



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 36 716 T2** 2008.07.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 208 289 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 36 716.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/21206**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 950 964.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/016464**

(86) PCT-Anmeldetag: **03.08.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **08.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **10.10.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.07.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F01B 31/10** (2006.01)

F16C 32/06 (2006.01)

F02G 1/043 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

389173 02.09.1999 US

(73) Patentinhaber:

Sunpower, Inc., Athens, Ohio, US

(74) Vertreter:

**Intellectual Property IP-GÖTZ Patent- und
Rechtsanwälte, 90402 Nürnberg**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

UNGER, Reuven Z-M., Athens, OH 45701, US

(54) Bezeichnung: **GASLAGER UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES GASLAGERS FÜR EINE FREIKOLBEN-
MASCHINE**

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 Erfindung bezieht sich auf Freikolbenmaschinen in Übereinstimmung mit dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 11 und auf ein Verfahren zu Herstellung des Kolbens für eine Freikolbenmaschine in Übereinstimmung mit dem Oberbegriff des Anspruchs 9

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Kolben sind in vielen Maschinen mit einer festen mechanischen Verbindung verbunden, wie beispielsweise mit einer Pleuellstange, welche mit einer Pleuellwelle verbunden ist. Diese Kolben sind innerhalb vorbestimmter Positionen eingeschränkt, wie beispielsweise Endgrenzen. Aber es sind auch viele Maschinen bekannt, die einen oder mehrere Freikolben nutzen.

[0003] Ein Freikolben bewegt sich in einem Zylinder ohne eine mechanische Verbindung hin und her. Solche Freikolben können durch einen elektromagnetischen Linearmotor angetrieben werden und zum Beispiel als Kompressor oder Pumpe für Gas oder andere Fluide genutzt werden. Freikolben können ebenso in Freikolben-Stirling-Kreislauf-Maschinen wie beispielsweise Freikolben-Stirlingmotoren, Kühlern und Cryokühlern verwendet werden.

[0004] Freikolben bewegen sich abgedichtet in einem Zylinder, welcher in einem Gehäuse gebildet ist, hin und her, wobei eine sehr schmale Lücke zwischen der Zylinderwand und der Pleuellwand gebildet wird. Das Gehäuse schließt typischerweise einen Arbeitsraum, der durch ein Ende des Pleells begrenzt wird und einen zweiten Raum oder Rückraum, der durch das gegenüberliegende Ende des Pleells begrenzt wird, ein. Ein Arbeitsgas wie zum Beispiel Helium füllt den Arbeitsraum, den Rückraum und andere Bereiche der Maschine innerhalb des Gehäuses aus.

[0005] Aufgrund der großen Nähe der Pleuellwand und der Zylinderwand während des Betriebs muss die Lücke, die zwischen den Wänden gebildet wird, geschmiert werden, um schnelle Abnutzung zu verhindern. Es wurde erkannt, dass die effizienteste Schmierung eine dünne Schicht des Arbeitsgases ist, die ein Gas-Gleitlager bildet. Derartige Gas-Gleitlager sind in den Patentschriften US-A-4,412,418, US-A-4,802,332 und US-A-4,888,950, sämtlich von Reale, beschrieben.

[0006] Um den Pleell zu schmieren, muss Gas an drei oder mehr Punkten entlang des Umfangs des Pleells in die Lücke geführt werden, nachdem es vom Arbeitsraum oder Rückraum dorthin geführt wurde. Allerdings erfordert das Transportieren und Abgeben des Gases in die Lücke ein komplexes Netz von

Durchgängen und Öffnungen. Derartige Durchgänge und Öffnungen können nicht einfach gebildet werden, weil die Teile, in welche die gastransportierenden Strukturen eingeformt werden müssen, klein, empfindlich und mit geringen Toleranzen hergestellt sind.

[0007] Es ist bekannt, eine ringförmige Pleuellhülseanordnung mittels Aufschlumpfen zu bilden, wie in der Patentschrift US-A-5,184,643 von Raymond beschrieben. Derartige Anordnungen können für den Zweck der Bildung eines Gas-Gleitlagers in einer Freikolbenmaschine aufgrund des Mangels an Kontrolle über den Gasdruck und des Mangels an Durchgängen für das Führen des Gases gegen die Zylinderwand nicht funktionieren.

[0008] US-A-4,802,332 zeigt einen Stirlingmotor mit einem Pleell und einem Zylinder, wobei der Pleell und der Zylinder ineinander passende Oberflächen aufweisen, die in Relation zueinander hin- und hergleiten, wobei eine Vielzahl von Vertiefungen zur Gasspeicherung vorzugsweise gleichförmig entlang wenigstens eines Teils von einer der zueinander passenden Oberflächen verteilt sind. Diese Vertiefungen für Gas sind so konstruiert, dass sie entweder Gas aufnehmen oder Gas abgeben, abhängig vom aktuellen Bedarf an Schmierung in der Lücke zwischen dem Pleell und dem Zylinder. Zu diesem Zweck lehrt die US-A-4,802,332, radiale Vertiefungen **40** auf der einwärts gerichteten Oberfläche des Zylinders zu bilden. Diese Vertiefungen **40** werden umgeben mit einer Hülle mit größeren fluchtenden Vertiefungen **42**, die darin gebildet sind. Eine zweite Hülle **44** verschließt die Öffnungen, so dass das Gas nicht austreten kann. Diese Vertiefungen sind alle radial ausgerichtet (siehe Spalte 1, Zeilen 60–61) und werden durch Bohren gebildet (Spalte 2, Zeilen 64 bis Ende). Das Gas in dem ringförmigen Öffnungsraum zwischen dem Pleell **20** und der Zylinderwand **22** fließt in die radial ausgerichteten Vertiefungen (**40** und **42**) hinein und wieder hinaus. Dies bildet ein Gas-Lager mit wünschenswerten Eigenschaften.

[0009] US-A-3,127,955 beschreibt eine fluid-gestützte Vorrichtung, die ein relativ zu einem anderen Element bewegliches Element in einer engen Oberfläche zu Oberfläche-Anordnung aufweist. Daher muss ein effektiver Schmierfilm zwischen den gegenüberliegenden Oberflächen solcher Elemente zur Verfügung gestellt werden, um Reibung und Abnutzung zu verringern. Mit Blick darauf wird das bewegliche Element mit um den Umlauf laufenden, flachen Nuten ausgestattet. Innerhalb des beweglichen Elements wird eine Kammer zum Sammeln von Fluid angeordnet. Das Fluid wird durch Öffnungen in den peripheren Nuten geführt. Das Fluid, das aus den Nuten austritt, bildet einen Fluid-Film zwischen einer Hülle und dem beweglichen Element (Akkumulator).

[0010] US-A-5,140,905 offenbart ein stabilisieren-

des Gas-Gleitlager für Freikolbenmaschinen. Um dynamische Lasten auf den hin- und herbeweglichen Elementen zu reduzieren, werden Abflussgalerien am Ende des Gas-Lagers eingebaut, um dasselbe einzugrenzen. Weiterhin werden umlaufende, beabstandete Nuten in der Nähe des Abschlussbereichs eingebaut.

[0011] US-A-4,644,855 beschreibt einen Linearmotorkompressor mit Freiraumabdichtung und Gaslagern. Ein Gas-Gleitlager-System wird für einen Kolben mit einem Hochdruckreservoir gebildet. Wenn das Arbeits-Fluid in einem Kolbenkopfraum unter hohem Druck steht, wird Gas vom Kolbenkopfraum in das Reservoir eingespeist. Der Gas-Fluss wird in einer Art und Weise zwischen den Kolben und seiner umgebenden Hülle geführt, welche den Kolben in Schwebelage von der Hülle hält, um derart die Reibung und die Abnutzung, welche der Kolben und die Hülle erfahren, zu reduzieren. Die Kolbenelemente und der umgebende Hüllen-/Kammerzylinder sind eng anliegend, um die Freiraumabdichtungen dazwischen herzustellen. Der Gaskompressorkolben wird durch zwei Ringe von gaslagernden Taschen vom Kontakt mit den inneren Wänden des Zylinders abgedeckt. Das Gas fließt aus dem Reservoir innerhalb des Kolbens in die Taschenringe. Die Taschenringe sind am vorderen Ende und dem zentralen Bereich des Kolbens angeordnet, so dass sie den Kolben in einer Art und Weise unterstützen, die ihn aus dem Kontakt mit den inneren Wänden des Zylinders abfedert. In dieser Hinsicht wird die Kolbenoberfläche mit verschiedenen Durchmessern gebildet, um den Fluss des Gas-Gleitlagers passend zu führen, so dass der Kolben den Zylinder nicht berührt. Das Hochdruckreservoir wird entlang der longitudinalen Zentralachse des Kolbens angeordnet. Von dort erstrecken sich Öffnungen radial zu Kanälen auf der äußeren Oberfläche des Kolbens.

[0012] Im Zusammenhang mit derartigen Freikolbenmaschinen besteht ein Bedürfnis dafür, einen Gas-Gleitlager-Aufbau und ein Verfahren zur Herstellung desselben zur Verfügung zu stellen, wobei derartige Gas-Lager-Durchgänge und Öffnungen einfach mit einem Fluid-Fluss mit vorbestimmter Menge und Druck versorgt werden können. Zur Lösung dieses Problems wird die Freikolbenmaschine, die in den unabhängigen Ansprüchen 1, 11 und 12 beschrieben ist, vorgeschlagen. Ein Verfahren zur Herstellung des Kolbens ist in Anspruch 9 beschrieben. Optionale Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0013] Gemäß der Erfindung beinhaltet eine verbesserte Freikolbenmaschine mit einem Gas-Gleitlager zwei Teile: einen inneren, zylindrischen Kern und eine äußere, zylindrische Hülse. Der innere Kern weist eine radial auswärts zeigende Oberfläche auf, die an eine radial einwärts zeigende Oberfläche der

äußeren Hülse angrenzt, wenn der Kern in einem Durchgang angeordnet ist, der in der Hülse gebildet ist. Eine umlaufende Reservoir-Rinne erstreckt sich vorzugsweise um den Kern, und ein Durchgang mit einem Sperrventil erlaubt es dem Fluid, in das Reservoir zu fließen. Eine longitudinale Rinne erstreckt sich vom Reservoir zu wenigstens einem, und vorzugsweise vier umlaufenden, fluid-dosierenden Rinnen, die in der radial auswärts zeigenden Oberfläche des Kerns gebildet sind. Die fluid-dosierenden Rinnen formen derart Fluid-Durchgangswege, wenn die einwärts gerichtete Oberfläche der Hülse die Rinne überbrückt und überdeckt. Wenigstens drei radiale Durchgänge sind durch die Seitenwand der Hülse in Fluid-Verbindung mit der Rinne gebildet, um in der Rinne befindliches Fluid in den Spalt an der Seitenwand zu führen.

[0014] Wenn der verbesserte Kolben sich im Zylinder hin- und herbewegt, fließt Gas vom Arbeitsraum mit dem momentan höheren Druck durch die longitudinale Nut in das Reservoir, durch die fluid-dosierenden Rinnen und in die radialen Hülsendurchgänge, welche das Gas in den Spalt zwischen Kolben und Zylinder entleeren. Dies formt ein Gas-Lager, das die Abnutzung der sich gegenüberliegenden Kolben und Zylinderwände reduziert. Eine derartige Struktur wird gebildet, indem der Kern nach dem Formen der Rinne auf der äußeren Oberfläche des Kerns in die Hülse eingepasst wird.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Gas-Lager ebenso zwischen einem Verdränger-Stab und einer Kernpassage, durch welche sich der Verdränger-Stab erstreckt, gebildet. Ein Verdränger-Stab erstreckt sich durch einen zylindrischen Durchgang durch den Kern und wenigstens drei Durchgänge werden durch die Seitenwand des Kerns gebildet. Die radialen Durchgänge befinden sich in Fluid-Verbindung mit den fluid-dosierenden Rinnen, und bewirken den Fluss von Gas von der dosierenden Rinne durch die radialen Durchgänge und in einen Spalt zwischen einer radial einwärts zeigenden Oberfläche des Kolbens und einer äußeren Oberfläche des Verdränger-Stabs.

[0016] Bei einem bevorzugten Verfahren der Herstellung des Kolbens wird die Hülse erhitzt, um sie zu erweitern, und der Kern wird coaxial mit dem zylindrischen Durchgang angeordnet. Der Kern wird an seinen Platz innerhalb der Passage der Hülse geschoben und die beiden Teile gleichen sich bei der Temperatur an. Eine sehr feste Verbindung wird zwischen der auswärts zeigenden Oberfläche des Kolbens und der einwärts zeigenden Oberfläche der Hülse gebildet, wodurch Fluid mit Ausnahme der Stellen, an denen Rinnen gebildet sind, am Durchgang dazwischen gehindert wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER UNTERSCHIEDLICHEN ANSICHTEN DER ZEICHNUNGEN

[0017] **Fig. 1** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, welche die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt, gezeigt in ihrer Betriebsposition in einer Freikolben-Stirling-Kreislauf-Cryo-Kühlmaschine.

[0018] **Fig. 2** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die den bevorzugten Kolben darstellt.

[0019] **Fig. 3** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die den bevorzugten Kern des Kolbens darstellt.

[0020] **Fig. 4** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die die bevorzugte Hülse des Kolbens darstellt.

[0021] **Fig. 5** ist eine perspektivische Ansicht, die den bevorzugten Kern des Kolbens darstellt.

[0022] **Fig. 6** ist eine perspektivische Ansicht, die einen vergrößerten Abschnitt des bevorzugten Kerns des Kolbens darstellt.

[0023] **Fig. 7** ist eine Endansicht in Schnittdarstellung entlang der Linien 7-7 aus **Fig. 5**.

[0024] **Fig. 8** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0025] **Fig. 9** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0026] **Fig. 10** ist eine Endansicht in Schnittdarstellung entlang der Linie 10-10, die den Kern aus **Fig. 9** zeigt.

[0027] **Fig. 11** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0028] **Fig. 12** ist eine Seitenansicht in Schnittdarstellung, die eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0029] Bei der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, welche in den Zeichnungen dargestellt ist, wird aus Gründen der Klarheit auf spezifische Terminologie zurückgegriffen. Es ist aber nicht beabsichtigt, dass die Erfindung auf die derart ausgewählten spezifischen Begriffe begrenzt wird und es ist selbstverständlich, dass jeder spezifische Begriff alle technischen Äquivalente beinhaltet, welche in einer ähnlichen Art und Weise funktionieren, um einen ähnlichen Zweck zu erreichen. Zum Bei-

spiel wird das Wort „verbunden“ oder ähnliche Begriffe oft genutzt. Diese sind nicht begrenzt auf direkte Verbindungen, sondern beinhalten Verbindungen durch andere Elemente, wenn eine solche Verbindung vom Fachmann als gleichwertig erkannt wird.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0030] Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in **Fig. 1** in einer Freikolben-Stirlingkreislauf-Cryo-Kühlmaschine **10** gezeigt. Nichts desto trotz kann die Erfindung in jeder Freikolbenmaschine genutzt werden, wie es für den Fachmann anhand der folgenden Beschreibung offensichtlich werden wird.

[0031] Der Kolben **12** ist gleitfähig innerhalb des Zylinders **14** montiert und antriebsmäßig mit einem kreisförmigen Ring **16**, an den Magnete montiert sind, verbunden. Der kreisförmige Ring **16** ist innerhalb eines Spalts angeordnet, in welchem ein zeitabhängig wechselndes, alternierendes Magnetfeld erzeugt wird, welches dazu führt, dass der kreisförmige Ring **16** und damit der antriebsmäßig verbundene Kolben **12** in einer Hin- und Herbewegung angetrieben wird. Der Cryo-Kühler **10** pumpt gemäß einem bekannten thermodynamischen Kreislauf Wärme vom kalten Ende **22** zum wärmeren Ende **24**, und erlaubt derart dem Cryo-Kühler, beispielsweise gasförmigen Stauerstoff abzukühlen, um diesen zu kondensieren und den Sauerstoff zu verflüssigen.

[0032] Für die Zwecke der vorliegenden Erfindung müssen nur der Kolben **12** und seine mitwirkenden Teile beschrieben werden. Der Kolben **12** ist detaillierter in **Fig. 2** dargestellt und beinhaltet zwei Hauptteile: einen Kern **30** und eine Hülse **50**. Der Kern **30** und die Hülse **50** sind mittels Press-Sitz über die Abgrenzung ihrer gegenüberliegenden Oberflächen miteinander verbunden. Der Kern **30** ist in **Fig. 3** alleine gezeigt und die Hülse **50** ist in **Fig. 4** alleine gezeigt.

[0033] Der Kern **30** ist ein länglicher zylindrischer Körper, vorzugsweise aus Aluminium hergestellt, der eine radial auswärts zeigende Oberfläche **32** und eine radial einwärts zeigende Oberfläche **34**, welche einen zylindrischen Durchgang **40** bildet, aufweist. Erste und zweite umlaufende Reservoir-Rinnen **36** und **38** werden in der äußeren Oberfläche des Kerns **30** gebildet. Die radialen Kerndurchgänge **42-49** (die Durchgänge **45** und **49** sind nur in **Fig. 6** sichtbar) werden abgewinkelt an voneinander entfernten Orten um den Umfang des Kerns **30** in Intervallen von etwa 90 Grad gebildet, und erstrecken sich durch die Kern-Seitenwand **31** von der einwärts zeigenden Oberfläche **34** zur auswärts zeigenden Oberfläche **32**.

[0034] Die Hülse **50** ist ein länglicher zylindrischer

Körper, vorzugsweise aus Aluminium hergestellt, der eine radial auswärts zeigende Oberfläche **52** und eine radial einwärts zeigende Oberfläche **54**, die einen zylindrischen Durchgangsweg **56** bildet, aufweist. Die radialen Hülsendurchgänge **61–68** (die Durchgänge **64** und **68** sind in [Fig. 4](#) nicht sichtbar) werden abgewinkelt an voneinander entfernten Orten entlang des Umgangs der Hülse **50** in Intervallen von etwa 90 Grad gebildet und erstrecken sich durch die Hülse-Seitenwand **58** zwischen der einwärts zeigenden Oberfläche **54** und der auswärts zeigenden Oberfläche **52**.

[0035] Der Kern **30** wird in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) gezeigt und weist vier umlaufende, fluid-dosierende Rinnen **80**, **82**, **84** und **86** auf, die in seiner auswärts zeigenden Oberfläche **32** gebildet sind. Jede der dosierenden Rinnen ist etwa 0,025 mm tief und etwa 0,178 mm breit. Natürlich können diese Dimensionen geändert werden mit daraus resultierenden Änderungen im Druckabfall des Fluids, das durch sie fließt.

[0036] Die dosierende Rinne **82** erstreckt sich um den Kern **30** und ist in Fluid-Verbindung mit den radialen Kerndurchgängen **46**, **47**, **48** und **49**. Die dosierende Rinne **86** erstreckt sich um den Kern und ist in Fluid-Verbindung mit den radialen Kerndurchgängen **42**, **43**, **44** und **45**. Die dosierenden Rinnen **80** und **84** erstrecken sich um den Kern **30** und sind in Fluid-Verbindung mit den radialen Hülsendurchgängen **61–64** und **65–68**, wenn der Kern **30** innerhalb der Hülse **50** positioniert ist.

[0037] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, ist die auswärts zeigende Oberfläche **32** des Kerns **30** abdichtend an die einwärts zeigende Oberfläche **54** der Hülse **50** angrenzend angeordnet. Die umlaufenden dosierenden Rinnen **80–86** werden von den Teilen der einwärts gerichteten Oberfläche **54** überdeckt, welche die dosierenden Rinnen **80–86** überbrücken. Daher bilden die Wände der dosierenden Rinnen **80–86** und die Teile der einwärts zeigenden Oberfläche **54**, die die dosierenden Rinnen **80–86** überdecken, umlaufende Fluidfluss-Wege. Das bevorzugte Fluid, das in Freikolben-Stirling-Cryo-Kühlern genutzt wird, ist ein Gas wie beispielsweise Helium und daher stellen die dosierenden Rinnen **80–86** in der bevorzugten Ausführungsform Gasfluss-Wege dar.

[0038] Die Gasfluss-Wege, die durch die dosierenden Rinnen **80–86** mit den bevorzugten Dimensionen gebildet werden, weisen einen vorbestimmten Widerstand gegen den Fluss des Gases durch sie auf, welcher einen bekannten Druckabfall im Gas verursacht, wenn es von einer Quelle durch die dosierenden Rinnen **80–86** in die radialen Kerndurchgänge **42–49** und die radialen Hülsendurchgänge **61–68** fließt. Gas, das aus den radialen Hülsendurchgängen **61–68** fließt, tritt in den Spalt zwischen der Kolbenwand und der Zylinderwand mit einer vorbestimmten

Durchfluss-Rate ein, um dort ein Gas-Lager zu bilden. Gas, das aus den radialen Kerndurchgängen **42–49** fließt, tritt in einen Spalt zwischen den Verdränger-Stab **11** und der zylindrischen Passage **40** im Kern **30** bei einer vorbestimmten Durchflussrate ein, um dort ein Gas-Lager zu bilden.

[0039] Wie bekannt ist, hängt der Widerstand für das Gas, das in den Spalt zwischen dem Kolben und dem Zylinder fließt, von der Position der Kolbenwand relativ zur Zylinderwand ab. Wenn die Kolbenwand nahe ist, steigt der Widerstand, wodurch der Druck erhöht wird und der Kolben an diesem Teil des Spalts weg von der Zylinderwand gedrückt wird. In dieser Hinsicht ist der Druck in den radialen Durchgängen abhängig von der Spaltgröße.

[0040] Im Bezug auf die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) werden die longitudinalen Sammel-Rinnen **92**, **93**, **94** und **95** in der radial auswärts zeigenden Oberfläche **32** des Kerns **30** gebildet. Diese longitudinalen Rinnen verbinden vorzugsweise das erste und das zweite Reservoir **36** und **38** ohne Druckabfall für die einbezogene Durchfluss-Rate und erstrecken sich vorzugsweise wenigstens von der umlaufenden dosierenden Rinne **86** zum linksseitigen Ende des zweiten Reservoirs **38**, das in [Fig. 3](#) gezeigt ist.

[0041] Die longitudinalen Rinnen **92–95** bilden Gas-Durchgänge, wenn die einwärts zeigende Oberfläche der Hülse **50** abdichtend an die auswärts zeigende Oberfläche des Kerns **30** angrenzt und sie überbrückt, in gleicher Weise wie die umlaufenden dosierenden Rinnen **80–86**. Jede der longitudinalen Rinnen ist in Fluid-Verbindung mit allen umlaufenden dosierenden Rinnen **80–86** und ermöglicht es dem Gas derart, von den Reservoirs **36** und **38** longitudinal zu jeder der umlaufenden dosierenden Rinnen zu fließen. Weil es vier longitudinale Rinnen gibt, fließt Gas zu vier gleichmäßig voneinander beabstandeten Positionen an jeder der umlaufenden dosierenden Rinnen.

[0042] Ein Quelldurchgang **37**, der in [Fig. 1](#) gezeigt ist und keinen wesentlichen Widerstand gegenüber dem Fluss des Gases aufweist, erstreckt sich longitudinal vom Arbeitsraumende des Kolbens zum ersten Reservoir **36**. Ein Einwegventil, vorzugsweise das Sperrventil **100**, das in [Fig. 6](#) gezeigt ist, erlaubt den Fluss von Gas vom Arbeitsraum nur in das Reservoir **36** und verhindert den Fluss von Gas durch den Quell-Durchgang **37** in die entgegengesetzte Richtung zum Arbeitsraum hin.

[0043] Die Ausführungsform, die in den [Fig. 1–Fig. 7](#) gezeigt ist, funktioniert, um ein Gaslager in dem Spalt zwischen der auswärts zeigenden Oberfläche **52**, der Hülse **50** und der Zylinderwand **14** und in dem Spalt zwischen der einwärts zeigenden Oberfläche des Kolbens **30** und den Verdränger-Stab

11 zu bilden. Wenn das Arbeitsgas im Arbeitsraum einen höheren Druck als das Gas im ersten Reservoir **36** aufweist, öffnet sich das Sperrventil **100** und Gas fließt in das erste Reservoir **36**. Ein Spitzenwert im Gasdruck während des Stirling-Kreislaufs bewirkt, dass Gas in das erste Reservoir **36** fließt und hält derart einen hohen Druck während des Betriebs des Cryo-Kühlers **10** aufrecht.

[0044] Das Gas in Reservoir **36** fließt durch die longitudinalen Sammelrinnen **92–95** zu vier beabstandeten Positionen in jeder der umlaufenden dosierenden Rinnen **80–86** und im zweiten Reservoir **38**. Das Gas, das durch die longitudinalen Sammelrinnen **92** bis **95** bereit gestellt wird, fließt durch die umlaufenden dosierenden Rinnen bei einer vorbestimmten Durchflussrate und einem vorbestimmten Druck zu den radialen Kerndurchgängen **42–49** und den radialen Hülsen-Durchgängen **61–68**. Die radialen Kern-Durchgänge **42–49** führen Gas in den Spalt zwischen dem Kern und den Verdränger-Stab, um dort ein Gas-Lager zu bilden. Die radialen Hülsen-Durchgänge **61–68** führen Gas in den Spalt zwischen der Hülse und der Zylinderwand, um dort ein Gas-Lager zu bilden.

[0045] Die umlaufenden dosierenden Rinnen müssen das Gas schnell genug in die radialen Kern- und Hüsendurchgängen abgeben, dass das Gas den Spalt zwischen den bewegenden Oberflächen schmiert, aber nicht so schnell, dass es einen Leckage-Verlust gibt, der die Effizienz des Cryo-Kühlers beeinträchtigt. Es wurde herausgefunden, dass umlaufende Durchgänge der Größe, die oben beschrieben ist, die notwendige Balance von Schmierung ohne wesentliche Effizienzverluste ermöglichen.

[0046] Die äußere Oberfläche des Kerns **30** ist leicht größer als der zylindrische Durchgang **56** der Hülse **50**, wenn er anfänglich gebildet wird. Bei der bevorzugten Ausführungsform gibt es eine Differenz von ungefähr 20 Mikrometern zwischen dem äußeren Durchmesser des Kerns **30** und dem inneren Durchmesser der Hülse **50**. Daher wird die Hülse vorzugsweise auf etwa 200 Grad Celsius aufgeheizt, um den Kern in der Hülse zu positionieren, anschließend werden Hülse und Kern coaxial aneinander angereicht und dann wird der Kolben in die zylindrische Passage **56** der Hülse geschoben, zur Position, die in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Nachdem sich die Temperaturen des Kolbens und der Hülse angeglichen haben, gibt es einen Press-Sitz, der jeder relativen Bewegung der Teile widersteht.

[0047] Als ein alternatives oder zusätzliches Verfahren könnte der Kern **30** gekühlt werden oder als weitere Alternative könnte die Hülse geheizt und der Kern gekühlt werden. Größere oder kleinere Unterschiede im Durchmesser könnten angepasst werden durch größere bzw. geringere Temperaturunterschie-

de, wie aus dieser Beschreibung offensichtlich für den Fachmann ist.

[0048] Wenn der Kern **30** und die Hülse **50** einmal wie oben beschrieben verbunden sind, um den Kolben **12** zu bilden, fließt Gas nur durch die Durchgänge, die gebildet sind. Kein Gas fließt zwischen der einwärts zeigenden Oberfläche der Hülse und der auswärts zeigenden Oberfläche des Kerns mit Ausnahme dort, wo dosierende, sammelnde oder Reservoir-Rinnen gebildet sind. Dieser Ausschluss von Gas-Fluss ist bedingt durch den extrem festen Sitz zwischen dem Kern und der Hülse.

[0049] In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die in den [Fig. 8](#), [Fig. 9](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) gezeigt ist, weist eine dünnwandige zylindrische Hülse **200** eine radial einwärts zeigende Oberfläche **202** auf, die einen zylindrischen Hüsendurchgang **204** bildet. Ein zylindrischer Kern **210** weist eine radial auswärts zeigende Oberfläche **212** auf und eine radial einwärts zeigende Oberfläche **214**, die einen zylindrischen Kerndurchgang **216** bildet.

[0050] Radiale Kerndurchgänge **218–225** erstrecken sich durch die Kernseitenwand **217** von der einwärts zeigenden Oberfläche **214** zu der auswärts zeigenden Oberfläche **212**. Zwei umlaufende dosierende Rinnen **240** und **242**, die gleichartig in Abmessungen und Funktion zu den dosierenden Rinnen der bevorzugten Ausführungsform sind, sind in Fluid-Verbindung mit den radialen Kerndurchgängen **218–225** angeordnet. Vier longitudinale Sammelrinnen **227–230** erstrecken sich zwischen den umlaufenden dosierenden Rinnen **240** und **242** und dem Hochdruck-Ende der Zylinderwand, um gleichartig zu den longitudinalen Rinnen der bevorzugten Ausführungsform zu arbeiten, in dem ein Flussweg mit geringem oder keinem Widerstand bereit gestellt wird.

[0051] Der Kern **210** wird in einer ähnlichen Art und Weise zum Verfahren zur Herstellung der bevorzugten Ausführungsform eingeschoben, bis der Aufbau, der in [Fig. 11](#) gezeigt ist, gebildet wird. Der verbundene Aufbau bildet eine Zylinderwand für eine Freikolbenmaschine, wie ein Freikolbenkompressor. Ein Kolben kann gleitfähig innerhalb der Kernpassage **216** montiert werden und die radialen Durchgänge **218–225** bilden ein Gas-Gleitlager für den Kolben während des Betriebs. Die Hülse **200** in der alternativen Ausführungsform dient nur dazu, die Rinnen, die im Kern **210** gebildet sind, zu überdecken.

[0052] Die Ausführungsform, die in den [Fig. 8–Fig. 11](#) gezeigt ist, könnte in einem Freikolben-Kompressor genutzt werden. Ein derartiger Kompressor benötigt kein Reservoir, weil das schmierende Gas von der Hochdruckkammer bezogen wird. Die longitudinalen Rinnen **227–232** erstre-

cken sich von der Hochdruckkammer zu den umlaufenden dosierenden Rinnen **240** und **242**, die das Gas in die radialen Durchgänge **218–225** entlassen.

[0053] Die bevorzugte Ausführungsform zeigt eine Anzahl von radialen Durchgängen, die als Gas-Gleitlager genutzt werden. Ein Minimum von drei radialen Durchgängen wird benötigt, um ein effektives Gas-Gleitlager zu bilden, aber in der bevorzugten Ausführungsform werden mehr benutzt.

[0054] Es ist nicht notwendig, ein Gas-Gleitlager zwischen dem Kolben und dem Verdränger-Stab zu bilden. Bei Freikolben-Kompressoren gibt es beispielsweise keinen Verdränger-Stab, der geschmiert werden müsste.

[0055] Bei der bevorzugten Ausführungsform werden die Rinnen und Durchgänge gebildet, um ein Gas-Gleitlager während des Betriebs zu erzeugen. Wie für den Fachmann offensichtlich ist, könnte das gleiche Verfahren und die gleiche Struktur genutzt werden, um einen oder mehrere Durchgänge und/oder Rinnen zum Zentrieren des Freikolbens zu bilden.

[0056] In einer alternativen Ausführungsform, die in [Fig. 12](#) gezeigt ist, ist ein Zylinder **300** gezeigt, der eine äußere Hülse **304** und einen inneren Kern **306** ausweist. Die äußere Hülse **304** weist umlaufende dosierende Rinnen **302** und **310** auf, die in ihrer radial einwärts zeigenden Oberfläche **308** gebildet sind. Der innere Kern **306** wird in der Hülse mit einem Press-Sitz montiert. Der innere Kern **306** weist radiale Öffnungen **311–314** (**314** nicht sichtbar in [Fig. 12](#)) und radiale Öffnungen **315–318** (**318** nicht sichtbar in [Fig. 12](#)) auf. Diese Ausführungsform stellt die Möglichkeit dar, die umlaufenden dosierenden Rinnen auf der einwärts zeigenden Oberfläche einer Struktur zu bilden.

[0057] Obwohl bestimmte bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detailliert offenbart worden sind, ist es selbstverständlich, dass verschiedenen Modifikationen durchgeführt werden können, ohne sich vom Geist der Erfindung oder dem Schutzbereich der nachfolgenden Ansprüche zu entfernen.

Patentansprüche

1. Freikolbenmaschine, bei welcher ein Kolben (**12**) gleitfähig in einem Zylinder (**14**), welcher in einem Gehäuse gebildet ist, montiert ist und ein Gas-Gleitlager in dem Spalt zwischen dem Kolben (**12**) und dem Zylinder (**14**) gebildet wird, wobei der Kolben (**12**) folgendes aufweist:

(a) Einen ersten zylindrischen Körper (**30**), der eine radial nach innen gerichtete Oberfläche (**34**) und eine radial nach außen gerichtete Oberfläche (**32**) auf-

weist;

(b) einen zweiten zylindrischen Körper (**50**), der koaxial mit dem ersten zylindrischen Körper (**30**) angeordnet ist und eine radial nach innen gerichtete Oberfläche (**54**) und eine radial nach außen gerichtete Oberfläche (**52**) aufweist;

(c) wenigstens drei über dem Umfang angeordnete, beabstandete, radial erstreckte Durchgänge (**61–68**), die sich durch einen (**50**) der beiden zylindrischen Körper (**30**, **50**) zwischen der radial nach innen gerichteten Oberfläche (**54**) und der radial nach außen gerichteten Oberfläche (**52**) des einen zylindrischen Körpers erstrecken;

dadurch gekennzeichnet, dass

(d) der Kolben weiterhin wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) aufweist, welche in einer (**32**) der radial gerichteten Oberflächen (**32**, **34**) des ersten zylindrischen Körpers (**30**) gebildet ist, wobei eine (**54**) der radial gerichteten Oberflächen (**52**, **54**) des zweiten zylindrischen Körpers (**50**) dichtend an die radial gerichtete Oberfläche (**32**) des ersten zylindrischen Körpers (**30**), auf welcher die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) gebildet ist, angrenzt, wobei ein Teil dieser angrenzenden Oberfläche (**54**) des zweiten zylindrischen Körpers (**50**) die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) überbrückt und überdeckt und derart einen Fluid-Flussweg bildet, der dem Fluss des Fluids dort hindurch einen Widerstand entgegensetzt; und

(e) die radialen Durchgänge (**61–68**) in Fluid-Verbindung mit dem Fluid-Flussweg und dem Spalt zwischen dem Kolben (**12**) und dem Zylinder (**14**) angeordnet sind.

2. Maschine nach Anspruch 1, wobei die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) auf der radial einwärts gerichteten Oberfläche (**34**) des ersten zylindrischen Körpers (**30**) gebildet ist und die radial auswärts gerichtete Oberfläche (**52**) des zweiten zylindrischen Körpers (**50**) dichtend an die radial einwärts gerichtete Oberflächen (**34**) des ersten zylindrischen Körpers (**30**) angrenzt.

3. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass:

(a) der erste zylindrische Körper ein zylindrischer Kern (**30**) ist, der eine Seitenwand (**31**) mit einer radial auswärts gerichteten Oberfläche aufweist und die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) darauf gebildet ist;

(b) der zweite zylindrische Körper eine zylindrische Hülse (**50**) ist, die koaxial mit dem Kern (**30**) angeordnet ist, wobei die Hülse (**50**) eine Seitenwand (**58**) mit einer radial einwärts gerichteten Oberfläche (**54**) aufweist, die dichtend an die auswärts gerichtete Oberfläche (**32**) des Kerns (**30**) angrenzt, wobei die einwärts gerichtete Oberfläche (**54**) die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (**80–86**) überbrückt und überdeckt; und

(c) die wenigstens drei über dem Umfang angeordneten, beabstandeten radialen Durchgänge (61–68) sich durch die Hülsen-Seitenwand (58) zwischen der einwärts gerichteten Oberfläche (54) der Hülse (50) und der auswärts gerichteten Oberfläche (52) der Hülse (50) erstrecken.

4. Maschine nach Anspruch 3, welche weiterhin einen zylindrischen Kerndurchgang (40) aufweist, der sich longitudinal durch den Kern (30) erstreckt und die radial einwärts gerichtete Oberfläche (34) bildet, und wenigstens drei radiale Durchgänge (42–49) sich radial durch die Kern-Seitenwand (31) erstrecken und in Fluid-Verbindung mit dem Fluid-Flussweg und dem zylindrischen Kerndurchgang (40) angeordnet sind.

5. Maschine nach Anspruch 3, wobei die wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (80–86) in der auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist und die umlaufende, fluid-dosierende Rinne in Fluid-Verbindung mit den radialen Hülsen-Durchgängen (61–68) steht.

6. Maschine nach Anspruch 5, die weiterhin wenigstens eine longitudinale Sammelrinne (92–95), welche in der radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist, aufweist, wobei die longitudinale Sammelrinne (92–95) in Fluid-Verbindung mit der umlaufenden, fluid-dosierenden Rinne (80–86) steht.

7. Maschine nach Anspruch 5 oder 6, die weiterhin folgendes aufweist:

- (a) Eine umlaufende Reservoir-Rinne (36, 38), die in der radial auswärts gerichteten Oberfläche des Kerns (30) gebildet ist;
- (b) ein Quell-Fluid-Durchgang (37), der in der Kern-Seitenwand (31) gebildet ist, wobei der Quell-Fluid-Durchgang sich longitudinal von der umlaufenden Reservoir-Rinne (36, 38) zu einem Kernende erstreckt; und
- (c) ein Sperrventil (100), das entlang des Quell-Fluid-Durchgangs angeordnet ist, um Fluidfluss aus der Reservoir-Rinne (36, 38) zum Kernende zu verhindern.

8. Maschine nach Anspruch 3, die weiterhin folgendes aufweist:

- (a) Einen zylindrischen Kerndurchgang (40), der sich longitudinal durch den Kern (30) erstreckt und die radial einwärts gerichtete Oberfläche (34) bildet;
- (b) wenigstens drei radiale Kerndurchgänge (42–49), die im wesentlichen gleich beabstandet umlaufend entlang der Kern-Seitenwand (31) angeordnet sind und sich radial durch die Kern-Seitenwand (31) erstrecken, wobei die Kerndurchgänge (42–49) in Fluid-Verbindung mit dem zylindrischen Kerndurchgang (40) angeordnet sind;
- (c) die wenigstens eine fluid-dosierende Rinne (82,

86), die in der radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist, wobei die fluid-dosierende Rinne (82, 86) in Fluid-Verbindung mit den radialen Kerndurchgängen (42–49) steht;

(d) eine zweite umlaufende fluid-dosierende Rinne (80, 84), die in der radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist, wobei die fluid-dosierende Rinne (80, 84) in Fluid-Verbindung mit den radialen Hülsen-Durchgängen (61–68) steht;

(e) eine umlaufende Reservoir-Rinne (36, 38), die in der radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist;

(f) ein Quell-Fluid-Durchgang (37), der in der Kern-Seitenwand (31) gebildet ist, wobei der Quell-Fluid-Durchgang (37) sich longitudinal von der umlaufenden Reservoir-Rinne (36, 38) zum Kernende erstreckt;

(g) ein Sperrventil (100), das entlang des Quell-Fluid-Durchgangs (37) angeordnet ist, um einen Fluidfluss von der Reservoir-Rinne (36, 38) zum Kernende zu verhindern;

(h) eine longitudinale Sammelrinne (92–95), die in der radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) des Kerns (30) gebildet ist, wobei die longitudinale Sammelrinne (92–95) in Fluid-Verbindung mit den umlaufenden fluid-dosierenden Rinnen (80–86) und der umlaufenden Reservoir-Rinne (36, 38) steht.

9. Verfahren zur Herstellung eines Kolbens (12) für eine Freikolbenmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der der Kolben (12) gleitfähig in einem Zylinder (14) montiert ist und ein Gas-Gleitlager in dem Spalt zwischen dem Kolben (12) und dem Zylinder (14) gebildet wird, wobei das Verfahren folgendes aufweist:

(a) Das koaxiale Anordnen eines zylindrischen Kerns (30), wobei der Kern (30) eine radial auswärts gerichtete Oberfläche (32) aufweist, mit einer zylindrischen Hülse (50), wobei die Hülse (50) eine Seitenwand (58) mit einer radial einwärts gerichteten Oberfläche (54) und wenigstens drei über den Umfang angeordneten, beabstandeten radialen Durchgängen (61–68), die sich durch die Hülsen-Seitenwand (58) zwischen der einwärts gerichteten Oberfläche (54) der Hülse (50) und einer radial auswärts gerichteten Oberfläche (52) der Hülse (50) erstreckt, aufweist; und

(b) das gegenseitige dichtende Anordnen der auswärts gerichtete Kernoberfläche (32) gegen die einwärts gerichtete Hülsen-Oberfläche (54); weiterhin gekennzeichnet durch

(c) die Verwendung eines zylindrischen Kerns (30), welcher wenigstens eine umlaufende, fluid-dosierende Rinne (80–86) aufweist, welche in seiner radial auswärts gerichteten Oberfläche (32) gebildet ist;

(d) die einwärts gerichtete Hülsen-Oberfläche (54) die umlaufende fluid-dosierende Rinne (80–r) überbrückt und überdeckt, wodurch ein Fluid-Flussweg in der überdeckten Rinne (80–86) gebildet wird, der dem Fluss eines Fluids durch den Fluid-Flussweg ei-

nen Widerstand entgegengesetzt, wobei die radialen Durchgänge (61–68) in Fluid-Verbindung mit dem Fluid-Flussweg in der umlaufenden fluid-dosierenden Rinne (80–86) angeordnet sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, welches weiterhin die Änderung der relativen Temperaturen von Kern (30) und Hülse (50) vor dem Verfahrensschritt des gegenseitigen dichtenden Anordnens aufweist.

11. Freikolbenmaschine, bei welcher ein Kolben (12) gleitfähig in einem Zylinder (Fig. 11), welcher in einem Gehäuse gebildet ist, montiert ist und ein Gas-Gleitlager in dem Spalt zwischen dem Kolben (12) und dem Zylinder (Fig. 11) gebildet wird, wobei der Zylinder (Fig. 11) folgendes aufweist:

- (a) Einen zylindrischen Kern (210), der eine Seitenwand mit einer radial auswärts gerichteten Oberfläche (212) und einen zylindrischen Kerndurchgang (216), welcher sich longitudinal durch den Kern (210) erstreckt und eine radial einwärts gerichtete Oberfläche (214) bildet, aufweist;
- (b) eine zylindrische Hülse (200), die coaxial mit dem Kern (210) angeordnet ist, wobei die Hülse (200) eine Seitenwand mit einer radial einwärts gerichteten Oberfläche (202) aufweist, die dichtend an die auswärts gerichtete Oberfläche (212) des Kerns (210) angrenzt;
- (c) wenigstens drei beabstandete, über den Umfang angeordnete radiale Kerndurchgänge (218–224), welche sich durch die Kern-Seitenwand zwischen der einwärts gerichteten Oberfläche (214) des Kerns (210) und der radial auswärts gerichteten Oberfläche (212) des Kerns (210) erstrecken; dadurch gekennzeichnet, dass
- (d) der zylindrische Kern (210) wenigstens eine umlaufende fluid-dosierende Rinne (240, 242), die in seiner radial auswärts gerichteten Oberfläche (212) gebildet ist, aufweist;
- (e) die einwärts gerichtete Hülsen-Oberfläche (202) die umlaufende fluid-dosierende Rinne (240, 242) überbrückt und überdeckt, wodurch die umlaufende fluid-dosierende Rinne (240, 242) einen Fluid-Flussweg in der Rinne bildet, der dem Fluss von Fluid durch den Fluid-Flussweg einen Widerstand entgegengesetzt; und
- (f) die radialen Kerndurchgänge (218–224) in Fluid-Verbindung mit dem Fluid-Flussweg und dem Spalt zwischen dem Kolben (12) und dem Zylinder (Fig. 11) angeordnet sind.

12. Freikolbenmaschine, bei welcher ein Kolben (12) gleitfähig in einem Zylinder (Fig. 12), welcher in einem Gehäuse gebildet ist, montiert ist und ein Gas-Gleitlager in dem Spalt zwischen dem Kolben (12) und dem Zylinder (Fig. 12) gebildet wird, wobei der Zylinder (Fig. 12) folgendes aufweist:

- (a) Einen zylindrischen Kern (306), der eine Seitenwand mit einer radial auswärts gerichteten Oberfläche und einen zylindrischen Kerndurchgang, welcher

sich longitudinal durch den Kern erstreckt und eine radial einwärts gerichtete Oberfläche bildet, aufweist; (b) eine zylindrische Hülse (304), die coaxial mit dem Kern (306) angeordnet ist, wobei die Hülse (304) eine Seitenwand mit einer radial einwärts gerichteten Oberfläche (308) aufweist, die dichtend an die auswärts gerichtete Oberfläche des Kerns (306) angrenzt;

(c) wenigstens drei beabstandete, über den Umfang angeordnete radiale Kerndurchgänge (311–318), welche sich durch die Kern-Seitenwand zwischen der einwärts gerichteten Oberfläche des Kerns (306) und der radial auswärts gerichteten Oberfläche des Kerns (306) erstrecken; dadurch gekennzeichnet, dass

(d) die zylindrische Hülse (304) wenigstens eine umlaufende fluid-dosierende Rinne (302, 310), die in ihrer radial einwärts gerichteten Oberfläche (308) gebildet ist, aufweist;

(e) die auswärts gerichtete Kern-Oberfläche die umlaufende fluid-dosierende Rinne (302, 310) überbrückt und überdeckt, wodurch die umlaufende fluid-dosierende Rinne (302, 310) einen Fluid-Flussweg in der Rinne bildet, der dem Fluss von Fluid durch den Fluid-Flussweg einen Widerstand entgegengesetzt; und

(f) die radialen Kerndurchgänge (311–318) in Fluid-Verbindung mit dem Fluid-Flussweg und dem Spalt zwischen dem Kolben (12) und dem Zylinder (Fig. 12) angeordnet sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

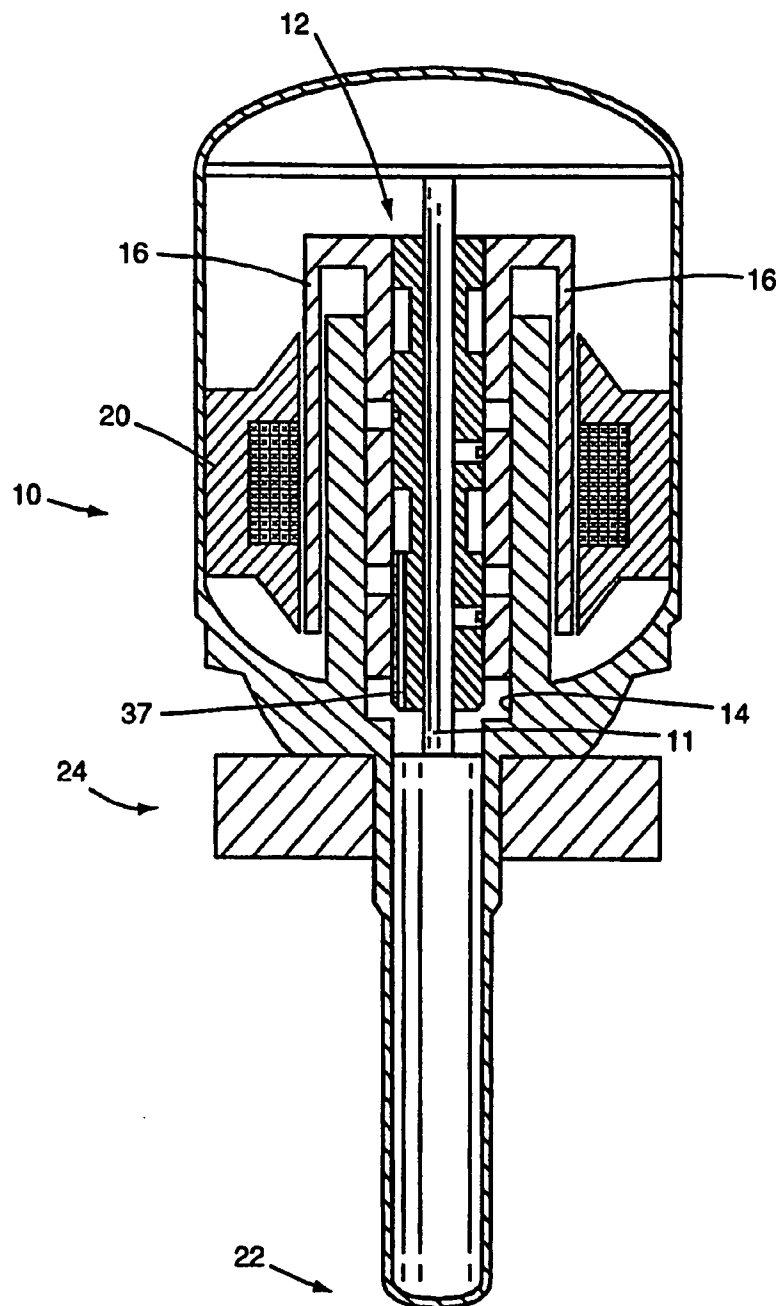


Fig. 2

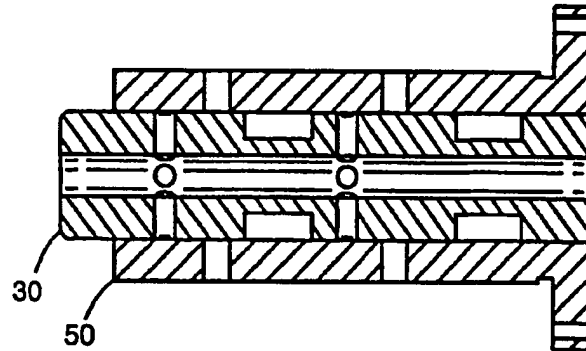


Fig. 3

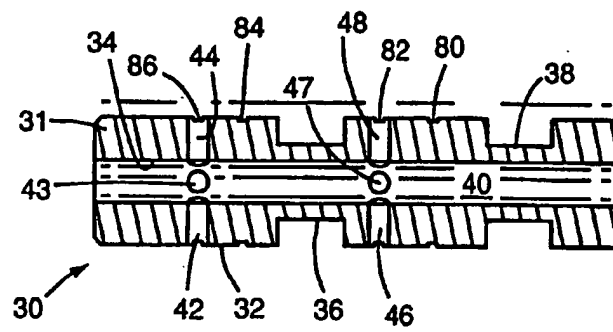


Fig. 4

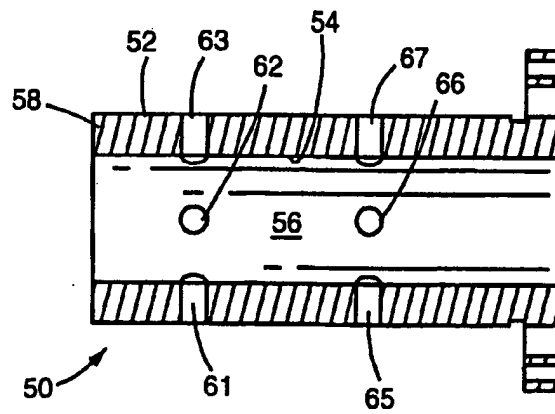


Fig. 5

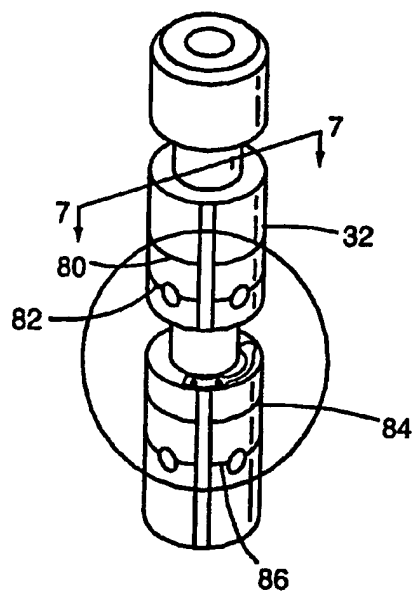


Fig. 6

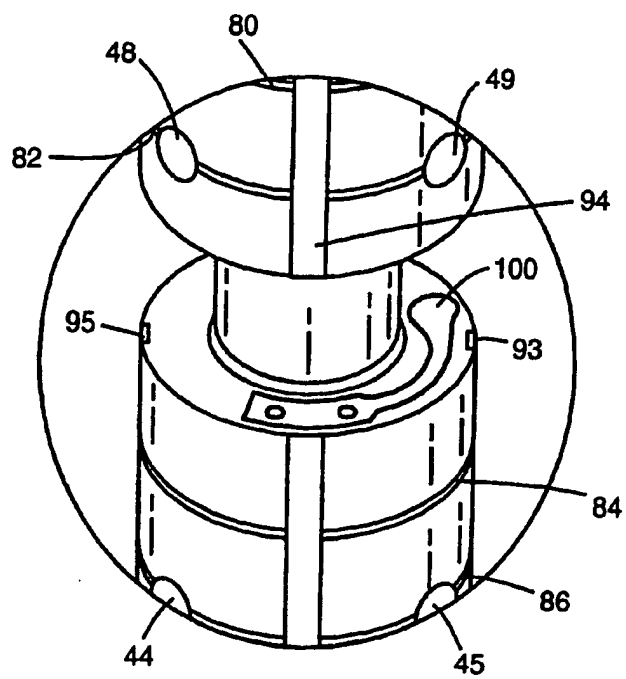


Fig. 7

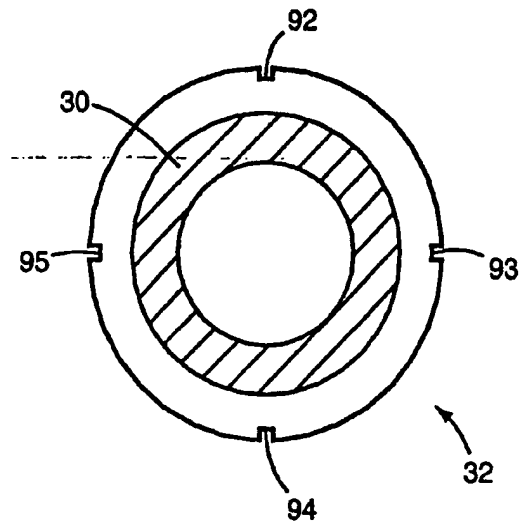


Fig. 8

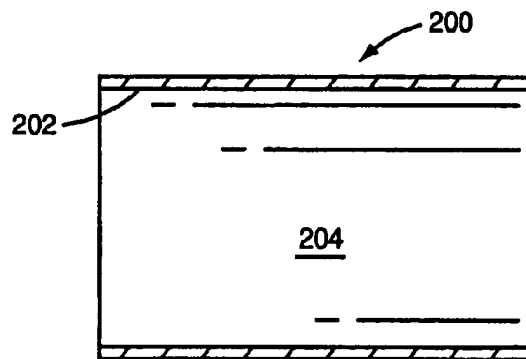


Fig. 9

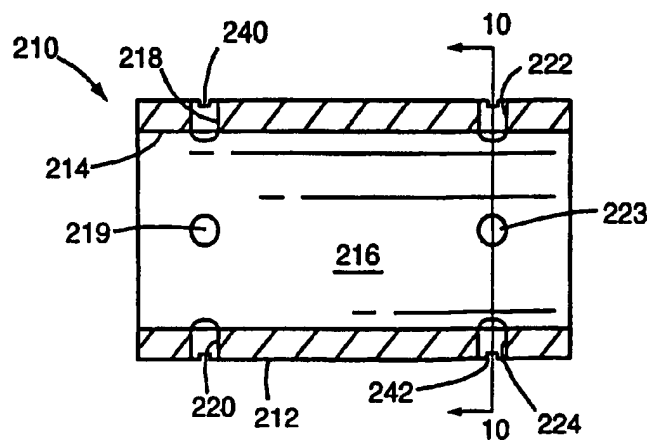


Fig. 10

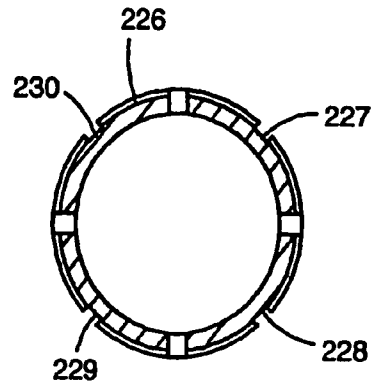


Fig. 11

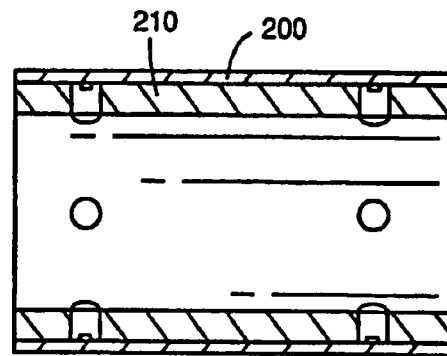


Fig. 12

