



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 36 690 T2** 2007.09.06

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 816 726 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 36 690.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 304 685.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **27.06.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.01.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.09.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F16J 15/32** (2006.01)

F16J 15/44 (2006.01)

F01D 11/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

672665 28.06.1996 US

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, IT, LI

(72) Erfinder:

Bagepalli, Bharat Sampathkumar, Schenectady, New York 12309, US; Chiu, Rong-Shi Paul, Scotia, New York 12302, US; Cromer, Robert Harold, Johnstown, New York 12095, US; Crum, Gregory Allan, Greenville, South Carolina 29615, US; Furman, Anthony Holmes, Scotia, New York 12302, US; Marks, Paul Thomas, Clifton Park, New York 12065, US; Markytan, Rudolf Matthias, Niskayuna, New York 12309, US; Skinner, David Robert, Pattersonville, New York 12137, US; Turnquist, Norman Arnold, Cobleskill, New York 12043, US; Wolff, Christopher Edward, Niskayuna, New York 12309, US; Dinc, Osman Saim, Kozyatagi, Istanbul, TR

(54) Bezeichnung: **Bürstendichtungen und kombinierte Labyrinth- und Bürstendichtungen für drehende Maschinen**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Bürstendichtungen für drehende Maschinen, wie z.B. Dampf- und Gasturbinen, und betrifft insbesondere Bürstendichtungen und Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombinationen sowie Verfahren zum Nachrüsten von Bürstendichtungen in dem Strömungspfad der drehenden Maschine, um Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombinationen zu schaffen.

[0002] Drehende Maschinen, wie z.B. Dampf- und Gasturbinen, die zur Energieerzeugung und für mechanische Antriebsanwendungen eingesetzt werden, sind im Wesentlichen große Maschinen, die aus mehreren Turbinenstufen bestehen. In Turbinen muss durch die Turbinenstufen strömendes, unter hohem Druck stehendes Fluid eine Reihe von feststehenden und rotierenden Komponenten passieren und Dichtungen zwischen den feststehenden und rotierenden Komponenten werden zur Leckagekontrolle verwendet. Der Wirkungsgrad der Turbine ist direkt abhängig von der Fähigkeit der Dichtungen abhängig, eine Leckage beispielsweise zwischen dem Rotor und Stator zu verhindern. Turbinenkonstruktionen werden üblicherweise entweder als Impulstyp, wenn der Großteil des Druckabfalls über den feststehenden Leitapparaten auftritt, oder Reaktionstyp, wenn der Druckabfall gleichmäßiger zwischen den rotierenden und feststehenden Leitschaufeln verteilt ist, klassifiziert. Beide Konstruktionen verwenden starre Zahn-, d.h., Labyrinthdichtungen, um die Leckage unter Kontrolle zu bringen. Herkömmlicherweise werden starre Labyrinthdichtungen entweder mit einer stufenförmigen ("hi-lo") oder geradlinigen Wellenkonstruktion verwendet. Diese Arten von Dichtungen werden praktisch an allen Turbinenstellen eingesetzt, wo eine Leckage zwischen rotierenden und feststehenden Komponenten kontrolliert werden muss. Diese umfassen Zwischenstufenwellendichtungen, Rotorenddichtungen und Schaufel-(oder Laufschaufel)-Spitzendichtungen. Dampfturbinen sowohl mit Impuls- als auch Reaktions-Auslegung verwenden typischerweise starre scharfe Zähne für die Rotor/Stator-Dichtung. Obwohl sich Labyrinthdichtungen als ziemlich zuverlässig erwiesen haben, nimmt deren Dichtverhalten mit der Zeit als Folge von Übergangsereignissen ab, in welchen die stationären und rotierenden Komponenten interferieren, wobei die Labyrinthzähne sich in ein "Pilz"-Profil reiben und den Dichtungsspalt öffnen.

[0003] Ein weiterer in vielen Umgebungen einschließlich drehenden Maschinen verwendeter Dichtungstyp ist eine Bürstendichtung. Bürstendichtungen sind im Allgemeinen weniger gegen Leckage anfällig als Labyrinthdichtungen. Eine Bürstendichtung kann eine relative radiale Bewegung zwischen festen und rotierenden Komponenten, beispielsweise zwischen einem Rotor und einem Stator, aufgrund der

Biegung der Dichtungsbürsten aufnehmen. Bürstendichtungen passen sich im Allgemeinen auch besser an Oberflächenungleichmäßigkeiten an. Das Ergebnis der Verwendung von Bürstendichtungen ist ein besseres Dauerverhalten der drehenden Maschine als es im Allgemeinen mit Labyrinthdichtungen möglich ist.

[0004] WO 97/36094 (Stand der Technik gemäß Artikel 54(3) EPÜ) offenbart ein Verfahren zur Kombination einer Labyrinth- und Bürstendichtung zwischen einer Rotoranordnung und einer Statortrommel, in welcher die Anordnung montiert ist.

[0005] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Erzeugen einer Kombination einer hybriden Labyrinth-Bürsten-Dichtung in der Umgebung einer drehenden Maschine, wie z.B. einer Turbine, gemäß Definition in Anspruch 1 geschaffen. Bürstendichtungen sind per se allgemein bei drehenden Maschinen anwendbar und können anstelle von Labyrinthdichtungen verwendet werden. Bürstendichtungen sind in diesem Zusammenhang vorteilhaft und stellen eine verbesserte Dichtung bereit, während sie gleichzeitig erheblich weniger axialen Platz im Vergleich zu herkömmlichen Labyrinthdichtungen belegen. Demzufolge können kompaktere Konstruktionen drehender Maschinen, z.B. Turbinen, realisiert werden. Alternativ kann durch die Verwendung von Bürstendichtungen, die Spanne, die normalerweise von den Labyrinthzähnen belegt wird, dafür genutzt werden, zusätzliche Turbinenstufen zu ermöglichen, was zu einem erhöhten Turbinenwirkungsgrad führt. Als ein weiterer Vorteil kann die Anwendung von Bürstendichtungen an Enddichtungsstellen die Leckage bis zu dem Punkt reduzieren, dass die Notwendigkeit für ein Stopfbüchsen/Absaug-System beispielsweise in einer Dampfturbine eliminiert wird. An Rotorenddichtungen ist es auch möglich, Bürstendichtungen in Verbindung mit Flächendichtungen zu verwenden. Ferner ist in bestimmten Anwendungen von Dampfrotationsmaschinen eine gewisse Leckage zum Kühlen von Komponenten wie z.B. Rotoren erwünscht. An diesen Fällen können Bürstendichtungen in Verbindung mit Öffnungen oder anderen Strömungsnebenschlussmechanismen verwendet werden, um die Erzielung eines korrekten Leckagebetrages sicherzustellen.

[0006] Eine typische Bürstendichtung zur Verwendung in der vorliegenden Erfindung umfasst ein Borstenpaket, d.h., zwischen zwei Metallplatten eingeschlossene Borsten. Die Borsten sind im Wesentlichen Drähte aus Legierungsstahl, die auf Durchmesser von 0,051–0,152 mm (0,002–0,006 inches) gezogen sind, obwohl der genaue Durchmesser von der spezifischen Dichtungsanwendung abhängt. Größere Drahtdurchmesser werden für Dichtungen verwendet, die einer hohen Druckdifferenz zwischen den An-

strom- und Abstromseiten ausgesetzt sind. Die Unterstütsungs-(Abstrom)-Platte verhindert, dass sich die Borsten axial unter Druckbelastung verbiegen. Demzufolge ist eine Zaunhöhe (h) eine kritische Konstruktionsvariable. Zaunhöhe ist der Abstand, über den sich die Borsten frei aus ihrer Unterstütsung, d.h., dem distalen Ende der Unterstütsungsplatte bis zu ihren freien Enden erstrecken, welche typischerweise mit dem rotierenden Teil in Eingriff stehen. Für eine Dampfturbinenanwendung, in welcher die erwartete maximale radiale Rotorauslenkung annähernd 1,02 mm (0,040 inches) ist, muss daher die Zaunhöhe minimal 1,02 mm (0,040 inches) sein. Die Zaunhöhen können, insbesondere in Gasturbinen, erheblich abhängig von der Dichtungsstelle von 0,76 mm (0,030 inches) für Lagerdichtungen bis 3,05 mm (0,120 inches) für Hochdruckpackungsdichtungen bis 7,62 mm (0,300 inches) für Turbinenzwischenstufendichtungen variieren. Die vordere (Anstrom-)Platte hält die Borsten während der Dichtungsherstellung in ihrer Lage.

[0007] Während radialen Auslenkungen von Wellen müssen die Borsten in der Lage sein, sich kurzzeitig ohne Knickung auszulenken. Um diese Auslenkungen aufzunehmen, sind die Borsten nicht in einer perfekt radialen Richtung ausgerichtet, sondern stattdessen in einem bestimmten Winkel angestellt. Typischerweise liegt dieser Winkel zwischen 45 und 60 Grad. Vergrößerte Winkel werden verwendet, um erhöhte radiale Wellenauslenkungen zu ermöglichen.

[0008] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung werden Bürstendichtungen mit Labyrinthdichtungen kombiniert und können als Originalausrüstung geliefert werden oder in existierende Labyrinthdichtungen nachgerüstet werden. Somit kann die Bürstendichtung zwischen benachbarten Labyrinthzähnen oder an einem oder beiden Enden der Dichtung oder an verschiedenen einzelnen oder mehreren Stellen zwischen den Zähnen und an einem oder beiden Enden der Dichtung vorgesehen sein. In vorteilhafter Weise kann einer von den Labyrinthdichtungszähnen als eine Unterstütsungsplatte für jede Bürstendichtung verwendet werden. Dieses ermöglicht den Einbau der Bürstendichtung in die Labyrinthdichtung mit einem minimalen Verlust, wenn überhaupt, an Labyrinthzähnen und führt zu einer hohen ausfallsicheren Konstruktion. Zusätzlich sorgt die abgeschrägte Form des Labyrinthzahnes für eine Anti-Hysterese-Qualität der Bürstendichtung. Eine Hysterese tritt auf, wenn die Dichtung einem großen Differenzdruck, gefolgt von einer großen Relativradialbewegung, welche die Borsten auslenkt, ausgesetzt wird. Auf die Borsten wirkende Reibungskräfte verhindern deren Rückkehr in ihre Stabilzustandspositionen bis sie von der großen Drucklast entlastet werden. Durch Bereitstellen einer abgeschrägten Form für die Borstenunterstütsungsstruktur wird die Normalkraft auf die Unterstütsungsplatte reduziert und

die Hysteresetendenz verringert.

[0009] Ein zweites Verfahren zum Erzeugen einer Anti-Hystereseefähigkeit für die Bürstendichtung besteht in der Beschichtung der anstromseitig liegenden Oberfläche der Unterstütsungsplatte mit einem Material, das einen extrem niedrigen Reibungskoeffizienten aufweist, wie z.B. Bornitrat. Somit wird die Reibungskraft durch Reduzierung des Reibungskoeffizienten anstelle der Normalkraft reduziert.

[0010] Durch Kombinieren von Bürstendichtungen mit herkömmlichen Labyrinthdichtungen wird in vorteilhafter Weise eine ausfallsichere Dichtung erzeugt. Die Bürstendichtung stellt im Wesentlichen die gesamte Dichtfähigkeit bereit, solange sie intakt bleibt. Wenn sie jedoch beschädigt oder verschlissen wird, stellen die benachbarten Labyrinthzähne eine ausreichende Dichtung bereit, um den Betrieb der drehenden Maschine (z.B. einer Turbine) bis zu ihrer nächsten geplanten Wartungsabschaltung sicherzustellen. Die Bürstendichtungen können in ihrer Lage verschweißt werden oder sie können mechanisch z.B. mittels Schrauben befestigt werden. Besonders vorteilhaft ist, dass Bürstendichtungen in existierenden drehenden Maschinen nachgerüstet werden können, um eine Kombination einer Labyrinth-Bürsten-Dichtung mit einem Minimum an Modifikation an den vorhandenen Labyrinthdichtungszähnen bereitzustellen. Beispielsweise kann eine Bürstendichtung zwischen einem Plattenpaar angeordnet werden, wobei eine Platte einen Feder-und-Nut-Sitz zum Befestigen der Bürstendichtung an einem Labyrinthdichtungsring, z.B. an einer Endfläche davon aufweist, wobei die Bürstendichtung schließlich direkt an den Labyrinthdichtungsring geschweißt wird. Alternativ kann eine Umfangsnut in den Labyrinthdichtungsring zwischen benachbarten Zähnen oder an den Dichtungsringenden eingearbeitet werden. Man wird erkennen, dass die Nut die Entfernung von einem oder mehreren Zähnen der Labyrinthdichtung erfordert, wobei dieses jedoch ohne nachteiligen Effekt auf das Verhalten der sich ergebenden Kombinationsdichtung erreicht werden kann. Die Bürstendichtung kann dann in ihre Lage geschoben und entlang dem Innendurchmesser der Grenzfläche verschweißt werden. Die Unterstütsungsplatte der Bürstendichtung kann auch ein Profil ähnlich dem eines Labyrinthzahnes aufweisen oder kann einen existierenden Zahn der Labyrinthdichtung verwenden, was zu einer ausfallsicheren Konstruktion führt.

[0011] Es wird bekannt sein, dass Labyrinthdichtungen in bestimmten drehenden Maschinen, wie z.B. Dampfturbinen, im Allgemeinen segmentiert sind, wobei zwischen 4 und 8 einzelne Segmente die gesamte Dichtung über 360 Grad ausbilden. Jedes Segment wird unabhängig in seiner Lage gehalten und kann sich typischerweise radial unabhängig von den anderen Segmenten bewegen. Demzufolge wird

die Bürstendichtung für die Nachrüstung in einer gegebenen Labyrinthdichtung einer Dampfturbine ebenfalls in Abschnitten hergestellt, wobei jeder Abschnitt an einem einzelnen Labyrinthdichtungssegment befestigt wird.

[0012] In den meisten Dampfturbinen sind die Labyrinthdichtungssegmente "federunterstützt". D.h., sie werden durch gefederte Stahlbänder in ihrer Lage gehalten und können sich radial frei bewegen, wenn sie einer starken Rotor/Dichtungs-Interferenz unterworfen werden. Durch eine Befestigung einzelner Bürstendichtungssegmente direkt an den Labyrinthdichtungssegmenten erhalten die Bürstendichtungen ebenfalls diesen "Federunterstützungs"-Schutz im Falle von schwerem Rotorschleifen.

[0013] Manchmal werden auch in Dampfturbinen Federn eingesetzt, um die Labyrinthdichtungssegmente radial von dem Rotor entfernt zu halten. Ein Hohlraum ist ebenfalls auf der Rückseite der Segmente angeordnet, welcher unter Druck gesetzt werden kann, um die Dichtungen auf dem Auslegungsabstand zu schließen, nachdem der Rotor auf die Drehzahl gebracht wurde und alle schweren Übergangszustände durchlaufen worden sind. Eine Nachrüstung von Bürstendichtungssegmenten an Labyrinthdichtungen in einer derartigen Anordnung maximiert die Verschleißlebensdauer der Bürsten, da die Dichtungen den stärksten Rotor/Stator-Interferenzen, welche während Turbinenstart- und Abschaltzyklen auftreten, nicht unterworfen werden.

[0014] Um in einer Dampfturbinenumgebung zu überleben, müssen Bürstendichtungen so ausgelegt sein, dass sie Drücken bis zu 241 bar (3500 psig) und Umgebungstemperaturen bis angenähert 566°C (1050°F) widerstehen. Zusätzlich müssen die Dampfturbinen ausreichend robust sein, um relativen radialen Auslenkungen von wenigstens 1,02 mm (0,040 inches) zu widerstehen. Die Dichtungsdurchmesser reichen im Allgemeinen von angenähert 15,24 cm (6 inches) bis 76,2 cm (30 inches) für Wellendichtungen und 76,2 cm (30 inches) bis 152,4 cm (60 inches) für Schaufelspitzendichtungen. Die Rotordrehzahl reicht von 1500 bis 7500 UPM oder höher.

[0015] Um in einer Gasturbinenumgebung zu überleben, müssen Bürstendichtungen so ausgelegt sein, dass sie Drücken bis zu 13,8 bar (200 psia) und Temperaturen von Umgebungstemperaturen bis angenähert 843°C (1500°F) widerstehen. Zusätzlich müssen die Dichtungen ausreichend robust sein, um relativen radialen Auslenkungen in dem Bereich von 0,76 bis 7,62 mm (0,030 bis 0,0300 inches) abhängig von ihrer Lage zu widerstehen. Die Dichtungsdurchmesser reichen im Allgemeinen von angenähert 1,016 m bis 1,524 m (40 bis 60 inches) für Hochdruckpackungsdichtungen, 38,1 bis 63,5 cm (15 bis 25 inches) für Lagerungsdichtungen, 0,889 m bis 1,788 m (35 bis

70 inches) für Turbinenzwischenstufen, und 1,016 bis 3,048 m (40 bis 120 inches) für Laufschaufelspitzendichtungen. Die Rotorumdrehungen reichen von 1500 bis 4500 UPM.

[0016] Herkömmlicherweise wurden Bürstendichtungen in Verbindungen mit Wellen verwendet, die mit einer Chromkarbidbeschichtung beschichtet worden sind, um die Verschleißbeständigkeit zu erhöhen. Um Bürstendichtungen wirtschaftlicher in Dampf- und Gasturbinen einsetzbar zu machen, können sie mit akzeptablen Verschleißraten sowohl der Dichtung als auch der Welle auf unbeschichteten Oberflächen eingesetzt werden. Typischerweise besteht das Verschleißpaar für eine Bürstendichtung bei einem Dampfturbinenrotor aus einem Kobaltlegierungs-Borstenmaterial (wie z.B. Haynes 25), das mit einer Rotoroberfläche entweder aus CrMoV (für die Welle) oder 12 Cr (für Schaufelspitzen) in Kontakt steht. Rotormaterialien, wie z.B. Inconel 718, sind bei neueren Gasturbinen möglich. Die Wellengeometrie kann auch so ausgelegt sein, dass sie einen Verschleiß durch Nutzung des Vorteils einer relativen axialen Bewegung mindert. Wenn die radiale Interferenz an einer anderen Stelle auftritt als der Stelle, an der sich die Bürstendichtung im stabilen Betriebszustand befindet, kann die Welle mit einer Nut versehen sein, um die Interferenz zu verkleinern.

[0017] Ein wichtiger Gesichtspunkt in der Konstruktion von Bürstendichtungen für Turbinen ist die Druckdifferenz über der Dichtung. Wann immer nur möglich ist es erwünscht, Bürstendichtungen zu verwenden, die aus nur einer einzigen Borstenreihe bestehen. Um jedoch die in einer Dampfturbine erwarteten radialen Wellenauslenkungen sowie den hohen Druckabfall, der bei einigen Turbinenstufen entsteht, aufzunehmen, ist es manchmal notwendig, Bürstendichtungen zu verwenden, die aus zwei oder mehr Borstenpackungen in Reihe bestehen. In mehrstufigen Bürstendichtungen ist es möglich, dass die hinter die anstromseitig liegende Borstenpackung leckende Strömung einen Wirbel zwischen den Borstenpackungen induziert und dass dieser Wirbel die nachfolgenden Borstenreihen beschädigt. Insbesondere kann der Wirbel so sein, dass die Strömung an der Anstromseite der zweiten Borstenreihe radial nach außen gerichtet ist, was zu einem Wegziehen der Borstenpackung und Beschädigung der Dichtung führt. Um das Auftreten dieses Phänomens in einer Gasturbine gemäß der vorliegenden Erfindung zu verhindern, kann eine radiale Stufe in dem Rotor zwischen den zwei Borstenpackungen vorgesehen werden, wobei die zwei Borstenpackungen bei unterschiedlichen Durchmessern liegen. Bei geeigneter axialer Lage der Rotorstufe führt diese Anordnung zu einer Umkehrung der Strömungsrichtung an der Anstromseite der zweiten Borstenpackung. Eine derartige Dichtung, in welcher die Strömung radial entlang der Borsten nach innen gerichtet ist, ist sehr effektiv.

[0018] In einer Dampfturbine schließen jedoch die großen Relativaxialbewegungen, die während Übergangsbedingungen zwischen dem Rotor und Stator stattfinden, die Verwendung von Rotorstufen als ein Verfahren zur Verhinderung einer strömungsinduzierten Beschädigung von mehrstufigen Bürstendichtungen aus. Stattdessen kann das Paar der Borstenpakungen axial durch einen Abschnitt herkömmlicher Labyrinthzähne getrennt werden und das abstromseitig liegende Borstenpaket ist somit praktisch durch das Vorhandensein des anstromseitig liegenden Borstenpaketes unbeeinflusst. In einer Turbinendichtung, die normalerweise aus zwei oder mehr Labyrinthringen besteht, kann nur eine einstufige Bürstendichtung in jeden von den Labyrinthdichtungsringen nachgerüstet werden, was zu einer effektiven zwei- oder mehrstufigen Bürstendichtung führt. Ein zusätzlicher Vorteil für diese Anordnung besteht darin, dass es eine ausfallsichere Konstruktion ist. D.h., falls die Bürstendichtung aus irgendeinem Grunde ausfallen sollte, ist immer noch die Labyrinthdichtung vorhanden, und stellt eine ausreichende Dichtung für den Turbinenbetrieb bis zu dessen nächster geplanter Wartungsabschaltung sicher.

[0019] Die hierin beschriebene Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung ist in Dampfturbinen bei Schaufelspitzendichtungen, Wellendichtungen und Überlaufbänder anwendbar. Beispielsweise kann eine Bürstendichtung an einem Labyrinthdichtungsring an der Spitze einer Dampfturbinenrotationslaufschaukel unter Verwendung einer Feder-und-Nut-Geometrie oder Nutenanordnung nachgerüstet werden. Die Bürstendichtung kann an jeder axialen Stelle entlang des Labyrinthdichtungsringes befestigt werden und kann entweder in ihrer Lage verschweißt oder mechanisch befestigt werden. Zusätzlich zu den relativen radialen Rotor/Stator-Bewegungen, denen die Wellendichtungen widerstehen müssen, müssen Laufschaufelspitzendichtungen alle Oberflächenungleichmäßigkeiten überstehen, die zwischen den einzelnen Laufschaufeln oder Schaufelabdeckungen und dem Stator existieren, welche die kombinierte Labyrinth-Bürsten-Dichtung hiervon für diesen Zweck ideal machen.

[0020] Zusätzlich zu den Laufschaufelspitzendichtungen können radiale Überlaufbänder des Fußes ebenfalls Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombinationen verwenden. Jede von den vorstehend diskutierten Befestigungsanordnungen für die Kombinationsdichtungen ist ebenfalls bei diesen Überlaufbanddichtungen anwendbar. Wiederum wird eine ausfallsichere Dichtung geschaffen, indem die Bürstendichtung in Reihenanordnung mit einer Labyrinthdichtung montiert wird, was die Bereitstellung der Bürstendichtungsplatte mit einem Labyrinthzahnprofil in einer Originalausrüstungsdichtung oder die Verwendung eines vorhandenen Labyrinthzahns als Unterstützungsplatte umfasst.

[0021] Im Wesentlichen sind die hier beschriebenen Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombinationen auf Impulsturbinen sowie auf Reaktionsturbinen anwendbar. Impulsturbinen weisen im Wesentlichen eine Rad- und Zwischenbodenkonstruktion auf, während Reaktionsturbinen im Allgemeinen etwas nutzen, was üblicherweise als Trommelrotor bezeichnet wird. Zur Anwendung bei Reaktionsturbinen mit Trommelrotoren können die Bürstendichtungen an der Innenoberfläche der feststehenden Leitschaufeln in Kombination mit den existierenden Labyrinthdichtungen angebracht werden oder als Originalausrüstung eingebaut werden. Für beide Turbinenkonstruktionen ist es auch möglich, die Bürstendichtungen an den rotierenden statt an den feststehenden Komponenten zu befestigen.

[0022] Die Bürstendichtungen selbst können entweder in einer Ringform vorliegen oder können in einer geradlinigen Art hergestellt werden. Die hergestellten Dichtungen können in der Form einer "L"-Form, einer "T"-Form oder einer "Y"-Form entlang der linearen Länge der hergestellten Dichtung vorliegen. Wenn der lineare Dichtungsstreifen (unabhängig von der Querschnittsform) benötigt wird, kann er in einen vorgegebenen Durchmesser "gerollt" und in verschiedene Segmente geschnitten werden. Diese gerollte und segmentierte Dichtung kann dann in ähnlicher Weise mit den Dampfturbinendichtungselementen in derselben Art verbunden werden. Die geradlinige Dichtung vermeidet die Notwendigkeit, ein neues Werkzeug für jeden in einer Dampfturbine benötigten unterschiedlichen Dichtungsdurchmesser zu haben. Da es Tausende von unterschiedlichen Dichtungsdurchmessern über der Dampfturbinenproduktlinie gibt, ist das Ergebnis einer geradlinigen Dichtung eine erhebliche Werkzeugkostenreduzierung. Die hergestellte und gerollte geradlinige Dichtung kann mit einem "Zusatz"-Material auf seinen Blechmetallkomponenten versehen werden, so dass der Querschnitt für einen Einbau der Dichtung in den Schlitzen bearbeitet werden kann.

[0023] Bei Dichtungen, in welchen mehrere Segmente (Bögen) benötigt werden, wird der Abstand am heißen Endspalt zwischen jedem Dichtungssegment zu einer Hauptquelle der stark reduzierten Leckage der kombinierten Labyrinth-Bürsten-Dichtung oder labyrinthartig hergestellten geradlinigen Bürstendichtung. Um diese Leckage besser zu kontrollieren, kann ein straff aufgerollter Abschnitt desselben wie bei der Herstellung der geradlinigen Dichtung verwendeten Gewebes an das Segmentende punktgeschweißt oder daran befestigt werden. Sobald die Segmente auf Betriebstemperatur gebracht werden, wachsen sie zusammen, was das straff gerollte Gewebe zusammendrückt und dadurch stark die Spaltleckage reduziert. Das Gesamtdichtverhalten wird somit stark verbessert.

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine drehende Maschine mit einer drehbaren Komponente und einer gegen Drehung gesicherten Komponente bereitgestellt, wobei die Komponenten um eine gemeinsame Achse herum liegen, und eine Labyrinthdichtung zwischen den Komponenten wenigstens eine sich im Wesentlichen um den Umfang erstreckenden Zahn enthält, der von einer der Komponenten getragen wird und radial zu der anderen Komponente hervorsteht, um eine Dichtung dazwischen zu bewirken, und ein Verfahren zum Erzeugen einer Kombinations-Labyrinth- und Bürstendichtung zwischen den Komponenten mit den Schritten der Nachrüstung einer Umfangsanordnung diskreter Borsten auf der einen Komponente axial angrenzend an den einen Zahn durch Befestigen der Anordnung an der einen Komponente, wobei die Borsten in einer Ebene im Allgemeinen senkrecht zu der Achse liegen, und wobei deren distalen Enden zu der anderen Komponente über die radiale Erstreckung des einen Zahnes hinaus für einen erheblichen Dichtungseingriff mit der anderen Komponente vorstehen.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine drehende Maschine bereitgestellt, die eine drehbare Komponente, eine gegen Drehung fixierte Komponente, wobei die Komponenten um eine gemeinsame Achse liegen, eine Labyrinthdichtung zwischen den Komponenten, die mehrere axial im Abstand angeordnete und sich um den Umfang erstreckende Zähne enthält, die von einer der Komponenten getragen werden und radial zu der anderen Komponente hervorstehen, um eine Labyrinthdichtung dazwischen zu bewirken, eine Bürstendichtung zwischen den Komponenten mit einer Umfangsanordnung von diskreten Borsten, die von der einen Komponente zur axialen Anordnung angrenzend an den wenigstens einen Zahn getragen werden, und eine Einrichtung zum Befestigen der Anordnung der Borsten auf der einen Komponente aufweist, wobei die Borsten in einer Ebene im Wesentlichen senkrecht zu der Achse liegen und wobei deren distalen Enden zu der anderen Komponente über die radiale Erstreckung der Zähne hinaus für eine im Wesentlichen abgedichtete Verbindung zu den Abdeckungen vorstehen, aufweist.

[0026] In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Labyrinthdichtung für eine drehende Maschine geschaffen, welche mehrere axial in Abstand angeordnete und sich radial erstreckende Zähne und wenigstens eine Umfangsanordnung diskreter Borsten bereitstellt, die über die radiale Erstreckung der Zähne hinaus stehen.

[0027] In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Bewirken einer Abdichtung in ei-

ner rotierenden Turbomaschine, die eine Labyrinthpackung mit mehreren Reihen axial in Abstand und um den Umfang sich erstreckender Dichtungszähne aufweist, um eine Fluidströmung zwischen deren rotierenden und stationären Komponenten zu verhindern, geschaffen, das den Schritt der Ersetzung wenigstens eines Zahnes durch eine Bürstendichtung aufweist.

[0028] In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Reparieren eines Segmentes einer mit Zähnen versehenen Labyrinthpackung für eine Turbomaschine geschaffen, das den Schritt der Ersetzung wenigstens eines Zahnes durch eine Bürstendichtung aufweist.

[0029] Demzufolge ist es eine Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung, neue und verbesserte Bürstendichtungen und Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtungen für die Abdichtung zwischen feststehenden und rotierenden Komponenten von drehenden Maschinen und Verfahren zum Nachrüsten existierender drehender Maschinen mit Bürstendichtungen zu schaffen, um ausfallsichere Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtungen zu bewirken.

[0030] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

[0031] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Dichtringsegmentes ist, die eine Labyrinthdichtung um einen Rotor herum darstellt;

[0032] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung einer Labyrinthdichtung zwischen einem Dichtringsegment und den Abdeckungen für Schaufel oder Laufschaufeln einer rotierenden Komponente ist;

[0033] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Turbinenrades ist, die eine Labyrinthdichtung zwischen dem Rad und einer festen Komponente der Turbine darstellt;

[0034] [Fig. 4](#) eine Endaufrissansicht einer segmentierten Bürstendichtung ist;

[0035] [Fig. 5](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht davon entlang einer Linie 5-5 in [Fig. 4](#) ist;

[0036] [Fig. 6](#) eine Teilquerschnittsansicht ist, die eine kombinierte Labyrinth-Bürsten-Dichtung gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0037] [Fig. 7](#) eine vergrößerte Ansicht einer Form einer in der vorliegenden Dichtung verwendeten Bürstendichtung ist;

[0038] [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) schematische Darstellungen sind, die eine kombinierte Labyrinth-Bürsten-Dichtung der vorliegenden Dichtung zwischen Dichtringsegmenten und einem Rotor darstellen;

[0039] [Fig. 10](#) eine schematische Darstellung von axial in Abstand angeordneten Bürstendichtungen in Eingriff mit einem Rotor ist;

[0040] [Fig. 11](#) eine Ansicht ähnlich der von [Fig. 10](#) ist, die axial in Abstand angeordnete Bürstendichtungen in Verbindung mit einem gestuften Rotor darstellt;

[0041] [Fig. 12](#) eine Ansicht ähnlich der von [Fig. 10](#) ist, welche deren kombinierte Labyrinth-Bürsten-Dichtung mit den Bürstendichtungen an gegenüberliegenden Enden der Dichtungsringsegmente darstellt;

[0042] [Fig. 13](#) eine schematische Darstellung einer mehrstufigen kombinierten Labyrinth-Bürsten-Dichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist;

[0043] [Fig. 14](#) eine schematische Darstellung einer kombinierten Labyrinth-Bürsten-Dichtung gemäß der vorliegenden Erfindung zwischen dem Stator und der Abdeckung für rotierende Schaufeln ist; und

[0044] [Fig. 15A](#), [Fig. 15B](#) und [Fig. 15C](#) schematische Darstellungen einer weiteren Form einer Bürstendichtungs-Rotor-Kombination gemäß der vorliegenden Erfindung sind.

[0045] In den Figuren der Zeichnung, insbesondere in [Fig. 1](#) ist ein Abschnitt einer drehenden Maschine, beispielsweise einer Dampfturbine, mit einer in einem Turbinengehäuse **12** angeordneten Turbinenwelle **10** und welche mittels nicht dargestellter herkömmlicher Einrichtungen in dem Turbinengehäuse **12** gelagert ist, dargestellt. Eine insgesamt mit **14** bezeichnete Labyrinthdichtung zwischen der rotierenden Welle **10** und dem feststehenden Gehäuse **12** enthält einen Dichtring **16**, der über der Welle **10** angeordnet ist und Bereiche mit hohem und niedrigem Druck auf axial gegenüberliegenden Seiten des Ringes trennt. Man wird erkennen, dass obwohl nur eine Dichtung **16** offenbart ist, typischerweise mehrstufige Labyrinthdichtungen um Rotorwellen herum vorgesehen sind. Jeder Dichtring **16** ist aus einer ringförmigen Anordnung von mehreren gekrümmten Dichtungselementen **18** mit Dichtflächen **20** und mehreren radial hervorstehenden axial in Abstand angeordneten Zähnen ausgebildet. Die Zähne weisen eine Stufen-("hi-lo")-Konstruktion zum Erzielen enger Abstände mit den radialen Vorsprüngen oder Rippen **24** und den Nuten **26** der Welle **10** auf. Die Labyrinthdichtung funktioniert, indem sie eine relativ große Anzahl von Barrieren, d.h., den Zähnen der Strömung des Fluids aus einem Hochdruckbereich zu einem

Niederdruckbereich auf gegenüberliegenden Seiten der Dichtung entgegenstellt, wobei jede Barriere das Fluid zwingt, einem gewundenen Pfad zu folgen, wodurch ein Druckabfall erzeugt wird. Die Summe der Druckabfälle über der Labyrinthdichtung ist per Definition die Druckdifferenz zwischen den Hoch- und Niederdruckbereichen auf deren axial gegenüberliegenden Seiten. Diese Labyrinthdichtungsringsegmente sind typischerweise federvorgespannt und können sich somit radial frei bewegen, wenn sie einer starken Rotor/Dichtungs-Interferenz unterworfen werden. In bestimmten Auslegungen halten die Federn die Dichtringsegmente **16** beispielsweise während des Hochfahrens und Herunterfahrens radial nach außen von dem Rotor weg, während ein Fluidruck zwischen die Dichtringsegmente und das Rotorgehäuse eingeführt wird, um die Dichtringsegmente radial nach innen zu verschieben, um einen kleineren Abstand mit dem Rotor zu erzielen, d.h., die Dichtung zu schließen, nachdem der Rotor auf Drehzahl gebracht worden ist.

[0046] [Fig. 2](#) stellt eine ähnliche Anordnung einer Labyrinthdichtung in einer Verwendung an der Spitze der rotierenden Laufschaufeln oder Turbinenschaufeln für die drehende Maschine dar. Somit befinden sich in [Fig. 2](#) die Labyrinthdichtungszähne **22a** in einer Dichtungsbeziehung mit einer Schaufelabdeckung **30**, die auf einen oder mehreren Turbinenschaufeln **32** ausgebildet ist. Das Prinzip des Betriebs der Labyrinthdichtung an dieser Stelle ist ähnlich dem vorstehend beschriebenen.

[0047] [Fig. 3](#) stellt eine typische Wabentyp-Labyrinthdichtung beispielsweise in einer Gasturbine dar. Die Labyrinthdichtungszähne **22b** sind auf dem Rotorrad **33** befestigt und liegen radial einer Wabenstruktur **34** gegenüber, die einen Teil des Stators ausbildet. Somit wird man erkennen, dass die Labyrinthdichtungszähne auf der rotierenden Komponente der drehenden Maschine angeordnet sein können.

[0048] Gemäß [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) enthält eine insgesamt mit **36** bezeichnet typische Bürstendichtung mehrere Borsten **38**, die sich im Wesentlichen in einer radialen Richtung erstrecken, und welche zwischen einem Paar von Dichtungsplatten **40** und **42** angeordnet und eingeschlossen sind. Die Borsten sind im Wesentlichen aus einem auf einen Durchmesser von 0,51 bis 0,152 mm (0,002 bis 0,006 inches) gezogenen Draht aus Legierungsstahl ausgebildet, obwohl Drähte mit größerem Durchmesser zur Verwendung in Umgebungen mit höherem Druck verwendet werden können. Aus einer Betrachtung von [Fig. 5](#) wird man sehen, dass die Unterstützungsplatte **42** eine Auslenkung der Borsten **38** unter der Belastung aus einer Anstromrichtung der Strömung verhindert, während die distalen Enden der Borsten über die distale Kante der Platte **42** hervorstehen, um mit der gegenüberliegenden Komponente, z.B. der Rota-

tionswelle oder dem Rad einer drehenden Maschine in Eingriff zu stehen. Die Borsten **38** sind bevorzugt zwischen den Platten **40** und **42** verschweißt. Zusätzlich wird man aus der Betrachtung von [Fig. 4](#) sehen, dass die Borsten und Platten in Segmenten um den Umfang der Achse der drehenden Maschine herum angeordnet sind.

[0049] Gemäß [Fig. 5](#) ragen die Borsten von dem distalen Ende der Stützplatte **42** über einen Distanz h hervor, welcher der maximalen Auslenkung des Rotors in einer radialen Richtung entspricht. Demzufolge muss die Distanz h ein Minimum sein, das einer maximalen Auslenkung entspricht und von der erwarteten relativen radialen Auslenkung für die spezifische Maschine und dem Dichtungsort abhängt. Man beachte ferner, dass die anstromseitig liegende Platte **40** nützlich ist, um die Borsten während der Dichtungsherstellung in ihrer Lage zu halten, obwohl die Platte **40** für die Dichtung im Einsatz nicht erforderlich ist, wenn axialer Raum wichtig ist. Man wird in [Fig. 4](#) auch erkennen, dass sich die Borsten **38** entlang von Pfaden erstrecken, welche zu dem Radius der drehenden Maschine fehlausgerichtet sind. Somit erstrecken sich die Borsten in einem Winkel, bevorzugt einem gemeinsamen Winkel von angenähert 45 bis 60 Grad, um die radialen Auslenkungen der Welle aufzunehmen, wodurch die Borsten ohne Knicken ausgelenkt werden können.

[0050] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung geschaffen. Beispielsweise ist in [Fig. 6](#) die Kombinationsdichtung mit der Bürstendichtung an und entlang dem axialen anstromseitig liegenden Ende des Dichtringsegmentes **16c** angeordnet dargestellt, wobei die Zähne **22c** der Labyrinthdichtung stromauf von der Bürstendichtung **36c** angeordnet sind. In der dargestellten Ausführungsform sind die Borsten **38c** der Bürstendichtung **36c** zwischen einer stromauf liegenden Klemmplatte **40c** und einer Endwand des Dichtungsringsegmentes **16c** angeordnet. Die Borsten können beispielsweise durch Schweißen befestigt sein. Bezeichnenderweise kann in der dargestellten Anordnung einer von den Labyrinthzähnen **22c** als die Unterstütsplatte der abstromseitig liegenden Seite für die Borsten **38c** der Bürstendichtung **36c** verwendet werden. Demzufolge kann durch die alleinige Hinzufügung einer Enddichtungsplatte **40c** und ohne Verlust eines oder mehrerer Labyrinthzähne die ausfallsichere Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung geschaffen werden. In dem Falle, dass die axiale Raumsituation so ist, dass keine axiale Zunahme in der Abmessung zulässig ist, kann einer oder mehrere von den Labyrinthzähnen **22c** entfernt werden, um eine Befestigung der Bürstendichtung **36c** ohne Vergrößerung der axialen Abmessung des Dichtungsringsegmentes **16c** aufzunehmen. Dieses führt zu einer hoch ausfallsicheren Auslegung, wobei, falls die Bürsten-

dichtung ausfallen sollte, die Labyrinthzähne weiter wirksam bleiben, um eine Dichtung bereitzustellen. Ferner kann die abstromseitig liegende Unterstütsfläche der Borsten **38c** der Bürstendichtung **36c** abgeschrägt sein, um Anti-Hysteresse-Qualitäten der Bürstendichtung zu schaffen. Durch Erzeugen der abgeschrägten Form an der abstromseitig liegenden Unterstütsung der Borsten wird die Normalkraft auf die Unterstütsungsplatte reduziert und jede Hysteresetendenz gemildert. Bei einer Nachrüstung einer Bürstendichtung an einem vorhandenen Labyrinthdichtungssegment in einer drehenden Maschine stellt die Abschrägung der Zähne der Labyrinthdichtung diese Anti-Hysteresse-Qualität bereit, wenn die vorhandenen Zähne als die Unterstütsungsplatte für die zusätzliche Dichtung verwendet werden. Alternativ kann zur Bereitstellung dieser Anti-Hysteresse-Qualitäten ein Beschichtungsmaterial **44** mit niedriger Reibung, wie etwa Bornitrat beispielsweise auf der anstromseitig liegenden Oberfläche der abstromseitig liegenden Unterstütsungsplatte oder der anstromseitig liegenden Oberfläche der Unterstütsungszähne der Labyrinthdichtung vorgesehen werden, um die Reibungskraft zu verringern. Dieses ist in [Fig. 7](#) dargestellt, in welcher eine Unterstütsungsplatte **42d** für die Bürstendichtung **36d** mit dem Material mit niedrigem Reibungskoeffizienten **44** versehen ist.

[0051] [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) stellen unterschiedliche Ausführungsformen der Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung der vorliegenden Erfindung dar. In [Fig. 8](#) ist eine Bürstendichtung **36e** auf der Anstromseite des Dichtringsegmentes **16b** unter Verwendung eines Feder-und-Nut-Sitzes zwischen der Unterstütsungsplatte **42e** der Bürstendichtung **36e** und der anstromseitig liegenden Endfläche des Dichtringsegmentes **16e** vorgesehen. Die Bürstendichtung **36e** kann an das Segment **16e** geschweißt sein oder es können mechanische Befestigungselemente, wie z.B. Schrauben, verwendet werden. Bei der Nachrüstung einer Bürstendichtung an einer Labyrinthdichtung dieses Typs wird man erkennen, dass eine axiale Verlängerung der Endfläche des Dichtringsegmentes **16e** entfernt werden kann, so dass die Bürstendichtung **36e** angebracht werden kann, um daraus die kombinierte Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombination auf dem Dichtungsringsegment **16e** mit derselben sich ergebenden axialen Dimension wie die vorherige Labyrinthdichtung auszubilden. Wie vorstehend erläutert, können, falls erforderlich, einer oder mehrere von den Endlabyrinthdichtungszähnen während dieser Nachrüstung ohne wesentlichen Verlust an Dichtleistung entfernt werden, da insbesondere die Bürstendichtung die effektivere Dichtung der Labyrinth-Bürsten-Dichtungskombination bildet. Wenn die Bürstendichtung ausfällt, wird immer noch eine effektive Dichtung unter Verwendung der restlichen Labyrinthzähne bereitgestellt.

[0052] Gemäß [Fig. 9](#) kann das Dichtungsringsegment **16f** mit einer zentralen Nut **46** entlang seiner Innenseite versehen sein. Beispielsweise kann die Nut **46** in dem Labyrinthdichtungsring als Originalausstattung oder während der Nachrüstung eingearbeitet werden. Der Dichtungsring, wie z.B. der in [Fig. 3](#), kann dann beispielsweise durch Schweißen in der Nut angeordnet und befestigt werden.

[0053] Somit liegt die Bürstendichtung **36f** im Allgemeinen zwischen den Labyrinthdichtungszähnen **22f** der Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung. Man wird erkennen, dass die in den [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dargestellten Ausführungsformen für eine radiale Bewegung federgespannt sein können und beispielsweise der in dem US Patent Nr. 5,002,288 offenbarte Typ mit variablem Abstand durch positiven Druck sein können. Alternativ können die Dichtungssegmente von dem Typ sein, der in dem US Patent Nr. 5,374,068 des gemeinsamen Zessionars hiermit beschrieben ist.

[0054] Gemäß [Fig. 10](#) ist es oft erwünscht, Bürstendichtungen **36g** in Reihe zwischen den rotierenden und festen Komponenten vorzusehen, um radiale Wellenauslenkungen und den Druckabfall über der Dichtung aufzunehmen. Gemäß Darstellung in [Fig. 10](#) sind zwei Bürstendichtungen **36g** an gegenüberliegenden Enden eines festen Teils angeordnet, um die Dichtung zu bewirken. Wie vorstehend erläutert, induziert die Fluidleckage zwischen dem anstromseitig liegenden Borstenpaket einen Wirbel zwischen den Borstenpaketen, welcher eine Beschädigung des abstromseitig liegenden Borstenpaketes bewirken kann. Um dieses Phänomen zu verhindern, kann eine radiale Stufe in dem Rotor vorgesehen werden, wodurch die Borstenpakete **36h** an gegenüberliegenden Enden der Dichtung auf unterschiedlichen Höhen, d.h., radialen Positionen gemäß Darstellung in [Fig. 11](#) liegen. Wenn die Borstenpackungen **36h** wie dargestellt an zwei unterschiedlichen Durchmessern liegen, verläuft die Strömung an dem abstromseitig liegenden Borstenpaket statt radial nach außen gerichtet zu sein und dazu zu neigen, das Borstenpaket wegzuziehen und die Dichtung zu beschädigen, entlang der anstromseitig liegenden Kante des abstromseitig liegenden Borstenpaketes radial nach innen, um so eine Beschädigung des abstromseitig liegenden Borstenpaketes zu verhindern. Dieses ist besonders in Gasturbinen wirksam.

[0055] In einer Dampfturbine ist es oft nicht durchführbar, eine Rotorstufe zu erzeugen, um den Vorteil der umgekehrten Wirbelströmung zu erreichen und somit eine Beschädigung an dem abstromseitig liegenden Borstenpaket zu vermeiden. Jedoch bleibt durch Trennung der anstromseitig liegenden und abstromseitig liegenden Borstenpakete durch die Labyrinthzähne **22i**, wie es in [Fig. 12](#) dargestellt ist, das abstromseitig liegende Borstenpaket **36i** praktisch

durch das Vorhandensein des anstromseitig liegenden Borstenpaketes **36i** unbeeinflusst.

[0056] Demzufolge können Borstenpakete entlang gegenüberliegenden axialen Enden der einzelnen Dichtungsringsegmente angeordnet werden, oder gemäß Darstellung in [Fig. 13](#) können die Borstenpakete **36j** in mehrstufigen Dichtungssegmenten an beiden Enden der Segmente oder zwischen deren axialer Erstreckung gemäß Darstellung angeordnet werden. Man wird erkennen, dass die Borstenpakete mit den Labyrinthdichtungszähnen als Originalausstattung oder Nachrüstung unter Verwendung der in [Fig. 8](#) dargestellten Feder-und-Nut-Anordnung oder der in [Fig. 9](#) dargestellten Nutenanordnung vorgesehen werden können.

[0057] Gemäß [Fig. 14](#) kann die Kombinations-Labyrinth-Bürsten-Dichtung hiervon an der Spitze einer rotierenden Laufschaufel oder Schaufel eingesetzt werden. Somit kann die Bürstendichtung **36k** an einem axialen Ende eines Dichtstreifens **48**, der die Labyrinthdichtungszähne **22k** zum Dichten mit der Schaufelabdichtung **50** der Schaufel **52** befestigt, angebracht werden. Man wird erkennen, dass die Endbefestigung der Bürstendichtung **36k** durch eine Nutenbefestigung der Bürstendichtung **36k** zwischen axial benachbarten Zähnen ähnlich der Darstellung in [Fig. 9](#) ersetzt werden kann. Wie vorstehend angemerkt, kann die Bürstendichtung durch Schweißen oder mechanische Mittel befestigt werden und kann als Originalausstattung oder als Nachrüstung vorgesehen sein.

[0058] [Fig. 14](#) stellt ebenfalls einen an den Fuß der Turbinenschaufel oder Leitschaufel **52** angrenzenden Labyrinthdichtungszahn **222** dar. Dieser Labyrinthzahn **221** bildet eine radiale Spülstreifendichtung **49** des Fußes. Eine Bürstendichtung gemäß vorstehender Beschreibung kann an dieser Stelle in der drehenden Maschine ähnlich wie in den vorstehenden Ausführungsformen vorgesehen werden, indem die Bürstendichtung in Reihe mit der Labyrinthdichtung befestigt wird, wobei die Bürstendichtungsunterstützungsplatte mit einem abgeschrägten Profil versehen wird oder ein Material mit geringem Reibungskoeffizienten darauf aufgebracht wird, oder ein existierender Labyrinthzahn als die Unterstützungsplatte genutzt wird.

[0059] Gemäß [Fig. 15](#) kann in bestimmten Fällen, insbesondere in Gasturbinen der rotierende Teil insbesondere so ausgelegt sein, dass er einen Verschleiß auf der Bürstendichtung vermindert. Beispielsweise kann, wie es in [Fig. 15](#) dargestellt ist, wenn die radiale Interferenz an einer anderen Stelle als dort auftritt, wo sich die Bürstendichtung im stabilen Betriebszustand befindet, die Welle **10m** mit einer Nut **51** versehen sein, um die Interferenz zu verkleinern. Somit ist in [Fig. 15A](#) die Bürstendichtung **36m**

in einer kalten Position als an einem Rotor mit einem bestimmten Durchmesser an einer von der Nut **51** in Abstand angeordneten axialen Stelle anliegend dargestellt. In [Fig. 15B](#) ist die Stabilbetriebszustandslage der Bürstendichtung gegenüber dem Abschnitt der Welle **10m** mit dem größeren Durchmesser angrenzend an die Rotornut **51** dargestellt. In [Fig. 15C](#) ist die Abschaltposition des Rotors und der Bürstendichtung dargestellt, wobei die Bürstendichtungsspitzen mit der Nut in Eingriff stehen. Man wird erkennen, dass diese Form der Erfindung mit und ohne Labyrinthdichtungszähne angewendet werden kann.

[0060] Man wird erkennen, dass die existierende mit Zähnen versehenen Labyrinthdichtungen nachgerüstet oder repariert werden können, indem einer oder mehrere Zähne durch Bürstendichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung ersetzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen einer Kombinations-Labyrinth- und Bürstendichtung zwischen einem Dichtungsband und Rotorscheufelabdeckungen in einer Rotationsmaschine mit einer mehrere drehbare Laufschaufeln (**52**) aufweisenden drehbaren Komponente (**10**) und einer das Dichtungsband (**16c**, **16e**, **16f**) aufweisenden bezüglich Rotation fixierten Komponente, wobei die Komponenten um eine gemeinsame Achse herum liegen, die Laufschaufeln (**52**) die Rotorscheufelabdeckungen (**50**) angrenzend an ihre radial äußeren Enden tragen, und eine Labyrinthdichtung (**14**) zwischen den Komponenten wenigstens einen sich im Wesentlichen um den Umfang herum erstreckenden durch das Dichtungsband (**16c**, **16e**, **16f**, **48**) getragenen und im wesentlichen radial zu den Abmessungen **50** vorstehenden Zahn (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) enthält, um eine Dichtung dazwischen zu bewirken, wobei das Verfahren die Schritte der Anbringung einer Umfangsanordnung diskreter Bürsten (**38c**) auf den Band axial angrenzend an den wenigstens einen Zahn (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) durch Befestigen der Anordnung der diskreten Bürsten (**38c**) an dem Band (**16c**, **16e**, **16f**) aufweist, wobei die Bürsten (**38c**) in einer Ebene im Wesentlichen senkrecht zu der Achse liegen und wobei deren distalen Enden zu den Abdeckungen (**50**) über die radiale Erstreckung des wenigstens einen Zahnes (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) hinaus für eine im Wesentlichen abgedichteten Verbindung zu den Abdeckungen (**50**) vorstehen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, einschließlich des axialen Einbaus der Anordnung von Bürsten (**38c**) gegenüber einer Anstromseite des einen Zahnes (**22**, **22c**, **22f**, **22i**).

3. Verfahren nach Anspruch 1, einschließlich der Anbringung der Anordnung von Bürsten (**38c**) zwischen einem Paar von Unterstützungsplatten (**42d**, **42c**) und in mehreren Lagen davon in einer axialen

Richtung und der Befestigung der Platten (**42d**, **42c**) an einer Endfläche des Bands (**16c**, **16e**, **16f**, **48**).

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Labyrinthdichtung (**14**) mehrere sich im Wesentlichen um den Umfang erstreckende axial in Abstand angeordnete Zähne (**22**, **22c**, **22f**, **22i**), die durch das Band (**16c**, **16e**, **16f**, **48**) getragen werden und radial zu den Abdeckungen (**50**) hin vorstehen, und das Anbringen der Anordnung von Bürsten (**38c**) in mehreren Schichten davon in einer axialen Richtung und auf dem Band (**16c**, **16e**, **16f**, **48**) zwischen einem benachbarten Paar der Zähne (**22**, **22c**, **22f**, **22e**) beinhaltet.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Labyrinthdichtung (**14**) mehrere sich im Wesentlichen um den Umfang erstreckende axial in Abstand angeordnete Zähne (**22**, **22c**, **22f**, **22i**), die durch das Band (**16c**, **16e**, **16f**, **48**) getragen werden und radial zu den Abdeckungen (**50**) hin vorstehen, und das Entfernen wenigstens eines Abschnittes eines der Zähne (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) und das Ersetzen des entfernten Zahnabschnittes durch die Anordnung von Bürsten (**38c**) beinhaltet.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Maschine aus einer Dampfturbine mit einem festen Gehäuse besteht, das Dichtungsband mehrere von dem festen Gehäuse getragene gekrümmte Segmente zur Bewegung in radialer Richtung auf die Achse zu und von dieser weg enthält, wenigstens eine Feder für jedes Segment das Segment zur Bewegung in einer von radialen Richtungen vorspannt, wenigstens ein Zahn (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) von einer gekrümmten Innenoberfläche jedes Segmentes getragen wird, und einschließlich des Schrittes der Befestigung wenigstens eines gekrümmten Abschnittes der Anordnung von Bürsten (**38c**) an jedem Segment an einer axial in Abstand angeordneten Position entlang dem wenigstens einen Segment in Bezug auf die Zähne (**22**, **22c**, **22f**, **22i**).

7. Verfahren nach Anspruch 6, einschließlich der Ausbildung einer Nut (**46**) in einer Innenfläche jedes Segmentes, Anbringung eines gekrümmten Abschnittes der Anordnung von Bürsten (**38c**) zwischen einem Paar gekrümmter Platten (**40**, **42**) und einer Befestigung der Bürsten (**38c**) und Platten (**40**, **42**) in den Nuten (**46**) der Segmente.

8. Verfahren nach Anspruch 6, einschließlich der Schritte der Befestigung einer ersten Anordnung gekrümmter Abschnitte der sich um den Umfang herum erstreckenden Anordnung von Bürsten (**38c**) an den Segmenten angrenzend an deren Seite stromauf von den Zähnen (**22**, **22c**, **22f**, **22i**) und der Befestigung einer zweiten Anordnung gekrümmter Abschnitte der sich um den Umfang herum erstreckenden Anordnung von Bürsten (**38c**) an den Segmenten angren-

zend an deren gegenüberliegenden Seite stromab von den Zähnen (**22**, **22c**, **22f**, **22i**), wodurch die Zähne axial zwischen den ersten und zweiten Anordnung von Bürsten (**38c**) liegen.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

FIG.1 (STAND DER TECHNIK)

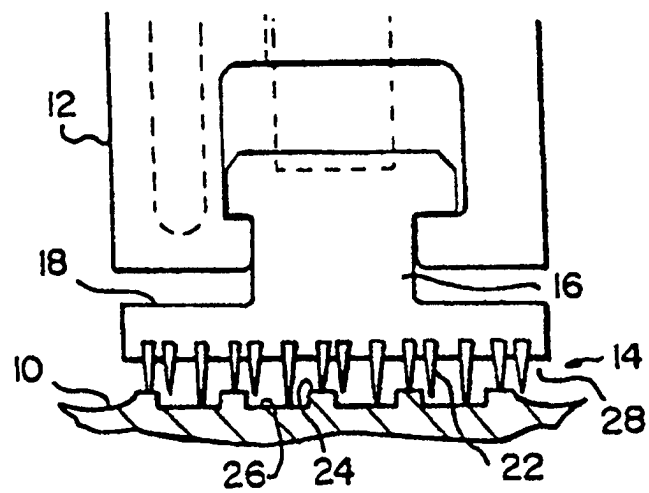
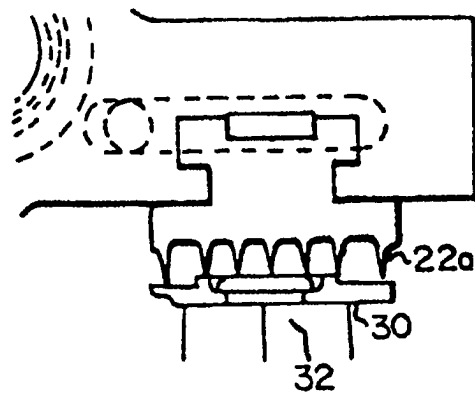


FIG. 2
(STAND DER TECHNIK)



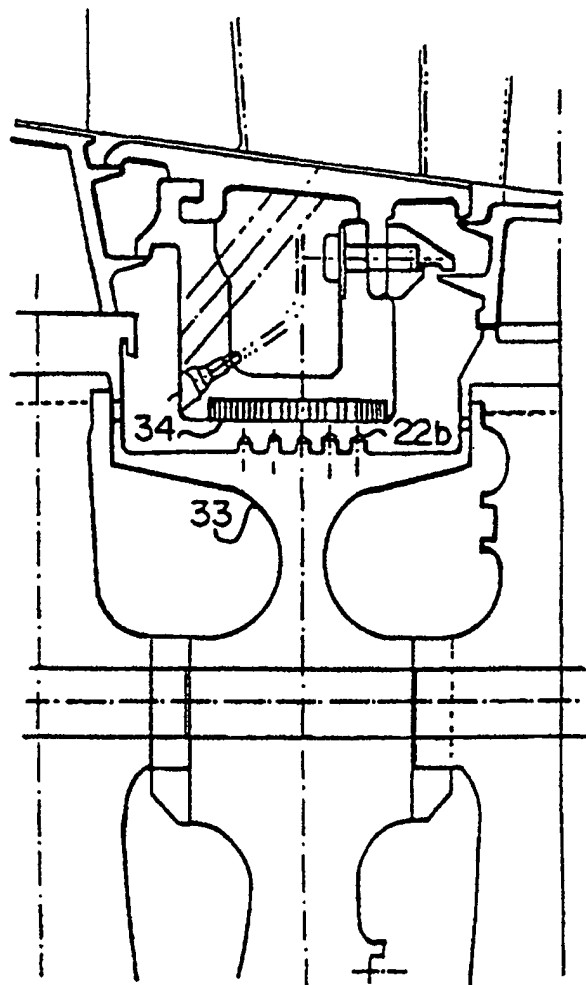
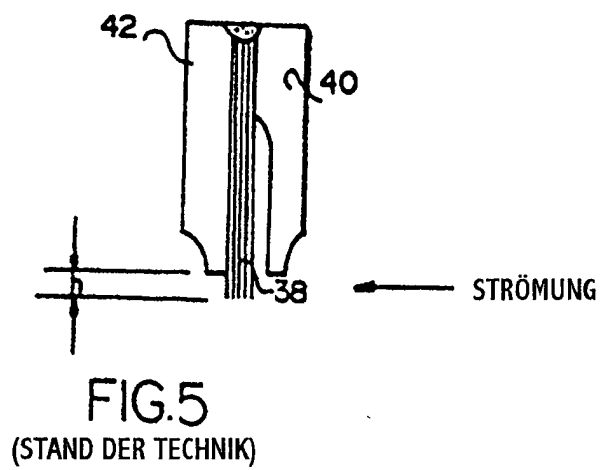
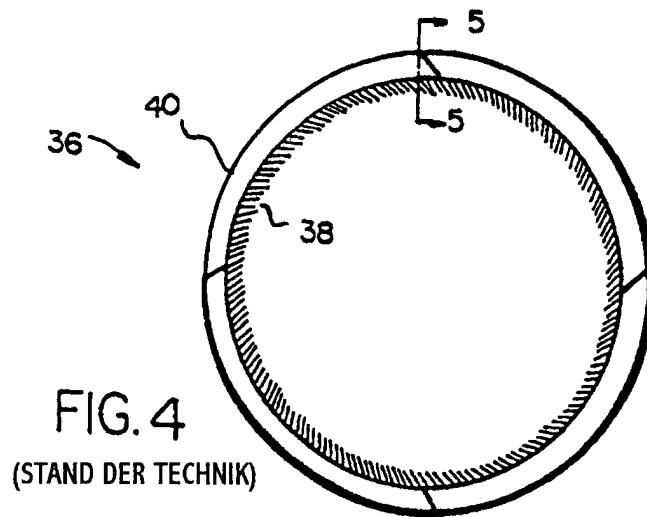


FIG. 3 (STAND DER TECHNIK)



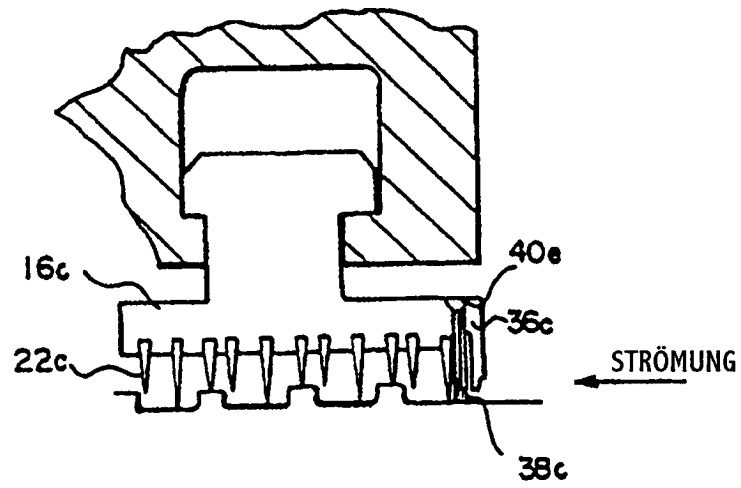
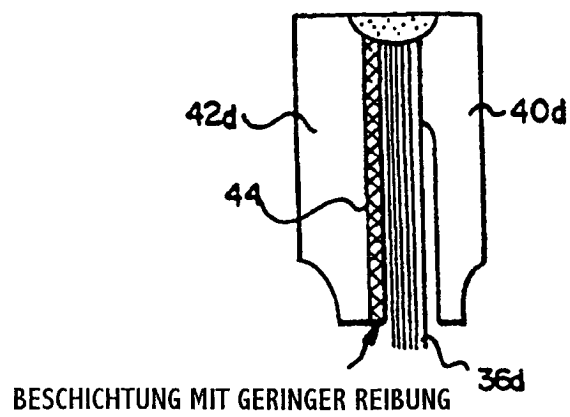


FIG. 6

FIG. 7



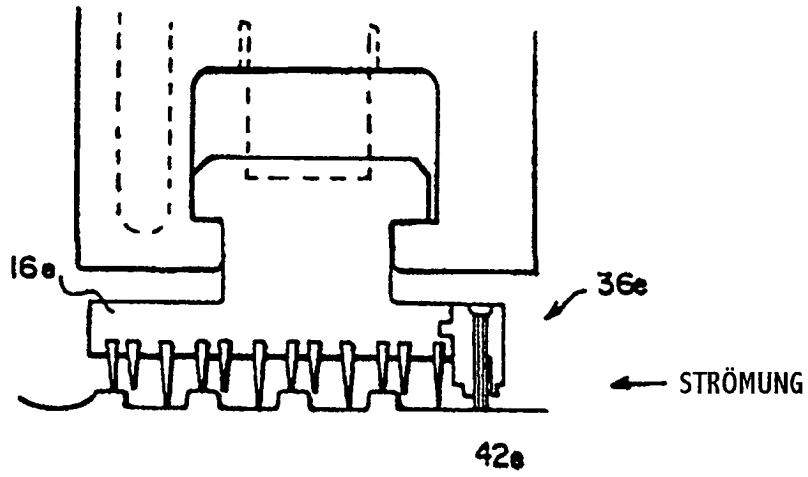


FIG. 8

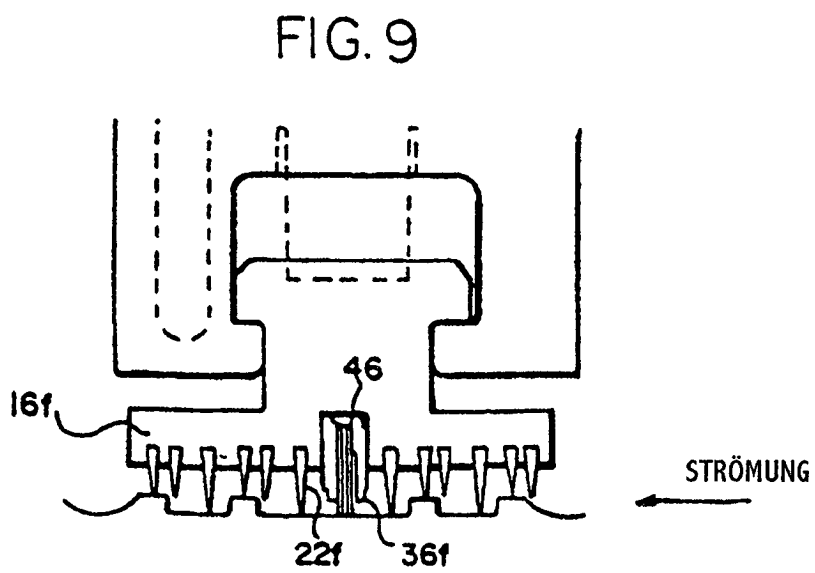


FIG. 9

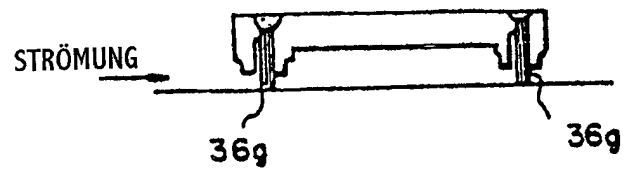


FIG. 10

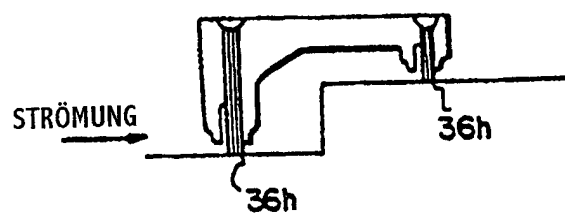


FIG. 11

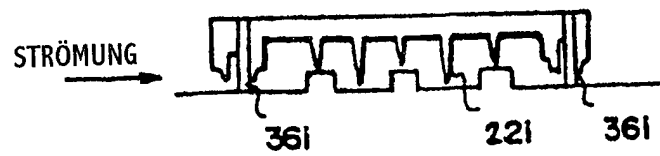
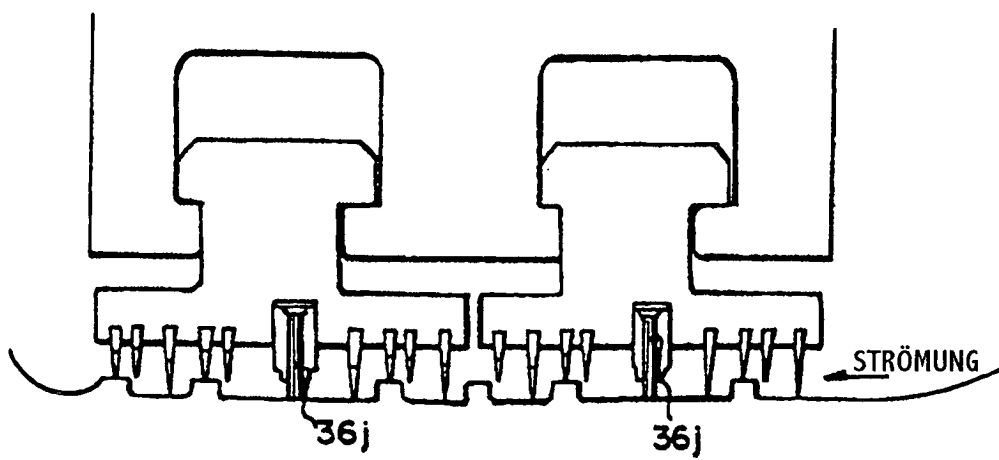
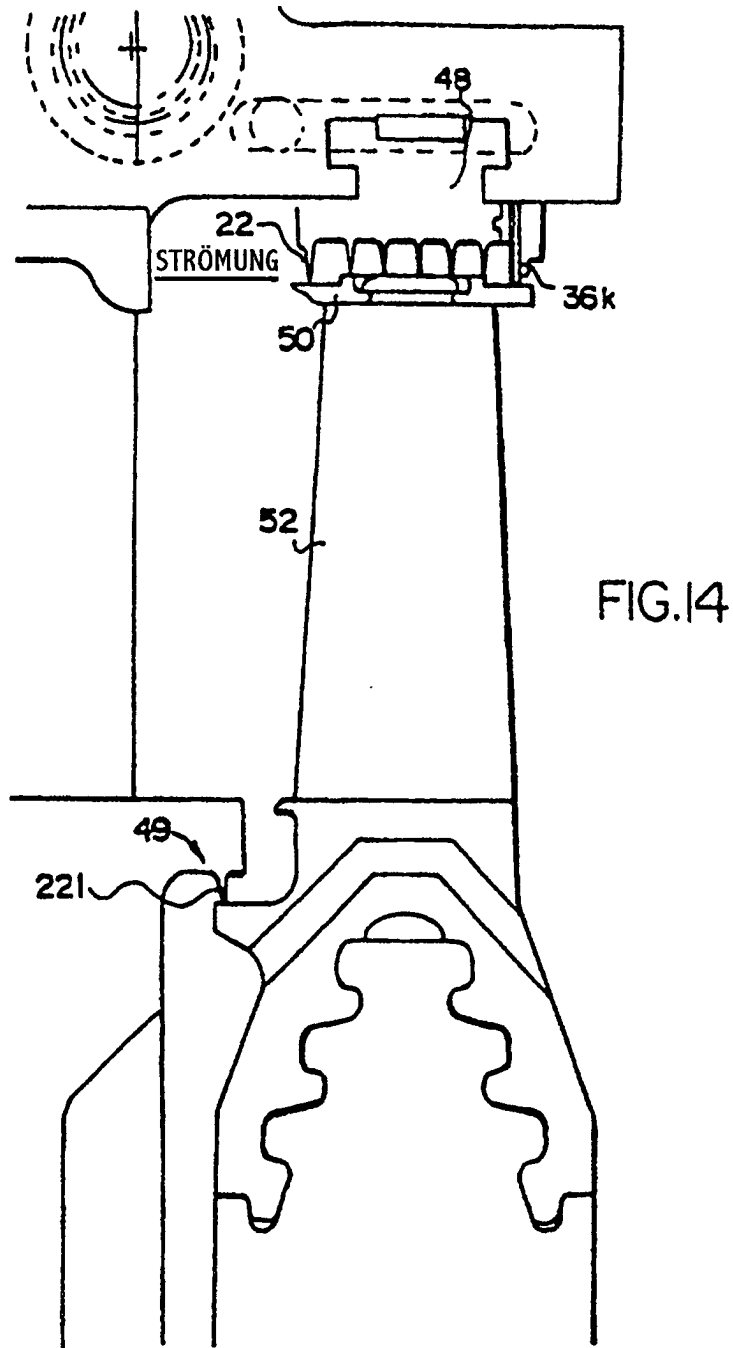


FIG. 12

FIG. 13





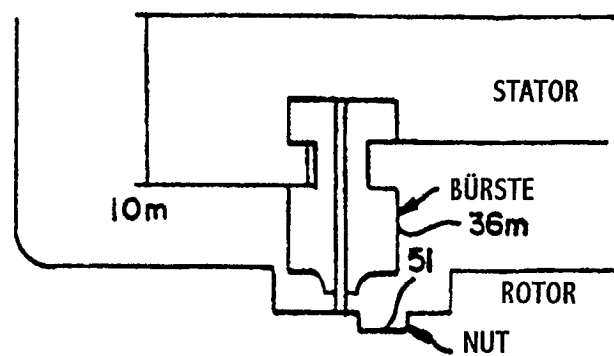


FIG. 15A

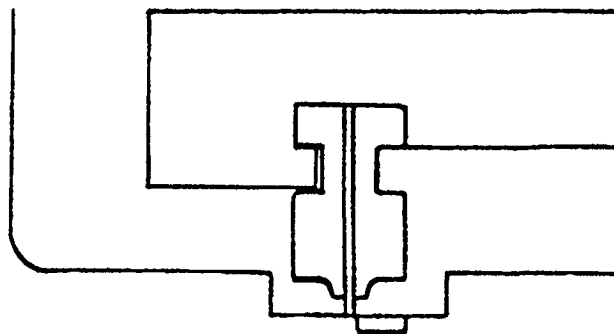


FIG. 15B

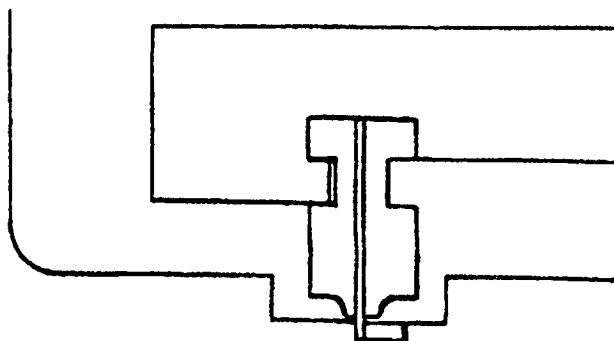


FIG. 15C