



(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.⁸: **F04D 29/20 (2006.01)**

F01D 5/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

710656 09.11.2000 US
179212 P 31.01.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

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

(72) Erfinder:

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

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(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 eingelebt, 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

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

[0002] Ein Turbofan-Gasturbinentreibwerk 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 Kompressorrotorschaufeln verwendet, um den Druck der Luft zu steigern, während diese von Stufe zu Stufe stromabwärts durch den Kompressor strömt. Die Kompressorschauflblätter sind an dem Umfang entsprechender Rotorschiben 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 Rotorschibe weist in ihrem Umfang ausgebildete axiale Schwalbenschwanznuten auf, in denen axiale Schwalbenschwänze der entsprechenden Kompressorschauflblättern gehalten werden. Alternativ kann der Umfang der Scheibe eine in Umfangsrichtung verlaufende Schwalbenschwanznut aufweisen, die dazu dient, zur Einführung in Umfangsrichtung eingerichtete Schwalbenschwänze von Schauflblättern aufzunehmen. In beiden Fällen werden durch die Schauflblätter 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 Laufschauflasten aufzunehmen.

[0005] Die Scheiben werden gesondert von den einzelnen Schauflblättern hergestellt, wobei sämtliche genauen Herstellungstoleranzen aufweisen, um die Einheitlichkeit der Laufschauflblätter 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

Lauf des Triebwerks zu erreichen.

[0006] Allerdings setzen mit Schauflblättern 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 Schauflblättern bestückten Scheiben durch einheitliche oder einteilige Blisks ersetzt werden, bei denen die Schauflblätter oder Schauflblätter ohne Schwalbenschwänze mit dem Umfang der tragenden Scheibe einstückig ausgebildet sind. Die verbesserte mechanische Festigkeit der einteiligen Schauflblätter 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 Kompressorschauflblättern durch Fremdkörper verlangt abhängig von dem Grad der Beschädigung entweder eine Reparatur oder einen Austausch derselben. Im Falle der Ausgestaltung einer mit Schauflblättern bestückten Scheibe lassen sich die einzelnen Schauflblätter ohne weiteres von denen in den Scheiben ausgebildeten entsprechenden Schwalbenschwanznuten entfernen und an einem entfernten Ort reparieren oder einfach durch eine Ersatzschauflblätter ersetzen.

[0009] Da Blisks einstückig mit der tragenden Scheibe ausgebildet sind, lassen sich die Schauflblätter 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 Bliskschaufelblattes. 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 ein 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 Rotorlaufschaufeln 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 Blisk entfernbare 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 Blisk (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 Blisk auf der vorderen Welle koaxial auszurichten.

[0023] Der Rotor kann ferner Mittel zum festen Verbinden des Arms der Blisk 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 Blisk kann konisch sein und im Durchmesser nach vorne von der Nabe aus zu dem Falz hin abnehmen.

[0025] Die Nabe der Blisk 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 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.

[0027] Das Verbindungsmittel kann aufweisen: einen radialen Flansch an einem fernen Ende des Arms der Blisk, 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 Blisk 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 koaxial angeordnet, um die Exzentrizität der Blisk 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 Blisk umgibt; und einem Bläser-Modul, das entfernbar mit dem Gehäuse verbunden ist, um einen Zugang zu der Blisk 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 Blisk für deren Entfernung zu schaffen.

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

[0033] Das Verfahren zum Reparieren des Rotors kann außerdem die Schritte aufweisen: Entfernen der Schraubenmutter von der Welle; Entfernen der Blisk von der Welle; Einbauen einer Ersatzblisk auf der Welle; und erneutes Anschrauben der Schraubenmutter an der Welle, um die Blisk 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 Blisk 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 entfernbar mit dem Gehäuse verbundenes Bläser-Modul; und der Kompressorrotor mit mehreren koaxial aneinander-grenzenden Scheiben, wovon jede eine Reihe von Rotorlaufschaufern 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 Blisk, die koaxial die vordere Welle axial zwischen dem Sitz und der vorderen Scheibe umgibt und entfernbar 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 Blisk für deren Entfernung zu schaffen.

[0037] Die Blisk 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 koaxial 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 Verbindungsmitel 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 koaxial benachbarte Scheiben mit entsprechenden Reihen von Rotorlaufschäufeln. 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 koaxial die Welle und ist entfernbar huckepack auf der vorderen Welle fest verbunden. In einem Reparaturverfahren wird die Blisk von dem Kompressorrotor entfernt, ohne dass eine komplett 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 Mittellachse **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 anzureiben.

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

pressorrotor **26**, der auf einer Anordnung von Rotorkomponenten basiert, die koaxial 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 Bläzerschaufeln, 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 Bläzerscheibe 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 Blässers 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 koaxial benachbarter Rotorscheiben **44**, wovon jede eine Reihe von Kompressorrotorschaufeln **46** enthält, die sich davon radial nach außen erstrecken. Dies wird gewöhnlich durch von einander unabhängig abnehmbare Schaufeln bewirkt, die entsprechende Schwabenschwänze aufweisen, die in komplementären Schwabenschwanznuten 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) Blisk 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 Rotorkomponenten 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 Turbinentreibwerks 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 Blick, so dass die strukturelle Integrität des Kompressorrotors **26** aufrecht erhalten bleibt, ohne bei einer der Reparatur des Verdichters und der Blick dienenden Wartung die komplette Zerlegung des Kompressorrotors zu erfordern.

[0067] Um die Blick **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 Blick **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 Rotorschaltern **44** zu zerlegen. Ohne weiteres lässt sich eine Ersatzblisk in umgekehrter Reihenfolge des Entfernens 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 Eckenaussparung 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 Konzentrizität 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 Konzentrizität 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 vorderen 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 Verbindungsmitel 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 Gewindesteckung 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 komplementären 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 Bläser 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 Abschnitts 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 Verbindungsmitel 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 erreichen. 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 komplekte Zerlegung des Kompressorrotors zu ermöglichen.

Patentansprüche

1. Kompressorrotor (260):
mit mehreren koaxial aneinander grenzenden Scheiben (44), wovon jede eine Reihe von Rotorlaufschaufern (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) entferbar 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 entfernbare 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 entfernbare 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 koaxial 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

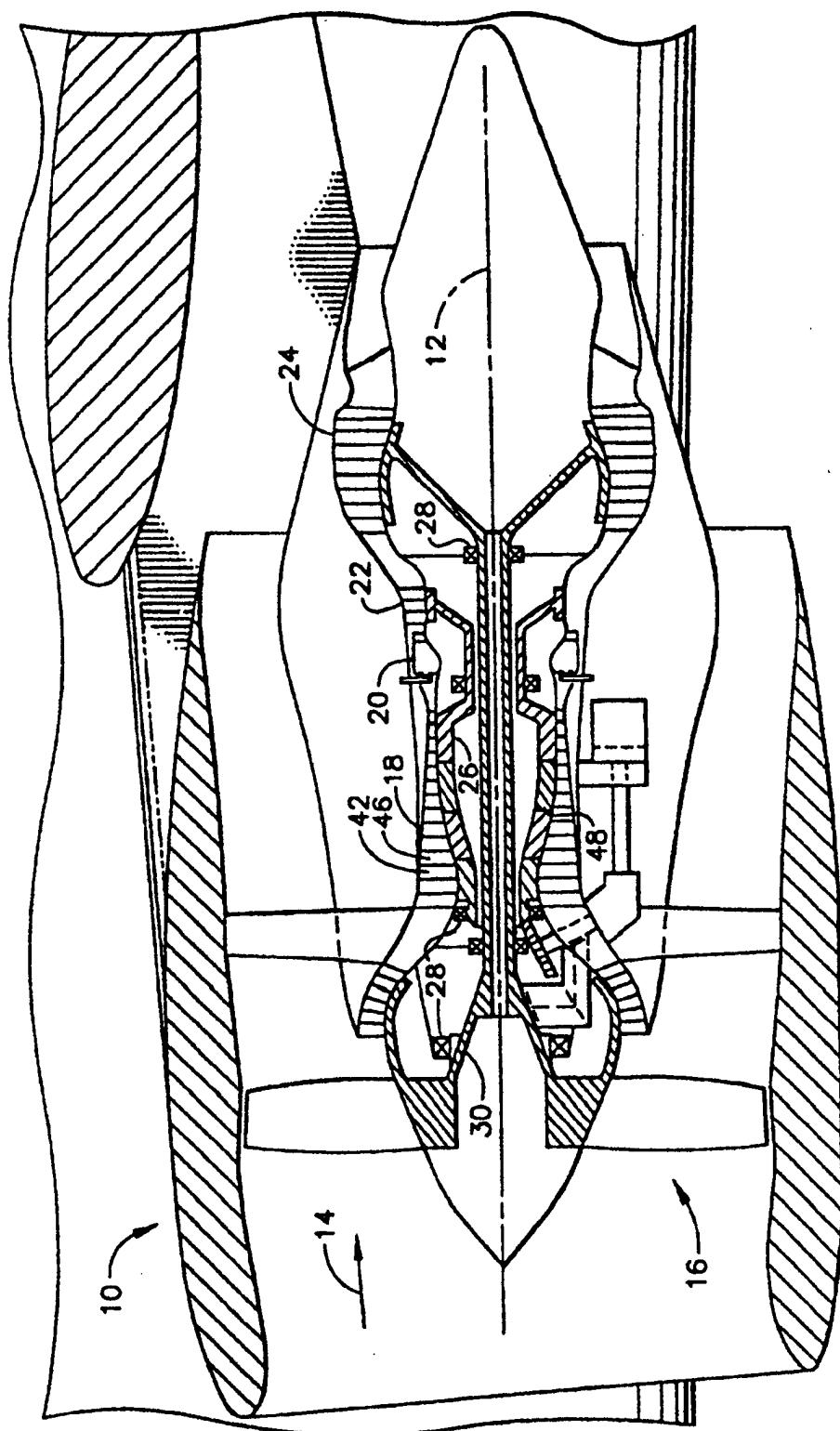


FIG. 1

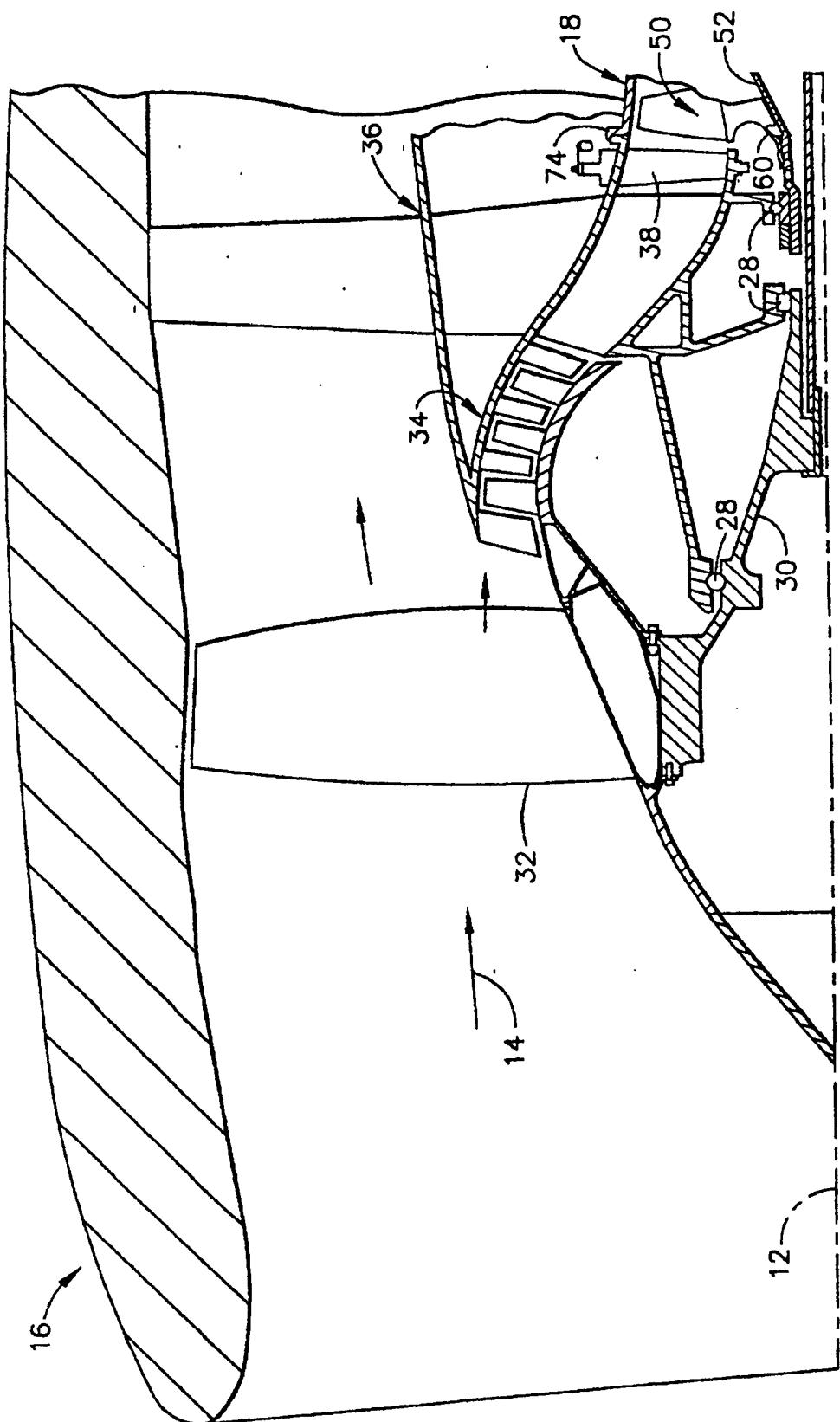


FIG. 2

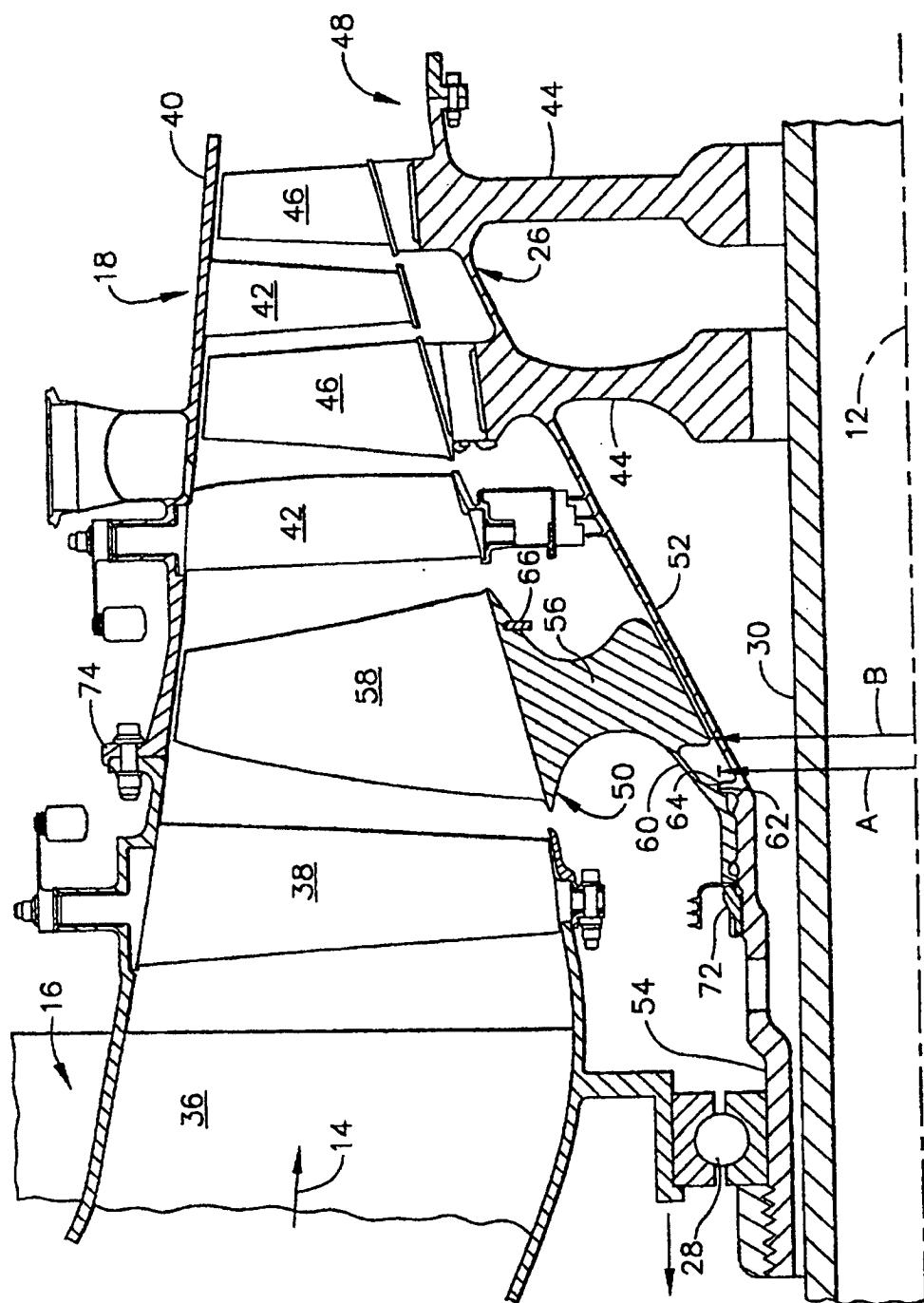


FIG. 3

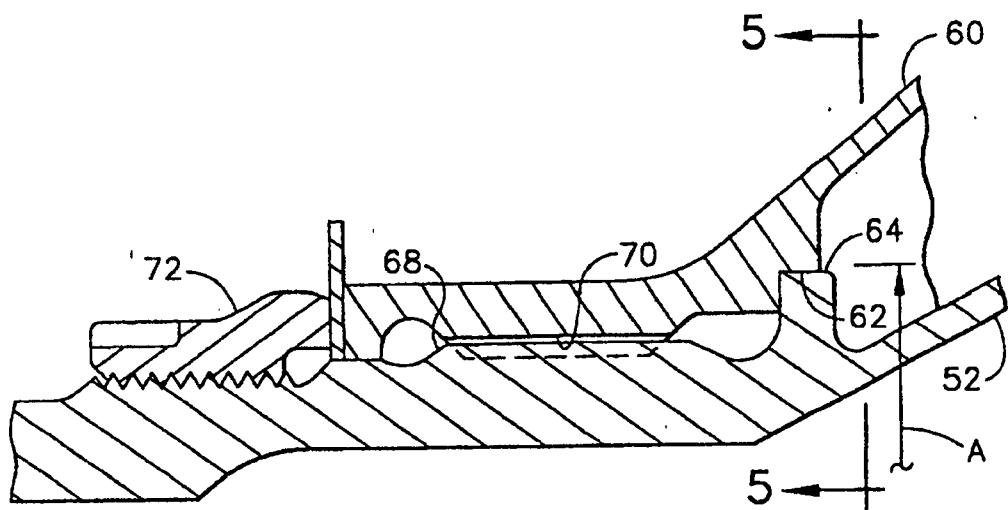


FIG. 4

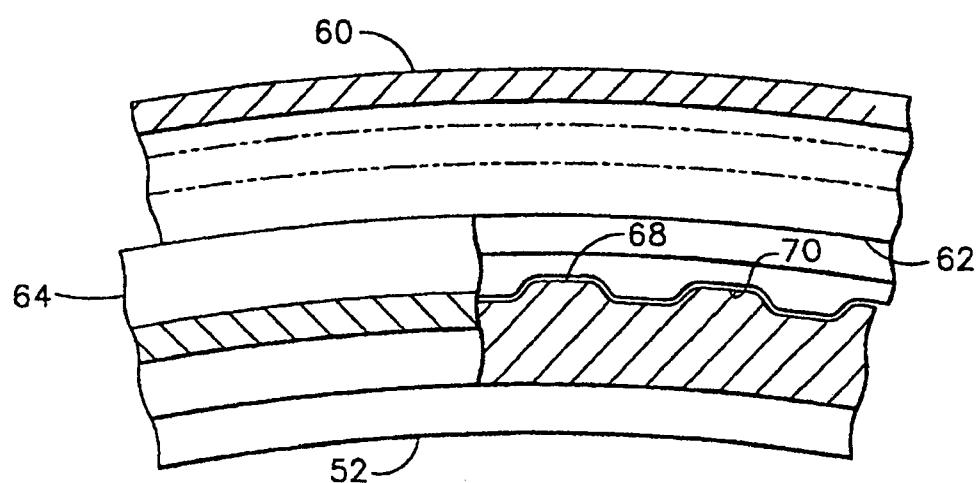


FIG. 5

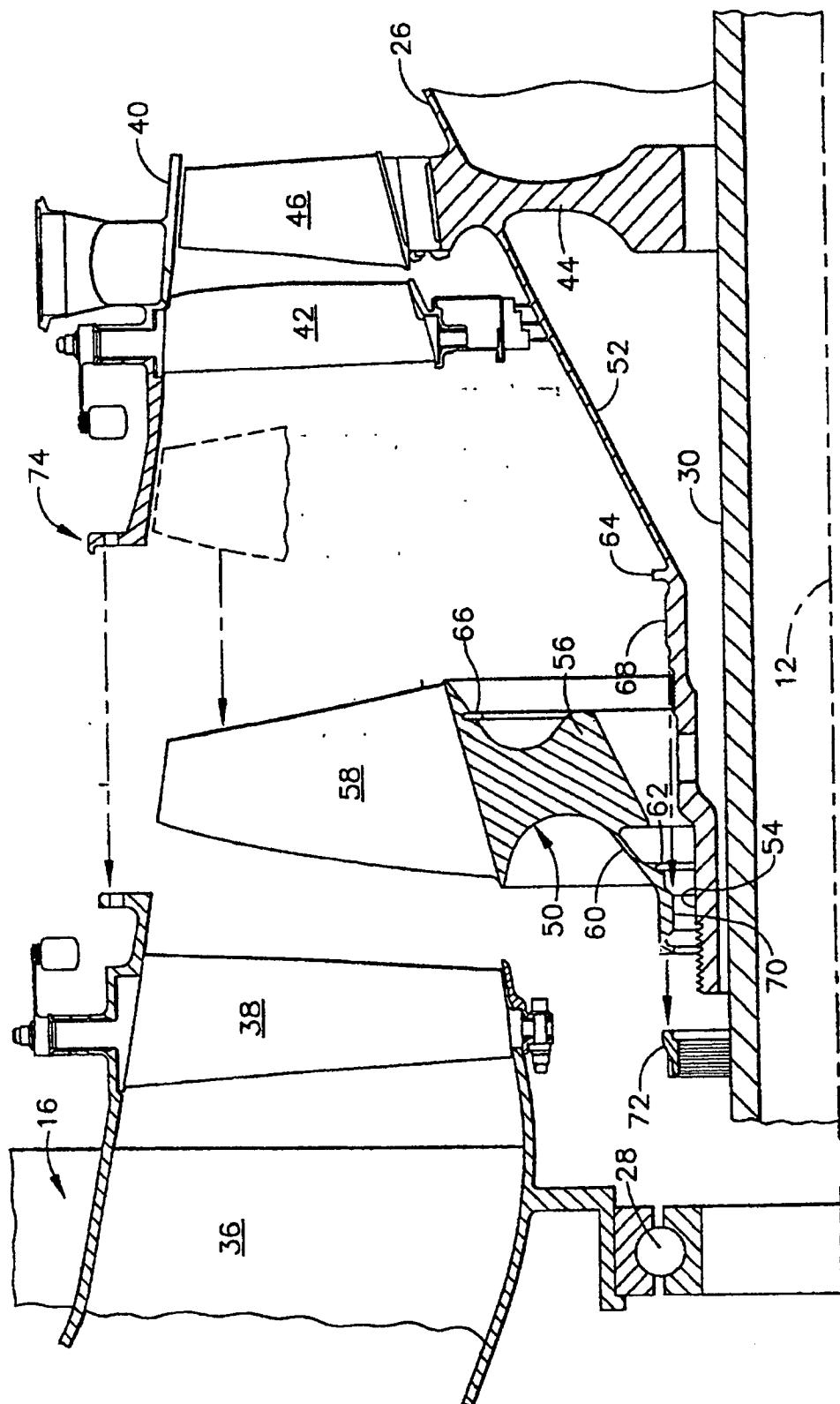


FIG. 6

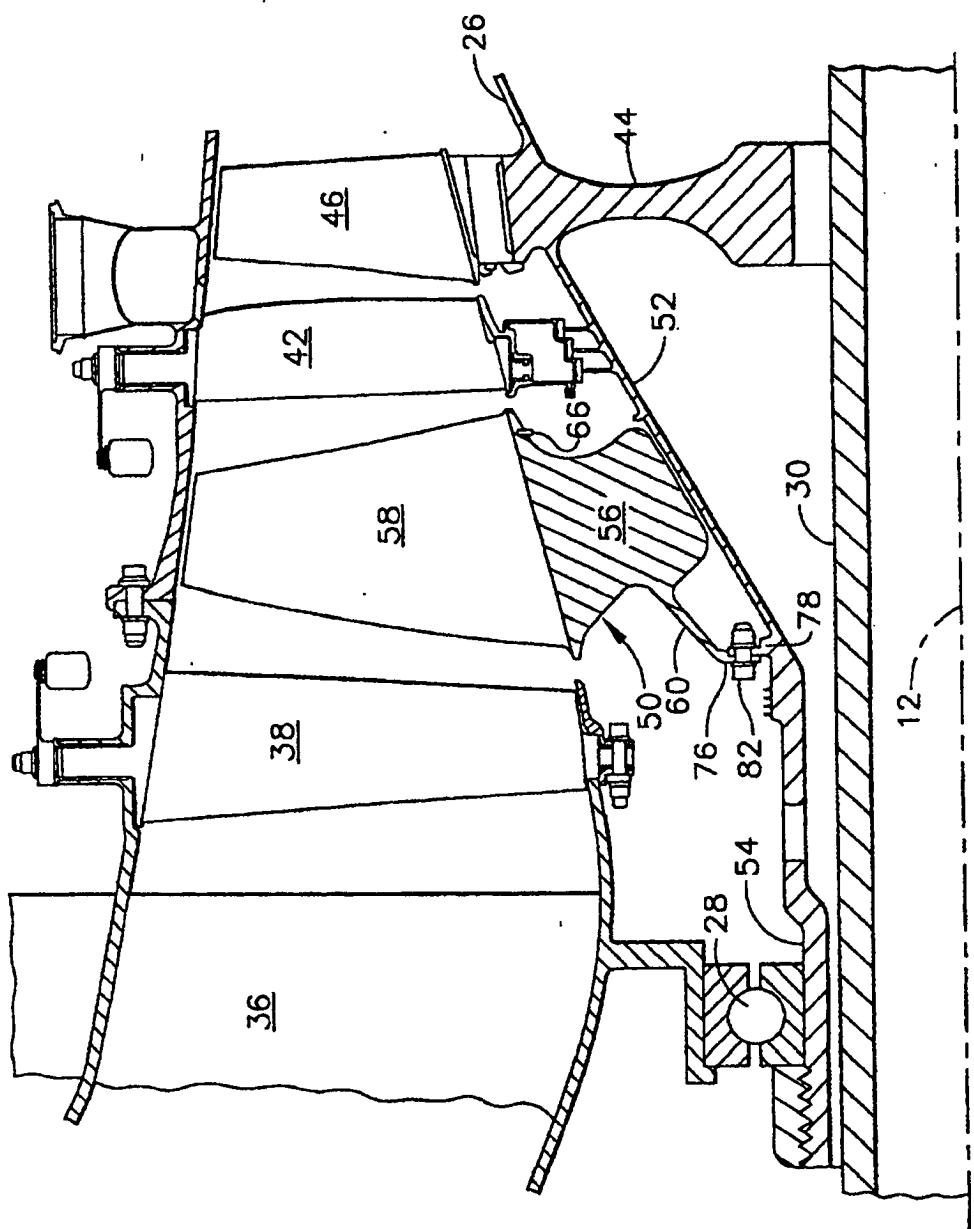


Fig. 7

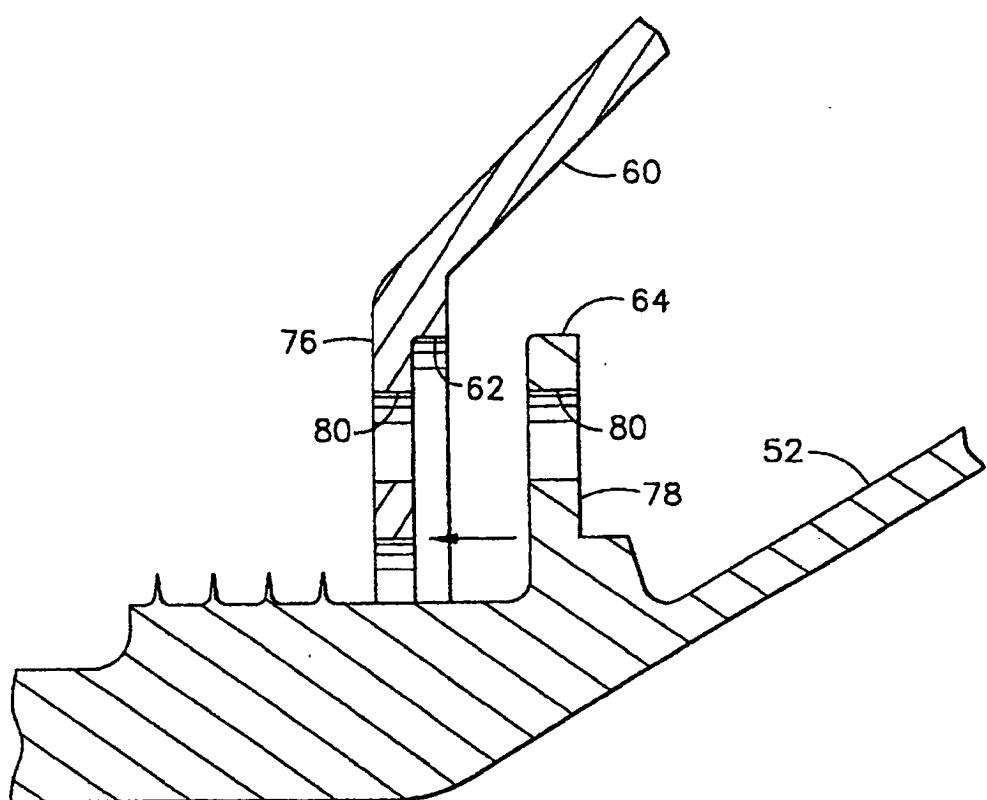


FIG. 8