



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 017 984 A1** 2009.10.08

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 017 984.1**

(22) Anmeldetag: **07.04.2008**

(43) Offenlegungstag: **08.10.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F16C 32/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Rothe Erde GmbH, 59555 Lippstadt, DE;  
 ThyssenKrupp Transrapid GmbH, 34127 Kassel,  
 DE**

(74) Vertreter:

**Frhr. von Schorlemer, R., Dipl.-Phys., Pat.-Anw.,  
 34117 Kassel**

(72) Erfinder:

**Löser, Friedrich, Dr., 85521 Riemerling, DE; Zheng,  
 Qinghua, Dr., 82024 Taufkirchen, DE; Bauer,  
 Markus, Dr., 85354 Freising, DE; Breucker,  
 Uwe-Otto, Dr., 59590 Geseke, DE; Claus,  
 Wolfgang, 59510 Lippetal, DE; Rollmann, Jörg, Dr.,  
 59558 Lippstadt, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

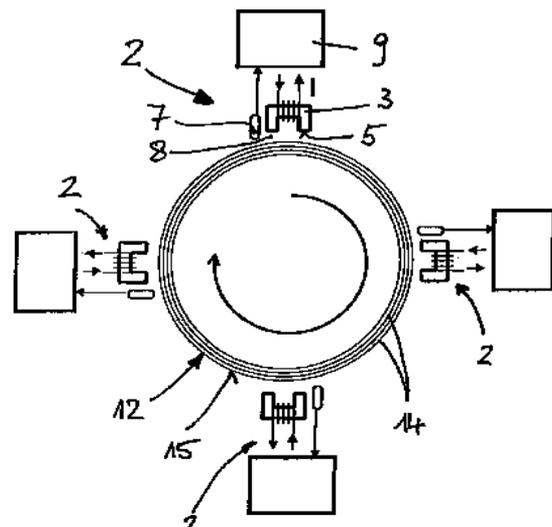
<b>WO</b>	<b>199/5 02 270</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>00 15 126</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>61 22 993</b>	<b>A</b>
<b>DE</b>	<b>42 08 017</b>	<b>A1</b>

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Magnetlager sowie Verfahren zur Herstellung eines dafür geeigneten Lagerrings**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Magnetlager mit einem Lagerring (12), einer Mehrzahl von längs dessen Umfang angeordneten Elektromagneten (2) und wenigstens einem Abstandssensor (7) pro Elektromagnet (2) beschrieben. Erfindungsgemäß ist der Lagerring (12) bezüglich seiner magnetischen und/oder thermischen Eigenschaften zumindest in Umfangsrichtung im Wesentlichen isotrop ausgebildet. Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass ein nahtlos hergestellter, ein Mittelloch aufweisender Block durch Ringwalzen bearbeitet wird (Fig. 3).



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Magnetlager der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung und ein Verfahren zur Herstellung eines dafür geeigneten Lagerrings.

**[0002]** Magnetlager dienen zur berührungslosen Lagerung von Rotationskörpern mit Hilfe von an diesen angebrachten, kreisrunden Lagerringen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie verschleißfrei arbeiten und keine Schmiermittel benötigen. Bevorzugte Anwendungsgebiete sind daher z. B. die Vakuum- und die Medizintechnik. Bekannt sind beispielsweise magnetisch gelagerte Herzpumpen für die Herz-Chirurgie.

**[0003]** Die berührungslose Lagerung der Lagerringe erfolgt dadurch, dass deren Abstände von den sie tragenden Elektromagneten laufend mittels Sensoren ermittelt, die erhaltenen Istwerte mit Abstands-Sollwerten verglichen, die sich ergebenden Differenzwerte einem Regelkreis zugeführt und mit diesen die Ströme in den Wicklungen der Elektromagnete so geregelt werden, dass die Abstands-Istwerte im Wesentlichen konstant bleiben.

**[0004]** Zur Herstellung der Lagerringe von Magnetlagern wird z. B. von gewalzten Elektroblechen ausgegangen, die durch Stanzen geformt und mit Mittellöchern versehen und dann gestapelt und miteinander verbunden werden. Bekannt ist es auch, von größeren Stahlteilen auszugehen und diese dann durch Drehen und Fräsen in die gewünschte Form zu bringen.

**[0005]** Ein gemeinsames Merkmal derartiger Lagerringe besteht darin, dass ihre magnetischen Eigenschaften, in Umfangsrichtung betrachtet, nicht isotrop sind. Es wird vermutet, dass diese magnetische Anisotropie u. a. dadurch entsteht, dass die als Ausgangsmaterialien verwendeten Elektrobleche oder Stahlteile während der vorangehenden in linearen Arbeitsschritten ablaufenden Walzvorgänge mit Gefügestrukturen versehen werden, die nur in der Walzrichtung eine gleichförmigen Aufbau haben, in allen davon abweichenden Richtungen dagegen anders ausgebildet sind. Möglicherweise aus demselben Grund weisen Lagerringe der beschriebenen Art auch ein lokal unterschiedliches Verhalten bei Temperaturschwankungen auf. Diese können sich während des Betriebs der Magnetlager z. B. aufgrund von Änderungen der Umgebungstemperatur oder auch dadurch ergeben, dass die Spaltregelung und/oder die induktiv erfolgende Abtastung des Spalts zu Wirbelströmen in den Lagerringen führt.

**[0006]** Sofern Lagerringe dieser Art vergleichsweise kleine Außendurchmesser von z. B. ca. 100 mm aufweisen, wie dies z. B. für die bisher bekannten Mag-

netlager durchweg zutrifft, spielt die magnetische und thermische Anisotropie keine bedeutsame Rolle. Da kleine Lagerringe mit Rundlaufabweichungen von weniger als z. B. 10  $\mu$  herstellbar sind, ergeben sich angesichts optimaler Spaltdicken bis zu 0,5 mm trotz unvermeidbarer magnetischer und thermischer Anisotropien keine regeltechnischen Probleme. Eine ganz andere Situation liegt jedoch vor, wenn Lagerringe mit großen Außendurchmessern von z. B. 500 mm und mehr, insbesondere z. B. von bis 1000 mm benötigt werden, wie dies z. B. für die Anwendung von Magnetlagern in medizinischen Scannern erwünscht wäre. Derart große Lagerringe könnten zwar mit Rundlaufabweichungen von z. B. 50  $\mu$  bis 100  $\mu$  hergestellt werden, was für die Regelung ohne Vergrößerung der Spaltdicke noch ausreichen würde. Infolge der unvermeidlichen magnetischen und thermischen Anisotropien treten hier aber sowohl bei der Messung des Spalts, falls sie induktiv erfolgt, als auch bei der Regelung der Magnetkraft so große zusätzliche Schwankungen der magnetischen und thermischen Eigenschaften auf, dass zu deren Kompensation sicherheitshalber vergrößerte Spalte zwischen den Lagerringen und den Elektromagneten bzw. zwischen dem Rotor und dem Stator vorgesehen werden müssen, um eine die erhöhte Spaltdynamik berücksichtigende Reserve zu schaffen und unerwünschte Berührungen zu vermeiden. Diese Vergrößerung der Spaltdicke auf einen Wert, der größer ist, als der aus geometrischen Gründen kleinstmöglichen Spaltdicke entspricht, hat zur Folge, dass der konstruktive und finanzielle Aufwand für die Elektromagnete, Sensoren und Regler in unerwünschter Weise vergrößert wird.

**[0007]** Ausgehend davon liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, das Magnetlager der eingangs bezeichneten Gattung so auszubilden, dass es auch dann die Anwendung vergleichsweise kleiner Spaltdicken gestattet, wenn Lagerringe mit großen Durchmessern von z. B. 500 mm und mehr vorgesehen werden, so daß auch Magnetlager mit großen Durchmessern wirtschaftlich betrieben werden können. Außerdem soll ein Verfahren zur Herstellung von für diesen Zweck geeigneten Lagerringen vorgeschlagen werden.

**[0008]** Zur Lösung dieses Problems dienen die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 4. Außerdem sieht die Erfindung die Anwendung nach Anspruch 9 vor.

**[0009]** Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, die beschriebenen Nachteile, die sich insbesondere bei der Anwendung von Magnetlagern mit großen Durchmessern bemerkbar machen, dadurch zu umgehen, dass im Gegensatz zum Stand der Technik Lagerringe verwendet werden, die eine im Wesentlichen kreissymmetrische Werkstoffstruktur und damit auch magnetische und/oder thermische Eigenschaf-

ten aufweisen, die längs ihres Umfangs im Wesentlichen überall gleich sind. Dadurch werden die bisher unvermeidbaren, durch Anisotropien entstehenden Schwankungen weitgehend ausgeschaltet. Außerdem wird ein von den bisherigen Herstellungsverfahren grundlegend abweichendes Verfahren zur Herstellung der Lagerringe vorgeschlagen, das in dem hier benötigten Umfang eine gleichmäßige Ausbildung der magnetischen Eigenschaften sicherstellt. Insoweit besteht die Erfindung auch in der Anwendung von Verfahren, die bisher für andere Zwecke verwendet wurden, zur Herstellung von Lagerringen für Magnetlager.

**[0010]** Weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0011]** Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Es zeigen:

**[0012]** **Fig. 1** schematisch ein Magnetlager mit einem herkömmlich hergestellten Lagerring;

**[0013]** **Fig. 2** zwei Schaubilder zur Darstellung der Abhängigkeiten von Spaltsignalen und Magnetkräften vom Drehwinkel des Lagerrings bei Anwendung eines als ideal kreisrund angenommenen, jedoch magnetisch und thermisch anisotropen Lagerrings;

**[0014]** **Fig. 3** schematisch ein Magnetlager mit einem erfindungsgemäß hergestellten Lagerring; und

**[0015]** **Fig. 4** der **Fig. 2** entsprechende Schaubilder für einen ebenfalls als ideal kreisrund angenommenen, jedoch erfindungsgemäß ausgebildeten Lagerring.

**[0016]** **Fig. 1** zeigt schematisch ein Magnetlager mit einem als Innenring und Rotor gestalteten Lagerring 1 und einem als Außenring und Stator dargestellten Außenring, von dem nur vier Elektromagnete 2 angedeutet sind. Jeder Elektromagnet 2 weist einen üblichen Kern 3 und einen auf diesen gewickelte Spule 4 auf. Magnetpolflächen 5 der Kerne 3 sind einer Umfangs- bzw. Radialfläche 6 des Lagerrings 1 zugeordnet und können wie üblich an deren Kontur angepasste, konkave Konturen aufweisen. Der Aufbau aller Elektromagnete 2 ist zweckmäßig gleich, so dass nur ein Elektromagnet 2 beschrieben werden braucht.

**[0017]** Der Lagerring 1 besteht aus einem ferromagnetischen Material und wird durch die Elektromagnete 2 in an sich bekannter Weise radial zentriert und geführt. Außerdem kann der Lagerring 1 z. B. am Umfang einer Scheibe aus einem nicht ferromagnetischen Material befestigt, insbesondere auf diese aufgeschumpft und/oder an einem zu lagernden Rotationskörper befestigt sein. Normalerweise ist an den

beiden Enden eines Rotors je ein derartiger, ein Radiallager bildender Lagerring 1 angebracht, während in einem mittleren Teil des Rotors ein weiterer, nicht gezeigter Lagerring angeordnet ist, der als Axiallager dient und mit umlaufenden Randabschnitten seiner Stirn- bzw. Axialflächen weiteren Elektromagneten gegenüber steht. Ebenfalls nicht dargestellt ist der Antrieb, mittels dessen der Rotor und damit auch die Lagerringe 1 in Rotation versetzt werden. Hierzu können übliche, dem Fachmann bekannte Mittel verwendet werden.

**[0018]** Wie **Fig. 1** weiter zeigt, ist jedem Elektromagnet 2 ein vorzugsweiser induktiver Sensor 7 zugeordnet, der die Istwerte der Dicke eines Luftspalts 8 misst, der sich beim Betrieb des Magnetlagers, d. h. beim Drehen des Lagerrings 1, zwischen dessen Umfangs- bzw. Radialfläche 6 und den Polflächen 5 des zugeordneten Elektromagneten 2 bildet. Das Ausgangssignal des Sensors 7 wird einer vereinfacht dargestellten Regeleinrichtung 9 zugeführt und in dieser mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen. Aus der Differenz beider Signale wird ein Stellsignal abgeleitet, das einer den Strom durch die betreffende Spule 4 steuernden Stromquelle zugeführt wird. Dadurch wird der Spulenstrom und damit die am Ort des Sensors 2 auf den Lagerring 1 wirkende Magnetkraft so gesteuert, dass die Dicke des Spalts 8 trotz etwaiger geometrischer Unwuchten im Lagerring 1 im Wesentlichen den gewünschten Sollwert annimmt. Diese Art der Regelung ist für alle Elektromagnete 2 vorzugsweise dieselbe.

**[0019]** Durch Linien 1a einer Schraffur für den Lagerring 1 ist in **Fig. 1** angedeutet, dass die Gefügestruktur aufgrund eines Walzprozesses nur in einer bestimmten Vorzugsrichtung homogen, als in Richtungen quer dazu jedoch anders ist. Das hat sowohl Auswirkungen auf die Größe des induktiv ermittelten Messsignals des Sensors 7 als auch auf die vom Spulenstrom erzeugte Magnetkraft, wie **Fig. 2** zeigt. Im oberen Teil der **Fig. 2** ist schematisch die Abhängigkeit des Spaltsignals  $u$  vom Drehwinkel  $\theta$  des Lagerrings 1, im unteren Teil dagegen die Abhängigkeit der vom Elektromagneten 2 entwickelten und auf den Lagerring 1 ausgeübten Magnetkraft  $F$  vom Drehwinkel  $\theta$  des Lagerrings 1 dargestellt. Für beide Fälle ist angenommen, dass der Lagerring 1 und insbesondere dessen Radialfläche 6 ideal kreisförmig ausgebildet ist. Daraus folgt, dass eigentlich für alle Winkel  $\theta$  ein Spaltsignal  $u = u_0$  erhalten werden müsste, das dem gewünschten Sollwert der Spaltdicke entspricht, und dass daher mittels eines längs des gesamten Umfangs des Lagerrings 1 konstant gehaltenen Stroms  $i_0$  eine im Wesentlichen konstante Magnetkraft  $F_0$  erhalten werden müsste, die zur Erhaltung der Soll-Spaltdicke erforderlich ist.

**[0020]** Tatsächlich zeigt **Fig. 2** jedoch, dass trotz eines geometrisch idealen Spalts einerseits das Sen-

sorsignal  $u$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\theta$  längs einer Kurve **10** schwankt. Andererseits wirkt auf den Lagerring **1** bei konstant gehaltenem Strom  $i_0$  keine konstante, sondern längs einer Kurve **11** schwankende Magnetkraft  $F$ . Das bedeutet, dass der Regeleinrichtung **9** ein im Sinne der Kurve **10** schwankendes und damit fehlerhaftes Sensorsignal mitgeteilt wird, selbst wenn die Spaltdicke geometrisch den Idealwert besitzt, und dass außerdem ein Strom  $i$  durch die Spulen **4** keine konstante, sondern eine längs der Kurve **11** schwankende Magnetkraft  $F$  erzeugt. Beides hat seine Ursache in der oben angegebenen, magnetischen und/oder thermischen Anisotropie, die in **Fig. 1** bewirkt, dass die Gefügestruktur zumindest an Orten einiger der Elektromagnete **2** eine andere als an Orten anderer Elektromagnete **2** ist. Eine Lösung der bestehenden Regelaufgabe wird auf diese Weise empfindlich behindert.

**[0021]** Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, einen Lagerring **12** (**Fig. 3**) zu verwenden, der abweichend vom Stand der Technik bezüglich seiner magnetischen und/oder thermischen Eigenschaften in Umfangsrichtung im Wesentlichen isotrop ausgebildet ist. Das ist in **Fig. 3** durch Kreislinien **14** angedeutet, die eine Kreissymmetrie der magnetischen und thermischen Eigenschaften darstellen sollen. Im Übrigen ist die Anordnung gemäß **Fig. 3** identisch mit der in **Fig. 1**, weshalb für gleiche Teile dieselben Bezugszeichen verwendet sind.

**[0022]** Zur Sicherstellung von in Umfangsrichtung gleichförmigen Gefügestrukturen und damit homogenen magnetischen Eigenschaften wird der Lagerring **14** vorzugsweise aus einem nahtlos hergestellten Ring gefertigt, der durch Ringwalzen in seine endgültige Form gebracht wird. Der Prozess des Ringwalzens ist dem Fachmann natürlich allgemein bekannt. Neu ist hier jedoch das durch das Ringwalzen angestrebte Ergebnis. Bisher wird das Ringwalzen ausschließlich zur Herstellung bestimmter geometrischer Abmessungen mit kleinen Rundlaufabweichungen verwendet. Wesentlich für die Erfindung ist dagegen, dass durch das Ringwalzen offenbar auch Gefügestrukturen erhalten werden, die zu den gewünschten, an jedem Ort des Umfangs des Lagerrings **1** im Wesentlichen gleichen magnetischen oder thermischen oder sogar sowohl magnetischen als auch thermischen Eigenschaften führen.

**[0023]** Die mit dem erfindungsgemäßen Lagerring **12** erzielten Ergebnisse sind in **Fig. 4** in einer der **Fig. 2** entsprechenden Weise dargestellt. Da erfindungsgemäß ein Lagerring **12** verwendet wird, der in Umfangsrichtung vorzugsweise sowohl in magnetischer als auch in thermischer Hinsicht weitgehend isotrop ausgebildet ist, entfallen – ideale geometrische Kreisform einer außen liegenden Umfangsfläche **15** wiederum vorausgesetzt – die in **Fig. 2** dargestellten Kurven **10** und **11** nahezu vollständig. Das

Sensorsignal  $u$  hat vielmehr längs des gesamten Umfangs des Lagerrings **12** einen im Wesentlichen konstanten Wert  $u_0$  entsprechend einer im Wesentlichen gleichbleibenden Spaltdicke, während ein konstant gehaltenen Strom  $i_0$  eine im Wesentlichen konstante, vom Drehwinkel  $\theta$  unabhängige Magnetkraft  $F_0$  erzeugt, die z. B. genau der zur Erhaltung des Sollspalts benötigten Magnetkraft entspricht. Außerdem werden diese Eigenschaften über einen weiten Temperaturbereich erhalten, so dass Änderungen der Raumtemperatur od. dgl. keinen Einfluss auf die Regelung haben.

**[0024]** Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Lagerringe **12** wird vorzugsweise von einem massiven Stahlblock od. dgl. ausgegangen, der die gewünschte Dicke (z. B. 20 mm bis 50 mm) und eine gleichförmig runde Umfangsfläche **15** besitzt. Ein derartiger Block kann z. B. durch Gießen, Schmieden oder sonstwie hergestellt und bereits während seiner Herstellung mit einem Mittelloch versehen werden. Alternativ kann das Mittelloch auch in einem späteren Verfahrensschritt im fertigen Block angebracht werden. Anschließend wird die Umfangsfläche **15** hinsichtlich der magnetischen und thermischen Eigenschaften in Umfangsrichtung homogenisiert, wie in **Fig. 3** durch die Kreislinien **14** angedeutet ist. Als bisher am besten geeignet scheint für diese Zwecke eine Bearbeitung der Umfangsfläche **15** durch Ringwalzen zu sein. Eine derartige Bearbeitung von nahtlos hergestellten, ringförmigen Bauteilen ist bei der Herstellung von Wälzlagerringen mit großen Durchmessern bekannt und wird dort zur Herstellung von Umfangsflächen mit sehr hoher geometrischer Rundlaufgenauigkeit verwendet. Es ist aber überraschend, dass sich ein derartiges Verfahren auch dazu eignet, die Umfangsfläche **15** im Sinne der Erfindung mit einer rotationssymmetrischen Homogenität in magnetischer und/oder thermischer Hinsicht zu versehen. Dadurch ist es möglich, auch Magnetlager, deren Lagerringe **12** große Durchmesser von z. B. 500 mm und mehr aufweisen, mit einem vergleichsweise kleinen Luftspalt zu betreiben, da die oben erwähnte, aufgrund der bisherigen Anisotropie erforderliche Reserve entfallen kann. Als Folge davon lassen sich auch Magnetlager mit großen Durchmessern wirtschaftlich betreiben. Da der Leistungsbedarf der Elektromagnete **2** proportional mit dem Quadrat der Dicke des Luftspalts abnimmt, werden weniger leistungsstarke Elektromagnete und weniger aufwändige Regeleinrichtungen benötigt.

**[0025]** In entsprechender Weise kann vorgegangen werden, wenn es um die Herstellung von Axiallagern statt der beschriebenen Radiallager geht, da insbesondere ein Ringwalzprozess sowohl mit Radial- als auch mit Axialwalzen durchgeführt werden kann. Ein Axialwalzprozess führt in den für die Abstandsmessung und Lagerung relevanten Teilen der Stirnseiten der Lagerringe zu denselben isotropen Verhältnis-

sen, wie dies oben für die Bearbeitung der Umfangsfläche 15 mit Radialwalzen beschrieben wurde.

**[0026]** Als Ausgangsmaterialien zur Herstellung der gewalzten Ringe eignen sich sowohl unlegierte oder niedrig legierte Stähle als auch hochlegierte Stähle. Bei Bedarf ist es möglich, die fertigen Lagerringe durch Behandlung mit geeigneten Temperaturen nachträglich zu veredeln.

**[0027]** Die Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt, das auf vielfache Weise abgewandelt werden kann. Beispielsweise brauchen die Lagerringe keine rechteckigen oder quadratischen Querschnitte aufweisen. Insbesondere das Ringwalzen eignet sich auch zur Herstellung von Lagerringen mit anderen, z. B. L-förmigen Querschnitten und/oder verschiedenen Oberflächenprofilierungen. Weiter ist klar, dass die Lagerringe abweichend von der obigen Beschreibung auch als Außenringe verwendet werden können und dass anstelle der gezeigten vier Elektromagnete sowohl außen als auch innen je nach Bedarf mehr oder weniger als vier Elektromagnete verwendet werden können. Anstelle induktiver Sensoren können andere Sensoren verwendet werden, z. B. solche, die mit optischen Mitteln arbeiten. Schließlich versteht sich, dass die verschiedenen Merkmale auch in anderen als den beschriebenen und dargestellten Kombinationen angewendet werden können.

### Patentansprüche

1. Magnetlager mit einem ferromagnetischen, drehbar gelagerten Lagerring (12), einer Mehrzahl von längs dessen Umfang angeordneten Elektromagneten (2) und wenigstens einem Abstandssensor (7) pro Elektromagnet (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lagerring (12) ein bezüglich seiner magnetischen und/oder thermischen Eigenschaften zumindestens in Umfangsrichtung im Wesentlichen isotrop ausgebildeter Ring ist.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lagerring (12) aus einem nahtlos hergestellten Ring besteht.

3. Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Lagerring (12) durch Ringwalzen hergestellt ist.

4. Verfahren zur Herstellung eines Lagerrings (12) für Magnetlager, wobei zunächst ein massiver, nahtlos runder, mit einem Mittelloch versehener Block hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Block im Hinblick auf seine magnetischen und/oder thermischen Eigenschaften durch Ringwalzen in seiner Umfangsrichtung homogenisiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekenn-

zeichnet, dass es zur Herstellung von Lagerringen (12) mit Außendurchmessern von wenigstens 500 mm angewendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Lagerring (12) durch Behandlung mit vorgewählten Temperaturen veredelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Block durch Gießen hergestellt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Block durch Schmieden und anschließendes Lochen hergestellt wird.

9. Anwendung des Ringwalzens zur Herstellung von Lagerringen (12) für Magnetlager mit in Umfangsrichtung isotropen magnetischen und thermischen Eigenschaften sowie mit großen Durchmessern.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

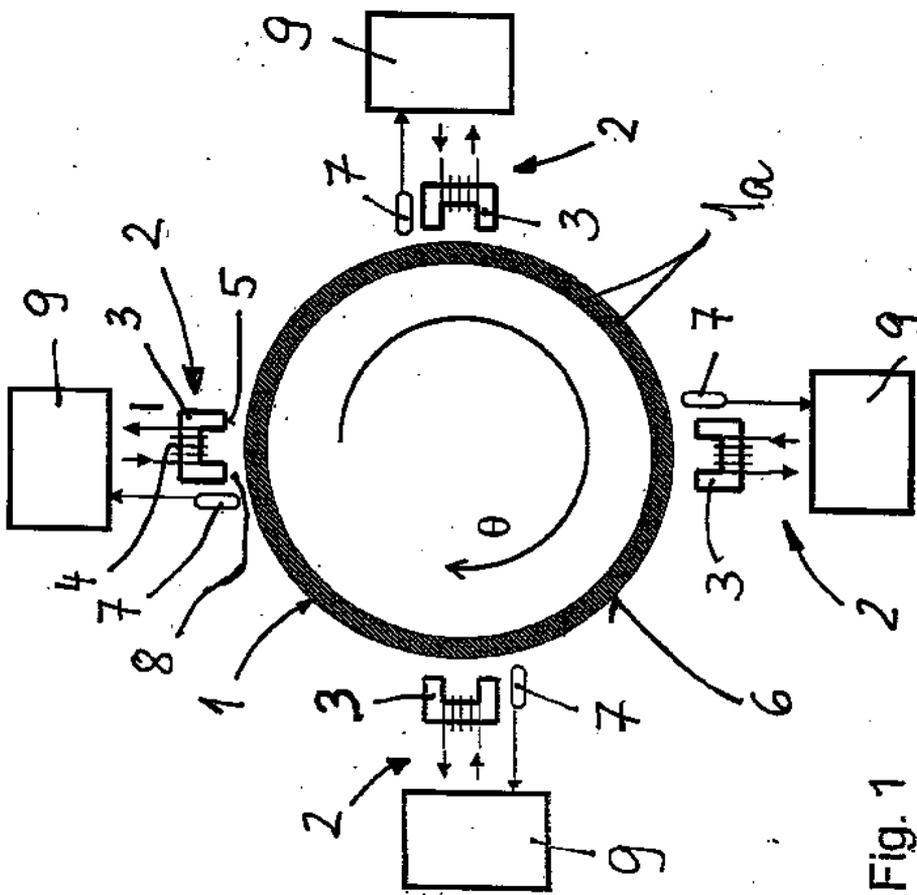


Fig. 1

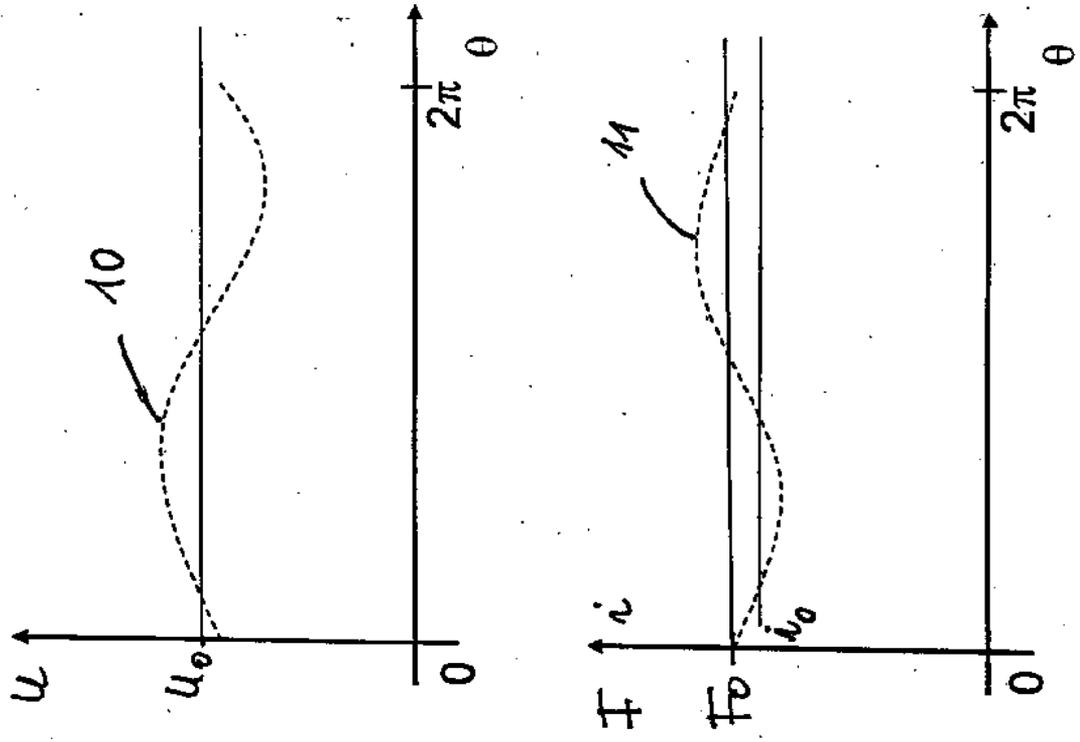


Fig. 2

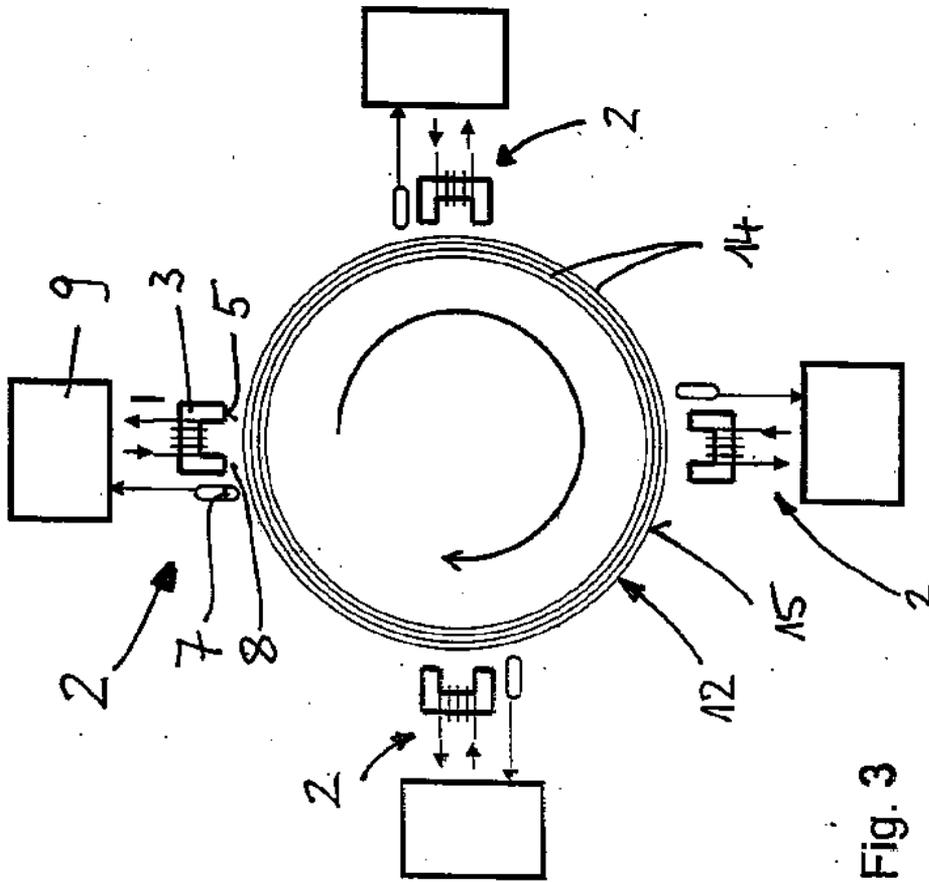


Fig. 3

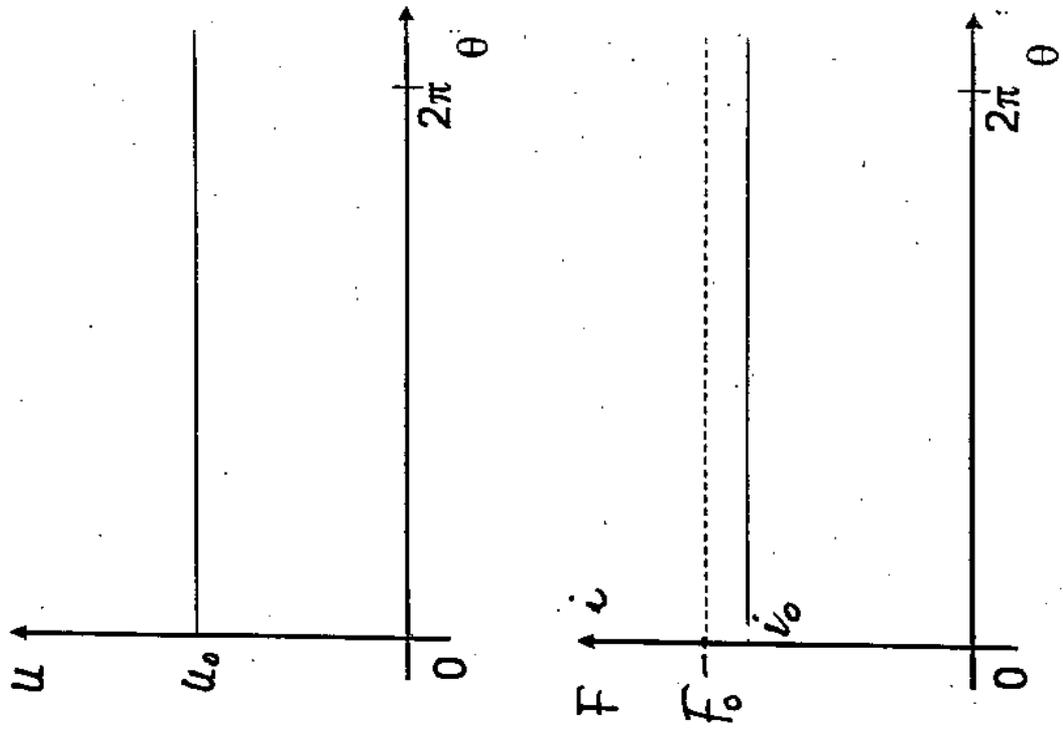


Fig. 4