



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 38 076 T2** 2009.03.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 070 888 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 38 076.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 306 178.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.02.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.03.2009**

(30) Unionspriorität:

145049 P	22.07.1999	US
505805	17.02.2000	US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, LI

(73) Patentinhaber:

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

(72) Erfinder:

Aksit, Mahmut Faruk, Troy, New York 12180, US;
Mayer, Robert Russell, Schenectady, New York
12306, US; Dinc, Osman Saim, Troy, New York
12180, US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Bürstendichtung und Maschine mit einer Bürstendichtung**

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 allgemein Dichtungen und insbesondere eine Bürstendichtung und eine Maschine mit einer Bürstendichtung.

[0002] Maschinen umfassen Rotationsmaschinen, wie beispielsweise Turbinen für Dampfturbinen und Verdichter sowie Turbinen für Gasturbinen. Eine Dampfturbine weist einen Dampfpfad auf, der gewöhnlich, in serieller Strömungsbeziehung zueinander, einen Dampfeinlass, eine Turbine und einen Dampfauslass enthält. Eine Gasturbine weist einen Gaspfad auf, der gewöhnlich, in serieller Strömungsverbindung zueinander, einen Lufteintritt (oder -einlass), einen Verdichter, eine Brennkammer, eine Turbine und einen Gasauslass (oder eine Auslassdüse) enthält. Gas- oder Dampfleckströme, entweder aus dem Gas- oder Dampfpfad heraus oder in den Gas- oder Dampfpfad hinein, aus einem Bereich mit höherem Druck zu einem Bereich mit niedrigerem Druck sind im Allgemeinen unerwünscht. Beispielsweise verringert eine Gaspfadleckage in der Turbine oder dem Verdichterbereich einer Gasturbine zwischen dem Rotor der Turbine oder dem Verdichter und dem diese bzw. diesen in Umfangsrichtung umgebenden Turbinen- oder Verdichtergehäuse den Wirkungsgrad der Gasturbine, was zu erhöhten Brennstoffkosten führt. Ferner verringert eine Dampfpfadleckage in dem Turbinenbereich einer Dampfturbine zwischen dem Rotor der Turbine und dem diese in Umfangsrichtung umgebenden Gehäuse die Effizienz der Dampfturbine, was zu erhöhten Brennstoffkosten führt.

[0003] Es sind ringförmige Bürstendichtungen zur Verwendung zwischen einem Rotor und einem Umgebungsgehäuse in Gas- und Dampfturbinen vorgeschlagen worden, vgl. US-A-4 600 202. Die ringförmige Bürstendichtung ist aus längs des Umfangs aneinander gereihten Bürstendichtungssegmenten aufgebaut. Jedes Bürstendichtungssegment ist an dem Gehäuse angebracht und enthält eine Rückplatte (d. h. stromabwärtige Platte), eine Frontplatte (d. h. stromaufwärtige Platte) sowie Borsten, die zwischen der Rückplatte und der Frontplatte positioniert sind, wobei sich das freie Ende im Wesentlichen jeder Borste über die Ränder der Rückplatte und der Frontplatte hinaus erstreckt. Die Borsten sind gewöhnlich unter einem Winkel von im Allgemeinen 45° in der Drehrichtung des Rotors geneigt, und die freien Enden der Borsten befinden sich in der Nähe des Rotors (und können diesen sogar berühren). Gewöhnlich ist die Frontplatte (und sind in einigen Konstruktionen auch Teile der Rückplatte) in der Nähe der freien Enden der Borsten von den Borsten beabstandet angeordnet, um einen Freiraum für die Borsten zu schaffen, damit sich diese während flüchtiger Zusammenstöße der freien Enden der Borsten mit dem Rotor verbiegen und ihre Ausgangslage wieder erlangen

können. Es sind metallene Drahtborsten vorgeschlagen worden, wobei ein Ende jeder Borste zwischen der Frontplatte und der Rückplatte angeordnet und an diese angeschweißt wird. Gewöhnlich weist jede Borste einen Durchmesser zwischen 0,002 Zoll und 0,008 Zoll auf. Gewöhnlich sind mehr als 50 Reihen von Borsten zwischen der Frontplatte und der Rückplatte vorgesehen, weil weitere Reihen die Bürstendichtung zu steif für eine ordnungsgemäße Funktion und in den gewünschten Maßtoleranzen sehr schwierig herzustellen machen würden. Was gebraucht wird, ist eine verbesserte Bürstendichtung für eine Maschine.

[0004] Gemäß einem ersten Aspekt einer Ausführungsform der Erfindung dient eine Bürstendichtung der Reduktion der Leckage eines Fluids an einer Druckdifferenz in einer Maschine. Die Bürstendichtung enthält einen Borstenhalter, der an der Maschine befestigt werden kann. Die Bürstendichtung enthält ferner Filamentfadenborsten, die an dem Borstenhalter gesichert sind. Der Filamentfaden ist ein Aramidfaserfaden.

[0005] Gemäß einem zweiten Aspekt einer Ausführungsform der Erfindung dient eine Bürstendichtung der Reduktion einer Leckage eines Fluids an einer Druckdifferenz in einer Maschine. Die Bürstendichtung enthält einen Borstenhalter, der an der Maschine befestigt werden kann. Die Bürstendichtung enthält ferner Fäden, wobei jeder der Fäden Filamente enthält, wobei jeder der Filamente Borsten bildet und wobei jede der Borsten an dem Borstenhalter gesichert ist. Die Filamente sind Aramidfasern.

[0006] Gemäß einem dritten Aspekt einer Ausführungsform der Erfindung enthält eine Maschine eine erste und eine zweite Komponente, ein Fluid und eine Bürstendichtung. Die zweite Komponente ist im Abstand zu der ersten Komponente angeordnet, um dazwischen einen Spalt zu bilden. Das Fluid weist während des Maschinenbetriebs einen Druckabfall im Wesentlichen quer zu dem Spalt auf. Die Bürstendichtung enthält einen Borstenhalter, der an der Maschine angebracht werden kann, und enthält ferner Filamentfadenborsten, die an dem Borstenhalter gesichert sind. Der Filamentfaden ist ein Aramidfaserfaden.

[0007] Gemäß einem vierten Aspekt einer Ausführungsform der Erfindung enthält eine Rotationsmaschine einen Stator, einen Rotor, ein Fluid und eine Bürstendichtung. Der Rotor ist radial von dem Stator beabstandet, um dazwischen einen Spalt zu bilden. Das Fluid weist während eines Maschinenbetriebs eine Druckdifferenz auf, die im Wesentlichen quer zu dem Spalt verläuft. Die Bürstendichtung enthält einen Bürstenhalter, der an dem Stator befestigt werden kann. Die Bürstendichtung enthält ferner Fäden, wobei jeder der Fäden Filamente enthält, wobei jedes

der Filamente eine Borste bildet und wobei jede der Borsten an dem Borstenhalter gesichert ist. Die Filamente sind Aramidfasern.

[0008] Einige Nutzen und verschiedene Vorteile werden aus der Erfindung abgeleitet. Die Verwendung von Aramidfasern für die Borsten einer Bürstendichtung für eine Maschine ergibt Borsten mit kleinerem Durchmesser, was deutlich höhere Borstenpackungsdichten zur Folge hat, die eine Leckage wesentlich reduzieren sollten. Eine Verwendung eines Fadens aus Aramidfasern ermöglicht es, eine Bürstendichtung aus Borsten mit kleinem Durchmesser aufzubauen, weil es praktisch unmöglich ist, einzelne Aramidfasern kleinen Durchmessers zu handhaben und an einem Borstenhalter zu sichern. Ein Beispiel für einen Aramidfaserfaden bildet ein Aramidfaserfaden aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont). Es ist zu beachten, dass eine Herstellung bekannter Metalldraht- oder Keramikdrahtborsten mit kleinerem Durchmesser dazu führen würde, dass die Borsten im Gebrauch leicht brechen würden.

[0009] Die Erfindung ist nachstehend in größeren Einzelheiten zu Beispielszwecken unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in denen zeigen:

[0010] [Fig. 1](#) eine schematisierte Seitenansicht eines Teils eines mit Wasserstoff gekühlten elektrischen Generators, der zwei Bürstendichtungen enthält, im Querschnitt;

[0011] [Fig. 2](#) eine schematisierte Draufsicht von vorne auf ein -Bürstendichtungssegment einer der Bürstendichtungen nach [Fig. 1](#) und

[0012] [Fig. 3](#) eine Ansicht des Bürstendichtungssegmentes nach [Fig. 2](#), geschnitten entlang der Linien 3-3 in [Fig. 2](#).

[0013] Indem nun auf die Zeichnungen Bezug genommen wird, zeigt [Fig. 1](#) in schematisierter Weise eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in Form eines Teils einer Maschine **10** (die eine Rotationsmaschine **12** ist) mit zwei Bürstendichtungen **14** und **16**, wobei eine der Bürstendichtungen **14** in größeren Einzelheiten in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) veranschaulicht ist. Es ist verständlich, dass die Bürstendichtung **16** der Bürstendichtung **14** ähnlich oder mit dieser im Wesentlichen identisch ausgebildet ist und dass die Beschreibung der Bürstendichtung **14**, wie sie nachstehend angegeben ist, auch als eine Beschreibung der Bürstendichtung **16** dient. In einem Beispiel, wie es in [Fig. 1](#) veranschaulicht ist, stellt die Rotationsmaschine **12** einen elektrischen Generator und insbesondere einen Wasserstoff gekühlten elektrischen Generator dar. In anderen Beispielen ist die Rotationsmaschine **12**, ohne Beschränkung, ein Kreiselerdichter, eine Dampfturbine (einschl. eines

Turbinenabschnitts von dieser), wie sie durch ein Energieversorgungsunternehmen verwendet wird, oder eine Gasturbine (einschl. eines Verdichterabschnitts oder eines Turbinenabschnitts von dieser), wie sie als ein Flugzeugtriebwerk verwendet oder durch ein Energieversorgungsunternehmen genutzt wird. Derartige weitere Beispiele sind in den Zeichnungen weggelassen. Es ist zu beachten, dass die Erfindung nicht darauf beschränkt ist, mit einer Rotationsmaschine in Verbindung gebracht zu werden, und dass sie mit einer beliebigen Maschine in Verbindung gebracht werden kann, die während eines Maschinenbetriebs einen Fluiddruckabfall erfährt. Ein Beispiel für eine nicht drehende Maschine stellt, ohne Beschränkung, eine Maschine mit linearer Hin- und Herbewegung dar. Es ist ferner zu beachten, dass die Erfindung nicht darauf beschränkt ist, als eine Maschine zum Ausdruck gebracht zu werden, so dass sie auch in Form einer Bürstendichtung für eine Maschine zum Ausdruck gebracht werden kann. Die Bürstendichtung ist nicht auf einen sich bewegenden oder umlaufenden Teil der Maschine beschränkt und kann zwischen zwei Komponenten, die keine relative Bewegung oder relative Drehung aufweisen, eingesetzt werden.

[0014] Eine erste Ausdrucksform der Ausführungsform der Erfindung, wie sie in den [Fig. 1–Fig. 3](#) veranschaulicht ist, ist eine Bürstendichtung **14** zur Reduktion einer Leckage eines Fluids an einem Druckabfall bzw. einer Druckdifferenz in einer Maschine **10**. Für die Zwecke der Beschreibung der Erfindung ist zu verstehen, dass die Terminologie „Bürstendichtung“ ohne Beschränkung ein Segment einer Bürstendichtung umfasst, wenn eine derartige Bürstendichtung in Form von Segmenten hergestellt ist, die aneinander gereiht werden, um die vollständige Bürstendichtung zu bilden. Die Bürstendichtung **14** enthält einen Borstenhalter **18**, der an der Maschine **10** befestigt werden kann, und Filamentfadenborsten **20**, die an dem Borstenhalter **18** gesichert sind. Eine Filamentfadenborste **20** ist als eine Borste definiert, die aus einem Filament **22** besteht oder im Wesentlichen besteht, das an einen Bürstendichtungshersteller gemeinsam mit anderen Filamenten **22** in Form eines Fadens **24**, **26**, **28** und **30** geliefert wird. Gewöhnlich weist jede der Borsten **20** einen Durchmesser auf, der kleiner ist als 0,00254 cm (0,001 Zoll und in einem Beispiel einen Durchmesser von im Wesentlichen 0,00056 Zoll aufweist), wobei ein Faden **24–30** zwischen 1000 und 2000 Borsten **20** enthält und eine Bürstendichtung **14** zwischen einem Faden und hundert von Fäden **24–30** enthält. In einer Ausgestaltung sind die Borsten **20** nicht metallische Borsten und sind durch Filamente **22** aus einem Aramidfaserfaden gebildet. Ein beispielhafter Aramidfaserfaden ist ein Aramidfaserfaden aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont). Weitere Beispiele für Filamentfäden umfassen, ohne Beschränkung darauf, Nylon-, Polyester- und Fluorkohlenwasserstoff-Filamentfä-

den. In einer Ausgestaltung weist jede der Borsten **20** ein erstes Ende **32** und ein zweites Ende **34** auf, wobei jede der Borsten **20** in der Nähe des ersten Endes **32** an dem Borstenhalter **18** gesichert ist und wobei das zweite Ende **34** ein freies Ende ist. Gewöhnlich weisen die Borsten **20** eine Packungsdichte auf, die größer ist als 100.000 Fasern pro Zoll (und sie weisen in einem Beispiel eine Packungsdichte von im Wesentlichen 272.000 Fasern pro Zoll auf).

[0015] Eine zweite Ausdrucksform der Ausführungsform der Erfindung, wie sie in den [Fig. 1–Fig. 3](#) veranschaulicht ist, ist eine Bürstendichtung **14** zur Reduktion einer Leckage eines Fluids an einer Druckdifferenz in einer Maschine **10**. Die Bürstendichtung **14** enthält einen Borstenhalter **18**, der an der Maschine **10** befestigt werden kann. Die Bürstendichtung **14** enthält ferner mehrere Fäden **24–30**, wobei jeder der Fäden **24–30** im Wesentlichen mehrere Filamente **22** aufweist (oder aus diesen besteht), wobei jedes der Filamente **22** eine Borste **20** bildet und wobei jede der Borsten **20** an dem Borstenhalter **18** gesichert ist. Für die Zwecke der Beschreibung der Erfindung ist zu verstehen, dass die Terminologie „mehrere Fäden“ bzw. „eine Vielzahl von Fäden“ ohne Beschränkung mehrere kürzere Fadenabschnitte bzw. -segmente enthält, die aus einem oder mehreren längeren Fäden ausgeschnitten werden. In einer Anwendung enthält die Bürstendichtung **14** wenigstens 50 Fäden (wobei der Übersichtlichkeit wegen lediglich vier Fäden **24–30** in [Fig. 2](#) veranschaulicht sind). In einer beispielhaften Ausgestaltung weist jedes der Filamente **22** im Wesentlichen eine Aramidfaser, wie beispielsweise eine Aramidfaser aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont), auf oder besteht daraus, und jeder der Fäden **24–30** besteht aus 1000 bis 2000 Filamenten **22**. In dieser Ausgestaltung weist jedes der Filamente **22** einen Durchmesser von weniger als 0,001 Zoll auf, und die Filamente **22** weisen eine Packungsdichte von mehr als 100.000 Filamenten pro Zoll auf. Bei dieser Ausgestaltung weist jede der Borsten **20** ein erstes Ende **32** und ein zweites Ende **34** auf, wobei jede der Borsten **20** in der Nähe des ersten Endes **32** an dem Borstenhalter **18** gesichert ist und wobei das zweite Ende **34** ein freies Ende bildet.

[0016] In einer dritten Ausdrucksform der Erfindung, wie sie in den [Fig. 1–Fig. 3](#) veranschaulicht ist, enthält eine Maschine **10** eine erste Komponente **36**, eine zweite Komponente **38**, ein Fluid **40** und eine Bürstendichtung **14**. Die zweite Komponente **38** ist im Abstand zu der ersten Komponente **36** angeordnet, um einen Spalt **42** zwischen der ersten und der zweiten Komponente **36** und **38** zu bilden. Das Fluid **40** steht in Strömungsverbindung mit dem Spalt **42**, wobei das Fluid **40** eine Druckdifferenz im Wesentlichen quer zu dem Spalt **42** aufweist und wobei die Druckdifferenz während eines Betriebs der Maschine **10** erzeugt wird. Es ist zu beachten, dass die Druckdiffe-

renz durch die Maschine selbst erzeugt werden kann oder unabhängig von der Maschine herbeigeführt werden kann.

[0017] Die Bürstendichtung **14** enthält einen Borstenhalter **18**, der an der Maschine **10** befestigt werden kann, und Filamentfadenborsten **20**, die an dem Borstenhalter **18** gesichert sind. Eine Filamentfadenborste **20** ist als eine Borste definiert, die aus einem Filament **22** besteht oder im Wesentlichen besteht, der zu einem Bürstendichtungshersteller gemeinsam mit weiteren Filamenten **22** in der Form eines Fadens **24**, **26**, **28** und **30** geliefert wird. Gewöhnlich weist jede der Borsten **20** einen Durchmesser von weniger als 0,00254 cm (0,001 Zoll) auf, wobei ein Faden **24–30** zwischen 1000 und 2000 Borsten **20** enthält und eine Bürstendichtung **14** zwischen einem und hunderten von Fäden **24–30** enthält. In einer Ausgestaltung sind die Borsten **20** Filamente **22** aus einem Aramidfaserfaden. Ein beispielhafter Aramidfaserfaden ist ein Aramidfaserfaden aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont). Zu weiteren Beispielen von Filamentfäden gehören ohne Beschränkung Nylon-Polyester- und Fluorkohlenwasserstoff-Filamentfäden. In einer Ausgestaltung weist jede der Borsten **20** ein erstes Ende **32** und ein zweites Ende **34** auf, wobei jede der Borsten **20** in der Nähe des ersten Endes **32** an dem Borstenhalter **18** gesichert ist und wobei das zweite Ende **34** ein freies Ende ist. Gewöhnlich weisen die Borsten **20** eine Packungsdichte von mehr als 100.000 Filamenten pro Zoll auf.

[0018] In einer vierten Ausdrucksform der Erfindung, wie sie in den [Fig. 1–Fig. 3](#) veranschaulicht ist, enthält eine Rotationsmaschine **12** einen Stator **44**, einen Rotor **46**, ein Fluid **40** und eine Bürstendichtung **14**. Der Rotor **46** ist im Wesentlichen coaxial zu dem Stator **44** angeordnet und radial von dem Stator **44** beabstandet, um einen Spalt **42** zwischen dem Stator **44** und dem Rotor **46** zu bilden. Gewöhnlich umgibt der Stator **44** den Rotor **46** längs des Umfangs, wie aus [Fig. 1](#) ersichtlich, wobei bestimmte Anwendungen es erfordern, dass der Rotor den Stator in Umfangsrichtung umgibt, wie dies für einen Fachmann allgemein bekannt ist. Das Fluid **40** ist in dem Spalt **42** angeordnet, wobei das Fluid **40** einen Druckabfall bzw. eine Druckdifferenz im Wesentlichen quer zu dem Spalt **42** aufweist und wobei die Druckdifferenz während eines Betriebs der Maschine **10** erzeugt wird.

[0019] Die Bürstendichtung **14** enthält einen Borstenhalter **18**, der an dem Stator **44** der Rotationsmaschine **12** befestigt werden kann. Die Bürstendichtung **14** enthält ferner mehrere Fäden **24–30**, wobei jeder der Fäden **24–30** im Wesentlichen mehrere Filamente **22** aufweist (oder aus diesen besteht), wobei jedes der Filamente **22** eine Borste **20** bildet und wobei jede der Borsten **20** an dem Borstenhalter **18** gesichert ist. In einer Anwendung enthält die Bürsten-

dichtung **14** wenigstens **50** Fäden (wobei der Übersichtlichkeit wegen lediglich vier Fäden **24–30** in [Fig. 2](#) veranschaulicht sind). In einer beispielhaften Ausgestaltung weist jedes der Filamente **22** im Wesentlichen eine Aramidfaser, beispielsweise eine Aramidfaser aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont) auf oder besteht aus dieser, und jeder der Fäden **24–30** besteht aus zwischen 1000 und 2000 Filamenten **22**. In dieser Ausgestaltung weist jedes der Filamente **22** einen Durchmesser von weniger als 0,00254 cm (0,001 Zoll) auf, und die Filamente **22** weisen eine Packungsdichte auf, die größer ist als 100.000 Filamente pro Zoll. Bei dieser Ausgestaltung weist jede der Borsten **20** ein erstes Ende **32** und ein zweites Ende **34** auf, wobei jede der Borsten **20** an dem Borstenhalter **18** in der Nähe des ersten Endes **32** gesichert ist und wobei das zweite Ende **34** ein freies Ende bildet, das sich im Wesentlichen in Richtung des Rotors **46** erstreckt. Das zweite Ende **34** ist in der Nähe des Rotors **46** angeordnet, wobei es in einigen Anwendungen derart angeordnet ist, dass es den Rotor **46** gerade noch berührt. Gewöhnlich sind die Borsten **20** unter einem Winkel, beispielsweise im Allgemeinen unter einem Winkel von 45°, wie in [Fig. 2](#) veranschaulicht, geneigt, wobei eine derartige Neigung für einen Fachmann bekannt ist, um eine Störbeeinflussung mit dem Rotor **46** zu minimieren, wenn der Rotor **46** in der in [Fig. 2](#) vorliegenden Art vorzustellen ist und in [Fig. 2](#) im Gegenuhrzeigersinn rotiert.

[0020] In einer Ausgestaltung ist der Stator **44** ein Stator eines elektrischen Generators, und der Rotor **46** bildet einen Rotor des elektrischen Generators. Hier dient die Bürstendichtung **14** dazu, den Leckstrom eines Fluids **40**, das ein flüssiges Öl **48** ist, zu reduzieren. In einer speziellen Verbesserung dieser Ausgestaltung ist der Stator **44** ein Stator eines Wasserstoff gekühlten elektrischen Generators, und der Rotor **46** ist ein Rotor eines Wasserstoff gekühlten elektrischen Generators. Hier dient die Bürstendichtung **16** (die andere in [Fig. 1](#) veranschaulichte Bürstendichtung) dazu, die Leckage eines Fluids **40**, das durch Wasserstoff **50** im gasförmigen Zustand gebildet ist, zu reduzieren. Eine Rotationsmaschine **12**, die ein Wasserstoff gekühlter elektrischer Generator ist, weist unter Druck stehenden gasförmigen Wasserstoff **50** auf, der für Kühlzwecke in demjenigen Teil des Spalts **42** vorhanden ist, der sich links von der Bürstendichtung **16**, wie in [Fig. 1](#) zu sehen, befindet.

[0021] Der Druckabfall des gasförmigen Wasserstoffs **50** verläuft, betrachtet in [Fig. 1](#), von links nach rechts über der Bürstendichtung **16**. Um einen gasförmigen Wasserstoff **50**, der an der Bürstendichtung **16** vorbeiströmt, daran zu hindern, aus der Rotationsmaschine **12** zu entweichen, wird (an einem in [Fig. 1](#) nicht sichtbaren Eintrittspunkt) ein unter hohem Druck gesetztes Flüssigöl **48** in denjenigen Abschnitt des Spalts **42** eingebracht, der sich zwischen der Bür-

tendichtung **14** und einem Lager **52** befindet. Der Druckabfall des Flüssigöls **48** verläuft von rechts nach links über die Bürstendichtung **14**, betrachtet in [Fig. 1](#). Ein ausgetretener gasförmiger Wasserstoff und ausgetretenes flüssiges Öl wird aus der Rotationsmaschine **12** durch eine Leitung **54** abgeführt, getrennt (nicht veranschaulicht) und in die Rotationsmaschine **12** wieder zurückgeführt. Die Bürstendichtungen **14** und/oder **16** können in anderen Anwendungen, wie beispielsweise, jedoch nicht einschränkend, in einem Spalt zwischen einem Stator und einem Rotor (einschl. einer Spitze einer Rotorlaufschaukel) eines beliebigen Verdichter- und/oder Turbinenabschnitts eines Flugzeuggasturbinentriebswerks oder eines beliebigen Turbinenabschnitts einer Dampfturbine oder eines Verdichter- und/oder Turbinenabschnitts einer Gasturbine eines Energieversorgungsunternehmens verwendet werden.

[0022] Ein Verfahren zur Herstellung der Bürstendichtung **10** der Anmelderin mit ihren Filamentfadenborsten **20** umfasst ein Aufschneiden eines langen Fadens in kürzere Fäden gleicher Größe (die auch als Fadenabschnitte oder -segmente bezeichnet werden können), ein Wickeln der Fäden rings um einen Kerndraht und ein Festklemmen der gewickelten Fäden. Ein weiteres Verfahren umfasst ein Festklemmen der Fäden zwischen einer Frontplatte und einer Rückplatte eines Borstenhalters und eine anschließende Verwendung eines Epoxidharzes hoher Temperatur oder eines sonstigen Klebstoffes, um die Fäden und die Frontplatte sowie die Rückplatte miteinander zu verbinden. Ein beispielhaftes Verfahren, dessen Ergebnisse in den [Fig. 2–Fig. 3](#) veranschaulicht sind, umfasst die Beschaffung einer schweißbaren Frontplatte **56** eines Borstenhalters **18** mit einer Stufe **58**, die Beschaffung einer schweißbaren Rückplatte **60** eines Borstenhalters **18** mit einer Stufe **62**, die zu der Stufe **58** der Frontplatte **56** passt, ein Einklemmen der Fäden **24–30** zwischen den zusammenpassenden Stufen **62** und **58** und ein Verschweißen der Frontplatte **56** mit der Rückplatte **60**, wobei die Schweißverbindungsstelle **64** von dem ersten Ende **62** der Borsten **20** beabstandet ist.

[0023] Aus der Erfindung lassen sich einige Nutzen und Vorteile ableiten. Die Verwendung von Aramidfasern für die Borsten **20** einer Bürstendichtung **14** für eine Maschine **10** ergibt Borsten **20** mit kleinerem Durchmesser, was deutlich erhöhte Borstenpackungsdichten zur Folge hat, die eine Leckage deutlich reduzieren sollten. Eine Verwendung eines Fadens **24–30** aus Filamenten **22** (beispielsweise Aramidfasern) ermöglicht es, eine Bürstendichtung **14** aus Borsten **20** mit kleinem Durchmesser einzurichten, weil es praktisch unmöglich ist, einzelne Aramidfasern kleinen Durchmessers zu handhaben und an einem Borstenhalter **18** zu sichern. Ein Beispiel für einen Aramidfaserfaden ist ein Aramidfaserfaden aus KEVLAR® (Handelsmarke von DuPont). Es ist zu be-

achten, dass eine Herstellung bekannter Metalldraht- oder Keramikdrahtborsten mit kleinerem Durchmesser dazu führen würde, dass die Borsten im Einsatz leicht brechen würden. Wenn die Maschine **10** eine Rotationsmaschine **12** ist und die Rotationsmaschine **12** ein Wasserstoff gekühlter elektrischer Generator ist, ergeben die Borsten kleineren Durchmessers höhere Borstenpackungsdichten, die den Kapillareffekt von Borsten mit großem Durchmesser, das flüssige Öl quer durch die Bürstendichtung **16** zu transportieren, anstelle diese Bürstendichtung eine Fluidleckage reduzieren zu lassen, reduzieren sollten. Es ist zu beachten, dass bei einem gasförmigen Fluid aufgrund der Gasturbulenzwirkung, die die Fluidleckage verhindert, kein Kapillareffekt auftritt, wie dies für einen Fachmann ohne weiteres verständlich ist. Zu weiteren Vorteilen gehört, dass die Borsten der Anmelderin keine elektrischen Leiter sind, so dass die Bürstendichtung der Anmelderin nicht die elektrische Isolation erfordert, die von herkömmlichen Metalldraht-Bürstendichtungen benötigt wird, um sie gegenüber dem Stator zu isolieren, um eine unerwünschte Funkenentladung zwischen dem Rotor und dem Stator eines elektrischen Generators zu verhindern. Die Bürstendichtung der Anmelderin sollte im Wesentlichen ein Drittel der Kosten einer herkömmlichen Metalldraht-Bürstendichtung einsparen.

[0024] Die Anmelderin hat in einem Prüfstand Untersuchungen durchgeführt, um Bedingungen in einem elektrischen Generator zu simulieren, wobei das Fluid nur Öl war. Der Abstand zwischen der Vorderplatte und den freien Enden der Borsten betrug im Wesentlichen 0,762 cm (0,300 Zoll), der Abstand zwischen der Rückplatte und den freien Enden der Borsten betrug 0,0762 cm (0,030 Zoll), und der Abstand zwischen der Vorderplatte und der Rückplatte betrug 0,2794 cm (0,110 Zoll). Ergebnisse von statischen Tests zeigten, dass die Bürstendichtung der Anmelderin mit Aramidfadenborsten aus KEVLAR® (Handelsmarke von Du-Pont) die Leckage um mehr als 50% im Vergleich zu einer herkömmlichen dicht gepackten Metallborsten-Bürstendichtung reduzierte. Ergebnisse von vorläufigen dynamischen Tests (Umlaufversuchen) zeigten, dass die Bürstendichtung der Anmelderin doppelt so große Leckage der herkömmlichen Bürstendichtung aufwies, weil die Bürstendichtung der Anmelderin ohne ausreichende Borstensteifheit hergestellt worden ist, wobei derartige Borsten ein hydrodynamisches Abheben erleiden. Eine technische Analyse zeigt an, dass ein hydrodynamisches Abheben ein Problem in einer Flüssigkeit (beispielsweise Öl) darstellt, jedoch kein Problem in einem Gas (beispielsweise Luft) darstellt, und ohne ein hydrodynamisch bedingtes Abheben sollte das dynamische Verhalten der Dichtung ungefähr dem statischen Verhalten der Dichtung entsprechen. Folglich wird erwartet, dass eine Leckage einer steiferen Bürstendichtung der Anmelderin in Öl lediglich die Hälfte der Leckage der herkömmlichen Bürstendich-

tung betragen sollte. Die Anmelderin plant, ihre Bürstendichtung in Öl erneut dynamisch zu testen, nachdem die Borstensteifigkeit durch Reduktion des Abstands zwischen der Vorderplatte und den freien Enden der Borsten und/oder durch Erhöhung der Dicke der Bürstendichtung durch Hinzufügung mehrerer Borsten bei Vergrößerung des Abstands zwischen der Vorderplatte und der Rückplatte vergrößert worden ist. Die Anmelderin plant ferner statische und dynamische Tests ihrer Bürstendichtung in Luft, wobei eine technische Analyse eine gegenüber herkömmlichen Bürstendichtungen reduzierte statische und dynamische Leckage prognostiziert.

Patentansprüche

1. Bürstendichtung (**14**, **16**) zur Reduzierung der Leckage eines Fluids an einer Druckdifferenz in einer Maschine (**10**), wobei die Bürstendichtung (**14**, **16**) umfasst:

a) einen Borstenhalter (**18**), der an der Maschine (**10**) befestigt werden kann, und
b) eine Vielzahl von Fäden (**24**, **26**, **28**, **30**), wobei jeder dieser Fäden (**24**, **26**, **28**, **30**) im Wesentlichen aus einer Vielzahl von Filamenten (**22**) besteht, und wobei jedes dieser Filamente (**22**) eine Borste (**20**) bildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede dieser Borsten (**20**) aus einer Aramidfaser besteht und an dem Borstenhalter (**18**) befestigt ist, wobei jede der Borsten (**20**) einen Durchmesser von kleiner 0,00254 cm (0,001 Zoll) aufweist und die Borsten (**20**) eine Packungsdichte von größer 100.000 Fasern auf 2,54 cm (1 Zoll) aufweisen.

2. Bürstendichtung (**14**, **16**) nach Anspruch 1, wobei jede der Borsten (**20**) ein erstes Ende (**32**) und ein zweites Ende (**34**) aufweist und wobei jede der Borsten (**20**) an dem Borstenhalter (**18**) in der Nähe des ersten Endes (**32**) befestigt ist und wobei das zweite Ende (**34**) ein freies Ende ist.

3. Maschine, umfassend:
a) eine erste Komponente (**36**);
b) eine zweite Komponente (**38**), die von der ersten Komponente (**36**) beabstandet ist, um einen Spalt (**42**) zwischen der ersten (**36**) und der zweiten (**38**) Komponente zu bilden;
c) ein Fluid (**40**), das mit dem Spalt (**42**) strömungstechnisch verbunden ist, wobei dieses Fluid eine Druckdifferenz aufweist, die im Wesentlichen quer zu dem Spalt (**42**) verläuft, und wobei diese Druckdifferenz während des Betriebes der Maschine erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine ferner eine Bürstendichtung (**14**, **16**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst.

4. Maschine nach Anspruch 3, wenn direkt oder indirekt zum Anspruch 2 zugehörig, wobei das zweite Ende (**34**) sich im Wesentlichen in Richtung auf die zweite Komponente (**38**) erstreckt.

5. Maschine nach Anspruch 3, wobei die Maschine eine drehende Maschine, die erste Komponente **(36)** ein Stator und die zweite Komponente **(38)** ein Rotor ist, der im Wesentlichen coaxial zu dem Rotor ausgerichtet und von diesem radial beabstandet ist, um einen Spalt zwischen dem Stator und dem Rotor zu bilden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG. 2

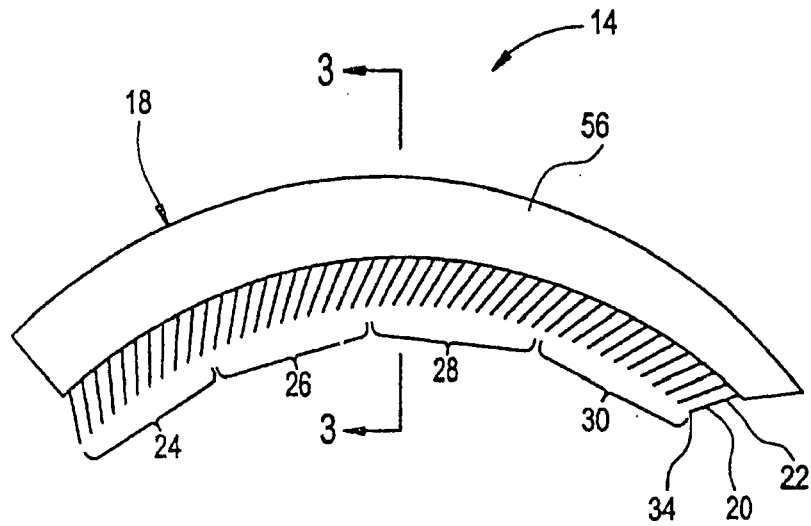


FIG. 3

