



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 11 805 T2** 2006.10.19

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 273 813 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 11 805.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 009 027.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **23.04.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **31.05.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**
F16C 39/06 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2001201030 02.07.2001 JP

(73) Patentinhaber:

**Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.,
Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**Hasegawa, Kazumitsu, Narashino-shi, Chiba, JP;
Ozaki, Shinichi, Kunitachi-shi, Tokyo, JP;
Takahashi, Toshio, Tokyo, JP; Kuwata, Gen,
6-chome, Ichikawa-shi, Chiba, JP; Sugitani,
Noriyasu, Chiba-shi, Chiba, JP**

(54) Bezeichnung: **Statorkern für ein Magnetlager und Verfahren zu seiner Herstellung**

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**Hintergrund der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Aufbau eines Magnetlagers, das einen Rotor stützt, ohne Kontakt herzustellen, speziell einen Statorkern für ein Homopolar-Magnetlager.

Stand der Technik

[0002] Ein Turboverdichter kann mit stärkerer Leistung und geringerer Größe als ein Hubkolben- oder Schraubenverdichter hergestellt werden, und kann einfach als ein ölfreier Typ hergestellt werden. Daher werden Turboverdichter oft als universelle Verdichter in Anwendungen wie zum Beispiel als eine Druckluftquelle für Fabriken, eine Luftquelle zum Trennen und andere verschiedene Verfahren verwendet.

[0003] Herkömmlich werden Gaslager, Gleitlager und Magnetlager verwendet, um eine Hochgeschwindigkeitsrotationswelle eines Hochgeschwindigkeitsmotors zu stützen, der direkt mit einem Turboverdichter verbunden ist und diesen antreibt. Speziell kann ein homopolares Magnetlager verwendet werden, um in einer berührungslosen Weise einen Rotor (rotierende Welle) zu stützen, der rotiert, um die Hochgeschwindigkeitswelle eines Hochgeschwindigkeitsmotors auszubilden, indem ein Magnetfluss durch die Welle geführt wird, um eine elektromagnetische Saugkraft zu erzeugen, welche bewirkt, dass die Welle schwebt, was ein Typ eines radialen Magnetlagers für eine Verwendung bei Wellen ist, die bei einer hohen Geschwindigkeit (zum Beispiel 100.000 min⁻¹ oder mehr) rotieren.

[0004] Die **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen typische schematische Ansichten eines herkömmlichen homopolaren Magnetlagers. In diesen Figuren ist ein homopolares Magnetlager 1 aus einem Rotor 3, der an der axialen Mitte eines Gehäuses 2 und parallel dazu in der axialen Richtung angeordnet ist und bei einer hohen Geschwindigkeit rotieren kann, U-förmigen Statorkernen 4, die innerhalb des Gehäuses 2 mit Spalten zwischen der äußeren Oberfläche des Rotors 3 installiert sind, und aus Spulen 5 aufgebaut, die um die gezahnten Enden der Statorkerne 4 platziert sind.

[0005] Zusätzlich ist eine Mehrzahl von Statorkernen (4 Kerne in den **Fig. 1A** und **Fig. 1B**) gleichmäßig beabstandet in der Umfangsrichtung mit Spalten zwischen der äußeren Oberfläche des Rotors 3 vorgesehen. Obwohl nicht gezeigt, sind Statorkerne 4 in der axialen Richtung des Rotors 3 an wenigstens zwei Stellen mit einem vorbestimmten Abstand zwischen ihnen angeordnet. Folglich kann der Rotor stabil bei einer hohen Geschwindigkeit rotieren. Ein Statorkern 4 ist aus geschichteten Stahlblechen ausge-

bildet, wovon jedes mit einem isolierenden klebenden Material, das an seiner Oberfläche angebracht ist, um es mit einem benachbarten dünnen Stahlblech zu verbinden, hergestellt, und diese sind eines nach dem anderen verbunden, um eine vorbestimmte Länge zu erreichen. Wie in den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt, ist die Richtung A, in welcher die geschichteten Stahlbleche 4 (Schichtung) verbunden sind, senkrecht zu der axialen Richtung Z des Rotors 3 angeordnet.

[0006] Wie oben beschrieben kann in dem homopolaren Magnetlager 1, da die gezahnten Enden der Statorkerne, die den Rotor 3 umgeben, nahe beieinander in der axialen Richtung sind und da die Spulen 5 die N- und S-Pole eines Elektromagneten herstellen, das homopolare Magnetlager 1 die Welle in einer berührungslosen Weise floaten und den Rotor 3 durch die Saugkraft der gezahnten Enden, die sich einander gegenüber befinden, stützen. Daher ist die Richtung dieses homopolaren Magnetfeldes parallel zu der Mittellinie des Rotors und auf der äußeren Oberfläche des Rotors 3, wie durch die gestrichelten Pfeillinien in **Fig. 1B** gezeigt.

[0007] **Fig. 1C** ist eine schematische Ansicht, die ein herkömmliches Verfahren zum Aufbauen geschichteter Stahlbleche zeigt, um einen herkömmlichen Statorkern auszubilden. Normalerweise wird der Statorkern 4 des homopolaren Magnetlagers 1 durch Herstellen dünner rechteckiger Stahlbleche 4a, die mit einem isolierenden Material beschichtet sind, durch ein Verfahren wie zum Beispiel Stanzen und Aufbauen dieser gestanzten Stahlbleche 4a eines nach dem anderen hergestellt, um einen geschichteten Statorkern 4 herzustellen.

[0008] Wenn jedoch die inneren Oberflächen der oben genannten Statorkerne 4 (geschichtete Stahlbleche) durch einen rotierenden Schneidprozess geschnitten werden, wird eine große Schnittbelastung auf die Enden der geschichteten Stahlbleche 4a in einer lateralen Richtung ausgeübt, so dass die Spitzen der geschichteten Stahlbleche 4a gebogen werden, und das isolierende Material in der Richtung der Rotation durch die oben erwähnte Biegebelastung gequetscht wird, was ein praktisches Problem ist. Folglich kontaktieren die Stahlbleche einander, was in einer Erhöhung der Wirbelströme in der Statoreinheit resultiert, so dass ein anderes Problem durch die reduzierte Schwebekraft, die auf den Rotor 3 ausgeübt wird, schlechte Rotationseigenschaften und so weiter auftreten. Es ist noch ein anderes Problem, dass das geschichtete Material durch die Kante des Schneidewerkzeugs weggeschält wird. Gerade wenn das oben genannte Verfahren zum Schneiden an einer Drehmaschine durch Verwenden einer vertikalen Bohrmaschine und so weiter ersetzt wird, um die inneren Oberflächen der geschichteten Stahlbleche zu schneiden, gibt es zusätzliche Probleme, da

hier Spalte zwischen benachbarten Stahlblechen sind, so dass ein reibungsloses Schneiden und eine genaue Rundheit nicht einfach abgesichert werden kann. Andererseits haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung die homopolare Magnetlagervorrichtung, die wie in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt aufgebaut ist, mit dem Ziel eines Verbesserns der Eigenschaften von herkömmlichen homopolaren Magnetlagern (JP 2001-271836) vorgeschlagen. Gemäß dieser Magnetlagervorrichtung sind benachbarte N-Pole oder S-Pole miteinander in der Umfangsrichtung verbunden, oder befinden sich nahe beieinander mit einem kleinen Spalt zwischen ihnen. Das homopolare Magnetlager mit diesem Aufbau hat den Vorteil, dass es in der Lage ist, stark die Erzeugung von Wirbelströmen und der Wärme und von Wirbelstromverlusten, die in dem Rotor erzeugt werden, zu reduzieren.

[0009] Wenn jedoch die Statorkerne 4 des homopolaren Magnetlagers, die in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt sind, unter Verwendung von geschichteten Stahlblechen mit geringen Wirbelstromverlusten hergestellt werden, wie in **Fig. 1** gezeigt, werden die geschichteten Stahlbleche so dünn an dem Randsteg 4b, dass sie ausfallen, brechen oder abblättern, wenn sie bearbeitet werden, was ein praktischer Nachteil ist.

[0010] Im Speziellen sind in dem homopolaren Magnetlager mit dem Aufbau, der in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt ist, die Statorkerne 4 miteinander am Umfang verbunden oder befinden sich nahe beieinander, so dass die Verteilung des Magnetflusses in dem Rotor gleichmäßiger ist und Verluste reduziert werden können. Umgekehrt sind jedoch, wenn die Statorkerne, in welchen die Spitzen miteinander verbunden sind, mit einem herkömmlichen geschichteten Aufbau ausgebildet sind, die geschichteten Stahlbleche so klein in den Bereichen, wo benachbarte Magnetpole miteinander verbunden sind, dass der geschichtete Aufbau zusammenstürzen kann, wenn die Kerne bearbeitet werden, weshalb es sehr schwierig ist, die Kerne ohne Loslösen, Abbrechen oder Abblättern der Beschichtungen zu bearbeiten.

[0011] Ein anderes Problem in einer herkömmlichen Vorrichtung ist es, dass amorphe Materialien nicht verwendet werden können, da sie schwierig zu beschichten sind, trotz den Vorteilen, einen hohen elektrischen Widerstand und Permeabilität zu haben, so dass die Auswahl von elektromagnetischem Stahlblech eingeschränkt ist.

[0012] Im Folgenden wird der Aufbau eines herkömmlichen homopolaren radialen Magnetlagers im größeren Detail als zuvor unter Bezugnahme auf die **Fig. 4** und **Fig. 5** beschrieben. **Fig. 4a** ist eine Vorderansicht eines herkömmlichen homopolaren radialen Magnetlagers, und **Fig. 4b** ist die zugehörige Sei-

tenquerschnittsansicht. **Fig. 5** ist eine isometrische Ansicht des Statorkerns eines herkömmlichen homopolaren radialen Magnetlagers.

[0013] Das homopolare radiale Magnetlager 1 ist mit einem Gehäuse 2, einer Mehrzahl von elektromagnetischen Komponenten 13 und einer rotierenden Welle 3 vorgesehen. Die rotierende Welle 3 ist aus einem Material hergestellt, welches wenigstens an seiner Oberfläche magnetisch ist, mit einem äußeren Durchmesser D1 und einer Länge, die durch den Rotor bestimmt ist. Der Rotor 3 ist coaxial mit der Mittellinie des Gehäuses 2, parallel dazu in der Längsrichtung, angeordnet und ist so gestützt, dass er frei rotieren kann. Die Mehrzahl von elektromagnetischen Komponenten 13 stützt den Rotor 3, so dass er frei rotieren kann, und ist um den Rotor 3 angeordnet. Zum Beispiel sind vier elektromagnetische Komponenten miteinander verbunden, um ein Set auszubilden und Sets von elektromagnetischen Komponenten 13 stützen den Rotor 3 an zwei Stellen. An jeder Stützstelle sind 4 elektromagnetische Komponenten gleichmäßig beabstandet um den Rotor.

[0014] Die elektromagnetischen Komponenten 13 sind mit Statorkernen 80 und Spulen 5 vorgesehen. Der Statorkern 80 ist mit zwei Jochen 6 und 8 und einem Schaftbereich 7, wie in **Fig. 5** gezeigt, vorgesehen. Ein Joch 6 oder 8 ist ein säulenförmiger Bereich, dessen eines Ende gegenüber der äußeren Oberfläche des Rotors 3 mit einem Spalt zwischen ihnen ist, der einen Magnetpol an der Oberfläche 9 induziert. Die zwei Joch 6, 8 sind axial mit einem vorbestimmten Abstand zueinander angeordnet. Der Schaftbereich 7 ist ein magnetischer Aufbau zwischen den anderen Enden der zwei Joch 6, 8, der die Joch miteinander verbindet. Der Statorkern ist eine dicke, U-förmige Einheit, die aus den zwei Jochen 6, 8 und dem Schaftbereich 7 ohne Spalte aufgebaut ist, und ist in einer Aussparung an dem Innenrand des Gehäuses 2 installiert.

[0015] Die Spule 5 ist ein Drahtbündel. Der Draht ist in verschiedenen Lagen um die Joch 6, 8 mit einem Luftspalt zwischen der Spule und dem Joch gewickelt. Die Spule 4 ist ein Block mit der gleichen Form wie der Abschnitt des Joches 6 oder 8 mit einem Luftspalt zwischen der Spule und dem Joch.

[0016] Der Aufbau des Statorkerns 80 ist im weiteren Detail unter Bezug auf **Fig. 5** beschrieben. Der Statorkern 80 ist aus geschichteten Stahlblechen hergestellt, die aus einer Mehrzahl von magnetischen Stahlblechen 81 und einem isolierenden Material ausgebildet sind. Das magnetische Stahlblech 81 ist ein dünnes Stahlblech mit einer Dicke T, geformt in der oben genannten U-Form. Das isolierende Material ist ein nichtleitendes Material und wird zwischen der Mehrzahl von magnetischen Stahlblechen 81 angewendet. Wenn der Statorkern 80 als eine

elektromagnetische Komponente aufgebaut ist, wird er in der Umfangsrichtung des Rotors geschichtet. Das magnetische Stahlblech **81** des gezeigten Statorkerns **80** hat eine rechteckige Form mit einer Breite $W1$ und einer Höhe $H1$, vorgesehen mit einem Schlitz mit einer Breite $W2$ und einer Höhe $H2$, der an der Seite die Magnetpoloberfläche **9** ausbildet. Der Statorkern **80** ist aus einer Mehrzahl von geschichteten magnetischen Stahlblechen **81** mit einer vorbestimmten Länge $L1$ ausgebildet.

[0017] In einem anderen Typ einer elektromagnetischen Komponente erstreckt sich die Breite eines Statorkerns **80** nahe der Magnetpoloberfläche **9** in Umfangsrichtung in der Richtung der äußeren Oberfläche des Rotors und kommt in nahen Kontakt mit den Magnetpoloberflächen der benachbarten elektromagnetischen Komponenten des Statorkerns.

[0018] Gemäß eines noch anderen Typs einer elektromagnetischen Komponente erstreckt sich die Breite eines Statorkerns **80** nahe der Magnetpoloberfläche **9** in Umfangsrichtung in der Richtung der äußeren Oberfläche des Rotors und ist einstückig mit der Magnetpoloberfläche einer benachbarten elektromagnetischen Komponente des Statorkerns **80** ausgebildet.

[0019] Wenn der oben genannte Statorkern für ein Magnetlager hergestellt wird, wird dünnes Stahlblech mit einer Dicke T unter Verwendung von Stanzen gestanzt, um U-förmige Magnetstahlbleche herzustellen.

[0020] Im Folgenden muss die Magnetpoloberfläche **9** des Statorkerns für ein Magnetlager in einem kreisförmigen Bogen unter Verwendung einer Drehbank oder dergleichen bearbeitet werden; dabei bewirkt die Rotation eine Schneidelast, die lateral auf die Ränder der geschichteten Stahlbleche wirkt, so dass die Spitzen der elektromagnetischen Stahlbleche gebogen werden; durch diese Biegung wird das Isolationsmaterial in der Rotationsrichtung gequetscht, was oft darin resultiert, dass benachbarte elektromagnetische Stahlbleche in Kontakt miteinander kommen. Das Problem, dass damit verbunden ist, wenn dies passiert, ist, dass hohe Wirbelströme in elektromagnetischen Stahlblechen erzeugt werden.

[0021] Ein anderes Problem, dass die geschichteten Stahlbleche während des Schneidens voneinander getrennt werden, kann auftreten.

[0022] Hierbei gibt es auch ein anderes Problem, dass, wenn eine vertikale Bohrmaschine anstelle einer Drehbank verwendet wird, Differenzen an den Rändern zwischen benachbarten geschichteten Stahlblechen erzeugt werden, und ein genauer, gleichmäßiger Kreis nicht abgesichert werden kann.

[0023] Mit dem Typ eines Statorkerns für ein Magnetlager, in welchem die Magnetpoloberfläche des Statorkerns sich über die äußere Oberfläche des Rotors erstreckt, kann man, da die geschichteten Stahlbleche in den gedehnten Bereichen sehr dünn werden, Probleme erzeugen, indem sie während des Bearbeitens losgelöst, gequetscht oder abgeschält werden.

[0024] Die JP 2000-205260A und die JP-2001-271836A offenbaren eine Anordnung von Statorkernen und einen Rotor für ein homopolares Magnetlager gemäß dem Oberbegriff von Anspruch.

[0025] Die JP-2000 031135A offenbart eine Anordnung von Statorkernen für ein homopolares Magnetlager, welches U-förmige geschichtete Bleche aufweist, wobei die Bleche geschnittene Kerne sind, die durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches in einer rechteckigen Form und durch Schneiden des Rechteckes in zwei gleiche Abschnitte hergestellt werden. Jeder Kern ist als ein Buchstabe „U“ geformt, von welchem die Mittelseite offen ist, gesehen von der Seite des Rotors. Vier Statorkerne sind vorgesehen, welche mit gleichen Abständen um einen Rotor angeordnet sind, wobei die Statorkerne Abstände zueinander haben.

Zusammenfassung der Erfindung

[0026] Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen einfach herzustellenden Statorkern für ein Magnetlager zur Verfügung zu stellen, in welchem die Erzeugung von Wirbelströmen auf einem Minimum gehalten wird. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen von Kernen für ein Magnetlager zur Verfügung zu stellen, welches vermeiden kann, dass geschichtete Stahlbleche losgelöst, gequetscht oder abgeschält werden und welche effizient geschnitten und bearbeitet werden können.

[0027] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1, 3 bzw. 4 gelöst.

[0028] Unter Verwendung eines Aufbaus gemäß Anspruch 1 kann die Erzeugung von Wirbelströmen drastisch reduziert werden, wodurch die Rotorverluste durch die Wärme, die durch die Wirbelströme erzeugt wird, stark reduziert werden können. Da der Statorkern aus geschichteten Stahlblechen mit einer U-Form aufgebaut ist, so dass die Mittelseite offen ist, gesehen von der Mittellinienseite, die sich in axialer Richtung des Rotors erstreckt, können Auskragungen, die in Kontakt miteinander sind, einstückig in einem Körper zusammen mit den Spulen ausgebildet sein. Der geschichtete Stahl in Auskragungen ist ein integraler Teil des gleichen Stahlbleches wie das an der Stelle der Spulen, so dass eine geschichtete Struktur einer Bearbeitung widerstehen kann ohne zusammenzubrechen, und wobei auch vermieden

wird, dass sie losgelöst, gequetscht oder abgeschält wird, wodurch das Blech effizient geschnitten und bearbeitet werden kann.

[0029] Da die Auskragungen einander kontaktieren, kann die Erzeugung von Wirbelströmen beträchtlich reduziert werden, weshalb Wärme und Verluste durch Wirbelströme, die in dem Rotor erzeugt werden, stark reduziert werden können. Zusätzlich können, da die Auskragungen einander an den ebenen Bereichen kontaktieren, die Statorkerne einfach platziert werden und der Innenrand kann präzise geschnitten und bearbeitet werden.

[0030] Da die Kerne nach dem Ausbilden und Schneiden bearbeitet werden können, kann darüber hinaus gerade ein amorphes Material und dergleichen, das nicht einfach geschichtet werden kann, verwendet werden.

[0031] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die oben genannten U-förmigen geschichteten Stahlkerne aus einem fortlaufenden Stahlblech hergestellt, das mit einem Isolationsmaterial beschichtet ist, das in einer rechteckigen Form gewickelt ist und dann in gleiche Teile geschnitten wird.

[0032] Bei Verwendung dieses Aufbaus haben solche Statorkerne auskragende Bereiche, die aus benachbarten N- und S-Polen aufgebaut sind, die sich in Umfangsrichtung so erstrecken, dass sie in Kontakt miteinander sind, und aus U-förmigen geschichteten Stahlblechen mit einem isolierenden Material zwischen den Schichtungen aufgebaut sind und die U-Form so ist, dass die Mittelseite offen ist, gesehen von der Seite der Welle, wobei die Kerne schnell und effizient durch Bearbeiten der äußeren Form und Schneiden der Innenseite der geschnittenen Kerne hergestellt werden können.

[0033] Zusätzlich sind die geschnittenen Kerne in einer rechteckigen Form mit einer zentralen Öffnung mit vorbestimmten Größen gewickelt und können schnell und einfach ausgebildet werden. Außerdem können durch Teilen dieser gewickelten rechteckigen Formen in zwei gleiche Teile mit einer Schneidemaschine U-förmige geschichtete Stahlbleche einfach hergestellt werden, wobei jeder davon mit einem isolierenden Material isoliert ist. Weiterhin müssen keine kostspieligen Stanzformen verwendet werden, sondern einfache und kompakte Wickelformen können verwendet werden, um die geschnittenen Kerne herzustellen, so dass die Herstellungskosten reduziert werden können, die Schichtungsschritte weggelassen werden können und daher die Produktivität verbessert werden kann. Zusätzlich kann das Abfallmaterial, das andererseits von den zentralen Teilen der Stahlbleche während des Stanzprozesses erzeugt werden würde, wenn Stanzformen verwendet wer-

den, vermieden werden, wodurch die Ausbeute der Stahlbleche drastisch verbessert werden kann.

[0034] Unter Verwendung eines Verfahrens gemäß Anspruch 3 kann ein Schneiden des Inneren einer Mehrzahl von geschnittenen Kernen in einem Arbeitsgang ausgeführt werden, und die Kerne können mit einem ausgezeichneten Rundlauf hergestellt werden. Zusätzlich können die Innenoberflächen der Enden der Zähne in der Richtung der Blechbeschichtungen und in der Ebene der Beschichtungen während der Rotation geschnitten werden, ohne eine Rückstell- oder Biegebelastung auszuüben, wodurch die geschnittenen Oberflächen der Stahlbleche gleichmäßig und regelmäßig bleiben, ohne dass das isolierende Material gequetscht, gebrochen oder abgeschält wird, so dass eine befriedigende, ausgezeichnete Rundheit abgesichert werden kann.

[0035] Bei Verwendung eines Verfahrens gemäß Anspruch 4 ist ein Schneiden der inneren Oberfläche zweimal erforderlich, jedoch kann die Anzahl von Bearbeitungsschritten reduziert werden. Zusätzlich kann, wenn der Innenrand der gezahnten Enden während einer Rotation geschnitten wird, der Schneideschritt in der Richtung der Schichtung und in der horizontalen Ebene der Stahlbleche an dem Innenrand der gezahnten Enden ausgeführt werden, ohne eine Rückstellkraft oder Auslenkung zu erzeugen, wodurch die geschnittenen Enden der Stahlbleche gleichmäßig gehalten werden können, ohne irgendwelche Unregelmäßigkeiten an dem Rand jedes Schnittes, und die Ränder der Kerne können gleichmäßig und genau kreisförmig gehalten werden, ohne einem Zusammenbrechen, Abreißen oder Abschälen des isolierenden Materials.

[0036] Andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung sind in den folgenden Absätzen unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen offenbart.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0037] Die **Fig. 1A** bis **Fig. 1C** sind schematische Ansichten, die den Aufbau eines herkömmlichen homopolaren Magnetlagers zeigen.

[0038] Die **Fig. 2A** und **Fig. 2B** zeigen den Aufbau des homopolaren Magnetlagers, das sich auf die frühere Anwendung bezieht.

[0039] **Fig. 3** ist eine isometrische Ansicht der Statorkerne, die in **Fig. 2** gezeigt sind. Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** sind eine Vorderansicht und eine Seitenansicht eines herkömmlichen homopolaren radialen Magnetlagers.

[0040] **Fig. 5** ist eine isometrische Zeichnung, die herkömmliche Statorkerne für ein homopolares radi-

ales Magnetlager zeigt.

[0041] Die **Fig. 6A** bis **Fig. 6C** zeigen die Statorkerne für ein Magnetlager.

[0042] Die **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** zeigen eine Ausführungsform der Statorkerne.

[0043] Die **Fig. 8A** und **Fig. 8B** sind schematische Ansichten der Ausführungsform der Statorkerne basierend auf der vorliegenden Erfindung.

[0044] **Fig. 9** zeigt ein Verfahren zum Herstellen von Statorkernen.

[0045] **Fig. 10** ist eine andere Ansicht, die das Verfahren zum Herstellen von Statorkernen zeigt.

Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen

[0046] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unten im Hinblick auf die Zeichnungen beschrieben. Gemeinsame Teile, die in jeder Zeichnung gezeigt sind, sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet, und es erfolgen keine doppelten Beschreibungen.

[0047] Die **Fig. 6A** und **Fig. 6B** zeigen Statorkerne für ein Magnetlager. Wie in den Figuren gezeigt, umfasst das Magnetlager Statorkerne für ein homopolares Magnetlager wie das, das in **Fig. 13** gezeigt ist, wobei die gezahnten Enden der Statorkerne **10** N-Pole und S-Pole benachbart zueinander in axialen Richtungen ausbilden und einen Rotor **3** umgeben.

[0048] In den Statorkernen für ein Magnetlager sind die Statorkerne **10** mit Auskragungen **11** vorgesehen, die sich in der Umfangsrichtung von benachbarten N- und S-Polen erstrecken, um somit in Kontakt mit oder in nächster Nähe zueinander zu sein.

[0049] **Fig. 6C** zeigt typischerweise das Verfahren zum Herstellen U-förmiger geschichteter Stahlbleche für die Statorkerne **10**. In **Fig. 6C** sind die U-förmigen geschichteten Stahlbleche für die geschnittenen Kerne **12** durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches **12a**, das mit einem Isolationsmaterial beschichtet ist, in einer rechteckigen Form, seinem Ausbilden und seinem Schneiden in gleiche Teile hergestellt.

[0050] Daher sind die Statorkerne **10** gemäß der vorliegenden Erfindung aus U-förmigen geschichteten Stahlblechen mit einem isolierenden Material dazwischen und mit offenen zentralen Seiten, gesehen von der Mittellinie, aufgebaut.

[0051] Die **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** zeigen eine Ausführungsform der Statorkerne. In den Figuren ist **Fig. 7A** eine isometrische Ansicht, die die Anordnung von vier Statorkernen **10** für den Fall zeigt, in welchem die

Anzahl der Magnetpole vier ist, **Fig. 7B** ist eine Darstellung eines der Kerne, nachdem er an der Außenseite bearbeitet wurde, und **Fig. 7C** ist eine Draufsicht der Anordnung der vier Statorkerne **10**. In jeder Ansicht zeigen unterbrochene Linien die Schnittoberflächen der geschnittenen Kerne **12**.

[0052] In der Ausführungsform, die in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** gezeigt ist, erstrecken sich Auskragungen **11** um den Umfang und kommen in Punktkontakt (genauer in drei Dimensionen, Linienkontakt) miteinander am Punkt A auf einer Ebene. Jedoch können die Auskragungen auch nahe beieinander mit einem geringen Spalt anstelle eines Punktkontaktes ausgebildet werden. Auch ist die Ausführungsform nicht nur auf einen Fall mit vier Magnetpolen beschränkt, mit anderen Worten können drei oder fünf oder mehr Pole eingebaut sein.

[0053] Die oben genannte Ausbildung kann stark die Erzeugung von Wirbelströmen reduzieren, da hier kein Spalt oder ein nur sehr geringer Spalt zwischen den Auskragungen **11** ist, wodurch Wärme und Verluste durch Wirbelströme, die in dem Rotor erzeugt werden, stark reduziert werden können.

[0054] Die **Fig. 8A** und **Fig. 8B** zeigen eine Ausführungsform der Statorkerne gemäß der vorliegenden Erfindung. **Fig. 8A** zeigt einen der vier Statorkerne **10**, nachdem er an der Außenseite bearbeitet wurde, und **Fig. 8B** ist eine Draufsicht, die die Anordnung der vier Statorkerne **10** zeigt. In jeder Zeichnung zeigen unterbrochene Linien, wo die geschnittenen Kerne **12** geschnitten werden, um den Statorkern auszubilden.

[0055] In der Ausführungsform, die in den **Fig. 8A** und **Fig. 8B** gezeigt ist, erstrecken sich die Auskragungen **11** in der Umfangsrichtung und kommen miteinander an dem Punkt A in der Draufsicht in Kontakt. Auch in dieser Ausführungsform ist die Anzahl der Magnetpole nicht nur auf vier beschränkt, sondern drei oder fünf Pole können eingebaut sein.

[0056] Da hier keine Spalte zwischen Auskragungen **11** in diesem Aufbau sind, kann die Erzeugung von Wirbelströmen beträchtlich reduziert werden, womit Wärme und Verluste durch Wirbelströme, die in dem Rotor erzeugt werden, stark reduziert werden können. Zusätzlich kann, da die Auskragungen einander in den Ebenen kontaktieren, der Kern einfach platziert werden und der Innenrand kann genau geschnitten und bearbeitet werden.

[0057] Die Statorkerne **10**, die in den **Fig. 6** bis **8** gezeigt sind, sind aus geschichteten Stahlblechen ausgebildet, die wie der Buchstabe U, von welchem die Mittelseite offen ist, gesehen von der Seite der Welle, geformt sind, wodurch die Auskragungen **11** einander kontaktieren oder sich nahe beieinander befinden

und die geschnittenen Kerne einstückig in einem Körper zusammen mit den Spulen vorgesehen sein können. Folglich sind die geschichteten Stahlbleche in den auskragenden Spitzen (Auskragungen 11) die gleichen Stahlbleche, wie diejenigen, wo sich die Spulen befinden, so dass die Schichten der Schichtungen verhindern, dass die Bleche während des Erarbeitens kollabieren, und auch ein Lösen, Quetschen oder Abschälen der Beschichtungen kann vermieden werden, und die Kerne können effizient geschnitten und bearbeitet werden.

[0058] Da die Kerne bearbeitet werden können, nachdem sie aus den geschnittenen Kernen ausgebildet sind, kann gerade ein amorphes Material, das nicht einfach geschichtet werden kann, in der Praxis verwendet werden.

(Herstellungsverfahren 1)

[0059] Fig. 9 zeigt das Verfahren zum Herstellen von Statorkernen gemäß der vorliegenden Erfindung. Dieses Verfahren der vorliegenden Erfindung besteht aus einem Außenbearbeitungsschritt (A), einem Spulenaufbauschnitt (B), einem Kernaufbauschnitt (C) und einem Innenschneideschritt (D).

[0060] In dem Außenbearbeitungsschritt (A) wird ein geschnittener Kern 12, der durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches 12a, beschichtet mit einem isolierenden Material, in einer rechteckigen Form hergestellt ist, die vorher ausgebildet wurde und dann in gleiche Teile geschnitten wurde, an deren Außenseite bei Belassen der Auskragungen 11 bearbeitet.

[0061] In dem Spulenaufbauschnitt (B) wird eine Spule 5 auf dem geschnittenen Kern 10 installiert, dessen Außenseite bearbeitet wurde. In dem Kernaufbauschnitt (C) wird eine Mehrzahl (vier in diesem Beispiel) von geschnittenen Kernen 10 in vorgeschriebenen Positionen angeordnet. In dem Innenschneideschritt (D) wird die Innenseite der Mehrzahl von geschnittenen Kernen 10, die in der Position platziert wurden, geschnitten, wodurch die Statorkerne 10 fertiggestellt werden.

[0062] Mittels des Herstellungsverfahrens, das in Fig. 9 gezeigt ist, kann die Innenseite der Mehrzahl von geschnittenen Kernen 10 gleichzeitig fertiggestellt werden, und die geschnittenen Oberflächen können sehr genau und konzentrisch ausgebildet werden. Wenn der Innenrand jedes gezahnten Endes geschnitten wird, bewegt sich das Schneidewerkzeug in der Richtung der Schichtung und in der Ebene der Schichten der Schichtungen an dem Innenrand der gezahnten Enden, so dass keine exzentrische Belastung oder Biegung stattfindet, die Schichten der Stahlbleche ohne irgendwelche Unregelmäßigkeiten durch das Schneiden geschichtet bleiben,

das isolierende Material davor bewahrt wird, gequetscht oder gerissen oder auf andere Weise abgeschält zu werden, und dies sichert ab, dass die Innenoberfläche eben und genau rund ist.

(Herstellungsverfahren 2)

[0063] Fig. 10 zeigt ein anderes Verfahren zum Herstellen von Statorkernen gemäß der vorliegenden Erfindung. Das Herstellungsverfahren, das in Fig. 10 gezeigt ist, umfasst gemäß der vorliegenden Erfindung einen Innenschneideschritt (E), einen Außenbearbeitungsschritt (F) und einen Spulenaufbauschnitt (G).

[0064] In dem Innenschneideschritt (E) wird eine Mehrzahl (vier in diesem Beispiel) von geschnittenen Kernen 12, die durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches 12a, beschichtet mit einem isolierenden Material, in einer rechteckigen Form, wobei das Rechteck vorher ausgebildet wurde und dann in zwei gleiche Teile geschnitten wurde, in den erforderlichen Positionen angeordnet und deren Innenseite wird geschnitten.

[0065] In dem Außenbearbeitungsschritt (F) werden die Außen- und Innenoberflächen der Mehrzahl von geschnittenen Kernen 10 bearbeitet, wobei Auskragungen 11 an der Außenseite der geschnittenen Kerne 10 belassen werden. In dem Spulenaufbauschnitt (G) werden Spulen 5 auf der Mehrzahl von geschnittenen Kernen 10, von welchen die Außenseite bearbeitet wurde, installiert, wodurch die Herstellung der Statorkerne 10 fertiggestellt wird.

[0066] Obwohl das Herstellungsverfahren in Fig. 10 erfordert, dass die Innenoberfläche zwei Mal geschnitten wird, kann die Anzahl von Bearbeitungsschritten reduziert werden. Zusätzlich kann, wenn der Innenrand der verzahnten Enden geschnitten wird und durch Rotieren der Kerne bearbeitet wird, die Schneidetätigkeit sowohl in der Richtung der Schichtung als auch in der Ebene der Schichten der Schichtungen an der Innenoberfläche der gezahnten Enden ausgeführt werden, ohne eine exzentrische Belastung oder Biegekräft zu erzeugen, so dass die geschnittenen Enden der Stahlbleche eben und frei von Rauigkeit bleiben, und es verhindert wird, dass das isolierende Material durch Quetschen oder Reißen abgeschält wird, wodurch abgesichert wird, dass die Innenoberfläche eben und genau rund ist.

[0067] In den oben genannten Ausführungsformen wurde ein radiales Lager als ein Beispiel verwendet, jedoch sind anwendbare Lager in der Praxis nicht nur auf dieses Beispiel beschränkt, und die vorliegende Erfindung kann auch bei einem Axiallager angewendet werden. Zusätzlich ist die Erfindung, obwohl die Beschreibungen unter Annahme eines Aufbaus zum Stützen eines rotierenden Rotors angegeben wur-

den, nicht nur auf dieses Beispiel beschränkt, sondern beispielsweise kann die vorliegende Erfindung für eine Führung für einen linearen Bewegungsantrieb verwendet werden. Ein Vormagnetisierungsmagnet kann auch als Teil eines Statorkerns umfasst sein.

[0068] Die oben genannten Statorkerne für ein Magnetlager und das Verfahren zum Herstellen dieses Magnetlagers zeigen die folgenden Vorteile.

1. Da die geschichteten Stahlbleche eines geschnittenen Kerns befriedigend verbunden sind, können Vorsprünge eines Magnetpols auch in einem geschichteten Aufbau hergestellt werden.
2. Vorsprünge sind miteinander magnetisch verbunden aber elektrisch isoliert, so dass Verluste verringert werden können, ohne die Eigenschaften des Lagers zu beeinträchtigen. D. h., unter Verwendung der geschnittenen Kerne können die Vorsprünge von Magnetpolen auch aus geschichteten Stahlblechen hergestellt werden, was in einer Verringerung von Eisenverlusten resultiert.
3. Eine breitere Auswahl von Typen von elektromagnetischen Stahlblechen wird möglich, und amorphe Materialien, die schwer zu schichten sind, können auch für die Magnetpole verwendet werden.

[0069] Daher können der Statorkern für ein Magnetlager und das Verfahren zu dessen Herstellung gemäß der vorliegenden Erfindung aus geschichteten Stahlblechen aufgebaut werden, gerade wenn die Statorkerne mit Auskragungen vorgesehen sind, die sich in der Umfangsrichtung erstrecken; zusätzlich können die geschichteten Stahlbleche davor bewahrt werden, gelöst, zerbrochen oder abgeschält zu werden, so dass sie effizient geschnitten und bearbeitet werden können; weiterhin kann ein amorphes Material, das schwierig zu schichten ist, als ein Rohmaterial verwendet werden; folglich können die Herstellungs- und Bearbeitungskosten der Statorkerne verringert werden, während die Wirbelströme, die in der Statoreinheit erzeugt werden, auch stark verringert werden können, was exzellente Vorteile in der Praxis sind.

[0070] Die vorliegende Erfindung stellt Statorkerne für ein Magnetlager zur Verfügung, das in einer solchen Weise aufgebaut ist, das die Verwendbarkeit von Materialien hoch ist, die Werkstücke mit einer hohen Genauigkeit bearbeitet werden können und Wirbelstromverluste auf ein Minimum reduziert werden können.

[0071] Obwohl die vorliegende Erfindung im Hinblick auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben wurde, ist es verständlich, dass der Schutzbereich, der von der vorliegenden Erfindung umfasst wird, nicht nur auf diese Ausführungsform beschränkt ist. Umgekehrt sollte der Schutzbereich

umfang der vorliegenden Erfindung alle Verbesserungen, Modifikationen und äquivalente Dinge umfassen, die zu dem Schutzbereich der angefügten Ansprüche gehören.

Patentansprüche

1. Anordnung von Statorkernen und einem Rotor für ein homopolares Magnetlager, wobei die Statorkerne (10) den Rotor (3) umgeben, wobei jeder der Statorkerne (10) zwei gezahnte Enden hat, die einen N-Pol und einen S-Pol benachbart zueinander in einer axialen Richtung des Rotors (3) ausbilden, und wobei jeder der Statorkerne (10) U-förmige geschichtete Bleche aufweist, welche eines auf dem anderen geschichtet sind und in Form des Buchstaben „U“ ausgebildet sind, von welchem die mittlere Seite offen ist, gesehen von der Mittellinienseite, die sich in axialer Richtung des Rotors (3) erstreckt, wobei jedes der gezahnten Enden zwei Auskragungen (11) umfasst, die sich in entgegengesetzten Umfangsrichtungen des Rotors erstrecken, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede der Auskragungen (11) ein integraler Teil des jeweiligen Stahlbleches ist und einen ebenen Bereich hat, so dass die ebenen Bereiche der Auskragungen (11) der Statorkerne (10) in Kontakt mit den ebenen Bereichen der Auskragungen (11) von benachbarten Statorkernen (10) sind, wobei die Bleche Stahlbleche sind, die in radialer Richtung geschichtet sind und mit einem isolierenden Material dazwischen ausgebildet sind.

2. Die Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die U-förmigen geschichteten Stahlbleche geschnittene Kerne (12) sind, die durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches (12a), das mit einem isolierenden Material beschichtet ist, in einer rechteckigen Form, und durch Ausbilden und Schneiden des Rechteckes in zwei gleiche Abschnitte hergestellt sind.

3. Ein Verfahren zum Herstellen einer Anordnung von Statorkernen gemäß Anspruch 1 oder 2, welches aufweist:
einen Ausbildungsschritt, wobei geschnittene Kerne (12) durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches, das mit einem isolierenden Material beschichtet ist, in einer rechteckigen Form, und Ausbilden und Schneiden des Rechteckes in zwei gleiche Abschnitte hergestellt werden,
einen Spulenaufbauschnitt (B), wobei Spulen an den geschnittenen Kernen (12) installiert werden,
einen Kernaufbauschnitt (C), wobei eine Mehrzahl von geschnittenen Kernen an vorgeschriebenen Stellen positioniert werden, und
einen Innenschneideschritt (D), wobei die Innenseiten der gezahnten Enden der Mehrzahl von geschnittenen Kernen (12) an den aufgebauten Stellen ge-

schnitten werden, wobei
 der Ausbildungsschritt einen Außenbearbeitungsschritt (A) umfasst, wobei die Außenseiten der geschnittenen Kerne (12) bearbeitet werden und Auskragungen (11) an den gezahnten Enden unbearbeitet belassen werden, und
 der Spulenaufbauschnitt (B) ein Installieren der Spulen auf den geschnittenen Kernen (12), von welchen die Außenseiten bearbeitet worden sind, umfasst.

4. Ein Verfahren zum Herstellen einer Anordnung von Statorkernen gemäß Anspruch 1 oder 2, welches aufweist:

einen Innenschneideschritt (E), wobei eine Mehrzahl von geschnittenen Kernen (12) die durch Wickeln eines fortlaufenden Stahlbleches, das mit einem isolierenden Material beschichtet ist, in einer rechteckigen Form, und Ausbilden und Schneiden des Rechteckes in zwei gleiche Abschnitte hergestellt wurden, an vorgeschriebenen Stellen positioniert werden und die Innenseiten der gezahnten Enden der geschnittenen Kerne geschnitten werden, und
 einen Spulenaufbauschnitt (G), wobei Spulen auf der Mehrzahl von geschnittenen Kernen installiert werden, wobei
 ein Außenbearbeitungsschritt (F) vorgesehen ist, wobei die Außenseite der Mehrzahl von geschnittenen Kernen bearbeitet wird, aber Auskragungen (11) an den gezahnten Enden unbearbeitet belassen werden, und der Spulenaufbauschnitt (G) ein Installieren von Spulen auf der Mehrzahl von geschnittenen Kernen, von welchen die Außenseiten bearbeitet worden sind, umfasst.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

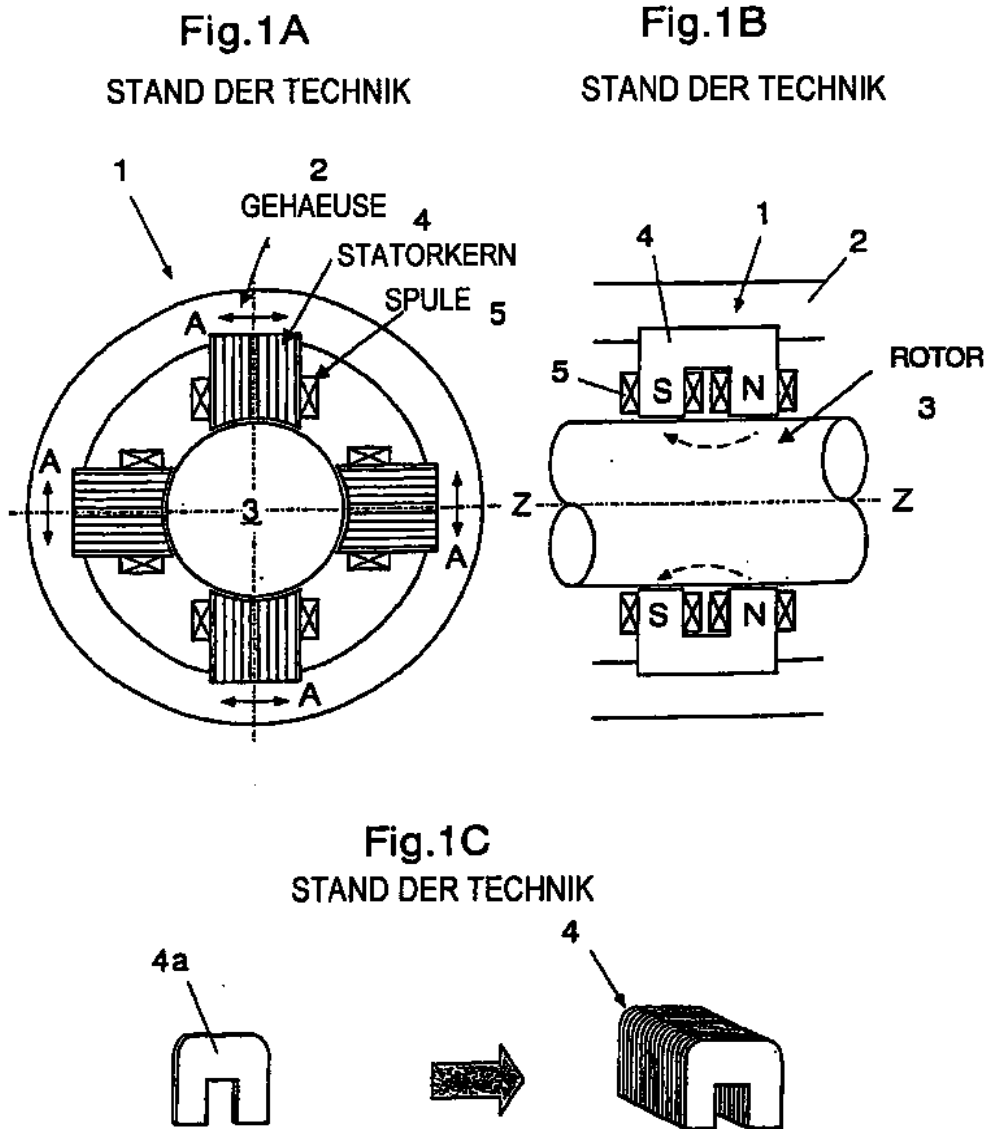


FIG.2A
STAND DER TECHNIK

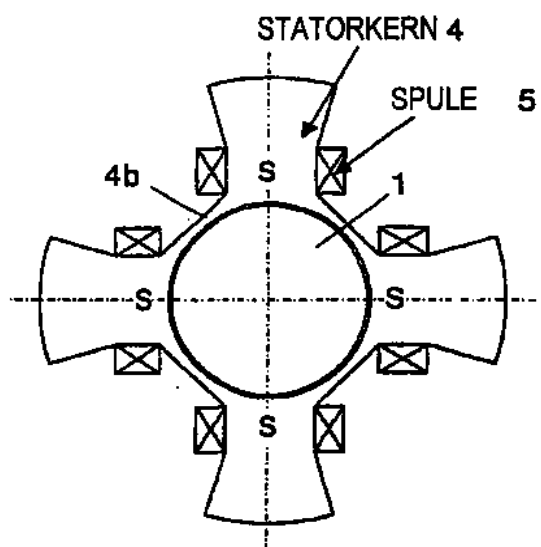


FIG.2B
STAND DER TECHNIK

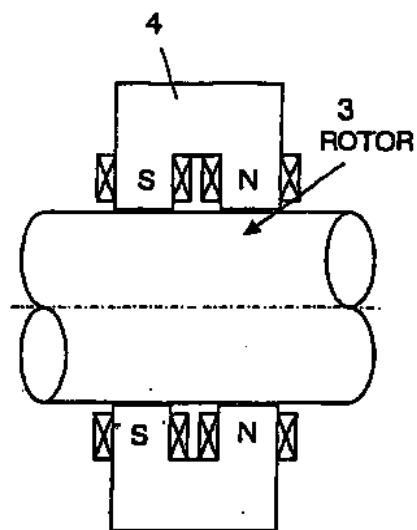


FIG.3
STAND DER TECHNIK

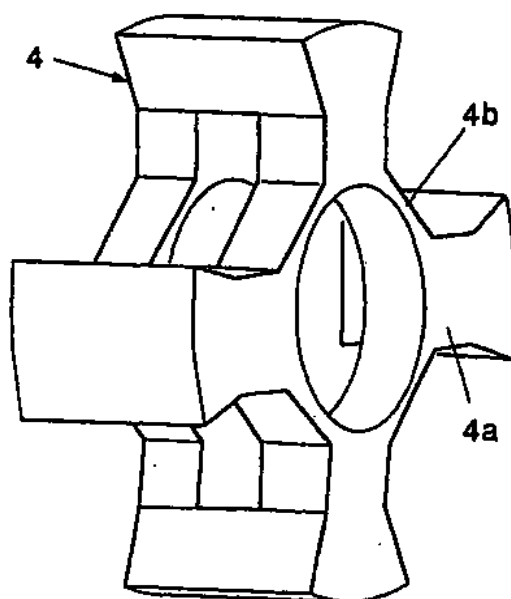


Fig.4a

STAND DER TECHNIK

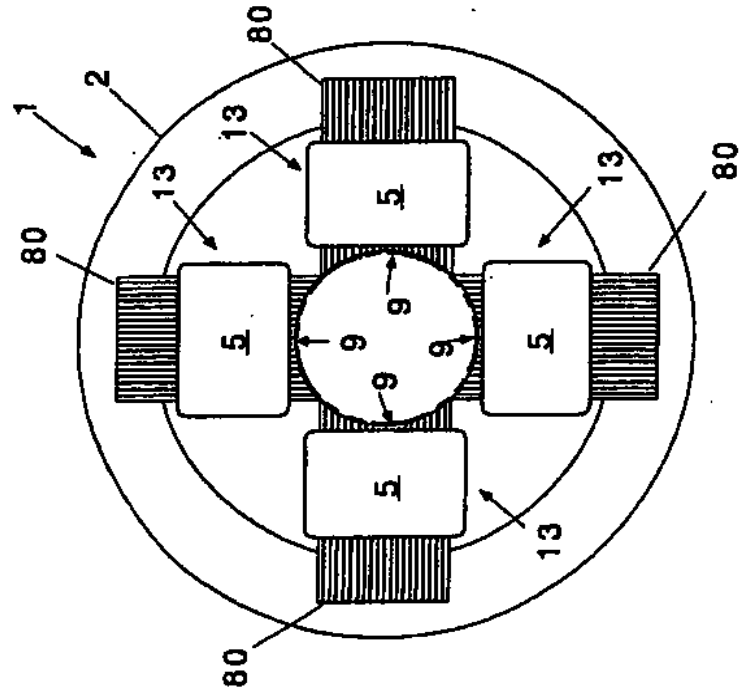


Fig.4b

STAND DER TECHNIK

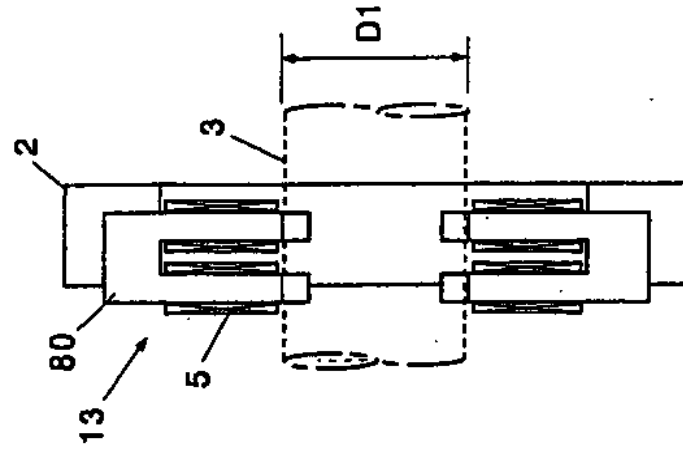


FIG.5
STAND DER TECHNIK

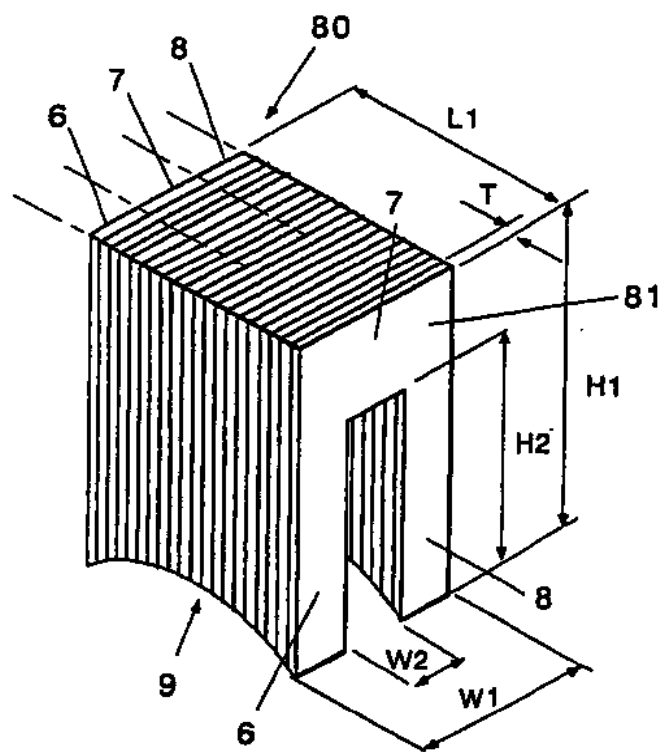


Fig.6A

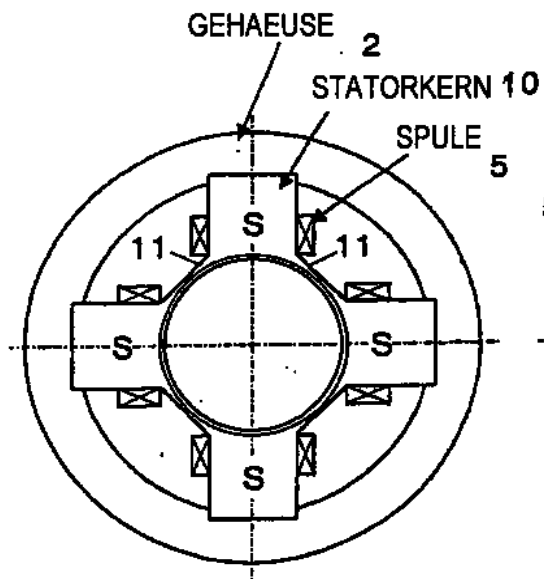


Fig.6B

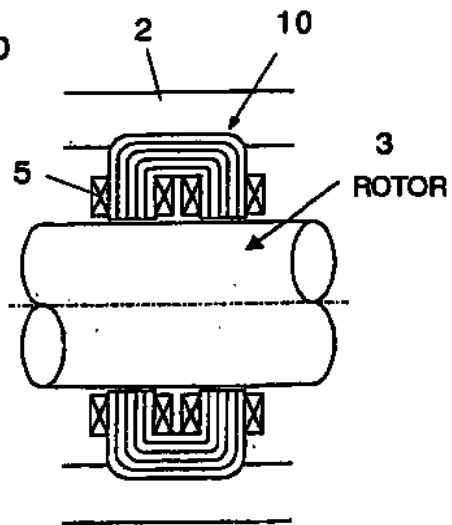


Fig.6C

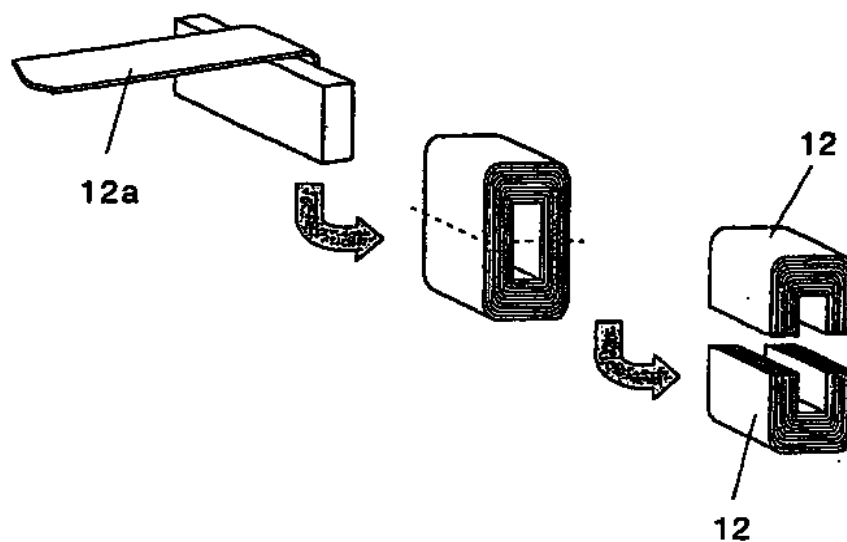


Fig.7A

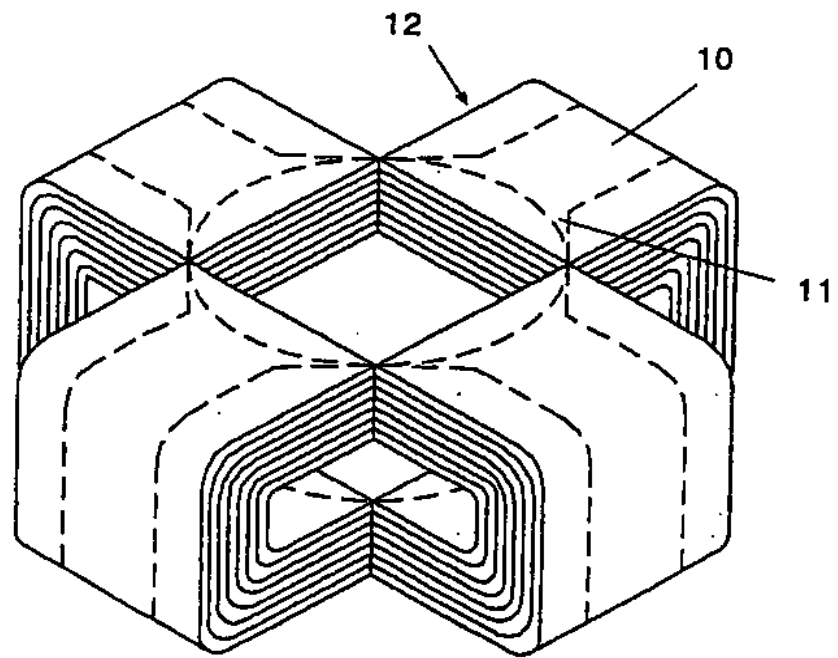


Fig.7B

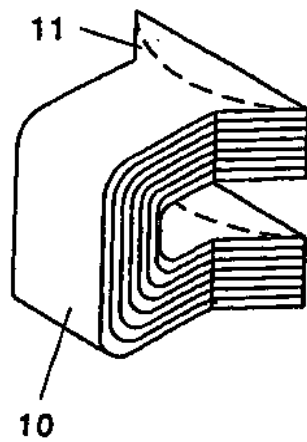


Fig.7C

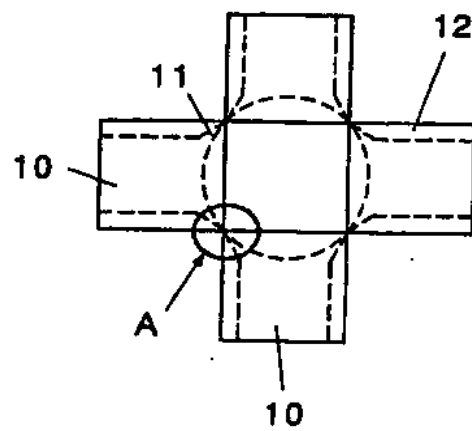


Fig.8A

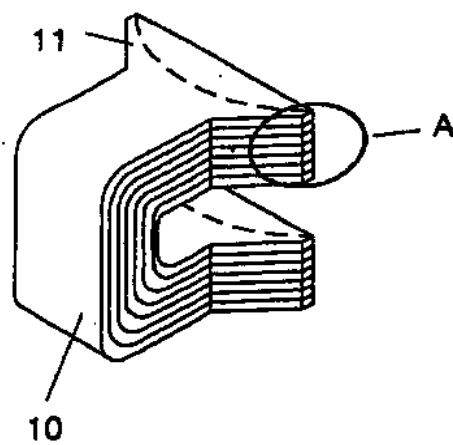


Fig.8B

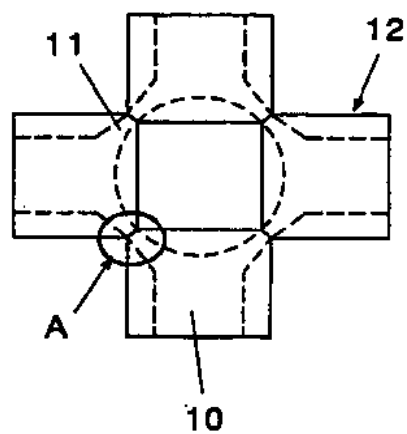


Fig.9

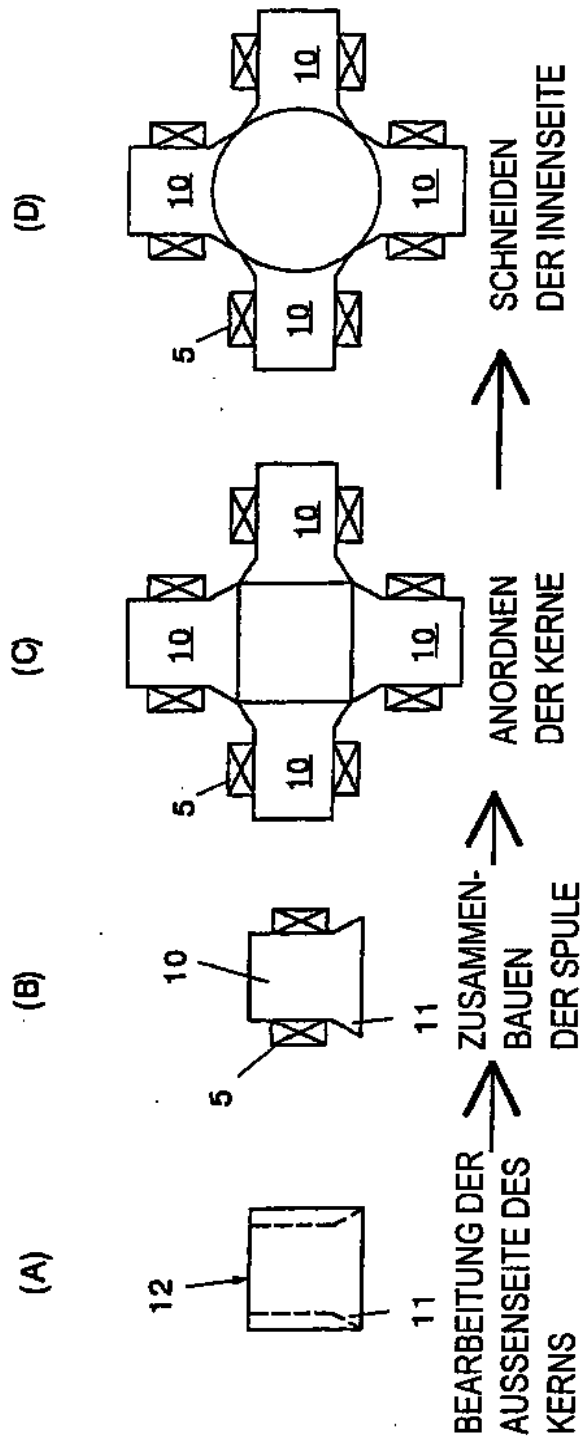


Fig.10

