



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 25 825 T2 2005.09.01

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 899 427 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 698 25 825.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 306 925.3

(96) Europäischer Anmeldetag: 28.08.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 03.03.1999

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 25.08.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 01.09.2005

(51) Int Cl.⁷: F01D 25/06

F01D 5/10, F01D 5/14

(30) Unionspriorität:
920493 29.08.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
United Technologies Corp., Hartford, Conn., US

(72) Erfinder:
**EI-Aini, Yehia M., Jupiter, Florida 33477, US;
Benedict, Barry K., West Palm Beach, Florida
33413, US; Baghdadi, Samy, Palm Beach Gardens,
Florida 33418, US; Matheny, A. Paul, Jupiter,
Florida 33458, US**

(54) Bezeichnung: **Aktive Schwingungsdämpfung für eine Rotorstufe einer Turbomaschine**

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 eingeleitet, 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 Erfindung betrifft Gasturbinenmaschinenrotoranordnungen generell und eine Vorrichtung zum Kontrollieren von resonanten Schwingungen in Rotorstufen insbesondere.

[0002] Der Bläser-, der Verdichter- und der Turbinenabschnitt einer Gasturbinenmaschine weisen typischerweise eine Mehrzahl von Statorleitschaufel- und Rotorstufen auf. Die Statorleitschaufelstufen lenken eine Luftströmung (die nachfolgend als "Kerngasströmung" bezeichnet wird) in eine für die strömungsabwärtigen Rotorstufen günstige Richtung. Jede Statorleitschaufelstufe weist eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln auf, die sich radial zwischen einer inneren und einer äußeren statischen Radialplattform erstrecken. Jede Rotorstufe weist eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufeln auf, die sich radial von einer rotationsfähigen Scheibe nach außen erstrecken. Abhängig davon, wo sich die Rotorstufe in der Maschine befindet, entzieht die Rotorstufe der Kerngasströmung entweder Energie oder sie fügt dieser Energie zu. Die Geschwindigkeit der Kerngasströmung, welche durch die Maschine strömt, erhöht sich mit der Rotationsgeschwindigkeit der Rotoren in dem System. Eine Geschwindigkeitskurve, welche die Kerngasströmungsgeschwindigkeiten unmittelbar strömungsabwärts einer Statorleitschaufelstufe aufzeigt, spiegelt Bereiche hoher Geschwindigkeit wider, die strömungsabwärts von den Passagen zwischen Statorleitschaufeln angeordnet sind und mit diesen ausgerichtet sind, und Bereiche niedriger Geschwindigkeit, die strömungsabwärts von einer jeden Statorleitschaufel und mit dieser ausgerichtet sind. Die Disparität zwischen den Bereichen mit hoher und mit niedriger Geschwindigkeiten nimmt zu, wenn die Geschwindigkeit der Kerngasströmung zunimmt. Die Bereiche mit hoher und mit niedriger Geschwindigkeit haben einen signifikanten Effekt auf die durch den Bereich unmittelbar strömungsabwärts der Statorleitschaufeln hindurchlaufenden Rotorlaufschaufeln.

[0003] Rotorlaufschaufeln haben typischerweise einen aerodynamischen Querschnitt, der es ihnen ermöglicht, als ein "Auftriebskörper" zu wirken. Der Begriff in "Auftriebskörper" bezieht sich auf eine Normalkraft, die auf das Strömungsprofil durch an dem Strömungsprofil von der Vorderkante zu der Hinterkante vorbei strömende Luft aufgebracht wird, welche das Strömungsprofil "hebt". Die Normalkraft ist eine Funktion von: (1) der Geschwindigkeit des an dem Strömungsprofil vorbei strömenden Gases; (2) dem "Anstellwinkel" des Strömungsprofils relativ zur Richtung der Gasströmung; und (3) der Fläche der Oberfläche des Strömungsprofils. Die Normalkraft wird typischerweise mathematisch als das Integral des Druckunterschieds über die Länge des Strömungsprofils beschrieben. Der Unterschied der die Stator-

leitschaufelstufen verlassenden Gasströmungsgeschwindigkeit erzeugt Unterschiede bei der auf die Rotorlaufschaufel wirkenden Normalkraft.

[0004] Die Änderungen bei der Normalkraft, welche durch die Bereiche unterschiedlicher Geschwindigkeit verursacht sind, sind signifikant wegen der Schwingung, die sie in die Rotorlaufschaufeln individuell und auf die Rotorstufe kollektiv einbringen. Bereiche mit niedriger Geschwindigkeit können beschrieben werden, als würden sie eine Normalkraft an jeder Rotorlaufschaufel erzeugen, die gleich "F" ist, und Bereiche hoher Geschwindigkeit können beschrieben werden, als erzeugten sie eine Normalkraft an jeder Laufschaufel von "F + ΔF", wobei ΔF einen zusätzlichen Betrag an Normalkraft bezeichnet. Eine Laufschaufel, welche durch die Bereiche einer Gasströmung mit hoher Geschwindigkeit und mit niedriger Geschwindigkeit rotiert, erfährt deshalb periodische Pulsationen erhöhter Kraft "ΔF" (die auch als eine periodische Anregungskraft bezeichnet wird). Die Frequenz der periodischen Anregungskraft ist eine Funktion der Drehgeschwindigkeit des Rotors, da die Anzahl von Statorleitschaufeln, welche die Bereiche niedriger Geschwindigkeit erzeugen, eine Konstante ist. Die Größe von "ΔF" hängt von der Geschwindigkeit der Kerngasströmung ab.

[0005] Schwingungen in einer Rotorstufe sind niemals wünschenswert, insbesondere wenn die Frequenz der Anregungskraft mit einer Eigenfrequenz der Rotorstufe zusammenfällt, d. h. Resonanz. In den meisten Fällen kann die Resonanz durch ein "Abstimmen" der Eigenfrequenzen der Rotorstufen nach außerhalb der Frequenzen der Anregungskraft durch Versteifen, Zugabe von Masse, oder ähnliches vermieden werden. Alternativ kann eine Dämpfung verwendet werden, um die resonante Antwort der Rotorstufe zu minimieren. Es ist jedoch nicht immer möglich, die Eigenfrequenzen einer Rotorstufe "abzustimmen", um unerwünschte resonante Antworten zu vermeiden. Auch ist es nicht immer möglich, effektiv Schwingungen in einer Rotorstufe zu dämpfen. Es wäre deshalb ein großer Vorteil, die Ursache der Schwingung (d. h. die Anregungskraft) zu minimieren oder zu eliminieren, statt die Rotorstufe daran anzupassen, die Schwingung zu tolerieren.

[0006] Das US Patent Nr. 4, 255, 083 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verringern des Geräusches, welches in einer Turbomaschine erzeugt wird, durch die Wechselwirkung der Laufschaufeln eines Rings von Rotorlaufschaufeln und der Leitschaufeln eines Rings von Statorleitschaufeln durch das Erzeugen von Gegengeräusch von entgegengesetzter Phase. Das wird erzielt durch das Injizieren von Fluid in die Strömungspassage, wobei das injizierte Fluid mit der Frequenz des zu reduzierenden Geräusches und mit einer Phasendifferenz moduliert wird, welche von einer Öffnung zur nächsten

zunimmt. Das US Patent Nr. 5, 005, 353 beschreibt eine Vorrichtung zum aktiven Kontrollieren von unstetigen Bewegungsphänomenen, beispielsweise Pumpen, umlaufenden Stall, Laufschaufelflattern und erzwungener Schwingung.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe einer Gasturbinemaschine bereitgestellt, wobei die Rotorstufe um eine Achse durch Kerngasströmung rotiert, die sich im Wesentlichen parallel zu der Achse bewegt, wobei bei Verwendung die Kerngasströmung umfangsmäßig verteilt erste Bereiche und zweite Bereiche aufweist, wobei die ersten Bereiche eine Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer ersten Geschwindigkeit bewegt und, die zweiten Bereiche eine Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer zweiten Geschwindigkeit bewegt, wobei die erste Geschwindigkeit substantiell höher als die zweite Geschwindigkeit ist, wobei die Vorrichtung eine Einrichtung zum Einbringen von Hochdruckgas von einer Gasquelle bei einem Druck, der substantiell höher ist als die Kerngasströmung in die zweiten Bereiche aufweist, um die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kerngasströmung in den Bereichen niedriger Geschwindigkeit auf im Wesentlichen die der benachbarten Bereiche hoher Geschwindigkeit zu erhöhen, um so substantiell den Unterschied der Kerngasströmungsgeschwindigkeit zwischen dem ersten und dem zweiten Bereich zu verringern, wobei die Einrichtung zum Einbringen von Hochdruckgas eine Mehrzahl von Öffnungen aufweist, die strömungsaufwärts der Rotorstufe und dieser benachbart positioniert sind und mit den zweiten Bereichen ausgerichtet sind.

[0008] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe einer Gasturbinemaschine bereitgestellt, wobei die Rotorstufe um eine Achse durch Kerngasströmung rotiert, die sich im Wesentlichen parallel zu der Achse bewegt, wobei die Kerngasströmung umfangsmäßig verteilt erste Bereiche und zweite Bereiche aufweist, wobei die ersten Bereiche eine Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer ersten Geschwindigkeit bewegt, und die zweiten Bereiche eine Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer zweiten Geschwindigkeit bewegt, wobei die erste Geschwindigkeit substantiell höher ist als die zweite Geschwindigkeit, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Bestimmen der Drehzahl, bei der das Rotieren der Rotorstufe durch die Kerngasströmung die Entwicklung von resonanten Schwingungen in der Rotorstufe verursacht; selektives Einbringen von Hochdruckgas von einer Gasquelle bei einem Druck substantiell höher als dem Druck der Kerngasströmung in die zweiten Bereiche, um die durchschnittliche Geschwindigkeit der

Kerngasströmung in den Bereichen niedriger Geschwindigkeit auf im Wesentlichen die der benachbarten Bereiche hoher Geschwindigkeit zu erhöhen, um so im Wesentlichen den Unterschied in der Kerngasströmungsgeschwindigkeit zwischen dem ersten und dem zweiten Bereich zu verringern.

[0009] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die Ursache von problematischen Schwingungen angesprochen wird, statt die sich ergebende unerwünschte Schwingung. Rotorstufen werden häufig "abgestimmt", um unerwünschte resonante Antworten zu vermeiden, durch Versteifen der Rotorstufe oder durch Zugeben von Masse zu der Rotorstufe. Das Zugeben von Masse zu einer Rotorstufe erhöht in unerwünschter Weise die Gesamtmasse der Rotorstufe und kann Spannungen in der Rotorschibe erhöhen. Rotorstufen können auch gedämpft werden, um eine unerwünschte resonante Antwort zu minimieren. Dämpfungsmaßnahmen tragen fast immer zu den Kosten der Laufschaufeln bei, erhöhen die Laufschaufelwartungsanforderungen und können die Lebensdauer einer Laufschaufel verringern. Die vorliegende Erfindung minimiert oder eliminiert im Gegensatz dazu die Zwangsfunktionen, welche Schwingungen verursachen, und eliminiert somit das Erfordernis, eine Rotorstufe "abzustimmen" oder zu dämpfen.

[0010] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass sie zum Minimieren oder zum Eliminieren von problematischen Schwingungen in integral mit Laufschaufeln versehenen Rotoren (IBRs-integrally bladed rotors) verwendet werden kann. In vielen Fällen ist es übermäßig schwierig, ein IBR abzustimmen oder ihm eine adäquate Dämpfung zu verschaffen in Folge der einstückigen geometrischen Konfiguration des Rotors. Beispielsweise können die Laufschaufeln von IBRs häufig nicht individuell bearbeitet werden, um Dämpfungsmittel zu erhalten. Die vorliegende Erfindung überwindet die Dämpfungsbeschränkungen von IBRs durch Eliminieren der Notwendigkeit, die Rotorlaufschaufeln des IBR zu ändern.

[0011] Bestimmte bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun nur beispielhaft und mit Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt:

[0012] [Fig. 1](#) ist eine schematische Ansicht einer Gasturbinemaschine;

[0013] [Fig. 2](#) ist eine schematische Ansicht einer Statorleitschaufelstufe und einer Rotorstufe, aufweisend eine Vorrichtung einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe;

[0014] [Fig. 3](#) ist eine schematische Ansicht einer

Statorleitschaufelstufe und einer Rotorstufe, aufweisend eine Vorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe;

[0015] [Fig. 4](#) ist eine schematische Ansicht einer Statorleitschaufelstufe und einer Rotorstufe, aufweisend eine Vorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe;

[0016] [Fig. 5](#) ist eine schematische Ansicht einer Statorleitschaufelstufe und einer Rotorstufe einschließlich eines Geschwindigkeitsprofils, welches strömungsabwärts der Statorleitschaufelstufe genommen ist;

[0017] [Fig. 6](#) ist eine schematische Ansicht einer Statorleitschaufelstufe und einer Rotorstufe einschließlich eines Geschwindigkeitsprofils, welches strömungsabwärts der Statorleitschaufelstufe genommen ist, wobei das Geschwindigkeitsprofil, das in [Fig. 6](#) gezeigt ist, die Zugabe von Hochdruckgas von einer bevorzugten Vorrichtung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe zeigt; und

[0018] [Fig. 7](#) ist eine graphische Darstellung der Relation zwischen einer periodischen Anregungskraftfrequenz und der Eigenfrequenzen einer Rotorstufe gegen die Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe.

1. Vorrichtung

[0019] Es wird auf die [Fig. 1](#) Bezug genommen. Eine Gasturbinemaschine **10** weist einen Bläser **12**, einen Verdichter **14**, eine Brennkammer **16**, eine Turbine **18**, eine Vorrichtung **12** zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe und eine Düse **22** auf. Luft **24** (welche auch als "Kerngasströmung" bezeichnet wird), die in die Maschine **10** durch den Bläser **12** eingesaugt wird, folgt einem Weg, der im Wesentlichen parallel zu der Achse der Maschine **10** ist, durch den Verdichter **14**, die Brennkammer **16** und die Turbine **18** in dieser Reihenfolge. Der Bläser **12**, der Verdichter **14** und die Turbine **18** weisen jeweils eine Mehrzahl von Statorleitschaufelstufen **32** und Rotorstufen **34** auf. Wie man in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) erkennen kann, weisen die meisten Statorleitschaufelstufen **32** eine innere **36** und eine äußere **38** Radialplattform und eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln **40** auf, welche sich dazwischen radial erstrecken, jede Rotorstufe **34** weist eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufeln **42** auf, welche sich von einer Scheibe **44** nach außen erstrecken. Die Rotorlaufschaufeln **42** können an der Scheibe **44** mittels konventioneller Befestigungsverfahren (z. B. Tannenbaum- oder Schwalbenschwanz-Wurzel – nicht gezeigt) angebracht sein oder sie können integral als

ein Teil eines integral mit Laufschaufeln versehenen Rotors (IBR – integrally bladed rotor) angebracht sein. Auskleidungen **46**, die radial außerhalb der Rotorstufen **34** angeordnet sind, können äußere Laufschaufelluftdichtungen (nicht gezeigt) oder ähnliches zum Abdichten an der Spitze der Rotorlaufschaufeln **42** aufweisen.

[0020] In der bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung **20** zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe **34** eine Quelle **48** von Hochdruckgas (siehe [Fig. 1](#)), eine Mehrzahl von Auslässen **50** zum Abgeben von Hochdruckgas strömungsaufwärts der Rotorstufe **34**, eine Verzweigseinrichtung **52**, welche die Auslässe **50** mit der Quelle **48** von Hochdruckgas verbindet, ein selektiv betätigbares Ventil **54**, welches zwischen der Quelle **48** für Hochdruckgas und den Auslässen **50** angeordnet ist, einen Maschinendrehzahlsensor **56** und eine programmierbare Steuerung **58** (siehe [Fig. 1](#) für den Sensor **56** und die Steuerung **58**) auf. Die Hochdruckgasquelle **48** ist vorzugsweise der Verdichter **14**, obwohl die exakte Zapfposition in dem Verdichter **14** von den Druckerfordernissen der vorliegenden Anwendung abhängt, d. h. Gas bei einem höheren Relativdruck kann von späteren Verdichterstufen gezapft werden und Gas bei einem niedrigeren Relativdruck kann von früheren Verdichterstufen gezapft werden. Jeder Auslaß **50** ist eine Öffnung mit einer Querschnittsfläche, die gewählt ist, um eine spezielle Geschwindigkeit von Kerngasströmung **23**, welche den Auslaß **50** verlässt, für einen vorgegebenen Gasdruck zu erzeugen. In einer alternativen Ausführungsform hat jeder Auslaß **50** eine selektiv einstellbare Querschnittsfläche. In einer ersten Ausführungsform ([Fig. 2](#) und [Fig. 3](#)) sind die Auslässe **50** in der Auskleidung **46** zwischen der Statorleitschaufelstufe **32** und der Rotorstufe **34** mit den Statorleitschaufeln **40** ausgerichtet angeordnet. In einer zweiten Ausführungsform ([Fig. 4](#)) sind die Auslässe **50** in der Hinterkante **60** der Statorleitschaufeln **40** angeordnet. In den Statorleitschaufeln **40** sind die Auslässe **50** vorzugsweise der äußeren Radialplattform **38** benachbart positioniert, jedoch können zusätzliche Auslässe **50** in der Hinterkante **60** oder der Hinterkante **60** benachbart zwischen der inneren **36** und der äußeren **38** Radialplattform angeordnet sein. Tatsächlich kann ein Auslaß **50** in der Hinterkante **60** an einer Position angeordnet sein, die radial mit einem speziellen Bereich der Rotorlaufschaufeln **42** ausgerichtet ist, die einer speziellen Schwingungsmodus unterworfen ist. Eine oder mehrere erste Hochdruckleitungen **42** verbindet die Verzweigseinrichtung **52** mit der Verdichterstufe **34**. Eine Mehrzahl von zweiten Hochdruckleitungen **46** verbindet die Verzweigseinrichtung **52** mit den Auslässen **50**. Bei einer Ausführungsform ([Fig. 2](#)) weist jede erste Hochdruckleitung **62** ein selektiv betreibbares Ventil **54** auf. In einer anderen Ausführungsform ([Fig. 3](#)) weist jede zweite Hochdruckleitung **64** ein selektiv betreib-

bares Ventil **54** auf. Der Maschinendrehzahlsensor **56** (der schematisch in der [Fig. 1](#) gezeigt ist) ist eine kommerziell erhältliche Einheit, beispielsweise ein elektromechanischer Tachometer. Die programmierbare Steuerung **58**, die schematisch in der [Fig. 1](#) gezeigt ist, ist eine kommerziell erhältliche Einheit, die einen Zentralprozessor, eine Memory-Speichervorrichtung, eine Eingabevorrichtung und eine Ausgabevorrichtung aufweist.

II. Betrieb

[0021] Es wird auf die [Fig. 1](#) Bezug genommen. Beim Betrieb der Maschine **10** strömt Kerngasströmung **23** durch den Bläser **12**, den Verdichter **14**, die Brennkammer **16** und die Turbine **18**, bevor sie durch die Düse **22** austritt. Der Bläserabschnitt **12** und der Verdichterabschnitt **14** fügen der Kerngasströmung **23** durch Erhöhen des Drucks der Strömung **23** Energie zu. Der Verdichter **16** führt zusätzliche Energie der Kerngasströmung **23** zu, indem er Brennstoff injiziert und die Mischung verbrennt. Die Turbine **18** entzieht der Kerngasströmung **23** Energie, um den Bläser **12** und den Verdichter **14** anzutreiben.

[0022] Es wird auf die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) Bezug genommen. Geschwindigkeitsprofile **68** spiegeln die Kerngasströmung **23** wider, welche durch die Statorleitschaufelstufe **32** und in den Weg einer Rotorstufe **34** in dem Bläser **12**, dem Verdichter **14** oder der Turbine **18** strömt, die typischerweise eine Mehrzahl von Bereichen mit hoher **70** und niedriger **72** Geschwindigkeit aufweist, die umfangsmäßig verteilt sind. Die Bereiche **72** mit niedriger Geschwindigkeit sind strömungsabwärts von den Statorleitschaufeln **40** angeordnet und mit diesen ausgerichtet. Die Bereiche **70** hoher Geschwindigkeit sind strömungsabwärts von den Passagen **74** zwischen den Statorleitschaufeln **40** angeordnet und mit diesen ausgerichtet. Die durch die Bereiche mit hoher **70** und niedriger **72** Geschwindigkeit laufenden Rotorlaufschaufeln **42** erfahren die periodische Anregungskraft, die vorangehend als " ΔF " beschrieben wurde. Die periodische Anregungskraft ist besonders problematisch, wenn sie eine Frequenz hat, die mit einer Eigenfrequenz der Rotorstufe **34** (einschließlich irgendeiner die den Rotorlaufschaufeln **42** zuweisbar ist) zusammenfällt, d. h. ein Resonanzzustand. Resonanz zwischen einer Anregungskraft und einer Eigenfrequenz einer Rotorstufen **34** kann Schwingungen und einhergehende Spannungsniveaus in der Rotorstufe **34** verstärken. Die [Fig. 7](#) illustriert graphisch die Relation zwischen einer Anregungskraftfrequenz **78**, einer Eigenfrequenz **80** einer Rotorstufe und der Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe. Die Kreuzungspunkte **82**, die zwischen den Anregungskraftfrequenzen **78** und den Eigenfrequenzen **80** der Rotorstufe bei speziellen Rotorstufenrotationsgeschwindigkeiten (RV_1 , RV_2 , RV_3) sind dort, wo die resonanten Antworten wahrscheinlich auftreten werden.

[0023] Es wird auf die [Fig. 1](#) Bezug genommen. Um eine unerwünschte Resonanzantwort zu vermeiden oder zu minimieren ist die Steuerung **58** mit empirisch entwickelten Daten (d. h. wie den in [Fig. 7](#) gezeigten) programmiert, die Rotorstufenrotationsgeschwindigkeit (und deshalb die Frequenz der Anregungskraft) mit den Eigenfrequenzen der Rotorstufe **34** korrelieren. Die Steuerung **58** erhält ein Signal, welches die Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe **34** repräsentiert von dem Maschinendrehzahlsensor **56**. An kritischen Kreuzungen, wo die Anregungskraftfrequenz einer Eigenfrequenz einer Rotorstufe **34** gleicht oder im Wesentlichen gleicht, sendet die Steuerung **58** ein Signal an das selektiv betreibbare Ventil **54** bzw. die selektiv betreibbaren Ventile **54**, um zu öffnen. Das offene Ventil **54** bzw. die offenen Ventile **54** erlauben ein Abzapfen von Hochdruckgas von dem Verdichter **14**, um zwischen dem Verdichter **14** und den Auslässen **50**, die strömungsaufwärts von der Rotorstufe **34** angeordnet sind, zu strömen. Wenn das selektiv betreibbare Ventil bzw. die selektiv betreibbaren Ventile **54** in der ersten Hochdruckleitung bzw. den ersten Hochdruckleitungen **62** ([Fig. 2](#) und [Fig. 4](#)) angeordnet ist bzw. sind, erlaubt ein Öffnen des Ventils bzw. der Ventile **54** ein Strömen von Hochdruckkerngas von dem Verdichter **14** in die Verzweigseinrichtung **52**, wo es zu jeder der Auslässe **50** verteilt wird. Wenn andererseits das selektiv betreibbare Ventil bzw. die selektiv betreibbaren Ventile **54** in den zweiten Hochdruckleitungen **64** (siehe [Fig. 3](#)) angeordnet ist bzw. sind, erlaubt ein Öffnen des Ventils bzw. der Ventile **54** ein Strömen von Hochdruckkerngas von dem Verdichter **14**, welches bereits in der Verzweigseinrichtung **52** verteilt ist, in jeden der Auslässe **50**. In beiden Fällen strömt das Hochdruckgas **76**, welches den Auslaß **50** (graphisch in der [Fig. 6](#) gezeigt) verlässt, in den Bereich **72** niedriger Geschwindigkeit strömungsabwärts einer jeden Statorleitschaufel **40**. Das Hochdruckgas **76**, welches in die Bereiche **72** niedriger Geschwindigkeit gelangt, erhöht die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kerngasströmung **23** in den Bereichen **72** niedriger Geschwindigkeit auf im Wesentlichen die der benachbarten Bereiche **70** hoher Geschwindigkeit. Rotorlaufschaufeln **42** die an den Statorleitschaufeln **40** vorbei rotieren, erfahren folglich eine im Wesentlichen verschwundene " ΔF " periodische Anregungskraft oder überhaupt keine periodische Anregungskraft. Die durch die periodische Anregungskraft erzeugte Schwingung und Belastung ist folglich wesentlich vermindert oder eliminiert. Wenn der Maschinendrehzahlsensor **56** der Steuerung **58** anzeigt, dass sich die Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe **34** und deshalb die Frequenz der Anregungskraft von der kritischen Kreuzung wegbewegt hat, signalisiert die Steuerung **58** dem selektiv betreibbaren Ventil bzw. den selektiv betreibbaren Ventilen **54**, zu schließen und die Strömung von Hochdruckgas **76** durch die Auslässe **50** zu unterbinden.

[0024] Abhängig von der Anwendung kann es unnötig sein, die Vorrichtung **20** zum Kontrollieren von Schwingungen bei jedem Fall zu betätigen, wo die Eigenfrequenz der Rotorstufe **34** und die Frequenz der Anregungskraft zusammen fallen. Das ist insbesondere der Fall, wo die Frequenzen bei niedrigeren Rotationsgeschwindigkeiten des Rotors zusammen fallen, wo die Anregungskräfte in ihrer Größe relativ niedrig sind und die Resonanzantwort tolerabel ist. Außerdem ist es auch möglich, eine Strömung von Hochdruckgasströmung durch die Auslässe **50** zu allen Zeiten beizubehalten und so das Bedürfnis nach der selektiv betreibbaren Ventileinrichtung **54** zu eliminieren. Abhängig von der Anwendung kann eine konstante Strömung durch die Öffnungen machbar sein, besonders wenn die Querschnittsfläche eines jeden Auslasses selektiv variabel ist.

[0025] Obwohl die Erfindung mit Bezugnahme auf deren detaillierte Ausführungsformen gezeigt und beschrieben wurde, wird der Fachmann in dem Technikgebiet verstehen, dass verschiedene Änderungen in deren Form und Detail vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, abzuweichen. Als ein Beispiel beschreibt die gezeigte Ausführungsform als die Quelle des Hochdruckgases den Verdichter. Andere Quellen von Hochdruckgas können alternativ verwendet werden.

[0026] Somit ist zumindest in den gezeigten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung, ein Verfahren zum Minimieren oder Eliminieren von Rotorlaufschaufelschwingungen bereitgestellt, welches die Ursache der Schwingung minimiert oder eliminiert.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe **(34)** einer Gasturbinenmaschine, wobei die Rotorstufe um eine Achse durch Kerngasströmung **(23)** rotiert, welche sich im Wesentlichen parallel zu der Achse bewegt, wobei bei Verwendung die Kerngasströmung umfangsmäßig verteilt erste Bereiche **(70)** und zweite Bereiche **(72)** aufweist, wobei die ersten Bereiche Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer ersten Geschwindigkeit bewegt, und die zweiten Bereiche Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer zweiten Geschwindigkeit bewegt, wobei die erste Geschwindigkeit wesentlich höher als die zweite Geschwindigkeit ist, wobei die Vorrichtung eine Einrichtung **(50)** zum Einbringen von Hochdruckgas **(76)** von einer Gasquelle bei einem Druck, der wesentlich höher ist als der der Kerngasströmung in die zweiten Bereiche aufweist, um die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kerngasströmung in den Bereichen niedriger Geschwindigkeit auf im Wesentlichen die der benachbarten Bereiche hoher Geschwindig-

keit zu erhöhen, um so substantiell den Unterschied bei der Kerngasströmungsgeschwindigkeit zwischen den ersten und den zweiten Bereichen zu verringern, wobei die Einrichtung **(50)** zum Einbringen von Hochdruckgas eine Mehrzahl von Öffnungen aufweist, die strömungsaufwärts der Rotorstufe **(34)** und dieser benachbart angeordnet sind und mit den zweiten Bereichen **(72)** ausgerichtet sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Auskleidung **(46)** strömungsaufwärts der Rotorstufe **(34)** angeordnet ist und die Öffnungen **(50)** in der Auskleidung vorgesehen sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Statorleitschaufelstufe **(32)**, die eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln **(40)** aufweist, strömungsaufwärts der Rotorstufe **(34)** angeordnet ist und die Öffnungen **(50)** der Hinterkante **(60)** einer jeden Statorleitschaufel benachbart vorgesehen sind.

4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:
eine selektiv betätigbare Ventileinrichtung **(54)**, die in der Leitung zwischen der Quelle von Hochdruckgas und der Einrichtung **(50)** zum Einbringen von Hochdruckgas positioniert ist, wobei die selektiv betätigbare Ventileinrichtung selektiv geöffnet werden kann, um eine Passage von Hochdruckgas von der Quelle zu der Einrichtung zu erlauben.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner aufweisend
eine Verzweigungseinrichtung **(52)**;
mindestens eine erste Leitung **(62)** zum Verbinden der Verzweigungseinrichtung mit der Quelle von Hochdruckgas; und
eine Mehrzahl von zweiten Leitungen **(64)**, welche die Einrichtung **(50)** zum Einbringen von Hochdruckgas mit der Verzweigungseinrichtung verbindet; und wobei die Verzweigungseinrichtung das Hochdruckgas auf die Einrichtung **(50)** verteilt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, ferner aufweisend:
eine selektiv betätigbare Ventileinrichtung **(54)**, die in jeder der ersten Leitungen **(62)** angeordnet ist, wobei die selektiv betätigbare Ventileinrichtung selektiv geöffnet werden kann, um eine Passage von Hochdruckgas von der Quelle zu der Einrichtung **(50)** zu zulassen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, ferner aufweisend:
eine selektiv betätigbare Ventileinrichtung **(54)**, die in jeder der zweiten Leitungen **(64)** angeordnet ist, wobei die selektiv betätigbare Ventileinrichtung selektiv geöffnet werden kann, um eine Passage von Hochdruckgas von der Quelle zu der Einrichtung **(50)** zum Einbringen von Hochdruckgas zu zulassen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 4, 6 oder 7, ferner aufweisend:
 eine programmierbare Steuerung (58);
 einen Geschwindigkeitssensor (56) zum Erfassen der Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe (34); wobei der Geschwindigkeitssensor an die Steuerung ein Signal sendet, welches die Rotationsgeschwindigkeit der Rotorstufe anzeigt und wobei die Steuerung ein Öffnen und Schließen der selektiv betätigbaren Ventileinrichtung (54) bei bestimmten Rotationsgeschwindigkeiten der Rotorstufe bewirkt.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Quelle von Hochdruckgas ein Verdichter (14) in der Gasturbinenmaschine ist.

10. Bläser für eine Gasturbinenmaschine mit einer Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, zum Kontrollieren von resonanten Schwingungen in einer Rotorstufe (34) des Bläsers (12).

11. Turbine für eine Gasturbinenmaschine mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zum Kontrollieren von resonanten Schwingungen in einer Rotorstufe (34) der Turbine (18).

12. Verdichter für eine Gasturbinenmaschine mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zum Kontrollieren von resonanten Schwingungen in einer Rotorstufe (34) des Verdichters (14).

13. Gasturbinenmaschine mit einem Bläser (12) nach Anspruch 10, einer Turbine (18) nach Anspruch 11 oder einem Verdichter (14) nach Anspruch 12.

14. Gasturbinenmaschine nach Anspruch 13, ferner aufweisend eine Rotorleitschaufelstufe (32), welche strömungsaufwärts von der Rotorstufe (34) und dieser benachbart positioniert ist, wobei die Statorleitschaufelstufe eine Mehrzahl von Statorleitschaufelstufen (40) aufweist, wobei die Einrichtung (50) zum Einbringen von Hochdruckgas eine Mehrzahl von Öffnungen aufweist, die in einer Auskleidung zwischen der Statorleitschaufelstufe und der Rotorstufe angeordnet sind, wobei die Öffnungen mit den Statorleitschaufeln ausgerichtet sind und wobei das Hochdruckgas aus den Öffnungen austritt und auf die Rotorstufe wirkt.

15. Gasturbinenmaschine nach Anspruch 13, ferner aufweisend eine Statorleitschaufel (32), welche strömungsaufwärts von der Rotorstufe (34) und dieser benachbart positioniert ist, wobei die Statorleitschaufelstufe eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln (40) aufweist, wobei die Einrichtung (50) zum Einbringen von Hochdruckgas eine Mehrzahl von Öffnungen aufweist, die einer Hinterkante einer jeden Statorleitschaufel benachbart angeordnet sind, und wobei das Hochdruckgas aus den Öffnungen austritt und auf die Rotorstufe wirkt.

16. Gasturbinenmaschine nach Anspruch 13, aufweisend:
 einen Bläser (12);
 einen Verdichter (14);
 eine Brennkammer (16);
 eine Turbine (18);
 wobei der Bläser, der Verdichter, die Brennkammer und die Turbine axial ausgerichtet sind und Kerngasströmung (23), welche in den Bläser gelangt, durch den Verdichter, die Brennkammer und die Turbine strömt; und
 wobei mindestens einer von Bläser, Verdichter oder Turbine aufweist:
 eine Statorleitschaufelstufe (32), aufweisend eine innere Radialplattform (36) und eine äußere Radialplattform (38) und eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln, die umfangsmäßig dazwischen verteilt sind; eine Rotorstufe (34), die strömungsabwärts von der Statorleitschaufelstufe und dieser benachbart angeordnet ist, wobei die Rotorstufe eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufeln aufweist, welche sich von einer Scheibe radial nach außen erstrecken; eine Auskleidung (46), radial außerhalb der Rotorstufe;
 eine Vorrichtung (50) zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in der Rotorstufe, wobei die Vorrichtung eine Mehrzahl von Öffnungen (50) aufweist, die in der Auskleidung zwischen der Statorleitschaufelstufe und der Rotorstufe angeordnet sind, wobei die Öffnungen mit den Statorleitschaufeln ausgerichtet sind; wobei die Öffnungen mit einer Hochdruckgasquelle verbunden sind und selektiv Gas bei einem Druck, der wesentlich höher ist als der Druck der Kerngasströmung, welche durch die Rotorstufe strömt, liefern; und
 wobei das Hochdruckgas die Öffnungen verlässt und auf die Rotorstufe wirkt.

17. Gasturbinenmaschine nach Anspruch 13, aufweisend:
 einen Bläser (12);
 einen Verdichter (14);
 eine Brennkammer (16);
 eine Turbine (18);
 wobei der Bläser, der Verdichter, die Brennkammer und die Turbine axial ausgerichtet sind und Kerngasströmung (23), welche in den Bläser gelangt, durch den Verdichter, die Brennkammer und die Turbine strömt; wobei mindestens einer von Bläser, Verdichter oder Turbine aufweist:
 eine Statorleitschaufelstufe (32), aufweisend eine innere Radialplattform (36) und eine äußere Radialplattform (38) und eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln, welche umfangsmäßig dazwischen verteilt sind; eine Rotorstufe (34), die strömungsabwärts von der Statorleitschaufelstufe und dieser benachbart positioniert ist, wobei die Rotorstufe eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufeln aufweist, welche sich von einer

Scheibe radial nach außen erstrecken; eine Vorrichtung (50) zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in der Rotorstufe, wobei die Vorrichtung eine Mehrzahl von Öffnungen (50) aufweist, die eine Hinterkante einer jeden Statorleitschaufel benachbart angeordnet sind; wobei die Öffnungen mit einer Hochdruckgasquelle verbunden sind, die selektiv Gas bei einem Druck, der substantiell höher ist als der Druck der Kerngasströmung, welche durch die Rotorstufe strömt, bereitstellt; und wobei das Hochdruckgas die Öffnungen verlässt und auf die Rotorstufe wirkt.

18. Verfahren zum Kontrollieren resonanter Schwingungen in einer Rotorstufe (34) einer Gasturbinenmaschine, wobei die Rotorstufe um eine Achse durch Kerngasströmung (23) strömt, die sich im Wesentlichen parallel zu der Achse bewegt, wobei die Kerngasströmung umfangsmäßig verteilte erste Bereiche (70) und zweite Bereiche (72) aufweist, wobei die ersten Bereiche Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer ersten Geschwindigkeit bewegt, und die zweiten Bereiche Kerngasströmung beinhalten, die sich mit einer zweiten Geschwindigkeit bewegt, wobei die erste Geschwindigkeit wesentlich höher als die zweite Geschwindigkeit ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
Bestimmen der Rotationsgeschwindigkeiten, bei denen ein Rotieren der Rotorstufe (34) durch die Kerngasströmung (23) die Entwicklung von resonanten Schwingungen in der Rotorstufe bewirkt; und
selektives Einbringen von Hochdruckgas (76) von einer Gasquelle bei einem Druck, der wesentlich höher als der Druck der Kerngasströmung ist, in die zweiten Bereiche (72), um die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kerngasströmung in den Bereichen niedriger Geschwindigkeit auf im Wesentlichen die der benachbarten Bereiche hoher Geschwindigkeit zu erhöhen, um so substantiell den Unterschied in der Kerngasströmungsgeschwindigkeit zwischen den ersten und den zweiten Bereichen zu verringern.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

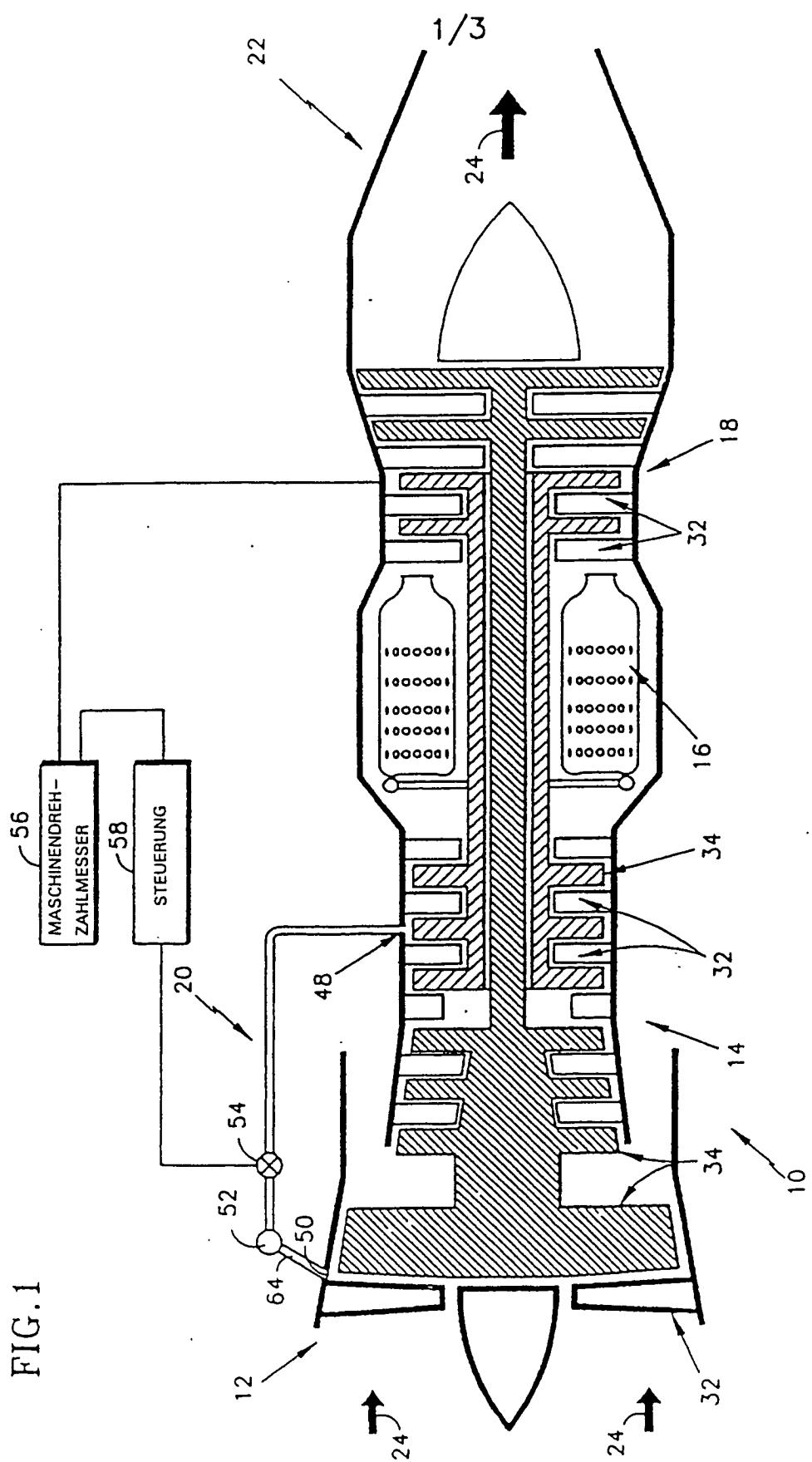


FIG. 2

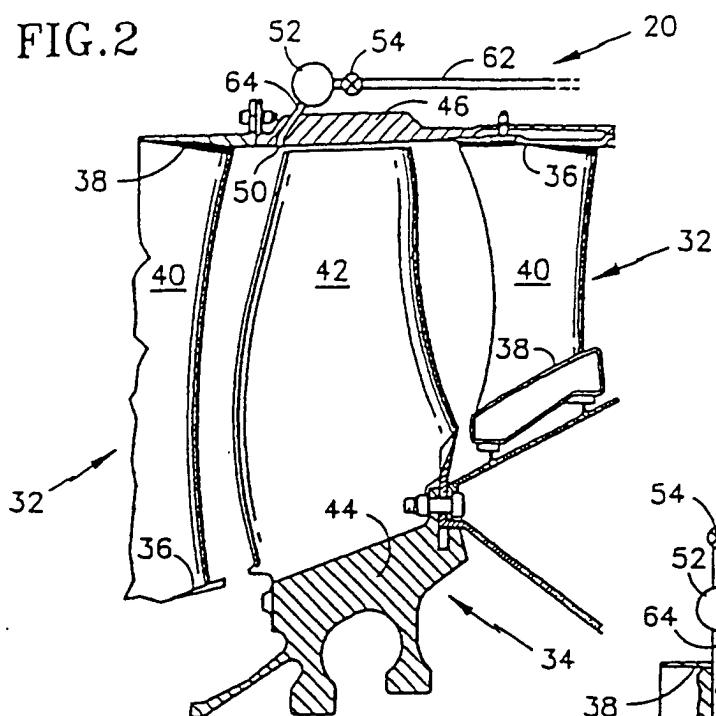


FIG. 4

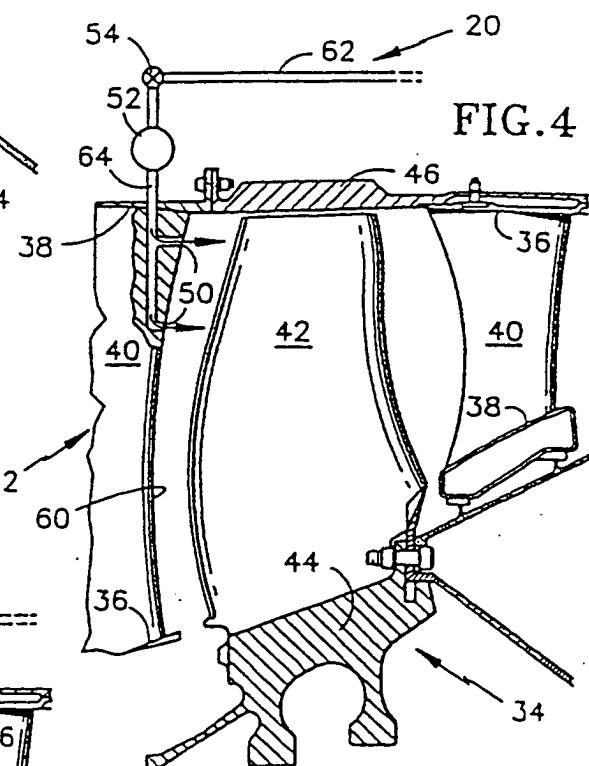


FIG.3

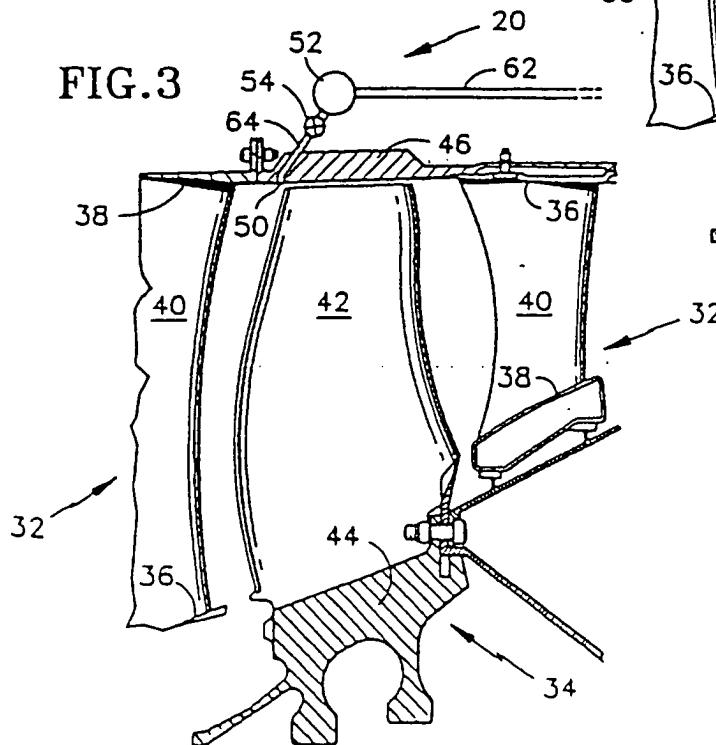


FIG.5

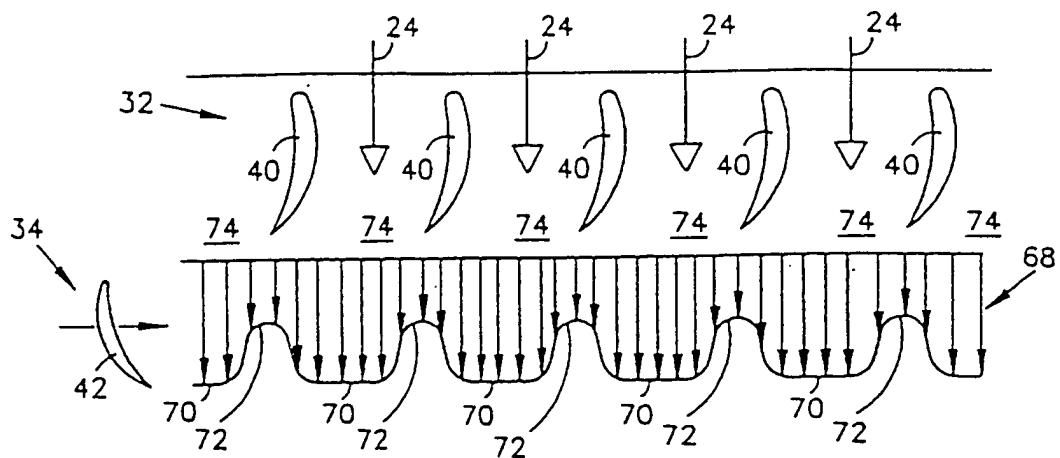


FIG.6

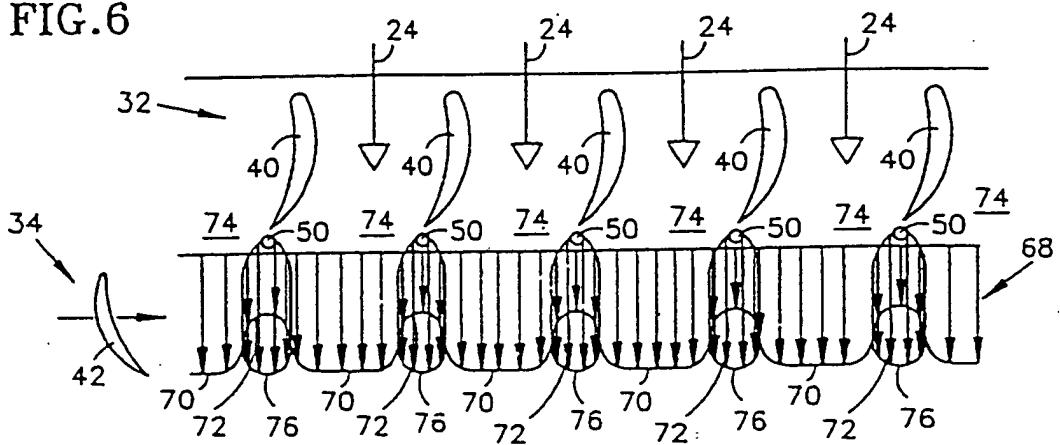


FIG.7

