

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 906 514 B1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

- (45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**24.10.2001 Patentblatt 2001/43**
- (51) Int Cl.7: **F04D 29/32, F01D 5/30**
- (21) Anmeldenummer: **97928110.2**
- (86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE97/01159**
- (22) Anmeldetag: **09.06.1997**
- (87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 97/49921 (31.12.1997 Gazette 1997/57)**

**(54) ROTOR FÜR EINE TURBOMASCHINE MIT IN NUTEN ANBRINGBAREN SCHAUFELN SOWIE SCHAUFEL FÜR EINEN ROTOR**

ROTOR FOR A TURBOMACHINE WITH BLADES INSERTABLE INTO GROOVES AND BLADES FOR A ROTOR

ROTOR POUR UNE TURBOMACHINE AVEC DES PALES A MONTER DANS DES RAINURES ET PALES POUR UN ROTOR

- (84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR GB IT LI**
- (30) Priorität: **21.06.1996 DE 19624924**  
**15.10.1996 DE 19642537**
- (43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**07.04.1999 Patentblatt 1999/14**
- (73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT 80333 München (DE)**
- (72) Erfinder: **BARTSCH, Carsten D-45478 Mülheim an der Ruhr (DE)**
- (56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 705 958 WO-A-91/01433**  
**GB-A- 2 237 846 GB-A- 2 271 817**  
**US-A- 2 643 853**

EP 0 906 514 B1

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

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Rotor für eine Turbomaschine mit in Nuten anbringbaren Schaufeln, wobei die Nuten schräg zur Rotationsachse des Rotors angebracht sind, sowie eine Schaufel für einen Rotor. Ein solcher Rotor ist zum Beispiel aus der US-A-2 643 853 bekannt.

**[0002]** Bei Rotoren von Turbomaschinen können aufgrund der Rotation hohe Fliehkräfte auftreten. Bei in einem Rotor anbringbaren Schaufeln besteht zudem die Schwierigkeit, den Rotor so auszulegen, daß er zum einen eine genügende Festigkeit aufweist, zum anderen aber gewisse Abmessungsgrenzen, die von den Belastungen der Turbomaschine abhängen, nicht überschreitet. Die Schaufeln, die in Nuten anbringbar sind, müssen dazu einen geeigneten Schaufelfuß aufweisen. Je nach Konstruktionsprinzip der Verbindung zwischen Schaufelfuß und Rotor treten zwischen diesen unterschiedliche Spannungen auf. Diese verteilen sich über den Schaufelfuß unterschiedlich. Ein Einflußparameter auf die auftretenden Spannungen beim Betrieb der Turbomaschine ist beispielsweise der Einbauwinkel des Schaufelfußes in die Welle.

**[0003]** Die GB-A-2 237 846 betrifft eine Gasturbine für ein Flugzeugtriebwerk, bei der eine Reduzierung der Masse des Turbinenläufers zur Erhöhung der Sicherheit beim Betrieb bei einer maximalen Geschwindigkeit beschrieben ist. Diese Massenreduktion findet dadurch statt, daß der Schaufelfuß einer Turbinenschaufel zwei voneinander durch eine durchgehende Nut getrennte und beabstandete Teile aufweist. Diese Teile des Schaufelfußes werden durch zwei Trennwände voneinander beabstandet, welche zu einer Spreizung des Schaufelfußes führen.

**[0004]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, die im Betrieb eines Rotors auftretenden Festigkeitsprobleme zu mindern und eine dazu geeignete Kombination von Schaufelfuß und Nut anzugeben.

**[0005]** Zur Lösung dieser Aufgabe dienen ein Rotor für eine Turbomaschine mit den Merkmalen des Anspruches 1 und eine Schaufel mit den Merkmalen des Anspruches 6. Vorteilhafte Merkmale und Kombinationen ergeben sich aus den in den jeweils abhängigen Ansprüchen offenbarten Merkmalen.

**[0006]** Ein erfindungsgemäßer Rotor mit in Nuten anbringbaren Schaufeln, bei dem die Nuten schräg zu der Rotationsachse des Rotors angebracht sind, weist bei zumindest einem Teil seiner Schaufeln einen Schaufelfuß mit mindestens zwei Bereichen mit unterschiedlicher Steifigkeit auf, die an unterschiedliche Bereiche der Steifigkeit der Nut, in die der Schaufelfuß anbringbar ist, angepaßt, vorzugsweise angeglichen, sind.

**[0007]** Eine bevorzugte Ausgestaltung sieht vor, daß ein entsprechend angepaßter Bereich des Schaufelfußes und ein demgegenüber steiferer Bereich der Nut aneinander- oder gegenüberliegen. Dadurch wird erreicht, daß entsprechende Steifigkeiten von Nut und

Schaufelfuß sich so entsprechen, daß es zu einer Vergleichmäßigung der auftretenden Spannungen insgesamt kommt. Insbesondere der Kraftfluß bei der Kraftübertragung vom Schaufelfuß in die Nut ist bei entsprechender Anpassung günstig gestaltbar. Günstig ist es weiterhin, wenn im Nutbereich höchster auftretender Spannung, im allgemeinen insbesondere im Bereich der spitzen Ecken der Nut in dem Rotor, ein Bereich verminderter Steifigkeit des Schaufelfußes anliegt, so daß bei Betrieb der Turbomaschine keine Spannungen auftreten, die zur Zerstörung oder Materialermüdung über längeren Betrieb der Turbomaschine führen.

**[0008]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird anhand der Ausführungsbeispiele der folgenden 15 Zeichnungen erläutert. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich durch geeignete Kombinationen der offenbarten Markmale der Erfindung. Es zeigen:

Figur 1 einen Rotor mit erfindungsgemäß angepaßten und eingesetzten Schaufeln im Querschnitt,

Figur 2 den Rotor aus Figur 1 in einer Aufsicht ohne eingesetzte Schaufeln,

Figur 3 einen erfindungsgemäßen Schaufelfuß,

Figur 4 den in einer Läuferscheibe eingesetzten Schaufelfuß aus Figur 3,

Figur 5 einen weiteren erfindungsgemäßen eingesetzten Schaufelfuß.

**[0009]** Eine vorteilhafte und bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung wird im folgenden anhand eines Gasturbinenverdichters, welcher eine bevorzugte Turbomaschine zur Anwendung der Erfindung ist, dargestellt. Der Rotor 1 der Turbomaschine ist vorzugsweise aus axial hintereinander angeordneten, miteinander verzahnten (Hirthverzahnung), durch einen nicht dargestellten Zuganker miteinander verbundenen Läuferscheiben 1 gebildet.

**[0010]** Figur 1 zeigt einen Abschnitt einer Läuferscheibe 1 mit in Nuten 2 eingesetzten Schaufeln 3. Jede Schaufel 3 weist Bereiche mit unterschiedlicher Steifigkeit auf. Passend dazu ist im Schaufelfuß 4 eine Aussparung 5 so angebracht, daß der Nut 2, die eine ungleichmäßig große Steifigkeit über ihre Nuttiefe aufweist, eine angepaßte Steifigkeit des Schaufelfußes 4 gegenüberliegt. Da insbesondere am spitzen Eck 6 (siehe Figur 2) einer Nut 2, welches am Nutende liegt, im Betrieb des Gasturbinenverdichters erhöhte Spannungen auftreten, weist in diesem Bereich der Schaufelfuß 4 die Aussparung 5 so ausgebildet auf, daß, er an dieser Stelle leicht nachgiebig ist. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Aussparung 5 sieht diese in der Form einer Ausfräzung vor, die an der Stirnseite 8 des Schaufelfußes 4 schräg nach unten aus diesem herausläuft.

**[0011]** Figur 2 zeigt die Läuferscheibe 1 aus der Figur 1 in einer Aufsicht. Die Nuten 2 sind in einem Einbauwinkel  $\beta$  zur Rotationsachse der Läuferscheibe 1 angebracht, der auf Grund der angepaßten Schaufelfüße 4 sehr viel größer sein kann gegenüber herkömmlichen Einbauwinkeln. Dieses spielt insbesondere für Gasturbinen und deren Verdichter mit geringem Massenstrom eine besondere Rolle. Dort können größere Schaufelwinkel und damit größere Einbauwinkel  $\beta$  erforderlich sein. Dieses führt wiederum zu erhöhten lokalen Spannungen in der Nut 2, da insbesondere in den spitzen Ecken 6 durch die erhöhten Winkel reduzierte Steifigkeiten vorliegen. Die spitzen Ecken 6 sind Orte lokaler hoher Spannung. Sie sind als Enden der gestrichelt angedeuteten, in der Läuferscheibe 1 innenliegenden Nutbreite D eingezeichnet. Über die Nutlänge L gesehen, besitzt diese nicht nur in ihrer Tiefe, sondern auch in ihrer Erstreckung unterschiedliche Bereiche unterschiedlicher Spannungen, die daher unterschiedlichen Einfluß auf die Festigkeit bei eingebautem Schaufelfuß 4 und Betrieb der Turbomaschine haben.

**[0012]** Figur 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Schaufelfuß 4 mit angedeuteter Verlängerung des Schaufelblattes 7 der Schaufel 3. Dieser weist eine Aussparung 5 beginnend jeweils an beiden Stirnflächen 8 auf, die schräg nach unten aus dem Schaufelfuß 4 herauslaufen. Diese Materialverminderung im Schaufelfuß 4 führt zu einer verminderten Steifigkeit in Bereichen der Stirnflächen 8 und auch in anliegenden Bereichen des Schaufelfußes 4. Derartig angepaßte Bereiche weisen eine größere Elastizität auf, so daß auftretende Verformungen im Betrieb, insbesondere auch an den spitzen Ecken 6 günstiger aufgefangen werden.

**[0013]** Figur 4 zeigt die Schaufel 3 aus Figur 3 in eingebautem Zustand. Die Materialverminderung 5 im Schaufelfuß 4 führt dazu, daß Kraftlinien im Schaufelfuß 4 unterbrochen werden und an diesen Stellen der Schaufelfuß 4 gegenüber Belastungen, die auf Grund der wirkenden Schaufelkräfte am Schaufelblatt 7 auftreten, über den angepaßten Schaufelfuß 4 in den mittleren Bereich der Nutlänge L umgelenkt und dort über die Nut 2 aufgenommen werden.

**[0014]** Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Der eingebaute Schaufelfuß 4 weist eine Aussparung 5 in einer eher länglichen Form auf, die sich zur Mitte der Nuttiefe hin nach unten aus dem Schaufelfuß 4 herauszieht. Diese Aussparung kann nicht nur mittels Fräseung sondern auch über eine Bohrung oder ähnliche spanende Bearbeitungsweisen erzielt werden. Im Sinne der Erfindung sind aber nicht nur Aussparungen 5 als Anpassungen der Steifigkeit von Bereichen des Schaufelfußes 4 zu verstehen. Vielmehr sind alle Maßnahmen, die die Steifigkeit eines Schaufelfußes in mindestens einem Bereich ändern, anwendbar. Beispielsweise ist auch das Einsetzen oder Verarbeiten eines anderen Materials im Schaufelfuß möglich, welches diesem gegenüber eine höhere Elastizität aufweist. Insbesondere günstig ist es, daß bei Verdichtern bzw. all-

gemein Turbomaschinen, die in wechselndem Betrieb gefahren werden, eine Anpassung der Bereiche des Schaufelfußes 4 an denjenigen Betriebsbereich der Turbomaschine angelehnt ist, in dem dieser überwiegend gefahren wird.

**[0015]** Die Erfindung schafft bei diesem angeführten Beispiel je nach Größe der Aussparung und Schräge des Einbauwinkels eine Reduzierung von lokalen Spannungen von 30 % und mehr. Der Vorteil der Erfindung ist ihr geringer Kostenaufwand, ihre Effektivität sowie auch die nachträgliche Steifigkeitsanpassung von Schaufelfüßten bei schon in Betrieb genommenen Turbomaschinen. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Austauschbarkeit der Schaufeln. So können auch Schaufelfüße mit und ohne Materialverminderung in einer Läuferscheibe gemeinsam angebracht sein.

### Patentansprüche

1. Rotor (1) für eine Turbomaschine mit einer Rotationsachse (1a), insbesondere einen Turboverdichter, mit in Nuten (2) anbringbaren Schaufeln (3), wobei die Nuten (2) schräg zur Rotationsachse (1a) angebracht sind,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** zumindest ein Schaufelfuß (4) mindestens zwei Bereiche mit unterschiedlicher Steifigkeit aufweist, die an unterschiedliche Bereiche der Steifigkeit der Nut (2), in die der Schaufelfuß (4) anbringbar ist, angepaßt, vorzugsweise angeglichen, sind.
2. Rotor (1) nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** ein entsprechend angepaßter Bereich des Schaufelfußes (4) und ein demgegenüber steifer Bereich der Nut (2) aneinander- oder gegenüberliegen.
3. Rotor (1) nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** an einem Nutbereich höchster auftretender Spannung, insbesondere bei Betrieb der Turbomaschine, ein Bereich verminderter Steifigkeit des Schaufelfußes (4) anliegt.
4. Rotor (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** an einem Nutende, insbesondere an einer spitzen Ecke (6), ein Bereich verminderter Steifigkeit des eingebauten Schaufelfußes (4) anliegt.
5. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** eine Angleichung zwischen den Belastungen an der Nut (2) und den Belastungen am Schaufelfuß (4) entsprechend den Kräften ausgelegt ist, die in dem überwiegend gefahrenen Betriebsbereich der Turbomaschine herr-

- schen.
6. Schaufel (3) für einen Rotor (1) einer Turbomaschine, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** der Schaufelfuß (4) zusätzlich zu seiner an eine Nutgeometrie angepaßten Form zwei sich gegenüberliegende Stirnflächen (8) aufweist, wobei im Bereich der Stirnflächen (8) eine die Steifigkeit mindernde Materialverminderung, vorzugsweise mindestens eine Aussparung (5), vorgesehen ist.
7. Schaufel (3) nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** eine Aussparung (5), vorzugsweise eine Bohrung oder Ausfräsum, von der Stirnseite (8) des Schaufelfußes (4) in dessen Inneres verläuft.
- Claims**
1. Rotor (1) for a turbomachine having an axis (1a) of rotation, in particular a turbocompressor, having blades (3) which can be fitted into slots (2), the slots (2) being made at an angle to the axis (1a) of rotation, **characterized in that** at least one blade root (4) has at least two regions of different rigidity which are adapted, preferably matched, to different regions of the rigidity of the slot (2) into which the blade root (4) can be fitted.
2. Rotor (1) according to Claim 1, **characterized in that** a correspondingly adapted region of the blade root (4) and a more rigid region, in comparison thereto, of the slot (2) bear against one another or are located opposite one another.
3. Rotor (1) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a region of reduced rigidity of the blade root (4) bears against a slot region of maximum stress, especially during operation of the turbomachine.
4. Rotor (1) according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** a region of reduced rigidity of the installed blade root (4) bears against a slot end, especially against an acute corner (6).
5. Rotor (1) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the loads at the slot (2) and the loads at the blade root (4) are matched in accordance with the forces which prevail in the turbomachine operating range mainly used.
6. Blade (3) for a rotor (1) of a turbomachine, in particular according to one of the preceding claims, **characterized in that**, in addition to its form adapted to a slot geometry, the blade root (4) has two opposite end faces (8), a material reduction reducing the rigidity, preferably at least one recess (5), being provided in the region of the end faces (8).
- 5 7. Blade (3) according to Claim 6, **characterized in that** a recess (5), preferably a bore or a milled-out portion, runs from the end face (8) of the blade root (4) into the interior of the latter.
- 10
- Revendications**
1. Rotor (1) pour une turbomachine comportant un axe (1a) de rotation, notamment un turbocompresseur, comportant des aubes (3) pouvant être montées dans des rainures (2), les rainures (2) étant ménagées en biais par rapport à l'axe (1a) de rotation, **caractérisé en ce que** au moins une emplanture (4) d'aube comporte au moins deux régions de rigidités différentes qui sont adaptées, de préférence égalisées, à des régions différentes de la rigidité de la rainure (2) dans laquelle l'emplanture (4) d'aube peut être montée.
- 15 2. Rotor (1) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce qu'** une région adaptée en conséquence de l'emplanture (4) d'aube et une région plus rigide qu'elle de la rainure (2) sont adjacentes ou se font face.
- 20 3. Rotor (1) suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'** une région de rigidité réduite de l'emplanture (4) d'aube s'applique à une région de rainure où apparaît la plus grande tension, notamment au cours du fonctionnement de la turbomachine.
- 25 4. Rotor (1) suivant la revendication 1, 2 ou 3 **caractérisé en ce qu'** une région de rigidité réduite de l'emplanture (4) d'aube montée s'applique à une extrémité de rainure, notamment à un angle (6) aigu.
- 30 5. Rotor (1) suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'** une égalisation entre les charges sur la rainure (2) et les charges sur l'emplanture (4) d'aube est conçue en fonction des forces qui règnent dans la plage de fonctionnement dans laquelle la turbomachine est exploitée de manière prépondérante.
- 35 6. Aube (3) pour un rotor (1) d'une turbomachine, notamment suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'emplanture (4) d'aube comporte, en plus d'une forme adaptée à une géométrie de rainure, deux faces (8) frontales qui se font face, une diminution de matériau, de préférence au moins un évidement (5), diminuant la rigidité dans la région des faces (8) frontales étant prévue.
- 40
- 45
- 50
- 55

7. Aube (3) suivant la revendication 6, **caractérisée**  
**en ce qu'un** évidemment (5), de préférence un per-  
çage ou un fraisage, va de la face (8) frontale de  
l'emplanture (4) d'aube à l'intérieur de celle-ci.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

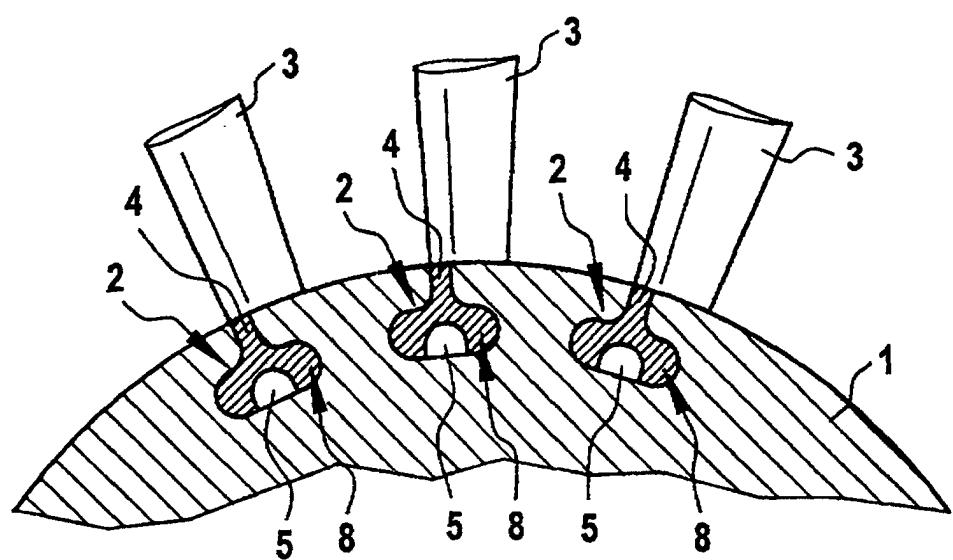


FIG 1

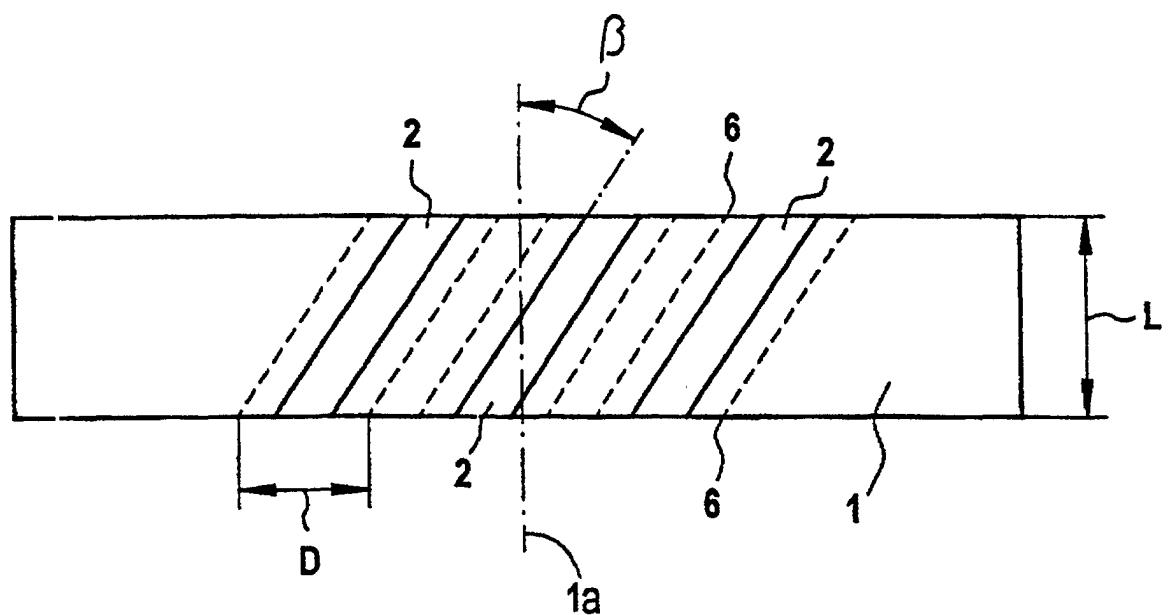


FIG 2

