



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 13 489 A1** 2004.10.14

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 13 489.1**

(22) Anmeldetag: **26.03.2003**

(43) Offenlegungstag: **14.10.2004**

(51) Int Cl.7: **F01D 5/28**
F01D 5/20, F01D 5/14

(71) Anmelder:
ALSTOM Technology Ltd, Baden, CH

(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München

(72) Erfinder:
Wettstein, Hans, Dr., Fislisbach, CH; Nazmy, Mohamed, Dr., Fislisbach, CH; Gerdes, Claus Paul, Dr., Rütihof, CH

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 4 69 002 C

DE 44 39 726 A1

DE 43 24 960 A1

US 29 48 506

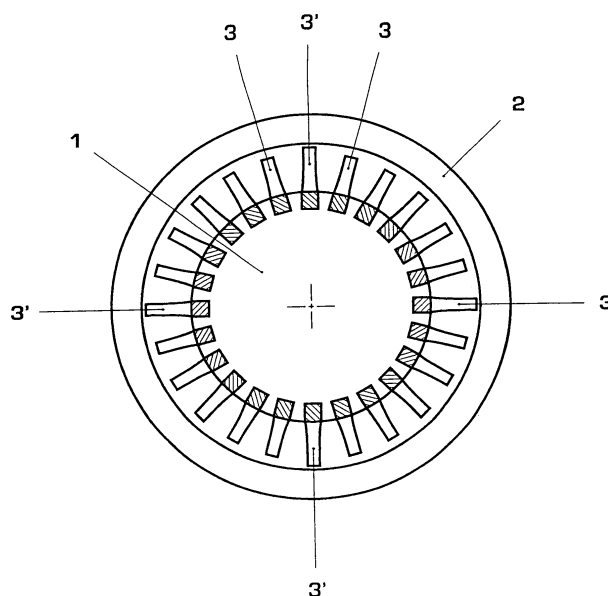
JP 59-1 50 903 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Axial durchströmte thermische Turbomaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine axial durchströmte thermische Turbomaschine mit einem metallischen Rotor (1), bei welchem in einer Umfangsnut Laufschaufeln (3) aus einer intermetallischen Verbindung zu einer Schaufelreihe montiert sind. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei gleichmäßig voneinander beabstandete Laufschaufeln (3') aus einem duktileren Material in der besagten Schaufelreihe zwischen den intermetallischen Laufschaufeln (3) angeordnet sind, wobei die Laufschaufeln (3') aus dem duktileren Material entweder deutlich länger sind als die intermetallischen Laufschaufeln (3) oder bei gleicher Länge eine andere Schaufelspitzenform als die intermetallischen Laufschaufeln (3) aufweisen.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[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

[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.

[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.

[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.

Stand der Technik

[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.

[0007] Eine ähnliche Lösung ist in WO 99/27234 beschrieben. Dort wird ein Rotor mit integraler Beschaukelung, 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 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.

[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 wär-

mebehandelt 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.

[0010] Zwar wird mit dem Einsatz dieser aus Gamma-Titan-Aluminid bestehenden 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. Diese Reibung ist normalerweise nicht zu verhindern.

[0011] Erfahrungen mit Stahlschaufeln in Hochdruckverdichtern haben gezeigt, dass selbst mit sogenannten Abschleifschichten am Stator die Schaufelspitzen der Laufschaufeln während des Betriebes des Verdichters abgeschliffen werden können. Dies ist verbunden mit einer beträchtlichen Reibungskraft, die zu einem Schaufelsprödbbruch führt, wenn die Schaufel nicht duktil ist.

Aufgabenstellung

[0012] 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, welche sich einerseits durch ein reduziertes Gesamtgewicht des Rotors auszeichnet, und bei der andererseits ein Schaufelsprödbbruch verhindert wird, so dass die Lebensdauer der Maschine erhöht wird.

[0013] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe bei einer thermische Turbomaschine gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1 dadurch gelöst, dass mindestens zwei gleichmässig beabstandete Schaufeln aus einem duktileren Material in einer Schaufelreihe zwischen den intermetallischen Schaufeln angeordnet sind, wobei die Schaufeln aus dem duktileren Material entweder deutlich länger sind als die intermetallischen Schaufeln oder bei gleicher Länge eine andere Schaufelspitzenform als die intermetallischen Schaufeln aufweisen.

[0014] Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass durch den Einsatz der Schaufeln aus intermetallischen Verbindungen einerseits das Gewicht des Rotors reduziert wird, was zu einer Erhöhung der Lebensdauer der Rotor/Schaufelverbindung führt und andererseits die Sprödigkeit der intermetallischen Schaufeln kein erhöhtes Risiko für den Betrieb der Maschine bedeutet, da die in der gleichen Schaufelreihe angeordneten Schaufeln aus dem duktileren Material die Reibungs-/Verschleisskräfte aufnehmen.

[0015] Es ist zweckmässig, wenn zusätzlich zwischen den Laufschaufeln einer Schaufelreihe Zwischenstücke aus einem leichteren Material als das Rotormaterial, vorzugsweise einer intermetallischen Verbindung oder einer Titanlegierung, im Rotor angeordnet sind. Auf diese Weise wird das Gewicht des Rotors zusätzlich reduziert.

[0016] Vorteilhaft ist es weiterhin, wenn die intermetallischen Schaufeln und 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 z. B. nur ca. 50 % der Dichte von rostfreiem Cr-Ni-W-Stahl.

[0017] Schliesslich ist es von Vorteil, wenn die Schaufelspitzen mit einer harten Phase beschichtet werden oder mittels Laser-Schweissung eine Verschleisschutzschicht aufgebracht wird, um das Abschleifen der Schaufelspitzen zu verhindern bzw. die Reibungskraft zu verringern.

Ausführungsbeispiel

[0018] In der Zeichnung sind mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

[0019] Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Laufschaufelreihe eines schematisch dargestellten erfindungsgemässen Hochdruckverdichters in einer ersten Ausführungsvariante;

[0020] Fig. 2 ein Detail einer zweiten Ausführungsvariante der Erfindung, bei welcher zwischen den Laufschaufeln Zwischenstücke aus intermetallischen Verbindungen im Rotor angeordnet sind und

[0021] Fig. 3 eine TiAl-Schaufel mit einer beschichteten Schaufelspitze als dritte Ausführungsvariante der Erfindung.

[0022] In den Figuren sind jeweils gleiche Positionen mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0023] Nachfolgend wird die Erfindung von Ausführungsbeispielen und der **Fig. 1** bis **3** näher erläutert.

[0024] **Fig. 1** zeigt einen Querschnitt durch eine schematisch dargestellte 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** hier nicht dargestellte Leitschaufeln eingehängt sind. Die Schaufeln **3**, **3'** werden beispielsweise bei einem Druck von ca. 32 bar mehreren Tausend Stunden lang einer Temperatur von ca. 600 °C ausgesetzt.

[0025] Erfindungsgemäss ist die dargestellte Schaufelreihe mit zwei verschiedenen Arten von Laufschaufeln **3**, **3'** bestückt. Zwecks Gewichtsreduktion ist die Mehrzahl der Laufschaufeln, nämlich die Laufschaufeln **3**, aus einer intermetallischen Verbindung, vorzugsweise einer γ -Titan-Aluminid-Verbindung hergestellt. Die Laufschaufeln **3'** sind dagegen aus einem duktileren Material, beispielsweise einem rostfreien Cr-Ni-Stahl, als das Material für die Laufschaufeln **3** hergestellt. Mindestens zwei gleichmässig beabstandete derartige duktilere Schaufeln **3** (Gemäss **Fig. 1** sind dies im vorliegenden Ausführungsbeispiel vier Stück) sind in der Schaufelreihe aus den intermetallischen Schaufeln **3** angeordnet. Die Schaufeln **3'** aus dem duktileren Material sind in diesem Ausführungsbeispiel deutlich länger sind als die intermetallischen Schaufeln **3**, d. h. bei ungewollter Berührung der Schaufeln mit dem Stator während des Betriebes können diese duktileren Schaufeln die Reibungskräfte aufnehmen, ohne dass es zu einem Sprödbruch kommt. In einer anderen Ausführungsvariante können zur Erreichung desselben Effektes beide Schaufelarten **3**, **3'** auch die gleiche Länge, dafür aber unterschiedliche Formen der Schaufelspitze **5** aufweisen, z. B. haben die duktileren Schaufeln **3'** vorteilhaft abgestumpfte Schaufelspitzen **5**.

[0026] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel bestehen die Laufschaufeln **3'** aus einem rostfreien 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. Bekanntermassen ist die Dichte von Stahl ca. 7,9 g/cm³. Die intermetallische Verbindung, aus der die Laufschaufeln **3** hergestellt sind, hat folgende chemische Zusammensetzung (in Gew.-%): Ti-(30.5-31.5)Al-(8.9-9.5)W-(0.3-0.4)Si. Die Dichte dieser Legierung beträgt vorteilhaft nur 4 g/cm³, so dass der erfindungsgemässe Rotor **1** gegenüber einem Rotor mit ausschliesslich konventionellen Stahlschaufeln wesentlich leichter ist.

[0027] **Fig. 2** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Detaildarstellung. Das Gewicht des Rotors **1** kann zusätzlich reduziert werden, wenn – wie in **Fig. 2** dargestellt – zwischen zwei benachbarten Laufschaufeln einer Schaufelreihe des Rotors **1** jeweils Zwischenstücke **4** aus einer intermetallischen Verbindung, hier aus einer γ -Titan-Aluminid-Verbindung, in die Umfangsnut des Rotors **1** montiert sind.

[0028] Die für die Herstellung der Zwischenstücke **4** verwendete intermetallische Verbindung hat die gleiche chemische Zusammensetzung wie die für die Schaufeln **3** eingesetzte und oben beschriebene Verbindung.

[0029] 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.

[0030] 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 **1** und die Schaufeln **3'** eingesetzte Stahl. Weiterhin weist sie einen E-Modul bei Raumtemperatur von 171 GPa und eine Wärmeleitfähigkeit λ von 24 W/mK auf.

[0031] In Tabelle 1 sind die physikalischen Eigenschaften der beiden Legierungen gegenübergestellt.

	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

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe

[0032] 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 **1** vorteilhaft auf eine Erhöhung der Lebensdauer der Maschine aus. Es werden die Spannungen in der Schaufelfussfixierung im Rotor **1** abgebaut.

[0033] Die Herstellung der intermetallischen Schaufeln **3** und der Zwischenstücke **4** erfolgt in bekannter Weise durch Giessen, heiss-isostatisches Pressen und Wärmebehandlung mit einer minimalen maschinellen Nachbearbeitung.

[0034] In Fig. 3 ist eine weitere bevorzugte Ausführungsvariante dargestellt. Es wird eine Laufschaufel **3** gezeigt, deren Schaufelspitze **5** beschichtet ist. Die Beschichtung der Schaufelspitze kann mit einer harten Phase erfolgen oder es kann mittels Laser-Schweissung eine Verschleisschutzschicht aufgebracht werden. In beiden Fällen wird das Abschleifen der Schaufelspitzen verhindert bzw. die Reibungskraft verringert.

[0035] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

[0036] Beispielsweise kann als Material für die intermetallischen Schaufeln **3** bzw. die Zwischenstücke **4** auch eine orthorhombischen Titan-Aluminid-Legierung mit einer Dichte von 4.55 g/cm³ verwendet werden. Orthorhombische Titan-Aluminid-Legierungen basieren auf der geordneten Verbindung Ti₂AlNb und haben folgende chemische Zusammensetzung in (Gew. %): Ti-(22-27)Al-(21-27)Nb.

[0037] Die Zwischenstücke **4** können auch aus einer preiswerteren Titanlegierung anstelle einer intermetallischen γ-Titan-Aluminid-Verbindung hergestellt sein, wobei dann in diesem Falle die Gewichtsreduktion nicht ganz so stark ausfällt.

[0038] Weiterhin ist denkbar, dass die Erfindung nicht nur für Hochdruckverdichterrotoren eingesetzt wird, sondern auch für Turbinenrotoren mit Turbinenschaufeln aus bekanntem Turbinenstahl, warmfestem Stahl oder aus einer Superlegierung, beispielsweise einer Nickel-Basis-Superlegierung, bei denen die Zwischenstücke zwischen den Laufschaufeln 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.

[0039] Für den beschriebenen erfindungsgemässen Einsatz der intermetallischen Ti-Al-Legierungen spielt ihre Sprödigkeit keine nachteilige Rolle, da sie beim Einsatz als Zwischenstücke keinem Schleifkontakt bzw. keinem Reibverschleiss ausgesetzt sind und beim Einsatz als Schaufel die entsprechenden duktileren Schaufeln die Reibungs-/Verschleisskräfte aufnehmen.

Bezugszeichenliste

- 1** Rotor
- 2** Stator
- 3, 3'** Laufschaufel
- 4** Zwischenstück
- 5** Schaufelspitze

Patentansprüche

1. Axial durchströmte thermische Turbomaschine mit einem metallischen Rotor (**1**), bei welchem in einer Umfangsnut Laufschaufeln (**3**) aus einer intermetallischen Verbindung zu einer Schaufelreihe montiert sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei gleichmässig voneinander beabstandete Laufschaufeln (**3'**) aus einem duktileren Material in der besagten Schaufelreihe zwischen den intermetallischen Laufschaufeln (**3**)

angeordnet sind, wobei die Laufschaufeln (3') aus dem duktileren Material entweder deutlich länger sind als die intermetallischen Schaufeln (3) oder bei gleicher Länge eine andere Schaufelspitzenform als die intermetallischen Schaufeln (3) aufweisen.

2. Turbomaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zwischen benachbarten Laufschaufeln (3, 3') einer Schaufelreihe Zwischenstücke (4) aus einem leichteren Material als das Material des Rotors (1), vorzugsweise aus einer intermetallischen Verbindung oder einer Titanlegierung, angeordnet sind.

3. Turbomaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die intermetallische Verbindung für die Laufschaufeln (3) und die Zwischenstücke (4) 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 (in Gew.-%) aufweist: Ti-(30.5-31.5)Al-(8.9-9.5)W-(0.3-0.4)Si.

5. Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufelspitzen (5) der Laufschaufeln (3) mit einer harten Phase beschichtbar sind.

6. Turbomaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mittels Laser-Schweissung eine Verschleisschutzschicht auf die Schaufelspitzen aufbringbar ist.

7. Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbomaschine ein Hochdruckverdichter einer Gasturbine mit einem Rotor (1) ist, welcher im wesentlichen aus einem rostfreien Cr-Ni-Stahl besteht.

8. Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die im Vergleich zu den intermetallischen Laufschaufeln (3) duktileren Laufschaufeln (3') aus einem rostfreien Cr-Ni-Stahl oder einem warmfesten Turbinenschaufelstahl oder einer Superlegierung bestehen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

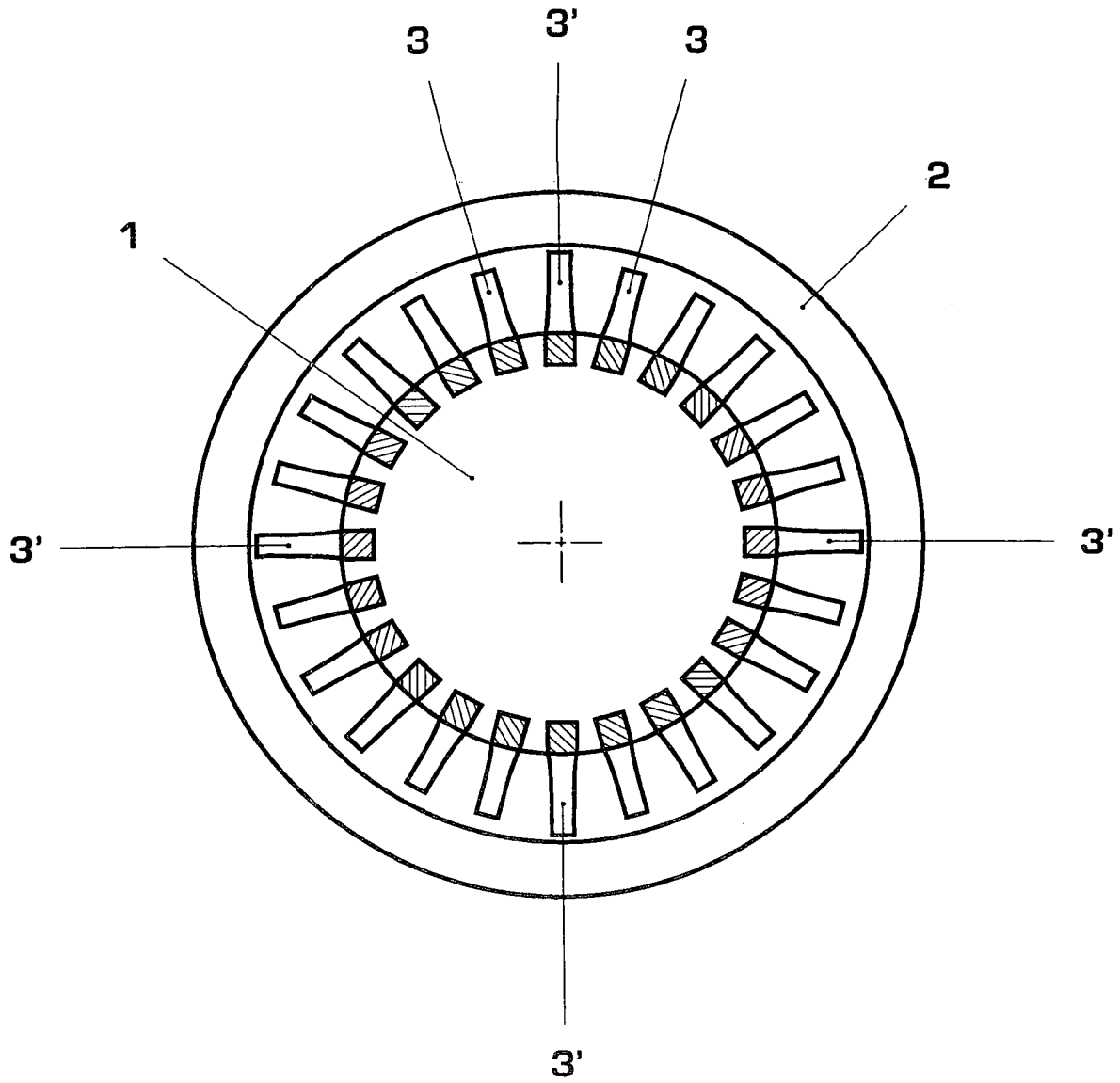


Fig. 1

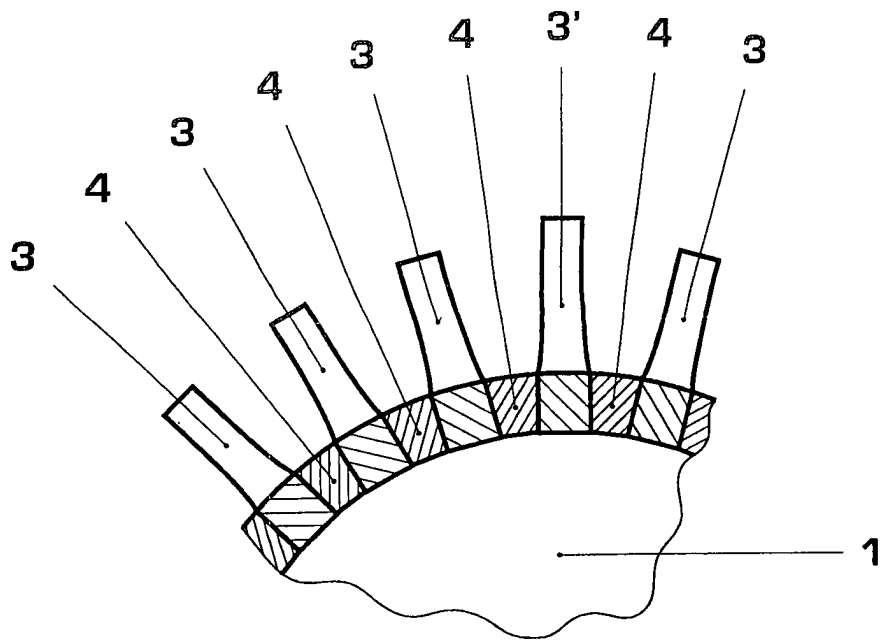


Fig. 2

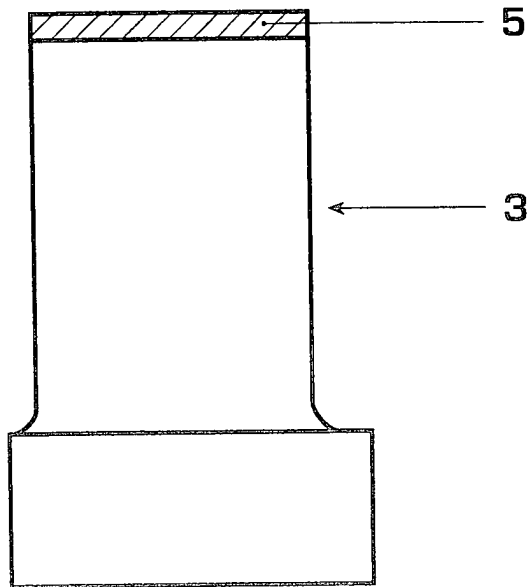


Fig. 3