



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.05.1996 Patentblatt 1996/22

(51) Int Cl.⁶: **F04D 29/16**, F01D 11/00

(21) Anmeldenummer: **95810704.7**

(22) Anmeldetag: 09.11.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: 26.11.1994 DE 4442157

(71) Anmelder: **ABB Management AG**
CH-5401 Baden (CH)

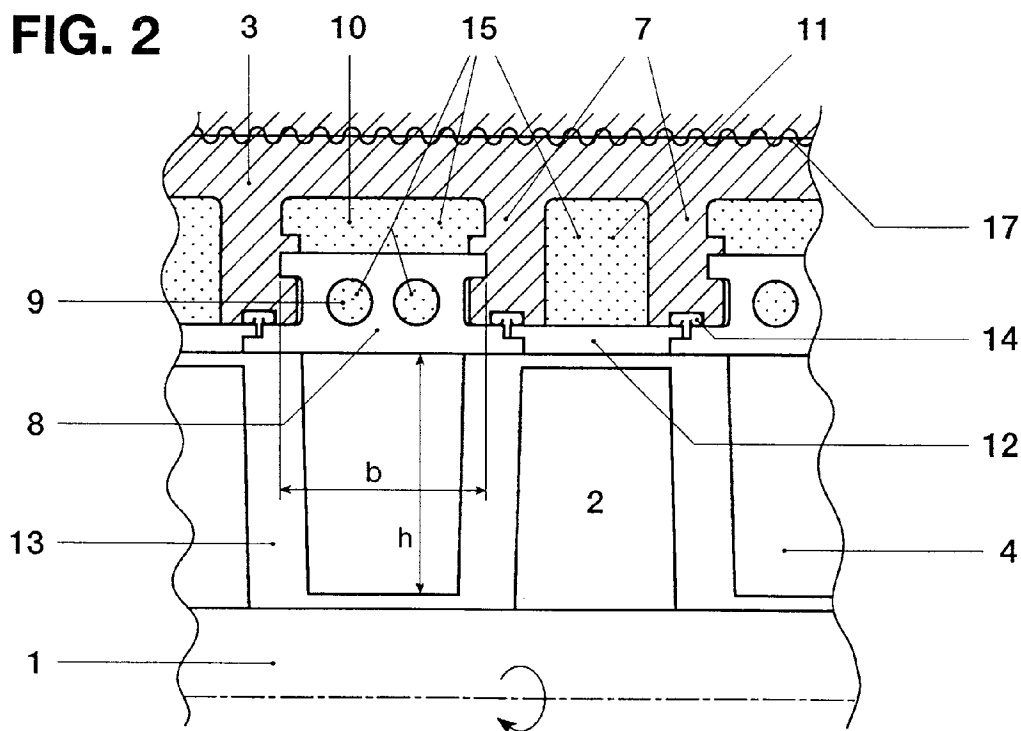
(72) Erfinder:

- Marmilic, Robert
CH-5415 Nussbaumen (CH)
- Meynard, François, Dr.
CH-8003 Zürich (CH)
- Suter, Roger
CH-8001 Zürich (CH)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Beeinflussung des Radialspieles der Beschaufelung in axialdurchströmten Verdichtern**

(57) Bei einer Vorrichtung zur Beeinflussung des Radialspieles der Beschauelung eines axialdurchströmten hochbelasteten Verdichters, welcher im wesentlichen aus einem mit Laufschaufeln (2) bestückten Rotor (1) und einem mit Leitschaufeln (4) bestückten Schaufelträger (3), der in einem Gehäuse (5) eingehängt ist, besteht, weist der Schaufelträger (3) lange und schmale Aufhängungen (7) für die Leitschaufeln (4) auf, wobei in den Leitschaufelfüssen (8) mindestens ein Hohlraum (9) angeordnet ist, wobei im eingeschaufelten Zustand in Umfangsrichtung jeweils ein Hohlraum (10)

zwischen dem Leitschauelfuss (8), den beiden Aufhängungen (7) für eine Leitschaukel (4) und dem Schaukelträger (3) vorhanden ist, wobei in Umfangsrichtung jeweils ein weiterer Hohlraum (11) zwischen dem Schaukelträger (3) und den Aufhängungen (7) für zwei aufeinanderfolgende Leitschaukeln (4) vorhanden ist, welcher durch mehrere über den Umfang verteilte und mit den Leitschauelfüssen (8) verbundene Segmente (12) begrenzt ist und wobei die Hohlräume (9,10,11) mit Isolationsmaterial (15) gefüllt sind.



Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Beeinflussung des Radialspiels der Beschaukelung in axialdurchströmten hochbelasteten Verdichtern von Gasturbinen.

Stand der Technik

Durch die heutigen hohen wirtschaftlichen und ökologischen Anforderungen strebt man in modernen thermische Turbomaschinen, beispielsweise Industrie-Gasturbinen, zu immer höheren Wirkungsgraden, was unter anderem auch zu höheren Druck- und Temperaturverhältnissen im Verdichter führt.

Diese höhere Belastung vom Verdichter ist mit kürzeren Schaufeln realisierbar, was aber dazu führt, dass das auf die Schaufelhöhe bezogene relative Radialspiel der Laufschaufeln steigt und damit die Pumpgrenze des Verdichters sinkt.

Ausserdem ist bekannt, dass die Spaltverluste im Spalt zwischen den Laufschaufeln des Rotors von thermischen Turbomaschinen und den ihnen gegenüberliegenden Teilen des Stators einen grossen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Maschine haben. Je grösser die Spaltverluste sind, desto geringer ist der Wirkungsgrad. Daher ist man bestrebt, den Spalt während des Betriebes so eng wie möglich, aber genügend gross für die Kühlungsphase zu halten.

Das Radialspiel wird einerseits verursacht durch Ungenauigkeiten bei der Fertigung und Montage, andererseits aber vor allem durch das unterschiedliche thermische Verhalten des Rotors und des Schaufelträgers.

Der Rotor ist auf Grund der Festigkeitsanforderungen meist massiver als der Schaufelträger. Da sowohl die Wärmeübergangsbedingungen als auch meistens das Material für beide Teile ähnlich sind, ist der Rotor deshalb thermisch wesentlich langsamer. Hinzu kommt, dass nicht nur die Wärmedehnungen von Rotor und Schaufelträger im Betriebszustand unterschiedlich sind, sondern auch deren zeitlicher Verlauf, besonders beim Anfahren und Abstellen der Maschine. Im Zusammenwirken mit der Zentrifugalkraft resultiert das in einem minimalen Radialspiel beim Start im warmen Zustand kurz nach dem Abstellen und einem maximalen Radialspiel beim Start im kalten Zustand.

Aus CH 639 171 ist bekannt, dass durch den Einsatz von in Umfangsrichtung ungeteilten Abdeckringen, welche in Achsrichtung der Maschine hintereinander angeordnet und durch Zentrierkeile zentriert sind, eine Verringerung des radialen Spaltes in Axialturbomaschinen erreicht werden kann. Diese Ringe haben in jedem Betriebspunkt rundherum rotationssymmetrische Temperaturen, weshalb bei Formänderungen infolge von Temperaturänderungen die Kreisform erhalten und die Abdeckringe damit zur Rotorachse zentriert bleiben, so

dass die bei der Auslegung zu berücksichtigende Mindestspaltgrösse zwischen Laufrad und Abdeckring verringert werden kann. Werden die Abdeckringe gleichzeitig zur Lagerung und Halterung der zwischen ihnen angeordneten Leitschaufelkränze benutzt, dann lässt sich auch der ebenfalls Leistungsverluste verursachende Spalt zwischen dem inneren Leitschaufelende (eventuell Deckband) und dem Rotor ebenfalls minimieren. Da die Abdeckringe aus einem Material mit möglichst kleinem Wärmeausdehnungskoeffizienten bestehen sollten, beispielsweise einer Eisen-Nickel-Legierung, sind sie relativ teuer. Ein weiterer Nachteil an diesem Stand der Technik ist die komplizierte Konstruktion, die sich aus der Befestigung der Zentrierkeile und ihrer Zentrierung ergibt.

Aus DE 33 05 170 C2 ist ein Turbomaschinengehäuse bekannt mit einer äusseren Gehäusewand und einer in Umfangsrichtung in Sektoren unterteilten inneren Gehäusewand, wobei beide über lösbare Befestigungen miteinander verbunden sind, bei der die Sektoren der inneren Gehäusewand von Halteschienen gebildet werden, die an ihren Enden einen Spielraum in Umfangsrichtung aufweisen und die mit radialen Stützansätzen versehen sind und zwischen der inneren und äusseren Gehäusewand Zwischenräume ausbilden, welche mit thermischem Isoliermaterial gefüllt sind. Nachteilig an diesem Stand der Technik ist die Aufteilung des Schaufelträgers in eine äussere und eine innere Gehäusewand, wobei aufgrund der dünnen inneren Gehäusewand nur dünne Leitschaufelfüsse untergebracht werden können und die auftretenden Kräfte über den Fuss und die innere Gehäusewand auf die äussere Gehäusewand übertragen werden.

Darstellung der Erfindung

Die Erfindung versucht, all diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem axialdurchströmten hochbelasteten Verdichter eine Vorrichtung zur Beeinflussung des Radialspiels der Beschaukelung zu schaffen, mit der es auf einfache Weise gelingt, während unterschiedlicher Betriebsbedingungen der Maschine den Radialspalt zwischen Laufschaufeln und Schaufelträger gering und auf etwa konstantem Niveau zu halten.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass bei einem axialdurchströmten hochbelasteten Verdichter, welcher im wesentlichen aus einem mit Laufschaufeln bestückten Rotor und einem mit Leitschaufeln bestückten Schaufelträger, der in einem Gehäuse eingehängt ist, besteht, der Schaufelträger lange und schmale Aufhängungen für die Leitschaufeln aufweist, wobei in den Leitschaufelfüssen mindestens ein Hohlraum angeordnet ist, und dass im eingeschaufelten Zustand in Umfangsrichtung jeweils ein Hohlraum zwischen dem Leitschaufelfuss, den beiden Aufhängungen für eine Leitschaufel und dem Schaufelträger vorhanden ist, und dass in Umfangsrichtung jeweils ein weiterer Hohlraum

zwischen dem Schaufelträger und den Aufhängungen für zwei aufeinanderfolgende Leitschaufeln vorhanden ist, welcher durch mehrere über den Umfang verteilte und mit den Leitschaufelfüssen verbundene Segmente begrenzt ist, und dass die Hohlräume mit Isolationsmaterial gefüllt sind.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem darin zu sehen, dass im Vergleich zum Stand der Technik der Stator während der Startphase und der Abstellphase nunmehr thermisch langsamer ist und dadurch das Radialspiel zwischen den Laufschaufeln und dem Stator verringert wird, so dass die Pumpgrenze angehoben wird und sich der Wirkungsgrad des Verdichters erhöht. Ein in Umfangsrichtung geteiltes kompliziertes zweiteiliges Gehäuse ist nicht notwendig.

Es ist vorteilhaft, wenn die Segmente als gewölbte Platten ausgebildet sind oder wenn sie eine gewölbte plattenförmige Basis aufweisen, auf der sich an den Seiten zu den Aufhängungen jeweils mindestens ein Haken in Richtung Schaufelträger erstreckt. Die Haken verhindern ein mögliches ungewünschtes Wölben der Segmente aufgrund erhöhter Temperaturen.

Ausserdem ist es zweckmässig, wenn die Segmente über Federn mit den Leitschaufelfüssen verbunden sind. Die Federn pressen Leitschaufeln und Segmente in die Betriebslage und haben gleichzeitig eine Dichtungsfunktion.

Vorteilhaft ist weiterhin, wenn die Höhe der Aufhängung mindestens die Hälfte der Schaufelhöhe beträgt und die Breite der Aufhängung maximal einem Drittel der Breite des Schaufelfusses der Leitschaufel entspricht. In diesem Falle wird der Wärmeübergang vom Verdichterkanal zum Schaufelträger besonders stark reduziert.

Es ist zweckmässig, als Isolationsmaterial ruhende Luft zu verwenden. Dies ist billiger als die Verwendung teurer Füllstoffe. Dabei ist es vorteilhaft, wenn zusätzlich ein Blech in zwei Umfangsnuten der Haken eines Segmentes eingeschoben und an den Enden jedes Segmentes nahezu rechtwinklig abgebogen wird, so dass ein Hohlraum für die ruhende Luft entsteht. Auf diese Weise wird ein unerwünschter Wärmeübergang wegen freier Konvektion verhindert.

Wenn zusätzlich im Schaufelträger Mittel zum Erwärmen, beispielsweise eine elektrische Heizung, angeordnet sind, welche wahlweise, z.B. in der Warmstartphase zuschaltbar sind, kann zur o.g. passiven Radialspielbeeinflussung eine zusätzliche aktive Radialspielbeeinflussung erzielt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung sind drei Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand eines axialdurchströmten Hochdruckverdichterteiles einer Gasturbine dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 einen Teillängsschnitt des Verdichters;

Fig. 2 einen vergrösserten Teillängsschnitt aus Fig. 1 im Bereich des Schaufelträgers und der Schaufeln, wobei plattenförmige Segmente zwischen den Leitschaufelfüssen angeordnet sind;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Abhängigkeit der Radialspielgrösse vom Lastzustand und von der Zeit für Rotor und Stator eines Verdichters gemäss Fig. 2;

Fig. 4 einen vergrösserten Teillängsschnitt aus Fig. 1 im Bereich des Schaufelträgers und der Schaufeln, wobei Segmente mit Haken werden;

Fig. 5 einen vergrösserten Teillängsschnitt analog zu Fig. 4, wobei ruhende Luft als Isolationsmaterial verwendet wird;

Fig. 6 einen Schnitt entlang der Ebene VI-VI in Fig. 5.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt sind von der Anlage beispielsweise die Eintrittspartien des Verdichterteils und die nachfolgenden Einrichtungen, beispielsweise die Brennkammer und die Turbine. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Fig. 1 bis 6 näher erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Teillängsschnitt eines axialdurchströmten mehrstufigen Hochdruckverdichters einer Gasturbinenanlage, wobei nur die letzten Stufen gezeigt sind. Der Verdichter besteht im wesentlichen aus dem Rotor 1, der mit Laufschaufeln 2 bestückt ist und dem Schaufelträger 3, welcher die Leitschaufeln 4 trägt. Der Schaufelträger ist in ein Aussengehäuse 5 des Verdichters eingehängt, welches z.B. über Flanschverbindungen mit einem hier nicht dargestellten Turbinengehäuse verbunden ist.

In Fig. 2 ist ein vergrösserter Ausschnitt von Fig. 1 im Bereich des Schaufelträgers 3 und der Schaufeln 2, 4 dargestellt. Der Schaufelträger 3 weist eine besondere Ausgestaltung derart auf, dass er lange und schmale Aufhängungen 7 mit Umfangsnuten besitzt, in welche die Leitschaufeln 4 eingeschaufelt sind. Die Aufhängungen 7 sind vorzugsweise mindestens so hoch wie die Hälfte der Schaufelhöhe h , ihre Breite beträgt höchstens ein Drittel der Breite b des Schaufelfusses 8 der Leitschaufel 4. Sie sind schlecht wärmeleitend.

Im Leitschaufelfuss 8, der sehr dick und massiv ausgebildet ist, befinden sich zwei Hohlräume 9. Durch diese Geometrie wird die Wärmeleitfähigkeit durch den Leitschaufelfuss 8 verkleinert. Gleichzeitig führt das zu guten mechanischen Eigenschaften.

Da die Höhe des Schaufelfusses 8 wesentlich geringer als die Höhe der Aufhängungen 7 ist, entsteht im

eingeschaufelten Zustand zwischen dem Fuss 8 der Leitschaufel 4, den beiden Aufhängungen 7 für die Leitschaufel 4 und dem Schaufelträger 3 ein Hohlraum 10.

Ein weiterer Hohlraum 11 ist im Schaufelträger 3 zwischen den Aufhängungen 7 zweier aufeinanderfolgender Leitschaufeln 4 angeordnet. Dieser Hohlraum 11 ist durch mehrere über den Umfang verteilte und mit den Leitschaufelfüssen 8 verbundene Segmente 12 begrenzt, welche in diesem Ausführungsbeispiel als gewölbte Platten ausgebildet sind. Die Segmente 12 begrenzen an ihrer Unterseite im Bereich der Laufschaufeln 2 den Verdichterströmungskanal 13. Sie sind über Federn 14, welche teilweise Dichtungsfunktion haben und beispielsweise C-Ringe sein können, mit den Leitschaufelfüssen 8 verbunden, so dass nur ein Kontakt zwischen den Segmenten 12 und den Leitschaufelfüssen 8 besteht. Die Federn 14 pressen die Leitschaufeln 2 und die Segmente 12 in die Betriebslage.

Die Hohlräume 9, 10, 11 sind in diesem Ausführungsbeispiel mit festem unbeweglichen Isolationsmaterial 15 aufgefüllt, so dass unerwünschte Effekte, wie Leckage und Strahlung, verhindert werden.

Innerhalb des Schaufelträgers 3 kann, wie in Fig. 2 dargestellt, ein Mittel zur Temperaturzufuhr 17, beispielsweise eine elektrische, vorzugsweise induktive Heizung, angeordnet sein, die bei Bedarf, und zwar beim Warmstart der Maschine, zugeschaltet wird. Durch die dadurch dem Stator zugeführte Wärme wird das minimale Radialspiel beim "pinch point" erhöht, da der Radius des Stators konstant bleibt.

Fig. 3 macht dies deutlich. Hier ist das Radialspiel in Abhängigkeit von der Zeit bzw. verschiedenen Betriebsbedingungen im Verdichter dargestellt. Die durchgezogenen Linien stellen die Verhältnisse nach dem Stand der Technik dar, die gestrichelte Linie zeigt die Abhängigkeit für den Stator gemäss der erfindungsgemässen Lösung.

Während der Startphase und im Betrieb unter Vollast wird das Radialspiel zwischen Stator und den Laufschaufeln des Rotors verringert, da der Stator aufgrund der Behinderung des Wärmeübergangs vom Verdichterkanal, die durch die Erfindung erreicht wird, thermisch langsamer wird. Das bedeutet, dass auch nach dem Abschalten der Maschine der Stator langsamer, aber immer noch schneller als der Rotor, abkühlt. Wird nun beim Warmstart der Radius des Stators durch Einschaltung der bereits erwähnten elektrischen Heizung, vorzugsweise einer induktiven Heizung, und der damit verbundenen Wärmezufuhr konstant gehalten, dann ist das kurz nach dem Abstellen beim Warmstart vorhandene Radialspiel nicht mehr so gering und Beschädigungen der Schaufeln sind nicht zu befürchten.

Ein zweites Ausführungsbeispiel, das sich vorwiegend in der verwendeten segmentform vom oben beschriebenen Ausführungsbeispiel unterscheidet, ist in Fig. 4 dargestellt. Die Segmente 12 weisen hier eine gewölbte plattenförmige Basis auf, auf der sich an den Seiten zu den Aufhängungen 7 jeweils ein Haken 16 in

Richtung Schaufelträger 3 erstreckt. Das Segment 12 besteht somit hier aus einer Einheit von Basisplatte und Haken 16. Die Haken 16 vergrössern zwar im Vergleich zu der obigen Ausführungsvariante die Anzahl der Wärmeübergänge, verhindern aber ein mögliches Wölben der Segmente 12, welches ein grösseres Radialspiel zur Folge hätte. Als Isolationsmaterial 15 wird hier wiederum ein bekannter fester Füllstoff, welcher die Hohlräume 9, 10 und 11 ausfüllt, verwendet.

Fig. 5 und Fig. 6 zeigen schliesslich ein Ausführungsbeispiel, bei dem analog zum zweiten Ausführungsbeispiel Segmente 12 mit Haken 16, welche eine Einheit bilden, verwendet werden. Hinter den Segmenten 12 befindet sich eine Isolation, bestehend aus ruhender Luft. Bei Verwendung von ruhender Luft als Isolationsmaterial wird mittels zusätzlicher Bleche 18, welche jeweils in zwei Umfangsnuten der Segmente 12 (und zwar im Bereich der Haken 16) eingeschoben und am Ende jedes Segmentes nahezu rechtwinklig abgebogen sind, ein geschlossener Hohlraum für die ruhende Luft geschaffen, welcher jedes Segment 12 kapselt und eine Luftzirkulation verhindert (siehe Fig. 5). Ohne den Einbau der Bleche 18 könnte ein unerwünschter Wärmeübergang wegen freier Konvektion stattfinden. Mit Rücksicht auf die Montagebelange ist der Schaufelträger 3 durch eine Trennebene axial geteilt.

Durch die besondere Ausgestaltung des Schaufelträgers 3 mit schmalen und langen Wärmeleitwegen wird der Wärmeübergang vom Verdichterkanal 13 zum Schaufelträger 3 behindert und damit wird im Bereich der Startphase und der Abstellphase das thermische Verhalten des Schaufelträgers 3 im Vergleich zum Stand der Technik dem Niveau des Rotors 1 angeglichen.

Bezugszeichenliste

- 1 Rotor
- 2 Laufschaufel
- 3 Schaufelträger
- 4 Leitschaufel
- 5 Aussengehäuse des Verdichters
- 6 Turbinengehäuse
- 7 Aufhängung für die Leitschaufel
- 8 Leitschaufelfuss
- 9 Hohlraum im Leitschaufelfuss
- 10 Hohlraum
- 11 Hohlraum
- 12 Segment
- 13 Verdichterströmungskanal
- 14 Feder
- 15 Isolationsmaterial
- 16 Haken
- 17 Mittel zur Temperaturzufuhr
- 18 Blech
- b Breite des Leitschaufelfusses
- h Leitschaufelhöhe

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Beeinflussung des Radialspieles der Beschaukelung eines axialdurchströmten hochbelasteten Verdichters, welcher im wesentlichen aus einem mit Laufschaufeln (2) bestückten Rotor (1) und einem mit Leitschaufeln (4) bestückten Schaufelträger (3), der in einem Gehäuse (5) eingehängt ist, besteht, dadurch gekennzeichnet, dass
 - der Schaufelträger (3) lange und schmale Aufhängungen (7) für die Leitschaufeln (4) aufweist,
 - wobei in den Leitschaufelfüssen (8) mindestens ein Hohlraum (9) angeordnet ist,
 - wobei im eingeschaufelten Zustand in Umfangsrichtung jeweils ein Hohlraum (10) zwischen dem Leitschaufelfuss (8), den beiden Aufhängungen (7) für eine Leitschaufel (4) und dem Schaufelträger (3) vorhanden ist,
 - wobei in Umfangsrichtung jeweils ein weiterer Hohlraum (11) zwischen dem Schaufelträger (3) und den Aufhängungen (7) für zwei aufeinanderfolgende Leitschaufeln (4) vorhanden ist, welcher durch mehrere über den Umfang verteilte und mit den Leitschaufelfüssen (8) verbundene Segmente (12) begrenzt ist,
 - und wobei die Hohlräume (9,10,11) mit Isolationsmaterial (15) gefüllt sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmente (12) als gewölbte Platten ausgebildet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmente (12) eine gewölbte plattenförmige Basis aufweisen, auf der sich an den Seiten zu den Aufhängungen (7) jeweils mindestens ein Haken (16) in Richtung Schaufelträger (3) erstreckt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Segmente (12) über Federn (14) mit den Leitschaufelfüssen (8) verbunden sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe der Aufhängung (7) mindestens die Hälfte der Schaufelhöhe (h) beträgt und die Breite der Aufhängung (7) maximal einem Drittel der Breite (b) des Leitschaufelfusses (8) entspricht.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Isolationsmaterial (15) ruhende Luft verwendet wird.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Blech (18) in zwei Umfangsnuten der Haken (16) eines Segmentes (12) eingeschoben und an den Enden jedes Segmentes (12) nahezu rechtwinklig abgebogen ist, so dass ein Hohlraum für die ruhende Luft entsteht.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Schaufelträger (3) Mittel zum Erwärmen (17) angeordnet sind, welche wahlweise zuschaltbar sind.

FIG. 1

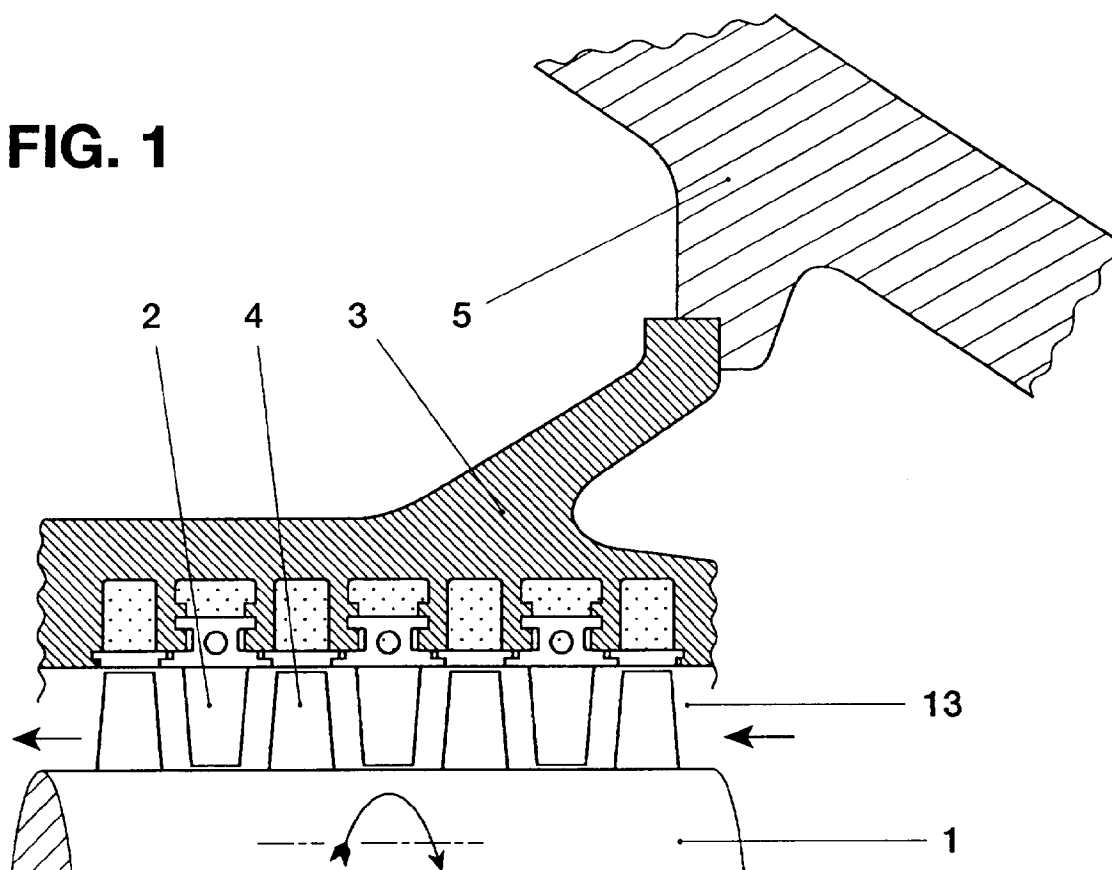
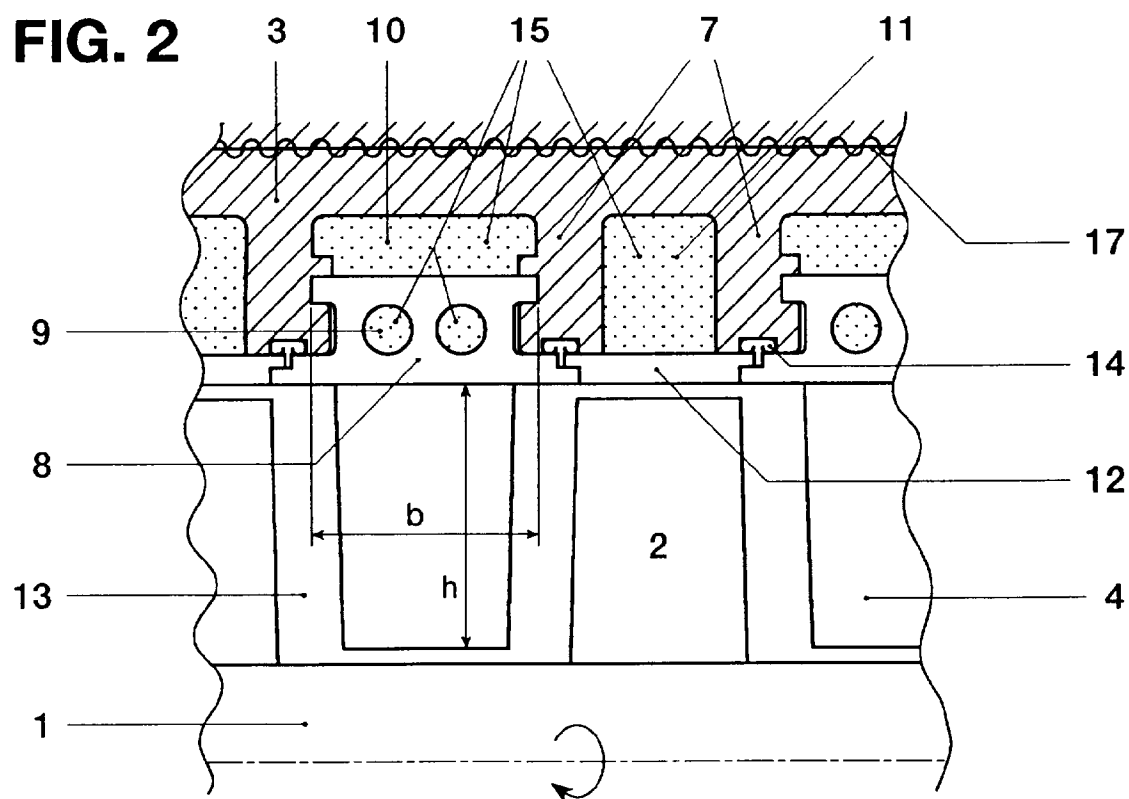


FIG. 2



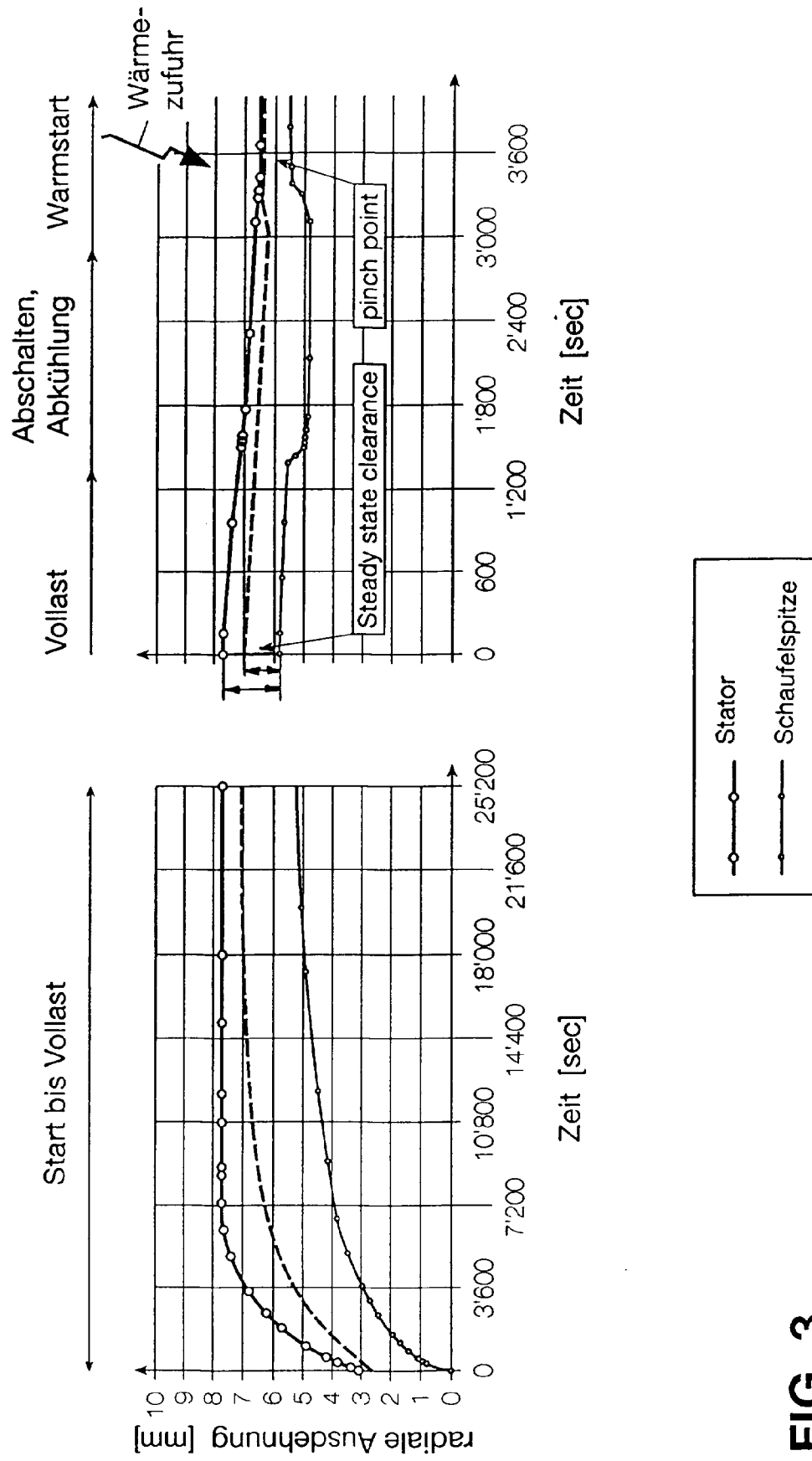


FIG. 3

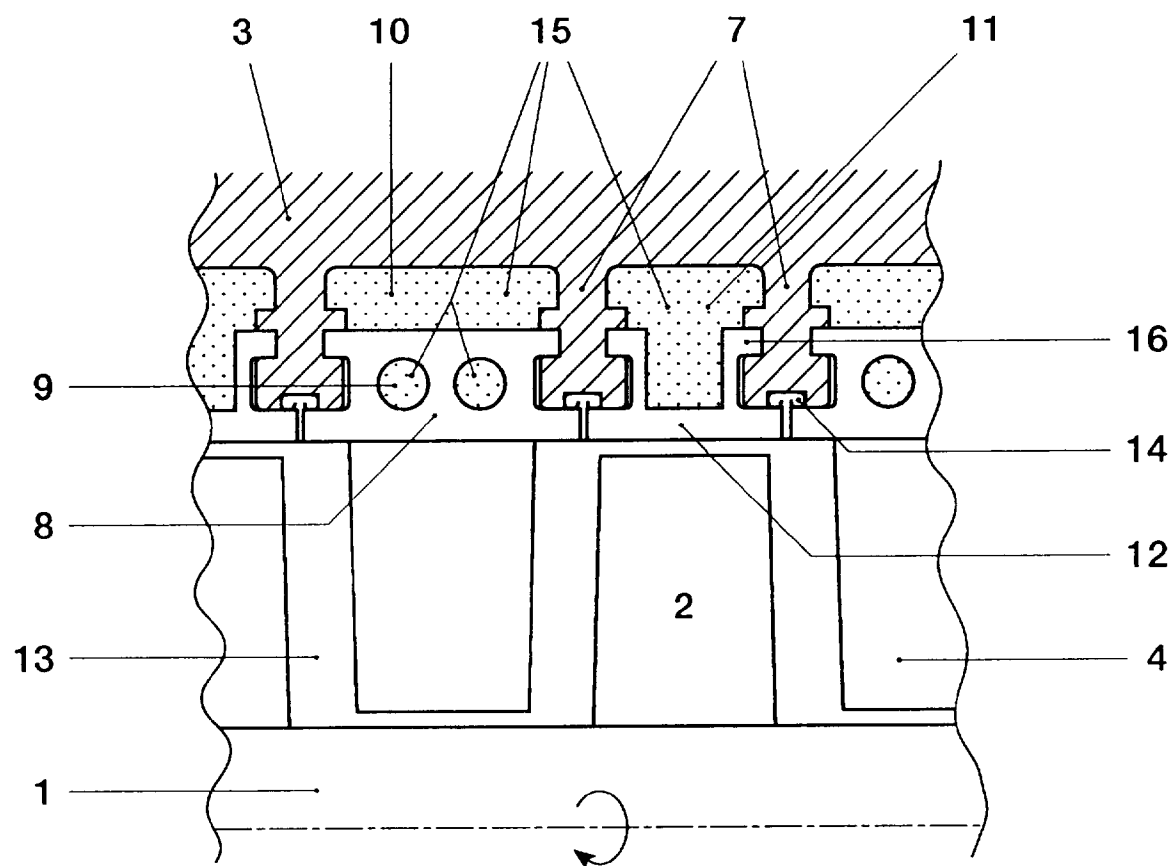


FIG. 4

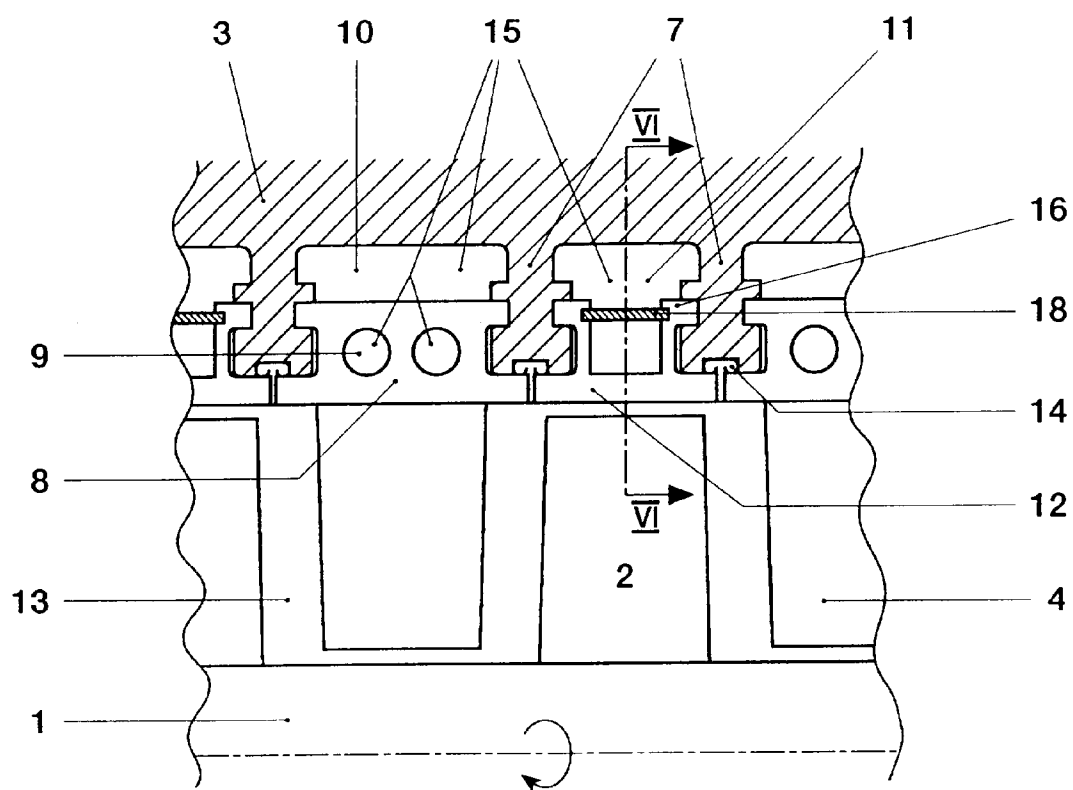


FIG. 5

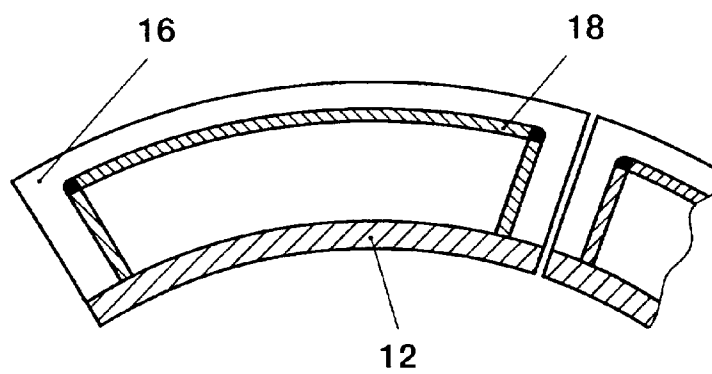


FIG. 6