



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 18 855 T2 2007.05.16

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 188 900 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 18 855.1

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 307 858.9

(96) Europäischer Anmeldetag: 14.09.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 20.03.2002

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 19.04.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 16.05.2007

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: F01D 5/02 (2006.01)  
F16F 15/32 (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**662966** 15.09.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Davis, Brian Michael, West Chester, Ohio 45069, US; Ballman, Steven Mark, West Chester, Ohio 45069, US; McDaniel, Albert Everett, Cincinnati, Ohio 45242, US; Gutknecht, James Edward, Cincinnati, Ohio 45240, US**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(54) Bezeichnung: **Methode zum Auswuchten eines Integralrotors**

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 das Auswuchten von darin enthaltenen Rotoren sowie insbesondere das Auswuchten beschaufelter Scheiben.

**[0002]** Gasturbinentreibwerke enthalten unterschiedliche Rotoren, die typischerweise in Form beschaufelter Scheiben konstruiert sind. Jede Rotor scheibe ist speziell mit einem radial außen angeordneten Rand konfiguriert, von dem aus sich eine Reihe von Schaufeln erstreckt. Ausgehend von dem Rand erstreckt sich ein axial dünnerer Steg radial nach innen und endet in einer axial dickeren Nabe, in der eine mittige Bohrung ausgebildet ist.

**[0003]** Die Scheibe ist um den Umfang herum ununterbrochen und weist eine erhebliche Reifenfestigkeit auf, um den Zentrifugalkräften standzuhalten, die durch die Schaufeln hervorgerufen werden, wenn diese während des Betriebs um eine longitudinale oder axiale mittige Achse der Scheibe rotieren. Die Scheiben sind mit Blick auf maximale Festigkeit und minimale überschüssige Masse gestaltet, um die Schaufeln über eine lange Lebensdauer wirkungsvoll zu tragen.

**[0004]** Die Rotorscheiben sind unterschiedlich gestaltet, um verhältnismäßig große Verdichterrotorschaufelblätter sowie mehrere Reihen von Verdichterschaufelblättern zu tragen, deren Größe abnimmt, um während des Betriebs Luft zu komprimieren. Die Luft wird mit Brennstoff vermischt und gezündet, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen, die durch vielfältige Reihen von Turbinenschaufeln stromabwärts strömen, deren Größe auf den entsprechenden Rotorscheiben zunimmt, die für diese vorgesehen sind.

**[0005]** In einer üblichen Konfiguration weisen die Rotorscheiben entweder durch deren Rand hindurch ausgebildete Axialeingangsschwalbenschwanznuten oder übliche Umfangeingangsschwalbenschwanznuten auf, die entsprechend komplementäre Schaufelblattenschwalbenschwänze aufnehmen, die zum Halt an den Scheiben dienen. In einer anderen üblichen Konfiguration können die Schaufeln einstückig mit dem Rand der Scheibe in Form einer einteiligen oder einstückigen Konstruktion ausgebildet sein, die gewöhnlich abkürzend für den Begriff einteilige "beschaufelte Scheibe" als Blisk (= Bl(adedd)isk) bezeichnet wird.

**[0006]** Der Vorteil der Schwalbenschwanzkonstruktion basiert darauf, dass sich die Schaufeln und die Scheibe voneinander unabhängig herstellen und einfach durch Abmontieren der Schaufeln von der Scheibe reparieren lassen. Allerdings erfordert die

Schwalbenschwanzkonstruktion eine entsprechend größere Scheibe, um den im Betrieb auftretenden unterschiedlichen Druck- und Zentrifugalkräften standzuhalten.

**[0007]** Ein besonderer Vorteil der Konstruktion beschaufelter Scheiben basiert darauf, dass die einstückig ausgebildete Scheibe kleiner sein kann, da keine Schwalbenschwänze verwendet werden, und die Schaufeln einstückig um den Scheibenrand ausgebildet sind. Allerdings sind Reparaturen hierdurch erschwert, da sich die Schaufeln nur schwer einzeln von der Scheibe abnehmen lassen. Kleinere Reparaturen der Schaufel können in der beschaufelten Scheibe erfolgen, jedoch erfordert eine größere Reparatur derselben ein Entfernen durch Abtrennen entsprechender Bereiche beschädigter Schaufeln oder deren vollständige Entfernung, wobei deren Austausch mittels Schweißen oder eines sonstigen metallurgischen Verbindungsverfahrens durchgeführt wird, um die ursprüngliche Festigkeit der beschaufelten Scheibe wiederherzustellen.

**[0008]** Eine weiteres Problem bei der Herstellung einer beschaufelten Scheibe ist deren Auswuchtung. Sämtliche Rotorkomponenten in einem Gasturbinentreibwerk müssen geeignet statisch und dynamisch ausgewuchtet werden, um Rotationsunwuchtlasten während des Betriebs zu minimieren, um Schwingungen zu reduzieren. Die Konstruktion einer Schwalbenschwanzscheibe erlaubt es, den Rotor während der Herstellung zu Beginn auszuwuchten, wobei die einzelnen Schaufeln getrennt hergestellt und passend auf der Scheibe positioniert werden, um die für deren Anordnung sich ergebende Unwucht zu minimieren. Die zusammengebaute Scheibe kann anschließend auf herkömmliche Weise mittels vielfältiger Verfahren zur Korrektur von Unwucht ausgewuchtet werden.

**[0009]** Im Gegensatz dazu sind die typischen Toleranzen bei der Herstellung einzelner Schaufelblätter der beschaufelten Scheibe auf entsprechende Unterschiede ihrer jeweiligen Masse oder Gewicht zurückzuführen. Dies erzeugt wiederum eine Gesamtunwucht der beschaufelten Scheibe, die geeignet zu korrigieren ist.

**[0010]** Herkömmliche Auswuchtmaschinen erfassen eine Unwucht der beschaufelten Scheibe mit einer geeigneten Geschwindigkeit in Form eines Unwuchtkraftvektors, der an einer gemessenen Winkelposition um dem Umfang der beschaufelten Scheibe bezüglich eines beliebigen geeigneten Bezugspunkts einen Massebetrag und einen Radius aufweist. Die gemessene Unwucht kann korrigiert werden, indem entweder Material der beschaufelten Scheibe an der Winkelposition des Unwuchtkraftvektors entfernt wird, oder indem diametral gegenüberliegend davon, z.B. bei 180°, zusätzliches Material hinzugefügt wird.

[0011] Material kann von identifizierten Schaufeln oder in dem Plattformbereich zwischen Schaufeln entfernt werden. Es kann auch Material von Flanschen auf entsprechenden Verlängerungswellen der beschauften Scheibe entfernt werden, die dazu dienen, eine Drehmomentlast aufzunehmen, die auf diese durch die Niederdruckturbine des die beschauften Scheiben antreibenden Triebwerks ausgeübt wird.

[0012] Allerdings erschwert das Identifizieren von Orten, die zur Beseitigung einer ausreichenden Menge von Material geeignet sind, das Auswuchtverfahren, da ein Entfernen von Material die Bruchgrenze der beschauften Scheibe mindern kann, die bei einem ausreichend hohen Wert aufrecht zu erhalten ist, um eine angemessene Nutzungslebensdauer sicherzustellen.

[0013] Das Hinzufügen einer geeigneten Menge von Material zum Auszuwuchten der beschauften Scheibe wirft eigene Probleme auf. In der Praxis ist es gewöhnlich nicht möglich, den Schaufeln oder der Scheibe selbst Material hinzuzufügen, ohne deren Festigkeit zu beeinträchtigen. Statt dessen kann eine Unwuchtkorrektur durch Anbringen gesonderter Auswuchtgewichte an den Passungsflanschen der beschauften Scheibe durchgeführt werden.

[0014] Die GB-A-2 255 138 offenbart eine typische beschaufte Scheibe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0015] Es besteht ein Bedarf nach einer beschauften Scheibe mit einem verbesserten Auswuchtmerkmal. Dies wird mit einer beschauften Scheibe nach Anspruch 1, einem Auswuchtverfahren nach Anspruch 7 und einem Instandsetzungsverfahren nach Anspruch 9 erzielt.

[0016] Gemäß der Erfindung enthält eine beschaufte Scheibe eine Scheibe mit einem Rand, aus dem sich eine Reihe von Schaufeln erstreckt. Der Rand weist einander axial gegenüber liegende Überhänge auf, von denen einer mit einer bogenförmigen Auswuchtfäche ausgebildet ist, die zu der Mittelachse der Scheibe exzentrisch angeordnet ist, um die beschaufte Scheibe auszuwuchten.

[0017] Die Erfindung wird nun anhand von Beispielen mit Bezug auf die Zeichnungen eingehender beschrieben:

[0018] [Fig. 1](#) zeigt eine zum Teil geschnittene, axiale Draufsicht eines mit dreistufigen beschauften Scheiben versehenen Verdichterrotors, der gemäß entsprechenden Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung exzentrische Auswuchtfächen aufweist;

[0019] [Fig. 2](#) zeigt eine isometrische Ansicht der in [Fig. 1](#) veranschaulichten beschauften Scheibe der ersten Stufe mit einer Ausprägung der exzentrischen Auswuchtfäche darin;

[0020] [Fig. 3](#) veranschaulicht anhand einer vergrößerten axialen Querschnittsansicht des vorderen Überhangs des Randes der beschauften Scheibe, wie er in [Fig. 1](#) innerhalb des mit 3 bezeichneten, gestrichelt gezeichneten Kreises gezeigt ist, und außerdem längs der Schnittlinie 3-3 in [Fig. 4](#) das Ausbilden eines Ausführungsbeispiels der exzentrischen Auswuchtfäche.

[0021] [Fig. 4](#) veranschaulicht anhand einer Draufsicht von vorne auf einen hinteren Abschnitt der ersten Stufe der in [Fig. 1](#) veranschaulichten beschauften Scheibe und längs der Schnittlinie 4-4 schematisch in Form eines Arbeitsplans ein exemplarisches Verfahren zum Auswuchten der beschauften Scheibe;

[0022] [Fig. 5](#) zeigt die in [Fig. 4](#) veranschaulichte exzentrische Auswuchtfäche in einer vergrößerten axialen Querschnittsansicht längs der Schnittlinie 5-5, die der Winkelposition des gemessenen Unwuchtvektors der beschauften Scheibe an der exemplarischen 6-Uhr-Stellung entspricht;

[0023] [Fig. 6](#) zeigt in einer vergrößerten axialen Querschnittsansicht den hinteren Überhang des Randes der beschauften Scheibe der zweiten Stufe, der in [Fig. 1](#) innerhalb des mit 6 bezeichneten, gestrichelt gezeichneten Kreis veranschaulicht ist, gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

[0024] [Fig. 7](#) zeigt in einer vergrößerten geschnittenen Ansicht, ähnlich wie in [Fig. 5](#), ein exemplarisches Verfahren der Reparatur der beschauften Scheibe gemäß einem weiteren Merkmal der vorliegenden Erfindung.

[0025] In [Fig. 1](#) ist ein dreistufiger Verdichterrotor 10 dargestellt, der achsensymmetrisch um eine longitudinale oder axiale mittige Achse 12 davon angeordnet ist. Dieses Ausführungsbeispiel ist hinsichtlich einer Flugzeuggasturbine eines Zweikreistriebwerks für militärische Anwendungen konfiguriert und wird durch eine (nicht gezeigte) Niederdruckturbine angetrieben, die geeignet daran angeschlossen ist.

[0026] Der Verdichterrotor 10 enthält eine erste, zweite und dritte beschaufte Scheibe 14, 16, 18, die geeignet miteinander verbunden sind und durch die Niederdruckturbine angetrieben werden, um Umgebungsluft 20 zu komprimieren, die durch diese stromabwärts strömt.

[0027] Die Konstruktion der drei beschauften

Scheiben stimmt im Wesentlichen überein, und es wird die beschaukelte Scheibe **14** der ersten Stufe im Einzelnen erläutert, wobei die beschaukelten Scheiben **16, 18** der zweiten und dritten Stufe bis auf zitierte Abweichungen ähnlich konstruiert sind.

**[0028]** Die beschaukelte Scheibe **14** enthält eine ringförmige Rotorscheibe **22** mit einem vergrößerten radial außen angeordneten Rand **24**, einen sich davon radial nach innen erstreckenden schmaleren Steg **26** und eine breitere radial innenliegende Nabe **28**, die eine mittige Bohrung **30** definiert. Die Scheibe ist eine einstückig ausgebildete oder einteilige Komponente, deren Rand, Steg und Nabe konzentrisch um die Mittelachse **12** angeordnet sind.

**[0029]** Mehrere Rotorblätter oder Strömungsflächen **32** erstrecken sich ausgehend von der äußeren Umfangsfläche des Randes **24** aus in einer mit diesem einteiligen oder einstückigen Anordnung in einer Reihe radial nach außen. Eine derartige einstückige beschaukelte Scheibe kann auf herkömmliche Weise ausgehend von einem geschmiedeten Rohling aus einem Superlegierungswerkstoff hoher Festigkeit hergestellt werden, wie er gewöhnlich für Gasturbinentreibwerksverdichterrotoren verwendet wird, und mittels einer mehrachsigen numerisch gesteuerten Schneidemaschine oder durch elektrochemische Bearbeitung (ECM) geeignet maschinell bearbeitet werden.

**[0030]** Ein besonderer Vorteil der in [Fig. 1](#) veranschaulichten Konstruktion beschauelter Scheiben basiert darauf, dass sich die Größe der Scheibe **22** minimal bemessen lässt, während dennoch ausreichende Reifenfestigkeit für die Aufnahme des erheblichen Drucks und der Zentrifugalkräfte erhalten bleibt, die auf die Schaufeln während des Laufbetriebs ausgeübt werden. Die axiale Weite des Randes **24** ist ausreichend lang, um die Schaufeln **32** an deren Fußenden zwischen An- und Abströmkanten **34, 36** zu tragen, und verschmälert sich in Richtung des schmaleren Stegs **26**, wobei die axiale Weite der Nabe **28** anschließend wächst, um innerhalb akzeptabler Belastungsgrenzen Betriebslasten aufzunehmen, so dass eine angemessene Nutzungslebensdauer der beschaukelten Scheibe sichergestellt ist.

**[0031]** In dieser effizienten strukturellen Konfiguration weist der Rand **24** an einander axial gegenüber liegenden Seiten des Stegs an diesem axial freischwebende erste und zweite axiale Überhänge **38, 40** auf.

**[0032]** Gemäß der vorliegenden Erfindung weist mindestens einer der zwei Überhänge **38, 40** eine bo genförmige Auswuchtfäche **42** auf, die aus der Unterseite des Überhangs radial nach innen ragt und exzentrisch zu der Mittelachse der Scheibe **12** angeordnet ist, um die gesamte beschaukelte Scheibe

auszuwuchten.

**[0033]** In dem in [Fig. 1](#) veranschaulichten exemplarischen Ausführungsbeispiel ist der Rand **24** konisch, wobei der Durchmesser einer äußeren Umfangsfläche zwischen dem ersten Überhang **38** an dem vorderen Ende der Scheibe in Richtung des zweiten Überhangs an dem hinteren Ende der Scheibe wächst. Die Durchmesser der beiden Überhänge sind dementsprechend unterschiedlich, wobei der hintere Überhang größer ist als der vordere Überhang.

**[0034]** Die beschaukelte Scheibe enthält ferner eine ringförmige erste oder vordere Welle **44**, die sich von einer Vorderseite der Nabe **28** aus oder von dem ersten Randüberhang **38** aus radial nach innen erstreckt. Eine ringförmige zweite oder hintere Welle **46** erstreckt sich von einer axial gegenüber liegenden hinteren Seite der Nabe **28** radial innerhalb des zweiten Überhangs **40** des Randes. Die beiden Wellen **44, 46** sind mit der Scheibe in ihrer einteiligen Konstruktion einstückig verbunden und sind geeignet konfiguriert, um in dem Gasturbinentreibwerk eingebaut zu werden.

**[0035]** Beispielsweise ist die vordere Welle **44** dort, wo sie sich von der Scheibe aus nach vorne erstreckt, teilweise konisch ausgebildet, und geht anschließend in einen zylindrischen Abschnitt über, der in geeigneter Weise in einem herkömmlichen Lager **48** in dem Triebwerk montiert wird. Entsprechend ist die hintere Welle **46** im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet und weist an ihrem hinteren Ende einen ringförmigen Flansch auf, der auf eine beliebige geeignete Weise, z.B. durch Befestigungsbolzen, an einem entsprechenden vorderen Wulst der beschaukelten Scheibe **16** der zweiten Stufe an der konischen vorderen Welle der Schaufel zu befestigen ist. Die hintere Welle **46** ist ferner mit einer hinteren Verdichterrotorwelle verbunden, um die dreistufige beschaukelte Scheibenanordnung anzutreiben, wie sie in [Fig. 1](#) veranschaulicht ist.

**[0036]** Die Bezeichnungen der entsprechenden vorderen und hinteren Welle der zweiten und dritten beschaukelten Scheiben **16, 18** sind mit dem entsprechenden Suffix b, c versehen und geeignet konfiguriert, um miteinander in Reihe vereinigt zu werden, so dass der kollektive dreistufige Verdichterrotor gebildet wird, der durch die Niederdruckturbine geeignet angetrieben wird.

**[0037]** In dem in [Fig. 1](#) veranschaulichten exemplarischen Ausführungsbeispiel ist die Auswuchtfäche **42** unter dem ersten Randüberhang **38** angeordnet, wobei die vordere Welle **44** von der Auswuchtfäche radial nach innen beabstandet ist. Die vordere Welle **44** definiert einen Lasttragarm, der dazu dient, Reaktionskräfte von den Schaufeln in das Lager **48** zu

übertragen. Die Auswuchtfäche **42** ist sowohl um die Mittelachse der Scheibe **12** als auch um die vordere Welle **44** exzentrisch angeordnet und ist von dem unmittelbaren Lastpfad der vorderen Welle konstruktionsmäßig entkoppelt, während der radiale Durchmesser der Auswuchtfäche örtlich maximiert ist, um dessen Auswuchteffizienz zu maximieren.

**[0038]** In diesem Ausführungsbeispiel ist die Auswuchtfäche **42** von beiden Wellen **44, 46** durch den dazwischen angeordneten Steg **26** beabstandet und entkoppelt die Auswuchtfäche von dem durch die einstückig ausgebildete Scheibe zwischen den Schaufeln und Wellen hervorgerufenen Lastpfad konstruktionsmäßig auf wirkungsvolle Weise.

**[0039]** Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, ist der vordere Randüberhang **38** direkt unterhalb der Schaufelanströmkanten **34** angeordnet und mit diesen radial fluchtend ausgerichtet. Der zweite Überhang **40** ist direkt unterhalb der Schaufelabströmkanten **36** angeordnet und mit diesen radial fluchtend ausgerichtet. Weiter weist der hintere geneigte konische Rand **24** an dem hinteren Überhang einen größeren Außendurchmesser auf als an dem vorderen Überhang.

**[0040]** Die Auswuchtfäche **42** kann unter dem vorderen und/oder dem hinteren Überhang **38, 40** angeordnet sein, und ist hauptsächlich radial unterhalb der entsprechenden An- und Abströmkanten der Schaufeln angeordnet. Auf diese Weise stellt die Auswuchtfäche eine wirkungsvolle Auswuchtkraft bereit, ohne den strukturellen Belastungspfad zu beeinträchtigen. Weiter kann die Auswuchtfäche, wo der Raum es erlaubt und wo ihre Wirkung maximiert werden kann, unter einem oder beiden Überhängen angeordnet sein.

**[0041]** Ein besonderer Vorteil der Auswuchtfäche **42** ist ihre um den Umfang angeordnete Ausdehnung auf der Unterseite des Randüberhangs, der auf diese Weise seine Auswuchtwirkung ohne Konzentration auf irgend einen örtlichen Bereich ausbreitet. Außerdem beeinträchtigt die Auswuchtfäche weder die Festigkeit der tragenden Wellen **44** oder **46**, noch die Festigkeit der Scheibe selbst, einschließlich des Randes **24**. Außerdem bringt die Auswuchtfäche **42** ein minimales Eigengewicht und eine minimale davon ausgehende Zentrifugalkraft ein, die von der Scheibe **22** während des Betriebs aufzunehmen ist.

**[0042]** Die in [Fig. 2](#) isoliert veranschaulichte erste beschaukelte Scheibe **14** weist die Auswuchtfäche **42** auf, die um die Unterseite des vorderen Überhangs **38** in diesen übergeht. [Fig. 3](#) veranschaulicht einen Abschnitt der Auswuchtfäche **42**, der mit dem Maximalwert ihrer radialen Dicke A ausgebildet ist. [Fig. 4](#) veranschaulicht eine Draufsicht der Auswuchtfäche **42**, deren radiale Dicke um den Umfang des Scheibenrands **24** herum variiert, und [Fig. 5](#) zeigt die

Minimaldicke der Auswuchtfäche **42**, die spanabhebend bearbeitet ist, wo sie im Wesentlichen bündig in die Unterseite des vorderen Überhangs **38** übergeht.

**[0043]** Wie in [Fig. 1](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) zu sehen, schließen sich der Rand **24** und entsprechende Wellen **44, 46** auf gegenüberliegenden axialen Seiten des gemeinsamen Stegs **26** an entsprechenden Streifen **50** an diesen an, wobei die Streifen **50** verhältnismäßig große Radien aufweisen, um dort Spannungskonzentrationen zu reduzieren.

**[0044]** Jedoch weist die Unterseite des vorderen Überhangs **38** in der Regel für das Hinzufügen der Auswuchtfäche **42** selbst einen größeren Innendurchmesser auf, um sanft in die entsprechenden Streifen überzugehen, ohne dazwischen Oberflächendiskontinuität oder Stufen zu bilden.

**[0045]** Wie in den [Fig. 3–Fig. 5](#) gezeigt, weist der vordere Überhang einen nominalen Innendurchmesser B auf, der der Unterseite des vorderen Überhangs vor dem Hinzufügen von Material zum Erzeugen der Auswuchtfäche **42** entspricht. Dieser Referenzdurchmesser B entspricht dem minimalen Durchmesser des vorderen Überhangs, der einen um den Umfang herum ununterbrochenen Reifen aus Material aufweist, der der Scheibe Reifenfestigkeit verleiht.

**[0046]** Die Auswuchtfäche **42** wird erzeugt, indem zusätzliches Material vorgesehen wird, das aus der Unterseite des vorderen Überhangs radial nach innen vorspringt, der speziell konfiguriert ist, um den schematisch in [Fig. 4](#) veranschaulichten speziellen Unwuchtkraftvektor F der beschaukelten Scheibe auszuwuchten.

**[0047]** Entsprechend variiert die radiale Dicke A der in [Fig. 4](#) veranschaulichten exzentrischen Auswuchtfäche **42** von einer Maximaldicke, die der auszuwuchtenden Unwuchtkraft F diametral gegenüberliegt, bis zu einer Minimaldicke, die in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel in dem Bereich der Unwuchtkraft F im Wesentlichen bündig mit dem Streifen ist.

**[0048]** Eine in [Fig. 4](#) schematisch veranschaulichte herkömmliche Auswuchtmaschine **52** kann zum Antrieb der beschaukelten Scheibe verwendet werden, um deren Unwuchtkraft F zu erfassen, wie sie durch einen Betrag einer Masse bei einem von der Mittellinie der Scheibe aus gemessenen speziellen Radius, beispielsweise in Grammzoll, und an einer speziellen Winkelposition C bezüglich eines geeigneten Bezugspunkts repräsentiert ist. Durch Einführen einer Exzentrizität in der Auswuchtfäche **42** kann die gemessene Unwucht diametral gegenüberliegend versetzt werden, um die gesamte beschaukelte Scheibe auszuwuchten.

**[0049]** [Fig. 3](#) veranschaulicht die Auswuchtfäche **42** an der 12-Uhr-Stellung nach [Fig. 4](#) diametral gegenüberliegend zu der an der 6-Uhr-Stellung gemessenen Unwuchtkraft  $F$ , wo die von dem Referenzdurchmesser **B** aus gemessene Dicke  $A$  der Auswuchtfäche maximal ist und auf diese Weise an dieser Stelle des Streifens **50** eine radial nach innen vorspringende Schulter **54** erzeugt. [Fig. 5](#) veranschaulicht die Auswuchtfäche **42** an der 6-Uhr-Stellung nach [Fig. 4](#), die der Winkelposition der gemessenen Unwuchtkraft  $F$  entspricht, wo die Dicke der Auswuchtfäche minimal und vorzugsweise Null ist, um an dem Unwuchttort einen im Wesentlichen bündigen Übergang der Auswuchtfäche zu schaffen und an entgegengesetzten Seiten (des Unwuchttorts) in Umfangsrichtung sanft anzuwachsen.

**[0050]** Auf diese Weise ist die Auswuchtfäche **42** um entgegengesetzte Seiten der Stelle der Minimaldicke um den Umfang herum kontinuierlich verteilt und endet effektiv dort, wo sie der nominalen Unterseite des vorderen Überhangs **38** entspricht, die andernfalls erzeugt werden würde, wenn überhaupt keine Auswuchtfäche vorhanden wäre.

**[0051]** Die Auswuchtfäche ist vorzugsweise in der beschauften Scheibe an dem in der Praxis maximal möglichen Durchmesser bezüglich der Mittelachse der Scheibe eingeführt, um die Kapazität der Auswuchtfäche zum Versetzen der gemessenen Unwucht mittels einer minimalen zusätzlichen Masse maximieren zu können. Obwohl die in [Fig. 1](#) veranschaulichte Auswuchtfäche alternativ unter dem hinteren Überhang **40** mit dem größeren Durchmesser eingeführt werden könnte, ist dies in diesem speziellen Konstruktionsentwurf mit Blick auf eine in diesem Bereich angeordnete herkömmliche Schwingungsdämpfungseinrichtung in der Praxis nicht durchführbar. Daher ist die Auswuchtfäche **42** unter dem vorderen Überhang **38** mit dem kleineren Durchmesser eingeführt und ist vorzugsweise in einer im Wesentlichen parallel zu der Mittelachse der Scheibe verlaufenden Konfiguration zylindrisch ausgebildet.

**[0052]** Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, kann die Wirkung der Auswuchtfäche **42** maximiert werden, indem ihre Fläche innerhalb des durch den Randüberhang vorgesehenen beschränkten Raums maximiert wird. An dieser bevorzugten Stelle erstreckt sich die Auswuchtfäche kontinuierlich in axialer Richtung von der exponierten Vorderkante oder Stirnseite des Scheibenrandes unter den vorderen Überhang, um das vordere Ende des an den Steg **26** angrenzenden Streifens **50** zu berühren. Weiter erstreckt sich die Auswuchtfäche, wie in [Fig. 4](#) veranschaulicht, außerdem in Umfangsrichtung kontinuierlich von ihrer Maximaldicke zu ihrer Minimalkdicke, wo sie endet und mit dem darunterliegenden Randüberhang bündig ist.

**[0053]** [Fig. 3–Fig. 5](#) veranschaulichen ein exemplarisches Verfahren zum Auswuchten der beschauften Scheibe mittels einer bevorzugten Ausprägung der exzentrischen Auswuchtfäche **42**. Die beschaufelte Scheibe selbst wird zu Beginn hinsichtlich ihrer endgültigen Konfiguration innerhalb typischer Herstellungstoleranzen einschließlich der gesamten Reihe von Schaufeln und der tragenden Scheibe sowie der einstückigen Wellen erzeugt. Die anfängliche beschaufelte Scheibe ist ferner unter dem Überhang mit zusätzlichem Material versehen, das dazu dient, die exzentrische Auswuchtfäche zu erzeugen. Jede beliebige herkömmliche Werkzeugmaschine **56**, beispielsweise eine mehrachsige numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, kann dafür eingesetzt werden, um zu Beginn die Auswuchtfäche zu konfigurieren, bevor deren spezielle exzentrische Konfiguration erzeugt wird.

**[0054]** Insbesondere wird die beschaufelte Scheibe zunächst spanabhebend bearbeitet, um eine anfängliche Auswuchtfäche **42b** hervorzubringen, die ringförmig und vorzugsweise konzentrisch mit dem Überhang des Scheibenrands ist. Die anfängliche Auswuchtfäche **42b** ist mit vielfältigen Einzelheiten in [Fig. 3–Fig. 5](#) veranschaulicht. Die anfängliche Auswuchtfäche weist eine bezüglich des nominalen Innendurchmessers **B** des Randüberhangs gemessene radiale Dicke  $A$  auf, die andernfalls ohne das Hinzufügen der Auswuchtfäche konfiguriert sein würde.

**[0055]** Die anfängliche Auswuchtfäche **42b** wird vorzugsweise konzentrisch zu der Mittelachse der Scheibe ausgebildet, so dass sie in ihrer anfänglichen Gestalt der gesamten beschauften Scheibe keine, oder nur geringe Unwucht hinzufügt.

**[0056]** Die beschaufelte Scheibe wird anschließend in der Auswuchtmachine montiert und in rasche Drehung versetzt, um ihre Unwucht zu erfassen, wie sie durch den in [Fig. 4](#) veranschaulichten resultierenden Unwuchtvektor  $F$  wiedergegeben ist, der gewöhnlich in Grammzoll an der speziellen Winkelposition **C** angegeben wird. In dem in [Fig. 4](#) veranschaulichten exemplarischen Ausführungsbeispiel ist die gemessene Unwucht  $F$  an der 6-Uhr-Stellung der beschauften Scheibe angeordnet und erfordert daher effektiv diametral gegenüberliegend dazu an der 12-Uhr-Stellung eine Korrektur.

**[0057]** Durch eine bezüglich der Mittelachse der Scheibe exzentrische spanabhebende Bearbeitung der anfänglichen ringförmigen Auswuchtfäche **42b** kann die übrige Masse der exzentrischen Auswuchtfäche **42** bezüglich der gemessenen Unwuchtkraft  $F$  diametral versetzt werden, um die betreffende Unwucht zu versetzen und die gesamte beschaufelte Scheibe wirkungsvoll auszuwuchten.

**[0058]** In einem in [Fig. 4](#) veranschaulichten bevor-

zugten Ausführungsbeispiel weist die anfängliche Auswuchtfäche **42b** einen anfänglichen Innendurchmesser D auf, und die exzentrische Auswuchtfäche weist einen endgültigen Innendurchmesser E auf, der gegenüber der Mittelachse der Scheibe um einen vorbestimmten Exzentrizitätsversatz G exzentrisch versetzt ist.

**[0059]** Durch spanabhebende Bearbeitung der konzentrischen anfänglichen Auswuchtfäche **42b** hinsichtlich eines größeren Durchmessers, um die exzentrische Auswuchtfäche **42** zu bilden, kann der Schwerpunkt der übrigen exzentrischen Auswuchtfäche genau gegenüberliegend zu dem gemessenen Unwuchtkraftvektor F verlagert werden, um die beschaufelte Scheibe auszuwuchten. Die exzentrische Auswuchtfäche erstreckt sich innerhalb des Innendurchmessers des Randüberhangs um den Umfang herum und bringt hinsichtlich des Reifens keine Spannungskonzentration ein und behält die vollkommene Reifenkontinuität um den Umfang des Randüberhangs bei, so dass dessen volle Reifenfestigkeit zum Tragen der Schaufeln während des Laufbetriebs aufrecht erhalten bleibt.

**[0060]** In dem in [Fig. 3](#)–[Fig. 5](#) veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispiel wächst der Innendurchmesser der Auswuchtfäche von seinem anfänglichen konzentrischen Durchmesser D zu seinem endgültigen größeren Durchmesser E, und der Exzentrizitätsversatz G ist vorzugsweise ungefähr gleich der halben Vergrößerung des Innendurchmessers, d.h. gleich der Hälfte der Differenz von E und D. Auf diese Weise wird die in [Fig. 3](#) veranschaulichte Schulter **54** an der Maximaldicke der Auswuchtfäche **42** erzeugt, und die Schulter wird an der Minimaldicke der in [Fig. 5](#) veranschaulichten Auswuchtfäche eliminiert, wo die Auswuchtfäche endet und mit der Unterseite des Randüberhangs **38** bündig ist. Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, variiert die Dicke A der Auswuchtfäche **42** bzw. nimmt um den Umfang herum entlang beider gegenüberliegender Seiten der Auswuchtfäche von ihrer Maximaldicke an der 12-Uhr-Stellung bis zu der Minimaldicke von Null an der 6-Uhr-Stellung ab.

**[0061]** Diese Konfiguration ermöglicht viele Vorteile, beispielsweise die Aufrechterhaltung der Reifenfestigkeit des Randüberhangs, unter dem die Auswuchtfäche eingeführt ist. Ein Verjüngen der Auswuchtfäche auf eine minimale Dicke von Null gewährleistet die leichteste Konfiguration der verbleibenden Auswuchtfäche, so dass deren von der Scheibe während des Laufbetriebs zu tragendes Eigengewicht reduziert ist.

**[0062]** In einer beschaufelten Scheibe, die nicht für den Betrieb in der Niederdruckturbine eines Gasturbinentreibwerks, sondern speziell für den Betrieb in einem Verdichterrotor des Triebwerks konfiguriert ist,

schafft der in [Fig. 5](#) veranschaulichte stufenlose Übergang einen Dränagepfad für Feuchtigkeit oder sonstige Fluide, die sich innerhalb der Tasche unter dem Randüberhang ansammeln könnten, und erlaubt deren Dränage durch die Zentrifugalkraft.

**[0063]** Die exzentrische Auswuchtfäche **42** ist außerdem entlang der Unterseite des Randüberhangs verborgen und beeinflusst weder das aerodynamische Verhalten der äußeren Umfangsfläche des Rades, noch die strukturelle Integrität des Scheibenrandes, noch den durch die Scheibe zu den tragenden Wellen verlaufenden Lastpfad. Außerdem ist das Auswuchtmittel durch ein Einführen der Auswuchtfäche unter einem und/oder beiden Randüberhängen verhältnismäßig nahe an der Unwuchtebene angeordnet, um auf diese Weise eine Unwucht mit minimalem Kraftmoment in der beschaufelten Scheibe zu korrigieren.

**[0064]** Wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) zu sehen, ist der vordere Streifen **50** an dem Steg **26** zwischen der Verbindungsstelle des ersten Randüberhangs **38** und der vorderen Welle maschinell ausgebildet. Die anfängliche Auswuchtfäche **42b** wird zunächst konzentrisch um die Mittelachse der Scheibe mit einer im Wesentlichen konstanten radialen Dicke A spanabhebend ausgebildet, wobei an dem Streifen **50** die radial nach innen zugewandte Schulter **54** entsteht. Anschließend wird die anfängliche Auswuchtfäche **42b** hinsichtlich ihres größeren Durchmessers E und mit dem Exzentrizitätsversatz G spanabhebend so ausgebildet, dass die radiale Stufe **54** in einem Umfangsabschnitt des Streifens, beispielsweise an der in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) veranschaulichten 6-Uhr-Stellung, weitgehend eliminiert ist.

**[0065]** In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann die effektive Unwuchtkorrektur der exzentrischen Auswuchtfäche für einen Bereich von Maximaldicken der Auswuchtfäche auf analytischem Wege im Voraus bestimmt werden. Beispielsweise kann der Maximalwert der Dicke A der Auswuchtfäche bis etwa 27 mm (50 Tausendstel Zoll) betragen, und der mitwirkende Exzentrizitätsversatz G kann gleich der Hälfte der Maximaldicke, oder in diesem Beispiel 0,64 mm (25 Tausendstel Zoll), sein. Die exzentrische Auswuchtfäche stellt eine Versatzmasse bereit, die in den gleichen Einheiten wie die Unwuchtkraft, z.B. Newtonmeter (Grammzoll), an einer durch ihre Symmetrieebene gekennzeichneten Winkelposition angegeben werden kann.

**[0066]** In einem typischen Beispiel weist der gemessene Unwuchtkraftvektor einen Betrag innerhalb der Auswuchtkapazität der anfänglichen Auswuchtfäche auf. Beispielsweise kann die Unwuchtkraft F an der in [Fig. 4](#) veranschaulichten 6-Uhr-Stellung einen Wert von 0,02491 Nm (100 Grammzoll) aufweisen. Und eine Auswuchtfäche mit 27 mm (50 Tausendstel Zoll)

kann einen Auswuchtbetrag aufweisen, der wesentlich größer ist als die Unwuchtkraft.

**[0067]** Dementsprechend kann die anfängliche ringförmige Auswuchtfäche **42b** in dem in den [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispiel zuerst hinsichtlich eines geeigneten größeren Wert ihres Durchmessers D spanabhebend bearbeitet werden, indem zu Beginn überschüssiges Material mit einer radialen Dicke H entfernt wird. Auf diese Weise wird die übrige Maximaldicke A der ringförmigen anfänglichen Auswuchtfäche **42b** zu Beginn so reduziert, dass die sich ergebende Korrektur einer Unwucht der gemessenen Unwuchtkraft F entspricht. Die Unwuchtkraft F kann anschließend in der Auswuchtmachine von neuem ermittelt werden, um die Genauigkeit der Unwuchtkraft nach der Reduzierung der Dicke der anfänglichen Auswuchtfäche zu gewährleisten.

**[0068]** Anschließend wird die anfängliche Auswuchtfäche ausgehend von ihrem größeren Durchmesserwert D ausgehend zu dem entsprechend größeren Durchmesser E mit dem entsprechenden Versatz G, der das halbe Anwachsen des Innendurchmessers der Auswuchtfäche repräsentiert, von neuem spanabhebend bearbeitet. Die sich ergebende exzentrische Auswuchtfäche **42** wird dann eine Korrekturkraft einbringen, die im Wesentlichen der gemessenen Unwuchtkraft F entspricht, um jene Unwucht diametral gegenüberliegend zu versetzen und die gesamte beschaukelte Scheibe wirkungsvoll auszuwuchten.

**[0069]** In dem in den [Fig. 1–Fig. 5](#) veranschaulichten exemplarischen Ausführungsbeispiel wird die Auswuchtfäche **42** unter dem vorderen Überhang **38** eingeführt, um die gesamte beschaukelte Scheibe **14** der ersten Stufe wirkungsvoll auszuwuchten.

**[0070]** In einer Abwandlung könnte die Auswuchtfäche unter dem hinteren Überhang **40** der beschaukelten Scheibe, wo Raum vorhanden ist, eingeführt werden. Da in diesem Bereich der ersten beschaukelten Scheibe **14** eine (nicht dargestellte) Schaufeldämpfungseinrichtung angeordnet ist, ist die Auswuchtfäche **42** statt dessen unter dem vorderen Überhang angeordnet. Allerdings erlaubt in der in [Fig. 1](#) veranschaulichten beschaukelten Scheibe **16** der zweiten Stufe der hintere Überhang **40** die Einführung der mit **42c** bezeichneten Auswuchtfäche darunter.

**[0071]** [Fig. 6](#) veranschaulicht dieses abgewandelte Ausführungsbeispiel detaillierter, bei dem der hintere Überhang **40** sowohl hinsichtlich seiner Außen- als auch Innenflächen konisch ist. Weiter ist die Auswuchtfäche **42c** mit einem entsprechenden Konus ausgebildet, um der Kontur der inneren Oberfläche des hinteren Überhangs zu entsprechen, so dass

über die axiale Weite der Auswuchtfäche eine im Wesentlichen konstante Dicke aufrecht erhalten ist. die konische Auswuchtfäche **42c** ist jedoch im Übrigen ähnlich der oben beschriebenen zylindrischen Auswuchtfäche **42** und ist in ähnlicher Weise bezüglich der Mittelachse der Scheibe exzentrisch angeordnet, um eine Korrekturauswuchtkraft einzubringen, so dass die gemessene Unwucht der beschaukelten Scheibe **16** der zweiten Stufe verlagert wird.

**[0072]** Da die konische Auswuchtfäche **42c** in der zweiten beschaukelten Scheibe **16** nicht an dem mit dem kleineren Durchmesser ausgebildeten vorderen Überhang sondern an dem hinteren Überhang **40** mit dem größeren Durchmesser eingeführt ist, ist die Auswuchtwirkung des Stegs größer, und dessen Abmessungen können entsprechend reduziert werden, um das in die beschaukelte Scheibe eingeführte Eigengewicht des Auswuchtfächensmerkmals selbst weiter zu minimieren.

**[0073]** [Fig. 1](#) veranschaulicht ferner eine mit **42d** bezeichnete weitere zylindrische Form der exzentrischen Auswuchtfäche, die unter dem hinteren Überhang **40** der beschaukelten Scheibe **18** der dritten Stufe angeordnet ist. Angesichts der größeren Konstruktion des Streifens der dritten beschaukelten Scheibe **18** kann die zylindrische Auswuchtfäche **42d** ohne Stufen an dem Streifen um den gesamten Umfang der Scheibe exzentrisch zu der Mittelachse der Scheibe ausgebildet werden.

**[0074]** Ein weiterer Vorteil der Einführung der Auswuchtfäche in ihren unterschiedlichen Ausprägungen entlang der Unterseite des vorderen und/oder des hinteren Überhangs der Scheibe ist die Erleichterung einer Reparatur der beschaukelten Scheibe nach einer langen Nutzungsdauer und die Möglichkeit der erneuten Ausbildung der Auswuchtfäche für ein erneutes Auswuchten der reparierten beschaukelten Scheibe, ohne die Festigkeit der beschaukelten Scheibe zu beeinträchtigen.

**[0075]** [Fig. 7](#) veranschaulicht denselben Abschnitt der in [Fig. 5](#) veranschaulichten beschaukelten Scheibe der ersten Stufe, der einem Reparaturverfahren unterworfen wird, gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Eine oder mehrere Schaufeln **32** werden möglicherweise während der Wartung beispielsweise durch Fremdkörperschaden (FOD = Foreign Object Damage) beschädigt. Zumindest eine der Schaufeln **32** kann auf eine beliebige geeignete Weise repariert werden, beispielsweise, indem ein Teil der Schaufel oder die Schaufel als Ganzes entfernt wird, und ein solcher Teil oder die gesamte Schaufel durch ein Ersatzteil ersetzt wird, das metallurgisch geeignet an seinem Ort durch Schweißen oder durch eine sonstige geeignete Technik befestigt wird. Die in dieser Weise reparierte beschaukelte Scheibe muss anschließend vor Rückga-

be an die Wartung erneut geeignet ausgewuchtet werden.

**[0076]** Dies kann erreicht werden, indem die Wuchtfläche **42** an dem entsprechenden Überhang **38** konzentrisch zu dem Scheibenrand wiederhergestellt wird, so dass wieder eine neue Gestalt der exzentrischen Auswuchtfäche erzeugt werden kann.

**[0077]** Die reparierte beschaukelte Scheibe mit der wiederhergestellten konzentrischen anfänglichen Auswuchtfäche **42b** kann anschließend in derselben Weise wie oben beschrieben ausgewuchtet werden, indem die Unwucht gemessen wird und die wiederhergestellte Wuchtfläche **42** anschließend spanabhebend bearbeitet wird, um die exzentrische Korrektur daran zu bewirken.

**[0078]** In dem in [Fig. 7](#) veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispiel kann die Auswuchtfäche mit einem ausreichend dicken anfänglichen Maß wiederaufgebaut werden; indem mittels Plasmaspritzablagerung zusätzliches metallisches Material **58** entlang der Unterseite des Randüberhangs aufgebracht wird, um dessen Innendurchmesser zu vermindern. Ein beliebiges Verfahren herkömmlicher Plasmaspritzablagerung kann verwendet werden, um die Wuchtfläche wiederaufzubauen, ohne die Materialeigenschaften oder Festigkeit der Scheibe zu beeinträchtigen. Weiter kann eine geeignete Wärmebehandlung der beschaukelten Scheibe eingesetzt werden, um die Materialeigenschaften im Bedarfsfall zu verbessern.

**[0079]** Anschließend kann die wiederhergestellte Wuchtfläche hinsichtlich der geeigneten Form der ringförmigen anfänglichen Auswuchtfäche **42b** konzentrisch zu dem Rand spanabhebend bearbeitet werden, bevor die reparierte beschaukelte Scheibe erneut ausgewuchtet wird.

**[0080]** Auch hier kann die in dieser Weise reparierte beschaukelte Scheibe zusammen mit der wiederaufgebauten anfänglichen Auswuchtfäche **42b** anschließend in derselben Weise wie oben beschrieben erneut ausgewuchtet werden, indem die Unwuchtkraft gemessen wird und die anfängliche Auswuchtfäche mittels spanabhebender Bearbeitung in die erforderliche exzentrische Form gebracht wird, um die gemessene Unwucht zu verlagern.

**[0081]** Die oben beschriebene exzentrische Auswuchtfäche, in ihren vielfältigen Ausprägungen, lässt sich ohne weiteres in im Übrigen herkömmlichen beschaukelten Scheiben verwenden, die an einem beliebigen geeigneten Ort zum Gebrauch in dem Gasturbinentreibwerk bestimmt sind. Die exzentrische Auswuchtfäche wird an einem verhältnismäßig großen Durchmesser längs der Unterseite jedes Randüberhangs angeordnet, so dass ihre Effizienz maxi-

miert wird, während die Menge an Masse, die für die Bewirkung der Korrektur der Unwucht erforderlich ist, minimiert ist.

**[0082]** Die Auswuchtfäche erstreckt sich um den Rand herum in einer von einem maximalen zu einem minimalen Wert abnehmenden Dicke und geht bündig in die Unterseite des Randes über und führt keine Reifenspannungskonzentrationen in die beschaukelte Scheibe ein. Weiter ist die Auswuchtfäche strukturell von dem zwischen den Schaufeln und den tragenden Wellen verlaufenden Lastpfad entkoppelt und verringert nicht deren Festigkeit. Die durch die Einführung der Auswuchtfäche selbst hervorgerufene zusätzliche Last wird problemlos durch die Scheibe hindurch übertragen, ohne die Spannung darin während des Laufbetriebs merklich zu steigern.

## Patentansprüche

1. Beschaufelte Scheibe (**14**) mit:  
einer ringförmigen Scheibe (**22**), die einen Rand (**24**), einen Steg (**26**) und eine Nabe (**28**) aufweist, die um eine axiale mittige Achse (**12**) konzentrisch angeordnet sind,  
einer Reihe von Schaufeln (**32**), die sich von dem Rand radial nach außen erstrecken, wobei der Rand bei der beschaukelten Scheibe (**14**) außerdem an einander axial gegenüber liegenden Seiten des Stegs einen ersten und einen zweiten Überhang (**38, 40**) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass einer der Überhänge eine bogenförmige Auswuchtfäche (**42**) aufweist, die davon ausgehend radial nach innen weist und zu der Mittelachse der Scheibe exzentrisch angeordnet ist, um die beschaukelte Scheibe auszuwuchten.

2. Beschaufelte Scheibe nach Anspruch 1, mit einer Hohlwelle (**44**), die mit der Scheibe (**22**) einstückig verbunden und bezüglich des Rands (**24**) radial innen sowie von der Auswuchtfäche (**42**) entfernt angeordnet ist.

3. Beschaufelte Scheibe nach Anspruch 2, bei der die Auswuchtfäche (**42**) um den Rand (**24**) herum in ihrer radialen Dicke variiert.

4. Beschaufelte Scheibe nach Anspruch 1 mit:  
einer ringförmigen Scheibe (**22**), die einen konischen Rand (**24**), eine erste Welle (**44**), die sich von der ersten Seite der Nabe weg erstreckt, und eine zweite Welle (**46**) aufweist, die sich von einer gegenüber liegenden Seite der Nabe weg erstreckt, wobei alle um eine axiale Zentralachse (**12**) konzentrisch angeordnet sind,  
wobei jede Schaufel eine Anströmkante und eine Abströmkante (**34, 36**) aufweist und  
wobei der Rand (**24**) einen ersten Überhang (**38**) aufweist, der die erste Welle umgibt, wobei der zweite Überhang (**40**) die zweite Welle umgibt.

5. Beschaufelte Scheibe nach Anspruch 4, bei der die Auswuchtfäche (**42**) in ihrer Dicke in Umfangsrichtung entlang des Rands (**24**) variiert.

6. Beschaufelte Scheibe nach Anspruch 5, bei der der Rand (**24**) und die Wellen (**44, 46**) an entsprechenden Streifen (**50**) in den Steg (**26**) übergehen, wobei die Auswuchtfäche (**42**) in ihrer radialen Dicke von einer Maximaldicke ausgehend variiert, um an einem der Streifen eine radiale Stufe (**54**) auf eine Minimaldicke zu bilden, die in den Streifen übergeht.

7. Verfahren zum Auswuchten einer beschaufelten Scheibe nach Anspruch 1, 3 oder 4, bei dem:  
die beschaufelte Scheibe (**14**) zu Beginn mit einer ringförmigen Wuchtfläche (**42b**) unter dem Rand (**24**) versehen wird,  
die Unwucht der beschaufelten Scheibe gemessen wird und  
die anfängliche Wuchtflächenexzentrizität angepasst wird, um die gemessene Unwucht zu verlagern und die beschaufelte Scheibe auszuwuchten.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem außerdem:  
zunächst die anfängliche Wuchtfläche (**42b**) konzentrisch zu dem Rand (**24**) ausgerichtet wird,  
und danach die anfängliche Wuchtfläche (**42b**) an einen größeren Innendurchmesser angepasst wird, wobei ein Exzentrizitätsversatz erzeugt wird, der ungefähr gleich der halben Vergrößerung des Innendurchmessers ist.

9. Verfahren der Reparatur einer beschaufelten Scheibe gemäß Anspruch 1 oder 4, bei dem:  
wenigstens eine der Schaufeln (**32**) repariert wird,  
die Wuchtfläche (**42b**) konzentrisch zu dem Rand (**24**) wiederhergestellt wird,  
die Unwucht der reparierten beschaufelten Scheibe gemessen wird und  
die wiederhergestellte Wuchtfläche exzentrisch angepasst wird, um die gemessene Unwucht zu verlagern und die reparierte beschaufelte Scheibe auszuwuchten.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem außerdem die Wuchtfläche (**42b**) durch Plasmaspritzablageung zusätzlichen Materials (**58**) auf dieser wiederhergestellt wird, um ihren Innendurchmesser zu vermindern.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

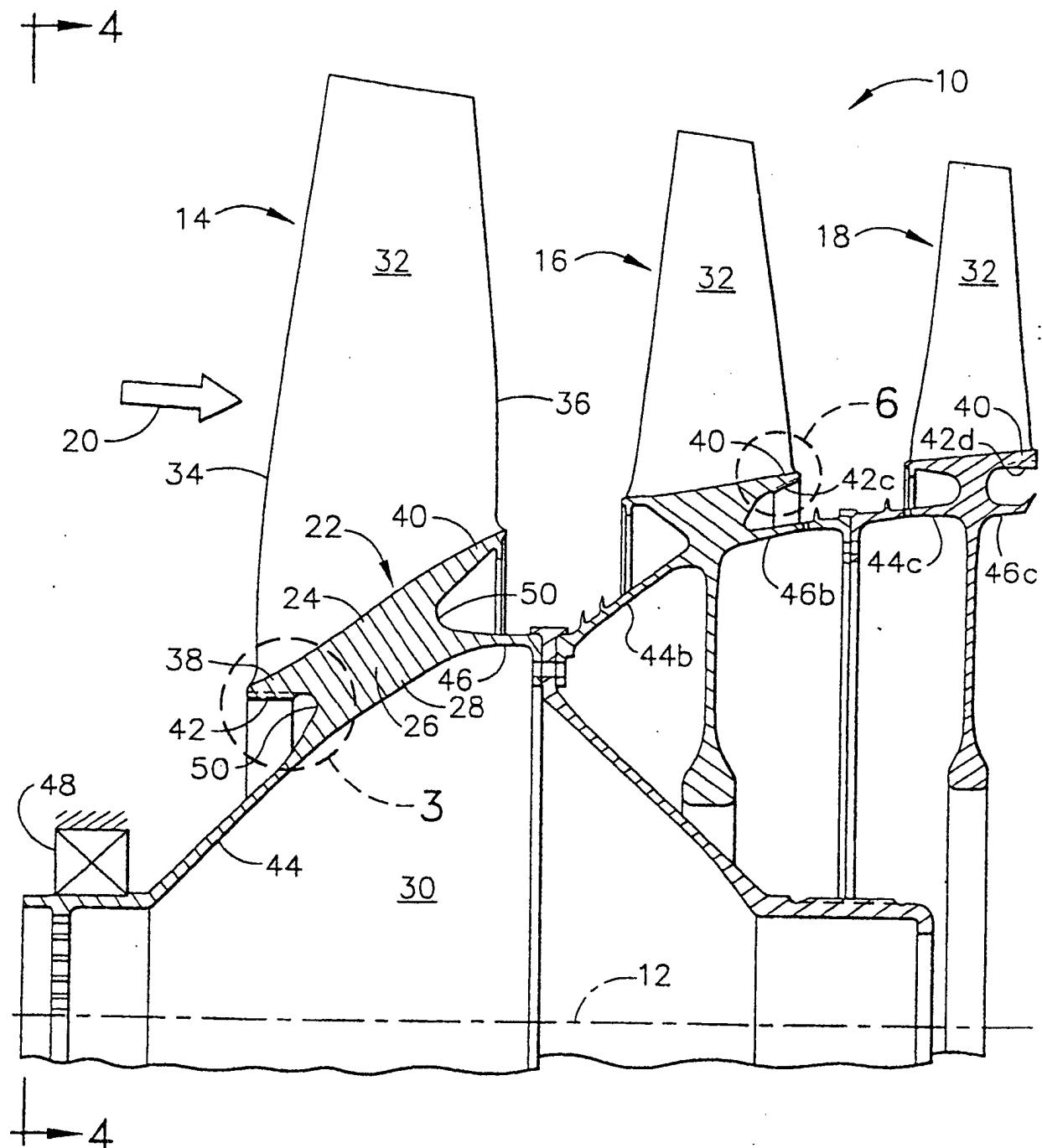


FIG. 1

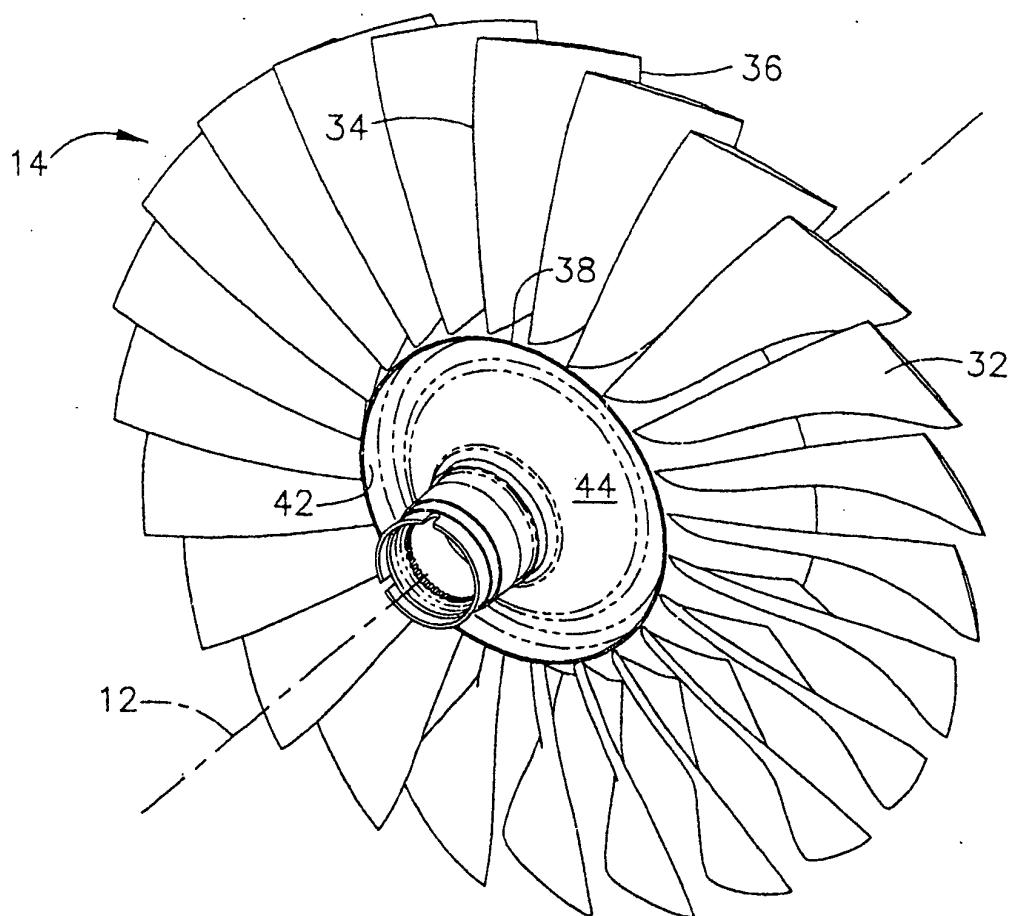


FIG. 2

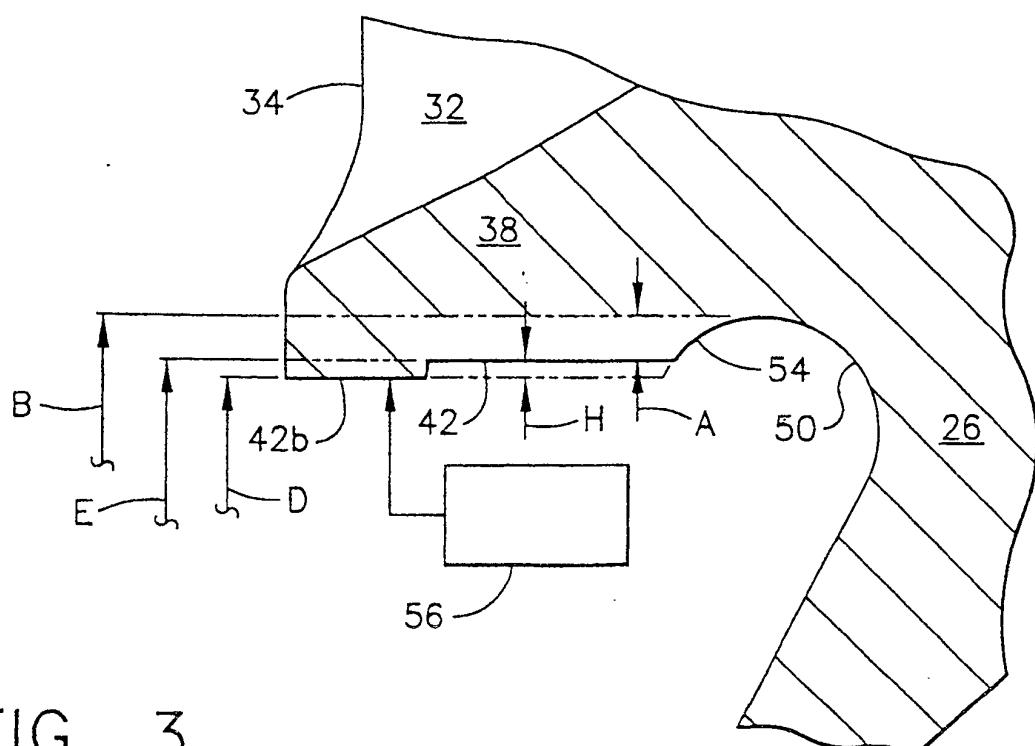


FIG. 3

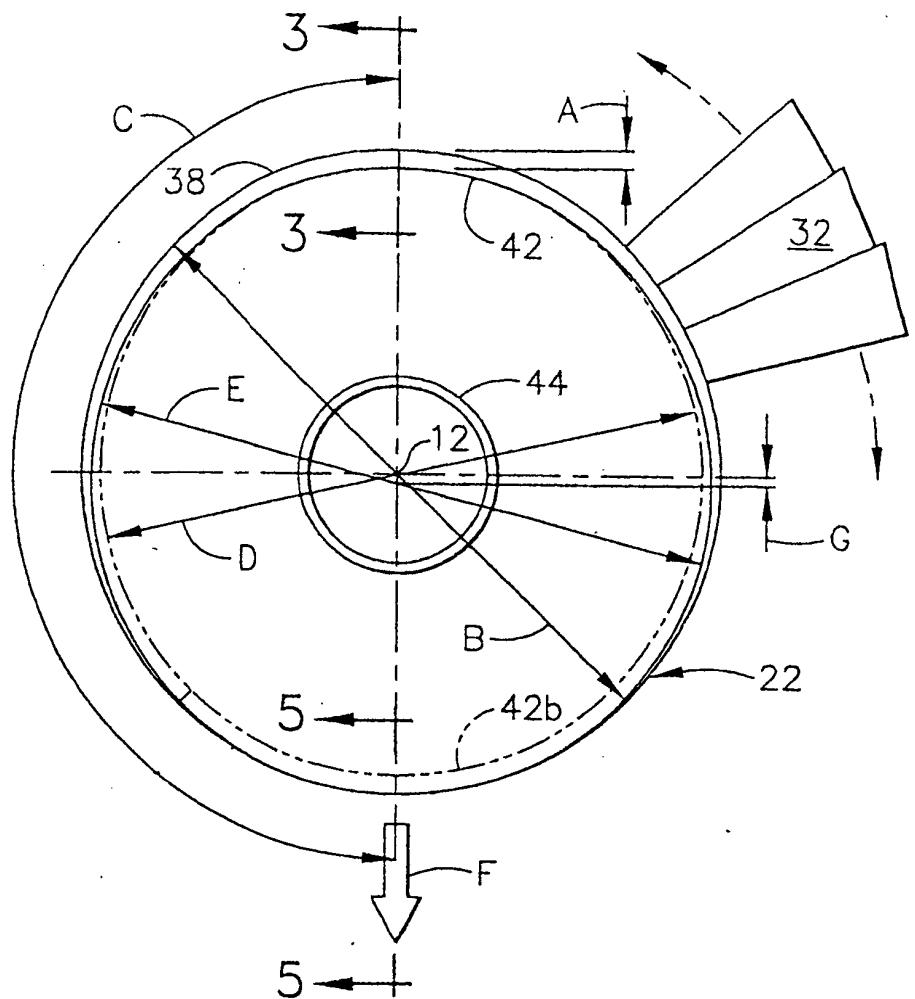


FIG. 4

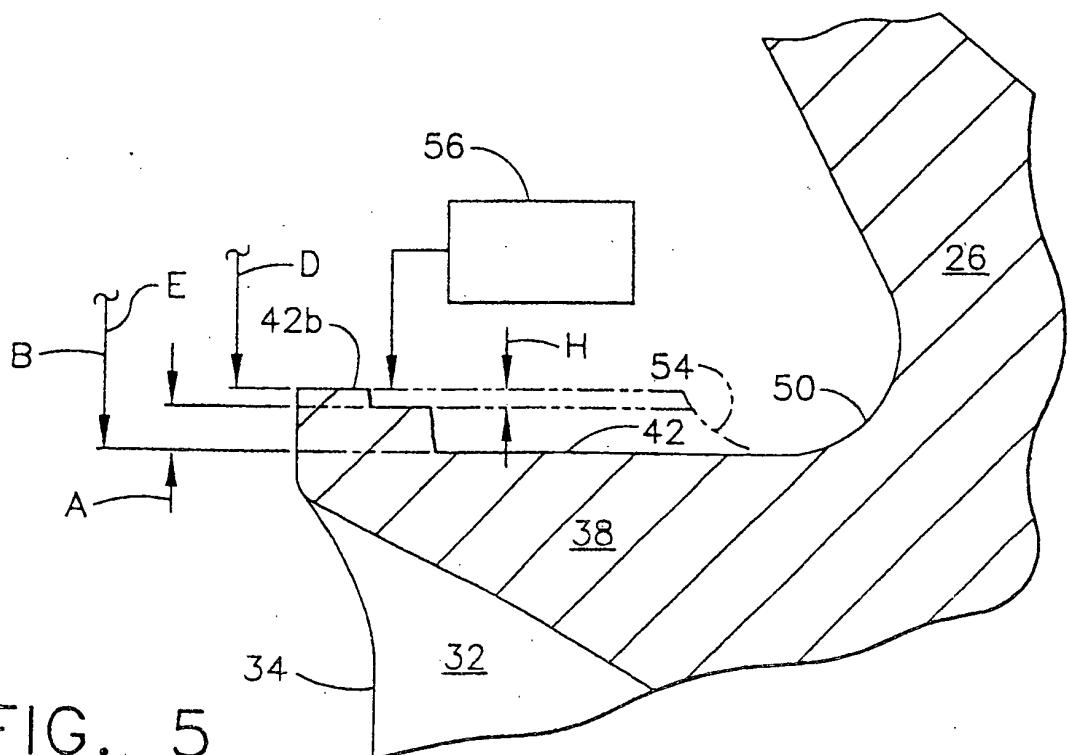


FIG. 5

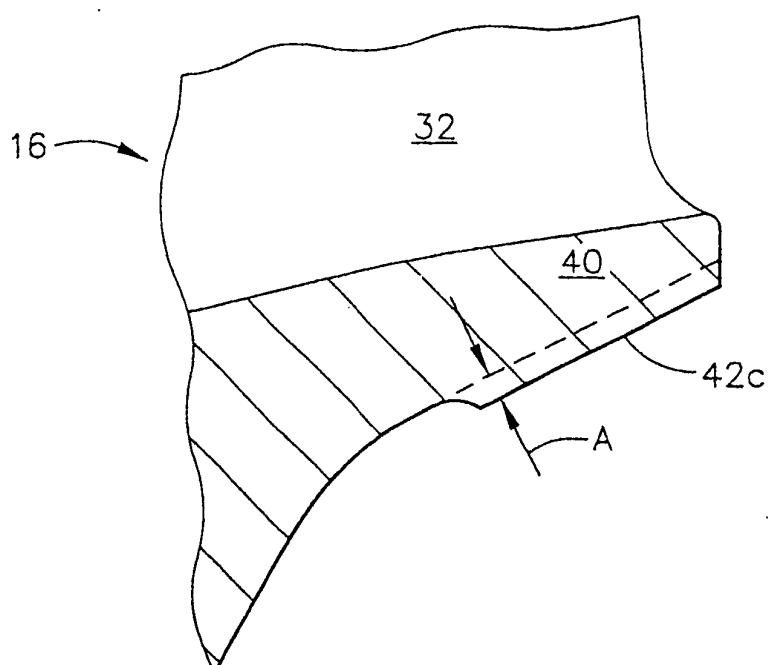


FIG. 6

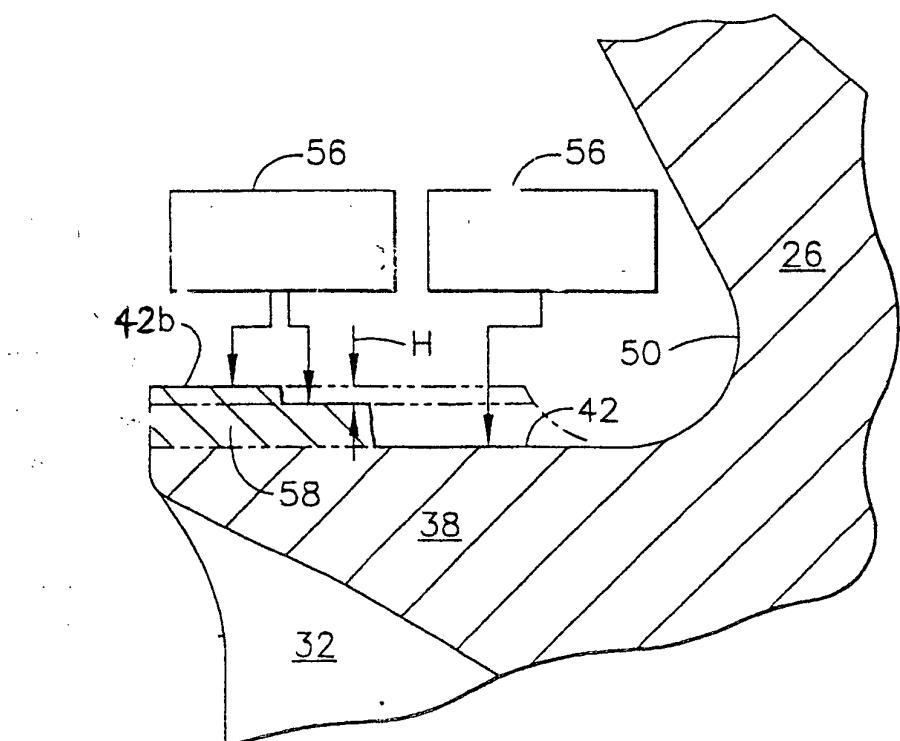


FIG. 7