

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 823 539 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**10.04.2002 Patentblatt 2002/15**

(51) Int Cl.7: **F01D 5/14**

(21) Anmeldenummer: **97112247.8**

(22) Anmeldetag: **17.07.1997**

(54) **Grenzschichtbeeinflussung bei Turbomaschinenschaufeln**

Influencing the boundary layer on turbomachinery blades

Méthode pour influencer la couche limite sur des aubes de turbomachines

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

(30) Priorität: **09.08.1996 DE 19632207**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.02.1998 Patentblatt 1998/07**

(73) Patentinhaber: **Rolls-Royce Deutschland Ltd &  
Co KG**  
**15827 Dahlewitz (DE)**

(72) Erfinder: **Schulte, Volker, Dr.**  
**82216 Maisach (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 3 505 823** **US-A- 4 581 887**  
**US-A- 5 029 440** **US-A- 5 397 217**

**EP 0 823 539 B1**

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

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbomaschine mit zumindest einer mehrere Schaufeln tragenden Rotorscheibe, wobei zur Verhinderung der laminaren Grenzschicht-Ablösung an den Schaufeln ein Strömungsfluid in Form intermittierender Fluidpulse in die Nähe des Ablösungsgebietes über in den Schaufeln vorgesehene und in Ausblaseöffnungen an der Schaufeloberfläche mündende Fluidkanäle eingeblasbar ist. Zum bekannten Stand der Technik wird insbesondere auf die DE 43 33 865 C2 verwiesen. Bekannten Stand der Technik bildet ferner das ASME-Paper 96-GT-486 mit dem von V. Schulte und HP. Hodson auf der IGTI-Konferenz in Birmingham, 1996, präsentierten Vortrag "Unsteady Wake-Induced Boundary Layer Transition in High Lift LP turbines", in welchem von sog. "beruhigten Zonen" gesprochen wird, welche in Grenzschichten auf der Beschaukelung von Turbomaschinen beobachtet werden können.

[0002] Die relative Bewegung von Rotoren und Statoren in Turbomaschinen führt dazu, daß die sog. Nachläufe der stromaufwärts liegenden Schaufelreihe mit den Grenzschichten der Schaufelprofile der stromabwärts liegenden Schaufelreihe in Wechselwirkung treten. Im Vergleich zur ungestörten Zuströmung kann es dabei zu vielfältigen Veränderungen der Grenzschichtentwicklung und damit der Profilverluste kommen. Wenn die vorbeifahrenden (instationären) Nachläufe auf eine überwiegend laminare oder abgelöste Profil-Grenzschicht treffen, wie dies beispielsweise auf der Saugseite von Niederdruckturbinen bei niedrigen Reynolds-Zahlen häufig der Fall ist, so wird die Position des Transitionsbeginns auf der Saugseite periodisch nach vorne wandern. Dies ist durch den erhöhten äußeren Turbulenzgrad der Nachläufe begründet, wobei experimentell zu beobachten ist (vgl. oben genannte Literatur), daß eine Position auf der Schaufeloberfläche zuerst eine turbulente Zone sieht, wonach zunächst eine sog. beruhigte Zone folgt und erst dann die Grenzschicht wieder in ihren ursprünglichen ungestörten Zustand zurückkehrt. Die sog. beruhigte Zone ist dabei eine grundsätzlich laminare Zone, da hierin keine turbulenten Schwankungsgrößen auftreten, wobei jedoch die Wandschubspannung langsam von einem turbulenten Wert auf einen laminaren Wert zurückschwenkt. Die beruhigte Zone ist folglich ein rein instationäres Phänomen, das lediglich in instationär zum Umschlag gebrachten Grenzschichten entstehen kann. Die gegenüber einer "normalen" laminaren Grenzschicht erhöhte Wandschubspannung stabilisiert dabei die beruhigte Zone, so daß Ablösung und Transition in der beruhigten Zone verzögert werden.

[0003] Diese sog. beruhigten Zonen stellen somit ein spezielles instationäres Grenzschichtphänomen dar, welches die vorteilhafte Möglichkeit bietet, eine laminare Ablösung z. B. auf der Saugseite von Niederdruckturbinen zu verhindern, ohne die Grenzschicht voll tur-

bulent werden zu lassen. Dies erhöht die Stabilität der Grenzschicht im Vergleich zur komplett laminaren Grenzschicht und verringert somit die Verluste, die bei einer voll turbulenten Grenzschicht auftreten. Ferner stellt insbesondere in Niederdruckturbinen die sich unter Umständen nicht wieder anlegende laminare Ablöseblase bei niedrigen Reynolds-Zahlen ein Risiko für den Wirkungsgrad und eine Grenze für die Schaufelbelastung dar. Die Kontrolle dieser Ablöseblase ist derzeit schwierig und kann im bisher bekannten Stand der Technik im wesentlichen nur über die Formgebung der Schaufeln erfolgen.

[0004] Da die soeben kurz beschriebenen beruhigten Zonen eine verlustsenkende Wirkung haben, während die durch die Nachläufe induzierten turbulenten Zonen dazu tendieren, die Verluste zu erhöhen, wird angestrebt, mit geeigneten Maßnahmen derartige beruhigte Zonen zu erzeugen, um diese dann als wirkungsgradoptimales Mittel zur Unterdrückung von verlustreichen laminaren Ablöseblasen einsetzen zu können.

So können bekanntermaßen die vorteilhaften beruhigten Zonen durch gezielte aktive Grenzschichtmaßnahmen erzeugt werden. Im Stand der Technik bereits bekannt ist eine Grenzschichtanfachung zur Verhinderung von Ablöseblasen, und zwar durch Einblasen von Strömungsfluid in das Ablösungsgebiet über in den Schaufeln vorgesehenen und an der Schaufeloberfläche mündende Fluidkanäle (vgl. DE 30 43 567 C2 und DE 35 05 823 A1). Hierbei handelt es sich jedoch um quasi stationäre Maßnahmen.

[0005] Ferner ist es aus der oben genannten DE 43 33 865 C1 bekannt, hierfür instationäre Maßnahmen zu ergreifen, indem die Einblasung in Form intermittierender Fluidpulse erfolgt, was zur Folge hat, daß die Grenzschicht nicht voll turbulent wird, sondern nur zeitweise turbulent und zeitweise auch beruhigt wird. Dies erzeugt gegenüber stationären Maßnahmen wesentlich geringere Verluste, da die beruhigte Grenzschicht bezüglich der Verlustzeugung einer laminaren Grenzschicht gleichgesetzt werden kann.

[0006] Bei der DE 43 33 865 C1 ist zur Erzeugung der intermittierenden Fluidpulse in jeder Schaufel bzw. in jedem Schaufelblatt der Turbomaschine ein als schwingungsfähige Blattfeder ausgebildetes Ventil vorgesehen, welches die an der Schaufeloberfläche mündenden Fluidkanäle, über welche das Strömungsfluid in die Grenzschicht eingeblasen wird, periodisch öffnet und schließt. Durch dieses quasi taktend arbeitende Ventil werden somit die gewünschten Fluidpulse erzeugt.

[0007] Theoretisch ist diese bekannte Lösung zwar realisierbar und wirkt grundsätzlich auch überzeugend, jedoch ist diese Maßnahme, die an einer Rotorscheibe mit einer Vielzahl von Turbomaschinen-Schaukeln ebenso eine Vielzahl derartiger taktend arbeitender Ventile benötigt, in der Praxis nicht umsetzbar.

[0008] Eine demgegenüber vereinfachte Lösung aufzuzeigen, mit Hilfe derer Fluidpulse an einer Schaufeln tragenden Rotorscheibe einer Turbomaschine praxis-

nah, d.h. technisch einfach umsetzbar, erzeugt werden können, ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist vorgesehen, daß stirnseitig der Rotorscheibe ein stationärer Ring mit zumindest einer Durchtrittsöffnung vorgesehen ist, mit welcher die in der vorbeieilenden Scheibe vorgesehenen Eintrittsöffnungen für die Schaufel-Fluidkanäle periodisch zur Deckung kommen, um hierdurch das Strömungsfluid aus einem vor der Rotorscheibe liegenden Raum in intermittierender Form als Fluidpulse über die zumindest eine Durchtrittsöffnung in die Fluidkanäle gelangen zu lassen.

Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

**[0009]** Anders als bei der Entstehung durch instationäre Nachläufe erlaubt es die erfindungsgemäße Erzeugung der beruhigten Zonen durch aktive Maßnahmen, die Frequenz der Grenzschichtanfachung sowie deren Position im Hinblick auf geringste Verluste zu optimieren. Die für die intermittierende Grenzschichtanfachung intermittierend in das Ablösungsgebiet eingeblasenen Fluidpulse führen dabei jeweils nur zu einer kurzzeitigen Beeinflussung der Grenzschicht auf der Schaufeloberfläche und stellen für sich betrachtet einen vernachlässigbar geringen Massenstrom dar. Ein bevorzugter Einsatz der Erfindung liegt bei sehr niedrigen Reynolds-Zahlen und kann insbesondere zunächst in Niederdruckturbinen vorgesehen werden. Dort ist es möglich, mit Hilfe dieser Erfindung den Arbeitsbereich herkömmlicher Schaufel-Profile zu noch niedrigeren Reynolds-Zahlen zu erweitern, oder Hochauftriebsprofile einzusetzen, welche ohne Einsatz der vorliegenden Erfindung einen nicht **akzeptablen** Wirkungsgrad durch eine zu große, möglicherweise sich nicht wieder anlegende Ablösung haben. Der Einsatz von Hochauftriebsprofilen hat deutliche Gewichts- und Kostenvorteile, da hiermit eine generelle Verringerung der Schaufelzahl möglich ist.

**[0010]** Optimiert werden kann die Einblase-Frequenz der intermittierenden Fluidpulse bevorzugt im Hinblick auf den aerodynamischen Auslegungspunkt der Turbomaschine. Dabei kann die Einblase-Frequenz in der Größenordnung der Blatt-Folgefrequenz einer die Schaufeln tragenden Rotor- oder Statorscheibe liegen.

**[0011]** Ohne spezielle Ansteuerung realisierbar und nur einen geringen Zusatzaufwand erfordernd ist die erfindungsgemäße, im folgenden beschriebene und in der beigefügten Prinzipskizze gezeigte Anordnung an einer Turbomaschinen-Rotorscheibe wobei zur Verhinderung der laminaren Grenzschicht-Ablösung an den Schaufeln ein Strömungsfluid in Form intermittierender Fluidpulse in die Nähe des Ablösungsgebietes über in den Schaufeln vorgesehene und in Ausblaseöffnungen an der Schaufeloberfläche mündende Fluidkanäle eingeblasbar ist.

**[0012]** Dabei zeigt Fig. 1 u.a. eine Schaufel eines Turbinen-Rotors mit davorliegender Stator-Schaukel, Fig. 2 die Ansicht A-A aus Fig. 1 und Fig. 3 den Schnitt B-B

aus Fig. 1.

**[0013]** In einem Strömungskanal 1 - dieser wird gemäß dem gezeigten Pfeil durchströmt - einer Turbomaschine befinden sich wie üblich ringförmig angeordnet und dabei eine sog. Statorscheibe bildend mehrere Stator-Schaukeln, von denen eine dargestellt und mit der Bezugsziffer 2 bezeichnet ist. Stromab dieser Stator-Schaukel 2 erkennt man eine Rotor-Schaukel 3, von welchen sich ebenfalls mehrere ringförmig angeordnet auf einer Turbomaschinen-Rotorscheibe 4 befinden. Auf der Oberfläche der Schaufeln 3 sind schaufelsaugseitig Ausblaseöffnungen 5 vorgesehen, die mit einem Fluidkanal 6, der innerhalb der Schaufel 3 verläuft, in Verbindung stehen. Jeder Fluidkanal 6 einer Rotorscheifel 3 setzt sich dabei in der Rotorscheibe 4 fort und wird darin zur Stirnseite 4' der Rotorscheibe geführt, wo er in Form einer Eintrittsöffnung 7 mündet.

**[0014]** In Anströmrichtung bezüglich der Schaufel 3 befindet sich vor der Stirnseite 4' der Rotorscheibe 4 ein stationärer Ring 8, der zumindest eine, bevorzugt jedoch über seinem Umfang verteilt mehrere Durchtrittsöffnungen 9 aufweist, oberhalb sowie unterhalb derer jeweils eine Dichtung 10 zur Rotorscheibe 4 hin vorgesehen ist. Der im Raum 11 zwischen der gezeigten Rotorscheibe 4 sowie der nicht gezeigten, in Strömungsrichtung davorliegenden Rotorscheibe herrschende Totaldruck ist höher als der im Bereich der Ausblaseöffnung 5 anliegende statische Druck. Dies bewirkt, daß zu dem Zeitpunkt, zu welchem die Eintrittsöffnung 7 der am stationären Ring 8 vorbeieilenden Rotorscheibe 4 mit einer Durchtrittsöffnung 9 im stationären Ring zur Deckung kommt, ein kurzer Fluidpuls des im Raum 11 befindlichen Strömungsfluids in den entsprechenden Fluidkanal 6 gelangen kann. Dieser Fluidpuls 6 setzt sich dann im Fluidkanal 6 zu den Austrittsöffnungen 5 hin fort, gelangt über diese Austrittsöffnungen 5 auf die Schaufeloberfläche und veranlaßt dort die beschriebene aktive Grenzschichtanfachung. Da aufgrund des Vorbeieilens der Rotorscheibe 4 an der Durchtrittsöffnung 9 dieses In-Deckung-Kommen mit der Eintrittsöffnung 7 lediglich sehr kurzzeitig ist, wird auch tatsächlich nur der erwünschte kurze Fluidpuls erzeugt. Durch die relative Bewegung der Eintrittsöffnung 7 gegenüber der Durchtrittsöffnung 9 wird somit mit einer Frequenz, die abhängig ist von der Drehzahl der Rotorscheibe 4 sowie von der Anzahl der Durchtrittsöffnungen 9 im stationären Ring ein intermittierender Lufteintritt in den Fluidkanal 6 ermöglicht. Die Dauer des Fluidpulses hängt dabei von der Größe jeder Durchtrittsöffnung 9 insbesondere in Umfangsrichtung ab.

**[0015]** Wie bereits erwähnt, können auf dem stationären Ring 8 über dessen Umfang verteilt mehrere Durchtrittsöffnungen 9 vorgesehen sein, um die gewünschte Frequenz der intermittierenden Fluidpulse zu erzeugen. Diese mehreren Durchtrittsöffnungen 9 werden auch aus Fig. 2 ersichtlich. Ebenso wie die Zahl dieser Durchtrittsöffnungen 9 kann auch die Zahl der Ausblaseöffnungen 5 sowie deren Position im Hinblick auf die ge-

wünschten Ergebnisse optimiert werden. Sinnvollerweise werden jedoch diese Ausblaseöffnungen 5 in einer im wesentlichen radial verlaufenden Reihe entsprechend dem im wesentlichen in radialer Richtung verlaufenden Fluidkanal 6 mit genau bestimmter Teilung und Durchmesser an einer genau bestimmten axialen Position angebracht. Dabei sind selbstverständlich eine Vielzahl von Abwandlungen vom gezeigten Ausführungsbeispiel möglich, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Turbomaschine mit zumindest einer mehrere Schaufeln (3) tragenden Rotorscheibe (4), wobei zur Verhinderung der laminaren Grenzschicht-Ablösung an den Schaufeln ein Strömungsfluid in Form intermittierender Fluidpulse in die Nähe des Ablösungsgebietes über in den Schaufeln (3) vorgesehene und in Ausblaseöffnungen (5) an der Schaufeloberfläche mündende Fluidkanäle (6) **einblasbar** ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** stirnseitig der Rotorscheibe (4) ein stationärer Ring (8) mit zumindest einer Durchtrittsöffnung (9) vorgesehen ist, mit welcher die in der vorbeieilenden Scheibe (4) vorgesehenen Eintrittsöffnungen (7) für die Schaufel-Fluidkanäle (6) periodisch zur Deckung kommen, um hierdurch das Strömungsfluid aus einem vor der Rotorscheibe liegenden Raum (11) in intermittierender Form als Fluidpulse über die zumindest eine Durchtrittsöffnung (9) in die Fluidkanäle (6) gelangen zu lassen.
2. Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einblase-Frequenz in der Größenordnung der Blatt-Folgefrequenz einer die Schaufeln (2, 3) tragenden Rotorscheibe (4) oder Statorscheibe liegt.

## Claims

1. Turbomachine with a least one rotor disk (4) carrying several rotor blades (3), wherein laminar boundary layer separation is anticipated by blowing-in a gaseous fluid in the form of intermittent fluid pulses near the region of separation via fluid ducts (6) provided in the blades (3) and issuing as blowout holes (5) at the blade surface, **characterized in that** a stationary ring (8) provided in front of the rotor disk (4) has at least one passage (9) which, as the rotor disk (4) rotates, periodically coincides with the inlet ports (7) for the blade fluid ducts (6) provided in the passing rotor disk (4), thus enabling the gaseous fluid in a space (11) forward of the rotor disk to enter the fluid ducts (6) via at

least one passage (9) in intermittent form as fluid pulses.

2. Turbomachine of Claim 1, **characterized in that** the blow-in frequency is in the range of the blade repetition rate of a rotor disk (4) or a stator disk carrying the stator vanes or rotor blades (2, 3).

## Revendications

1. Turbomachine comportant au moins un disque de rotor (4) avec plusieurs aubes (3) sur lesquelles, pour éviter le décrochage de la couche laminaire limite des aubes, on souffle une veine de fluide sous la forme d'impulsions intermittentes de fluide à proximité de la zone de décrochage, par l'intermédiaire de canaux de fluide prévus dans les aubes (3) et débouchant à la surface des aubes par des orifices de sortie (5), **caractérisée en ce que** sur la face frontale du disque de rotor (4) il est prévu un anneau stationnaire (8) avec au moins un orifice de passage (9) avec lequel les orifices d'entrée (7) prévus dans le disque (4) en mouvement, et correspondant aux canaux de fluide (6) des aubes, viennent périodiquement en recouvrement, pour ainsi faire passer le fluide d'écoulement à partir d'un volume (11) situé en amont du disque de rotor, sous une forme intermittente, comme impulsions de fluide par au moins un orifice de passage (9) dans les canaux de fluide (6).
2. Turbomachine selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la fréquence d'insufflation est de l'ordre de grandeur de la fréquence de succession des lames d'un disque de rotor (4) ou de stator portant des aubes (2, 3).

