet werden, die an den entgegengesetzten axialen Stirnseiten der Nabe gewöhnlich geschweißte Kupplungen aufweisen, die zu entsprechenden Kupplungen an benachbarten Rotorkomponenten passen. In einer Abwandlung können die Blisks einstückig damit ausgebildete ringförmige Befestigungsarme aufweisen, die mit entsprechenden radialen

Flanschen zum Anbringen an benachbarten Rotorkomponenten ausgebildet sind.

**[0015]** In jeder Ausführungsform bilden die Blisks eine integrale Komponente des gesamten Kompressorrotors und sind Teil seiner strukturellen Integrität und übertragen zwangsläufig Drehmomentbelastungen, die in Reihe zwischen benachbarten Rotorkomponenten auftreten. Der gesamte Rotor ermöglicht ferner einen ununterbrochenen Lastpfad zwischen den Befestigungslagern, um verschiedene Rotorlasten auf die Lager zu übertragen. Die Blisks lassen sich daher nicht ohne eine komplette Zerlegung des Kompressors entfernen.

**[0016]** Mit Blick auf die mit Blisks verbundene wesentliche Gewichtsverringerung gegenüber mit Schaufeln bestückten Scheiben werden gegenwärtig erheblich größere Blisks, beispielsweise bis etwa 90 cm, für beträchtlich größere Turbofan-Gasturbinentriebwerke in der Schubklasse von 70.000 Pfund und mehr entwickelt. Diese großen Blisks sind außerordentlich kostspielig. Die entsprechende komplette Zerlegung von Kompressor und Triebwerk, die für die Reparatur einer solchen großen Blick in einem großen Kompressor erforderlich ist, ist mit entsprechend hohen Wartungskosten verbunden.

**[0017]** US 5 473 883 offenbart einen Kompressorrotor entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0018]** Es besteht ein Bedarf nach einem verbesserten Kompressorrotor, der darin ein oder mehrere Blisks enthält, die sich in einer Wartungsüberholung ohne die Erfordernis einer vollständigen Zerlegung des Kompressorrotors reparieren lassen.

**[0019]** Dieses Ziel wird mit einem Kompressorrotor nach Anspruch 1 verwirklicht: mit mehreren koaxial aneinandergrenzenden Scheiben, wovon jede eine Reihe von Rotorlaufschaukeln enthält, die sich von ihr radial nach außen erstrecken; mit einer vorderen Welle, die an einer vorderen von den Scheiben befestigt ist und einen ringförmigen Sitz an ihrem vorderen Ende zur Befestigung in einem Lager aufweist, um den Rotor an seinem vorderen Ende zu unterstützen; und mit einer Blick (einem einteiligen Laufrad), die koaxial die vordere Welle axial zwischen dem Sitz und der vorderen Scheibe umgibt und dadurch gekennzeichnet ist, dass die Blik entferntbar huckepack mit der vorderen Welle fest verbunden ist.

**[0020]** Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zum Reparieren eines Rotors nach Anspruch 6.

**[0021]** Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung eine Einrichtung nach Anspruch 7.

**[0022]** Die Blik (das einteilige Laufrad) kann eine

die vordere Welle umgebende Nabe, einen sich in einem Teil aus der Nabe erstreckenden ringförmigen Tragarm und einen radial von dem Arm nach innen weisenden ringförmigen Falz enthalten, und die vordere Welle kann einen ringförmigen Vorsprung enthalten, der zu dem Falz komplementär ist, um die Blik auf der vorderen Welle coaxial auszurichten.

**[0023]** Der Rotor kann ferner Mittel zum festen Verbinden des Arms der Blik an der vorderen Welle aufweisen, um den Falz und den Vorsprung in Eingriff zu bringen.

**[0024]** Die vordere Welle kann konisch sein und kann im Durchmesser nach vorne von der vorderen Scheibe aus zu dem Lagersitz hin abnehmen; und der Arm der Blik kann konisch sein und im Durchmesser nach vorne von der Nabe aus zu dem Falz hin abnehmen.

**[0025]** Die Nabe der Blik kann eine Mittenbohrung aufweisen, deren Durchmesser größer ist als derjenige des Vorsprungs.

**[0026]** Das Verbindungsmittel kann aufweisen: mehrere auf der vorderen Welle vor dem Vorsprung ausgebildete, in Umfangsrichtung beabstandete Keilprofile; mehrere innerhalb des Arms der Blik vor dem Falz in Umfangsrichtung beabstandete ausgebildete Nuten, die dazu dienen, mit den Keilprofilen in Eingriff zu kommen; und eine Halteschraubenmutter, die mit der vorderen Welle vor den Keilprofilen in Anlage mit dem Arm des einteiligen Laufrads verschraubt ist, um den Falz axial gegen den Vorsprung zu halten.

**[0027]** Das Verbindungsmittel kann aufweisen: einen radialen Flansch an einem fernen Ende des Arms der Blik, das den Falz darin aufweist; mehrere in Umfangsrichtung beabstandete Löcher, die sich durch den Flansch und den Vorsprung erstrecken; und mehrere Befestigungsmittel, die sich durch entsprechende Löcher erstrecken, um den Flansch an dem Vorsprung festzuhalten.

**[0028]** Die Blik kann ferner eine von den Scheiben und der vorderen Welle unabhängige Unwuchtkorrektur aufweisen.

**[0029]** Der Rotor kann ferner aufweisen: eine Anzahl Flanschverbindungen, die die Scheiben in einer gesamten Anordnung von Rotorkomponenten mit der vorderen Welle axial verbinden, und die Rotorkomponenten sind zusammen gestapelt, um deren Exzentrizität gegenüber einer Mittelachse des Rotors auf ein Minimum zu reduzieren; und der Falz und der Vorsprung sind gegenüber der Mittelachse coaxial angeordnet, um die Exzentrizität der Blik von der Achse voneinander unabhängig zu minimieren.

**[0030]** Der oben beschriebene Rotor kann verwendet werden in Verbindung mit: einem Kompressor-Stator-Gehäuse, das die Scheiben und die Blik umgibt; und einem Bläser-Modul, das entferntbar mit dem Gehäuse verbunden ist, um einen Zugang zu der Blik für deren Entfernung von der vorderen Welle zu ermöglichen.

**[0031]** Das Bläser-Modul kann einen vorderen Rahmen enthalten, der das Lager trägt, und das Lager kann abnehmbar mit dem Bläser-Modul verbunden sein, um einen Zugang zu der Blik für deren Entfernung zu schaffen.

**[0032]** Gemäß der Erfindung weist das Verfahren zum Reparieren des Rotors nach Anspruch 5 die Schritte auf: Entfernen der Blik von der Welle ohne Zerlegung der Welle und der Scheiben; und Einbauen einer Ersatzblik auf der Welle.

**[0033]** Das Verfahren zum Reparieren des Rotors kann außerdem die Schritte aufweisen: Entfernen der Schraubenmutter von der Welle; Entfernen der Blik von der Welle; Einbauen einer Ersatzblik auf der Welle; und erneutes Anschrauben der Schraubenmutter an der Welle, um die Blik daran zu sichern.

**[0034]** Das Verfahren zum Reparieren des Rotors kann außerdem zusätzlich die Schritte aufweisen: Entfernen des Bläser-Moduls von dem Gehäuse; Entfernen der Blik von der Welle; Anbringen einer Ersatzscheibe an der Welle; und Wiederanbringen des Bläser-Moduls an dem Gehäuse.

**[0035]** Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung geschaffen, zu der gehören: ein Hochdruckkompressor mit einem Gehäuse und einem darin angeordneten Rotor; ein entferntbar mit dem Gehäuse verbundenes Bläser-Modul; und der Kompressorrotor mit mehreren coaxial aneinander grenzenden Scheiben, wovon jede eine Reihe von Rotorlaufschaukeln enthält, die sich von ihr radial nach außen erstrecken; mit einer vorderen Welle, die an einer vorderen von den Scheiben befestigt ist und einen ringförmigen Sitz an ihrem vorderen Ende aufweist, der in einem Lager angebracht ist, um den Rotor an seinem vorderen Ende zu unterstützen; und mit einer Blik, die coaxial die vordere Welle axial zwischen dem Sitz und der vorderen Scheibe umgibt und entferntbar huckepack auf der vorderen Welle fest verbunden ist.

**[0036]** Das Bläser-Modul kann einen vorderen Rahmen enthalten, der das Lager trägt, und das Lager kann abnehmbar mit dem Bläser-Modul verbunden sein, um einen Zugang zu der Blik für deren Entfernung zu schaffen.

**[0037]** Die Blik kann eine die vordere Welle umge-

bende Nabe, einen sich in einem Teil aus der Nabe nach vorne erstreckenden ringförmigen Tragarm und einen radial von dem Arm nach innen und nach hinten weisenden ringförmigen Falz enthalten, und die vordere Welle enthält einen ringförmigen Vorsprung, der zu dem Falz komplementär ist, um die Blisk auf der vorderen Welle coaxial auszurichten.

**[0038]** Die Vorrichtung kann ferner Mittel zum festen Verbinden des Arms der Blisk mit der vorderen Welle aufweisen, um den Falz und den Vorsprung in Eingriff zu bringen.

**[0039]** Die vordere Welle kann konisch sein und im Durchmesser nach vorne von der vorderen Scheibe aus zu dem Lagersitz hin abnehmen; und der Arm der Blisk ist konisch und nimmt im Durchmesser nach vorne von der Nabe aus zu dem Falz hin ab.

**[0040]** Das Verbindungsmittel kann aufweisen: mehrere auf der vorderen Welle vor dem Vorsprung ausgebildete, in Umfangsrichtung beabstandete Keilprofile; mehrere innerhalb des Arms der Blisk vor dem Falz in Umfangsrichtung beabstandet ausgebildete Nuten, die dazu dienen, mit den Keilprofilen in Eingriff zu kommen; und eine Halteschraubenmutter, die mit der vorderen Welle vor den Keilprofilen in Anlage mit dem Arm des einteiligen Laufrads verschraubt ist, um den Falz axial gegen den Vorsprung zu halten.

**[0041]** Somit enthält ein Kompressorrotor coaxial benachbarte Scheiben mit entsprechenden Reihen von Rotorlaufschaukeln. Eine vordere Welle ist an einer vorderen Scheibe befestigt und enthält einen ringförmigen Sitz zur Befestigung in einem Lager, um den Rotor an seinem vorderen Ende zu stützen. Eine Blisk umgibt axial zwischen dem Sitz und der vorderen Scheibe coaxial die Welle und ist entfernbare Huckepack auf der vorderen Welle fest verbunden. In einem Reparaturverfahren wird die Blisk von dem Kompressorrotor entfernt, ohne dass eine komplette Zerlegung des Kompressorrotors selbst erforderlich ist.

**[0042]** Die Erfindung wird nun anhand von Beispielen mit Bezug auf die Zeichnungen eingehender beschrieben:

**[0043]** [Fig. 1](#) zeigt in einer axial geschnittenen schematischen Ansicht ein exemplarisches Turbofan-Gasturbinentriebwerk zum Antrieb eines Flugzeugs während des Fluges.

**[0044]** [Fig. 2](#) zeigt in einer vergrößerten axialen Querschnittsansicht einen Abschnitt des Bläser-Moduls des in [Fig. 1](#) veranschaulichten Triebwerks, der axial stromaufwärts eines mehrstufigen Axialkompressors davon angeordnet ist.

**[0045]** [Fig. 3](#) zeigt in einer vergrößerten axialen Ansicht den vorderen Bereich des in [Fig. 1](#) veranschaulichten Hochdruckkompressors mit einem Rotor und einem damit verbundenen einteiligen Huckepacklaufrad, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

**[0046]** [Fig. 4](#) zeigt in einer vergrößerten axialen Querschnittsansicht einen Tragarm der in [Fig. 3](#) veranschaulichten Blisk, die mit der vorderen Welle des Kompressorrotors verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel.

**[0047]** [Fig. 5](#) zeigt eine radiale Querschnittsansicht, die längs der Schnittlinie 5-5 durch einen in [Fig. 4](#) veranschaulichten Abschnitt des Arms der Blisk und der Welle aufgenommen ist.

**[0048]** [Fig. 6](#) zeigt in einer auseinandergezogenen Ansicht den vorderen Abschnitt des Kompressorrotors, wie er in [Fig. 3](#) veranschaulicht ist, und ein Verfahren für dessen Reparatur in einem Flussdiagramm.

**[0049]** [Fig. 7](#) zeigt in einer axialen Querschnittsansicht den vorderen Abschnitt des in [Fig. 1](#) veranschaulichten Hochdruckkompressorrotors mit einer einteiligen Huckepackblisk gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

**[0050]** [Fig. 8](#) zeigt eine vergrößerte und auseinandergezogene axiale Querschnittsansicht durch den Arm der Blisk und durch die Rotorwelle, wie sie in [Fig. 7](#) veranschaulicht sind.

**[0051]** In [Fig. 1](#) ist ein exemplarisches Turbofan-Gasturbinentriebwerk **10** dargestellt, das an einem Flugzeugflügel befestigt ist, um während des Betriebs Antriebsschub zu erzeugen. Das Triebwerk ist achsensymmetrisch um eine longitudinale bzw. axiale Mittelachse **12** angeordnet und nimmt durch einen vorderen Einlass Luft **14** auf, die durch das Triebwerk verdichtet wird, um Antriebsschub zu erzeugen.

**[0052]** Das Triebwerk enthält an seiner Vorderseite ein Bläser-Modul **16**, auf das nacheinander ein mehrstufiger axialer Hochdruckkompressor (HPC = High Pressure Compressor) **18**, eine ringförmige Brennkammer **20**, eine Hochdruckturbine (HPT) **22** und eine Niederdruckturbine (LPT) **24** folgen. Während des Betriebes wird einen Teil der Bläserluft in dem HPC **18** verdichtet, mit Brennstoff gemischt und in der Brennkammer gezündet, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen, die wiederum stromabwärts durch die HPT und die LPT strömen, um die HPC bzw. den Bläser über entsprechende Rotorwellen anzutreiben.

**[0053]** Der HPC **18** enthält einen ringförmigen Kom-

pressorrotor **26**, der auf einer Anordnung von Rotor-komponenten basiert, die coaxial um die Mittelachse **12** angeordnet sind. Der Rotor **26** ist an gegenüberliegenden Enden in geeigneten Lagern **28** montiert, um im Betrieb zu rotieren. Das Bläser-Modul enthält eine Bläser- oder Rotorwelle **30**, die sich konzentrisch innerhalb des Kompressorrotors **26** erstreckt und an ihrem hinteren Ende mit der LPT **24** verbunden ist. Die Bläserwelle wird ebenfalls in längs ihrer Länge angeordneten entsprechenden Lagern **28** getragen, um im Betrieb unabhängig von dem Kompressorrotor zu rotieren.

**[0054]** Wie detaillierter in [Fig. 2](#) gezeigt, enthält das Bläser-Modul **16** einen Bläser **32** mit einer Reihe großer Bläterschaufeln, die sich ausgehend von einer tragenden Scheibe radial nach außen erstrecken, wobei die Scheibe wiederum mit dem vorderen Ende der Bläserwelle **30** verbunden ist. Ein Niederdruck- oder Aufladekompressor **34** enthält mehrere Stufen von mit der Bläterscheibe drehfest verbundenen Verdichterschaufelblättern.

**[0055]** Ein ringförmiger vorderer Rahmen **36** stützt die Anzahl von Komponenten des Bläser-Moduls in Form einer Teilanordnung, die für Wartungszwecke von dem übrigen Triebwerk abnehmbar ist. An dem Verbindungspunkt zwischen dem Auflade- und dem Hochdruckkompressor sind eine Reihe von verstellbaren Einlassleitschaufeln **38** angeordnet, um den Luftstrom in den Verdichter **18** hinein zu kanalisieren. Der vordere Rahmen trägt die Statorschaufeln des Aufladekompressors **34** und außerdem drei exemplarische Lager **28**, die die vorderen Enden des Bläsert und der Kompressorrotoren stützen.

**[0056]** Der vordere Bereich des HPC **18** ist detaillierter in [Fig. 3](#) veranschaulicht. Der Kompressor **18** enthält ein ringförmiges Statorgehäuse **40**, von dem ausgehend sich einige Reihen oder Stufen von Kompressorleitschaufeln **42** radial nach innen erstrecken, die je nach Wunsch verstellbar oder feststehend sein können. Der HPC-Rotor **26** enthält eine Anzahl coaxial benachbarter Rotorscheiben **44**, wovon jede eine Reihe von Kompressorrotorscheaufeln **46** enthält, die sich davon radial nach außen erstrecken. Dies wird gewöhnlich durch von einander unabhängig abnehmbare Schaufeln bewirkt, die entsprechende Schwalbenschwänze aufweisen, die in komplementären Schwalbenschwanznuten angebracht sind, die in dem Umfang der entsprechenden Scheiben ausgebildet sind.

**[0057]** In einer Abwandlung können die Schaufeln einstückig mit den entsprechenden Scheiben in einer einteiligen oder einstückigen Konstruktion ausgebildet sein, wie sie aus dem Stand der Technik als eine (nicht gezeigte) Blick bekannt ist. Wie schematisch in [Fig. 1](#) und detaillierter in [Fig. 3](#) gezeigt, wechseln sich die Leitschaufeln **42** und Laufschaufeln **46** des

Kompressors in der axial stromabwärts oder nach hinten verlaufenden Richtung ab und nehmen in ihrer Größe ab, um den Druck der Luft **14** zu steigern, während diese axial durch den Verdichter zu der Brennkammer strömt.

**[0058]** Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, enthält das gesamte Triebwerk viele Komponenten, die einen sorgfältigen Zusammenbau unter Einhaltung genauer Toleranzen verlangen. Die rotierenden Komponenten des Triebwerks werden an mehreren Lagern **28** befestigt, um mit hoher Geschwindigkeit und minimaler Unwucht drehend angetrieben zu werden. Der HPC **18** ist in der Mitte des Triebwerks angeordnet und auf diese Weise ohne ein ausreichendes Zerlegen des Triebwerks für eine Wartung nicht zugänglich.

**[0059]** Der Kompressorrotor **26** enthält eine Anzahl Flanschverbindungen **48**, die seine vielfältigen Scheiben in einer gesamten Anordnung von Rotor-komponenten axial verbinden. Dies ist detaillierter in [Fig. 3](#) veranschaulicht, in der die ersten beiden Rotorscheiben **44** in einem Ausführungsbeispiel miteinander einstückig als eine einteilige auf zwei Stufen basierende Tandemrotorkomponente ausgebildet veranschaulicht sind, die wiederum über eine Flanschverbindung **48** mit den stromabwärts gelegenen Rotorkomponenten verbunden ist. Jede Rotorkomponente kann je nach Wunsch eine einzelne Rotorscheibe oder mehrere miteinander in Tandemform verschweißte Rotorscheiben enthalten. Diese Rotorkomponenten sind durch die unterschiedlichen Flanschverbindungen **48** geeignet miteinander verbunden, um den gesamten Kompressorrotor zu vervollständigen.

**[0060]** Die Flanschverbindungen **48** sind von herkömmlicher Bauart und weisen gewöhnlich ein Paar ringförmige radiale Flansche auf, durch die hindurch mehrere in Umfangsrichtung beabstandete axiale Löchern ausgebildet sind, in denen Befestigungsbolzen angeordnet und durch Muttern gesichert sind, um eine nach Bedarf zusammenbaubare oder zerlegbare Verbindung zu schaffen.

**[0061]** Die zusammenpassenden Stirnflächen der in [Fig. 3](#) veranschaulichten einzelnen Flanschverbindungen **48** weisen beispielsweise aufgrund typischer Herstellungstoleranzen häufig Abmessungsschwankungen auf. Dementsprechend ist an den Stirnflächen gewöhnlich eine relative Exzentrizität zwischen gegenüberliegenden Enden der jeweiligen Rotorkomponenten vorhanden. Weiter können die entgegengesetzten Flansche jeder Rotorkomponente außerdem eine mangelnde senkrechte Ausrichtung oder eine Neigung aufweisen. Diese Exzentrizitäten und Neigungen jeder Rotorkomponente summieren sich bei Zusammenbau und Verschraubung der Komponenten.

**[0062]** Der Vorgang des Zusammenbaus des Kompressorrotors ist daher verhältnismäßig kompliziert und verlangt eine individuelle Untersuchung und Vermessung der Rotorkomponenten, um die relative Exzentrizität und Neigung zu bestimmen, und macht es erforderlich, die Komponenten anschließend gezielt zu indexieren oder die Drehwinkelpositionen aufeinander abzustimmen, um die relative Exzentrizität des zusammengebauten Rotors an seinen Lagerebenen zu minimieren. Auf diese Weise lässt sich die strukturelle Unwucht des zusammengebauten Rotors auf ein Minimum reduzieren, um Schwingungen während des Betriebs zu minimieren.

**[0063]** Der zusammengebaute Rotor wird außerdem vor seinem Einbau in das Statorgehäuse als Gesamtanordnung ausgewuchtet, um einen ruhigen ausgewuchteten Lauf des Rotors während des Betriebs zu erreichen.

**[0064]** Mit Blick auf den komplizierten Einbau vieler Rotorkomponenten innerhalb des Statorgehäuses, ist es angesichts der Komplexität und der damit verbundenen Kosten des Wiederzusammenbaus des Verdichters und des Triebwerks unerwünscht, das Triebwerk und den Verdichter während eines Wartungsvorgangs komplett zu zerlegen. Dementsprechend weisen typische Verdichterscheiben um den Umfang ausgebildete Schwalbenschwanznuten auf, die dazu dienen, diskrete Verdichterschaufelblätter einzeln zu befestigen, die sich bei einer Reparaturwartung unabhängig davon abnehmen lassen. Auf diese Weise ist es möglich, auf eine Zerlegung des Kompressorrotors für die Instandsetzung solcher diskreter Schaufeln zu verzichten.

**[0065]** Wie oben angedeutet, weisen einteilige Kompressorblisks, bei denen die Schaufelblätter in einer einteiligen oder einstückigen Anordnung einstückig mit den tragenden Scheiben ausgebildet sind, gegenüber herkömmlichen mit Schaufeln bestückten Scheiben jedoch die Vorteile einer erheblichen Leistungssteigerung und Gewichtsreduzierung auf. Kleine Kompressorblisks werden industriell genutzt und bilden integrale Bestandteile des Kompressorrotors, die für die Entfernung der Blisks zu Reparatur- oder Austauschzwecken eine komplette Zerlegung des Triebwerks und des Kompressors erfordern. Eine komplette Zerlegung eines kleinen Turbinentriebwerks kommt wesentlich seltener vor als eine komplette Zerlegung eines großen handelsüblichen Flugzeugmotors. Mit Blick auf die damit verbundenen unerschwinglich hohen Wartungskosten sind daher gegenwärtig keine großen einteiligen Laufräder für den Einsatz in handelsüblichen großen Turbofan-Triebwerken bekannt.

**[0066]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, wie es in [Fig. 3](#) veranschaulicht ist, weist der Kompressorrotor **26** eine Blisk (ein ein-

teiliges Laufrad) **50** auf, während seine verhältnismäßig große erste Stufe huckepack oder parallel an dem Kompressorrotor **26** angebracht ist. Dies erlaubt ein unabhängiges Zusammenbauen und Zerlegen der Blisk, so dass die strukturelle Integrität des Kompressorrotors **26** aufrecht erhalten bleibt, ohne bei einer der Reparatur des Verdichters und der Blisk dienenden Wartung die komplette Zerlegung des Kompressorrotors zu erfordern.

**[0067]** Um die Blisk **50** an dem Kompressorrotor **26** zu befestigen, ohne dessen Integrität zu beeinträchtigen, weist der Rotor eine ringförmige vordere Welle **52** auf, die an einer vorderen seiner Scheiben **44**, z.B. an der Scheibe der zweiten Stufe, befestigt ist. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die vordere Welle mit Blick auf Festigkeit und Reduzierung des Innendurchmessers der Blisk **50** konisch gestaltet. Die vordere Welle **52** ist vorzugsweise einstückig mit der Scheibe **44** der zweiten Stufe in einer mit dieser einteiligen Konstruktion ausgebildet, obwohl sie in abgewandelten Ausführungsbeispielen mittels einer geeigneten Flanschverbindung daran angeschraubt sein kann.

**[0068]** Die vordere Welle **52** nimmt in der axialen Vorwärtsrichtung im Durchmesser ab und endet an einem ringförmigen oder zylindrischen Lagerzapfen oder Sitz **54** an dessen vorderem Ende, das in dem durch den vorderen Rahmen **36** getragenen dritten Lager **28** montiert ist. Auf diese Weise stützt das Lager den Kompressorrotor **26** an seinem vorderen Ende mittels eines strukturell ununterbrochenen Lastpfads zwischen dem vorderen Sitz **54** und der Scheibe **44** der zweiten Stufe und ohne einen seriellen Lastpfad, der durch die huckepack auf der Welle sitzende Blisk verläuft.

**[0069]** Der gesamte Kompressorrotor **26**, einschließlich seiner vorderen Welle **52**, kann auf diese Weise zunächst zusammengebaut werden, um die Exzentrizität zwischen seinen axialen Lagerebenen zu minimieren, und kann vor dem Einbau in den Verdichter ausgewuchtet werden. Dementsprechend setzt der Kompressorrotor **26** für sich während einer Wartung zur Entfernung und Instandsetzung einzelner seiner Schaufeln **46**, oder noch wichtiger zum Instandsetzen oder Austausch der einteiligen Huckepackblisk **50**, keine komplette Zerlegung voraus.

**[0070]** Die Blisk **50** umgibt auf einfache Weise koaxial die vordere Welle **52** in axialer Richtung zwischen dem Sitz **54** und der vorderen Scheibe **44** und ist entfernbar huckepack auf der vorderen Welle fest verbunden, ohne deren axiale Integrität zu unterbrechen.

**[0071]** Die huckepack angebrachte Blisk **50** bringt einen verbesserten Hochdruckkompressor **18** hervor und erlaubt eine Reparatur oder einen Austausch der



einteiligen Blisk, ohne eine komplette Zerlegung des Kompressorrotors **26** zu erfordern. Der Rotor lässt sich einfach instand setzen, indem zunächst die vor Ort innerhalb des zusammengebauten Kompressors **18** angeordnete Blisk **50** für sich von der vorderen Welle **52** entfernt wird, ohne den Kompressorrotor **26** mit seiner vorderen Welle **52** und einigen Rotorscheiben **44** zu zerlegen. Ohne weiteres lässt sich eine Ersatzblisk in umgekehrter Reihenfolge des Entferns der ursprünglichen Blisk auf der vorderen Welle **52** anbringen. Die Ersatzblisk kann die geeignet reparierte ursprüngliche Blisk sein oder sie kann eine andere Blisk sein, die fabrikneu ist oder in sonstiger Weise aus einem anderen Triebwerk stammend repariert und individuell ausgewuchtet ist.

**[0072]** Wie zu Beginn in [Fig. 3](#) gezeigt, enthält die Blisk **50** eine rohrförmige Scheibe oder Nabe **56** mit einer mittigen Bohrung, die die vordere Welle **52** eng anliegend umgibt und komplementär zu dieser ist, z.B. konisch ist, um einen kleinen und gleichmäßigen Spalt dazwischen zu schaffen. Eine Reihe von integralen Schaufeln **58** erstrecken sich ausgehend von dem Umfang der Nabe in einer mit dieser einteiligen oder einstückigen Ausgestaltung radial nach außen.

**[0073]** Die Blisk enthält ferner einen ringförmigen Tragarm **60**, der sich in einem Teil ausgehend von der Nabe in einer mit dieser vorzugsweise einteiligen Konstruktion erstreckt. Der Arm der Blisk erstreckt sich vorzugsweise nach vorne und ist vorzugsweise teilweise konisch gestaltet, um zu der konischen Gestalt der darunter angeordneten vorderen Welle **52** zu passen.

**[0074]** Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Huckepackmontage der Blisk an der vorderen Welle ist detaillierter in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) veranschaulicht. Der Arm **60** der Blisk weist vorzugsweise einen ringförmigen Falz **62** in Form einer Eckenausparung auf, die ausgehend von einem intermediären innenliegenden Abschnitt des Arms radial nach innen und nach hinten weist. In Entsprechung weist die vordere Welle **52** einen ringförmigen Vorsprung **64** auf, der komplementär zu dem Falz **62** ist, um die Blisk auf der vorderen Welle mit minimaler Exzentrizität bezüglich der axialen Mittelachse des Triebwerks exakt koaxial auszurichten.

**[0075]** Wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt, weisen der Außendurchmesser des Vorsprungs **64** und der Innendurchmesser des Falzes **62** einen innerhalb geeigneter Herstellungstoleranzen bemessenen nominal gemeinsamen Wert A auf, um einen exakten Zwischenraum zwischen der Blisk und der vorderen Welle zu schaffen, so dass deren Konzentrität gewährleistet ist und die Exzentrizität und die damit verbundene Rotationsunwucht minimiert sind.

**[0076]** Die Anzahl von Flanschverbindungen **48** ver-

binden die Anzahl von Scheiben **44** in axialer Richtung miteinander in einer gemeinsamen Anordnung von Rotorkomponenten mit der vorderen Welle **52** an deren vorderen Ende. Die axial benachbarten Komponenten des Kompressorrotors werden zu Beginn des Zusammenbaus aufeinander gestapelt, um deren Exzentrizität gegenüber der Mittelachse **12** des Rotors auf ein Minimum zu reduzieren. Der Falz **62** und der Vorsprung **64** sind koaxial zu der Mittelachse **12** angeordnet, um die Exzentrizität der Blisk **50** gegenüber der Mittelachse voneinander unabhängig zu minimieren.

**[0077]** Auf diese Weise werden die Konzentrität und der Wuchtzustand des Kompressorrotors **26** und der Blisk **50** voneinander unabhängig erzielt, um bei einer Wartung einen unabhängigen Austausch der Blisk ohne eine Beeinträchtigung der Integrität oder des Wuchtzustandes der Kompressorrotoranordnung **26** zu erlauben. Die Blisk **50** wird vorzugsweise unabhängig ausgewuchtet, so dass die kollektive Anordnung des Rotors und der Blisk nach der Montage um die vordere Verdichterwelle **52** korrekt ausgewuchtet ist.

**[0078]** Die Blisk **50** kann auf eine beliebige herkömmliche Weise ausgewuchtet werden und, wie in [Fig. 3](#) veranschaulicht, beispielsweise eine geeignete Unwuchtkorrektur **66** aufweisen, die von dem Wuchtzustand des Kompressorrotors **26**, einschließlich seiner Scheiben **44** und der vorderen Welle **52**, kollektiv unabhängig ist. Die Unwuchtkorrektur **66** ist vorzugsweise ein herkömmlicher Auswuchtring, der in einem entsprechenden Spalt unter dem Rand der Blisk angebracht wird. Die Unwuchtkorrektur kann auch in Form einer örtlich spanabhebend bearbeiteten Fläche zur Beseitigung von Masse an den Schaufelspitzen oder in der (nicht gezeigten) Plattform zwischen den Schaufeln verwirklicht sein, um das gesamte einteilige Laufrad dynamisch auszuwuchten.

**[0079]** Wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt, ist die vordere Welle **52** vorzugsweise konisch ausgebildet und nimmt im Durchmesser von der vordersten Scheibe **44** der zweiten Stufe ausgehend zu dem Lagersitz **54** an dem vordersten Ende der Welle nach vorne hin ab. In Entsprechung ist der Arm **60** der Blisk vorzugsweise konisch ausgebildet und nimmt im Durchmesser ausgehend von der Nabe **56** der Blisk zu dem Ausrichtungsfalz **62** nach vorne hin ab.

**[0080]** Die konische vordere Welle **52** und der konische Arm **60** der Blisk schaffen eine verbesserte strukturelle Festigkeit in drei Dimensionen und erlauben außerdem eine ungehinderte Montage der Blisk um die vordere Welle bzw. deren Abnahme davon. Wie oben erwähnt, ist die Mittenbohrung der in [Fig. 3](#) veranschaulichten Nabe **56** der Blisk vorzugsweise konisch, um zu der konischen Gestalt der innenliegenden Welle **52** zu passen, wobei die Bohrung ei-



nen minimalen Innendurchmesser B aufweist, der geringfügig größer ist als der Außendurchmesser A des Ausrichtungsvorsprungs **64**, um bei Zusammenbau und Zerlegung eine ungehinderte axiale Bewegung der Blisk über den Vorsprung **64** hinweg zu erlauben.

**[0081]** Da der in [Fig. 3](#) veranschaulichte Kompressorrotor **26** im Betrieb durch die HPT angetrieben wird, muss die Blisk **50** geeignet mit der vorderen Welle **52** verbunden sein, um ein Drehmoment auf diese zu übertragen. Dementsprechend sind Mittel zum festen Anbinden des Arms **60** der Blisk an der vorderen Welle **52** vorgesehen, um den Falz **62** und den Vorsprung **64** in fluchtender Ausrichtung in Eingriff zu bringen und ein Drehmoment zwischen dem Rotor und der Blisk zu übertragen.

**[0082]** In dem in den [Fig. 3–Fig. 5](#) veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispiel enthält das Verbindungsmittel der Blisk eine Anzahl in Umfangsrichtung beabstandeter Keilprofile **68**, die in der Außenfläche der vorderen Welle **52** in einem vor dem Vorsprung **64** angeordneten zylindrischen Abschnitt davon ausgebildet sind. Innerhalb eines zylindrischen Abschnitts des Arms **60** der Blisk sind vor dem Falz **62** mehrere in Umfangsrichtung beabstandete Keilnuten **70** ausgebildet, um die komplementären Keilprofile **68** in Umfangsrichtung in Eingriff zu nehmen, um im Betrieb ein Drehmoment zu übertragen.

**[0083]** Eine Halteschraubenmutter **72** kommt in Gewindeeingriff mit dem auf der vorderen Welle ausgebildeten Außengewinde vor den Keilprofilen in axialer Anlage, mit dem vorderen distalen Ende des Arms **60** der Blisk, um den Falz **62** axial gegen die komplementäre axiale Stirnseite des Vorsprungs **64** zu halten.

**[0084]** Wie zu Beginn in [Fig. 3](#) gezeigt, umgibt das Verdichter-Stator-Gehäuse **40** den Kompressorrotor **26** einschließlich seiner mehreren Scheiben **44** und der einteiligen Huckepackblisk **50**, wobei die Statorleitschaufeln **42** axial dazwischen angeordnet sind. Das Bläser-Modul **16** ist an einer herkömmlichen Flanschverbindung **74**, die zusammenpassende radiale Flansche und Befestigungsbolzen und Muttern aufweist, vorzugsweise entfernbar mit dem vorderen Ende des Verdichtergehäuses **40** verbunden. Durch Zerlegen der Flanschverbindung **74** und herkömmliches Abkoppeln des Bläfers und der Kompressorrotoren lässt sich das gesamte Bläser-Modul **16** von dem vorderen Abschnitt des Triebwerks entfernen, um einen unmittelbaren und von vorne durchführbaren Zugriff auf die Blisk **50** für deren Entfernung von der freigelegten vorderen Welle **52** zu erlauben.

**[0085]** Das Entfernen des Bläser-Moduls **16** ist in [Fig. 6](#) veranschaulicht. Die Einlassführungsschaufeln **38**, die der Blisk **50** unmittelbar vorausgehen,

verbleiben an dem hinteren Ende des Bläser-Moduls in der Nähe des entsprechenden Abschnitt der zerlegten Flanschverbindung **74** angebracht. Das dritte Lager **28** bleibt an dem vorderen Rahmen **36** des Bläser-Moduls angebracht.

**[0086]** Dementsprechend lässt sich das dritte Lager **28** nach Entfernen des Bläser-Moduls von der Vorderseite des Hochdruckverdichters zusammen mit dem Bläser-Modul abnehmen, um einen unmittelbaren Zugang zu der Blisk **50** für deren Abnahme zu schaffen. Die Bläserwelle **30**, die den Bläser mit dem Niederdruckkompressor verbindet, kann auf eine beliebige herkömmliche Weise abgekoppelt werden, um ein Entfernen des gesamten Bläser-Moduls von dem Kompressorgehäuse **40** zu ermöglichen.

**[0087]** Die freigelegte Blisk **50** kann anschließend von der vorderen Welle **52** entfernt und ausgetauscht werden, indem an deren Stelle um die vordere Welle eine einteilige Ersatzblisk eingebaut wird. Das Bläser-Modul **16** kann anschließend in umgekehrter Weise seines Ausbaus wieder eingebaut werden.

**[0088]** Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, wird die Blisk **50** selbst von der vorderen Welle **52** abgenommen, indem zunächst die Haltemutter **72** von der Welle **52** entfernt wird, woraufhin es möglich ist, die Blisk **50** ohne weiteres nach vorne von dem Ausrichtungsvorsprung **64** in axialer Richtung abzunehmen, während die Keilnuten **70** aus den innenliegenden Keilprofilen **68** herausgezogen werden. Die Ersatzblisk wird in umgekehrter Reihenfolge eingebaut, wobei die Keilprofile **68** und Nuten **70** in Eingriff gelangen, während der Falz **62** um den Ausrichtungsvorsprung **64** platziert wird. Die Mutter **72** wird anschließend wieder auf die vordere Welle **52** aufgeschraubt, um die Blisk daran zu sichern.

**[0089]** Da der Kompressorrotor **26** für die Entfernung und den Austausch der Blisk **50** nicht zerlegt wird, bleiben seine Konzentrität und sein Wuchtzustand unverändert erhalten. Wenn das Bläser-Modul wieder eingebaut ist, nimmt das dritte Lager **28** den Lagersitz **54** der vorderen Welle **52** auf und verleiht dem Kompressorrotor wieder seine ursprüngliche fluchtende Ausrichtung in dem Lager.

**[0090]** [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) veranschaulichen ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel einer Befestigung der Blisk **50** an der vorderen Welle **52**. In diesem Ausführungsbeispiel weist das Verbindungsmittel einen radial nach innen weisenden äußeren Flansch **76** auf, der an dem distalen vorderen Ende des Arms **60** der Blisk angeordnet ist, in dem der Falz **62** ausgebildet ist.

**[0091]** Der Ausrichtungsvorsprung ist in Gestalt eines radial nach außen verlaufenden innenliegenden Flansches **78** ausgebildet, der einstückig mit der Wel-

le 52 ist. Mehrere in Umfangsrichtung beabstandete axiale Bolzenlöcher 80 sind durch die äußeren und innenliegenden Flansche 76, 78 hindurch ausgebildet, um eine entsprechende Anzahl von Befestigungsmitteln 82 in Form von Bolzenschrauben aufzunehmen, die durch entsprechende Muttern gehalten werden, die dazu dienen, den Arm 60 der Blisk an der vorderen Welle 52 festzuklemmen. Die zusammenpassenden Stirnflächen der beiden Flansche 76, 78 schaffen eine Reibungsgrenzfläche, um im Betrieb ein Drehmoment zu übertragen, während der Falz 62 und der Vorsprung 64 die genaue Konzentrität der Blisk um die Mittelachse 12 aufrecht erhalten.

[0092] Die in den Fig. 3 und Fig. 7 veranschaulichten beiden Ausführungsbeispiele sind im Wesentlichen ähnlich, mit Ausnahme der speziellen Verwirklichung der Mittel zum Verbinden der Blisks mit der vorderen Welle, um das Drehmoment dazwischen zu übertragen, während ein Zerlegen derselben für eine Reparatur ermöglicht ist. Die vordere Welle bleibt zwischen der Scheibe 44 der zweiten Stufe und dem vorderen Lagersitz 54 ununterbrochen und ist nicht durch die abnehmbare Blisk 50 unterbrochen.

[0093] Das in Fig. 3 veranschaulichte Ausführungsbeispiel eines Keilprofils ist bevorzugt, da sich der Außendurchmesser A des Vorsprungs 64 innerhalb des verfügbaren Raums minimieren lässt, um eine entsprechende Minimierung des Innendurchmessers B der Nabe 56 der Blisk zu erreichen.

[0094] Da der Vorsprung 64 in dem in den Fig. 7 und Fig. 8 veranschaulichten Ausführungsbeispiel einstückig mit dem innenliegenden Flansch 78 hergestellt ist, benötigt er einen entsprechend größeren Außendurchmesser, um eine ausreichende Festigkeit in der Flanschverbindung für die Übertragung des durch diese verlaufenden Drehmoments zu erzielen. In Entsprechung ist der Innendurchmesser der Nabe 56 des einteiligen Laufrads in Fig. 7 gewöhnlich größer als der für das Ausführungsbeispiel in Fig. 3 bemessene.

[0095] Indem der Innendurchmesser der Nabe 56 der Blisk so klein wie möglich bemessen wird, wird die entsprechende Festigkeit der Nabe erhöht. Eine gesteigerte Festigkeit der Nabe erlaubt es, die Abmessung der Nabe der Blisk kleiner zu bemessen, um die Belastung während des Betriebs mit einer entsprechenden Verringerung des Gewichts der Nabe in brauchbaren Grenzen zu halten. Die Einführung der Blisk 50 in der ersten Ausprägung bezweckt eine Verbesserung seiner aerodynamischen Leistung und mechanischen Festigkeit, und die damit verbundene entsprechende Gewichtsverringerung. Die Keilprofilverbindung der Blisk in Fig. 3 minimiert zusätzlich die Maße der Nabe der Blisk, um das Gesamtgewicht im Vergleich zu dem in Fig. 7 gezeigten Ausführungs-

beispiel weiter zu reduzieren.

[0096] In den verschiedenen oben offenbarten Konfigurationen bildet die Blisk 50 die erste und größte Stufe des Hochdruckkompressors und erlaubt eine wesentliche Gewichtsverringerung des Triebwerks, insbesondere im Falle großer handelsüblicher Turbofan-Triebwerke. Die Huckepackmontage der Blisk an dem unabhängigen Kompressorrotor 26 ermöglicht es, die Blisk für sich bequem abzunehmen, ohne dass eine vollständige Zerlegung des Triebwerks und des Hochdruckkompressors 18 erforderlich ist. Auf diese Weise bleibt die strukturelle Integrität des Hochdruckkompressorrotors 26 erhalten und das aufwendige Verfahren einer kompletten Zerlegung und eines erneuten Zusammenbaus desselben in einer Wartung ist nicht erforderlich.

[0097] Falls gewünscht, können mehr als eine Stufe des Hochdruckkompressors unter Verwendung von Blisks anstelle von mit Schaufeln bestückter Scheiben ausgebildet werden und huckepack an dem vorderen Ende des Kompressorrotors angebracht werden, um eine unabhängige Entfernung der Blisks ohne eine komplette Zerlegung des Kompressorrotors zu ermöglichen.

## Patentansprüche

### 1. Kompressorrotor (260):

mit mehreren koaxial aneinandergrenzenden Scheiben (44), wovon jede eine Reihe von Rotorlaufschau-feln (46) enthält, die sich von ihr radial nach außen erstrecken;  
mit einer vorderen Welle (52), die an einer vorderen von den Scheiben befestigt ist, und einen ringförmigen Sitz (54) an ihrem vorderen Ende zur Befestigung in einem Lager (28) aufweist, um den Rotor an seinem vorderen Ende zu unterstützen; und  
mit einer Blisk (50), die koaxial die vordere Welle (52) axial zwischen dem Sitz (54) und der vorderen Scheibe (44) umgibt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blisk (50) entfernbar huckepack auf der vorderen Welle fest verbunden ist.

### 2. Rotor nach Anspruch 1, wobei:

die Blisk (50) eine die vordere Welle (52) umgebende Nabe (56), einen sich in einem Teil aus der Nabe (56) erstreckenden ringförmigen Tragarm (60), und einen radial von dem Arm nach innen weisenden ringförmigen Falz (62) enthält; und  
wobei die vordere Welle (52) einen ringförmigen Vorsprung (64) enthält, der zu dem Falz (62) komplementär ist, um die Blisk auf der vorderen Welle koaxial auszurichten.

3. Rotor nach Anspruch 2, welcher ferner eine Einrichtung (68, 76) zum festen Verbinden des Arms (60) der Blisk mit der vorderen Welle (52) aufweist, um den Falz (62) und den Vorsprung (64) in Eingriff

zu bringen.

4. Rotor nach Anspruch 3, wobei:  
die vordere Welle (52) konisch ist und im Durchmesser nach vorne von der vorderen Scheibe (44) aus zu dem Lagersitz (54) hin abnimmt; und  
der Arm (60) der Blisk konisch ist und im Durchmesser nach vorne von der Nabe (56) aus zu dem Falz (62) hin abnimmt.

5. Rotor nach Anspruch 4, wobei die Nabe (56) der Blisk eine Mittenbohrung mit einem größeren Durchmesser als der Vorsprung (64) enthält.

6. Verfahren zum Reparieren eines Rotors nach Anspruch 5, mit den Schritten:  
Entfernen der Blisk (50) von der Welle (52) ohne Zerlegung der Welle (52) und der Scheiben (44); und  
Einbauen einer Ersatzblisk (50) auf der Welle (52).

7. Vorrichtung, aufweisend:  
einen Hochdruckkompressor (18) mit einem Gehäuse (40) und einem darin angeordneten Rotor (26) nach Anspruch 1; und  
ein Bläser-Modul (16), das entferntbar mit dem Gehäuse (40) verbunden ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Bläser-Modul (16) einen vorderen Rahmen (36) enthält, der das Lager (28) unterstützt, und wobei das Lager mit dem Bläser-Modul entferntbar ist, um einen Zugang zu der Blisk (50) für deren Entfernung von der vorderen Welle zu schaffen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei:  
die Blisk (50) eine die vordere Welle (52) umgebende Nabe (56), einen sich in einem Teil aus der Nabe (56) erstreckenden ringförmigen Tragarm (60), und einen radial von dem Arm nach innen weisenden ringförmigen Falz (62) enthält; und  
die vordere Welle (52) einen ringförmigen Vorsprung (64) enthält, der zu dem Falz (62) komplementär ist, um die Blisk coaxial auf der vorderen Welle auszurichten.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, welche ferner eine Einrichtung (66, 76) aufweist, um den Arm (60) der Blisk fest mit der vorderen Welle (52) zu verbinden, um den Falz (62) und den Vorsprung (64) in Eingriff zu bringen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

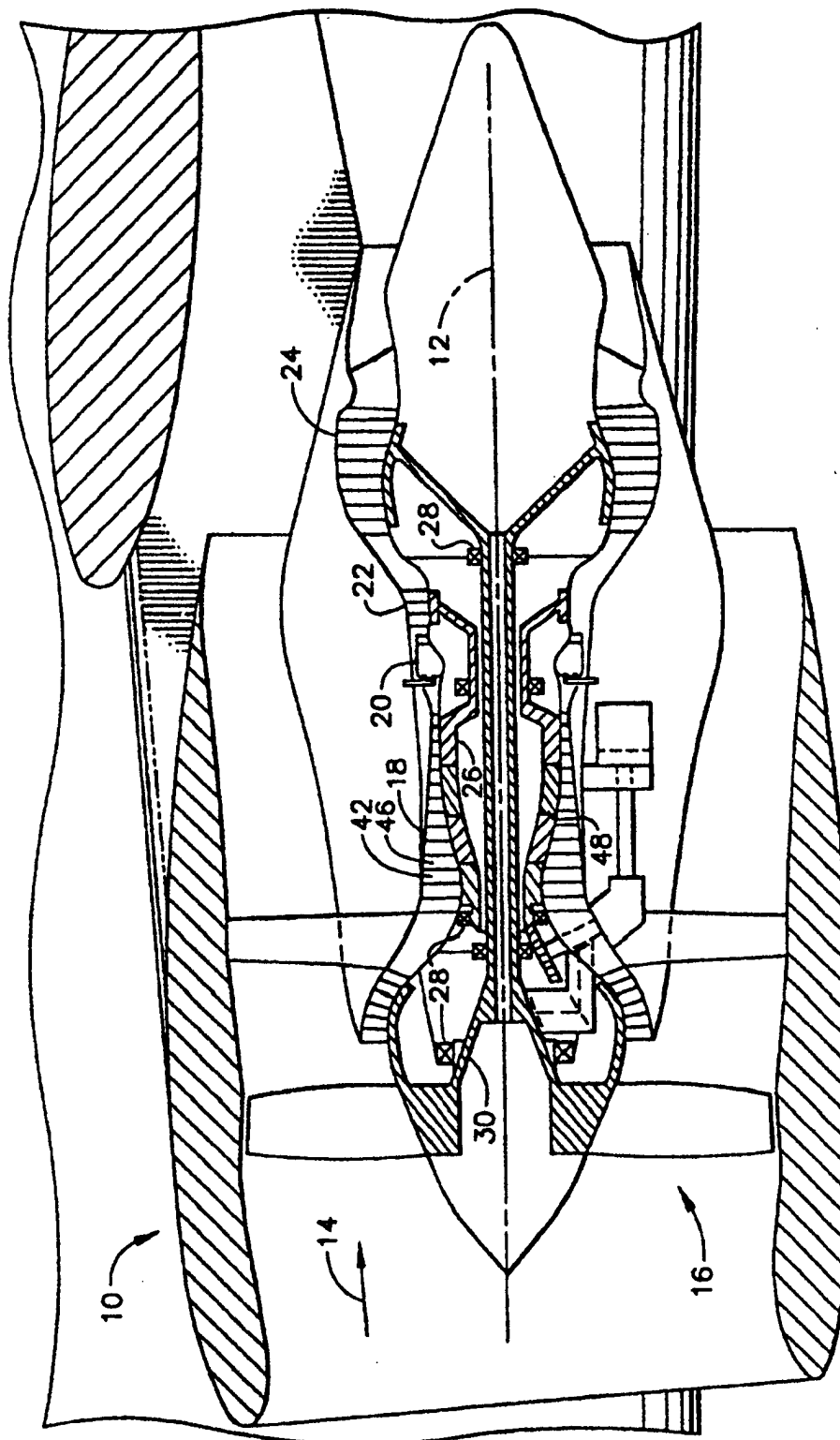


FIG. 1

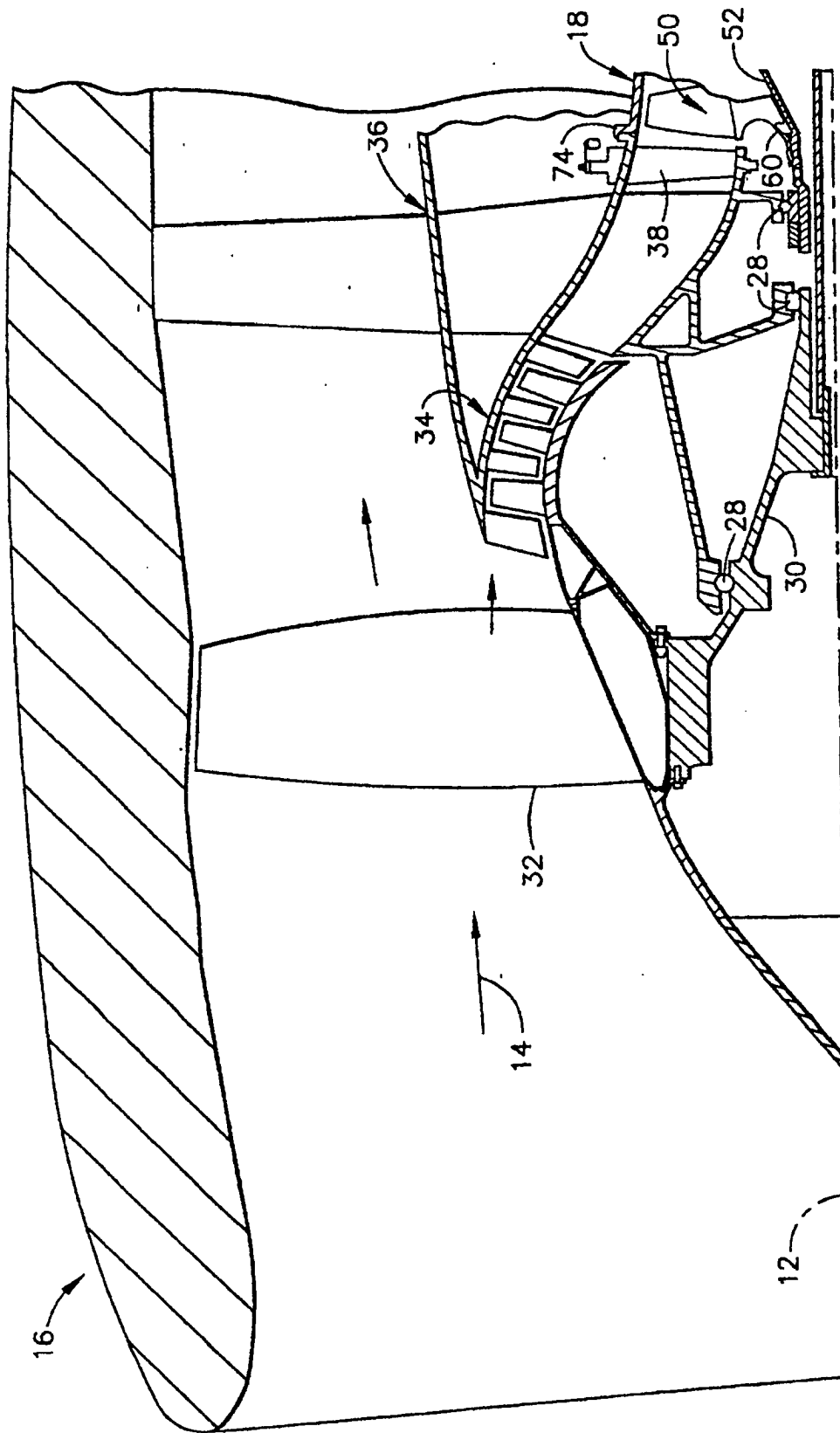


FIG. 2

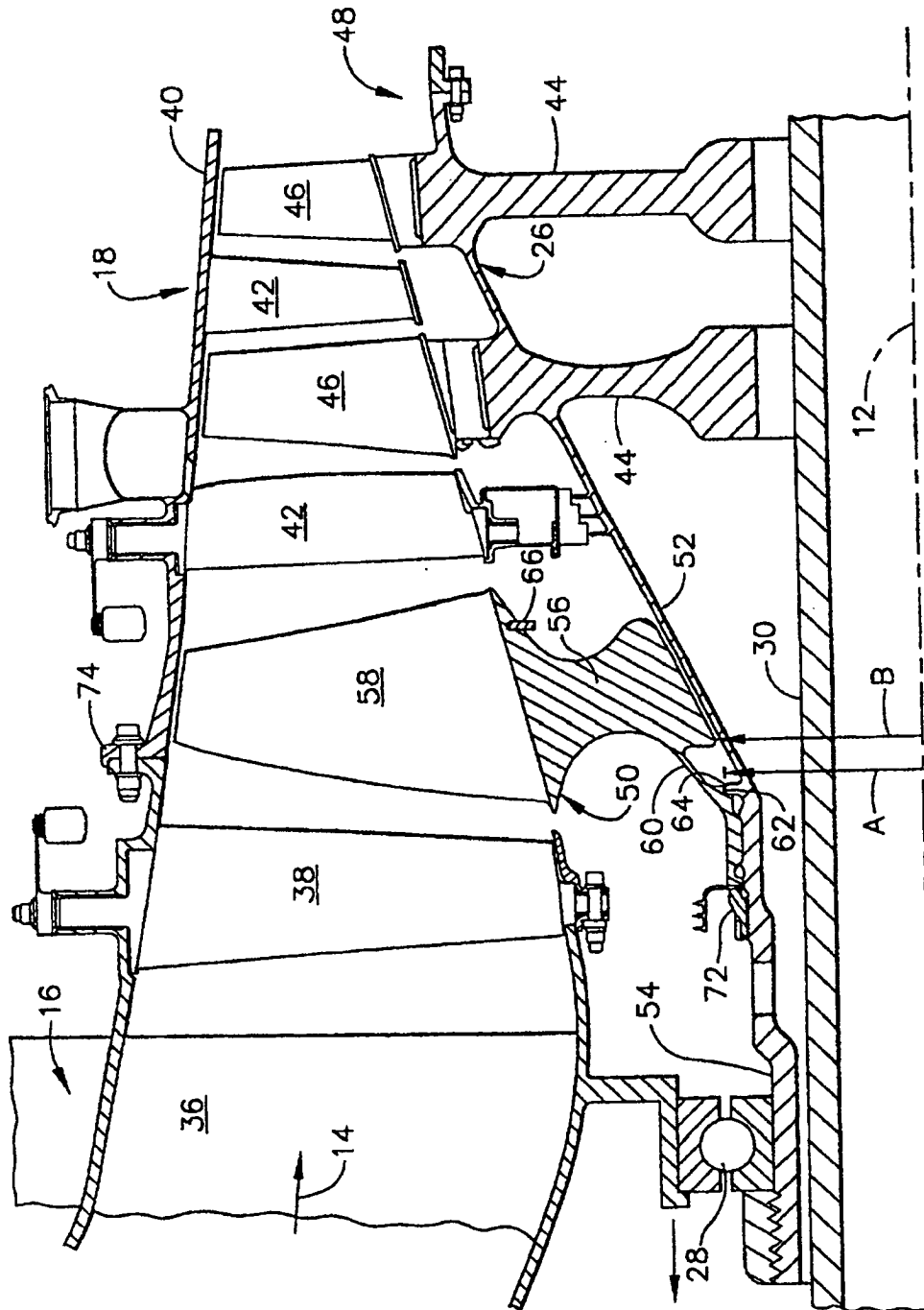


FIG. 3



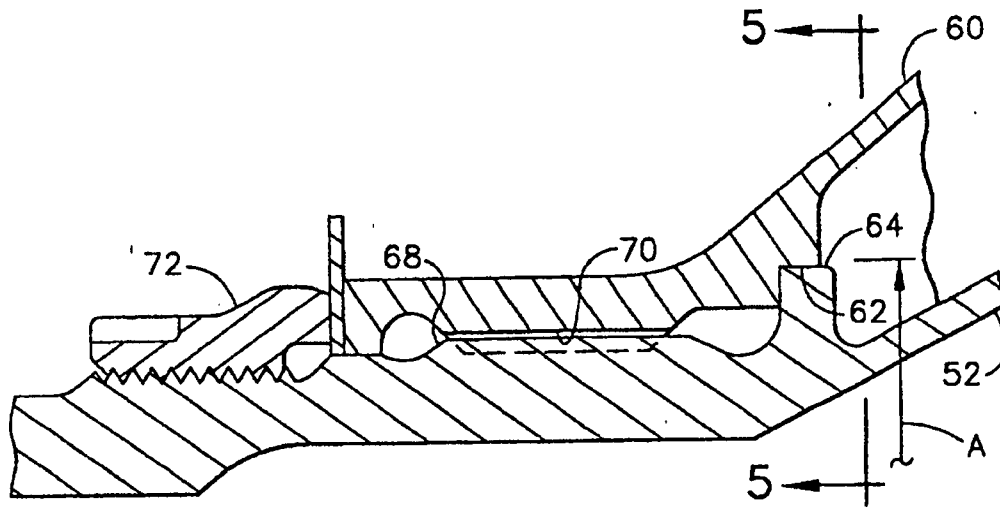


FIG. 4

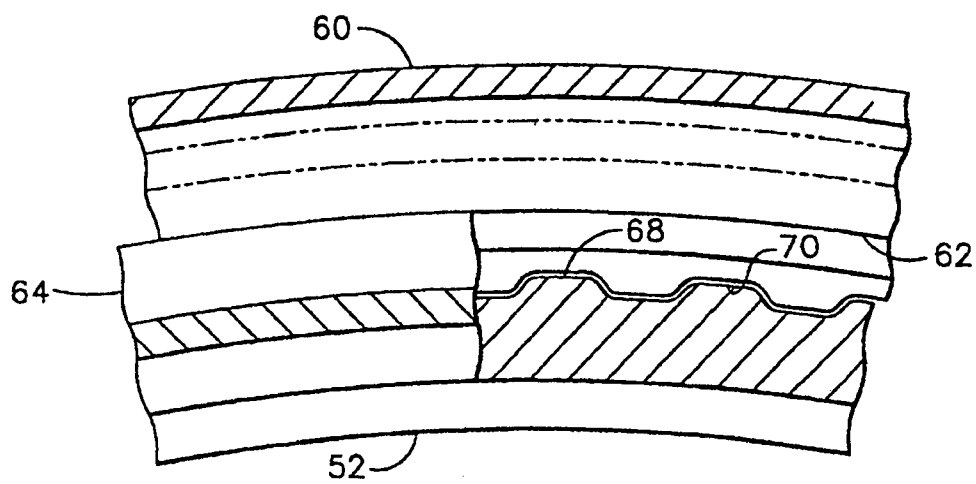


FIG. 5

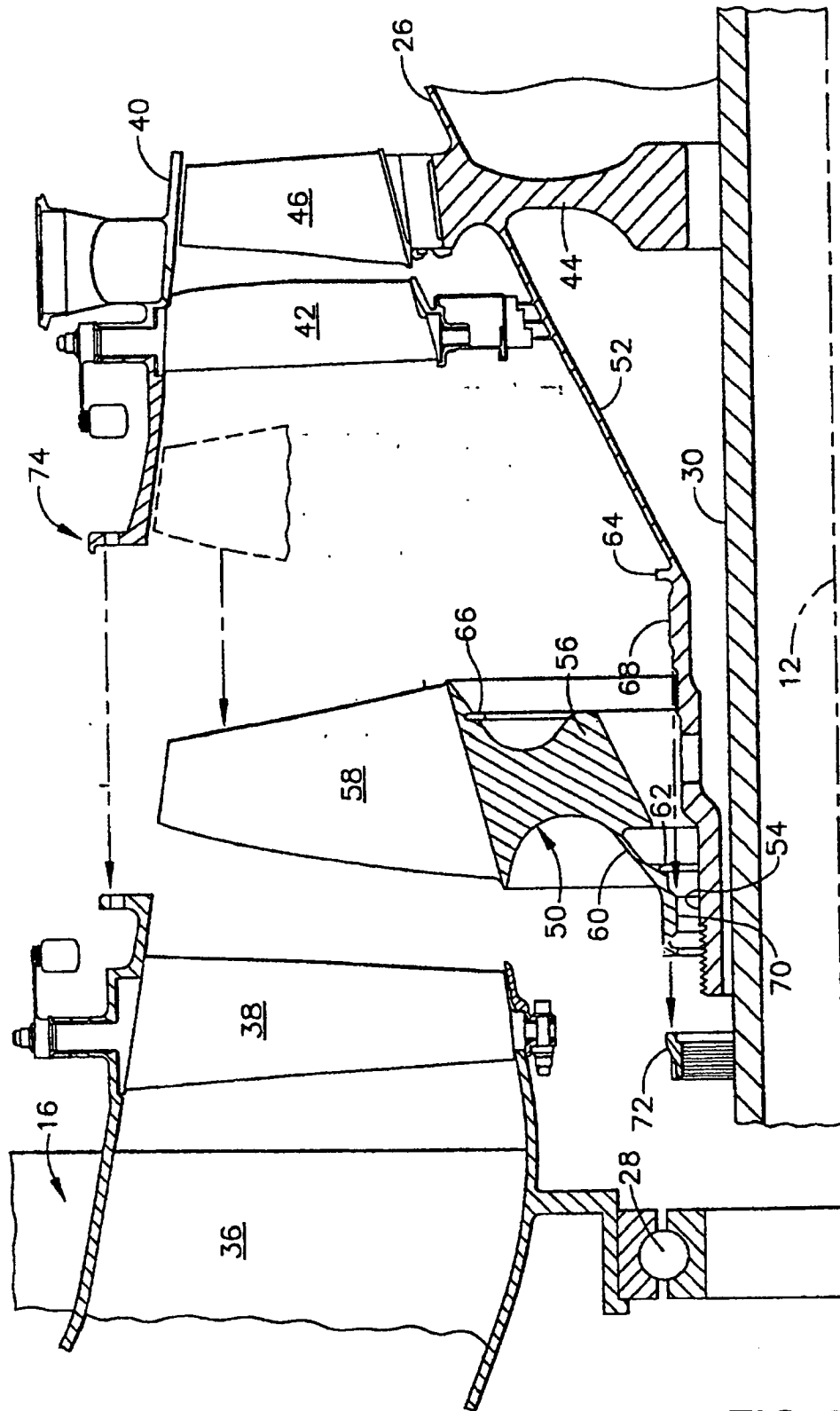


FIG. 6

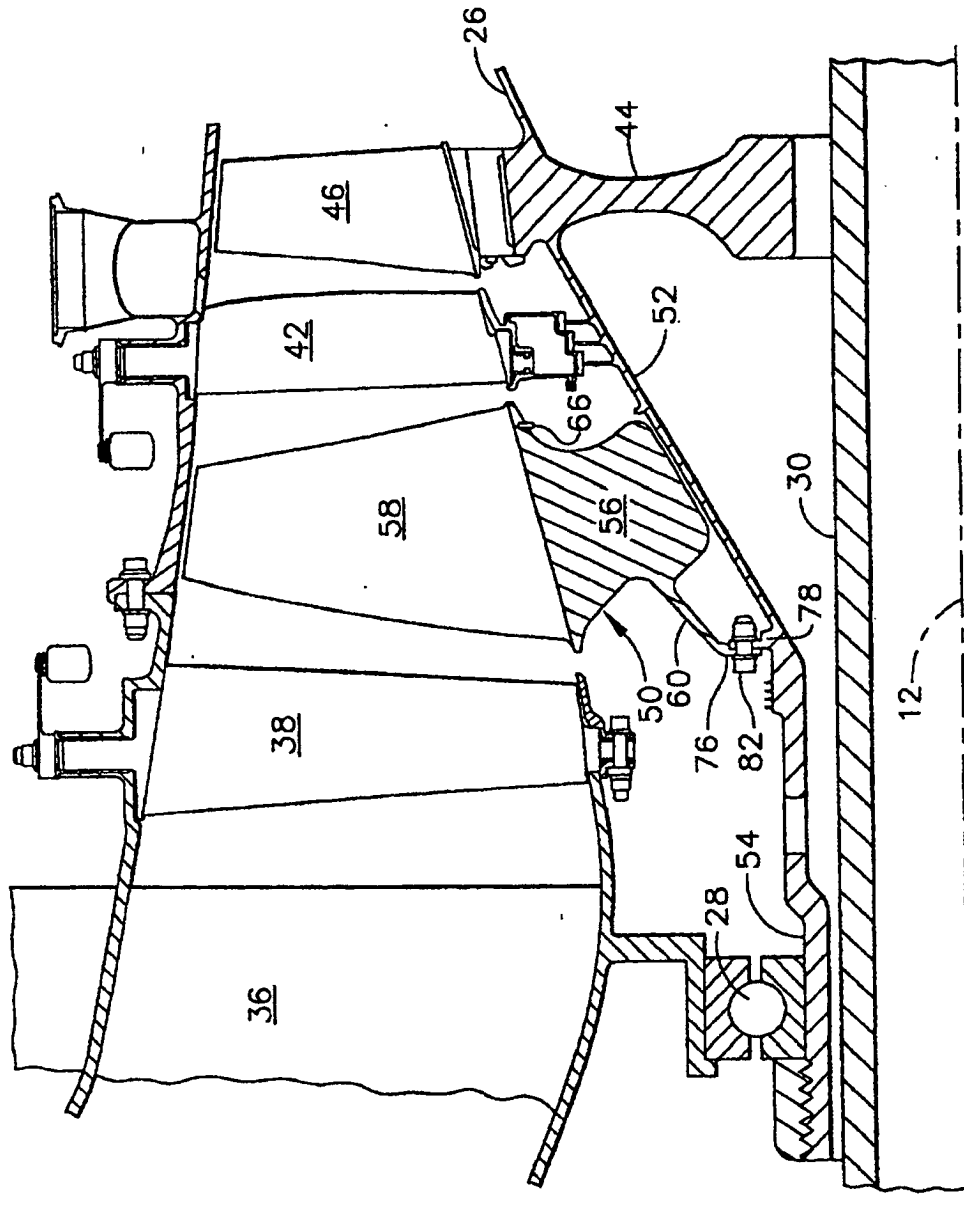


Fig. 7

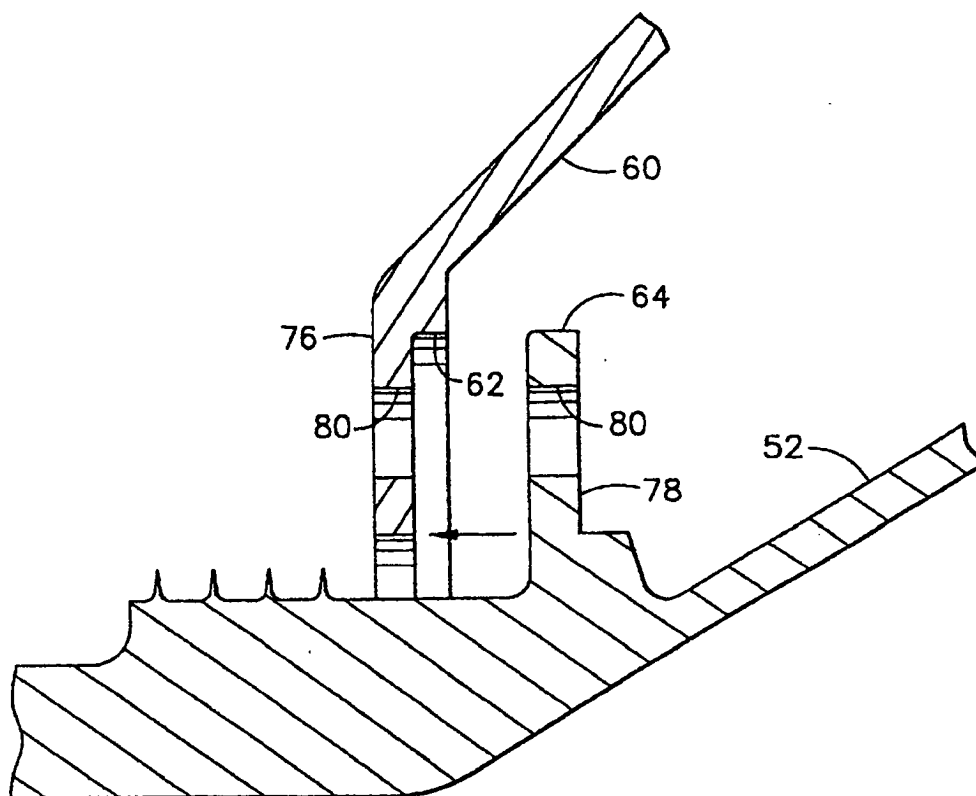


FIG. 8