



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 154 125 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.11.2001 Patentblatt 2001/46

(51) Int Cl.7: **F01D 5/22**

(21) Anmeldenummer: **01109099.0**

(22) Anmeldetag: **12.04.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

• **Kellerer, Rudolf, Dr.**
79761 Waldshut-Tiengen (DE)
• **Ravindra, Brammajyosula, Dr.**
5408 Ennetbaden (CH)

(30) Priorität: **08.05.2000 DE 10022244**

(71) Anmelder: **ALSTOM Power N.V.**
1101 CS Amsterdam (NL)

(74) Vertreter: **Liebe, Rainer et al**
ALSTOM (Schweiz) AG
Intellectual Property CHSP
Haselstrasse 16/699, 5. Stock
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
• **Brandl, Herbert**
79761 Waldshut-Tiengen (DE)

(54) **Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen sowie ein Verfahren zur Vibrationsdämpfung einer Schaufelanordnung. Die Schaufelanordnung umfasst einen Rotor sowie am Umfang des Rotors angeordnete Schaufeln. Zwischen den Schaufeln sind Dämpfungselemente (2, 3) angeordnet, die bei einer Rotation des Rotors durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft mit den Schaufeln in Kontakt stehen. Zwischen benachbarten Schaufeln sind hierbei zumindest zwei Dämpfungs-

elemente (2, 3) in Umfangsrichtung des Rotors hintereinander angeordnet, die sich bei einer Rotation des Rotors über eine Berührungsfläche (6) berühren und von denen ein erstes Dämpfungselement (2) mit einer ersten Reibungsfläche (4) der einen und ein zweites Dämpfungselement (3) mit einer zweiten Reibungsfläche (5) der anderen Schaufel in Kontakt treten.

Mit der Schaufelanordnung lassen sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Schwingungszuständen wirksam dämpfen.

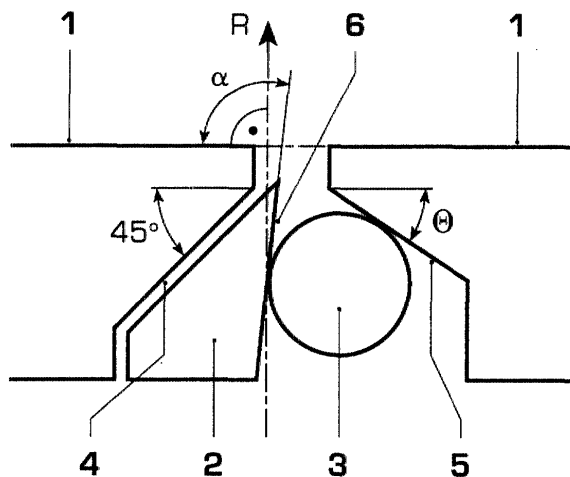


Fig. 1

Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen. Die Dämpfungselemente dienen der Vibrationsdämpfung der Schaufelanordnung. Die Schaufelanordnung umfasst einen Rotor sowie am Umfang des Rotors angeordnete Schaufeln, wobei zwischen den Schaufeln Dämpfungselemente lose angeordnet sind, die bei einer Rotation des Rotors um eine Rotorachse durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft mit den Schaufeln in Kontakt stehen.

[0002] Derartige Schaufelanordnungen werden insbesondere bei Strömungsmaschinen wie Gasturbinen eingesetzt. Die einzelnen Schaufeln bestehen hierbei in der Regel aus dem Schaufelblatt, einer Schaufelplattform und dem Schaufelfuß, der in entsprechende Ausnehmungen am Umfang des Rotors eingehängt ist. Beim Betrieb der Schaufelanordnung entstehen durch verschiedene Anregungsursachen unerwünschte Biege- und Torsionsschwingungen, die zu einer frühzeitigen Materialermüdung und damit zu einer verkürzten Lebensdauer der Schaufelanordnung führen können. Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen zur Dämpfung dieser unerwünschten Schwingungen.

Stand der Technik

[0003] Zur Verminderung der Vibrationen von Schaufelanordnungen werden bereits Dämpfungselemente eingesetzt, die zwischen den einzelnen Schaufeln wirken. Bei diesen Dämpfungselementen handelt es sich um in der Regel lose Körper, die im Ruhezustand zunächst zwischen den Schaufelfüßen der Schaufeln am Rotor oder auf entsprechenden Tragestrukturen aufliegen und beim Betrieb des Rotors aufgrund der in radialer Richtung wirkenden Zentrifugalkraft gegen die Unterseite der Schaufelplattformen benachbarter Schaufeln gedrückt werden. Jedes Dämpfungselement steht dabei zur gleichen Zeit mit beiden benachbarten Schaufelplattformen in Kontakt. Hierdurch kann die kinetische Energie einer aufgrund von Vibrationen hervorgerufenen Relativbewegung zwischen den Schaufeln in Reibungsenergie zwischen den jeweiligen Schaufelplattformen und dem anliegenden Dämpfungselement umgewandelt werden. Dies dämpft die Schwingungen und führt insgesamt zu einer verminderten Schwingungsbelastung der Schaufelanordnung.

[0004] Eine derartige Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen ist beispielsweise aus der US 4,917,574 bekannt. Bei dieser Anordnung bilden die Schaufelplattformen benachbarter Schaufeln mit ihrer Unterseite Ausnehmungen, in die während der Rotation durch die Zentrifugalkraft kugelförmige Körper als Dämpfungselemente gedrückt werden.

[0005] Eine weitere Möglichkeit der Ausgestaltung der Dämpfungselemente besteht darin, diese als stabförmige Elemente mit rundem Querschnitt auszubilden, die parallel zur Rotorachse zwischen benachbarten Schaufeln angeordnet sind. Die Anordnung kann hierbei beispielsweise in einer entsprechenden seitlichen Ausnehmung des Schaufelfußes oder der Schaufelplattform einer der benachbarten Schaufeln erfolgen. Auf eine derartige Anordnung wird beispielsweise in A. J. Scalzo, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 114, April 1992, auf den Seiten 289 und 290 eingegangen. Diese häufig verwendete Form der Dämpfungselemente mit kreisförmigem Querschnitt bewirkt zusätzlich eine Abdichtung des Gasstromes einer Gasturbine gegenüber dem Rotor und wird daher auch als sog. "seal-pin damper" bezeichnet. Ein Nachteil dieser Dämpfungselemente besteht jedoch darin, dass unter bestimmten Bedingungen das Dämpfungselement verkleben kann. Dadurch werden Relativbewegungen unterbunden, wodurch große Spannungen an den Übergangsstellen vom Dämpfungselement zu den Schaufeln entstehen. Diese Spannungen führen zu einer frühzeitigen Materialermüdung und können die Ausbildung von Rissen in den Schaufeln begünstigen. Weiterhin wirken diese kreisquerschnittsförmigen Dämpfungselemente nicht bei allen auftretenden Schwingungen einer Schaufelanordnung in gleicher Weise, so dass bestimmte Schwingungszustände beinahe ungedämpft auftreten können. Insbesondere kommt es bei diesen kreisquerschnittsförmigen Dämpfungselementen vor, dass keine Relativbewegung zwischen den Kontaktflächen auftritt oder die Dämpfungselemente auf der Kontaktfläche abrollen statt eine Gleitbewegung durchzuführen.

[0006] Eine weitere Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen ist beispielsweise in der US 5,156,528 beschrieben. Bei dieser Anordnung bilden Randbereiche sich gegenüberliegender benachbarter Schaufelplattformen eine sich in radialer Richtung verjüngende Ausnehmung bzw. Führung, in die das Dämpfungselement durch die Zentrifugalkraft gedrückt wird. Das Dämpfungselement ist hierbei mit keilförmigem Querschnitt ausgebildet, wobei der Keilwinkel dem Winkel der durch die beiden Randbereiche der Schaufelplattformen gebildeten V-förmigen Ausnehmung entspricht. Mit dieser keilförmigen Ausgestaltung der Dämpfungselemente lassen sich wiederum andere Schwingungsmoden der Schaufelanordnung effizient dämpfen als die, die mit den oben beschriebenen Dämpfungselementen wirksam beeinflusst werden. Insbesondere sind diese keilförmigen Dämpfungselemente nicht für die Dämpfung gleichphasiger Schwingungsmoden geeignet. Weiterhin besteht bei diesen Dämpfungselementen das Problem, dass sie im Einsatz unter bestimmten Bedingungen verkippen können, wodurch die Dämpfungswirkung stark reduziert wird.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Schaufelanordnung mit Dämpfungs-

elementen sowie ein Verfahren zur Vibrationsdämpfung einer Schaufelanordnung anzugeben, mit denen eine gute Dämpfung einer Vielzahl von unterschiedlichen Schwingungszuständen erreicht werden kann.

Darstellung der Erfindung

[0008] Die Aufgabe wird mit der Schaufelanordnung gemäß Anspruch 1 bzw. mit dem Verfahren gemäß Anspruch 19 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Schaufelanordnung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Die Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen umfasst einen Rotor sowie am Umfang des Rotors angeordnete Schaufeln. Zwischen den Schaufeln sind Dämpfungselemente angeordnet, die bei einer Rotation des Rotors um die Rotorachse durch die in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft mit den Schaufeln in Kontakt gebracht werden. Die Schaufelanordnung zeichnet sich dadurch aus, dass zumindest zwischen zwei benachbarten Schaufeln mehrere Dämpfungselemente in Umfangsrichtung des Rotors hintereinander angeordnet sind. Diese Dämpfungselemente sind derart ausgestaltet und angeordnet, dass sich bei einer Rotation des Rotors die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente über ein oder mehrere Berührungsflächen berühren und ein erstes der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer ersten Reibungsfläche der einen und ein zweites der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer zweiten Reibungsfläche der anderen der benachbarten Schaufeln in Kontakt treten.

[0010] Im Gegensatz zu den bekannten Anordnungen des Standes der Technik stehen bei der vorliegenden Anordnung somit eine oder mehrere weitere Flächen, die Berührungsflächen zwischen den zwei oder mehr Dämpfungselementen, zur Umwandlung von kinetischer Schwingungsenergie in Reibungsenergie zur Verfügung. Durch diese zusätzliche(n) Berührungsfläche(n) wird weiterhin die Gefahr eines Festsetzens der Dämpfungselemente, wie dies unter bestimmten Schwingungsbedingungen bei den kreisquerschnittsförmigen Dämpfungselementen des Standes der Technik auftreten kann, vermindert. Die vorliegende Anordnung bietet insbesondere die Möglichkeit, die zwei oder mehr Dämpfungselemente in voneinander abweichenden Formen auszuführen, um sie optimal an die jeweiligen Dämpfungserfordernisse anpassen zu können. Der Formenvielfalt sind hierbei keine Grenzen gesetzt, solange die gegenseitigen Reibungskontakte sowie die Reibungskontakte zu den Schaufeln bzw. Schaufelplattformen im Betrieb aufrechterhalten werden können.

Der Massen-Schwerpunkt der Gruppe aus hintereinander angeordneten Dämpfungselementen kann so gewählt werden, dass er in Umfangsrichtung des Rotors nicht symmetrisch zwischen den zwei benachbarten Schaufeln oder Reibungsflächen liegt. Hierdurch lässt sich - insbesondere bei Einsatz von zwei hintereinander

angeordneten Dämpfungselementen - die Last ungleich auf die Dämpfungselemente verteilen. Die Asymmetrie kann durch eine unterschiedliche geometrische Ausgestaltung oder durch unterschiedliche Massen der beiden Dämpfungselemente gezielt eingestellt werden. Durch die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten lassen sich die Gruppen aus Dämpfungselementen für jeden Anwendungsfall optimal konfigurieren. Insbesondere kann durch die geeignete Wahl der Reibungs- bzw. Kontaktflächen, der Masse und der Position des Masse-Schwerpunktes sichergestellt werden, dass sich die Dämpfungselemente nicht festsetzen.

Die Dämpfungselemente sollten hierbei auch ein hohes Steifigkeits/Gewichts-Verhältnis aufweisen. Dies kann auch durch eine hohle Form dieser Elemente erreicht werden.

[0011] Die Dämpfungselemente einer Gruppe können aus unterschiedlichen Materialien bestehen. So kann beispielsweise als Basismaterial eines von zwei Dämpfungselementen Kobalt, als Basismaterial des anderen Dämpfungselementes Nickel gewählt werden. Dies ermöglicht unterschiedliche Reibungskoeffizienten an den jeweiligen Reibungsflächen mit den Schaufeln, so dass durch die Materialwahl eine weitere Anpassungsmöglichkeit zur Erzielung einer optimalen Schwingungsdämpfung zur Verfügung steht.

[0012] Die Dämpfungselemente werden hierbei, ebenso wie bei den bekannten Anordnungen des Standes der Technik, durch die Zentrifugalkraft bei der Rotation des Rotors beispielsweise gegen die Unterseite der Schaufelplattformen gedrückt. Die Schaufelplattformen sollten an ihren Unterseiten hierfür in Anpassung an die Form der Dämpfungselemente geeignet ausgeformt sein bzw. Führungsnuten bilden. Es versteht sich jedoch von selbst, dass neben den Schaufelplattformen auch andere Bereiche des Schaufelfußes durch geeignete Ausformung zur Aufnahme der Dämpfungselemente ausgebildet sein können. Im Ruhezustand des Rotors können die Dämpfungselemente auch durch geeignete Rückhaltesysteme gehalten werden.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Schaufelanordnung wird eine Kombination aus einem stabförmigen Dämpfungselement mit kreisförmigem Querschnitt und einem keilförmigen Dämpfungselement, d. h., einem stabförmigen Dämpfungselement mit keilförmigem Querschnitt, eingesetzt. Durch diese Kombination von zwei unterschiedlich wirkenden Dämpfungselementen lassen sich eine Vielzahl unterschiedlicher Schwingungszustände effektiv dämpfen. Während mit dem stabförmigen Dämpfungselement mit kreisförmigem Querschnitt in erster Linie gleichphasige Schwingungen wirkungsvoll gedämpft werden, wirkt das keilförmige Dämpfungselement vor allem auf Schwingungen, die nicht gleichphasig auftreten.

Durch die zusätzlich zwischen den Dämpfungselementen entstandene Berührungsfläche zur Aufnahme von Schwingungsenergie lässt sich weiterhin das

bei ausschließlichen Einsatz eines stabförmigen Dämpfungselementes mit kreisrundem Querschnitt auftretende Problem des Festsetzens vermeiden. Dies erhöht die Lebensdauer der Schaufelanordnung.

[0014] Selbstverständlich lassen sich auch mehr als zwei Dämpfungselemente hintereinander anordnen. So können beispielsweise drei Dämpfungselemente, von denen eines einen kreisrunden Querschnitt und die anderen beiden einen keilförmigen Querschnitt aufweisen - oder umgekehrt - eingesetzt werden.

[0015] Die erfindungsgemäße Gruppe hintereinander angeordneter Dämpfungselemente kann nur zwischen einzelnen oder auch zwischen allen benachbarten Schaufeln der Beschaufelung eingesetzt werden. In letzter Zeit hat sich zudem herausgestellt, dass durch eine Fehlabbastimmung (mistuning) der Dämpfer das Flattern reduziert oder vermieden werden kann. Die Möglichkeit einer asymmetrischen Dämpferkonfiguration der vorliegenden Erfindung bietet hierbei deutliche Vorteile. So können beispielsweise die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente einer Gruppe aus unterschiedlichen Materialien bestehen und/oder unterschiedliche geometrische Formen aufweisen, wobei sich dieses Material- bzw. Formen-Muster in einer vertauschten Weise über die gesamte Beschaufelung wiederholt. Ebenso lässt sich beispielsweise die relative Position eines Dämpfungselementes mit keilförmigem Querschnitt zu einem Dämpfungselementes mit kreisförmigem Querschnitt von Schaufel zu Schaufel vertauschen, um die gewünschte Fehlabbastimmung zu erreichen.

[0016] Weiterhin lassen sich zwischen jeweils benachbarten Schaufeln zwei oder mehr Gruppen der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente in identischer oder unterschiedlicher Ausgestaltung über die axiale Erstreckung der Schaufeln anordnen. Hierdurch hat man die Möglichkeit, verschiedenste Schwingungsformen effektiv zu dämpfen. Die Dämpferkonfigurationen der einzelnen Gruppen werden jeweils in der Form und/oder dem Massenverhältnis und/oder den geometrischen Abmessungen entsprechend der zu dämpfenden Schwingungsform optimiert.

[0017] Die erfindungsgemäße Schaufelanordnung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals beispielhaft erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein erstes Beispiel für eine Ausgestaltung und Anordnung der Dämpfungselemente bei der erfindungsgemäßen Schaufelanordnung;

Fig. 2 ein zweites Beispiel für eine Ausgestaltung und Anordnung der Dämpfungselemente bei der erfindungsgemäßen Schaufelanordnung;

Fig. 3 ein drittes Beispiel für eine Ausgestaltung und Anordnung der Dämpfungselemente bei der

erfindungsgemäßen Schaufelanordnung; und

Fig. 4 ein Beispiel für die Anordnung von zwei Gruppen von Dämpfungselementen über die axiale Erstreckung der Schaufeln.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0018] Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Ausgestaltung der Dämpfungselemente bei der erfindungsgemäßen Schaufelanordnung. Die Figur zeigt einen Ausschnitt aus der Schaufelanordnung in einer Schnittebene senkrecht zur Rotorachse. Hierbei sind die Schaufelplattformen 1 benachbarter Schaufeln zu erkennen, die - nicht dargestellt - am Rotorblatt eingehängt sind und einen kleinen Abstand zueinander aufweisen. Die Unterseiten der beiden Schaufelplattformen 1 bilden Reibungsflächen 4, 5, gegen die die beiden Dämpfungselemente 2, 3 bei einer Rotation des Rotors durch die Zentrifugalkraft gedrückt werden. Die Reibungsflächen 4, 5 sind in diesem Beispiel unter einem Winkel von ca. 45° zu der Ebene, die durch die radiale Richtung und die Rotorachse aufgespannt wird, geneigt. In diesem Beispiel wird ein Dämpfungselement 2 mit keilförmigem Querschnitt - im Folgenden als keilförmiges Dämpfungselement bezeichnet - zusammen mit einem Dämpfungselement 3 mit kreisförmigem Querschnitt - im Folgenden als kreisförmiges Dämpfungselement bezeichnet - eingesetzt. Beide Dämpfungselemente sind in axialer Richtung stabförmig ausgebildet, wie dies aus dem Stand der Technik bekannt ist.

[0019] Bei einer Schwingung des Gesamtsystems erfolgt eine Relativbewegung zwischen den beiden benachbarten Schaufelplattformen 1, die wiederum zu einer Relativbewegung zwischen dem keilförmigen Dämpfungselement 2 und der Reibungsfläche 4, zwischen dem kreisförmigen Dämpfungselement 3 und der Reibungsfläche 5 und zu einer Relativbewegung zwischen den beiden Dämpfungselementen an der Berührungsfläche 6 führt. An allen drei Berührungs- bzw. Kontaktstellen kann somit Schwingungsenergie in Reibungsenergie umgewandelt werden, so dass eine effektive Schwingungsdämpfung erreicht wird.

[0020] Eine derartige Ausgestaltung und Anordnung ermöglicht eine Relativbewegung der Dämpfungselemente zueinander und zu den Schaufelplattformen in radialer Richtung zur optimalen Dämpfung der gleichphasigen Biegeschwingungen. Gleichzeitig wird das bei Dämpfungselementen mit kreisförmigem Querschnitt auftretende Problem des Festsetzens vermieden, ohne dafür einen bestimmten Neigungswinkel der Reibungsfläche 5 an der Schaufelplattform einhalten zu müssen.

[0021] Figur 2 zeigt ein weiteres Beispiel für die Ausgestaltung und Anordnung der Dämpfungselemente bei der vorliegenden Schaufelanordnung. Bei dieser Ausführungsform, die ansonsten der Ausführungsform der Figur 1 entspricht, ist die Oberfläche des keilförmigen

Dämpfungselementes 2, die mit der Reibungsfläche 4 der Schaufelplattform in Kontakt tritt, mit Erhebungen bzw. erhabenen Bereichen 7 versehen. Diese erhabenen Bereiche dienen der Vermeidung einer Verkippung des keilförmigen Dämpfungselementes gegenüber der Reibungsfläche 4, wie sie unter bestimmten Schwingungsbedingungen auftreten könnte. Durch diese Ausgestaltung werden daher mögliche Verkippungen des Dämpfungselementes vermieden, die zu einer Verschlechterung des Dämpfungsverhaltens führen.

Die Neigung der Reibungsfläche 4 auf der Seite des keilförmigen Dämpfungselementes 2 zu einer senkrecht zur radialen Richtung verlaufenden Ebene kann bei dieser wie auch bei den weiteren Ausführungsbeispielen zwischen 45° und 80° liegen und wird derart gewählt, dass ein Festsetzen des Dämpfungselementes 2 verhindert wird. Der Winkel α zwischen der Berührungsfläche 6 von keilförmigem 2 und kreisförmigem Dämpfungselement 3 und der senkrecht zur radialen Richtung verlaufenden Ebene kann beliebig gewählt werden, um die erforderliche Stabilität zu erreichen und das Festsetzen des Dämpfungselementes 3 zu verhindern. Dieser Winkel α kann insbesondere auch deutlich kleiner als 90° gewählt werden. Der Winkel θ zwischen der Reibungsfläche 5 und der senkrecht zur radialen Richtung verlaufenden Ebene ergibt sich bei $\alpha = 90^\circ$ aus der Bedingung $\mu \leq \cos\theta / (1 + \sin\theta)$, um das Festsetzen des Dämpfungselementes 3 zu vermeiden, wobei μ der Reibungskoeffizient an der Berührungsfläche 6 ist. Bei einem Winkel $\alpha < 90^\circ$ kann eine derartige Bedingung für α und θ abgeleitet werden.

[0022] Ein weiteres Beispiel für eine Ausgestaltung der Dämpfungselemente der vorliegenden Schaufelanordnung ist in Figur 3 dargestellt. Bei dieser Anordnung ist das erste Dämpfungselement 2 - wiederum keilförmig - derart ausgestaltet, dass es bei einer Rotation des Rotors mit beiden Reibungsflächen 4, 5 der beiden benachbarten Schaufelplattformen 1 in Kontakt tritt. Auch hierbei wird wiederum ein weiteres Dämpfungselement mit kreisförmigem Querschnitt 3 eingesetzt, das ebenfalls mit der Reibungsfläche 5 der einen Schaufelplattform 1 reibschlüssig in Kontakt tritt. Der Durchmesser des kreisförmigen Dämpfungselementes 4 muss hierbei selbstverständlich bei sonst gleichen geometrischen Bedingungen geringer ausfallen, als bei den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2.

Das keilförmige Dämpfungselement 2 ist wiederum mit erhabenen Bereichen 7 versehen, um die bereits dargelegte Kippinstabilität zu vermeiden.

[0023] Im Gegensatz zu den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 tritt bei der Ausführungsform der Figur 3 ein zusätzlicher Reibungskontakt zwischen dem ersten Dämpfungselement 2 und der Reibungsfläche 5 auf. Es stehen daher eine zusätzliche Kontaktstelle zur Aufnahme von Schwingungsenergie zur Verfügung. Auch in diesem Beispiel bewirkt das kreisförmige Dämpfungselement 3 eine effiziente Dämpfung von radialen Relativbewegungen während das keilförmige

Dämpfungselement die Dämpfung der anderen Schwingungsmoden übernimmt.

[0024] Figur 4 zeigt schließlich schematisch ein Beispiel für die Anordnung von zwei Gruppen von Dämpfungselementen über die axiale Erstreckung der Schaufeln. In der Figur sind das Schaufelblatt 8, die Schaufelplattform 1 sowie der Schaufelfuß 9 zu erkennen. Über die axiale Erstreckung der Schaufel (axiale Richtung 12) sind hier die Positionen zwei Gruppen 10, 11 von hintereinander angeordneten Dämpfungselementen angedeutet, die gemäß den Patentansprüchen, beispielsweise wie in den vorangegangenen Beispielen, ausgestaltet sind. Die erste Gruppe 10 befindet sich in diesem Beispiel an der Vorderkante 14 der Schaufel, die zweite Gruppe 11 an der Hinterkante 15. Die Strömungsrichtung 13 ist durch einen Pfeil angedeutet. Durch eine asymmetrische Anordnung oder Ausgestaltung der Gruppen in der axialen Richtung können unterschiedliche Schwingungsmoden effektiv gedämpft werden.

[0025] Die Ausgestaltungen der vorliegenden Schaufelanordnung sind für die Dämpfung einer Vielzahl möglicher resonanter und nichtresonanter Schwingungsanregungen geeignet, wie beispielsweise Flattern, Rütteln oder stochastische Anregung. Die Möglichkeit der voneinander abweichenden geometrischen Gestaltung der beiden Dämpfungselemente ermöglicht eine optimale Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten. Auch bei bezüglich der Rotorachse geneigten Plattformen können die Dämpfungselemente in einer entsprechend geneigten Position bzw. Orientierung eingesetzt werden.

[0026] Die Dämpfungselemente sind sowohl beim Einsatz in Niederdruck- wie auch in Hochdruckturbinen und für Kompressorschaufeln geeignet. Sie können als einfache Dämpfungselemente oder zur zusätzlichen Abdichtung als Dämpfungs- und Dichtungselemente eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

[0027]

- 1 Schaufelplattform
- 2 erstes Dämpfungselement
- 3 zweites Dämpfungselement
- 4 erste Reibungsfläche
- 5 zweite Reibungsfläche
- 6 Berührungsebene
- 7 Erhebungen
- 8 Schaufelblatt
- 9 Schaufelfuß
- 10 erste Gruppe
- 11 zweite Gruppe
- 12 axiale Richtung
- 13 Strömungsrichtung
- 14 Vorderkante
- 15 Hinterkante

Patentansprüche

1. Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen, die einen Rotor sowie am Umfang des Rotors angeordnete Schaufeln umfasst, wobei zwischen den Schaufeln Dämpfungselemente (2, 3) angeordnet sind, die bei einer Rotation des Rotors um eine Rotorachse durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft mit den Schaufeln in Kontakt stehen,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest zwischen zwei benachbarten Schaufeln mehrere Dämpfungselemente (2, 3) in Umfangsrichtung des Rotors hintereinander angeordnet sind, so dass sich bei einer Rotation des Rotors die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente (2, 3) über ein oder mehrere Berührungsflächen (6) berühren und ein erstes (2) der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer ersten Reibungsfläche (4) der einen und ein zweites (3) der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer zweiten Reibungsfläche (5) der anderen der benachbarten Schaufeln in Kontakt treten.
2. Schaufelanordnung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente das erste (2), das zweite (3) und ein drittes Dämpfungselement umfassen, das in Umfangsrichtung des Rotors zwischen erstem (2) und zweitem Dämpfungselement (3) angeordnet ist.
3. Schaufelanordnung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente nur das erste (2) und das zweite Dämpfungselement (3) umfassen.
4. Schaufelanordnung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Berührungsfläche (6) zwischen dem ersten (2) und dem zweiten Dämpfungselement (3) annähernd parallel zur radialen Richtung verläuft.
5. Schaufelanordnung nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich das erste (2) und das zweite Dämpfungselement (3) in ihrer geometrischen Form unterscheiden.
6. Schaufelanordnung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste Dämpfungselement (2) einen keilförmigen Querschnitt und das zweite Dämpfungselement (3) einen kreis- oder ellipsenförmigen Querschnitt aufweist.
7. Schaufelanordnung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Keilwinkel des keilförmigen Querschnitts des ersten Dämpfungselementes (2) dem Winkel zwischen der ersten Reibungsfläche (4) und der von der radialen Richtung und der Rotorachse aufgespannten Ebene entspricht.
8. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste Dämpfungselement (2) derart ausgestaltet und angeordnet ist, dass es bei einer Rotation des Rotors auch mit der zweiten Reibungsfläche (5) in Kontakt tritt.
9. Schaufelanordnung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei einer Ausgestaltung des ersten Dämpfungselementes (2) mit einem keilförmigen Querschnitt der Keilwinkel des keilförmigen Querschnitts dem Winkel zwischen der ersten Reibungsfläche (4) und der zweiten Reibungsfläche (5) entspricht.
10. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 6, 7 und 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass Oberflächen des ersten Dämpfungselementes (2), die mit der oder den Reibungsflächen (4, 5) in Kontakt treten, Erhebungen (7) aufweisen.
11. Schaufelanordnung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich das dritte Dämpfungselement in der geometrischen Form vom ersten (2) und zweiten Dämpfungselement (3) unterscheidet.
12. Schaufelanordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass das dritte Dämpfungselement einen keilförmigen Querschnitt und das erste (2) und das zweite Dämpfungselement (3) einen kreis- oder ellipsenförmigen Querschnitt aufweisen.
13. Schaufelanordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass das dritte Dämpfungselement einen kreis- oder ellipsenförmigen Querschnitt und das erste (2) und das zweite Dämpfungselement (3) einen keilförmigen Querschnitt aufweisen.
14. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste (4) und die zweite Reibungsfläche jeweils (5) durch eine Unterseite einer Schaufelplattform (1) der jeweiligen Schaufel gebildet wird, wobei die Reibungsflächen (4, 5) derart zu der von

der radialen Richtung und der Rotorachse aufgespannten Ebene geneigt sind, dass sie zusammen eine V-förmige Führung bilden, in die die Dämpfungselemente (2, 3) durch die Zentrifugalkraft gedrückt werden.

15. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Massen-Schwerpunkt der Gruppe aus hintereinander angeordneten Dämpfungselementen (2, 3) in Umfangsrichtung des Rotors nicht symmetrisch zwischen den zwei benachbarten Schaufeln oder Reibungsflächen (4, 5) liegt.

16. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,

dadurch gekennzeichnet,

dass zwei oder mehr Gruppen der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente (2, 3) in identischer oder unterschiedlicher Ausgestaltung über die axiale Erstreckung der Schaufeln angeordnet sind.

17. Schaufelanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein oder mehrere Gruppen der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente (2, 3) zwischen weiteren benachbarten Schaufeln angeordnet sind.

18. Schaufelanordnung nach Anspruch 17,

dadurch gekennzeichnet,

dass sich einige der Gruppen hintereinander angeordneter Dämpfungselemente (2, 3) zwischen unterschiedlichen benachbarten Schaufeln in ihrer Ausgestaltung unterscheiden.

19. Verfahren zur Vibrationsdämpfung einer Schaufelanordnung, die einen Rotor sowie am Umfang des Rotors angeordnete Schaufeln umfasst, bei dem Dämpfungselemente (2, 3) zwischen den Schaufeln angeordnet werden, die bei einer Rotation des Rotors um eine Rotorachse durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft mit den Schaufeln in Kontakt treten,

dadurch gekennzeichnet,

dass zumindest zwischen zwei benachbarten Schaufeln mehrere Dämpfungselemente (2, 3) in Umfangsrichtung hintereinander angeordnet werden, so dass sich bei einer Rotation des Rotors die hintereinander angeordneten Dämpfungselemente berühren und ein erstes (2) der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer ersten Reibungsfläche (4) der einen und ein zweites (3) der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente mit einer zweiten Reibungsfläche (5) der anderen der benachbarten Schaufeln in Kontakt tre-

ten.

20. Verfahren nach Anspruch 19,

dadurch gekennzeichnet,

dass zwei oder drei der Dämpfungselemente (2, 3) hintereinander angeordnet werden.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20,

dadurch gekennzeichnet,

dass zwei oder mehr Gruppen der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente (2, 3) in identischer oder unterschiedlicher Ausgestaltung über die axiale Erstreckung der Schaufeln angeordnet werden.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein oder mehrere Gruppen der hintereinander angeordneten Dämpfungselemente (2, 3) in identischer oder unterschiedlicher Ausgestaltung zwischen weiteren benachbarten Schaufeln angeordnet werden.

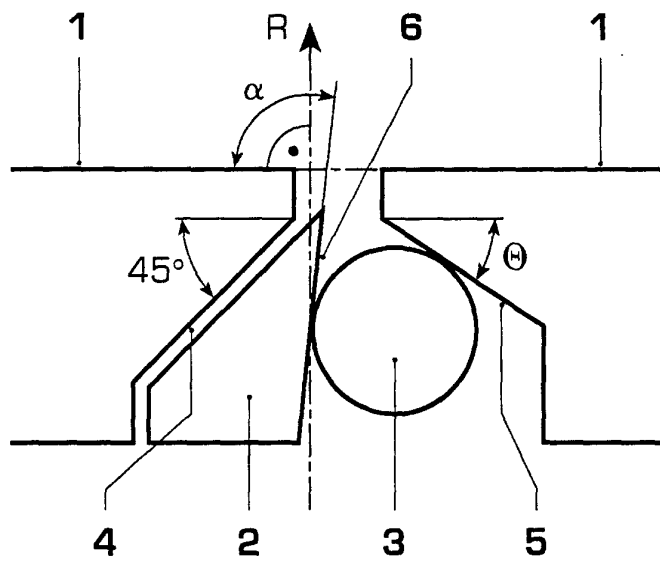


Fig. 1

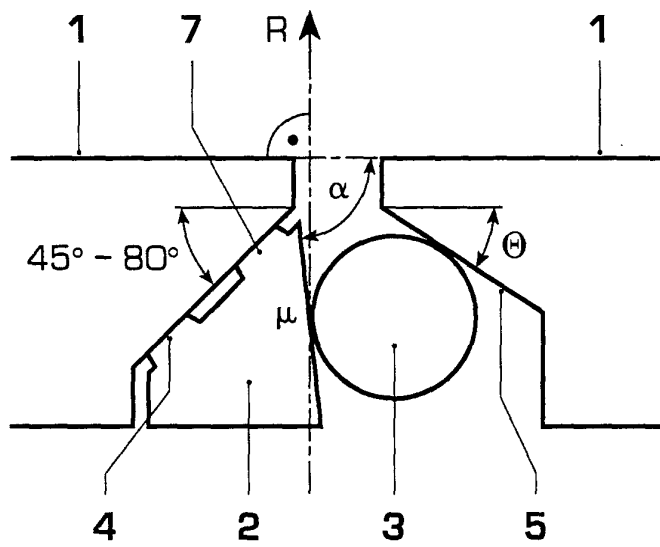


Fig. 2

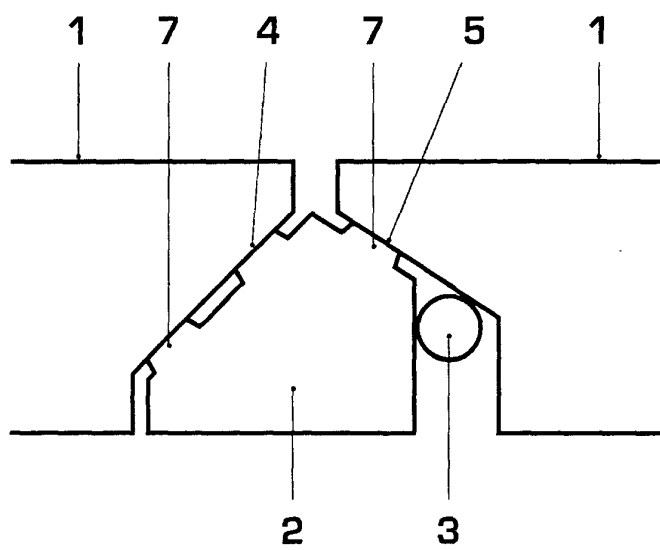


Fig. 3

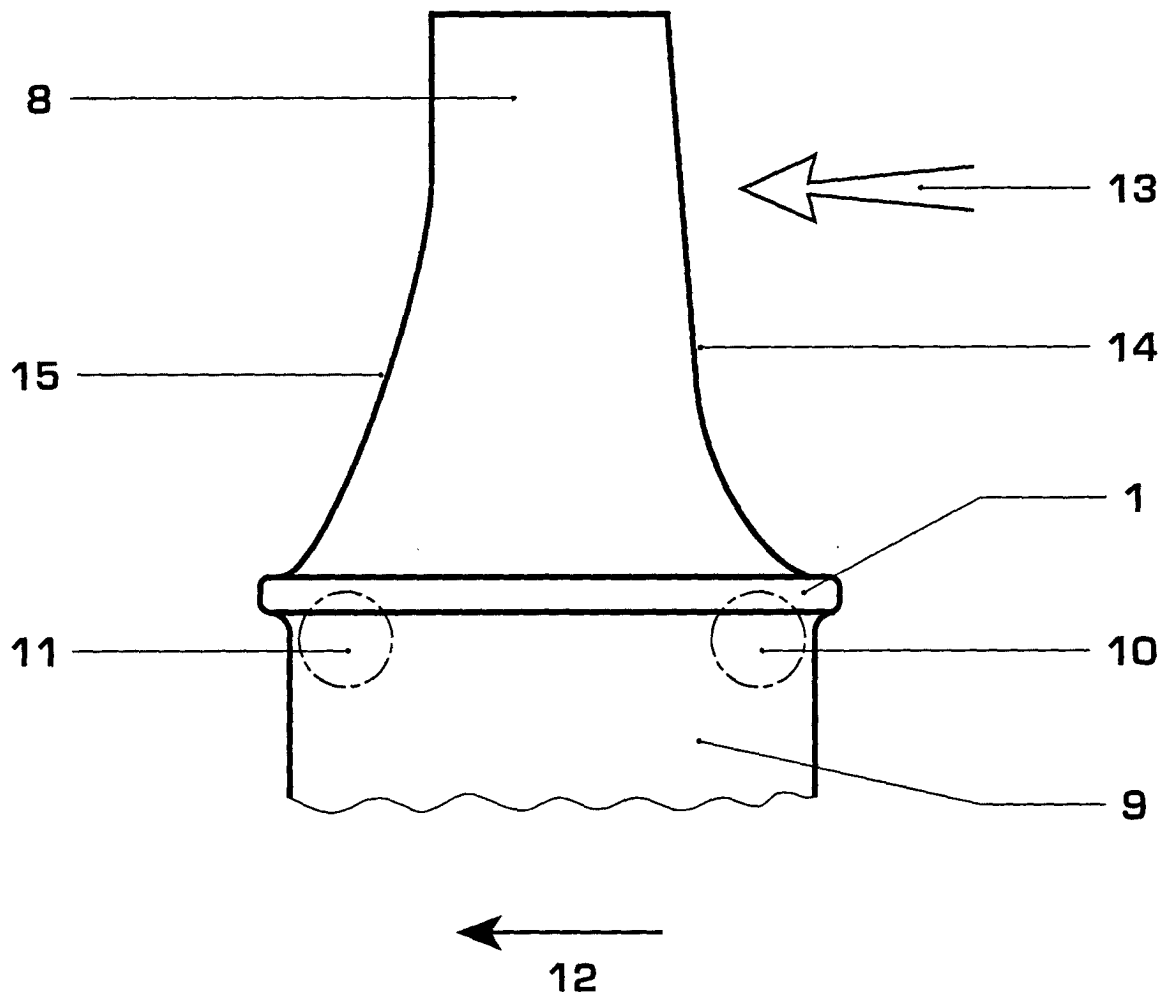


Fig. 4