



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 462 614 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.09.2004 Patentblatt 2004/40

(51) Int Cl.7: **F01D 5/30**

(21) Anmeldenummer: **04101054.7**

(22) Anmeldetag: **15.03.2004**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(72) Erfinder:
• **Gerd, Claus, Paul**
5406, Ruetihof (CH)
• **Nazmy, Mohamed, Yousef**
5442, Fislisbach (CH)
• **Wettstein, Hans**
5442, Fislisbach (CH)

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

(71) Anmelder: **Alstom Technology Ltd**
5400 Baden (CH)

(54) Axial durchströmte thermische Turbomaschine

(57) Die Erfindung betrifft eine axial durchströmte thermische Turbomaschine mit einem Rotor (1) aus einem metallischen Material mit einer ersten Dichte (D_1), bei welchem in einer Umfangsnut abwechselnd Laufschaufeln (3, 3') und Zwischenstücke (4) montiert sind. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass die besagten Zwischenstücke (4) aus einem Material mit einer zweiten Dichte (D_2) bestehen, welche geringer ist als die erste Dichte (D_1). Als Material für die Zwischenstücke (4) sind vor allem intermetallische Verbindungen, vorzugsweise intermetallische γ -Titan-Aluminid-Legierungen oder intermetallische orthorhombische Titan-Aluminid-Legierungen, geeignet, aber auch Titanlegierungen.

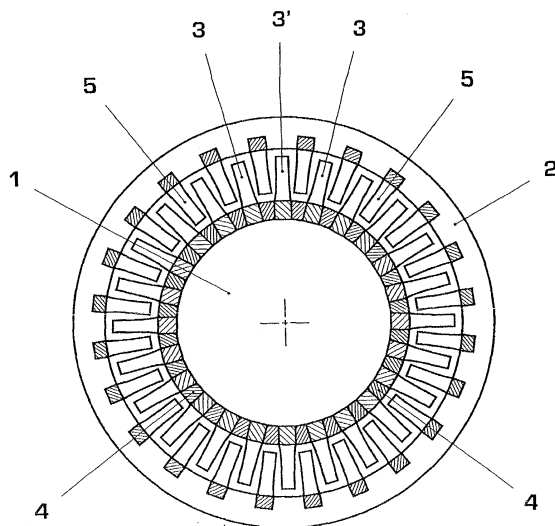


Fig. 1

EP 1 462 614 A2

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
15 diese Nuten werden die Füsse der Leit- und Laufschaufeln eingeschoben und dort arretiert.

[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.
30 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.

[0007] Eine ähnliche Lösung ist in WO 99/27234 beschrieben. Dort wird ein Rotor mit integraler Beschaufelung, insbesondere für ein Triebwerk, offenbart, an dem umfänglich Rotorschaukeln angeordnet sind, wobei die Rotorschaukel zur Verringerung von Schwingungen einen metallischen Schaufelfuss, einen metallischen Schaufelblattabschnitt, der
35 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.

[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.
45

[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.
50
55

Darstellung der Erfindung

[0010] 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.

[0011] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe bei einer thermische Turbomaschine gemäss Oberbegriff des Patentsanspruches 1 dadurch gelöst, dass die Zwischenstücke zwischen den Laufschaufeln einer Schaufelreihe aus einem Material bestehen, welches eine geringere Dichte aufweist als die Dichte des Rotormaterials. Vorzugsweise kommen dafür intermetallische Verbindungen oder Titanlegierungen in Frage.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] Es kann auch zweckmässig sein, als Material für die genannten Zwischenstücke eine Titanlegierung anstelle der intermetallischen Titan-Aluminid-Verbindung zu verwenden. Auf Grund der etwas höheren Dichte ist dann die Gewichtsreduktion des Rotors gegenüber konventionellen Rotoren etwas geringer.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] 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

[0016] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figur 1 näher erläutert.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] In Tabelle 1 sind weitere physikalischen Eigenschaften der beiden Legierungen gegenübergestellt.

Tabelle 1:

Physikalische Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe		
	Dichte in g/cm ³	Wärmeausdehnungskoeffizient in K ⁻¹
γ -Ti-Al	4	10 x 10 ⁻⁶
Rostfreier Stahl	7.9	18.6 x 10 ⁻⁶

[0023] 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.

[0024] Die Herstellung der intermetallischen Zwischenstücke erfolgt in bekannter Weise durch Giessen, heiss-iso-

statisches Pressen und Wärmebehandlung mit einer minimalen maschinellen Nachbearbeitung.

[0025] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt.

[0026] Das Zwischenstück 4 des Hochdruckverdichters kann beispielsweise auch aus einer bekannten intermetallischen orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung mit einer Dichte von 4.55 g/cm^3 hergestellt sein. Orthorhombische Titan-Aluminid-Legierungen basieren auf der geordneten Verbindung Ti_2AlNb 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.

[0027] 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 der Lebensdauer der Maschine erreichen.

[0028] 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.

Bezugszeichenliste

[0029]

- 1 Rotor
- 2 Stator
- 3, 3' Laufschaufel
- 4 Zwischenstück
- 5 Leitschaufel
- D_1 Dichte des Rotormaterials
- D_2 Dichte des Zwischenstückes

Patentansprüche

1. Axial durchströmte thermische Turbomaschine mit einem Rotor (1) aus einem metallischen Material mit einer ersten Dichte (D_1), bei welchem in einer Umfangsnut abwechselnd Laufschaufeln (3, 3') und Zwischenstücke (4) montiert sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die besagten Zwischenstücke (4) aus einem Material mit einer zweiten Dichte (D_2), welche geringer ist als die erste Dichte (D_1), bestehen.
2. Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material mit der zweiten Dichte (D_2) eine intermetallische Verbindung ist.
3. Turbomaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die intermetallische Verbindung eine γ -Titan-Aluminid-Legierung oder eine orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung ist.
4. Turbomaschine nach Anspruch 3, **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.
5. Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material mit der zweiten Dichte (D_2) eine Titanlegierung ist.
6. Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbomaschine ein Hochdruckverdichter einer Gasturbine ist mit einem Rotor (1), welcher im wesentlichen aus einem rostfreien Cr-Ni-Stahl besteht.

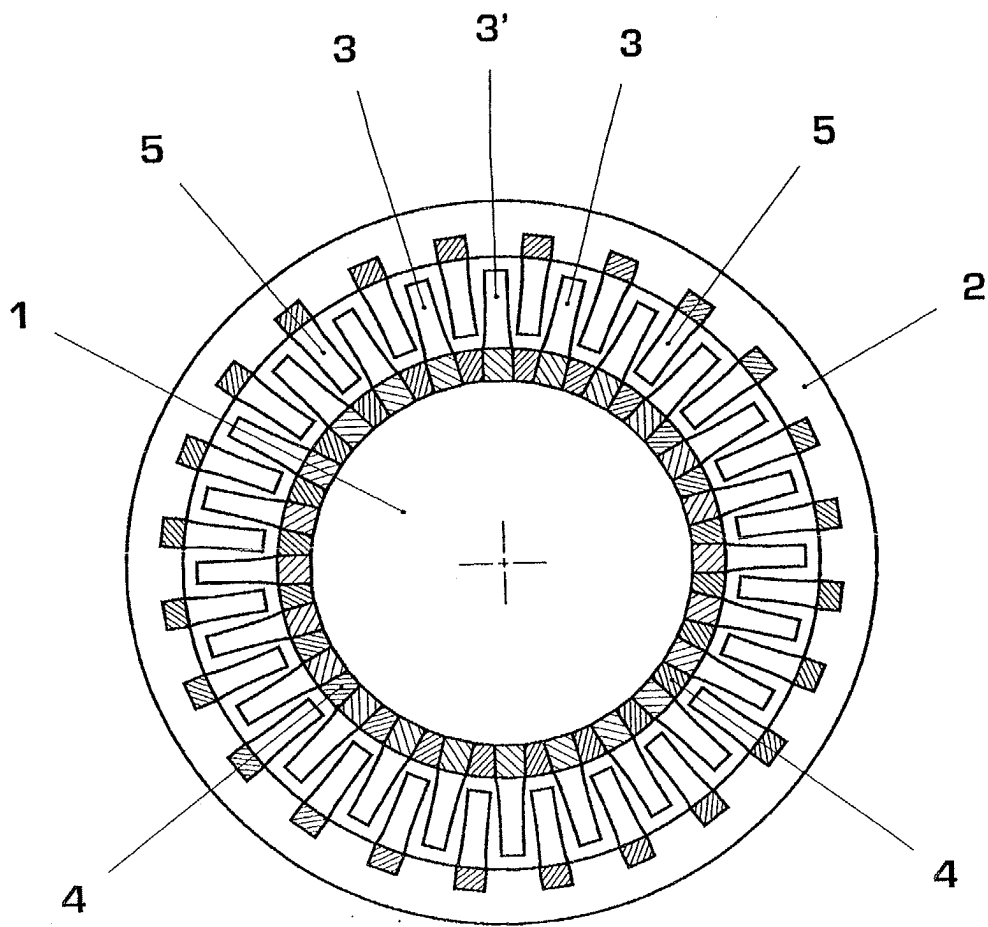


Fig. 1