

(19)



(11)

EP 1 462 614 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

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

(51) Int Cl.:
F01D 5/28 (2006.01) **F01D 5/02** (2006.01)
F01D 11/00 (2006.01) **F01D 5/30** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04101054.7**

(22) Anmeldetag: **15.03.2004**

(54) Axial durchströmte thermische Turbomaschine

Axial-flow thermal turbomachine

Turbine thermique à écoulement axial

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

- **Nazmy, Mohamed, Yousef**
5442, Fislisbach (CH)
- **Wettstein, Hans**
5442, Fislisbach (CH)

(30) Priorität: **26.03.2003 DE 10313490**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.09.2004 Patentblatt 2004/40

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 1 426 816 US-A- 2 327 839
US-A- 2 936 155 US-A- 4 432 697
US-A- 4 743 166 US-A- 5 299 353
US-A- 6 092 989

(73) Patentinhaber: **ALSTOM Technology Ltd**
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder:
 • **Gerdes, Claus, Paul**
5406, Ruetihof (CH)

EP 1 462 614 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**Technisches Gebiet**

5 **[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Kraftwerkstechnik. Sie betrifft eine axial durchströmte thermische Turbomaschine gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, welche gegenüber dem bekannten Stand der Technik ein reduziertes Rotorgewicht aufweist.

Stand der Technik

10 **[0002]** Thermische Turbomaschinen, z. B. Hochdruckverdichter für Gasturbinen oder Turbinen, bestehen im wesentlichen aus einem mit Laufschaufeln bestückten Rotor und einem Stator, in den Leitschaufeln eingehängt sind. Die Laufschaufeln und die Leitschaufeln weisen jeweils ein Schaufelblatt und einen Schaufelfuss auf. Um die Schaufeln auf dem Rotor bzw. im Stator befestigen zu können, sind im Stator und auf der Rotorwelle Nuten eingestochen. In diese Nuten werden die Füsse der Leit- und Laufschaufeln eingeschoben und dort arretiert.

15 **[0003]** Die feststehenden Leitschaufeln haben die Aufgabe, den Strom des zu verdichtenden bzw. des zu entspannenden gasförmigen Mediums so auf die rotierende Laufbeschaufelung zu lenken, dass die Energieumwandlung mit bestmöglichem Wirkungsgrad erfolgt.

20 **[0004]** Es ist bekannt, Schaufeln einstückig aus einem einzigen Material, z. B. aus rostfreiem Stahl für Gasturbinenverdichter oder aus einer Nickel-Basis-Superlegierung für Gasturbinen, herzustellen und mit diesen gleichartigen Schaufeln eine Schaufelreihe zu bestücken. Derartige Schaufeln werden nachfolgend als konventionelle Schaufeln bezeichnet.

[0005] Für bestimmte Anwendungen ist die durchschnittliche Masse einer Schaufelreihe von der Tragkapazität des Läufers begrenzt.

25 **[0006]** Daher sind Lösungen bekannt geworden, Schaufeln in Hybrid-Bauweise herzustellen. Bei der Hybrid-Bauweise werden zur Herstellung einer Schaufel verschiedene Werkstoffe mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften miteinander kombiniert, um eine optimale Auslegung einer Schaufel zu erhalten. So ist z. B. eine Hybrid-Rotorschaukel für ein Triebwerk aus DE 101 10 102 A1 bekannt, bei welcher die Hinterkante des Schaufelblattes, die nur eine aerodynamische Funktion hat, aus einem Leichtbauwerkstoff, vorzugsweise einem Faserverbundstoff, z. B. Kohlenfaser-Verbundwerkstoff, hergestellt ist. Durch eine solche (leichte) Hinterkante lässt sich vorteilhaft das Gewicht der Schaufel reduzieren. Die Verbindung der beiden Schaufelblattteile (schwere metallische Vorderkante und leichte Hinterkante aus Faserverbundwerkstoff) erfolgt durch Kleben oder Vernieten.

30 **[0007]** Eine ähnliche Lösung ist in WO 99/27234 beschrieben. Dort wird ein Rotor mit integraler Beschaufelung, insbesondere für ein Triebwerk, offenbart, an dem umfanglich Rotorschaukeln angeordnet sind, wobei die Rotorschaukel zur Verringerung von Schwingungen einen metallischen Schaufelfuss, einen metallischen Schaufelblattabschnitt, der wenigstens einen Teil der Schaufelvorderkante und des daran angrenzenden Bereichs der Schaufelfläche bildet, und ein Schaufelblatt aus faserverstärktem Kunststoff aufweisen. Auch hier erfolgt die Befestigung des Schaufelblattes aus Kunststoff an dem metallischen Schaufelblattabschnitt durch Kleben/Nieten oder durch Klemmen.

35 **[0008]** Dieser bekannte Stand der Technik hat die nachfolgend aufgeführten Nachteile. Einerseits halten die genannten Befestigungsarten über einen langen Zeitraum keinen grossen Belastungen Stand, andererseits sind die faserverstärkten Kunststoffe nur in bestimmten Temperaturbereichen einsetzbar, so dass diese bekannten technischen Lösungen insbesondere nur für die Triebwerkstechnik geeignet sind. Ausserdem wird die Charakteristik des Schaufelblattes (mechanische Eigenschaften, Oxidationsbeständigkeit, Reibungseigenschaften) gegenüber den aus einem einzigen Material bestehenden Schaufelblättern verändert, was sich nachteilig auf das Betriebsverhalten der Maschine auswirken kann.

40 **[0009]** Weiterhin ist aus EP 0 513 407 B1 eine Turbinenschaufel aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen Gamma-Titan-Aluminides bekannt, welche aus Schaufelblatt, Schaufelfuss und gegebenenfalls Schaufeldeckband besteht. Bei der Herstellung dieser Schaufel wird der Gusskörper derart partiell wärmebehandelt und warmverformt, dass das Schaufelblatt anschliessend eine grobkörnige Struktur aufweist, die zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führt, und dass der Schaufelfuss und/oder das Schaufeldeckband eine feinkörnige Struktur aufweist, die zu einer gegenüber dem Schaufelblatt erhöhten Duktilität führt. Zwar wird mit dem Einsatz dieser Schaufeln im Vergleich zu konventionellen Schaufeln vorteilhaft die Masse des Rotors abgesenkt, nachteilig an diesem Stand der Technik ist aber, dass die Schaufelspitzen aufgrund ihrer Sprödigkeit wegplatzen, wenn sie während des Betriebes mit dem Stator in Berührung kommen. Dies ist aber normalerweise nicht zu verhindern.

45 **[0010]** Aus DE 14 26 816 A1 ist eine axiale Turbomaschine mit einem Verdichter-Laufschaufelkranz, bei dem zwischen benachbarten Schaufeln Vergussfüllstücke aus Giessharz oder Aluminium bzw. Al-Legierungen angeordnet sind, bekannt. Durch das Vergiessen der Räume zwischen den Schaufelfüssen sollen der Umfangsabstand genau eingehalten sowie Werkstoffe und Fertigungszeiten eingespart werden.

50 **[0011]** Im Dokument US-A-2 936 155 wird eine axial durchströmte thermische Turbomaschine, insbesondere Kompressor, beschrieben, bei der in einer Umfangsnut abwechselnd Laufschaufeln und Zwischenstücke, welche vorzugs-

weise aus Gummi bestehen, montiert sind. Damit sollen Schaufelvibrationen der Schaufeln gedämpft werden. Hohen Temperaturen halten aber diese Gummizwischenstücke nicht stand.

[0012] Ähnliches gilt für die in US-A-4 743 166 beschriebenen Turbomaschinen, bei denen zur Verhinderung von Leckageluft unter der Schaufelplattform und zwischen den Schaufelfüssen Dichtelemente aus Kunststoff angeordnet sind.

[0013] Schliesslich sind aus US-A-2 327 839 Dampf- und Gasturbinen bekannt, bei denen der Rotor aus einem niedriglegiertem Baustahl besteht, die Schaufeln aus hochlegierten austenistischen Stählen und die Zwischenstücke aus hochlegierten Cr- oder Ni-Stählen, um unterschiedliche Längenausdehnungen und damit permanente Deformationen und ein Lockern der Schaufeln zu verhindern.

Darstellung der Erfindung

[0014] Ziel der Erfindung ist es, die genannten Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden. Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine thermische Turbomaschine zu entwickeln, bei welcher aufgrund eines reduzierten Gewichtes die Lebensdauer des Rotors erhöht wird.

[0015] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe bei einer thermische Turbomaschine gemäss Oberbegriff des Patentspruches 1 dadurch gelöst, dass die Zwischenstücke zwischen den Laufschaufeln einer Schaufelreihe aus intermetallischen Verbindungen bestehen.

[0016] Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass dadurch einerseits das Gewicht des Rotors reduziert wird, und andererseits die Sprödigkeit der intermetallischen Zwischenstücke kein erhöhtes Risiko für den Betrieb der Maschine bedeutet.

[0017] Es ist vorteilhaft, wenn die Zwischenstücke aus einer intermetallischen γ -TiAl-Verbindung oder einer intermetallischen orthorhombischen TiAl-Verbindung bestehen, weil dieser erfindungsgemässe Werkstoffeinsatz zu einer beachtlichen Gewichtsreduktion des Rotors führt. Die spezifische Dichte der intermetallischen Titan-Aluminid-Verbindungen beträgt nur ca. 50 % der Dichte von rostfreiem Cr-Ni-W-Stahl.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die einzige Figur zeigt einen Querschnitt durch den erfindungsgemässen Rotor eines Hochdruckverdichters für eine Gasturbine.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0019] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figur 1 näher erläutert.

[0020] Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Laufschaufelreihe eines Rotors 1 für einen Hochdruckverdichter einer Gasturbine. Der Rotor 1 ist von einem Stator 2 umgeben. In den Rotor 1 sind in einer sich darin befindenden Umfangsnut Laufschaufeln 3, 3' montiert, während im Stator 2 Leitschaufeln 5 eingehängt sind. Die Schaufeln 3, 3', 5 werden beispielsweise bei einem Druck von ca. 32 bar mehreren Tausend Stunden lang einer Temperatur von ca. 600 °C ausgesetzt. Sie bestehen aus einem rostfreien Cr-Ni-W-Stahl mit folgender chemischer Zusammensetzung (in Gew.-%): 0.12 C, < 0.8 Si, < 1.0 Mn, 17 Cr, 14.5 Ni, < 0.5 Mo, 3.3 W, < 1 Ti, < 0.045 P, < 0.03 S, Rest Fe. Die Welle des Rotors 1 besteht ebenfalls aus Stahl. Die Dichte von Stahl beträgt ca. 7,9 g/cm³.

[0021] Zwischen zwei benachbarten Laufschaufeln 3 und 3' sind in einer Schaufelreihe des Rotors 1 jeweils Zwischenstücke 4 in die Umfangsnut des Rotors 1 montiert. Erfindungsgemäss sind diese Zwischenstücke 4 aus einer intermetallischen Verbindung, hier aus einer γ -Titan-Aluminid-Verbindung hergestellt.

[0022] Diese für die Herstellung der Zwischenstücke 4 verwendete intermetallische Verbindung hat folgende chemische Zusammensetzung (in Gew.-%): Ti-(30.5-31.5)Al-(8.9-9.5)W-(0.3-0.4)Si.

[0023] Intermetallische Verbindungen des Titans mit dem Aluminium haben einige interessante Eigenschaften, welche sie als Konstruktionswerkstoffe im mittleren und höheren Temperaturbereich als attraktiv erscheinen lassen. Dazu gehört ihre gegenüber Superlegierungen und gegenüber rostfreien Stählen niedrigere Dichte. Ihrer technischen Verwertbarkeit steht aber in der vorliegenden Form oft ihre Sprödigkeit entgegen.

[0024] Die oben beschriebene intermetallische γ -Titan-Aluminid-Verbindung zeichnet sich durch eine etwa um 50 % geringere Dichte aus als der bei diesem Ausführungsbeispiel für den Rotor und die Schaufeln benutzte Stahl. Weiterhin weist sie einen E-Modul bei Raumtemperatur von 171 GPa und eine Wärmeleitfähigkeit λ von 24 W/mK.

[0025] In Tabelle 1 sind weitere physikalischen Eigenschaften der beiden Legierungen gegenübergestellt.

EP 1 462 614 B1

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe

| | Dichte in g/cm ³ | Wärmeausdehnungskoeffizient in K ⁻¹ |
|-------------------|-----------------------------|--|
| 5 γ -Ti-Al | 4 | 10 x 10 ⁻⁶ |
| Rostfreier Stahl | 7.9 | 18.6 x 10 ⁻⁶ |

10 [0026] Da die rotierenden Bauteile des Hochdruckverdichters einer Gasturbinenanlage bei Temperaturen bis zu ca. 600 °C stark beansprucht werden, wirkt sich die Gewichtsreduktion des erfindungsgemässen Rotors vorteilhaft auf eine Erhöhung der Lebensdauer der Maschine aus.

[0027] Die Herstellung der intermetallischen Zwischenstücke erfolgt in bekannter Weise durch Giessen, heiss-isostatisches Pressen und Wärmebehandlung mit einer minimalen maschinellen Nachbearbeitung.

[0028] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt.

15 [0029] Das Zwischenstück 4 des Hochdruckverdichters kann beispielsweise auch aus einer bekannten intermetallischen orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung mit einer Dichte von 4.55 g/cm³ hergestellt sein. Orthorhombische Titan-Aluminid-Legierungen basieren auf der geordneten Verbindung Ti₂AlNb und haben folgende chemische Zusammensetzung: Ti-(22-27)Al-(21-27)Nb. Auch die erfindungsgemässe Verwendung einer Titan-Hochtemperaturlegierung, welche beispielsweise folgende chemische Zusammensetzung hat (Angaben in Gew.-%): 0.06 C, 0.4 Si, 5.8 Al, 4 Sn, 4 Zr, 0.5 Mo, < 0.05 Fe, 0.11 O, < 0.03 N, < 0.006 H, Rest Ti, ist denkbar.

20 [0030] Weiterhin ist es möglich, die Erfindung nicht nur für Hochdruckverdichterrotoren einzusetzen, sondern auch für Turbinenrotoren mit Turbinenschaufeln aus einer Superlegierung, beispielsweise einer Nickel-Basis-Superlegierung, bei denen die Zwischenstücke zwischen den Laufschaufeln beispielsweise aus einer intermetallischen γ -Titan-Aluminid-Legierung oder einer intermetallischen orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung bestehen. Auch damit lassen sich vorteilhaft Gewichtsreduktionen und eine Erhöhung die Lebensdauer der Maschine erreichen.

25 [0031] Für den beschriebenen erfindungsgemässen Einsatz der intermetallischen Ti-Al-Legierungen spielt ihre Sprödigkeit keine nachteilige Rolle, da sie als Zwischenstücke keinem Schleifkontakt bzw. keinem Reibverschleiss ausgesetzt sind.

30 Bezugszeichenliste

[0032]

- 1 Rotor
- 2 Stator
- 35 3, 3' Laufschaufel
- 4 Zwischenstück
- 5 Leitschaufel
- D₁ Dichte des Rotormaterials
- D₂ Dichte des Zwischenstückes

40 Patentansprüche

- 45 1. Axial durchströmte thermische Turbomaschine mit einem Rotor (1) aus einem metallischen Material mit einer ersten Dichte (D₁), bei welchem in einer Umfangsnut abwechselnd Laufschaufeln (3, 3') und Zwischenstücke (4) montiert sind, wobei die besagten Zwischenstücke (4) aus einem Material mit einer zweiten Dichte (D₂), welche geringer ist als die erste Dichte (D₁), bestehen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material mit der zweiten Dichte (D₂) eine intermetallische Verbindung ist.
- 50 2. Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die intermetallische Verbindung eine γ -Titan-Aluminid-Legierung oder eine orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung ist.
3. Turbomaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die γ -Titan-Aluminid-Legierung folgende chemische Zusammensetzung (Angaben in Gew.-%) aufweist: Ti-(30.5-31.5)Al-(8.9-9.5)W-(0.3-0.4)Si.
- 55 4. Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbomaschine ein Hochdruckverdichter einer Gasturbine ist mit einem Rotor (1), welcher im wesentlichen aus einem rostfreien Cr-Ni-Stahl besteht.

Claims

- 5 1. Axial-flow thermal turbomachine, having a rotor (1) made of a metallic material with a first density (D_1), in which rotor blades (3, 3') and intermediate pieces (4) are mounted alternately in a circumferential groove, wherein said intermediate pieces (4) consist of a material with a second density (D_2), which is lower than the first density (D_1) **characterized in that** the material having the second density (D_2) is an intermetallic compound.
- 10 2. Turbomachine according to Claim 1, **characterized in that** the intermetallic compound is a γ -titanium aluminide alloy or an orthorhombic titanium aluminide alloy.
- 15 3. Turbomachine according to Claim 2, **characterized in that** the γ -titanium aluminide alloy has the following chemical composition (details in % by weight): Ti-(30.5-31.5)Al-(8.9-9.5)W-(0.3-0.4)Si.
4. Turbomachine according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the turbomachine is a high-pressure compressor of a gas turbine having a rotor (1) which substantially comprises a stainless Cr-Ni steel.

Revendications

- 20 1. Turbomachine thermique à écoulement axial comprenant un rotor (1) en matériau métallique ayant une première densité (D_1), des aubes mobiles (3, 3') et des pièces intermédiaires (4) étant montées en alternance dans une rainure périphérique, lesdites pièces intermédiaires (4) se composant d'un matériau ayant une deuxième densité (D_2) inférieure à la première densité (D_1), **caractérisée en ce que** le matériau de deuxième densité (D_2) est un composé intermétallique.
- 25 2. Turbomachine selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le composé intermétallique est un alliage de γ -titane-aluminiure ou un alliage orthorhombique de titane/aluminiure.
- 30 3. Turbomachine selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** l'alliage de γ -titane-aluminiure présente la composition chimique suivante (indications en pourcentages en poids) : Ti-(30,5-31,5)Al-(8,9-9,5)W-(0,3-0,4)Si.
- 35 4. Turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** la turbomachine est un compresseur haute pression d'une turbine à gaz avec un rotor (1) qui se compose essentiellement d'un acier inoxydable Cr-Ni.
- 40
- 45
- 50
- 55

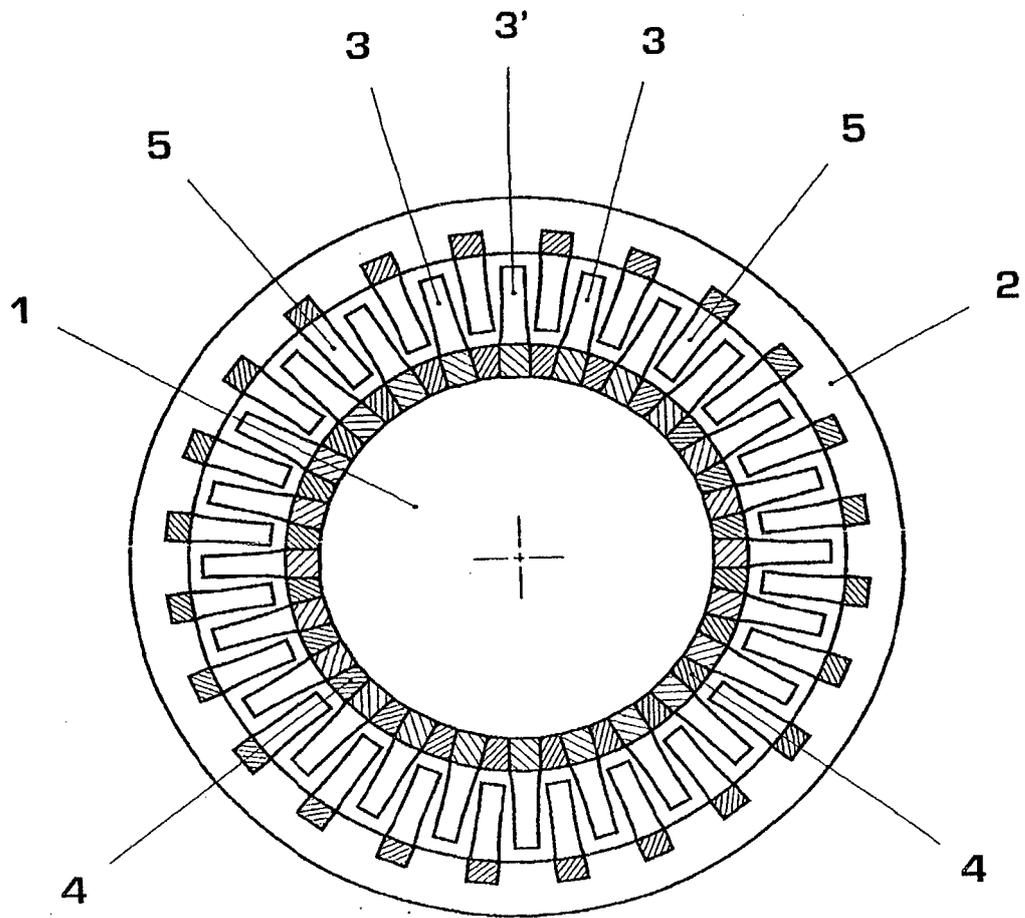


Fig. 1

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 10110102 A1 [0006]
- WO 9927234 A [0007]
- EP 0513407 B1 [0009]
- DE 1426816 A1 [0010]
- US 2936155 A [0011]
- US 4743166 A [0012]
- US 2327839 A [0013]