

(19)



(11)

EP 2 090 786 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
12.10.2016 Patentblatt 2016/41

(51) Int Cl.:
F04D 27/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09150842.4**

(22) Anmeldetag: **19.01.2009**

(54) **Gehäusestrukturierung zum Stabilisieren der Strömung in einer Strömungsarbeitsmaschine**

Housing structure for stabilising the flow in a flow work machine

Structuration de boîtier destinée à la stabilisation de l'écoulement dans une machine de traitement des écoulements

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **15.02.2008 DE 102008009604**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.08.2009 Patentblatt 2009/34

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

(72) Erfinder:
• **Clemen, Carsten**
15749 Mittenwalde (DE)

• **Schrapp, Henner**
15834 Rangsdorf (DE)

(74) Vertreter: **Kronthaler, Wolfgang N.K. et al**
Kronthaler, Schmidt & Coll.
Patentanwälte
Pfarrstraße 14
80538 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 046 173 EP-A1- 0 614 014
EP-A2- 1 008 758 WO-A1-95/34745
GB-A- 2 245 312 GB-A- 2 408 546
US-A1- 2003 152 455

EP 2 090 786 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Gehäuse mit mindestens einer Gehäusestrukturierung zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Verwendung des Gehäuses in einem Verdichter einer Gasturbine. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine mittels des Gehäuses.

[0002] In einer Strömungsarbeitsmaschine, insbesondere in einem Verdichter, wird mittels eines Rotors mit Laufschaufeln und eines Stators mit Leitschaufeln der Druck eines Fluids kontinuierlich erhöht. Die Stabilität der Strömung des Fluids im Verdichter hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad des Verdichters und die Lebensdauer der Schaufeln. Daher ist es ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung von Verdichtern, Strömungsinstabilitäten, wie sie besonders bei der Blattspitzenumströmung an den Laufschaufeln (Spaltströmung) auftreten, zu verringern, um die Stabilitätsgrenze des Verdichters zu erhöhen.

[0003] Zur Verbesserung der Verdichterstabilität gibt es grundsätzlich zwei Ansätze, die aktive und die passive Beeinflussung.

[0004] Zur aktiven Beeinflussung der Verdichterstabilität gehören z.B. verstellbare Leiträder.

[0005] In Fig. 1 ist ein Verdichter 1 eines nicht dargestellten Strahltriebwerks mit einem Verdichtergehäuse 2, einem Verdichterkanal 3, Laufschaufeln 4 und verstellbaren Leitschaufeln 5 mit Verstelleinrichtungen 6 nach dem Stand der Technik schematisch dargestellt. Die Luft 7 strömt in den Verdichter ein und verlässt ihn als verdichtete Luft 8. Die Funktionsweise der verstellbaren Leitschaufeln 5 zeichnet sich dadurch aus, dass der Anströmwinkel der Laufschaufeln 4 bei einer Änderung der Drehzahl des Verdichters 1 nachgeführt wird, um die Anströmbedingungen so einzustellen, dass die Stabilität der Gehäuse- und Profilgrenzschichten an den Laufschaufeln 4 gewahrt wird.

[0006] Verstellbare Leitschaufeln sind jedoch sehr kompliziert in ihrer Konstruktion. Es werden viele Einzelteile benötigt, wodurch der Verdichter schwerer und teurer wird. Insbesondere bei Strahltriebwerken ist jedoch eine Erhöhung des Gewichts durch zusätzliche Einrichtungen zu vermeiden. Außerdem sind die Verstelleinrichtungen anfällig für Versagen. Dies erhöht sowohl den Wartungsaufwand als auch die Wartungskosten.

[0007] Weiterhin ist als aktive Beeinflussung der Verdichterstabilität eine Rückführung von Fluid von den hinteren Stufen des Verdichters und seine Einblasung in den Bereich der Blattspitzen der vorderen Laufschaufeln bekannt.

[0008] Fig. 2 zeigt einen Verdichter 1 mit einem Kanal 10 zur Rückführung eines Teilstroms aus einer hinteren Verdichterstufe zu einer vorderen Verdichterstufe, der aus der Praxis bekannt ist. Der Verdichter 1 eines nicht dargestellten Strahltriebwerks weist im Wesentlichen ein Verdichtergehäuse 2, einen Verdichterkanal 3, Laufschaufeln 4 und Leitschaufeln 5 auf. Die Luft 7 strömt in den Verdichter ein und verlässt ihn als verdichtete Luft 8. Der Kanal 10 ist zwischen dem Verdichtergehäuse 2 und dem Bypass-Innengehäuse 9 des Strahltriebwerks angeordnet. Hinter einer stromab gelegenen Verdichterstufe befindet sich eine Zapfstelle 11, die in den Kanal 10 mündet, der zu einer Einblasestelle 12 vor einer stromauf gelegenen Verdichterstufe führt. Nach der Funktionsweise der Einblasung von Fluid vor oder über den Blattspitzen 40 der Laufschaufeln 4 der ersten Verdichterstufe wird Energie in den Bereich der Blattspitzen 40 der Laufschaufeln 4 eingebracht und so die Spaltströmung zwischen den Laufschaufeln 4 der ersten Verdichterstufe und dem Verdichtergehäuse 2 positiv beeinflusst.

[0009] Die Rückführung von Fluid ist jedoch nur dann drehzahlabhängig zu realisieren, wenn eine Steuerung über Ventile vorgesehen wird. Dies ist sehr komplex und unzuverlässig. Die Rückführung selbst bewirkt, dass heißes Fluid vom hinteren Teil des Verdichters nach vorne geführt wird. Dadurch erhöht sich das Temperaturniveau im Verdichter, und der Wirkungsgrad sinkt.

[0010] Eine Einblasung von Fluid in schaufelnahe Bereiche einer Strömungsarbeitsmaschine ist beispielsweise aus der DE 103 55 241 A1 bekannt. In der Druckschrift sind Einzeldüsen beschrieben, die punktuell am Gehäuse angebracht sind und durch die den schaufelnahe Bereichen an unterschiedlichen Stellen Luft zugeführt wird. Des Weiteren sind in der Druckschrift Kanäle beschrieben, die durch Zufuhrkammern führen und im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in das Gehäuse münden. Durch die Zufuhrkammern wird der Schaufelreihe Fluid zugeführt. Die Zuführung des Fluids erfolgt entweder von einer Fremdquelle aus oder wird von Orten der Strömungsarbeitsmaschine oder der die Strömungsmaschine einschließenden Gesamtanlage zurückgeführt.

[0011] Zur passiven Beeinflussung der Verdichterstabilität gehören Gehäusestrukturierungen ("Casing Treatments") in Form von kleinen Vertiefungen, die vor oder über den Blattspitzen der Laufschaufeln am Umfang des Verdichtergehäuses angebracht sind und die Blattspitzenumströmung beeinflussen.

[0012] In Fig. 3 ist eine solche passive Beeinflussung dargestellt. Der Verdichter 1 eines nicht dargestellten Strahltriebwerks umfasst ein Verdichtergehäuse 2, einen Verdichterkanal 3, Laufschaufeln 4 und Leitschaufeln 5. Die Luft 7 strömt in den Verdichter ein und verlässt ihn als verdichtete Luft 8. An der Vorderkante 41 der Blattspitze 40 der ersten Laufschaufel 4 befindet sich eine Vertiefung 13. Die Beeinflussung der Strömung im Bereich der Blattspitze 40 wird dadurch erreicht, dass die Strömung am stromabliegenden Ende der Vertiefung 13 in die Vertiefung 13 eintritt und am stromaufliegenden Ende der Vertiefung 13 wieder austritt und somit zirkuliert. Dies geschieht dadurch, dass der Druck

am stromab liegenden Ende der Vertiefung 13 größer ist als am stromaufliegenden Ende. Diese Druckdifferenz bewirkt die lokale Rezirkulation der Strömung. Dadurch wird eine geringe Energiemenge in den vorderen Bereich der Blattspitze 40 transportiert. Die Wechselwirkung der Strömungsrezirkulation mit der Blattspitzenüberströmung führt zu einer Stabilisierung der Spaltströmung und damit des Verdichters.

5 **[0013]** Mit in axialer Richtung verlaufenden Kanälen ausgebildete Gehäuse sind beispielsweise aus der GB 2 408 546 A, der EP 0 614 014 A1, der EP 0 046 173 A1, der US 2003/0152455 A1 und der GB 2 245 312 A bekannt. Ferner ist aus der WO 95/34745 A1 ein Gehäuse mit in Umfangsrichtung verteilten Vertiefungen bekannt.

[0014] Die Vertiefungen sind nicht drehzahlabhängig, sondern können nur für einen Betriebspunkt optimal ausgelegt werden. Dies bedeutet, dass sie unzureichend für eine Stabilitätsenerweiterung bei allen Betriebsbedingungen sind.

10 **[0015]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Gehäuse zu schaffen, das die Verdichterstabilität erhöht, einfach aufgebaut ist, ein geringes Gewicht aufweist, zuverlässig funktioniert und das Fluid in der Strömungsarbeitsmaschine nicht erhitzt.

[0016] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Gehäuse mit mindestens einer Gehäusestrukturierung zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1 gelöst. Weiterhin wird die Aufgabe mit einem Verfahren zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

15 **[0017]** Erfindungsgemäß besteht die Lösung der Aufgabe in einem Gehäuse mit mindestens einer Gehäusestrukturierung zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine, wobei die Gehäusestrukturierung mindestens in einer Stufe am inneren Umfang des Gehäuses angeordnet ist. Die Gehäusestrukturierung ist als Kanal ausgebildet, der ein erstes Ende und ein zweites Ende umfasst, wobei das erste Ende im Bereich der Blattspitzen eines Laufschaufelkranzes in das Innere des Gehäuses mündet und das zweite Ende geschlossen ist. Die Länge l des Kanals am zweiten Ende ist in einem Bereich zwischen einer Mindestlänge $l_{\min}$ und einer maximalen Länge $l_{\max}$ drehzahlabhängig einstellbar ist.

25 **[0018]** Statische Druckfelder, die sich an den Laufschaufeln ausbilden, ziehen an dem Kanal vorbei und regen die Luftsäule in dem Kanal zu Schwingungen an. Bei einer bestimmten Drehzahl bildet sich im Kanal eine stehende Welle aus. Dadurch entsteht an der Mündung des Kanals ein pulsierender Massenstrom, der die Strömung zwischen den Blattspitzen der Laufschaufeln und dem Gehäuse stabilisiert.

30 **[0019]** Da die Länge l des Kanals am zweiten Ende in einem Bereich zwischen einer Mindestlänge $l_{\min}$ und einer maximalen Länge $l_{\max}$ drehzahlabhängig einstellbar ist, kann die Eigenfrequenz der Luftsäule im Kanal auf jeden Betriebszustand der Strömungsarbeitsmaschine eingestellt werden. Das erfindungsgemäße Gehäuse verbindet somit die Vorteile der passiven Gehäusestrukturierungen, die durch Vertiefungen im Gehäuse gebildet werden, (einfache Konstruktion, geringes Gewicht, keine Rückführung von heissem Fluid) mit den Vorteilen der aktiven Strömungsbeeinflussung durch Verstellleiträder (drehzahlabhängige Steuerung). Der in der Länge l einstellbare Kanal ermöglicht, zukünftige Verdichter mit höher belasteten Rotorspitzen auszulegen, was zum Beispiel durch eine Verringerung der Rotorschaukelzahlen erreicht werden kann. Dies führt zu einer Gewichts- und Kostenreduktion.

35 **[0020]** Die Anordnung ist einfach im Aufbau und funktioniert zuverlässig. Das Gewicht des Verdichters wird durch den Kanal nicht erhöht. Auch die Temperatur der Strömung im Verdichter wird nicht, wie zum Beispiel bei einer Rückführung von Fluid, erhöht.

40 **[0021]** Vorzugsweise weist der Kanal am ersten Ende eine Verjüngung auf. Die Verjüngung verstärkt den Effekt des pulsierenden Massenstroms.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Kanal zumindest in dem Bereich zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ geradlinig und weist in diesem Bereich einen konstanten Querschnitt auf, wobei am zweiten Ende des Kanals ein in Längsrichtung des Kanals im Bereich zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ beweglicher Kolben angeordnet ist. Der bewegliche Kolben ermöglicht auf einfache Weise die Einstellung der Länge l des Kanals. Die Anordnung des Kolbens ist sehr einfach zu realisieren, benötigt wenige Teile und besitzt ein geringeres Gewicht als ein Verstellleitradssystem nach dem Stand der Technik.

50 **[0023]** Die Position des Kolbens kann mittels eines elektrischen, hydraulischen oder pneumatischen Antriebs steuerbar sein. Als elektrischer Antrieb kommt beispielsweise ein Schrittmotor in Frage. Diese Antriebe sind zuverlässig und können leicht in die Strömungsarbeitsmaschine eingebaut werden.

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Kanal im Wesentlichen radial zum inneren Umfang des Gehäuses angeordnet. Ein solcher Kanal kann zum Beispiel durch einen Kern beim Gießen oder durch nachträgliches Bohren einfach hergestellt werden.

[0025] In einer alternativen Ausführungsform ist der Kanal in einem Winkel zur Längsachse des Gehäuses angeordnet. Auch solch ein Kanal kann leicht durch einen Gießkern oder Bohren hergestellt werden.

55 **[0026]** In einer weiteren alternativen Ausführungsform ist der Kanal außerhalb des Bereichs zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ bogenförmig gekrümmt. Diese Form ermöglicht eine Länge des Kanals, die die Dicke der Gehäusewand überschreitet.

[0027] In einer weiteren alternativen Ausführungsform ist der Kanal im Bereich des ersten Endes bogenförmig ge-

krümmt und im Bereich zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ parallel zur Längsachse des Gehäuses. Diese Anordnung ist vorteilhaft, wenn sich der Kolben in axialer Richtung bewegen soll.

[0028] Erfindungsgemäß liegt die Position des ersten Endes des Kanals zwischen der Hinterkante der Laufschaufel und einem Abstand von 1,3 mal der axialen Sehnenlänge l_{ax} der Laufschaufel an der Blattspitze, von der Hinterkante der Laufschaufel aus gemessen. Dieser Positionsbereich ist optimal, um die Strömung zwischen den Blattspitzen der Laufschaufeln und dem Gehäuse zu stabilisieren.

[0029] Vorzugsweise wird das Gehäuse in einem Verdichter einer Gasturbine verwendet. Bei einer Gasturbine ist die Verdichterstabilität besonders wichtig. Der Verdichter ist hohen Belastungen durch Druck und Temperatur ausgesetzt und soll nicht durch Strömungsinstabilitäten zusätzlich belastet werden.

[0030] Weiterhin besteht die Lösung der Aufgabe in einem Verfahren zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln in einer Strömungsarbeitsmaschine mittels des Gehäuses, wobei sich an jeder Laufschaufel ein statisches Druckfeld ausbildet. Das statische Druckfeld zieht während der Rotation der Laufschaufel am ersten Ende des Kanals vorbei und regt die Fluidsäule im Kanal zu Schwingungen an, wobei im Kanal eine stehende Welle erzeugt wird, durch die am ersten Ende des Kanals ein pulsierender Massenstrom entsteht.

[0031] Dieses Verfahren beruht auf einem einfachen Prinzip und ist sehr zuverlässig. Das Verfahren führt dazu, dass eine Erhöhung der Verdichterpumpgrenze erreicht werden kann, ohne den Verdichtererwirkungsgrad negativ zu beeinflussen, und dass die Erhöhung der Pumpgrenze für den gesamten Drehzahlbereich des Verdichters optimal ausgenutzt werden kann.

[0032] Vorzugsweise wird die stehende Welle erzeugt, indem die Eigenfrequenz der Fluidsäule so auf die Blattfolgefrequenz abgestimmt wird, dass die Eigenfrequenz der Fluidsäule ein Vielfaches der Blattfolgefrequenz der Laufschaufeln ergibt. Die Abstimmung der Eigenfrequenz der Fluidsäule ermöglicht eine Verbesserung der Stabilität bei allen Betriebsbereichen der Strömungsarbeitsmaschine.

[0033] Weiterhin kann die Eigenfrequenz der Fluidsäule durch das Einstellen der Länge l des Kanals drehzahlabhängig eingestellt werden. Durch das Einstellen der Länge l des Kanals ist eine einfache Einstellung der Eigenfrequenz der Fluidsäule im Kanal möglich.

[0034] Die Länge l des Kanals kann mit der Formel

$$l(n) = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{nz}$$

berechnet werden, wobei

l die Länge des Kanals,
 k eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 n die aerodynamische Drehzahl des Verdichterrotors
 und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes
 sind.

[0035] Diese Formel ermöglicht eine präzise Bestimmung der optimalen Länge l des Kanals für jeden Betriebsbereich. Die Anpassung der Länge l des Kanals in Abhängigkeit von der aerodynamischen Drehzahl des Verdichters führt dazu, dass sich stets ein definierter Strömungszustand im Kanal ausbildet, wodurch der Kanal maximal wirksam ist und die Verdichterstabilität maximal erhöht wird. Da die aerodynamische Drehzahl dem Triebwerkscomputer zur Verfügung steht, ist die Steuerung der Länge l des Kanals sehr einfach und zuverlässig realisierbar. Da die Länge l des Kanals optimal auf alle Drehzahlen angepasst ist, ist außerdem mit einer Verbesserung des Verdichtererwirkungsgrades zu rechnen.

[0036] Insbesondere kann die Mindestlänge $l_{\min}$ des Kanals mit der Formel

$$l_{\min} = \left(\frac{1}{2}k_{\min} + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\max} z} \quad \text{mit } k_{\min} \leq k$$

berechnet werden, wobei

$l_{\min}$ die Mindestlänge des Kanals,
 $k_{\min}$ eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 $n_{\max}$ die maximale aerodynamische Drehzahl des Verdichterrotors und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes

sind.

[0037] Durch die Bestimmung der Mindestlänge kann sichergestellt werden, dass die Kanallänge nicht zu kurz eingestellt wird.

[0038] Außerdem kann die maximale Länge $l_{\max}$ des Kanals mit der Formel

$$l_{\max} = \left(\frac{1}{2} k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\min} z}$$

berechnet werden, wobei

$l_{\max}$ die maximale Länge des Kanals,
 k eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 $n_{\min}$ die minimale aerodynamische Drehzahl des Verdichterrotors und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes

sind.

[0039] Durch die Bestimmung der maximalen Länge des Kanals wird gewährleistet, dass der Kanal nicht zu lang eingestellt wird.

[0040] Im Folgenden werden mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Verdichtergehäuse mit verstellbaren Leitschaufeln nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 ein Verdichtergehäuse mit einem Kanal zur Rückführung von Fluid nach dem Stand der Technik,

Fig. 3 ein Verdichtergehäuse mit einer Gehäusestrukturierung (Vertiefung) nach dem Stand der Technik,

Fig. 4a eine schematische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines Kanals in einem erfindungsgemäßen Gehäuse,

Fig. 4b eine schematische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Kanals in einem erfindungsgemäßen Gehäuse,

Fig. 4c eine schematische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Kanals in einem erfindungsgemäßen Gehäuse,

Fig. 4d eine schematische Ansicht eines vierten Ausführungsbeispiels eines Kanals in einem erfindungsgemäßen Gehäuse,

Fig. 5 eine vergrößerte schematische Ansicht des dritten Ausführungsbeispiels und

Fig. 6 eine vergrößerte schematische Ansicht des vierten Ausführungsbeispiels.

[0041] Die Fig. 4a, 4b, 4c und 4d zeigen jeweils einen Teil eines Gehäuses, das als Verdichtergehäuse 2 in einem nicht dargestellten Strahltriebwerk ausgebildet ist, eine Laufschaufel 4 und einen Kanal 20 mit einem Kolben 30.

[0042] Das Verdichtergehäuse 2 umschließt den im Querschnitt kreisförmigen Verdichterkanal 3. Im Verdichterkanal 3 befinden sich radial auf einer nicht dargestellten Welle oder Rotorscheibe angeordnete Laufschaufeln. In den Fig. 4a-

d ist jeweils nur eine Laufschaufel 4 dargestellt. Die Laufschaufel 4 weist eine Blattspitze 40, eine stromauf liegende Vorderkante 41 und eine stromab liegende Hinterkante 42 auf. Zwischen der Blattspitze 40 der Laufschaufel 4 und dem Verdichtergehäuse 2 befindet sich ein Spalt 43 im Verdichterkanal 3.

[0043] Im Verdichtergehäuse 2 ist der Kanal 20 im Bereich der Blattspitze 40 der Laufschaufel 4 angeordnet. Der Kanal 20 weist ein erstes Ende 21 und ein zweites Ende 22 auf. Das erste Ende 21 des Kanals 20 mündet im Bereich der Blattspitze 40 der Laufschaufel 4 in den Verdichterkanal 3 bzw. in den Spalt 43. Das zweite Ende 22 des Kanals 20 ist deutlich von dem ersten Ende 21 beabstandet und durch den verstellbaren Kolben 30 verschlossen. Dieser Kanal 20 kann beliebig in seiner Anzahl, Erstreckung und Form in axialer Richtung und in Umfangsrichtung sein. Es können beliebig viele Kanäle 20 der vier Ausführungsarten, die in den Fig. 4a-d dargestellt sind, am Umfang des Verdichtergehäuses 2 angeordnet sein. Es können außerdem weitere Kanäle 20 an den Laufschaufeln weiterer Verdichterstufen angeordnet sein.

[0044] In Fig. 4a ist das erste Ausführungsbeispiel des Kanals 20 im Verdichtergehäuse 2 dargestellt. Der Kanal 20 verläuft geradlinig und radial zum inneren Umfang des Verdichtergehäuses 2. Das erste Ende 21 des Kanals 20 mündet im stromab liegenden Bereich der Blattspitze 40 der Laufschaufel 4 in den Spalt 43 zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2.

[0045] In Fig. 4b ist das zweite Ausführungsbeispiel des Kanals 20 im Verdichtergehäuse 2 dargestellt. Der Kanal 20 verläuft geradlinig und ist in einem spitzen Winkel zur nicht dargestellten Längsachse des Verdichtergehäuses 2 geneigt, wobei die Spitze des Winkels in Strömungsrichtung zeigt. Das erste Ende 21 des Kanals 20 mündet im stromauf liegenden Bereich der Blattspitze 40 der Laufschaufel 4 in den Spalt 43 zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2.

[0046] In Fig. 4c ist das dritte Ausführungsbeispiel des Kanals 20 im Verdichtergehäuse 2 dargestellt. Der Kanal 20 verläuft nur am zweiten Ende 22 geradlinig und radial zum inneren Umfang des Verdichtergehäuses 2. Das erste Ende 21 des Kanals 20 verläuft bogenförmig, verjüngt sich in Richtung des Verdichterkanals 3 und mündet stromauf der Vorderkante 41 der Laufschaufel 4 kurz vor dem Spalt 43 zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2 in den Verdichterkanal 3.

[0047] In Fig. 4d ist das vierte Ausführungsbeispiel des Kanals 20 im Verdichtergehäuse 2 dargestellt. Der Kanal 20 verläuft nur am zweiten Ende 22 geradlinig und parallel zur nicht dargestellten Längsachse des Verdichtergehäuses 2. Das erste Ende 21 des Kanals 20 verläuft bogenförmig, verjüngt sich in Richtung des Verdichterkanals 3 und mündet stromauf der Vorderkante 41 der Laufschaufel 4 kurz vor dem Spalt 43 zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2 in den Verdichterkanal 3.

[0048] In Fig. 5 ist das dritte Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4c für den Kanal 20 im Verdichtergehäuse 2 vergrößert dargestellt. Zu sehen sind im Wesentlichen wieder das Verdichtergehäuse 2, mit dem Verdichterkanal 3, die Laufschaufel 4, eine Leitschaufel 5 und der Kanal 20 mit dem Kolben 30. Der aus der Laufschaufel 4 und der Leitschaufel 5 gebildeten Verdichterstufe wird ein Luftstrom 7 zugeführt. Der verdichtete Luftstrom 8 tritt aus der Verdichterstufe aus.

[0049] Der Kanal 20 umfasst das erste Ende 21 und das zweite Ende 22, in dem sich der Kolben 30 befindet. Die Laufschaufel 4 umfasst die Blattspitze 40, die Vorderkante 41 und die Hinterkante 42. Zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2 befindet sich der Spalt 43. Der axiale Abstand zwischen der Vorderkante 41 und der Hinterkante 42 an der Blattspitze 40 ist die Sehnenlänge l_{ax} . Die Position des Kanals 20 kann zwischen der Hinterkante 42 der Laufschaufel 4 und dem 1,3-fachen der axialen Sehnenlänge l_{ax} , von der Hinterkante 42 aus gemessen, liegen. Dieser Bereich ist in Fig. 5 durch l_{pos} gekennzeichnet.

[0050] In Fig. 6 ist das vierte Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4d für den Kanal 20 im Verdichtergehäuse 2 vergrößert dargestellt. Zu sehen sind im Wesentlichen wieder das Verdichtergehäuse 2, mit dem Verdichterkanal 3, die Laufschaufel 4 und der Kanal 20 mit dem Kolben 30. Der Kanal 20 umfasst eine Mittellinie 23, das erste Ende 21 und das zweite Ende 22, in dem sich der Kolben 30 befindet. Die Laufschaufel 4 umfasst die Blattspitze 40, die Vorderkante 41 und die Hinterkante 42. Zwischen der Blattspitze 40 und dem Verdichtergehäuse 2 befindet sich der Spalt 43.

[0051] In radialer Richtung kann die Form des Kanals 20 beliebig sein (vgl. Fig. 4a-d). Die Länge l des Kanals 20 ist dagegen nicht beliebig. Die maximale Länge l_{max} des Kanals 20 definiert sich aus der minimalen aerodynamischen Drehzahl n_{min} des Verdichters, bei der der Kanal 20 wirken soll, vgl. Gleichung (1). Die Gleichung (1) ist so gewählt, dass die maximale Länge l_{max} des Kanals 20 so ausgebildet ist, dass in dem Kanal 20 eine stehende Welle erzeugt wird. Die maximale Länge l_{max} liegt dabei auf der Mittellinie 23 des Kanals 20.

$$l_{max} = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{kR}}{n_{min} z} \quad (1)$$

mit

l_{max} maximale Länge des Kanals 20,

k beliebige natürliche Zahl,
 κ Isentropenexponent,
 R spezifische Gaskonstante,
 $n_{\min}$ minimale aerodynamische Drehzahl,
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes.

[0052] Die aerodynamische Drehzahl n ergibt sich aus der mechanischen Verdichterdrehzahl geteilt durch die Wurzel der Verdichtereintrittstemperatur. Diese aerodynamische Drehzahl n steht dem Triebwerkscomputer zur Verfügung. k ist eine beliebige natürliche Zahl (0, 1, 2, ...), über die die Länge l des Kanals 20 vergrößert werden kann, ohne seine Wirkung negativ zu beeinflussen. κ ist der Isentropenexponent, R die spezifische Gaskonstante und z die Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes, an dem der Kanal 20 auf die Strömung wirkt.

[0053] Bei Änderung der Verdichterdrehzahl, wird die Länge l des Kanals 20 entsprechend Gleichung (2) in Abhängigkeit von der aerodynamischen Drehzahl n variiert.

$$l(n) = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{nz} \quad (2)$$

mit

l Länge des Kanals 20,
 k beliebige natürliche Zahl,
 κ Isentropenexponent,
 R spezifische Gaskonstante,
 n aerodynamische Drehzahl,
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes.

[0054] Die Mindestlänge $l_{\min}$ des Kanals 20 ist dabei abhängig von der maximalen aerodynamischen Drehzahl $n_{\max}$, mit der der Verdichter betrieben wird, vgl. Gleichung (3). Dabei ist zu beachten, dass $k_{\min} \leq k$.

$$l_{\min} = \left(\frac{1}{2}k_{\min} + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\max} z} \quad (3)$$

mit

$l_{\min}$ Mindestlänge des Kanals 20,
 k beliebige natürliche Zahl,
 κ Isentropenexponent,
 R spezifische Gaskonstante,
 $n_{\max}$ maximale aerodynamische Drehzahl,
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes.

[0055] Die Einstellung der Länge l des Kanals 20 wird mit Hilfe des Kolbens 30 realisiert, der in dem Teil des Kanals 20 verfährt, der zwischen der Mindestlänge $l_{\min}$ und der maximalen Länge $l_{\max}$ des Kanals 20 liegt. Der Kolben 30 dient dabei dazu, die Länge l des Kanals 20 so zu verändern, dass gemäss Gleichung (2) die zu der aktuellen aerodynamischen Drehzahl n passende Länge l eingestellt wird. Der Verfahrweg des Kolbens 30 ist $s = l_{\max} - l_{\min}$. Im Bereich des Verfahrwegs s des Kolbens 30 ist der Kanal 20 so ausgebildet, dass der Kolben 30 passt, d.h. der Kanal 20 ist in diesem Bereich geradlinig und weist einen konstanten Querschnitt auf. Das Verfahren des Kolbens 30 wird über die aerodynamische Drehzahl n des Verdichters gesteuert und mit Hilfe einer geeigneten Mechanik realisiert, z.B. elektrisch (z.B. durch einen Schrittmotor), hydraulisch oder pneumatisch. Im Betrieb muss die Länge l des Kanals 20 so gewählt werden, dass in ihm eine stehende Welle erzeugt wird. Um die Länge l einzustellen, wird der verfahrbare Kolben 30 zwischen der Mindestlänge $l_{\min}$ und der maximalen Länge $l_{\max}$ des Kanals 20 bewegt. Der Verfahrweg s des Kolbens 30 ist, wie oben beschrieben, von der aerodynamischen Drehzahl n abhängig. Damit eine optimale Beeinflussung der Strömung erfolgt, sind zwei Größen aufeinander abzustimmen. Dies sind die Blattfolgefrequenz des zu beeinflussenden Laufschaufelkranzes und das Volumen des Kanals 20. Jede Laufschaufel 4 des Laufschaufelkranzes umgibt ein statisches Druckfeld.

Dieses zieht am ersten Ende 21 des Kanals 20 vorbei und regt die Luftsäule in dem Kanal 20 zu Schwingungen an. Der Kolben 30 ermöglicht es, das Volumen des Kanals 20 zu variieren. Somit wird auch die Eigenfrequenz der Luftsäule in dem Kanal 20 verändert.

[0056] Stellt man das Volumen nun so auf die Verdichterdrehzahl ein, dass die Blattfolgefrequenz mit einem Vielfachen der Eigenfrequenz der Luftsäule im Kanal 20 zusammenfällt, so bildet sich ein Resonanzfall aus und es entsteht eine stehende Welle mit maximaler Amplitude in dem Kanal 20. Am zweiten Ende 22 des Kanals 20 zeigt die stehende Welle am Kolben 30 einen Knoten, und die Geschwindigkeit ist null. Am ersten Ende 21 des Kanals 20 hat die stehende Welle einen Bauch. Somit schwingt hier die Luftsäule maximal. Es bildet sich am ersten Ende 21 des Kanals 20 ein pulsierender Massenstrom aus, der die Strömung im Bereich der Blattspitzen 40 der Laufschaufeln 4 stabilisiert.

Bezugszeichenliste

[0057]

1	Verdichter
2	Verdichtergehäuse
3	Verdichterkanal
4	Laufschaufel
5	Leitschaufel
6	Verstelleinrichtung
7	Luft
8	Luft
9	Bypass-Innengehäuse
10	Kanal
11	Zapfstelle
12	Einblasestelle
13	Vertiefung
20	Kanal
21	erstes Ende
22	zweites Ende
23	Mittellinie
l_{pos}	Positionsbereich
30	Kolben
l_{min}	Mindestlänge
l_{max}	maximale Länge
s	Kolbenverfahrweg
40	Blattspitze
41	Vorderkante
42	Hinterkante
43	Spalt
l_{ax}	Sehnenlänge

Patentansprüche

- Gehäuse (2) mit mindestens einer Gehäusestrukturierung zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen der Laufschaufeln (4) in einer Strömungsarbeitsmaschine, wobei die Gehäusestrukturierung mindestens in einer Stufe am inneren Umfang des Gehäuses (2) angeordnet ist, wobei die Gehäusestrukturierung als Kanal (20) ausgebildet ist, der ein erstes Ende (21) und ein zweites Ende (22) umfasst, wobei das erste Ende (21) im Bereich der Blattspitzen eines Laufschaufelkranzes in das Innere des Gehäuses (2) mündet und das zweite Ende (22) geschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge l des Kanals (20) am zweiten Ende (22) in einem Bereich zwischen einer Mindestlänge l_{min} und einer maximalen Länge l_{max} drehzahlabhängig einstellbar ist.
- Gehäuse (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) am ersten Ende (21) eine Verjüngung aufweist.
- Gehäuse (2) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) zumindest in dem Bereich zwischen l_{min} und l_{max} geradlinig ist und in diesem Bereich einen konstanten Querschnitt aufweist, wobei am zweiten

Ende (22) des Kanals (20) ein in Längsrichtung des Kanals (20) im Bereich zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ beweglicher Kolben (30) angeordnet ist.

4. Gehäuse (2) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Position des Kolbens (30) mittels eines elektrischen, hydraulischen oder pneumatischen Antriebs steuerbar ist.
5. Gehäuse (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) im Wesentlichen radial zum inneren Umfang des Gehäuses (2) angeordnet ist.
6. Gehäuse (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) in einem Winkel zur Längsachse des Gehäuses (2) angeordnet ist.
7. Gehäuse (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) außerhalb des Bereichs zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ bogenförmig gekrümmt ist.
8. Gehäuse (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (20) im Bereich des ersten Endes (21) bogenförmig gekrümmt und im Bereich zwischen $l_{\min}$ und $l_{\max}$ parallel zur Längsachse des Gehäuses (2) ist.
9. Gehäuse (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Position eines Durchstoßpunktes einer Kanalachse des Kanals (20) durch den inneren Umfang des Gehäuses (2) zwischen der Hinterkante (42) der Laufschaufel (4) und einem Abstand von 1,3 mal der axialen Sehnenlänge l_{ax} der Laufschaufel (4) an der Blattspitze (40), von der Hinterkante (42) der Laufschaufel (4) aus gemessen, liegt.
10. Verwendung des Gehäuses (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem Verdichter (1) einer Gasturbine.
11. Verfahren zum Stabilisieren der Strömung im Bereich der Blattspitzen (40) der Laufschaufeln (4) in einer Strömungsarbeitsmaschine mittels des Gehäuses (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei sich an jeder Laufschaufel (4) ein statisches Druckfeld ausbildet, und wobei das statische Druckfeld während der Rotation der Laufschaufel (4) am ersten Ende des Kanals (20) vorbeizieht und die Fluidsäule im Kanal (20) zu Schwingungen anregt, wobei im Kanal (20) eine stehende Welle erzeugt wird, durch die am ersten Ende (21) des Kanals (20) ein pulsierender Massenstrom entsteht.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die stehende Welle erzeugt wird, indem die Eigenfrequenz der Fluidsäule so auf die Blattfolgefrequenz abgestimmt wird, dass die Eigenfrequenz der Fluidsäule ein Vielfaches der Blattfolgefrequenz der Laufschaufeln (4) ergibt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eigenfrequenz der Fluidsäule durch das Einstellen der Länge l des Kanals (20) drehzahlabhängig eingestellt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge l des Kanals (20) mit der Formel

$$l(n) = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{nz}$$

berechnet wird, wobei

l die Länge des Kanals,
 k eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 n die aerodynamische Drehzahl des Verdichterrisors und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes sind.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mindestlänge $l_{\min}$ des Kanals (20) mit der Formel

$$l_{\min} = \left(\frac{1}{2} k_{\min} + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\max} z} \quad \text{mit } k_{\min} \leq k$$

berechnet wird, wobei

$l_{\min}$ die Mindestlänge des Kanals,
 $k_{\min}$ eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 $n_{\max}$ die maximale aerodynamische Drehzahl des Verdichterrisors und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes sind.

16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Länge $l_{\max}$ des Kanals (20) mit der Formel

$$l_{\max} = \left(\frac{1}{2} k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\min} z}$$

berechnet wird, wobei

$l_{\max}$ die maximale Länge des Kanals,
 k eine beliebige natürliche Zahl,
 κ der Isentropenexponent,
 R die spezifische Gaskonstante,
 $n_{\min}$ die minimale aerodynamische Drehzahl des Verdichterrisors und
 z Schaufelzahl des Laufschaufelkranzes sind.

Claims

1. Casing (2) with at least one casing structuring for stabilizing the flow in the area of the blade tips of the blades (4) in a fluid-flow machine, where the casing structuring is provided at least in one stage on the inner circumference of the casing (2), where the casing structuring is designed as a duct (20), which includes a first end (21) and a second end (22), with the first end (21) issuing into the interior of the casing (2) in the area of the blade tips of a blade ring and with the second end (22) being closed, **characterized in that** the length l of the duct (20) at the second end (22) is speed-dependably adjustable in a range between a minimum length $l_{\min.}$ and a maximum length $l_{\max.}$
2. Casing (2) in accordance with Claim 1, **characterized in that** the duct (20) is provided with a diminution at the first end (21).
3. Casing (2) in accordance with Claim 1 or 2, **characterized in that** the duct (20) is rectilinear at least in the range between $l_{\min.}$ and $l_{\max.}$ and has a constant cross-section in this range, with a piston (30) which is movable in the longitudinal direction of the duct (20) in the range between $l_{\min.}$ and $l_{\max.}$ being provided at the second end (22) of the duct (20).
4. Casing (2) in accordance with Claim 3, **characterized in that** the position of the piston (30) is controllable by means of an electric, hydraulic or pneumatic drive.
5. Casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the duct (20) is arranged essentially radially to the inner circumference of the casing (2).
6. Casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the duct (20) is arranged angularly to the longitudinal axis of the casing (2).

7. Casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the duct (20) is arcuately curved outside of the range between $l_{min.}$ and $l_{max.}$
8. Casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the duct (20) is arcuately curved in the area of the first end (21) and parallel to the longitudinal axis of the casing (2) in the range between $l_{min.}$ and $l_{max.}$
9. Casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 8, **characterized in that** the position of an intersection point of a duct axis of the duct (20) and the inner circumference of the casing (2) is between the trailing edge (42) of the blade (4) and a distance measured from the trailing edge (42) of the blade (4) which is 1.3-times the axial chord length l_{ax} of the blade (4) at the blade tip (40).
10. Use of the casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 9 in a compressor (1) of a gas turbine.
11. Method for stabilizing the flow in the area of the blade tips (40) of the rotor blades (4) in a fluid-flow machine by means of the casing (2) in accordance with one of the Claims 1 to 10, where a static pressure field forms on each blade (4), and where the static pressure field moves past the first end of the duct (20) during rotation of the blade (4) and excites vibrations of the fluid column in the duct (20), with a standing wave being produced in the duct (20) by which a pulsating mass flow is created at the first end (21) of the duct (20).
12. Method in accordance with Claim 11, **characterized in that** the standing wave is produced **in that** the natural frequency of the fluid column is matched such to the blade passing frequency that the natural frequency of the fluid column concurs with a multiple of the blade passing frequency of the blades (4).
13. Method in accordance with Claim 12, **characterized in that** the natural frequency of the fluid column is speed-dependently set by adjusting the length l of the duct (20).
14. Method in accordance with Claim 13, **characterized in that** the length l of the duct (20) is calculated using the formula

$$l(n) = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{nz} ,$$

with

l being the length of the duct,
 k any natural number,
 κ the isentropic exponent,
 R the specific gas constant,
 n the aerodynamic speed of the compressor rotor, and
 z the number of blades of the blade ring.

15. Method in accordance with Claim 14, **characterized in that** the minimum length $l_{min.}$ of the duct (20) is calculated using the formula

$$l_{min.} = \left(\frac{1}{2}k_{min.} + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{max.} z} , \quad \text{with } k_{min.} \leq k ,$$

and with

$l_{min.}$ being the minimum length of the duct,
 $k_{min.}$ any natural number,
 κ the isentropic exponent,
 R the specific gas constant,
 $n_{max.}$ the maximum aerodynamic speed of the compressor rotor, and
 z the number of blades of the blade ring.

16. Method in accordance with Claim 14, **characterized in that** the maximum length $l_{\max.}$ of the duct (20) is calculated using the formula

$$l_{\max.} = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\min.} z},$$

with

$l_{\max.}$ being the maximum length of the duct,

k any natural number,

κ the isentropic exponent,

R the specific gas constant,

$n_{\min.}$ the minimum aerodynamic speed of the compressor rotor, and

z the number of blades of the blade ring.

Revendications

1. Carter (2) comprenant au moins une structure de carter destinée à stabiliser l'écoulement dans la zone des bouts d'aube des aubes mobiles (4) dans une machine à écoulement, sachant que la structure de carter est disposée au moins dans un étage sur le contour intérieur du carter (2), que la structure de carter est formée en tant que canal (20) qui comprend une première extrémité (21) et une seconde extrémité (22), la première extrémité (21) débouchant dans la zone des bouts d'aube d'une couronne d'aubes mobiles à l'intérieur du carter (2) et la seconde extrémité (22) étant fermée, **caractérisé en ce que** la longueur l du canal (20) à la seconde extrémité (22) est réglable en fonction de la vitesse de rotation dans une gamme comprise entre une longueur minimale $l_{\min i}$ et une longueur maximale $l_{\max i}$.
2. Carter (2) selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** le canal (20) présente un rétrécissement à la première extrémité (21).
3. Carter (2) selon la revendication n° 1 ou n° 2, **caractérisé en ce que** le canal (20) est rectiligne au moins dans la gamme entre $l_{\min i}$ et $l_{\max i}$ et présente une section transversale constante dans ladite gamme, sachant qu'à la seconde extrémité (22) du canal (20) est disposé un piston (30) mobile dans la direction longitudinale du canal (20) dans la gamme entre $l_{\min i}$ et $l_{\max i}$.
4. Carter (2) selon la revendication n° 3, **caractérisé en ce que** la position du piston (30) est réglable au moyen d'un entraînement électrique, hydraulique ou pneumatique.
5. Carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisé en ce que** le canal (20) est disposé pour l'essentiel radialement par rapport au contour intérieur du carter (2).
6. Carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisé en ce que** le canal (20) est disposé selon un angle par rapport à l'axe longitudinal du carter (2).
7. Carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisé en ce que** le canal (20) est incurvé en forme d'arc hors de la gamme entre $l_{\min i}$ et $l_{\max i}$.
8. Carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisé en ce que** le canal (20) est incurvé en forme d'arc dans la zone de la première extrémité (21) et parallèle à l'axe longitudinal du carter (2) dans la gamme entre $l_{\min i}$ et $l_{\max i}$.
9. Carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 8, **caractérisé en ce que** la position d'un point d'intersection d'un axe de canal du canal (20) et du contour intérieur du carter (2), se situe entre le bord de fuite (42) de l'aube mobile (4) et une distance mesurée à partir du bord de fuite (42) de l'aube mobile (4) qui est 1,3 fois la longueur de la corde axiale l_{ax} de l'aube mobile (4) au bout d'aube (40).

10. Utilisation du carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 9 dans un compresseur (1) d'une turbine à gaz.

11. Procédé destiné à stabiliser l'écoulement dans la zone des bouts d'aube (40) des aubes mobiles (4) dans une machine à écoulement moyennant le carter (2) selon une des revendications n° 1 à n° 10, sachant qu'un champ de pression statique se forme sur chaque aube mobile (4), et que pendant la rotation de l'aube mobile (4), le champ de pression statique passe devant la première extrémité du canal (20) et provoque la mise en vibration de la colonne de fluide dans le canal (20), sachant que dans le canal (20) est générée une onde stationnaire par laquelle est formé un flux massique pulsant à la première extrémité (21) du canal (20).

12. Procédé selon la revendication n° 11, **caractérisé en ce que** l'onde stationnaire est générée en ajustant la fréquence propre de la colonne de fluide sur la fréquence de répétition des pales de telle manière que la fréquence propre de la colonne de fluide est un multiple de la fréquence de répétition des pales des aubes mobiles (4).

13. Procédé selon la revendication n° 12, **caractérisé en ce que** la fréquence propre de la colonne de fluide est ajustée par le réglage de la longueur l du canal (20) en fonction de la vitesse de rotation.

14. Procédé selon la revendication n° 13, **caractérisé en ce que** la longueur l du canal (20) est calculée selon la formule:

$$l(n) = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{nz} ,$$

où

l est la longueur du canal,

k est un nombre naturel quelconque,

κ est l'exposant isentropique,

R est la constante du gaz spécifique,

n est le régime aérodynamique du rotor du compresseur, et

z est le nombre d'aubes de la couronne d'aubes mobiles.

15. Procédé selon la revendication n° 14, **caractérisé en ce que** la longueur minimale $l_{\min i}$ du canal (20) est calculée selon la formule:

$$l_{\min i} = \left(\frac{1}{2}k_{\min i} + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\max i} z} , \quad \text{où } k_{\min i} \leq k ,$$

où

$l_{\min i}$ est la longueur minimale du canal,

$k_{\min i}$ est un nombre naturel quelconque,

κ est l'exposant isentropique,

R est la constante du gaz spécifique,

$n_{\max i}$ est le régime maximal aérodynamique du rotor du compresseur, et

z est le nombre d'aubes de la couronne d'aubes mobiles.

16. Procédé selon la revendication n° 14, **caractérisé en ce que** la longueur maximale $l_{\max i}$ du canal (20) est calculée selon la formule:

$$l_{\max i} = \left(\frac{1}{2}k + \frac{1}{4} \right) \frac{\sqrt{\kappa R}}{n_{\min i} z} , \quad \text{où}$$

$l_{\max i}$ est la longueur maximale du canal,

EP 2 090 786 B1

k est un nombre naturel quelconque,
 κ est l'exposant isentropique,
 R est la constante du gaz spécifique,
 η_{mini} est le régime minimal aérodynamique du rotor du compresseur, et
 z est le nombre d'aubes de la couronne d'aubes mobiles.

5

10

15

20

25

30

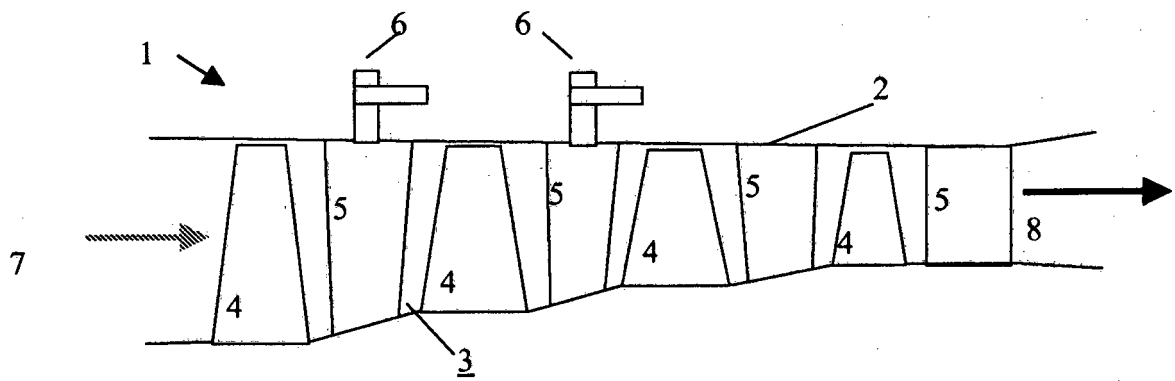
35

40

45

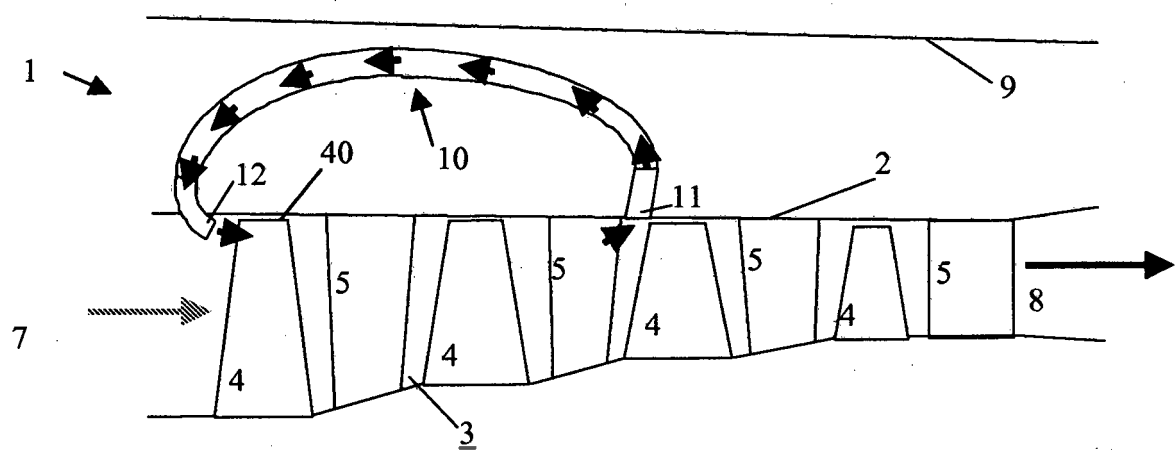
50

55



Stand der Technik

Fig. 1



Stand der Technik

Fig. 2

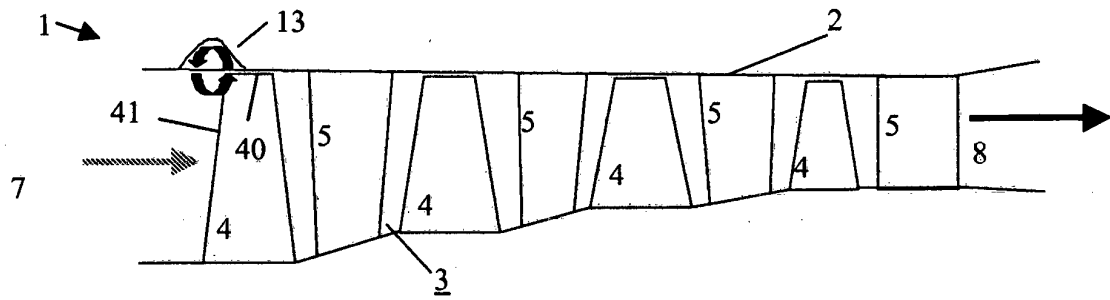


Fig. 3

Stand der Technik

Fig. 4a

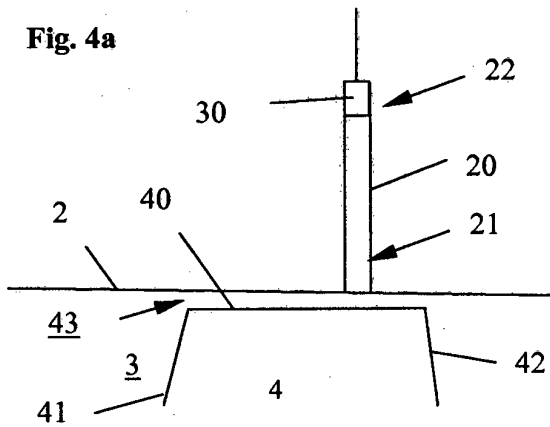


Fig. 4b

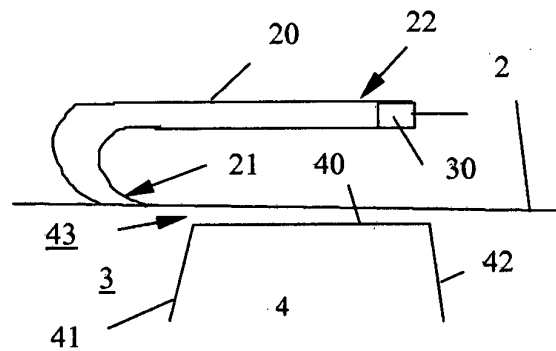
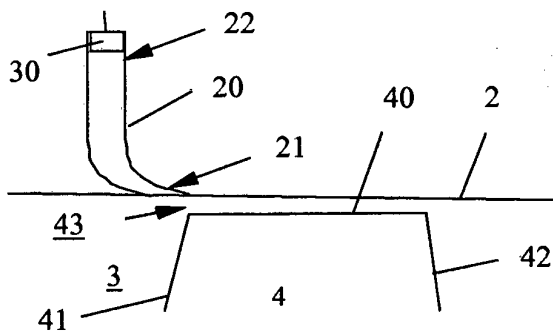
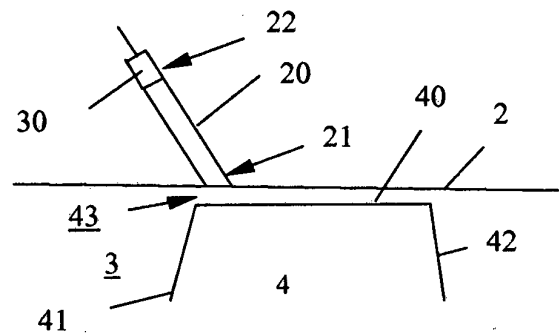


Fig. 4c

Fig. 4d

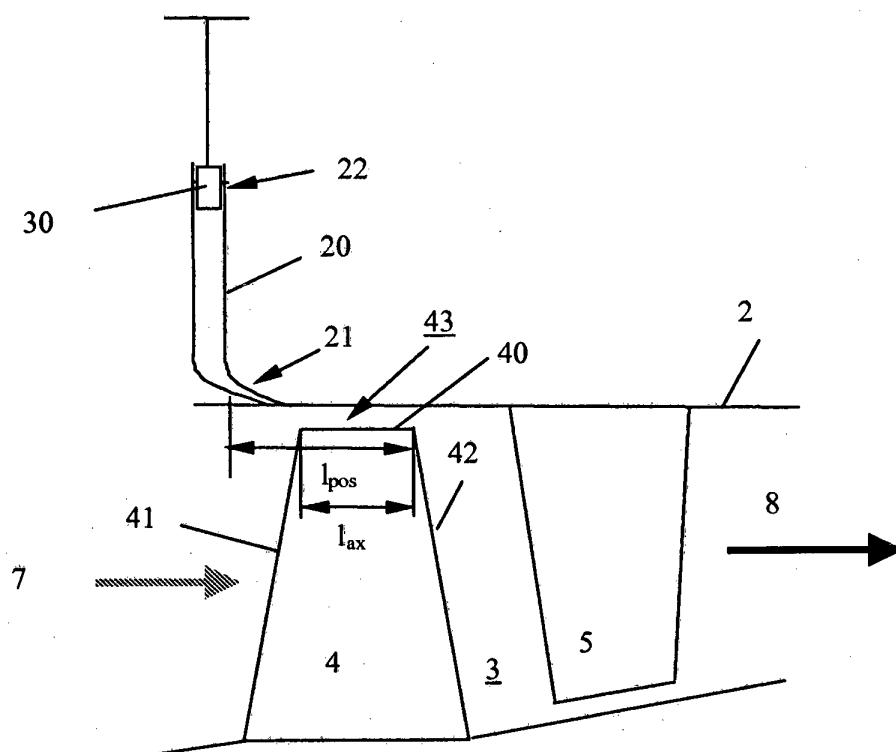


Fig. 5

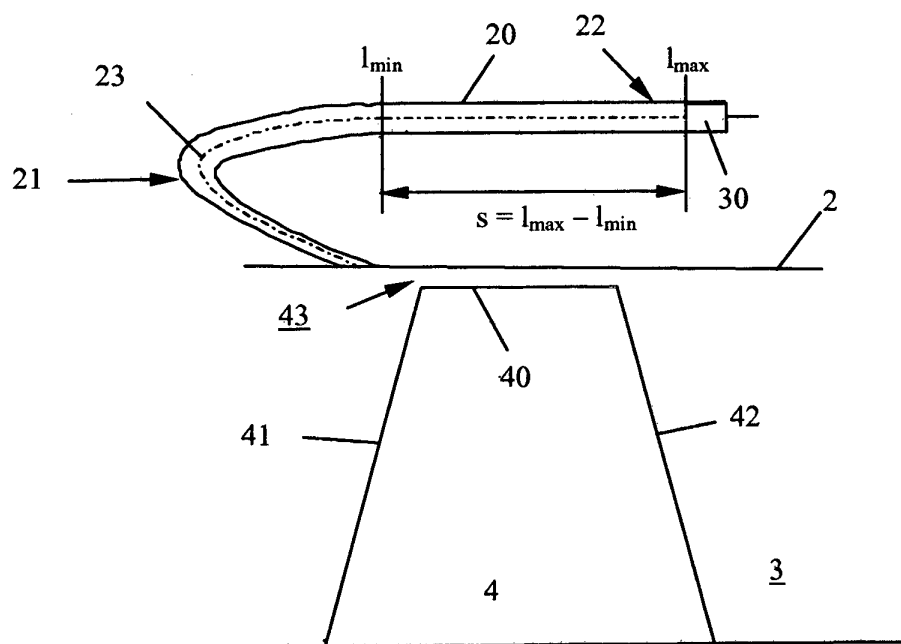


Fig. 6

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

- DE 10355241 A1 [0010]
- GB 2408546 A [0013]
- EP 0614014 A1 [0013]
- EP 0046173 A1 [0013]
- US 20030152455 A1 [0013]
- GB 2245312 A [0013]
- WO 9534745 A1 [0013]