



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 18 611 T2 2007.03.15**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 350 035 B1**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**
F16C 32/06 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 18 611.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE01/02712**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 270 709.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/048561**

(86) PCT-Anmeldetag: **10.12.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **20.06.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.03.2007**

(30) Unionspriorität:

736286 15.12.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

Magnet AB, Uppsala, SE

(72) Erfinder:

LEMBKE, Torbjörn, S-740 11 Länna, SE

(74) Vertreter:

Wächtershäuser und Kollegen, 80333 München

(54) Bezeichnung: **FLUIDFILMLAGER MIT FLEXIBLER FOLIE UND WIRBELSTROMDÄMPFER**

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**TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fluidfilmlager, das als Vibrationsdämpfer in einem Magnetfeld wirkt, das relativ zu einem Rotor und einem Stator in kontaktfreier relativer Rotation um eine gemeinsame Längsachse konzentrisch orientiert ist. Das erfindungsgemäße Fluidfilmlager kann vorteilhafterweise in elektrodynamischen und passiven magnetischen Lagern eingebaut werden, um im allgemeinen die Antivibrationseigenschaften zu verbessern und die als vorübergehende Störungen auftretenden Belastungen zu absorbieren, und um insbesondere den Startvorgang elektrodynamischer Magnetlager zu verbessern. Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Methode, durch die ein Rotor relativ zu einem Stator in einem Magnetfeld konzentrisch um eine Längsachse rotierend gelagert wird.

TECHNISCHER HINTERGRUND UND STAND DER TECHNIK

[0002] 1996 beschrieb und beanspruchte Lembke ein gleichpoliges Wirbelstrom-Magnetlager, eine Lagerstruktur, die im allgemeinen zur Gruppe der elektrodynamischen Lager zugeordnet wird (WO 98/32981). Magnetlager dieses Typs, siehe den Oberbegriff von jedem der unabhängigen Ansprüchen 1, 4 und 17, bieten gegenüber anderen Magnetlagern dadurch Vorteile, dass die elektrodynamischen Lager ohne erforderliche äußere Regelelektronik autostabilisiert werden. Spezifischer gesagt liefern diese Lager inhärent einen Regelstrom durch ihren Betrieb als Stromgenerator. Um den notwendigen Generatoreffekt auszubilden, ist jedoch eine vergleichsweise hohe Rotationsgeschwindigkeit erforderlich, die die betriebliche Leistung dieser Lager verringert. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten war bisher eine Art eines zusätzlichen Anlaufagers erforderlich.

[0003] Typischerweise wird in den meisten Magnetlager-Anwendungen ein Sicherheitslager vorgesehen, um bei einer Störung einzuspringen, und das Sicherheitslager wird vorzugsweise auch als Anlaufager bei niedrigen Rotationsgeschwindigkeiten verwendet. Ein im allgemeinen in Magnetlager-Anwendungen verwendetes Sicherheitslager ist ein konventionelles Kugellager, das an einer Rotorwelle mit verlängerter Achse zum Unterbringen des Kugellagers aufliegt. Im Hinblick auf die Achsenlänge der Rotorwelle ergeben sich jedoch rotordynamische Probleme.

[0004] Konventionell kann ein Sicherheitslager in Form eines Kugellagers mit einem Innendurchmesser, der relativ zum Außendurchmesser der Welle geringfügig überdimensioniert ist, vorgesehen werden,

wodurch bei einem normalen Betrieb die Welle, die auf dem Lager gelagert ist, den Innendurchmesser davon nicht berührt. Eine solche Anordnung kann zu verschiedenen Problemen führen. In einer Situation, bei der die Welle oder der Rotor gegen die Lageroberfläche aufliegt, ändert sich die Arbeitsweise des Rotors, und sein Verhalten kann die Belastung auf die Struktur wesentlich erhöhen; ein anderer Nachteil dieser Konstruktion ist der erforderliche Einbauraum, der zu einer vermeidbaren zusätzlichen Achsenlänge des Rotors führt.

[0005] Das letztere Problem würde vermieden werden, wenn ein Sicherheitslager im Magnetlager integriert wäre, und damit die Notwendigkeit der Extralänge des Rotors vermieden würde. Eine Integration eines Kugellagers im Magnetlager ist jedoch nicht möglich, wenn der zwischen dem Rotor und dem Stator verfügbare Luftspalt nur einige Zehntel Millimeter beträgt.

[0006] Der Betriebseffekt eines aerodynamischen Lagers aus einer dünnen eckigen Blechfolie, bekannt als Tragflächen-Lager (airfoil bearing) wird in US 5 427 455 (Bosley) beschrieben.

AUFGABENSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Eine Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines Fluidfilmlagers für einen in kontaktfreier Rotation relativ zu einem Stator in einem Magnetfeld, das der oszillierenden Rotation des Rotors entgegen wirken kann, befindlichen Rotors.

[0008] Eine andere Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung von Mitteln und Methoden zur Vermeidung der vorstehend angegebenen Nachteile durch Integrieren der Duplex-Funktionen eines Fluidfilmlagers und eines Gleitlagers in einer Magnetlageranordnung.

[0009] Eine weitere Aufgabenstellung ist die Bereitstellung einer Lageranordnung, die zur Verbesserung des Anlaufbetriebs von elektrodynamischen Magnetlagern ausgestaltet ist.

[0010] Eine weitere Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines Fluidfilmlagers, das in elektrodynamischen und passiven magnetischen Lagern bereits eingebaut ist, um Antivibrationseigenschaften zu verbessern und um als vorübergehende Störungen auftretende Belastungen zu absorbieren. Diese und andere Aufgabenstellungen werden mit einem Fluidfilmlager und einer Lageranordnung, wie sie in den anliegenden Ansprüchen definiert werden, und worin vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung weiter in Unteransprüchen davon spezifiziert werden, gelöst.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Erfindungsgemäß wird ein Fluidfilmlager in Form einer Blechfolie aus einem nichtmagnetischen und elektrisch leitfähigen flexiblen Material vorgeschlagen. Die Blechfolie ist so angeordnet, dass sie axial und konzentrisch in einem ringförmigen Spalt, der zwischen einem Rotor und einem Stator ausgebildet ist, in kontaktfreier relativer Rotation um eine gemeinsame Achse verläuft. Relativ zur gleichen Achse ist ein Magnetfeld konzentrisch orientiert. Wenn der Rotor so zu oszillieren beginnt, dass die Blechfolie aus ihrer konzentrischen Orientierung relativ zum Magnetfeld verschoben wird, werden in der Folie Wirbelströme induziert, die dann wirksam sind, um der oszillierenden Rotation des Rotors entgegen zu wirken. Die vibrationsdämpfende Eigenschaft beruht auch auf einem durch Luft oder einem anderen Fluid, das zwischen der Blechfolie und der in relativer Rotation mit der Folie umlaufenden Peripherie eingeschlossen vorhanden ist, erzeugten Pressfilmeffekt, wodurch die Notwendigkeit zusätzlicher Sicherheitslager, die üblicherweise in Magnetlageranordnungen vorhanden sind, vermieden wird.

[0012] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fluidfilmlagers ist die Blechfolie so ausgestaltet, dass sie bei niedrigen Rotationsgeschwindigkeiten eine Gleitlagerwirkung, bei höheren Rotationsgeschwindigkeiten eine Luftlagerwirkung und bei irgendeiner Rotationsgeschwindigkeit eine vibrationsdämpfende Wirkung ausübt.

[0013] Die Erfindung wird nun nachstehend detailliert beschrieben, wobei auf die anliegenden schematischen Zeichnungen Bezug genommen wird, worin bedeuten:

[0014] Fig. 1 eine Schnittansicht, die einen Rotor und einen Stator um eine gemeinsame Längsachse konzentrisch angeordnet zeigt, wobei sich ein erfindungsgemäßes Fluidfilmlager in einem ringförmigen Spalt befindet, der zwischen dem Rotor und dem Stator ausgebildet wird;

[0015] Fig. 2 eine aufgeschnittene perspektivische Ansicht, die eine Lageranordnung zeigt, in der das Fluidfilmlager in einem Magnetfeld angeordnet ist, das konzentrisch um die Längsachse orientiert ist;

[0016] Fig. 3 ist eine der Fig. 1 entsprechende Schnittansicht, die den Rotor in kontaktfreier Rotation relativ zum Stator und dem erfindungsgemäßen Fluidfilmlager zeigt;

[0017] Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht, die ein Beispiel einer Blechfolie zur Integration in einem Magnetlager zeigt;

[0018] Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht, die

eine andere Ausführungsform der Blechfolie zeigt;

[0019] Fig. 6 ist eine Schnittansicht, die die Blechfolie der Fig. 5 in einer Außenrotor-Magnetlageranordnung zeigt;

[0020] Fig. 7 ist eine aufgeschnittene perspektivische Ansicht, die die Erfindung in einer Pumpe verwirklicht zeigt; und

[0021] Fig. 8 ist eine aufgeschnittene perspektivische Ansicht, die eine weitere Ausführungsform der Erfindung zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0022] In den Fig. 1 bis Fig. 3 wird schematisch ein Innenrotor 1 zur Lagerung für eine kontaktfreie relative Rotation in einem Stator 2 dargestellt. Der Rotor 1 und der Stator 2 sind um eine gemeinsame Längsachse A konzentrisch angeordnet. Mindestens ein Magnet ist zur Ausbildung eines symmetrischen Magnetfeldes konzentrisch um die Längsachse A angeordnet (siehe Fig. 2). Eine Blechfolie 3 aus einem elektrisch leitenden und nichtmagnetischen Material befindet sich in einem Luftspalt 4 und verläuft axial und konzentrisch zwischen dem Rotor und dem Stator. Die Blechfolie 3 der Fig. 1 weist einen polygonalen Querschnitt auf, mit zwischen den axial verlaufenden Ecken 6 planaren Seiten 5. Die Seiten 5 verlaufen über den Luftspalt 4 in Achsenrichtung. Die Blechfolie 3 ist in relativer Rotation zum Rotor angeordnet und kann alternativ am Stator für den Gleitkontakt mit dem Rotor bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit aufliegen. Optional kann die Blechfolie am Stator in enger und kontaktfreier Relation zum Rotor bei einer niedrigen Rotationsgeschwindigkeit und im nicht-rotierenden Zustand aufliegen, wenn die Rotorachse mit der Längsachse A zusammenfällt. In einem anderen erfindungsgemäßen Aspekt, der nachstehend beschrieben wird, wird die Blechfolie alternativ zur relativen Rotation um einen Stator an einem Rotor gelagert.

[0023] In nicht-rotierendem Zustand und bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit kann, wie in Fig. 1 dargestellt, ein axialer zentraler Teil 7 jeder Seite alternativ an der äußeren Peripherie des Rotors 1 aufliegen oder gleiten, während die Ecken 6 den Innenumfang des Stators 2 berühren. An jeder peripheren Seite des kontaktierenden zentralen Teils 7 werden zwischen der Blechfolie 3 und dem Rotor 1 innerhalb und nahe jeder Ecke der Blechfolie keilförmige Kanäle 8 ausgebildet. Wenn der Rotor 1 rotiert, wird Luft oder ein anderes vorhandenes Fluid durch den Rotor in den keilförmigen Kontaktbereich zwischen dem Rotor und der Blechfolie gedrückt. Das Fluid wird dadurch genug komprimiert, um die flexible Blechfolie 3 radial weg vom Rotorumfang, wie in Fig. 3 darge-

stellt, zu zwingen, indem zwischen den in relativer Rotation befindlichen zwei Elementen bei einer ausreichenden Rotationsgeschwindigkeit ein Fluidfilm ausgebildet wird.

[0024] Wenn der Rotor 1 seine ideale Rotationsachse verlässt und zu oszillieren beginnt, verschiebt der Rotor die Blechfolie 3 relativ zum magnetischen Feld, das durch einen oder mehrere auf dem Stator 2 gelagerte Ringmagnete 9 ausgebildet wird. In der nicht-magnetischen leitfähigen Blechfolie 3 induzierte Wirbelströme (gemäß dem Lenz'schen Gesetz) wirken dagegen und verringern die Oszillation und drängen die Blechfolie und den Rotor gegen die zentrale Achse der Lageranordnung. Das durch den Magnet (die Magneten) erzeugte Feld ist entfernungsabhängig, ein Effekt, der die vibrationsverringernde Fähigkeit der Wirbelstrombildung verstärkt. Indem man die Magnete in Paaren mit gegensätzlich gerichteten Magnetfeldern anordnet, kann ein stark entfernungsabhängiges Magnetfeld axial oder radial innerhalb jedes Magnetpaares ausgebildet werden.

[0025] Im ringförmigen Spalt 4 zwischen dem Rotor und der Blechfolie 3 wird zusätzlich zum durch die Wirbelstrombildung erzeugten Antivibrationseffekt ein Pressfilmeffekt erreicht. Die vibrationsverringernde Fähigkeit bei einer gegebenen Oszillationsfrequenz und Fluidzusammensetzung wird durch die radiale Breite des ringförmigen Spaltes und die Dicke der Blechfolie 3 definiert. Die erfindungsgemäße Lageranordnung kann in Luft, dünner Luft unterhalb von Atmosphärendruck, in einer Vakuum-ausbildenden Apparatur, in Brennern und Verbrennungskammern und anderen gasförmigen und flüssigen Fluidumgebungen betrieben werden.

[0026] Um die Gleiteigenschaften zu erhöhen und den Verschleiß und die Abbremsung durch Reibung zu verringern, bis der Rotor durch den Fluid- oder Luftfilm abgestützt wird, kann die Blechfolie 3 an einer oder beiden Seiten davon mit einer Schicht aus einem die Reibung verringernenden Material, wie z.B. Zinn (Sn), oder einer Legierung auf Zinnbasis, oder Teflon®, beschichtet sein.

[0027] Als nächstes werden die Betriebscharakteristika einer Magnetlageranordnung, worin das erfindungsgemäße Fluidfilmlager wirkt, beschrieben: Wie im Falle von aerodynamischen und hydrodynamischen Lagern üblich, wird ein Keileffekt erzielt, wenn ein Medium in den keilförmigen Spalt, der zwischen einem Rotor und einem Stator ausgebildet wird, gedrückt wird, wenn die Rotorachse gelegentlich von der idealen Rotationsachse abweicht. Durch diesen Effekt wird im Lager eine hochhebende Wirkung (Hebungsvermögen) erzeugt. Im konventionellen Magnetlager weisen der Rotor und der Stator beide einen kreisförmigen Querschnitt auf und sind konzentrisch angeordnet. Der Keileffekt wird deshalb nur

erzielt, wenn der Rotor so verschoben und relativ zum Stator nicht zentrisch positioniert ist, dass zwischen dem Rotor und dem Stator axial ein keilförmiger Kanal ausgebildet wird.

[0028] Üblicherweise ist der Stator fest und aus einem einzigen Metallstück ausgebildet, z.B. einer Kupferlegierung, oder Stahl, der mit einer Bronzeschicht ausgekleidet ist.

[0029] Nach einem erfindungsgemäßen Aspekt ist das Blech oder die Metallfolie im Hinblick auf ihre Dicke für eine hohe Flexibilität in radialer Richtung dimensioniert und in einem Magnetlager integriert, indem es konzentrisch in einem ringförmigen Spalt, der zwischen dem Rotor und dem Stator der Magnetlageranordnung ausgebildet ist, eingefügt ist. In einer Ausführungsform ist die Folie gegen den Stator des Magnetlagers abgestützt und so vorgespannt, um den Umfang des Rotors der Welle in einem nicht-rotierenden Zustand und bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit zu berühren (**Fig. 1**). Für die Blechfolie wird ein nichtmagnetisches elektrisch leitfähiges Metall ausgewählt, und die Folie wird für einen Gleitkontakt mit dem Rotorumfang bei niedrigen Rotationsgeschwindigkeiten abgeeckt oder auf andere Weise geformt. Die Folie ist flexibel genug, um sich aufgrund eines Druckes von einem Fluidfilm oder Luftfilm, der um die lagernde Peripherie des Rotors bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten ausgebildet wird, vom Kontakt mit der lagernden Peripherie des Rotors radial zu lösen. In einer anderen Ausführungsform wird die Blechfolie gegen die innere Peripherie eines rohrförmigen Rotors in relativer Rotation um einen Stator gelagert oder abgestützt (**Fig. 6**).

[0030] Die Folie kann im Querschnitt winkelförmig abgeeckt oder wellenförmig sein, um die Keilwirkung im rotierenden Zustand aufzunehmen. Die Folie kann auch mit ausgestanzten Zungen ausgebildet sein, die für einen vorgesehenen Kontakt mit dem Rotor (oder gegebenenfalls dem Stator) im nicht-rotierenden Zustand gebogen und gewölbt und radial vorstehend sind. In allen Ausführungsformen wird die Folie mit einem Querschnittsprofil ausgebildet, das wirksam ist, um aufgrund einer Keilwirkung einen Luftpolster auszubilden, der die Folie dazu zwingt, sich im rotierenden Zustand von der Oberfläche des Rotors/Stators gegen die vorgespannte Kraft zu erheben. Die Folie ist so ausgestaltet, dass sie ein Erheben oder Erhöhen der Folie bei einer vergleichsweise geringen Rotationsgeschwindigkeit ermöglicht, indem sie in radialer Richtung hoch flexibel und leicht biegsam ist. Beim Erheben der Folie ist das Lager so von Kontakt und Abrieb frei, dass der Rotor auf eine Rotationsgeschwindigkeit beschleunigt werden kann, bei der der Magnet (die Magneten) des Lagers zur Steuerung der radialen Position des Rotors wirksam werden.

[0031] Um den Anlaufbetrieb des Magnetlagers

weiter zu verbessern, kann die Folie mit einem wie vorstehend beschriebenen die Reibung verringern- den Material beschichtet sein.

[0032] Im Gegensatz zum konventionellen Luftlager bewirkt das erfindungsgemäße Fluidfilmlager während normaler Betriebsbedingungen jedoch keine Absorption von Belastungen oder Kräften. Das wird vielmehr durch den Magnetlagerteil der Lageranordnung bewirkt. Das erfindungsgemäße Fluidfilmlager wirkt somit nur beim Auftreten von Stößen und anderen vorübergehend verursachten Belastungen einer Größenordnung, die durch das Magnetlager nicht verarbeitet werden. Auch in der Anfangsphase werden keine wesentlichen Belastungen an das Fluidfilmlager abgegeben, da alle statischen Belastungen durch Magnetkräfte, wie im Patent von Lembke, auf das vorstehend Bezug genommen wurde, beschrieben, kompensiert werden. Eine Hauptfunktion des Fluidfilmlagers ist es deshalb vielmehr, eine Vibrationsverringern in einem Magnetlager zu bewirken.

[0033] Nach Weissert (US 5 915 841) sowie Bosley (US 5 427 455) kann an eine flexible Folie eine gewünschte Dämpfungswirkung abgegeben werden, indem man ein optionales Dämpfungsmaterial zwischen der Folie und einem Stator einer Lageranordnung einbaut. Geeignete Dämpfungsmaterialien, wie z.B. Kautschuk oder viskoelastische Materialien, leiden jedoch darunter, dass sie durch Temperatur beeinflusst werden, und leiden auch unter einer begrenzten Betriebsdauer.

[0034] Erfindungsgemäß wird eine gewünschte Dämpfungswirkung erzielt, indem man die Folie konzentrisch in einem Magnetfeld lagert, in dem die Felddifferentiale am stärksten sind. Mit anderen Worten wird, wenn die Folie zu vibrieren beginnt, diese zwischen Bereichen starker Magnetkraft und Bereichen von wesentlich geringerer Magnetkraft hin und her schwanken. Nach dem Lenz'schen Gesetz werden in der leitfähigen Metallfolie elektrische Ströme induziert und bilden ein entgegengerichtetes Magnetfeld und entgegen wirkende Kräfte aus, die die Schaukelbewegung unterdrücken und dämpfen werden. Ein großer Vorteil einer Wirbelstrom-betriebenen Dämpfung im Vergleich zur Anwendung eines Dämpfungsmaterials ist es, dass die Wirbelstromdämpfung durch hohe Temperaturen nicht schädlich beeinflusst wird und während einer praktisch unbegrenzten Betriebsdauer zur Verfügung steht.

[0035] Ein anderer Vorteil der erfindungsgemäßen Lageranordnung ist es, dass der Film aus Luft (oder einem anderen vorhandenen Fluid), der im rotierenden Zustand zwischen der Blechfolie und dem Rotor ausgebildet wird, dünn genug ist, um eine wesentliche Presswirkung auszubilden, die auch zur vibrationsverringern den Fähigkeit der Lageranordnung beiträgt. Der hier erwähnte Presseffekt ist per se all-

gemein bekannt. Wenn Luft als Fluid verwendet wird, ist keine Schmierung erforderlich, wie dies bei konventionellen ölbetriebenen Pressfilm-Dämpfern der Fall ist.

[0036] Das erfindungsgemäße Lager kann mit Vorsprüngen 10 zur Montage ausgebildet sein; siehe **Fig. 4**. Alternativ können die Lageroberflächen der Blechfolie 3' ausgestanzt und in Form von Zungen 11, wie in **Fig. 5**, gebogen sein, und ringförmige Endringe 12 aus der Blechfolie können an das Magnetlager durch Schrumpfen angebracht oder angelagert sein. Beide Methoden können auch in Kombination verwendet werden und werden hier nur als nicht-beschränkende Beispiele des Anbringens eines erfindungsgemäßen Fluidfilmlagers gezeigt.

[0037] Die vorliegende Erfindung ist auch gut zur Anwendung in einem Magnetlager geeignet, das einen rohrförmigen Rotor aufweist, der konzentrisch um einen nicht-rotierenden Stator rotiert. Ähnliche Strukturen werden in der Motortechnologie verwendet und werden oft als Außenrotor-Maschinen bezeichnet.

[0038] Die Blechfolie kann in einer Außenrotor-Maschine vorteilhaft angewendet werden; siehe **Fig. 6**: Eine wie vorstehend beschriebene Blechfolie 3' wird am Innenumfang eines Rotors 1 gelagert, um mit dem Rotor zu rotieren. Im rotierenden Zustand wird das Blech zentrifugalen Belastungen ausgesetzt, die die Lageroberflächen der Zungen 11 vom Stator wegdrängen. Bei einer ausreichenden Rotationsgeschwindigkeit erhebt sich die Blechfolie von der Statorperipherie und Reibungsverluste werden bis zu einem vernachlässigbaren Niveau verringert. Auf diese Weise wird die Lageranordnung mit einer inhärenten strukturell einfachen zentrifugalen Verbindung versehen.

[0039] Ein Fluidfilmlager, das mit einer wie vorstehend beschriebenen zentrifugalen Verbindung ausgebildet ist, kann auch in Vakuumpumpen angewendet werden. Bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit ist die Luft, die immer vorhanden ist, ausreichend, um einen Film aus Luft oder einem anderen Fluid zwischen den Lageroberflächen auszubilden. Bei höheren Rotationsgeschwindigkeiten wird das Fluid weggepresst. Bei solchen Geschwindigkeiten werden die Lageroberflächen jedoch getrennt und es besteht kein Risiko einer mechanischen Belastung oder eines Verschleißes an den Lageroberflächen. Die erfindungsgemäße Lageranordnung kann deshalb auch in Prozessen betrieben werden, die im Vakuum oder bei Unterdruck beginnen, wie z.B. bei Kreiseln und Schwungrädern. Die Blechfolie ist nur in der Anlaufphase wirksam, indem sie als Gleitlager wirkt und auf die immer vorhandenen Gasmoleküle vertraut.

[0040] Die Fähigkeit des Fluidfilmlagers kann er-

höht werden, indem man den Rotor 1 mit helikalen flachen Rinnen 13, wie in **Fig. 7** dargestellt, versieht. Die Rinnen 13 können durch Ätzen, mechanische Bearbeitung, Formen oder ein anderes geeignetes Verfahren ausgebildet werden. Der Rotor 1 wirkt dann als Luftpumpe (vergleiche die Abhandlungen von Holweck).

[0041] Wenn der Rotor mit einem Muster aus entgegen gesetzt gerichteten helikalen Rinnen 14, 15, die sich in einer longitudinalen Mitte der sich drehenden Oberfläche des Rotors 1, wie in **Fig. 8** gezeigt, treffen, wird im Zentralbereich eine Druckmitte ausgebildet. Dieser Effekt kann in allen Ausführungsformen verwendet werden, um den Luftdruck, z.B. zwischen dem Rotor und der Blechfolie, zu erhöhen. Die helikalen Rinnen können optional natürlich auch am Stator einer Außenrotor-Ausführungsform ausgebildet sein. Bei einer Anwendung, bei der der Rotor als Pumpe verwendet wird, kann das vorstehend beschriebene Prinzip auch verwendet werden, um einen Lagereffekt und eine Pumpenwirkung in Kombination zu erzielen.

[0042] Die Integration eines Tragflächenlagers oder Fluidfilmlagers in einem Magnetlager, wie vorgeschlagen, ergibt den Vorteil einer kompakten Ausgestaltung und vermeidet die Notwendigkeit zusätzlicher Sicherheitslager. Die durch die flexible Folie bei niedrigen Geschwindigkeiten ausgeübte Gleitlagerwirkung verbessert den Anlaufbetrieb des Magnetlagers, und durch Auswahl eines nichtmagnetischen und elektrisch leitfähigen Materials für die Folie wird das Fluidfilmlager im rotationssymmetrischen magnetischen Feld, das durch die Lagermagnete ausgebildet wird, autostabilisiert.

Patentansprüche

1. Fluidfilmlager, das eine Blechfolie aufweist, die sich in einem ringförmigen Spalt befindet und axial und konzentrisch verläuft, der zwischen einem Rotor und einem Stator in kontaktfreier relativer Rotation konzentrisch um eine Längsachse ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Blechfolie aus einem nichtmagnetischen und elektrisch leitfähigen flexiblen Material besteht, und
- mindestens ein Magnet zur Ausbildung eines Magnetfelds konzentrisch um die Längsachse vorgesehen ist, wobei die Blechfolie im Magnetfeld gelagert ist und wirksam ist, einer oszillierenden Rotation des Rotors entgegenzuwirken, wenn in der Blechfolie Wirbelströme induziert werden.

2. Fluidfilmlager nach Anspruch 1, worin die Blechfolie im ringförmigen Spalt zwischen dem Rotor und dem Stator in kontaktfreier relativer Rotation in einem Magnetlager integriert ist.

3. Fluidfilmlager nach Anspruch 1, worin die

Blechfolie im ringförmigen Spalt zwischen dem Rotor und dem Stator in kontaktfreier relativer Rotation in einem elektrodynamischen Magnetlager integriert ist.

4. Magnetlageranordnung, die aufweist: einen Rotor, der relativ zu einem Stator um eine gemeinsame Längsachse drehbar gelagert ist, mindestens einen Magnet, der zur Ausbildung eines Magnetfelds konzentrisch um die Längsachse gelagert ist, wobei der Rotor und Stator konzentrisch mit einem dazwischen befindlichen ringförmigen Spalt angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Blechfolie aus nichtmagnetischem und elektrisch leitfähigem Material sich im ringförmigen Spalt befindet, um axial und konzentrisch zwischen dem Rotor und dem Stator zu verlaufen;
- die Blechfolie mit einem Querschnittsprofil ausgebildet ist, um einen Fluidfilm in relativer Rotation zur drehenden Peripherie von entweder dem Rotor oder dem Stator auszubilden.

5. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin der Rotor eine Welle ist, die zur Rotation im Stator gelagert ist, und die Blechfolie auf dem Stator gelagert ist.

6. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin der Rotor eine rohrförmige Welle ist, die zur Rotation um den Stator gelagert ist, und die Blechfolie auf dem Rotor gelagert ist.

7. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin das Fluid gasförmig ist.

8. Magnetlageranordnung nach Anspruch 7, worin das Fluid Luft ist.

9. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin das Fluid eine Flüssigkeit ist.

10. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin das Querschnittsprofil der Blechfolie polygonal ist.

11. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin das Querschnittsprofil der Blechfolie wellenförmig ist.

12. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin das Querschnittsprofil der Blechfolie ausgestanzte Zungen aufweist, die gekrümmt sind, um radial gegen die sich drehende Peripherie von entweder des Rotors oder des Stators in relativer Rotation zur Blechfolie vorzustehen.

13. Magnetlageranordnung nach Anspruch 12, worin die Zungen zwischen Endringen, durch die die Zungen mit einander verbunden sind, axial definiert sind, und die Endringe die Blechfolie an den Rotor bzw. den Stator anbringen.

14. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin

- die Blechfolie radial so vorgespannt ist, um einen Gleitlagerkontakt mit der Peripherie des Rotors oder des Stators in relativer Rotation zur Blechfolie bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit auszuüben, und
- die Blechfolie eine Flexibilität aufweist, um dem resultierenden Druck von einem Fluidfilm, der durch die sich drehende Peripherie des Rotors oder des Stators bei höheren relativen Rotationsgeschwindigkeiten ausgebildet wird, nachzugeben.

15. Magnetlageranordnung nach Anspruch 4, worin

- die sich drehende Peripherie in relativer Rotation zur Blechfolie mit helikalen Rinnen ausgebildet ist, um dem Fluidfilm eine axiale Richtungskomponente zu verleihen.

16. Magnetlageranordnung nach Anspruch 15, worin die sich drehende Peripherie in relativer Rotation zur Blechfolie mit entgegengesetzt gerichteten helikalen Rinnen versehen ist, die sich in einer axialen Mitte der Peripherie treffen, wobei sie eine auf die Blechfolie wirkende Druckmitte ergeben.

17. Methode, durch die ein Rotor relativ zu einem Stator um eine gemeinsame Längsachse drehbar gelagert wird, mindestens ein Magnet zur Ausbildung eines Magnetfeldes konzentrisch um die Längsachse gelagert ist, der Rotor und Stator konzentrisch mit einem dazwischen liegenden ringförmigen Spalt angeordnet sind, wobei die Methode durch die Stufen charakterisiert ist:

- Vorsehen einer flexiblen Blechfolie aus nichtmagnetischem und elektrisch leitendem Material;
- Formen der Folie zur Einführung in den ringförmigen Spalt, und
- Anordnen der Blechfolie auf eine solche Weise, dass sie axial und konzentrisch in relativer Rotation zu entweder dem Rotor oder dem Stator so verläuft, dass zwischen der Blechfolie und der sich drehenden Peripherie des Rotors oder des Stators im rotierenden Zustand ein Fluidfilm ausgebildet wird.

18. Methode nach Anspruch 17, worin die Blechfolie zur Einführung in den ringförmigen Spalt unter vorgespannten Gleitkontakten in relativer Rotation mit entweder dem Rotor oder dem Stator bei niedriger Rotationsgeschwindigkeit ausgebildet wird, und die so dimensioniert wird, um bei höheren relativen Rotationsgeschwindigkeiten einem durch einen Fluidfilm, der durch Drehen der äußeren Peripherie von entweder dem Rotor oder dem Stator ausgeübt wird, radial nachzugeben.

19. Methode nach Anspruch 18, worin die Blechfolie an der Kontaktseite mit einem die Reibung verringernenden Material beschichtet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen







