

(19)



(11)

EP 2 603 669 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.01.2015 Patentblatt 2015/05

(51) Int Cl.:
F01D 5/22 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11766921.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/066287

(22) Anmeldetag: **20.09.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/038406 (29.03.2012 Gazette 2012/13)

(54) **Schaufelanordnung und zugehörige Gasturbine**

Blade assembly and corresponding gas turbine

Agencement d'aubes et turbine à gaz associée

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **24.09.2010 EP 10179376**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.06.2013 Patentblatt 2013/25

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **KAYSER, Andreas**
42283 Wuppertal (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 154 125 DE-C- 819 242
FR-A- 1 263 677 US-A- 1 618 285

EP 2 603 669 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 eine Schaufelanordnung, mit einem Rotor und mehreren entlang des Umfangs des Rotors in einem Kranz verteilten Schaufeln, wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln des Kranzes ein Schaufelpaar bilden, zwischen dessen Schaufeln ein Dämpfungselement angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement mit den beiden Schaufeln des ihm zugeordneten Schaufelpaares in Kontakt tritt.

[0002] Es ist bekannt, Schaufelanordnungen, die in Strömungsmaschinen wie etwa Gasturbinen, verwendet werden, mit Dämpfungselementen zu versehen. Diese dienen dazu, unerwünschte Biege- und Torsionsschwingungen, die während des Betriebs in der Strömungsmaschine durch unterschiedliche Anregungen auftreten können, zu dämpfen. Auf diese Weise können durch hohe Schwingungsamplituden bedingte HCF-Schäden (Abk. für "High Cycle Fatigue") vermieden werden, die zu einer frühzeitigen Materialermüdung und zu einer damit verkürzten Lebensdauer der Schaufeln bzw. der Schaufelanordnung führen können. Die Dämpfungselemente werden hierbei zwischen den einzelnen Schaufeln angeordnet. Als Dämpfungselemente werden in der Regel lose Körper verwendet, 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 Wärmeenergie umgewandelt werden, infolge der Reibung zwischen den jeweiligen Schaufelplattformen und dem anliegenden Dämpfungselement. Dies dämpft die Schwingungen und führt insgesamt zu einer verminderten Schwingungsbelastung der Schaufelanordnung.

[0003] Bei älteren Turbo-Maschinen wurden Schaufelblatt-Schwingungen zumeist mit Hilfe von Versteifungselementen unterdrückt, welche die Schaufelblätter direkt miteinander koppelten. Konstruktive Lösungen dazu offenbaren die Patentschriften DE 819 242 C und US 1,618,285 A.

[0004] Aus der Druckschrift EP 1 154 125 A2 ist eine Schaufelanordnung bekannt, bei der wenigstens zwei Dämpfungselemente zwischen benachbarten Schaufeln in Umfangsrichtung des Rotors hintereinander angeordnet sind, um eine wirksame Dämpfung der gesamten Schaufelanordnung zu erzielen. Die in dieser Druckschrift offenbarten Dämpfungselemente sind in voneinander abweichender Form ausgeführt, um möglichst eine Vielzahl unterschiedlicher Schwingungsmoden dämpfen zu können. Über die sich zwischen den Dämp-

fungselementen und den Schaufeln, und ferner über die sich zwischen den einzelnen Dämpfungselementen ausbildenden Kontaktbereiche kann zur Schwingungsdämpfung durch Reibungswirkung Schwingungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt werden. Jedoch weisen die sich zwischen den einzelnen Dämpfungselementen ausbildenden Kontaktbereiche lediglich die Form eines Linienkontakts auf, mit dem eine nur mäßig ausgeprägte Dämpfungswirkung verbunden ist.

[0005] Andere Formen von Dämpfern sind ebenfalls bekannt, beispielsweise nach FR 1263 677 A die Anordnung von einer Vielzahl an Kugeln zwischen zwei benachbarten Laufschaufeln.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen anzugeben, mit der unerwünschte Schwingungen noch wirksamer gedämpft und die Neigung der Schaufeln zum Schwingen aufgrund einer Anregung reduziert oder gar vermieden werden können.

[0007] Diese Aufgabe wird durch eine Schaufelanordnung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0008] Erfindungsgemäß ist bei der eingangs genannten Schaufelanordnung vorgesehen, dass der Schaufelkranz mindestens zwei Schaufelpaare mit unterschiedlichen Dämpfungselementen aufweist.

[0009] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die Kopplung der Schaufeln mit Dämpfungselementen auch die Eigenfrequenzen im Verhältnis zu den freistehenden Schaufeln erhöht werden. Bei der Verwendung identischer Dämpfungselemente werden somit alle Schaufeln eines Schaufelkranzes in identischem Maße verstimmt. Folglich verhalten an sich identische Schaufeln mit an sich identischen Eigenfrequenzen für unterschiedliche Schwingungsformen durch die unterschiedliche Kopplung mit Hilfe unterschiedlicher Dämpfungselemente sich im Schaufelkranz so, als ob die betreffenden Schaufeln - jedoch ungekoppelt - unterschiedliche Eigenfrequenzen für die Schwingungsmoden aufweisen. Durch die Verwendung unterschiedlicher Dämpfungselemente innerhalb eines Schaufelkranzes kann die Größe der Eigenfrequenzen benachbarter Schaufeln so eingestellt werden, dass unmittelbar benachbarte Schaufeln hinsichtlich ihrer Eigenfrequenzen sich wesentlich unterscheiden. Dadurch ist es möglich, einen Schaufelkranz zu erhalten, dessen Schaufeln trotz identischer Ausführungsform (abgesehen von den Herstellungstoleranzen) und damit identischer Eigenfrequenz (abgesehen von den herstellungsbedingten Toleranzen und jede für sich alleine betrachtet) im Kranz sich schwingungstechnisch so verhalten, als ob sie unterschiedlichen Eigenfrequenzen aufweisen. Mit anderen Worten: Durch die Verwendung der unterschiedlichen Dämpfungselemente können die Eigenfrequenzen der im Kranz angeordneten Schaufeln verstellt werden. Selbst bei nichtsynchrone Anregung erfahren sie eine geringere Anregung und reagieren somit mit einer geringeren Schwingungsantwort, wodurch die Neigung zum Flattern signifikant reduziert wird.

[0010] Im Betrieb werden die Dämpfungselemente an die untere Seite benachbarter Schaufelplattformen von Schaufeln durch die Fliehkraft angedrückt. Infolge der Relativbewegungen benachbarter Schaufeln entsteht Reibung zwischen dem Dämpfer und der Schaufelplattform, was eine Kopplung hervorruft. Die Erkenntnis beruht auf der Tatsache, dass durch die Kopplung neben der Dissipation auch eine Frequenzverschiebung der Eigenfrequenzen benachbarter Schaufeln bewirkt. Dieser Effekt kann genutzt werden, um die Schaufeln vorzugsweise alternierend zu verstimmen. Die benachbarten Schaufeln reagieren trotz identischer Ausführungsform allein wegen der unterschiedlichen Dämpfungselemente wie Schaufeln mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen. Derartig verstimmte Schaufeln neigen besonders wenig zum Flattern, insbesondere, wenn sie alternierend verstimmt sind. Außerdem ist der mit den Dämpfungselementen erzielbare Hub der Frequenzverschiebung deutlich größer als bei den bisherigen Maßnahmen. Somit neigt ein erfindungsgemäßer Schaufelkranz deutlich weniger zu Flattern als Schaufelkränze mit Schaufeln, bei denen die Schaufeln an sich unterschiedliche Eigenfrequenzen aufweisen. Insofern ist der erfindungsgemäße Schaufelkranz aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Dämpfungselemente zwischen einem Paar von Schaufeln wesentlich resistenter gegen selbsterregte Schwingungen und dem sogenannten Flattern als herkömmliche Schaufelkränze.

[0011] Folglich können die unterschiedlichen Dämpfungselemente die ansonsten gängigen und üblichen Maßnahmen zum Verstellen der Eigenfrequenzen ersetzen, was auch als "Mistuning" bekannt ist. Diese waren z. B. das Kürzen der Hinterkante an der Schaufelspitze, das Schleifen des Schaufelprofils oder das Bohren von schaufelspitzseitigen Löchern im Schaufelblatt. Die Erfindung hat den besonderen Vorteil, dass durch das Mistunen der Schaufeln mit den beiden, jeder Schaufel zugeordneten Dämpfungselementen das Schaufelprofil der betreffenden Schaufel unverändert bleiben kann und damit keine Performaneverluste, weder in der Stufe noch in der Strömungsmaschine, wie beim Kürzen der Hinterkanten, einhergehen. Die bisherigen Maßnahmen zum Verstellen der Eigenfrequenzen der Schaufeln können somit entfallen. Mithin tritt eine Zeit- und Kostenersparnis ein, da der iterative Prozess der wiederholten Bearbeitung der Schaufeln mit wiederholten Schwingungsmessungen vollständig entfallen kann.

[0012] Dabei ist jede Schaufel des Schaufelkranzes zwei Schaufelpaaren zugeordnet, wobei zwei oder mehr Gruppen von Schaufelpaaren vorgesehen sind, innerhalb derer die Dämpfungselemente jeweils identisch sind und deren Dämpfungselemente sich von Gruppe zu Gruppe unterscheiden.

[0013] Dabei sind eine erste Gruppe und eine zweite Gruppe von Schaufelpaaren vorgesehen, wobei jedes Schaufelpaar der ersten Gruppe von einem Schaufelpaar der ersten Gruppe und einem Schaufelpaar der zweiten Gruppe benachbart ist (AABBAABB-Reihe).

Hierdurch wird eine höhere Frequenzverstimmung erreicht als bei der ABAB-Reihe, da die sich aus dem Ersatzmodell ergebenden Koppelsteifigkeiten einer Schaufel zur Nachbarschaufel deutlich unterschiedlich sind.

[0014] Eine ebenso wirksame Frequenzverstimmung kann erreicht werden, wenn eine erste Gruppe, eine zweite Gruppe und eine dritte Gruppe von Schaufelpaaren vorgesehen sind, wobei jedes Schaufelpaar einer der drei Gruppen von zwei Schaufelpaaren benachbart ist, die jeweils einer der beiden anderen Gruppen zugehörig sind (ABCABC-Reihe).

[0015] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0016] Vorzugsweise unterscheiden sich die unterschiedlichen Dämpfungselemente hinsichtlich der Größe, der Masse, der Querschnittskontur des Materials und/oder des Koppelkontakts zu den Schaufeln. Derartige Dämpfungselemente lassen sich mit geringem Aufwand herstellen, ohne den Guss und die Kontur von Schaufeln für die unterschiedlichen Gruppen anzupassen. Beispielsweise unterscheiden sich die Dämpfungselemente in ihrer geometrischen Form. So können mit geeignet geformten Dämpfungselementen auch Schwingungsmoden wirksam gedämpft werden, die bei gleichbleibender Gestaltung aller Dämpfungselemente nicht wirksam gedämpft werden können. Alternativ oder ergänzend können sich die Dämpfungselemente auch in ihren Massen unterscheiden, um durch Kombination mit geeigneten geometrischen Formen eine möglichst große Anzahl unterschiedlicher Schwingungsmoden wirksam zu dämpfen. Ferner können durch Verwendung von Dämpfungselementen aus unterschiedlichen Materialien die Reibungsverhältnisse (Reibkoeffizient, Rauheit) in den Kontaktbereichen beeinflusst werden, um auch so eine gezielte Dämpfung mehrerer Moden, auch in erhöhten Frequenzbereichen, zu ermöglichen.

[0017] Um die Dämpfungselemente geeignet zwischen benachbarten Schaufeln anordnen zu können, sind diese vorzugsweise stabförmig ausgebildet.

[0018] Bei einer konkreten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaufelanordnung ist das Dämpfungselement eines Schaufelpaares mehrteilig ausgebildet. Es umfasst - in Umfangsrichtung des Rotors gesehen - zwei (oder mehr) hintereinander angeordnete Teilelemente, die vorzugsweise stabförmig ausgebildet sind. Beispielsweise weist eines der Teilelemente einen Querschnitt in der Form eines Keils und das andere Teilelement einen Querschnitt in Form eines Viertelkreises auf. Insbesondere durch aufeinander abgestimmte Querschnittsformen der Dämpfungselemente bzw. deren Teile lassen sich die erfindungsgemäßen Vorteile besonders effizient erzielen.

[0019] Bei einer weiteren konkreten Weiterbildung sind die Dämpfungselemente aus Stahl oder Keramik hergestellt, also Materialien, mit denen eine wirksame Dämpfung realisiert werden kann.

[0020] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel ei-

ner erfindungsgemäßen Schaufelanordnung anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert, in denen

FIG 1 die axiale Ansicht auf einen Ausschnitt der Abwicklung eines Laufschaufelkranzes einer Axialturbomaschine mit zwischen den Schaufeln angeordneten Dämpfungselementen gemäß einer ersten Ausgestaltung,

FIG 2,4,5,6,7 den Ausschnitt gemäß FIG 1, jedoch mit unterschiedlichen Dämpfungselementen gemäß weiterer Ausgestaltungen und

FIG 3 ein mechanisches Ersatzmodell über die Kopplung der Schaufeln des Schaufelkranzes mit Hilfe der Dämpfungselemente.

[0021] In FIG 1 ist ein Teil des Laufschaufelkranzes 10 von an einem Rotor 12 entlang des Umfangs U verteilten Schaufeln 14 einer nicht weiter dargestellten Axialturbomaschine dargestellt. Die Axialturbomaschine kann beispielsweise als Verdichter, Dampfturbine oder stationäre Gasturbine ausgestaltet sein, welche die Schaufelanordnung 11 mit dem Kranz 10 von Schaufeln 14 umfasst. Diese weisen jeweils einen Schaufelfuß 16 zur Befestigung der jeweiligen Schaufel 14 am Rotor 12 auf. Der Schaufelfuß 16 ist in bekannter Manier schwalbenschwanzförmig oder auch tannenbaumförmig ausgestaltet. Zur formschlüssigen Befestigung am Rotor 12 ist dieser in zum Schaufelfuß 16 korrespondierenden Haltenuten des Rotors 12 eingeschoben, so dass bei Rotation des Rotors 12 die Schaufeln 14 sicher gehalten sind. Die Haltenuten und somit auch die Schaufelfüße 16 erstrecken sich hauptsächlich in Axialrichtung und sind gegenüber einer Maschinenachse in einem Anstellwinkel geneigt.

[0022] Nach außen geht der Schaufelfuß 16 in einen nicht weiter bezeichneten Schaufelhals über, an dem sich eine Plattform 18 anschließt. Deren Plattformoberfläche 20 begrenzt den Strömungskanal der Axialturbomaschine. An der Plattformoberfläche 20 ist ein aerodynamisches gekrümmtes Schaufelblatt 22 freistehend angeordnet.

[0023] Gemäß einer ersten Ausgestaltung sind an der dem Schaufelfuß 16 zugewandten Unterseite der Plattform 18 zwischen den Plattformen 18 unmittelbar benachbarter Schaufeln 14 entweder Dämpfungselemente vom Typ A oder vom Typ B vorgesehen. Beide Typen A, B von Dämpfungselementen sind stabförmig ausgebildet, beispielsweise als Dämpferdrähte. Nach der in FIG 1 dargestellten Ausführungsform weisen die Dämpfungselemente A, B jeweils einen kreisrunden Querschnitt auf. Die Dämpfungselemente vom Typ A weisen jedoch einen größeren Durchmesser auf als die Dämpfungselemente vom Typ B auf. Beide Dämpfungsele-

mente A, B sind daher zylindrisch.

[0024] Während der Rotation des Rotors 12 streben die lose zwischen den Plattformen 18 liegenden Dämpfungselemente A, B in radialer Richtung R nach außen und werden durch die Fliehkraft an die abgeschrägten Unterseiten benachbarter Plattformen 18 angepresst. Jedes Dämpfungselement A liegt an zwei unmittelbar benachbarten ein Schaufelpaar a bildenden Schaufeln 14 an. Ebenso liegt jedes Dämpfungselement B an zwei unmittelbar benachbarten, ein Schaufelpaar b bildenden Schaufeln 14 an. Aufgrund des kreisrunden Querschnitts der Dämpfungselemente A, B liegen diese jeweils unter Bildung eines Linienkontakts an jeder Schaufel 14 an. Da jede Schaufel 14 beidseits des Schaufelhalses ein Dämpfungselement A, B aufweist, gehört jede Schaufel 14 beiden Schaufelpaaren a, b an. Gemäß der in FIG 1 gezeigten Schaufelanordnung 11 ist somit eine erste Gruppe 24 von Schaufelpaaren a und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren b vorgesehen, wobei jedes Schaufelpaar a (bzw. b) der einen Gruppe 24 (bzw. 26) in Umfangsrichtung gesehen, von einem Schaufelpaar b (bzw. a) der anderen Gruppe 26 (bzw. 24) benachbart ist. Aufgrund dieser Ausgestaltung sind die Dämpfungselemente A, B in Umfangsrichtung U abwechselnd hintereinander zwischen zwei unmittelbar benachbarten Schaufeln 14 aufgereiht. Diese Ausgestaltung wird auch als Anordnung mit einem ABAB-Muster bezeichnet.

[0025] In FIG 2 und auch den anderen Figuren sind identische Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0026] Die Ausgestaltung gemäß FIG 2 unterscheidet sich von der Ausgestaltung nach FIG 1 lediglich in der Form und Gestalt des jeweils zweiten Dämpfungselementes. Anstelle der mit geringeren Durchmesser versehenen Dämpfungselemente B sind in FIG 2 nun Dämpfungselemente B' vorgesehen, die prinzipiell den gleichen Durchmesser aufweisen wie die Dämpfungselemente vom Typ A, jedoch ist die Querschnittsform der Dämpfungselemente B' nicht kreisförmig, sondern kreissegmentförmig. Die Form des Kreissegments ist dabei so gewählt, dass der Mittelpunkt des vollständigen Kreises noch von der Kreissegment-Querschnittsfläche eingeschlossen ist. Durch die Kreissegmentform liegt das Dämpfungselement B' an der einen (der in FIG 2 jeweils rechts dargestellten) Schaufel 14 des Schaufelpaares b flächig und an der anderen (der in FIG 2 jeweils links dargestellten) Schaufel 14 des Schaufelpaares b' linienartig an. Gemäß der in FIG 2 gezeigten Schaufelanordnung 11 ist somit eine erste Gruppe 24 von Schaufelpaaren a und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren b' vorgesehen, wobei jedes Schaufelpaar a (bzw. b') der einen Gruppe 24 (bzw. 26) in Umfangsrichtung U gesehen, von einem Schaufelpaar b' (bzw. a) der anderen Gruppe 26 (bzw. 24) benachbart ist. Auch hier handelt es sich prinzipiell um Reihe mit einem ABAB-Muster, bei der die angegebene Reihenfolge der Dämpfungselemente A, B' bzw. der Schaufelpaare a, b' entlang des Umfangs U des Schaufelkranzes 10 sich in regelmäßiger

Reihenfolge wiederholt.

[0027] FIG 3 zeigt den Ausschnitt der Abwicklung des Schaufelkranzes 10 mit Laufschaufeln 14 nach FIG 2, wobei anstelle der Dämpfungselemente A bzw. B' die im Ersatzmodell der Dämpfungselemente A, B' zu verwendenden Federn 28, 30 dargestellt sind. Da es sich bei dem Dämpfungselement A um einen symmetrischen bzw. zylindrischen Dämpfer handelt, wird im Ersatzmodell eine Translationsfeder 28 zur Kopplung der beiden Schaufeln 14 des Schaufelpaares a dargestellt. Das asymmetrische Dämpfungselement B' erzwingt aufgrund der flächigen Anlage des Kreissehnenabschnitts an der abgeschrägten Unterseite der Plattform 18 zusätzlich zur Translation ein Moment, so dass zusätzlich zur Translationsfeder 28 eine Drehfeder 30 im Ersatzschaltbild zwischen den Schaufeln 14 des Schaufelpaares b' dargestellt ist. Die Translationsfedern 28 weisen eine Kopplungssteifigkeit C1, C3 und die Drehfeder eine Kopplungssteifigkeit C2 auf. Die gesamte Koppelsteifigkeit einer einzelnen Schaufel 14 ergibt sich dann durch die Parallelschaltung der Koppelsteifigkeit C3 einerseits und der Koppelsteifigkeiten C2 und C1. Die Federn können dabei auch nicht lineare Eigenschaften besitzen.

[0028] Da die Schaufelblätter 22 gegenüber der Axialrichtung X angestellt sind und somit die beiden Seiten der Plattform 18 einer Schaufel 14 seitlich des Schaufelblatts 22 asymmetrisch ausgestaltet sind, bewirkt die Reihe mit dem ABAB-Muster von Dämpfungselementen A, B bzw. A, B' eine alternierende Frequenzverstimmung von Schaufeln 14, wodurch die Eigenfrequenzen unmittelbar benachbarter Schaufeln 14 allein durch die Verwendung von unterschiedlichen Dämpfungselementen A, B, B' verschoben sind. Die Verschiebung der Frequenzen verhindert in Betrieb die Ausbreitung von umlaufenden Schwingungswellen im geschaukelten Kranz, was die Anregung der Schaufelblätter 22 zum Flattern erschwert. Dies vergrößert den Betriebsbereich der Axialturbomaschine und gewährleistet einen sicheren Betrieb.

[0029] Weitere Ausgestaltungen zum Verstimmen der Eigenfrequenzen von Schwingungsmoden von Schaufeln 14 sind in FIG 4, FIG 5, FIG 6 und FIG 7 gezeigt. Darin sind weitere Reihen mit unterschiedlichen Mustern exemplarisch angegeben.

[0030] FIG 4 zeigt eine neue Reihe mit drei Gruppen 24, 26, 27 von Schaufelpaaren a, b, d, wobei jedes Schaufelpaar a bzw. b bzw. d einer Gruppe 24 bzw. 26 bzw. 27 von zwei Schaufelpaaren b, d bzw. a, d bzw. a, b benachbart ist, die jeweils einer der beiden anderen Gruppen 26, 27 bzw. 24, 27 bzw. 24, 26 zugehörig sind. Zwischen den beiden Schaufeln 14 jedes Schaufelpaares a ist ein Dämpfungselement vom Typ A vorgesehen. Dieser ist im Querschnitt kreisrund und weist einen eher größeren Durchmesser auf. Jedem Schaufelpaar b ist ein Dämpfungselement vom Typ B zugeordnet, welcher im Querschnitt auch kreisrund ist. Verglichen mit dem Dämpfungselement vom Typ A ist der Durchmesser des Dämpfungselements vom Typ B jedoch kleiner. Jedem

Schaufelpaar d ist ein Dämpfungselement vom Typ D zugeordnet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht dessen Ausgestaltung der Ausgestaltung des Dämpfungselements vom Typ B' aus FIG 2. Diese Ausgestaltung weist demnach eine ABCABC-Reihe auf.

[0031] Nach FIG 5 ist eine weitere Schaufelanordnung 11 gezeigt, bei der eine erste Gruppe 24 und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren a, b' vorgesehen sind, wobei jedes Schaufelpaar a der ersten Gruppe 24 von einem Schaufelpaar a der ersten Gruppe 24 und einem Schaufelpaar b' der zweiten Gruppe 26 benachbart ist. Zwischen den beiden Schaufeln 14 jedes Schaufelpaares a ist ein Dämpfungselement vom Typ A vorgesehen. Dieser ist im Querschnitt kreisrund und weist einen eher größeren Durchmesser auf. Jedem Schaufelpaar b' ist ein Dämpfungselement vom Typ B' zugeordnet, dessen Querschnitt kreissegmentförmig ist. Diese Ausgestaltung lässt sich als AABBAABB-Reihe beschreiben.

[0032] Eine alternative Ausgestaltung mit einer AB-BABB-Reihe ist in FIG 6 schematisch dargestellt. Auch hier sind die unterschiedlichen Typen A, A, B' der Dämpfungselemente entlang des Umfangs zwischen den Schaufeln 14 des Schaufelkranzes 10 in wiederkehrender Reihenfolge verteilt.

[0033] Abschließend zeigt FIG 7 eine weitere ABAB-Reihe von abgeänderten Dämpfungselementen E, H in einem Laufschaufelkranz. Eine erste Gruppe 24 von Laufschaufelpaaren e 14 weist zwischen den jeweils zugehörigen Schaufeln 14 jeweils ein Dämpfungselement vom Typ E auf. Auch das Dämpfungselement E ist prinzipiell stabförmig ausgestaltet. Im Gegensatz zu den bisher gezeigten Ausgestaltungen von Dämpfungselementen A, B, B', B'', D ist dieses jedoch im Querschnitt dreieckförmig ausgestaltet, so dass es an jeder Schaufel 14 des ihm zugeordneten Schaufelpaares e flächig anliegt. Das zum Dämpfungselement E unterschiedliche Dämpfungselement H ist mehrteilig ausgestaltet und umfasst jeweils zwei Teile H1, H2. Das Teil H1 ist im Querschnitt dreieckig und das Teil H2 weist im Querschnitt die Kontur eines Kreissektors in Form eines Viertelkreises auf. Dadurch ergeben sich zwei Flächenkontakte und ein Linienelementkontakt je Dämpfungselement H.

[0034] Die in den FIGs 4, 5, 6 und 7 gezeigten Schaufelanordnungen 11 weisen höhere Koppelsteifigkeiten als die Ausgestaltungen nach FIG 1 bzw. FIG 2 auf, wodurch einander unmittelbar benachbarte Schaufeln 14 in ihren Frequenzeigenschaften noch deutlicher verstimmt werden. Insofern eignen sich diese Schaufelanordnungen 11 besonders, wenn mit Hilfe unterschiedlicher Dämpfungselemente eine Frequenzverstimmung von Schaufeln 14 eines Schaufelkranzes 10 herbeigeführt werden soll, um die Flatteranregung der Schaufeln 14 zu verhindern.

[0035] Je nach Anzahl der Schaufeln 14 im Schaufelkranz ist eine der vorgenannten Schaufelanordnungen 11 besonders günstig anwendbar. Selbstverständlich ist es möglich, wenn die Schaufelanzahl im Kranz nicht durch zwei oder durch drei teilbar ist, auch eine größere

Anzahl an Dämpfungselementtypen je Schaufelkranz 10 zu verwenden.

[0036] Falls der Schaufelkranz 10 eine Anzahl von Schaufeln 14 aufweist, die kein ganzzahliges Vielfaches der Anzahl der Dämpfungselementtypen der Reihe ist, besteht für alle Ausgestaltungen selbstverständlich die Möglichkeit, dass nur ein Großteil der aufeinander folgenden Schaufelpaare (a, b, b', b'', d, e, h) Mitglieder der Reihe sind und diese bilden. Die übrigen Schaufelpaare werden dann, mit geeigneten Dämpfungselementen versehen, die sich nicht der Reihe unterordnen lassen. In diesem Fall besteht auch die Möglichkeit, dass der Schaufelkranz 10 tatsächlich zwei benachbarte Schaufeln 14 mit identischen oder angenäherten Frequenzeigenschaften aufweisen.

[0037] Daneben sind unterschiedlichste Dämpfungselementtypen denkbar und miteinander kombinierbar, so dass die hier dargestellten Ausführungsbeispiele in keiner Weise als limitierend zu verstehen sind. Selbst die in Umfangsrichtung alternierende Anordnung von Dämpfungselementen vom Typ B' und vom Typ B'' führt aufgrund der weiter oben bereits erwähnten, von Schaufel zu Schaufel variierenden Koppelsteifigkeit, zu einer alternierenden Frequenzverstimmung.

[0038] Beispielsweise wäre denkbar, dass als Unterscheidungsmerkmal zwischen Dämpfungselementen unterschiedlicher Typen Nuten (gerillte Dämpfungselemente) entlang Querschnittskontur vorgesehen sind. Zudem sind auch andere Reihen von Dämpfungselementtypen ebenso möglich, beispielsweise eine ABCBABC-BA-Reihe.

[0039] Insgesamt betrifft die Erfindung somit eine Schaufelanordnung 11 mit einem Rotor 12 und mehreren entlang des Umfangs U des Rotors 12 in einem Kranz 10 verteilten Schaufeln 14, wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln 14 des Kranzes 10 ein Schaufelpaar a, b, b', b'', d, e, h bilden, zwischen dessen Schaufeln 14 ein Dämpfungselement A, B, B', B'', D, E, H angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung R wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors 12 um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement A, B, B', B'', D, E, H mit den beiden Schaufeln 14 des ihnen zugeordneten Schaufelpaares a, b, b', b'', d, e, h in Kontakt treten. Um eine Frequenzverstimmung der Schwingungseigenschaften von Schaufeln 14 herbeizuführen, wodurch eine mechanische Bearbeitung des Schaufelblatts 22 hinfällig wird, wird vorgeschlagen, dass der Schaufelkranz 10 mindestens zwei Schaufelpaare a, b, b', b'', d, e, h mit unterschiedlichen Dämpfungselementen A, B, B', B'', D, E, H aufweist.

Patentansprüche

1. Schaufelanordnung (11), mit einem Rotor (12) und mehreren entlang des Umfangs des Rotors (12) in einem Kranz (10) verteilten Schaufeln (14), die jeweils aufeinanderfolgend einen

Schauelfuß (16), eine Plattform (18) und ein Schaufelblatt (22) umfassen, wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln (14) des Kranzes (10) ein Schaufelpaar (a, b, b', b'', d, e, h) bilden und denen zumindest ein Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) zugeordnet ist und, welche(s) durch eine in radialer Richtung (R) wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors (12) um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) mit den Plattformen (18) der beiden Schaufeln (14) des ihm zugeordneten Schaufelpaares (a, b, b', b'', d, e, h) in Kontakt treten können, wobei zum Verstellen der Eigenfrequenzen der Schaufeln (14) der Schaufelkranz (10) mindestens zwei Schaufelpaare (a, b, b', b'', d, e, h) mit unterschiedlichen Dämpfungselementen (A, B, B', B'', D, E, H) aufweist und bei dem jede Schaufel (14) des Kranzes (10) zwei Schaufelpaaren (a, b, b', b'', d, e, h) zugeordnet ist sowie zwei oder mehr Gruppen (24, 26, 27) von Schaufelpaaren (a, b, b', b'', d, e, h) vorgesehen sind, innerhalb derer die Dämpfungselemente (A, B, B', B'', D, E, H) jeweils identisch sind und deren Dämpfungselemente (A, B, B', B'', D, E, H) sich von Gruppe (24, 26, 27) zu Gruppe (24, 26, 27) unterscheiden, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Gruppe (24) und eine zweite Gruppe (26) von Schaufelpaaren (a, b'') vorgesehen sind, wobei ein Großteil der Schaufelpaare (a bzw. b'') oder jedes Schaufelpaar (a bzw. b'') der einen Gruppe (24 bzw. 26) von einem Schaufelpaar (a bzw. b'') der einen Gruppe (24 bzw. 26) und einem Schaufelpaar (b'' bzw. a) der anderen Gruppe (26 bzw. 24) benachbart ist oder **dass** eine erste Gruppe (24), eine zweite Gruppe (26) und eine dritte Gruppe (27) von Schaufelpaaren (a, b, d) vorgesehen sind, wobei ein Großteil der Schaufelpaare (a bzw. b bzw. d) oder jedes Schaufelpaar einer Gruppe (24 bzw. 26 bzw. 27) von zwei Schaufelpaaren (b, d bzw. a, d bzw. a, b) benachbart ist, die jeweils einer der anderen beiden Gruppen (26, 27 bzw. 24, 27 bzw. 24, 26) zugehörig sind.

2. Schaufelanordnung (11) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die unterschiedlichen Dämpfungselemente (A, B, B', B'', D, E, H) sich hinsichtlich der Größe, der Masse, der Querschnittskontur, des Materials und/oder der Art des Koppelkontakts zu den Schaufeln (14) hin unterscheiden.
3. Schaufelanordnung (11) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der das Dämpfungselement (H) eines Schaufelpaares (h) mehrteilig ausgebildet ist.
4. Gasturbine mit einer Schaufelanordnung (11) nach

einem der Ansprüche 1 bis 3.

Claims

1. Blade arrangement (11),
with a rotor (12) and a plurality of blades (14) which
are distributed in a ring (10) along the circumference
of the rotor (12) and comprise respectively in suc-
cession a blade root (16), a platform (18) and a blade
airfoil (22), wherein two immediately adjacent blades
(14) of the ring (10) form a blade pair (a, b, b', b'', d,
e, h) and are assigned at least one damping element
(A, B, B', B'', D, E, H), and wherein
the respective damping element (A, B, B', B'', D, E,
H) can come into contact with the platforms (18) of
the two blades (14) of the blade pair (a, b, b', b'', d,
e, h) assigned to them during a rotation of the rotor
(12) about a rotor axis as a result of a centrifugal
force acting in the radial direction (R),
wherein, for adjusting the natural frequencies of the
blades (14), the blade ring (10) has at least two blade
pairs (a, b, b', b'', d, e, h) with different damping el-
ements (A, B, B', B'', D, E, H) and in which each
blade (14) of the ring (10) is assigned two blade pairs
(a, b, b', b'', d, e, h) and two or more groups (24, 26,
27) of blade pairs (a, b, b', b'', d, e, h) are provided,
within which the damping elements (A, B, B', B'', D,
E, H) are in each case identical and
the damping elements (A, B, B', B'', D, E, H) of which
differ from group (24, 26, 27) to group (24, 26, 27),
characterized
in that a first group (24) and a second group (26) of
blade pairs (a, b'') are provided,
wherein a majority of the blade pairs (a or b'') or each
blade pair (a or b'') of the one group (24 or 26) has
an adjacent blade pair (a or b'') of the one group (24
or 26) and an adjacent blade pair (b'' or a) of the
other group (26 or 24) or in that a first group (24), a
second group (26) and a third group (27) of blade
pairs (a, b, d) are provided,
wherein a majority of the blade pairs (a or b or d) or
each blade pair of a group (24 or 26 or 27) has two
adjacent blade pairs (b, d or a, d or a, b) that respec-
tively belong to one of the two other groups (26, 27
or 24, 27 or 24, 26).
2. Blade arrangement (11) according to the preceding
claim,
in which the different damping elements (A, B, B',
B'', D, E, H) differ with regard to the size, the mass,
the cross-sectional contour, the material and/or the
type of coupling contact with the blades (14).
3. Blade arrangement (11) according to one of the pre-
ceding claims,
in which the damping element (H) of a blade pair (h)
is of a multipart form.

4. Gas turbine with a blade arrangement (11) according
to one of Claims 1 to 3.

5 Revendications

1. Agencement (11) d'aubes,
comprenant un rotor (12) et plusieurs aubes (14) qui
sont réparties le long du pourtour du rotor (12) en
une couronne (10) et qui comprennent respective-
ment successivement une emplanture (16) d'aube,
une plateforme (18) et une lame (22) d'aube,
dans lequel deux aubes (14), directement voisines
de la couronne (10), forment une paire (a, b, b', b'',
d, e, h) d'aubes et il leur est associé au moins un
élément (A, B, B', B'', D, E, H) d'amortissement et
par une force centrifuge, agissant dans la direction
(R) radiale, lors d'une rotation du rotor (12) autour
d'un axe du rotor, l'élément (A, B, B', B'', D, E, H)
d'amortissement respectif peut entrer en contact
avec la plateforme (18) des deux aubes (14) de la
paire (a, b, b', b'', d, e, h) d'aubes qui lui est associée,
dans lequel, pour régler la fréquence propre des
aubes (14) de la couronne (10) d'aubes, au moins
deux paires (a, b, b', b'', d, e, h) d'aubes ont des
éléments (A, B, B', B'', D, E, H) d'amortissement dif-
férents et dans lequel chaque aube (14) de la cou-
ronne (10) est associée à deux paires (a, b, b', b'',
d, e, h) d'aubes ainsi que
il est prévu deux ou plusieurs groupes (24, 26, 27)
de paires (a, b, b', b'', d, e, h) d'aubes,
dans lesquels les éléments (A, B, B', B'', D, E, H)
d'amortissement sont respectivement identiques et
dont les éléments (A, B, B', B'', D, E, H) d'amortis-
sement sont différents d'un groupe (24, 26, 27) à
l'autre (24, 26, 27),
caractérisé en ce qu'il est prévu un premier groupe
(24) et un deuxième groupe (26) de paires (a, b'')
d'aubes,
dans lequel une grande partie des paires (a ou b'')
d'aubes ou chaque paire (a ou b'') d'aubes de l'un
des groupes (24 ou 26) d'une paire (a ou b'') d'aubes
est voisine de l'un des groupes (24 ou 26) et est
voisine d'une paire (b'' ou a) d'aubes de l'autre grou-
pe (26 ou 24) ou
en ce qu'il est prévu un premier groupe (24), un
deuxième groupe (26) et un troisième groupe (27)
de paires (a, b, d) d'aubes,
dans lequel une grande partie des paires (a ou b ou
d) d'aubes ou chaque paire d'aubes d'un groupe (24
ou 26 ou 27) est voisine de deux paires (b, d ou a,
d ou a, b) d'aubes, qui sont associées respective-
ment à l'un des deux autres groupes (26, 27 ou 24,
27 ou 24, 26).
2. Agencement (11) d'aubes suivant l'une des reven-
dications précédentes,
dans lequel les éléments (A, B, B', B'', D, E, H)

d'amortissement différents se distinguent en ce qui concerne la dimension, la masse, le contour, la section transversale, le matériau et/ou le type du contact de couplage aux aubes (14).

5

3. Agencement (11) d'aubes suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément (H) d'amortissement d'une paire (h) d'aubes est constitué en plusieurs parties.

10

4. Turbine à gaz ayant un agencement (11) d'aubes suivant l'une des revendications 1 à 3.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

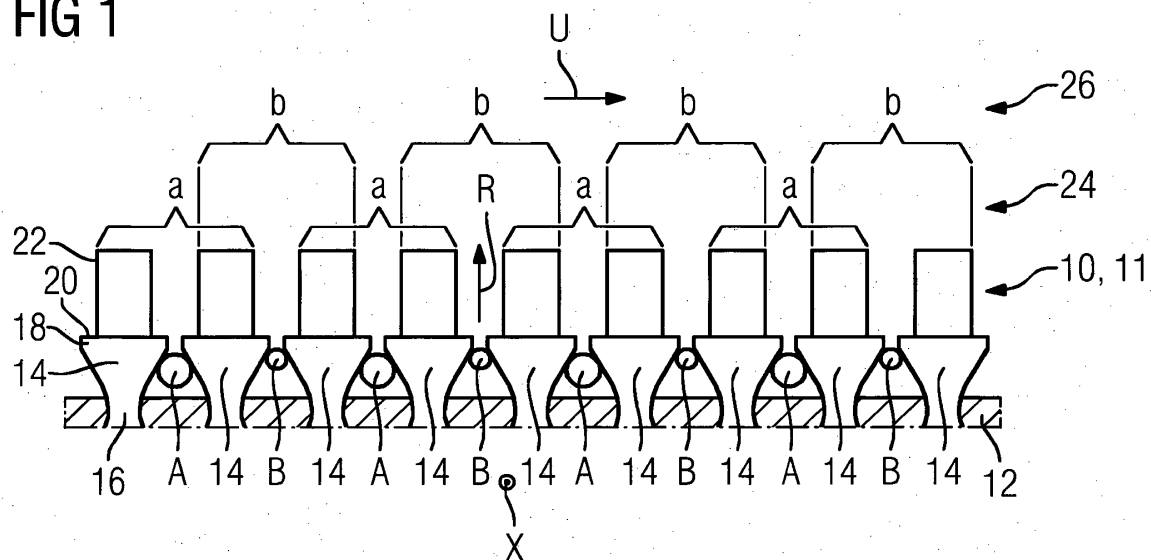


FIG 2

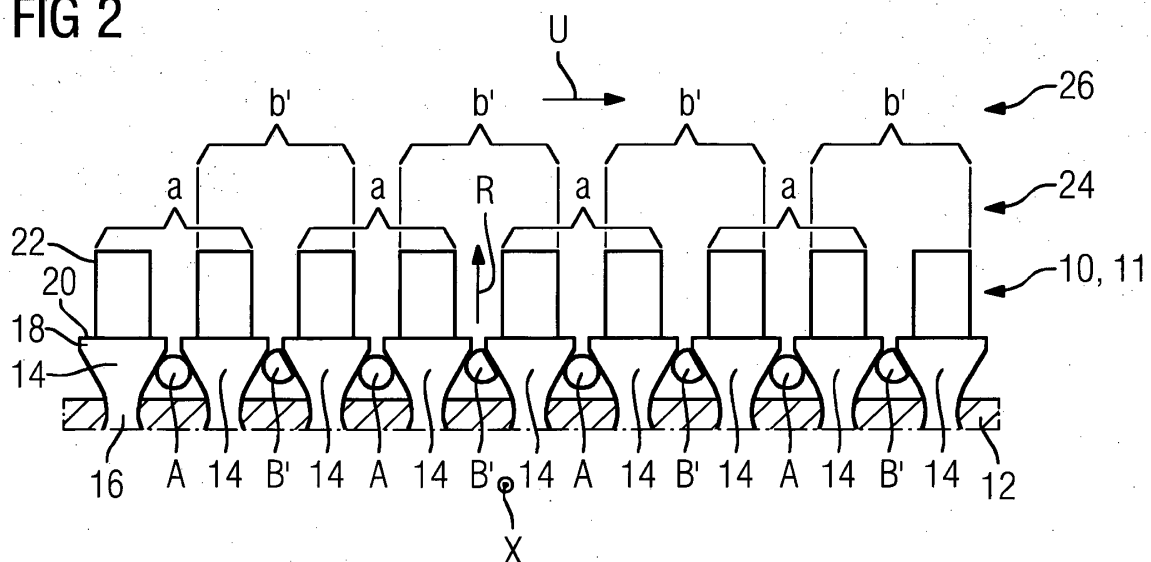


FIG 3

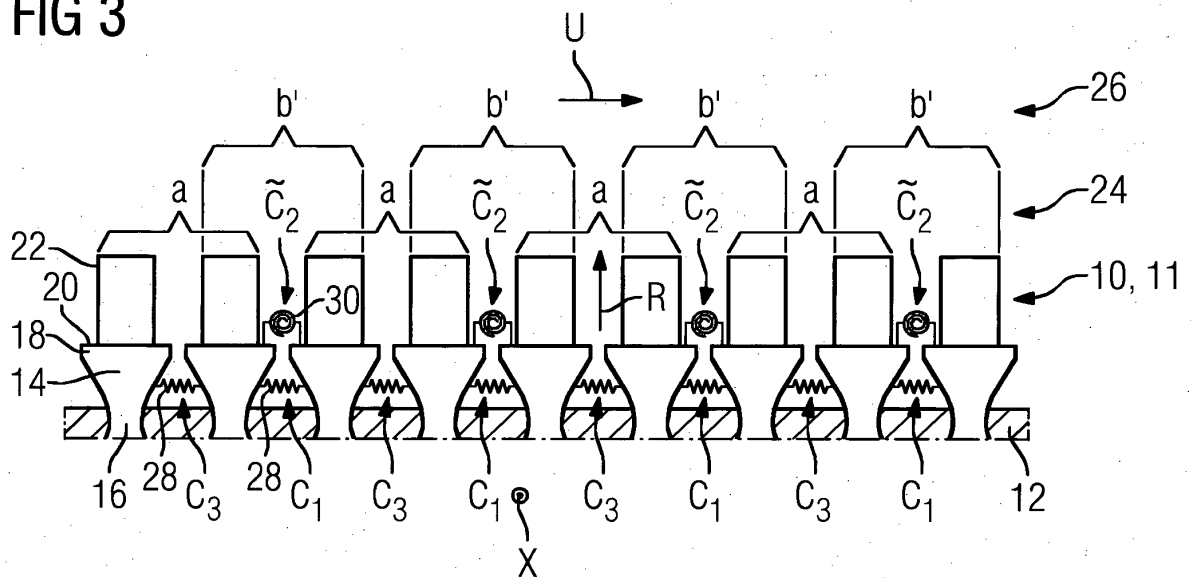


FIG 4

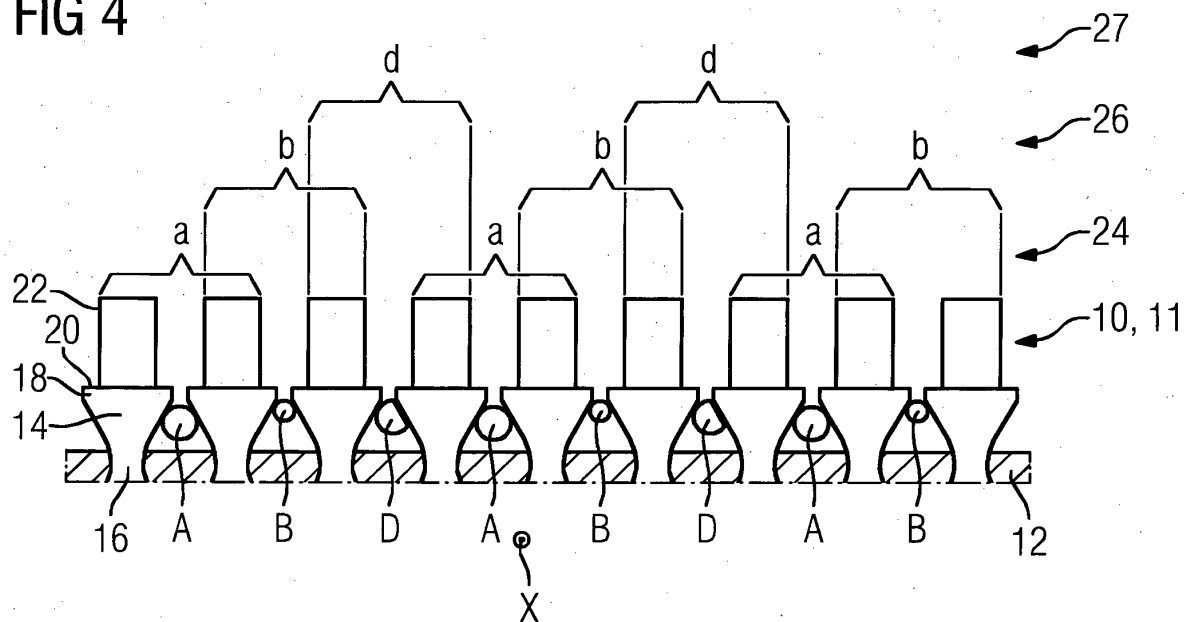


FIG 5

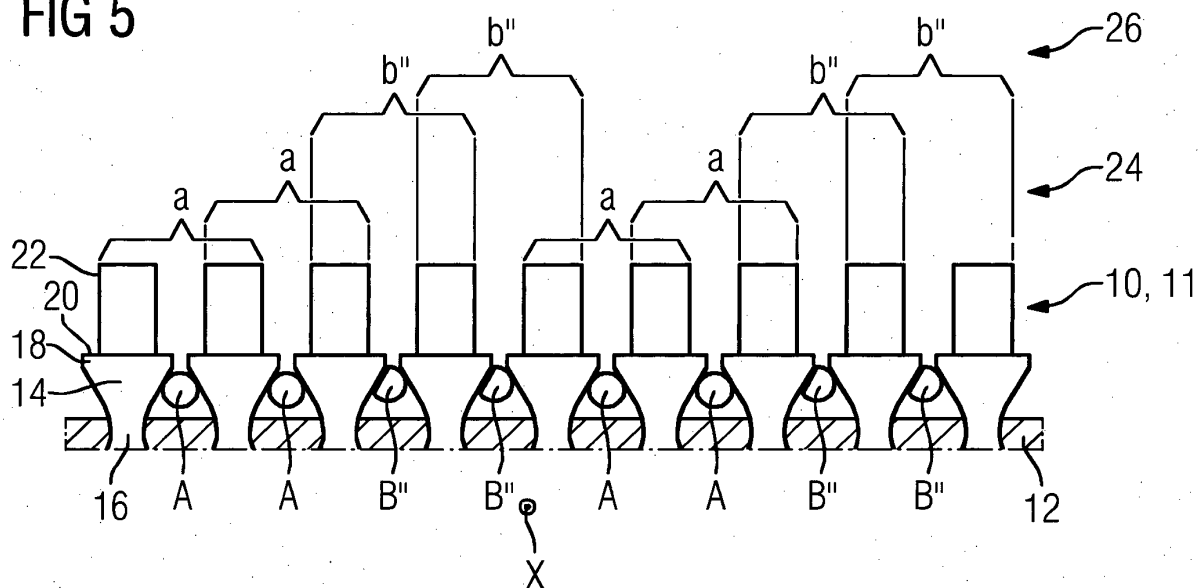


FIG 6

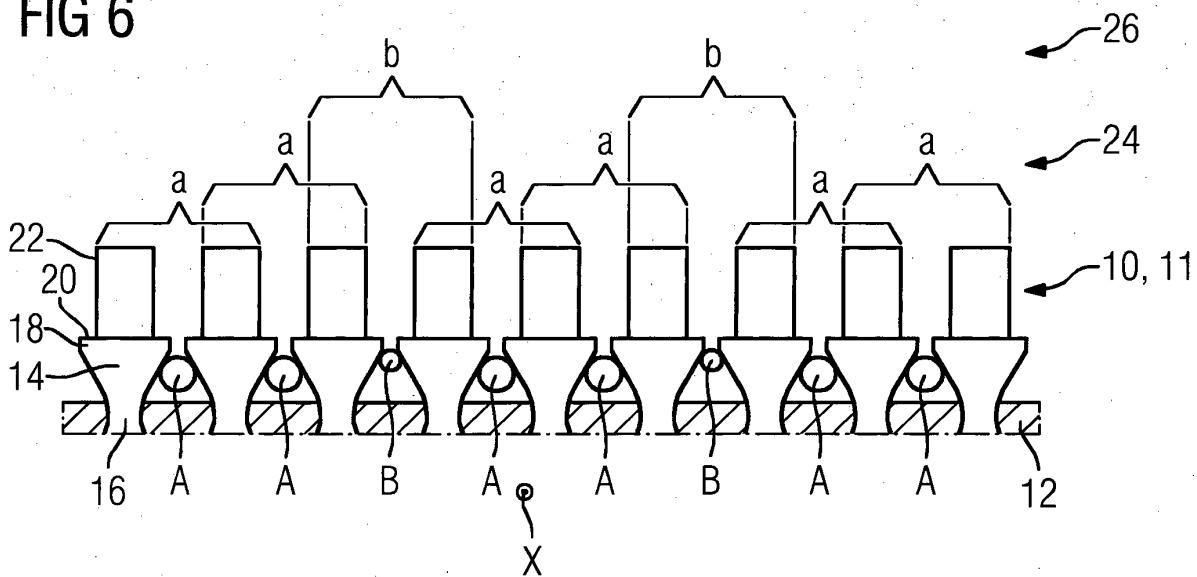
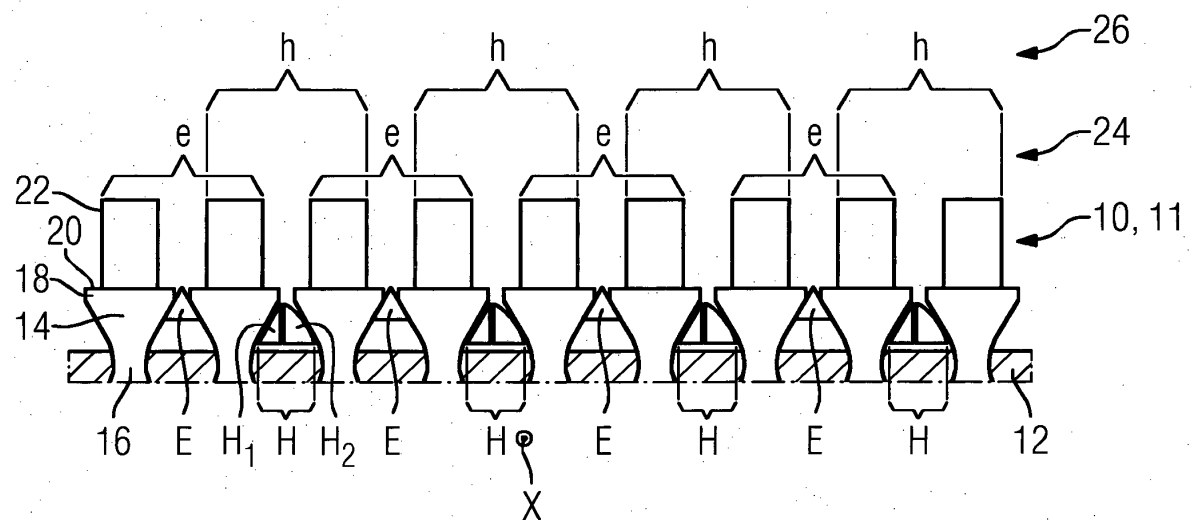


FIG 7



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 819242 C [0003]
- US 1618285 A [0003]
- EP 1154125 A2 [0004]
- FR 1263677 A [0005]