



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.01.2007 Patentblatt 2007/01

(51) Int Cl.:
F01D 11/22 (2006.01) F01D 11/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06012930.1**

(22) Anmeldetag: **23.06.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines GmbH**
80995 München (DE)

(72) Erfinder: **Werner, André**
80995 München (DE)

(30) Priorität: **30.06.2005 DE 102005030426**

(54) **Rotorspalt Steuervorrichtung für eine Turbomaschine**

(57) Eine Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) für einen Verdichter einer Strömungsmaschine (1), insbesondere eines Flugantriebs, welche einen Rotor und ein den Rotor unter Ausbildung eines Rotorspaltes (8) umgebendes Gehäuse (3) aufweist, wobei die Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) ein in den Rotorspalt (8) hineinbewegliches Dichtelement und eine Aktuatereinheit aufweist, wobei das Dichtelement als in Umfangsrichtung verlaufender

Einlaufbelag (5) aus flexiblem, gummiartigen Material ausgebildet ist, in welchem zumindest eine ebenfalls in Umfangsrichtung verlaufende Schlauchmembran (6,7) angeordnet ist, die durch die Aktuatereinheit mit Druckfluid beaufschlagbar ist. Hierdurch wird betriebsbedingter Degradation durch Erosion, Alterung, etc. entgegengewirkt. Als Resultat wird der Wirkungsgrad erhalten und der Pumpgrenzabstand beibehalten.

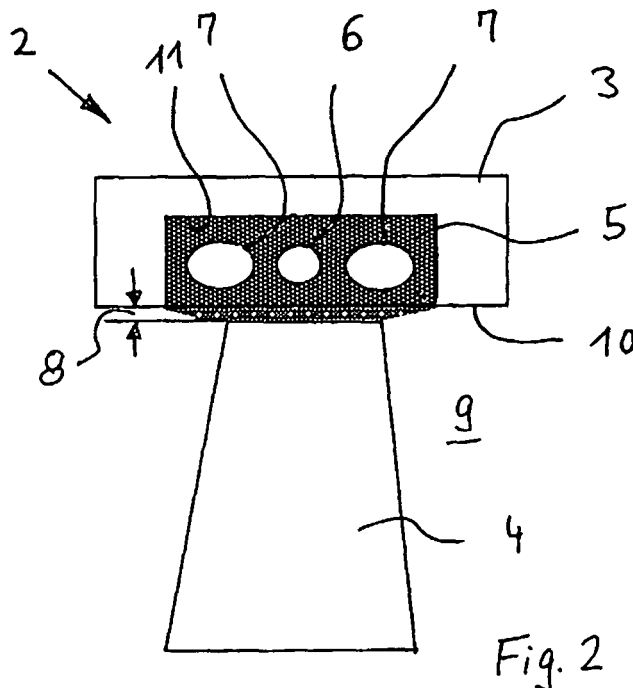


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Rotorspalt-Steuervorrichtung für einen Verdichter einer Strömungsmaschine, insbesondere eines Flugantriebs, welche einen Rotor und ein den Rotor unter Ausbildung eines Rotorspaltes umgebendes Gehäuse aufweist, wobei die Rotorspalt-Steuervorrichtung ein in den Rotorspalt hineinbewegliches Dichtelement und eine Aktuatereinheit aufweist.

[0002] Bei Strömungsmaschinen, hierunter fallen beispielsweise Turbinen, Pumpen, Verdichter oder Gebläse, stellt der Rotorspalt zwischen stationärem Rotorgehäuse und rotierendem Rotor eine Quelle von Strömungsverlusten und damit eine Ursache für einen verringerten Wirkungsgrad dar. Die Strömungsverluste entstehen zum einen durch Wirbelbildung und Strömungsablösung im oder am Rotorspalt, was auch zu einem erhöhten Strömungslärm führt, zum anderen durch eine Ausgleichsströmung, die entgegen der Hauptströmungsrichtung durch den Rotor gerichtet ist und die erreichbare Druckdifferenz zwischen der Hochdruckseite und der Niederdruckseite der Strömungsmaschine beschränkt.

[0003] Bei einer idealen verlustfreien Strömungsmaschine wäre ein Rotorspalt nicht vorhanden. In der Praxis ist dies jedoch nicht möglich, da in diesem Fall die Spitzen der Rotorblätter das Gehäuse berühren und bei der Drehung des Rotors am Gehäuse schleifen und damit verschleissen würden. Besonders ausgeprägt ist dieses Problem bei Strömungsmaschinen, bei denen die Rotoren mit hoher Drehzahl umlaufen und/oder mit hohen Temperaturen beaufschlagt sind, wie beispielsweise bei Flugzeugtriebwerken und Gasturbinen sowie bei Abgasturboladern. Bei derartigen Strömungsmaschinen hängt sich das Rotorblatt abhängig von der Temperatur und von der Drehzahl. Zusätzlich weitet sich das Gehäuse in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur. Durch den Rotorspalt werden die Ausdehnung des Gehäuses und die Längung der Rotorblätter kompensiert, ohne dass es zu einer Beschädigung der Strömungsmaschine kommen kann.

[0004] Die Weite des Rotorspaltes und damit die Verluste der Strömungsmaschine ändern sich folglich in Abhängigkeit von der Drehzahl und der Temperatur im gerade durchlaufenen Betriebszustand.

[0005] In der Praxis wird der Rotorspalt in der Regel so eingestellt, dass in einem Dauerbetriebspunkt, bei dem die Strömungsmaschine in der Regel betrieben wird, ein möglichst kleiner Rotorspalt vorliegt. Bei Flugzeugtriebwerken oder bei Abgasturboladern liegt dieser Dauerbetriebspunkt beispielsweise bei der Reisegeschwindigkeit. Gleichzeitig werden bei der Bemessung des Rotorspaltes in der Praxis Grenzlastbereiche und Anlaufbereiche der Strömungsmaschine berücksichtigt. Der Rotorspalt soll so bemessen sein, dass auch unter Extrembedingungen bei hinnehmbaren Strömungsverlusten Beschädigungen von Rotorblatt und Gehäuse vermieden werden.

[0006] In der Praxis wird also zugunsten eines möglichst guten Wirkungsgrades ein gewisser Verschleiss von Gehäuse und Rotorblatt durch das Anlaufen der Strömungsmaschine oder den Betrieb der Strömungsmaschine im Grenzlastenbereich in Kauf genommen.

[0007] Um in allen Betriebsbereichen der Strömungsmaschine einen optimalen Rotorspalt, also eine Rotorspaltweite, bei der Verschleiss und Strömungsverluste minimal sind, zu erzielen, sind im Stand der Technik einige Lösungen vorgeschlagen.

[0008] In der US 4,247,247 ist eine Axialströmungsturbine gezeigt, bei der das Gehäuse gegenüber den Rotoren einen Ring mit einer dünnen, biegsamen Wand aufweist. Hinter der dünnen Wand sind ringförmige Druckkammern angeordnet, die mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt werden können. Überschreitet der Druck in den Druckkammern den Druck in der Axialströmungsturbine, so wölbt sich die Wand kontrolliert vor und verkleinert den Rotorspalt. Die Druckkammern werden dabei so mit Druck beaufschlagt, dass sich der Rotorspalt in Strömungsrichtung verkleinert.

[0009] Bei der Gasturbine der US 4,683,716 wird die Gehäusewand mitsamt mehreren Reihen von Statorschaufeln über mehrere Verdichterstufen hinweg pneumatisch verstellt. Hierzu ist eine Druckkammer hinter der Gehäusewand vorgesehen, die sich über mehrere Rotor- und Statorreihen erstreckt. Durch Zuführen von niedrigem Druck oder hohem Druck in die Druckkammer wird vermieden, dass sich die Rotorschaufeln bei Anlaufvorgängen an der Gehäusewand reiben.

[0010] Bei der US 5,211,534 wird der Rotorspalt ebenfalls pneumatisch verstellt. Ein aus radial verschiebblichen Ringsegmenten zusammengesetzter Dichtring um den Rotor wird unter Einwirkung von Druckluft auf die starren Ringsegmente zusammengezogen oder geweitet wird.

[0011] Auch die Vorrichtung der US 5,781,333 weist Gehäusesegmente auf, die über eine Beaufschlagung von Druckkammern mit Druckluft in Richtung der Rotorblätter bewegt werden. Um das Ansprechverhalten zu erhöhen, ist die Druckkammer mit Entlüftungsventilen zum schnellen Druckausgleich versehen.

[0012] Bei den Systemen der US 4,247,247, der US 4,683,716, der US 5,211,534 und der US 5,871,333 ist nachteilig, dass dort jeweils eine komplizierte und viele Bauteile umfassende Lösung angegeben wird. Eine Nachrüstung derartiger Lösungen bei bestehenden Triebwerken ist nicht möglich. Ferner ist eine schnelle und selektive Verstellung des Rotorspaltes mit den o.g. Vorrichtungen nicht möglich.

[0013] Eine verbesserte Lösung beschreibt die DE 101 17 231 A1. Hier wird ein Rotorspalt-Steuermodule für eine Strömungsmaschine mit einem Rotor und einem Gehäuse angegeben, das den Rotor unter Ausbildung eines Rotorspaltes umgibt. Das Rotorspalt-Steuermodule ist mit einer Aktuatereinheit versehen, die auf ein Dichtelement einwirkt und dieses in den Rotorspalt hinein oder hinaus bewegt. Um das Ansprechverhalten zu erhöhen, ist vorgesehen, dass das Dichtelement kleiner als der Abstand

zweier aufeinanderfolgender Rotorblätter ist. Nachteilig ist hier, dass viele Aktuatoren benötigt werden und dass das Spalt-Steuermodule unterbrochen ist.

[0014] Zusammengefasst ist also aus dem oben genannten Stand der Technik keine einfach und kostengünstig herstellbare Vorrichtung bekannt, bei der das Ansprechverhalten eine schnelle Einstellung des Rotorspalts ermöglicht und die bei bereits bestehenden Triebwerken nachgerüstet werden kann.

[0015] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die eingangs genannten Rotorspalt-Steuervorrichtungen für den Einsatz in Verdichtern entsprechend zu verbessern. Hierdurch soll betriebsbedingter Degradation durch Erosion, Alterung, etc. entgegengewirkt werden. Als Resultat soll der Wirkungsgrad erhalten und der Pumpgrenzabstand beibehalten werden.

[0016] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0017] Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass das Dichtelement als umlaufender Einlaufbelag aus flexiblem, gummiartigen Material ausgebildet ist, in welchem zumindest eine ebenfalls umlaufende Schlauchmembran angeordnet ist, die durch die Aktuatoreinheit mit Druckfluid beaufschlagbar ist. Als vorteilhaft haben sich dabei drei Schlauchmembranen erwiesen, wobei die zentrale Membran einen kreisrunden Querschnitt und die beiden äußeren Schlauchmembranen einen ovalen Querschnitt aufweisen können. Durch die Ausgestaltung des Einlaufbelags aus flexiblem Material wird erreicht, dass nicht gleichförmige Ausdehnungen ohne Schaden an der Beschaukelung ausgeglichen werden können. In diesem Fall wird einfach punktuell Material des Einlaufbelags durch die Schaufeln abgetragen, ohne dass es zu einer Beschädigung der Schaufeln kommt.

[0018] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Einlaufbelag in einer umlaufenden Vertiefung im Verdichtergehäuse aufgenommen ist. Diese Vertiefung kann beispielsweise in einem spanabhebenden Verfahren aus der Gehäuseinnenwand abgetragen werden.

[0019] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Einlaufbelag aus Silikongummi hergestellt ist. Silikongummi weist gute physikalische Materialeigenschaften auf. So kann Silikongummi über lange Zeit bei Temperaturen bis zu 140°C eingesetzt werden, zeitweise sogar bei Temperaturen bis zu 270°C. Silikonpolymere zeichnen sich dabei insbesondere durch eine hohe Temperaturstabilität und ausgezeichnete Elastizität in einem Bereich von -50°C bis 270°C aus.

[0020] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Aktuatoreinheit als eine pneumatische Verstelleinheit ausgebildet ist, welche auf die zumindest eine Schlauchmembran einwirkt. Die Aktuatoreinheit kann dabei als Regelventil für die Zuleitung von Verdichterabluft ausgebildet sein.

[0021] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass eine Regeleinheit zur Druckluftsteuerung vorgesehen ist. Hierdurch kann die Druckluftmenge der tatsächlichen Spaltbreite angepasst werden, was eine höhere Genauigkeit als das Abfahren von vorab gespeicherten Spaltbreitenkurven ermöglicht.

[0022] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass eine mit der Regeleinheit verbundene Sensoreinheit zum Messen des Rotorspalts (8) vorgesehen ist. Hierdurch kann die Regeleinheit mit einem Rückkopplungssignal versorgt werden.

[0023] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Steuerung der Weite eines Rotorspalts bei einem Verdichter einer Strömungsmaschine, wobei ein umlaufender Einlaufbelag aus flexiblem, gummiartigen Material mit einer ebenfalls umlaufenden Schlauchmembran vorgesehen ist, weist folgende Schritte auf:

- Ermitteln des Rotorspalts mit einer Sensoreinheit;
- Berechnen der erforderlichen Ausdehnung der Schlauchmembran zum Schließen des Rotorspalts in der Regeleinheit;
- Hineinbewegen des Einlaufbelags in den Rotorspalt mittels Druckfluidbeaufschlagung der Schlauchmembran;
- Wiederholen der vorgenannten Verfahrensschritte, bis die Sensoreinheit eine vorgegebene Spaltbreite erfasst hat.

[0024] Weitere die Erfindung verbessernde Maßnahmen sind in den Unteransprüchen angegeben oder werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Halbschnitt durch eine Axialströmungsmaschine mit Verdichter; und

Fig. 2 einen schematischen Detailschnitt durch eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Rotorspalt-Steuervorrichtung.

[0025] Die nachfolgenden Figuren sind schematische Darstellungen und dienen der Erläuterung der Erfindung. Gleiche und ähnliche Bauteile werden durch gleiche Bezugszeichen dargestellt. Die Richtungsangaben beziehen sich auf die Zeichnungsebene, sofern nicht etwas anderes angegeben ist.

[0026] Figur 1 zeigt einen schematischen Halbschnitt durch ein axial durchströmtes Flugtriebwerk 1 mit einem Verdichter und einer Rotorspalt-Steuervorrichtung 2.

[0027] Figur 2 zeigt einen schematischen Detailschnitt durch eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Rotorspalt-Steuervorrichtung 2. In einem Verdichtergehäuse 3 rotiert ein Verdichterrotor mit Verdichterschaukeln 4. Dabei ist in dem Verdichtergehäuse 3 eine umlaufende Vertiefung 11 eingearbeitet, in der ein umlaufender Einlaufbelag 5 aus Silikonkautschuk angebracht

ist. Der umlaufende Einlaufbelag 5 mit im wesentlichen rechteckigen Querschnitt weist im Inneren eine zentrale Schlauchmembran 6 mit rundem Querschnitt und zwei äußere Schlauchmembranen 7 mit ovalem Querschnitt auf. Die dem Strömungskanal 9 zugewandte Seite des Einlaufbelags 5 schließt in unbetätigtem Zustand mit der Gehäuseinnenwand 10 ab und tritt nur bei Betätigung über diese hinaus, wie in der Figur 2 dargestellt.

[0028] Zwischen dem Verdichtergehäuse 3 und der Verdichterschaukel 4 ist ein Rotorspalt 8 ausgebildet. Dieser Rotorspalt 8 ist je nach Betriebspunkt der Strömungsmaschine, Teillast, Vollast, o.ä., verschieden. Durch geregelte pneumatische Betätigung der Schlauchmembranen 6, 7 wird der Einlaufbelag 5 entsprechend ausgedehnt und in den Rotorspalt 8 hineinbewegt, bis der Rotorspalt 8 verschwindet.

[0029] Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf das vorstehend angegebene bevorzugte Ausführungsbeispiel. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung auch bei grundsätzlich anders gearteten Ausführungen Gebrauch machen.

Patentansprüche

1. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) für einen Verdichter einer Strömungsmaschine (1), insbesondere eines Flugantriebs, welche einen Rotor und ein den Rotor unter Ausbildung eines Rotorspaltes (8) umgebendes Gehäuse (3) aufweist, wobei die Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) ein in den Rotorspalt (8) hineinbewegliches Dichtelement und eine Aktuatoreinheit aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Dichtelement als umlaufender Einlaufbelag (5) aus flexiblem, gummiartigen Material ausgebildet ist, in welchem zumindest eine ebenfalls umlaufende Schlauchmembran (6; 7) angeordnet ist, die durch die Aktuatoreinheit mit Druckfluid beaufschlagbar ist.
2. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlaufbelag (5) in einer umlaufenden Vertiefung (11) im Verdichtergehäuse (3) aufgenommen ist.
3. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlaufbelag (5) aus Silikongummi hergestellt ist.
4. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) nach einem der oben genannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktuatoreinheit als eine pneumatische Verstelleinheit ausgebildet ist, welche auf die zumindest eine Schlauchmembran (6; 7) einwirkt.

5. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) nach einem der oben genannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Regeleinheit zur Druckfluidsteuerung vorgesehen ist.

6. Rotorspalt-Steuervorrichtung (2) nach einem der oben genannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mit der Regeleinheit verbundene Sensoreinheit zum Messen des Rotorspalts (8) vorgesehen ist.

7. Verfahren zur Steuerung der Weite eines Rotorspalts bei einem Verdichter einer Strömungsmaschine, wobei ein umlaufender Einlaufbelag aus flexiblem, gummiartigen Material mit einer ebenfalls umlaufenden Schlauchmembran vorgesehen ist, und wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ermitteln des Rotorspalts mit einer Sensoreinheit;
- Berechnen der erforderlichen Ausdehnung der Schlauchmembran zum Schließen des Rotorspalts in der Regeleinheit;
- Hineinbewegen des Einlaufbelags in den Rotorspalt mittels Druckfluidbeaufschlagung der Schlauchmembran;
- Wiederholen der vorgenannten Verfahrensschritte, bis die Sensoreinheit eine vorgegebene Spaltbreite erfasst hat.

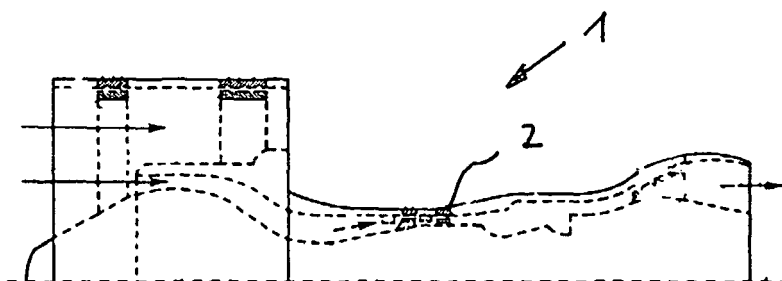


Fig. 1

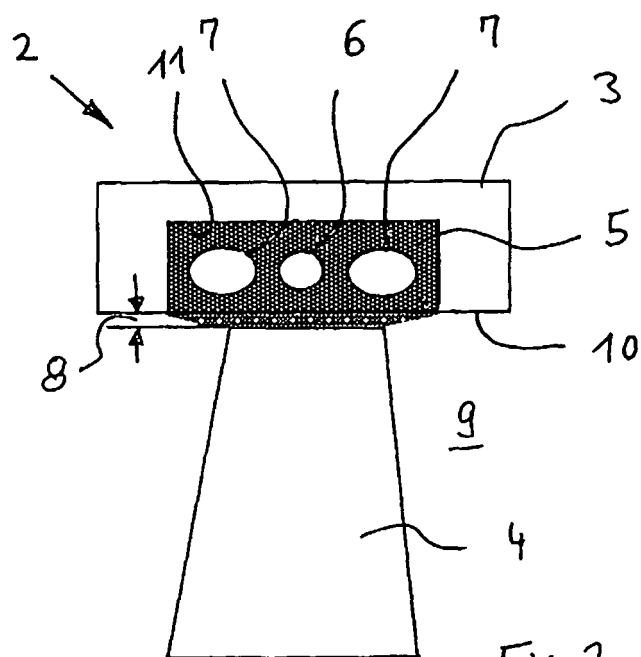


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 4247247 A [0008] [0012]
- US 4683716 A [0009] [0012]
- US 5211534 A [0010] [0012]
- US 5781333 A [0011]
- US 5871333 A [0012]
- DE 10117231 A1 [0013]