



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl.⁶:
F 16 C 32/04

97 EP 0 575 618 B 1

10 DE 692 29 264 T 2

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 692 29 264.0
- 88 PCT-Aktenzeichen: PCT/JP92/00301
- 96 Europäisches Aktenzeichen: 92 906 697,5
- 87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 92/16762
- 86 PCT-Anmeldetag: 13. 3. 92
- 87 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 1. 10. 92
- 87 Erstveröffentlichung durch das EPA: 29. 12. 93
- 87 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 26. 5. 99
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 4. 11. 99

DE 692 29 264 T 2

30 Unionspriorität:

51430/91	15. 03. 91	JP
175356/91	16. 07. 91	JP

73 Patentinhaber:

Koyo Seiko Co., Ltd., Osaka, JP; Shikoku Research Institute Inc., Takamatsu, Kagawa, JP

74 Vertreter:

TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 33617 Bielefeld

84 Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

72 Erfinder:

TAKAHATA, Ryoichi, Yamatotakada-shi Nara 635, JP; SHIBAYAMA, Motoaki, Takamatsu-shi Kagawa 760, JP; TAKAICHI, Hiroshi, Setagaya-ku Tokyo 154, JP

64 Supraleitendes Lager

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.

DE 692 29 264 T 2

92 906 697.5

Koyo Seiko Co., Ltd., et al.

Case: 12-078-EPC

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf supraleitende Lager, beispielsweise zur Verwendung in hydraulischen Maschinen und Maschinenwerkzeugen, bei denen eine Hochgeschwindigkeitsrotation erforderlich ist, Energie-Speichervorrichtungen zur Speicherung hoher elektrischer Energie, die in die
10 kinetische Energie eines Schwungrads oder Kreisels umgewandelt worden ist, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die JP-A 1295019 offenbart ein solches supraleitendes Lager, das mit ringförmigen Dauermagneten und scheibenartigen Supraleitern versehen ist. In
15 diesem Fall sind die Supraleiter an einer drehbaren Welle befestigt. Die ringförmigen Dauermagnete sind zu beiden Seiten des Supraleiters in axialer Richtung der drehbaren Welle angeordnet. Die Magneten sind im Gehäuse des Lagers befestigt.

20 Ein supraleitendes Lager ist ferner aus der WO-A 90/03524 bekannt. Das Lager gemäß dieser Druckschrift umfaßt einen ringförmigen Dauermagnetbereich, auf dem Magnete konzentrisch angebracht sind. Der Dauermagnetbereich ist mit einem drehbaren Teil des Lagers verbunden. Die Dauermagnete sind unmittelbar nebeneinander und hinsichtlich ihrer Polarität so angeordnet, daß benachbarte Dauermagnete die entgegengesetzte Polarität aufweisen.
25 In der Druckschrift wird der Unterschied zwischen Typ I- und Typ II-Supraleitermaterial besprochen. Es wird betont, daß das sogenannte Pinning-Phänomen auftritt, wenn ein Typ II-Material als Supraleiter benutzt wird, welches Pinning-Phänomen dazu beiträgt, die radiale Position des Rotors des
30 betreffenden Lagers zu stabilisieren.

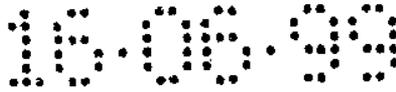
In den letzten Jahren wurden supraleitende Lager zur Lagerung eines drehbaren Körpers im berührungslosen Zustand als Lager entwickelt, die eine Hochgeschwindigkeitsrotation des drehbaren Körpers ermöglichen und eine hohe
35 Stabilität aufweisen.

Es wird angenommen, daß solche supraleitenden Lager beispielsweise einen ringförmigen Dauermagneten umfassen, der konzentrisch mit einem drehbaren Körper angeordnet ist und dessen axial gegenüberliegende Enden mit entgegengesetzten Polaritäten magnetisiert sind, sowie einen ringförmigen
5 Supraleiter, der gegenüber der Stirnfläche des Magneten und im Abstand von diesem in Axialrichtung des drehbaren Körpers angeordnet ist.

Das supraleitende Lager weist jedoch das Problem auf, daß es hinsichtlich der Stabilität in Bezug auf die Richtung der Drehachse und der Lastkapazität un-
10 zureichend ist. Ein weiteres auftretendes Problem liegt darin, daß die Vorrichtung nicht in der Lage ist, den drehbaren Körper mit zufriedenstellender Stabilität in einem berührungsfreien Zustand zu lagern, da die Achse des drehbaren Körpers aufgrund der unzureichenden Stabilität ausgelenkt wird.

15 Es wird angenommen, daß diese Probleme auf den folgenden Grund zurückzuführen sind. Die magnetische Feldstärke H und die magnetische Flußdichte B des Dauermagneten sind umgekehrt proportional zum Abstand vom Magneten und nehmen mit wachsendem Abstand ab. Angenommen, der Abstand zwischen dem Supraleiter und dem Dauermagneten sei Z , die augenblickliche
20 magnetische Suszeptibilität des Supraleiters sei M , die Feldstärke des Dauermagneten sei H und die Flußdichte des Magneten sei B . Die Kraft der magnetischen Abstoßung zwischen dem Supraleiter und dem Dauermagneten ist proportional zum Produkt der Suszeptibilität M und dem Gradienten der Feldstärke dH/dZ oder dem Produkt der Suszeptibilität M und dem Gradienten
25 ten der Flußdichte dB/dZ . Die Starrheit ist proportional zum Produkt der Suszeptibilität M und $d^2 B/dZ^2$. Der Gradient der Feldstärke dH/dZ oder der Gradient der Flußdichte dB/dZ des ringförmigen Dauermagneten ist jedoch nicht ausreichend hoch, was zu einer unzureichenden Starrheit und Lastkapazität führt.

30 Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, die vorstehend beschriebenen Probleme zu überwinden und ein supraleitendes Lager zu schaffen, das zur Lagerung eines drehbaren Körpers in einem berührungsfreien Zustand bei guter Stabilität geeignet ist, indem die Auslenkung der Achse des drehbaren Kör-
35 pers verhindert wird.



Zur Erreichung dieses Ziels ist das erfindungsgemäße supraleitende Lager durch die Merkmale des Anspruchs 1 gekennzeichnet.

5 Vorzugsweise beträgt der Abstand zwischen den ringförmigen Dauermagneten das 0,2 - 1,0-fache der Breite der Magneten in radialer Richtung.

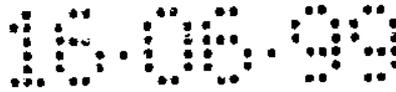
10 Im erfindungsgemäßen Lager wird der magnetische Fluß, der vom positiven Pol des einen Magneten erzeugt wird und zum negativen Pol des gleichen Magneten durch Umkehrung gerichtet wird, zu einem magnetischen Fluß addiert, der vom positiven Pol eines anderen Pols erzeugt wird. Dieses führt zu einem verstärkten magnetischen Fluß und vergrößert den Gradienten der Flußdichte dB/dZ und d^2B/d^2Z , wodurch infolgedessen die Lastkapazität und die Starrheit vergrößert werden.

15 Auf diese Weise wird die Auslenkung der Achse des drehbaren Körpers vermieden, so daß die Vorrichtung geeignet ist, den drehbaren Körper in einem berührungsfreien Zustand mit guter Stabilität zu lagern.

20 Experimente haben gezeigt, daß die Umkehrung des magnetischen Flusses verstärkt in einem Bereich im Abstand der 0,3-fachen Breite des Magneten vom magnetischen Pol in axialer Richtung und der zumindest 0,2-fachen Breite in radialer Richtung davon verstärkt auftritt. Wenn dementsprechend zwei Magnete zu nah beieinander angeordnet sind, werden der vom positiven Pol des einen Magneten erzeugte magnetische Fluß und der in den negativen Pol des anderen Magneten eintretende magnetische Fluß zusammentreffen, so daß ein abstoßender Effekt entsteht.

30 Ferner ist bei einem einzelnen Magneten der Raumbereich, in dem die Flußdichte groß ist, auf einen Abstand entsprechend der Breite des Magneten von der Mitte zum Pol begrenzt, so daß der beschriebene Additionseffekt verschwinden wird, wenn die Anzahl von Magneten in einem zu großen Abstand voneinander angeordnet sind.

35 Wenn der magnetische Bereich eine Anzahl von ringförmigen Dauermagneten in einer konzentrischen Kombination umfaßt, hat der Raumbereich, in dem der Gradient der Flußdichte groß ist, und der Bereich beispielsweise 80 % von deren Maximalwert umfaßt, in axialer Richtung eine Größe entsprechend



der Breite der Magneten. Ferner ist die radiale Größe des Raumbereichs, in dem der Gradient des magnetischen Flusses groß ist, proportional zum Abstand zwischen den Magneten, während der Gradient der Flußdichte auf einen Wert abnimmt, der nahezu gleich dem eines einzelnen Magneten ist, wenn der Abstand zwischen den Magneten nicht kleiner ist als die zweifache Breite des Magneten. Da eine große magnetische Kraft auftritt, wenn der Supraleiter in diesem Raumbereich des großen Flußdichte-Gradienten angeordnet wird, ist es dann möglich, die Breite der Magneten und deren Abstand zueinander im Verhältnis zum Zwischenraum zwischen dem Dauermagnetbereich und dem Supraleiter zu optimieren, wodurch eine vergrößerte Lastkapazität und verbesserte Starrheit erreicht werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

15

Fig. 1 ist ein schematischer senkrechter Schnitt des Hauptbereichs eines supraleitenden Lagers als erste Ausführungsform der Erfindung;

20

Fig. 2 ist ein Diagramm, das das Ergebnis eines Experiments zeigt, das unter Benutzung der Vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform durchgeführt wurde;

25

Fig. 3 ist ein Diagramm, das das Ergebnis eines zum Vergleich ausgeführten Experiments zeigt;

30

Fig. 4 ist ein Diagramm, das das Ergebnis zeigt, daß durch Überprüfung des Verhältnisses zwischen dem Lagerdurchmesser und deren Starrheit erhalten wurde;

Fig. 5 ist ein Diagramm, das das Ergebnis zeigt, daß durch Überprüfung der Wirkung des Abstands zwischen Magneten in der gleichen Ebene erhalten wurde.

35



Beste Ausführungsform zur Ausführung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung wird im folgenden mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen genauer beschrieben. In der folgenden Beschreibung sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Fig. 1 zeigt schematisch den Hauptbereich einer ersten Ausführungsform, d. h., ein supraleitendes Lager.

10 Gemäß Fig. 1 weist das supraleitende Lager einen drehbaren Körper 1 in Form einer senkrechten Welle auf. Ein Dauermagnetbereich 2 in Form einer horizontalen Scheibe ist konzentrisch am drehbaren Körper 1 montiert. Ein ringförmiger Supraleiterbereich 3 ist gegenüber der unteren Stirnseite des Dauermagnetbereichs 2 und in Richtung der Drehachse des drehbaren Kör-

15 pers 1 in Abstand davon angeordnet.

Der Dauermagnetbereich 2 umfaßt eine horizontale Scheibe 4, die beispielsweise aus Kupfer hergestellt ist und fest am drehbaren Körper befestigt ist. Die Scheibe 4 ist an ihrer unteren Oberfläche mit einer Anzahl von beispielsweise ringförmigen Nuten 5a, 5b versehen, die konzentrisch zum drehbaren Körper 1 angeordnet sind. Ringförmige Dauermagnete 6a, 6b sind jeweils fest in die Nuten 5a, 5b eingepaßt. Als Dauermagnete 6a, 6b werden solche mit einer hohen Energieerzeugung verwendet, wie etwa Samarium-Kobalt-Magnete oder Neodym-Eisen-Bor-Magnete. Jeder der Dauermagnete 6a, 6b hat obere und untere Enden, die mit entgegengesetzten Polaritäten magnetisiert sind. Die oberen Enden der benachbarten Magnete 6a, 6b sowie deren untere Enden sind mit entgegengesetzten Polaritäten magnetisiert. Beispielsweise weist der äußere Magnet 6a an seinem oberen Ende einen S-Pol auf und an seinem unteren Ende einen N-Pol, und der innere Magnet 6b weist an seinem oberen Ende einen N-Pol auf und einen S-Pol an seinem unteren Ende.

20 Die Verteilung des magnetischen Flusses um die Drehachse herum ist so gewählt, daß sie durch die Drehung unverändert bleibt. Angenommen, daß die radiale Abmessung der Dauermagnete 6a, 6b deren Breite entspricht, beträgt der Abstand zwischen den Magneten 6a, 6b vorzugsweise das 0,2 - 1,0-fache der Breite.

25

30

35



Der Supraleiterbereich 3 umfaßt eine horizontale Scheibe 7, die eine Bohrung 7a aufweist und beispielsweise aus Kupfer hergestellt ist, und eine Anzahl scheibenartiger Typ-II-Supraleiter 8, die in den ringförmigen Bereich der Scheibe 7 um die Bohrung herum eingepaßt sind, in Umfangsrichtung der Scheibe dicht nebeneinander und gegenüber den Dauermagneten 6a, 6b angeordnet sind. Alle scheibenförmigen Supraleitern 8 weisen das gleiche Volumen auf.

Die Supraleiter 8 umfassen ein Substrat aus Yttrium-Hochtemperatur-Supraleitermaterial wie etwa $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, in das normaleitende Partikel ($\text{Y}_2\text{Ba}_1\text{Cu}_1$) gleichmäßig mit dem Material vermischt sind, welches die Eigenschaften hat, den vom Dauermagnetbereich 2 ausgehenden magnetischen Fluß zu beschränken und in diesen einzudringen. Die Supraleiter 8 sind in einer Lage im Abstand vom Dauermagnetbereich 2 angeordnet und lassen eine bestimmte Menge magnetischen Flusses des Magnetbereichs 2 eindringen, welche Lage so gewählt ist, daß die eintretende Flußverteilung nicht durch die Drehung des drehbaren Körpers 1 verändert wird.

Das supraleitende Lager weist ein Gehäuse auf (nicht gezeigt), in dem ein Kühlgehäuse 11 fest angebracht ist. Dieses Gehäuse 11 wird durch eine Kühlvorrichtung 9 o. ä. mittels einer Temperaturregereinheit 10 gekühlt, und an ihm ist der Supraleiterbereich 3 befestigt.

Beim Betrieb des supraleitenden Lagers werden die Supraleiter 8 gekühlt und durch ein Kühlmittel, das durch das Kühlgehäuse fließt, in einem supraleitenden Zustand gehalten. Dementsprechend dringt ein großer Teil des magnetischen Flusses, der vom Dauermagnetbereich 2 auf dem drehbaren Körper 1 ausgeht, in die Supraleiter 8 ein und wird dort gehalten (Pinning-Phänomen). Da der partikelförmige Normalleiter gleichförmig in den Supraleitern 8 vorhanden ist, wird die Verteilung des in die Supraleiter 8 eindringenden Flusses konstant gehalten, was dazu führt, daß der drehbare Körper 1 durch die Supraleiter 8 entlang des Dauermagnetbereichs 2 gehalten wird, so als ob der Magnetbereich 2 am drehbaren Körper 1 mit scheinbaren Zapfen durchsetzt wäre, die von den Supraleitern 8 aufragen. Aus diesem Grund wird der drehbare Körper 1 in radialer und axialer Richtung gelagert und schwebend mit hoher Stabilität gehalten.

Die magnetischen Flüsse der jeweils benachbarten Dauermagnete 6a, 6b an den oberen und unteren Enden des Magnetbereichs 2 werden durch jene
5 verstärkt, die vom anderen Magneten ausgehen und umgekehrt werden, so daß der Gradient der Flußdichten dB/dZ und d^2B/d^2Z größer werden als dann, wenn der Dauermagnetbereich einen einzigen Dauermagneten umfas-
sen würde. Dieses vergrößert die magnetische Abstoßungskraft zwischen dem Magnetbereich 2 und den Supraleitern 8. Darüber hinaus wirkt dazwischen
10 eine große magnetische Anziehungskraft nur, wenn sich der Abstand zwischen dem Magnetbereich 2 und den Supraleitern 8 leicht in Richtung der Drehachse vergrößert, von dem Abstand an, in dem die magnetische Abstoßungskraft die Pinning-Kraft ausgleicht. Umgekehrt wirkt eine große magne-
tische Abstoßungskraft dazwischen nur, wenn der Abstand aus der Gleichgewichts-
15 wichtsdistanz leicht abnimmt. Dementsprechend wird eine größere Lastkapazität und eine verbesserte Starrheit geschaffen.

Spezielles Experimentbeispiel

20 Experimente wurden unter Verwendung der Vorrichtung aus Fig. 1 durchgeführt.

Bei der Scheibe 4 des Dauermagnetbereichs 2 handelte es sich um eine aus Kupfer. Der verwendete äußere ringförmige Dauermagnet 6a war ein Magnet
25 aus seltenen Erden, mit einem äußeren Durchmesser von 90 mm, einem Innendurchmesser von 70 mm, einer Breite von 10 mm (radiale Abmessung), einer Dicke von 10 mm (axiale Abmessung) und einem Oberflächenfluß von 4.000 Gauß. Der verwendete innere ringförmige Dauermagnet 6b war ein ringförmiger Magnet aus seltenen Erden, mit einem Außendurchmesser von
30 60 mm, einem Innendurchmesser von 40 mm, einer Breite von 10 mm, einer Dicke von 10 mm und einem magnetischen Oberflächenfluß von 4.000 Gauß. Die zwei Magnete 6a, 6b wurden in einer heteropolaren Kombination verwendet, was bedeutet, daß ihre oberen Enden sowie ihre unteren Enden Pole mit entgegengesetzten Polaritäten aufweisen. Die verwendeten Supralei-
35 ter 8 hatten einen Durchmesser von 35 mm und eine Dicke von 12 mm. Diese Supraleiter waren in die Scheibe 7 gebettet, und mit ihrer Mitte auf den Umfang eines Kreises mit einem Durchmesser von 75 mm angeordnet.

Der Dauermagnetbereich 2 und der Supraleiterbereich 3 wurden gegeneinander angeordnet, und die Supraleiter 8 wurden danach gekühlt und dadurch
5 in einem supraleitenden Zustand gehalten. Der Abstand Z zwischen dem Dauermagnetbereich 2 und dem Supraleiterbereich 3 betrug zu diesem Zeitpunkt 3 mm. Unter Verwendung eines Zugdrucktesters wurden der Dauermagnetbereich 2 und der Supraleiterbereich 3 zur Messung der erforderlichen Belastung aufeinander zu und voneinander weg bewegt. Fig. 2 zeigt das
10 Ergebnis. In einem Abstand Z in einem Bereich von 2 - 4 mm betrug die Starrheit 3,9 kgf/mm.

Zum Vergleich wurden ein Dauermagnetbereich mit einem einzigen Magneten, d. h., nur dem äußeren Magneten, und der Supraleiterbereich zur Messung der erforderlichen Lasten aufeinander zu und voneinander wegbewegt.
15 Fig. 3 zeigt das Ergebnis. In einem Abstand Z im Bereich von 2- 4 mm betrug die Starrheit 2,9 kgf/mm. Ferner wurde ein weiteres Experiment durchgeführt, bei dem der äußere Magnet und der innere Magnet in homopolarer Kombination verwendet wurde, wobei die entsprechenden Enden so angeordnet wurden, daß die Pole gleiche Polarität aufwiesen. Obwohl nicht gezeigt,
20 betrug die in diesem Fall erzielte Starrheit 2,4 kgf/mm und war niedriger als im Fall eines einzelnen Magneten.

Um die optimalen Bedingungen zur Anordnung der Magneten zu finden, wurde ein Supraleiterbereich mit einem Durchmesser von 100 mm präpariert,
25 der vollständig mit Supraleitern bedeckt war, und Magnete mit den Maßen 25 mm, 48 mm, 60 mm, 90 mm und 100 mm im äußeren Durchmesser wurden einzeln oder in Kombinationen auf der gleichen Ebene angeordnet zur Messung der Starrheit verwendet. Tab. 1 zeigt die Daten bezogen auf die Lager. Tab. 2 zeigt die Messungen der erreichten Starrheit.
30

Tabelle 1

5	<u>Typ</u>	<u>Magnet</u>	<u>äußerer Lagerdurch- messer (mm)</u>	<u>wirksame Lagerfläche ____(cm²)</u>
10	einzelner Magnet	90S	90	50
		60S	60	26
		48S	48	30
		25S	25	8
		100S	100	62
15	heteropo- lare Kombi- nation	90N+60S	90	63
		90N+48S	90	75
20		90N+25S	90	79
		100N+60S	100	70
	homopolare Kombination	90N+60N	90	63
25				
30				
35				

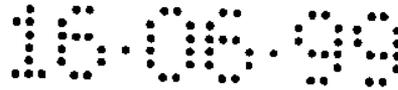
Tabelle 2

5

Lagerdaten		Starrheit (kgf/mm)			Flächenstarrheit (kgf/mm x cm ²)	
10	Typ	Magnet	Z=2 mm	Z=3mm	Z=6 mm	Z=3 mm
		90S		2,9(1,8)	1,1	0,035
	einzelner	60S		(0,65)		0,023
	Magnet	48S				
15		25S		(0,38)		0,035
		100S	4,0			63
	hetero-	90N+60S		3,9(2,7)	1,5	0,043
	polare	90N+48S		(2,4)		0,032
20	Kombi-	90N+25S		(2,2)		0,028
	nation	100N+60S	8,0			
	homo-					
	polare					
25	Kombi-	90N+60N		2,4	0,9	0,024
	nation					

30 Der jeweilige numerische Wert, der in den Spalten "Magnet" in diesen Tabellen angegeben ist, bezeichnet den äußeren Durchmesser des Magneten, und S oder N nach dem Wert steht für die Polarität an seinem unteren Ende. Der scheibenartige Magnet mit einem Außendurchmesser von 25 mm hat eine Dicke von 10 mm, der ringförmige Magnet mit einem Außendurchmesser

35 von 48 mm hat eine Breite von 14 mm und eine Dicke von 10 mm, der Magnet mit einem Außendurchmesser von 60 mm hat eine Breite von 8 mm und eine Dicke von 9 mm, der Magnet mit einem Außendurchmesser von 90



mm hat eine Breite von 10 mm und eine Dicke von 12 mm, und der Magnet mit einem Außendurchmesser von 100 mm hat eine Breite von 10 mm und eine Dicke von 10 mm. Um das Experiment zu beschleunigen, wurden der oder die Magnete näher an die zuvor gekühlten Supraleiter gebracht und
5 mehrmals aufwärts und abwärts jeweils um 1 mm bei $Z=3$ mm zur Messung der Starrheit bewegt. Da der so erhaltene Wert der Starrheit sich etwas vom entsprechenden Wert unterscheidet, der dann erhalten wird, wenn die Teile zunächst bei $Z=3$ mm gehalten werden und danach gekühlt werden, ist die Messung in Klammern angegeben.

10

Betrachtet man den äußeren Durchmesser des äußeren Magneten als den Lagerdurchmesser, sind die Werte für die Starrheit des Lagers üblicherweise in Fig. 4 angegeben, wobei der eine Magnet durch eine hohle Kreismarkierung dargestellt ist, die heteropolare Kombination durch eine Markierung mit einem Punkt und einem Kreis, und die homopolare Kombination durch eine Markierung mit einem Doppelkreis. Die Grafik zeigt, daß bei Einzelmagneten die Starrheit nicht so stark anwächst, daß sie proportional zur Lagerfläche ist, daher die Notwendigkeit der heteropolaren Kombination. Die homopolare Kombination zeigt jedoch eine geringere Starrheit als der Einzelmagnet, was zu einem negativen Effekt führt.

Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der Ebenenstarrheit (Starrheit pro Einheitsfläche) und dem Zwischenraum zwischen den Magneten, der für drei verschiedene heteropolare Kombinationen gebildet wird. Wenn es erforderlich ist, daß die Ebenensteifigkeit in diesem Fall eindeutig oberhalb der Ebenensteifigkeit von 0,035 im Fall des Einzelmagneten liegt, liegt der effektive Magnetzwischenraum im Bereich der 0,2 - 1,0-fachen Breite. Die Untergrenze wurde in Anbetracht des Phänomens bestimmt, daß einer der zwei Magneten, die bei der heteropolaren Kombination zu dicht beieinander geordnet sind, den Fluß des anderen Magneten auszugleichen beginnt.

Industrielle Anwendbarkeit

Das supraleitende Lager als Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist zur Verwendung in hydraulischen Maschinen und Maschinenwerkzeugen geeignet, die eine Hochgeschwindigkeitsrotation erfordern, für Energiespeichervorrichtungen zur Speicherung großer Mengen elektrischer Energie, die in kinetische Energie eines Schwungrads umgewandelt wird, oder für Kreisel.

92 906 697.5

Koyo Seiko Co., Ltd.

Case: 12-078

5

PATENTANSPRÜCHE

1. Supraleitendes Lager mit einem ringförmigen Dauermagnetbereich (2) konzentrisch in bezug auf einen drehbaren Körper (1) und einem Supraleiterbereich (3) gegenüber einer Stirnfläche des Dauermagnetbereichs (2) und in
10 Abstand von diesem in der Axialrichtung des drehbaren Körpers (1), welcher Dauermagnetbereich (2) eine Anzahl von ringförmigen Dauermagneten (6a,6b) mit axial gegenüberliegenden Enden aufweist, die auf gegenseitige Polaritäten magnetisiert sind, welche Dauermagneten (6a,6b) angrenzend aneinander auf Polaritäten entgegengesetzt zueinander an ihren in die selbe axi-
15 ale Richtung gerichteten Enden magnetisiert sind, dadurch **gekennzeichnet**, daß

- der Supraleiterbereich (3) einen Typ II-Supraleiter (8) umfaßt;
- die ringförmigen Dauermagneten (6a,6b) einen radialen Abstand zueinander auf einer Scheibe (4) auf nicht-magnetischem Material haben, die an
20 dem drehbaren Körper (1) befestigt ist;
- die Dauermagneten (6a,6b) in die Scheibe (4) eingebettet sind und mit einer axialen Endfläche bündig zu einer Endfläche der Scheibe (4) liegen;
- Jeder der Dauermagneten derart ausgebildet ist, daß sein Fluß wirksam in
25 den Typ II-Supraleiter eintreten kann, und mit diesem verbunden ist;
- der drehbare Körper (1) drehbar ist, ohne daß die Verteilung des eintretenden Magnetflusses geändert wird.

2. Supraleitendes Lager nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß der
30 Abstand zwischen den ringförmigen Dauermagneten (6a,6b) 0,2 bis 10 mal so groß wie die Breite der Magneten in Radialrichtung ist.

3. Supraleitendes Lager nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß die
35 Scheibe (4) auf ihrer axialen Stirnfläche mit einer Anzahl von ringförmigen Nuten (5a,5b) konzentrisch zu dem drehbaren Körper und radial im Abstand von diesem versehen ist, welche ringförmigen Dauermagneten (6a,6b) in den jeweiligen Nuten befestigt sind.

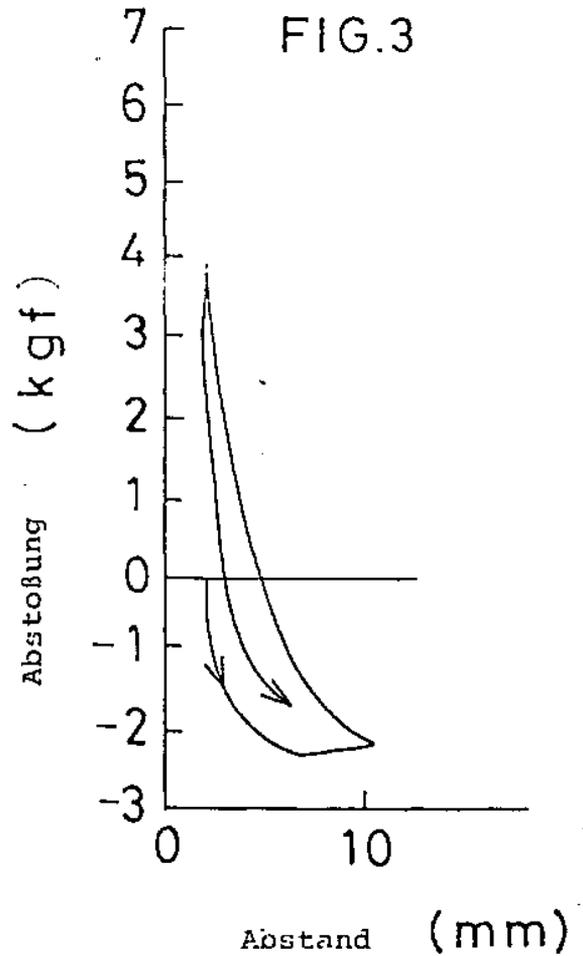
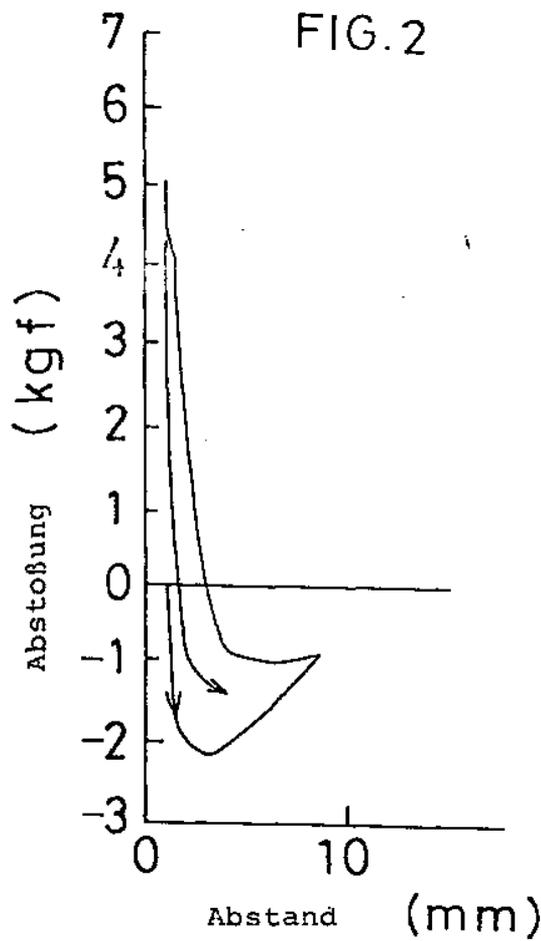
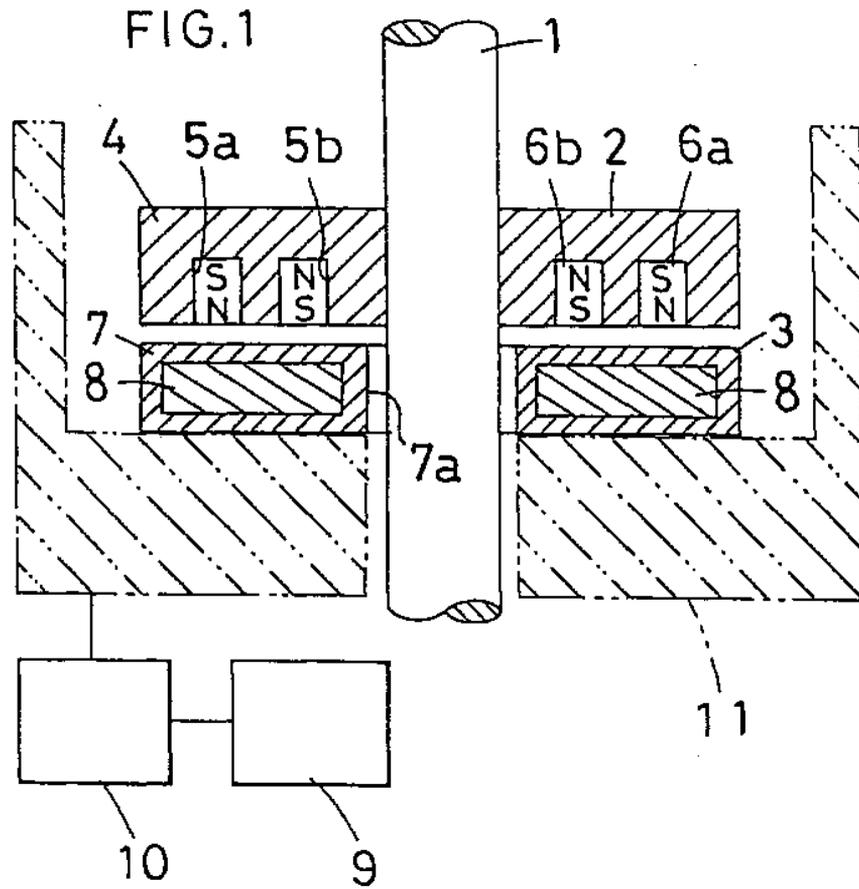


FIG.4

