



(10) **DE 10 2016 011 156 A1** 2018.03.22

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 011 156.9**

(22) Anmeldetag: **16.09.2016**

(43) Offenlegungstag: **22.03.2018**

(51) Int Cl.: **H01F 13/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Minebea Co., Ltd., Nagano, JP**

(74) Vertreter:

**Riebling, Peter, Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 88131 Lindau,  
DE**

(72) Erfinder:

**Avdeev, Sergey, 78048 Villingen-Schwenningen,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

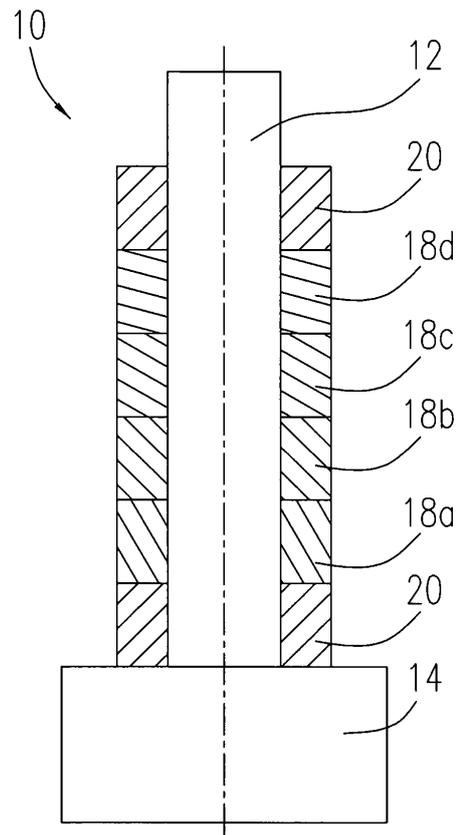
<b>DE</b>	<b>14 88 127</b>	<b>A</b>
<b>AT</b>	<b>507 023</b>	<b>B1</b>
<b>JP</b>	<b>H11- 288 813</b>	<b>A</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Magnetisieren von Rotormagneten zur Verwendung in elektrischen Maschinen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Magnetisieren von ringförmigen Magneten mittels einer Magnetisierspule (10) mit einem zylindrischen Spulengehäuse (12), wobei mindestens ein ringförmiger Magnet (18a, 18b, 18c, 18d) in das zylindrische Spulengehäuse (12) eingebracht wird, wobei der mindestens eine Magnet (18a, 18b, 18c, 18d) zwischen ringförmigen Abstandhaltern (20) aus magnetisierbarem Material angeordnet wird, und in dieser Anordnung die Magnetisierung des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) durch das Bestromen der Magnetisierspule (10) durchgeführt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Magnetisieren von magnetisierbarem Material, insbesondere für die Magnetisierung von Rotormagneten zur Verwendung in Rotoren elektrischer Maschinen.

**[0002]** Permanentmagnete, wie sie beispielsweise in Elektromotoren verwendet werden, sind oftmals ringförmig oder scheibenförmig ausgebildet und umfassen abwechselnd und kontinuierlich nebeneinander angeordnete magnetische Nord- und Südpole. Es können hierbei beispielsweise vier, acht oder zwölf Magnetpole jeweils abwechselnd in Sektorzonen unterteilt vorhanden sein, wobei jeder Sektor einen Winkel von  $360^\circ/2n$  auf dem Umfang des Magneten ausbildet, wobei  $n$  die Anzahl der Polpaare ist.

**[0003]** Für die Magnetisierung von derartigen Ringmagneten für elektrische Maschinen sind Magnetisierspulen bekannt, die auf einem ferromagnetischen Kern oder Stahlkern aufgebracht sind. Solche Magnetisierspulen sind häufig ähnlich wie ein Stator einer elektrischen Maschine aufgebaut.

**[0004]** Die DE 10 2007 051 601 B3 offenbart ein typisches Beispiel einer Magnetisierspule zum Magnetisieren eines ringförmigen Permanentmagneten mit einer bestimmten Anzahl von Polen. Die Magnetisierspule besteht aus einem topfförmigen Gehäuse, an dem entlang einer Achse ein Metallkern angeordnet ist. Die Magnetisierspule umfasst, ähnlich einem Stator eines Elektromotors, eine Anzahl von Polen, die der Anzahl der zu magnetisierenden Pole des Magneten entspricht. Jeder Pol umfasst eine Wicklung bestehend aus einem oder mehreren Wicklungsdrähten. Die Wicklungsdrähte sind nach unten aus dem Gehäuse herausgeführt und an eine Spannungsquelle angeschlossen. Ein elektrischer Anschlussbolzen dient zum Kontaktieren der Wicklungsdrähte. Bei Anlegen einer Spannung an die Wicklungsdrähte wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Der Kern ist von einem Mantel umgeben, beispielsweise einem Edelmantel. Die freien Hohlräume im Mantel und im Gehäuse sind durch eine Vergussmasse ausgefüllt. Über einen zentral angeordneten Kühltrichter, der mit dem Metallkern verbunden ist, wird die in den Wicklungen entstehende Verlustwärme abgeführt. Ein weiteres Beispiel für eine solche Magnetisierspule ist beispielsweise in der AT 512 202 A1 offenbart.

**[0005]** Zur Magnetisierung eines Ringmagneten für den Rotor einer elektrischen Maschine wird in einem typischen Anwendungsfall an die Magnetisierspule eine Spannung in der Größenordnung von beispielsweise 1 kV angelegt, wobei ein Strom in der Größenordnung von 10 kA und größer fließen kann.

**[0006]** Das von der Magnetisierungsvorrichtung erzeugte Magnetfeld ist nicht vollkommen homogen über die Magnetpole, weder in radialer, axialer oder Umfangsrichtung. Ungleichmäßigkeiten ergeben sich beispielsweise aufgrund der Führung der Wicklungsdrähte im Gehäuse bzw. über die Pole des Metallkerns, die sowohl in radialer als auch in axialer Richtung nicht exakt gleichmäßig geführt sind. Daraus resultieren Ungleichmäßigkeiten des elektromagnetischen Feldes, die auf das zu magnetisierende Material übertragen werden, so dass sowohl die Stärke als auch die Richtung der Magnetisierung der Magnetpole des zu magnetisierenden Materials unterschiedlich ausfallen kann.

**[0007]** Fig. 4 zeigt schematisch eine Anordnung gemäß dem Stand der Technik zur gleichzeitigen Magnetisierung mehrerer Ringmagnete **18a–18d**.

**[0008]** Es ist schematisch die Magnetisierspule **10** dargestellt, die aus einem zylindrischen Spulengehäuse **12** besteht, in welchem die Magnetspulen angeordnet sind und einem Sockel **14**, der insbesondere zum elektrischen Anschluss der Magnetspulen dient.

**[0009]** Auf einem ringförmigen Abstandshalter **16**, der auf dem Sockel **14** angeordnet ist, werden mehrere ringförmige Rotormagnete **18a–18d** über das Spulengehäuse **12** gestülpt und übereinander gestapelt. Der Abstandshalter **16** soll sicherstellen, dass die zu magnetisierenden Magnete **18a–18d** in einem Bereich der Magnetisierspule **10** platziert werden, in welchem das magnetische Feld weitgehend homogen ist. Der Abstandshalter **16** besteht vorzugsweise aus Kunststoff. Die Magnetisierspule **10** wird danach unter Strom gesetzt und die Magnetisierung der mehreren Magnete **18a–18d** durchgeführt. Selbstverständlich kann auf die gleiche Weise auch lediglich ein Magnet **18** magnetisiert werden.

**[0010]** Fig. 5 zeigt schematisch das bei der Magnetisierung erzeugte magnetische Feld, insbesondere die magnetische Flussdichte in der Umgebung der Magnetisierspule **10**. Man erkennt, dass im Bereich der Magnete **18a–18d** die magnetische Flussdichte relativ homogen ist, wobei jedoch im Bereich der unteren Stirnfläche des unteren Magneten **18a**, also der Stirnseite, die auf dem Abstandshalter **16** aufliegt, sowie im Bereich der oberen Stirnfläche des obersten Magneten **18b**, die magnetischen Flusslinien verzerrt sind, was sich durch die unterschiedliche Permeabilität des Magnetmaterials und des Abstandshalters bzw. der umgebenden Luft erklärt.

**[0011]** Diese verzerrten magnetischen Flusslinien erzeugen eine unterschiedlich große Magnetisierung der unteren bzw. der oberen Stirnfläche der äußeren Magnete **18a** und **18d** des Magnetstapels.

**[0012]** Insbesondere tritt dieser Effekt der verzerrten magnetischen Flusslinien auf, wenn die Magnete **18a–18d** ohne einen Rückschlussring magnetisiert werden, der ansonsten auf dem Außenumfang der Magnete **18a–18d** aufgesteckt wird.

**[0013]** Durch die verzerrten magnetischen Flusslinien ist die magnetische Flussdichte an der Unterseite des Magneten **18a** anders als an dessen Oberseite, und die magnetische Flussdichte an der Oberseite des Magneten **18d** anders als an dessen Unterseite.

**[0014]** Fig. 6 zeigt ein Diagramm der magnetischen Flussdichte, aufgetragen über die axiale Länge des Magnetstapels. Man erkennt, dass die magnetische Flussdichte im Bereich der außen liegenden Stirnseiten oder Stirnflächen der Magnete **18a** und **18d** größer ist, als bei dem restlichen Magnetmaterial.

**[0015]** Insbesondere die Variation der magnetischen Flussdichte in axialer Richtung des Ringmagneten, also in Richtung der Mittelachse, ist für die Verwendung in einem Elektromotor mit magnetischer Vorspannung problematisch. Beispielsweise sind solche Elektromotoren mit magnetischer Vorspannung als Spindelmotoren mit fluiddynamischem Lager zum Antrieb von Festplattenlaufwerken bekannt, können aber auch in Lüfteranordnungen zum Antrieb eines oder mehrerer Lüfterräder oder zum Antreiben eines rotierenden Spiegels in einem Laserscanner, zum Beispiel in einer LiDAR(Light detection and ranging)-Anwendung.

**[0016]** Bekannte Spindelmotoren zum Antrieb von Festplattenlaufwerken sind mittels eines fluiddynamischen Lagersystems gelagert und benötigen oftmals eine axiale Vorspannung, da nur ein axiales, fluiddynamisches Lager vorhanden ist. Diese axiale Vorspannung wird magnetisch erzeugt, wobei der Rotormagnet eine Komponente des magnetischen Lagers ist. Zum einen kann eine axiale Magnetkraft durch einen axialen Versatz zwischen der magnetischen Mitte des Rotormagneten und der magnetischen Mitte des Stators erzeugt werden. Zum anderen ist es bekannt, gegenüberliegend einer Stirnfläche des Rotormagneten einen ferromagnetischen Ring anzuordnen, der vom Rotormagneten axial magnetisch angezogen wird und dadurch eine magnetische Kraft auf den Rotormagneten erzeugt.

**[0017]** Diese axiale, magnetische Vorspannung bzw. deren Größe hängt insbesondere auch von der magnetischen Flussdichte des Rotormagneten ab.

**[0018]** Die Magnetisierung der Rotormagnete wurde bisher nur an einer Stelle des Magneten in radialer Richtung gemessen. Umfangreichere Messungen der Magnetisierung in radialer Richtung an mehreren Positionen sowie an der Ober- und Unterseite des Magneten in axialer Richtung haben erge-

ben, dass die Magnetisierung sich insbesondere an den beiden gegenüberliegenden axialen Stirnseiten des Magneten stark unterscheiden kann. Die Probleme aufgrund der unterschiedlichen axialen Magnetisierung innerhalb eines Rotormagneten sind insbesondere bei Spindelmotoren mit einem ferromagnetischen Zugring unterhalb des Rotormagneten von Bedeutung, da die axiale Vorspannung des Lagers von der Einbaulage des Rotormagneten abhängig ist. Eine Variation der magnetischen Flussdichte des Rotormagneten in axialer Richtung ist ein kritischer Faktor, da die magnetische Flussdichte quadratisch in die Kraftgleichung der Vorspannungskraft eingeht.

**[0019]** Es muss daher sichergestellt sein, dass zum einen die magnetische Flussdichte auf beiden Stirnflächen des Ringmagneten gleich groß ist und auch bei jedem Ringmagneten gleich groß ist, damit die magnetische Vorspannungskraft den vorgegebenen Wert erreicht.

**[0020]** Werden derartige Magnete **18a** und **18b** zur Erzeugung einer axialen Vorspannung eingesetzt, so bestimmt die Einbaulage der Magnete die Größe der axialen magnetischen Kraft. Das ist bei einer Serienproduktion von elektrischen Maschinen nicht akzeptabel. Diese Magnete müssen daher aussortiert werden, was die Produktionskosten erhöht.

**[0021]** Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Magnetisieren von Ringmagneten anzugeben, die im Vergleich zu bekannten Magnetisierungsverfahren und -vorrichtungen eine homogenere Magnetisierung der Ringmagnete, insbesondere innerhalb der einzelnen Ringmagnete erlauben.

**[0022]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

**[0023]** Bevorzugte Ausgestaltungen und weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0024]** Das Verfahren zum Magnetisieren von ringförmigen Magneten mittels einer Magnetisierspule mit einem zylindrischen Spulengehäuse ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein ringförmiger Magnet dem zylindrischen Spulengehäuse angeordnet wird, wobei der mindestens eine Magnet zwischen ringförmigen Abstandshaltern aus magnetisierbarem Material angeordnet wird, und in dieser Anordnung die Magnetisierung des mindestens einen Magneten durch Bestromung der Magnetisierspule durchgeführt wird.

**[0025]** Auf diese Weise können vorzugsweise insbesondere mehrere solche Magnete in einem Stapel zusammengefasst, zwischen den beiden Abstandshal-

tern angeordnet und in dieser Anordnung magnetisiert werden.

**[0026]** Es wird demnach ein Stapel aus Magneten und Abstandhaltern bzw. eine entsprechende Anordnung vorgeschlagen, die aus der Reihenfolge: „Abstandshalter-Magneten-Abstandshalter“ oder „Abstandshalter-Magnet- ... -Magnet-Abstandshalter“ besteht und auf dem Spulengehäuse angeordnet wird.

**[0027]** Durch die Erfindung wird eine homogenere Magnetisierung der einzelnen Magnete, insbesondere in axialer Richtung, als auch des gesamten Magnetstapels ermöglicht, da die Abstandshalter sicherstellen, dass die Magnete vollständig in einem Bereich der Magnetspule angeordnet sind, in welchem die magnetische Flussdichte möglichst homogen ist.

**[0028]** Die Abmessungen der Abstandshalter entsprechen vorzugsweise den Abmessungen des mindestens einen Magneten, wobei insbesondere der Außendurchmesser und der Innendurchmesser übereinstimmen, jedoch die axiale Höhe der Abstandshalter auch geringer oder größer sein kann, als die axiale Höhe des mindestens einen Magneten.

**[0029]** Insbesondere bestehen die Abstandshalter aus einem paramagnetischen Werkstoff mit einer relativen Permeabilität  $\mu_r$  im magnetisch gesättigten Zustand unter Laborbedingungen im Bereich  $1 < \mu_r \leq 10$ , insbesondere im Bereich  $1,1 \leq \mu_r \leq 2,0$ . Die meisten relevanten Werkstoffe erreichen eine magnetische Sättigung bei einer externen magnetischen Feldstärke im Bereich von  $1 \times 10^6$  A/m bis  $4 \times 10^6$  A/m, weshalb hier und im Folgenden die relative Permeabilität des Werkstoffs bei Raumtemperatur unter dem Einfluss eines externen Magnetfeldes mit einer magnetischen Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m unter Laborbedingungen, also bei einer Temperatur von 20°C und einem Luftdruck von 1014 mbar, betrachtet wird.

**[0030]** Hierbei ist die relative Permeabilität  $\mu_r$  der Abstandshalter im externen Magnetfeld vorzugsweise ähnlich wie die Permeabilität  $\mu_r$  des mindestens einen Magneten im externen Magnetfeld.

**[0031]** Die Abstandshalter können auch aus demselben Material bestehen, wie der mindestens eine Magnet. Der Magnet besteht jedoch vorzugsweise aus einem spröden Sintermaterial, das relativ empfindlich für mechanische Beschädigung ist. Daher werden vorzugsweise Abstandshalter verwendet, die aus einem eher zähen Material bestehen, das mechanischer Beanspruchung standhält, so dass die Abstandshalter immer wieder verwendet werden können.

**[0032]** Die Abstandshalter können daher auch aus einem ferromagnetischen Werkstoff bestehen, beispielsweise aus dem Material der Magnete selbst.

**[0033]** Vorzugsweise bestehen die Abstandshalter aus einer zähelastischen und verschleißfesten Metalllegierung. Als Material für die Abstandshalter kann vorzugsweise eine Legierung auf Kupferbasis, Edelstahl, insbesondere austenitischer Edelstahl, U-Boot-Stahl oder martensitischer nichtrostender Stahl verwendet werden.

**[0034]** Besonders bevorzugt wird als Material für die Abstandshalter Aluminiumbronze (CuAl) verwendet, wobei die Kupferlegierung neben Aluminium weitere Legierungselemente enthalten kann, beispielsweise Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zinn (Zn), Selen (Sn), Blei (Pb), Arsen (As) und Nickel (Ni). Die Aluminiumbronze enthält vorzugsweise zwischen 4% und 20% Aluminium (Al), und/oder zwischen 1% und 10% Eisen (Fe), und/oder zwischen 1% und 15% Nickel (Ni).

**[0035]** Weitere bevorzugte Legierungen auf Kupferbasis sind Messing, Bronze, Al-Mn-Bronze (Aluminium-Mangan-Bronze), Al-Ni-Bronze (Aluminium-Nickel-Bronze), Mn-Bronze (Manganbronze), Cu-Ni-Legierungen (Kupfer-Nickel-Legierungen), insbesondere Cu-Ni-Legierungen mit circa 80% Kupferanteil und circa 20% Nickelanteil.

**[0036]** Bevorzugte austenitische Edelstähle sind AISI 303 (Werkstoffnummer 1.4305, EN Werkstoffbezeichnung X8CrNiS18-9) und AISI 304 (Werkstoffnummer 1.4301, EN Werkstoffbezeichnung X5CrNi18-10), sowie AISI 316 (Werkstoffnummer 1.4401, X5CrNiMo17-12-2) und AISI 347 (Werkstoffnummer 1.4550, EN Werkstoffbezeichnung X6CrNiNb18-10). Bevorzugte austenitische U-Boot-Stähle sind Hadfield-Stahl (auch Mangalloy genannt) sowie Cromanal. Hadfield-Stahl enthält circa 11% bis 15% Mangan und circa 0,8% bis 1,25% Kohlenstoff. Cromanal enthält neben Mangan und Kohlenstoff auch circa 2% Chrom (Cr), beispielsweise 12% Mangan, 2% Chrom und 1,1% Kohlenstoff.

**[0037]** Ein besonders bevorzugter martensitischer Edelstahl ist die Chrom enthaltende Legierung AISI 440B (Werkstoffnummer 1.4112, EN Werkstoffbezeichnung X90CrMoV18).

**[0038]** Bei manchen Materialkompositionen kann es vorteilhaft sein, wenn der Werkstoff zwischen 1% bis 15% eines ferromagnetischen Elements umfasst.

**[0039]** Im Allgemeinen kann es auch vorteilhaft sein, die magnetischen Eigenschaften, insbesondere die relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$ , nicht nur über die prinzipielle Auswahl der Bestandteile des Werkstoffes, sondern auch über unterschiedliche Herstellungsverfahren des gewählten Werkstoffes, beziehungsweise der Abstandshalter, einzustellen. Beispielsweise kann der Werkstoff einer geeigneten Wärmebehandlung unterzogen werden oder von einer Oberflächenschicht befreit werden. Wärmebe-

handelte austenitische Mangalloy-Stähle sind beispielsweise dafür bekannt, an ihrer Oberfläche eine unerwünschte, dünne Schicht aus entkohltem Material mit hohem Ferritgehalt auszubilden, die gegebenenfalls entfernt werden muss.

**[0040]** Durch die an die jeweils äußeren Magnete bzw. dem einen Magnet angrenzenden Abstandshalter aus magnetisierbarem Material wird die magnetische Flussdichte innerhalb der äußeren Magnete über deren gesamte Querschnittsfläche homogenisiert und entspricht der magnetischen Flussdichte der inneren Magnete.

**[0041]** Das bedeutet, dass alle fertigen Magnete eines Stapels sowohl in radialer als auch in axialer Richtung eine nahezu gleichbleibende magnetische Flussdichte aufweisen.

**[0042]** Ferner kann das beschriebene Verfahren bzw. die Vorrichtung relativ einfach in der Massenproduktion verwendet werden, da die zu magnetisierenden Magnete lediglich zwischen zwei Abstandshaltern aus geeignetem Material angeordnet werden müssen, und diese Anordnung dann dem Magnetisierungsvorgang unterzogen wird.

**[0043]** Die Abstandshalter können aus einem von den Magneten deutlich (optisch) unterscheidbarem Material gefertigt werden, so dass diese zum einen leicht von den Magneten unterschieden und getrennt werden können, und zum anderen immer wieder für jeden Magnetisierungsvorgang verwendet werden können.

**[0044]** Durch das beschriebene Verfahren wird die Magnetisierungszeit gegenüber dem vorher verwendeten Verfahren nicht verlängert.

**[0045]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben.

**[0046]** Fig. 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Magnetisierungsspule mit darauf angeordneten Magneten und Abstandshaltern gemäß der Erfindung.

**[0047]** Fig. 2 zeigt mit Bezug auf Fig. 1 schematisch eine Darstellung der magnetischen Flussdichte im Bereich der Magnetisierungsspule und dem Magneten und Abstandshaltern.

**[0048]** Fig. 3 zeigt mit Bezug auf Fig. 1 ein Diagramm der magnetischen Flussdichte, aufgetragen über die Höhe des Magnetstapels.

**[0049]** Fig. 4 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Magnetisierungsspule mit darauf angeordneten Magneten und Abstandshaltern nach dem Stand der Technik.

**[0050]** Fig. 5 zeigt mit Bezug auf Fig. 4 schematisch eine Darstellung der magnetischen Flussdichte im Bereich der Magnetisierungsspule und dem Magneten und Abstandshaltern.

**[0051]** Fig. 6 zeigt mit Bezug auf Fig. 4 ein Diagramm der magnetischen Flussdichte, aufgetragen über die Höhe des Magnetstapels.

**[0052]** In Fig. 1 ist eine Magnetisierungsspule 10 dargestellt, wie sie auch der Magnetisierungsspule von Fig. 4 entspricht, die bereits weiter oben beschrieben wurde.

**[0053]** Der Aufbau der Magnetisierungsspule 10 kann beispielsweise gemäß der AT 512 202 A1 ausgebildet sein.

**[0054]** Die Magnetisierungsspule 10 umfasst ein zylindrisches lang gestrecktes Spulengehäuse 12, das auf einem Sockel 14 angeordnet ist.

**[0055]** Im Spulengehäuse 12 sind die Magnetspulen angeordnet, die das magnetische Feld zur Magnetisierung eines oder mehrerer ringförmiger Rotormagnete 18a bis 18d erzeugen.

**[0056]** Die Rotormagnete 18a bis 18d bestehen aus einem Magnetmaterial, das beispielsweise unter Laborbedingungen in einem externen Magnetfeld mit einer magnetischen Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m eine relative Permeabilität  $\mu_r$  von 1,2 aufweist.

**[0057]** Erfindungsgemäß ist der mindestens eine Magnet 18a bzw. die mehreren Magnete 18a bis 18d in Form eines Stapels auf dem Spulengehäuse 12 angeordnet, wobei der Stapel aus den Magneten 18a bis 18d zwischen zwei Abstandshaltern 20 angeordnet ist.

**[0058]** D. h. der unterste Magnet 18a liegt auf einem unteren Abstandshalter 20 auf, während ein oberer Abstandshalter 20 auf dem obersten Magnet 18d aufliegt.

**[0059]** Vorzugsweise sind die Abmessungen der Abstandshalter 20 im Wesentlichen identisch mit den Abmessungen der ringförmigen Magnete 18a bis 18d.

**[0060]** In der in Fig. 1 gezeigten Anordnung erfolgt die Magnetisierung der Magnete 18a bis 18d, d. h. die Magnetspule wird unter Strom gesetzt und dadurch ein magnetisches Feld erzeugt, das den Magneten 18a bis 18d ihre Magnetisierung einprägt.

**[0061]** Fig. 2 zeigt schematisch die magnetische Flussdichte B im Bereich der Magnetisierungsspule 10, wobei man einen Unterschied zu Fig. 5 erkennt, dass im Übergangsbereich zwischen den Magneten

**18a** bzw. **18d** und den Abstandshaltern **20** das magnetische Feld im Wesentlichen homogen bleibt, genauso homogen wie auch zwischen den einzelnen Magneten **18a**, **18b**, **18c** und **18d** selbst.

**[0062]** Das bedeutet, dass die magnetische Flussdichte  $B$  der Magnete **18a** bis **18d** sowohl in radialer Richtung als auch axialer Richtung im Wesentlichen gleich bleibt.

**[0063]** Die Abstandshalter **20** verhindern demnach eine Verzerrung des magnetischen Feldes an den äußeren Stirnflächen des untersten bzw. obersten Permanentmagneten **18a** bis **18d** des Stapels und ermöglichen somit eine gleichmäßige Magnetisierung insbesondere auch bei den äußeren Magneten des Magnetstapels.

**[0064]** Fig. 3 zeigt ein Diagramm der magnetischen Flussdichte  $B$  aufgetragen über die Höhe des Magnetstapels in Millimeter.

**[0065]** Man erkennt, dass die magnetische Flussdichte  $B$  entlang der Höhe des Magnetstapels im Wesentlichen konstant bleibt, d. h. die magnetische Flussdichte  $B$  ist konstant über die axiale Länge der Magnete **18a** bis **18d** und variiert nicht mehr in axialer Richtung, wie es in Fig. 6 der Fall ist.

**[0066]** Das bedeutet, dass bei einer Verwendung der Rotormagneten zur Erzeugung einer axialen Vorspannung die durch den Magneten erzeugte axiale Kraft im Wesentlichen gleichbleibend ist, und zwar unabhängig von der Einbaulage des Magneten und der Auswahl des Magneten aus dem Magnetstapel.

**[0067]** Somit kann für die magnetische Vorspannung eine engere Toleranz vorgegeben werden, da die magnetische Flussdichte  $B$  der Magnete keinen großen Schwankungen mehr unterworfen ist, wie dies beispielsweise in Fig. 6 bei den Magneten **18a** bis **18d** noch der Fall war.

**[0068]** Erfindungsgemäß könnten auch Rotormagnete als Abstandhalter verwendet werden. Da die Magnete im Spindelmotoren-Bereich üblicherweise relativ porös und nicht sonderlich stabil sind, da sie aus Magnetpulver gefertigt werden, sind diese für die Handhabung in der Serienproduktion eher ungeeignet. Insbesondere könnten durch die Handhabung Magnetpulverpartikel generiert werden, die den Reiraum kontaminieren würden. Daher ist als Abstandhalter ein fester Werkstoff vorteilhaft, beispielsweise ein Metall oder eine Metalllegierung.

**[0069]** Beispielhafte Legierung einer geeigneten Aluminiumbronze sind CuAl10Ni5Fe4, CuAl11Ni16Fe5, CuAl10Fe3Mn2, CuAl8Fe3, CuAl18, CuAl18Fe3 und CuAl19Mn2. Die relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  kann bei diesen Werkstoffen gut durch

das Herstellungsverfahren beeinflusst werden, beispielsweise durch die Veränderung einer Nachglüh-temperatur.

**[0070]** Aluminiumbronzen sind sehr stabile und gegen Umwelteinflüsse resistente Werkstoffe, weshalb Sie sich auch hervorragend für den Einsatz in einer Serienproduktion eignen. Üblicherweise habe sie ein Elastizitätsmodul im Bereich von 50.000 bis 150.000 N/mm<sup>2</sup>, eine Zugfestigkeit  $R_m$  im Bereich von  $300 \text{ N/mm}^2 \leq R_m \leq 700 \text{ N/mm}^2$ , eine 0,2-%-Dehngrenze  $R_e$  im Bereich von  $200 \text{ N/mm}^2 \leq R_e \leq 600 \text{ N/mm}^2$  und eine Härte nach Brinell HB30 im Bereich von  $100 \leq \text{HB30} \leq 600$ .

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Magnetisierspule
<b>12</b>	Spulengehäuse
<b>14</b>	Sockel
<b>16</b>	Abstandhalter
<b>18a, 18b, 18c, 18d</b>	Magnete
<b>20</b>	Abstandhalter

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102007051601 B3 [0004]
- AT 512202 A1 [0004, 0053]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Magnetisieren von ringförmigen Magneten mittels einer Magnetisierspule (10) mit einem zylindrischen Spulengehäuse (12), **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein ringförmiger Magnet (18a, 18b, 18c, 18d) in das zylindrische Spulengehäuse (12) eingebracht wird, wobei der mindestens eine Magnet (18a, 18b, 18c, 18d) zwischen ringförmigen Abstandhaltern (20) aus magnetisierbarem Material angeordnet wird, und in dieser Anordnung die Magnetisierung des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) durch das Bestromen der Magnetisierspule (10) durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, deren relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  sich unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m um maximal 30% von der relativen magnetischen Permeabilität  $\mu_r$  des Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) unter diesen Bedingungen unterscheidet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die aus einem Werkstoff bestehen, der unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  im Bereich  $1 < \mu_r \leq 10$  aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die aus einem Werkstoff bestehen, der unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  im Bereich  $1,1 \leq \mu_r \leq 2,0$  aufweist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hauptbestandteile des Werkstoffs für die Abstandhalter (20) paramagnetische Bestandteile sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Werkstoff für die Abstandhalter (20) eine Legierung auf Kupferbasis, ein Edelstahl oder ein U-Boot-Stahl ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hauptbestandteil des Werkstoffs für die Abstandhalter (20) Messing, Bronze, Al-Mn-Bronze (Aluminium-Mangan-Bronze), Al-Ni-Bronze (Aluminium-Nickel-Bronze), Mn-Bronze (Manganbronze), eine Cu-Ni-Legierung (Kupfer-Nickel-Legierung), einer der austenitischen Edelstähle AISI 303 (X8CrNiS18-9) und AISI 304 (X5CrNi18-10), AISI 316 (X5CrNiMo17-12-2) und AISI 347 (X6CrNiNb18-10), der martensitische

Edelstahl AISI 440B (X90CrM0V18), oder einer der U-Boot-Stähle Hadfield-Stahl (Mangalloy) und Cromanal, ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) aus einem ferromagnetischen Werkstoff verwendet werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die aus demselben Material bestehen, wie der mindestens eine Magnet (18a, 18b, 18c, 18d).

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die den Abmessungen des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) entsprechen.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, deren axiale Höhe sich von der axialen Höhe des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) unterscheidet.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zur Magnetisierung von Rotormagneten (18a, 18b, 18c, 18d) einer elektrischen Maschine.

13. Vorrichtung zum Magnetisieren von ringförmigen Magneten, mit einer Magnetisierspule (10), die ein zylindrisches Spulengehäuse (12) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf dem zylindrischen Spulengehäuse (12) zwei ringförmige Abstandhalter (20) aus magnetisierbarem Material vorgesehen sind, zwischen denen der mindestens eine ringförmige Magnet (18a, 18b, 18c, 18d) angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, deren relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  sich unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2, \times 10^6$  A/m um maximal 30% von der magnetischen Permeabilität des Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) unter diesen Bedingungen unterscheidet.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die aus einem Werkstoff bestehen, der unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  im Bereich  $1 < \mu_r \leq 10$  aufweist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abstandhalter (20) verwendet werden, die aus einem Werkstoff be-

stehen, der unter Laborbedingungen in einem externen magnetischen Feld mit einer Feldstärke von  $2,5 \times 10^6$  A/m eine relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$  im Bereich  $1,1 < \mu_r \leq 2$  aufweist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Werkstoff für die Abstandhalter (20) überwiegend paramagnetische Bestandteile aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hauptbestandteil des Werkstoffs für die Abstandhalter (20) Bronze, Aluminiumbronze, Kupfer, Messing, U-Boot-Stahl oder ein Edelstahl ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hauptbestandteil des Werkstoffs für die Abstandhalter (20) ein austenitischer Edelstahl ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aluminiumbronze zwischen 4% und 20% Aluminium (Al) enthält.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aluminiumbronze zwischen 1% und 10% Eisen (Fe), und/oder zwischen 1% und 15% Nickel (Ni) enthält.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Werkstoff für die Abstandhalter (20) zwischen 1% bis 15% eines ferromagnetischen Elements umfasst.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandhalter (20) aus einem ferromagnetischen Werkstoff bestehen.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandhalter (20) aus demselben Material bestehen, wie der mindestens eine Magnet (18a, 18b, 18c, 18d).

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandhalter (10) den Abmessungen des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) entsprechen.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die axiale Höhe der Abstandhalter (20) sich von der axialen Höhe des mindestens einen Magneten (18a, 18b, 18c, 18d) unterscheidet.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 26, zur Magnetisierung von Rotormagneten (18a, 18b, 18c, 18d) für elektrische Maschinen.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

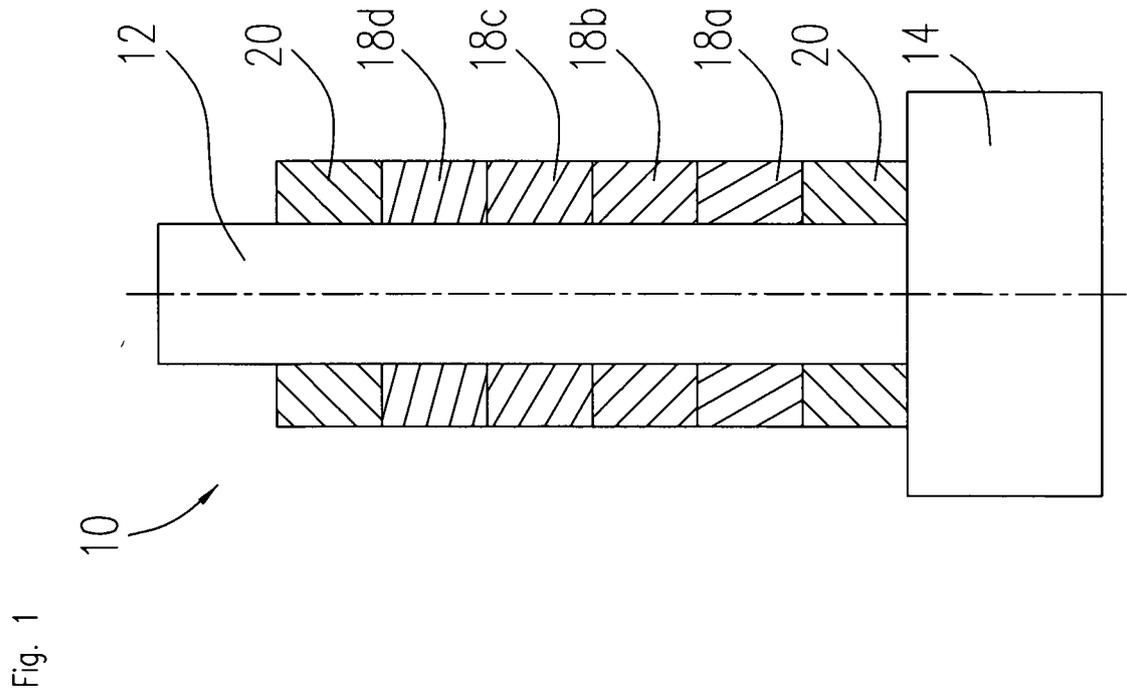
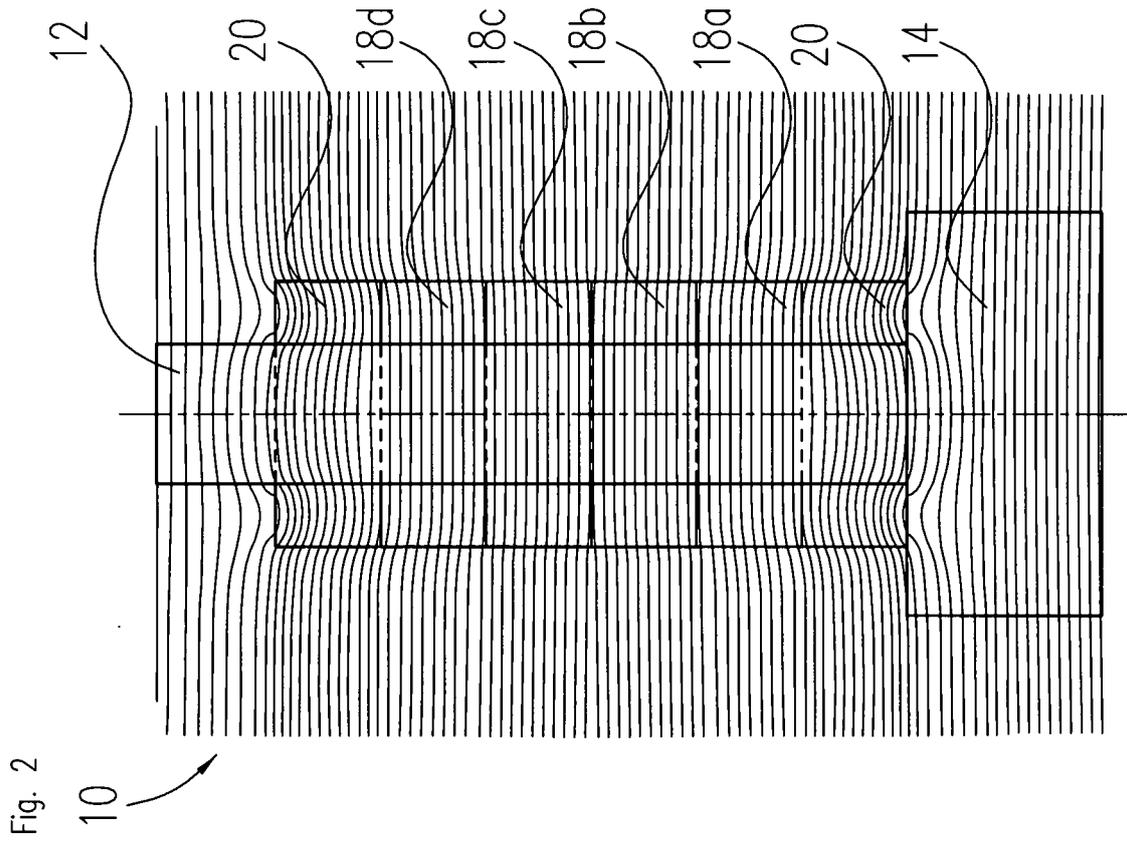
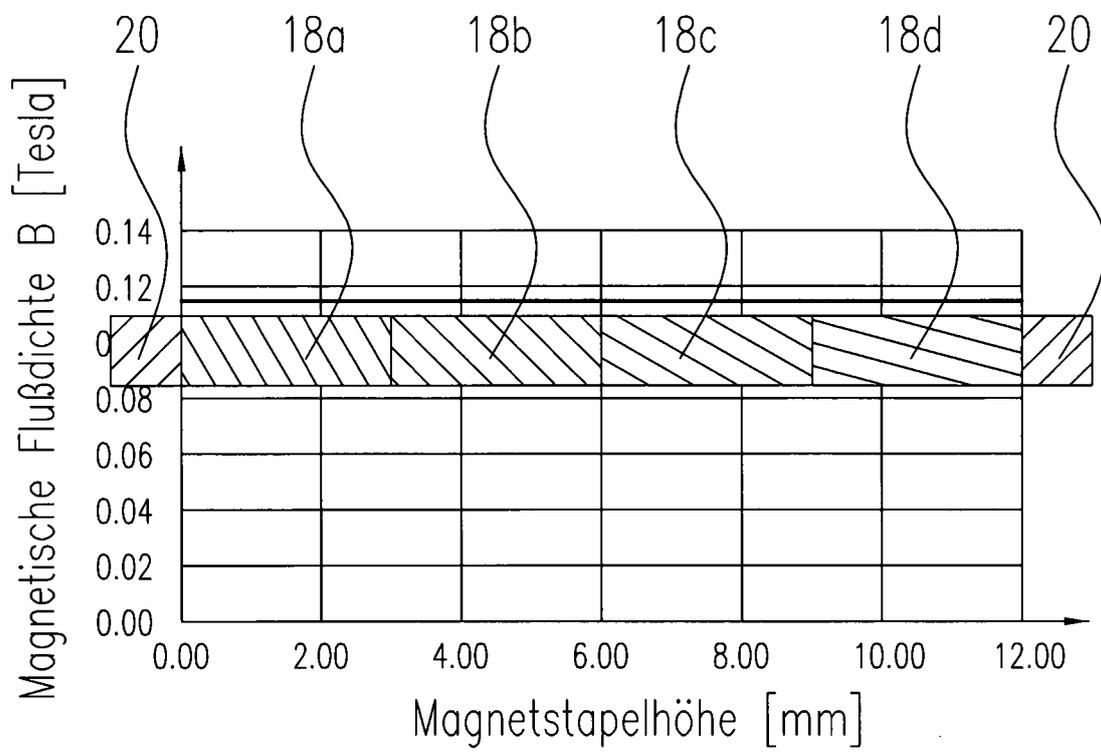


Fig. 3



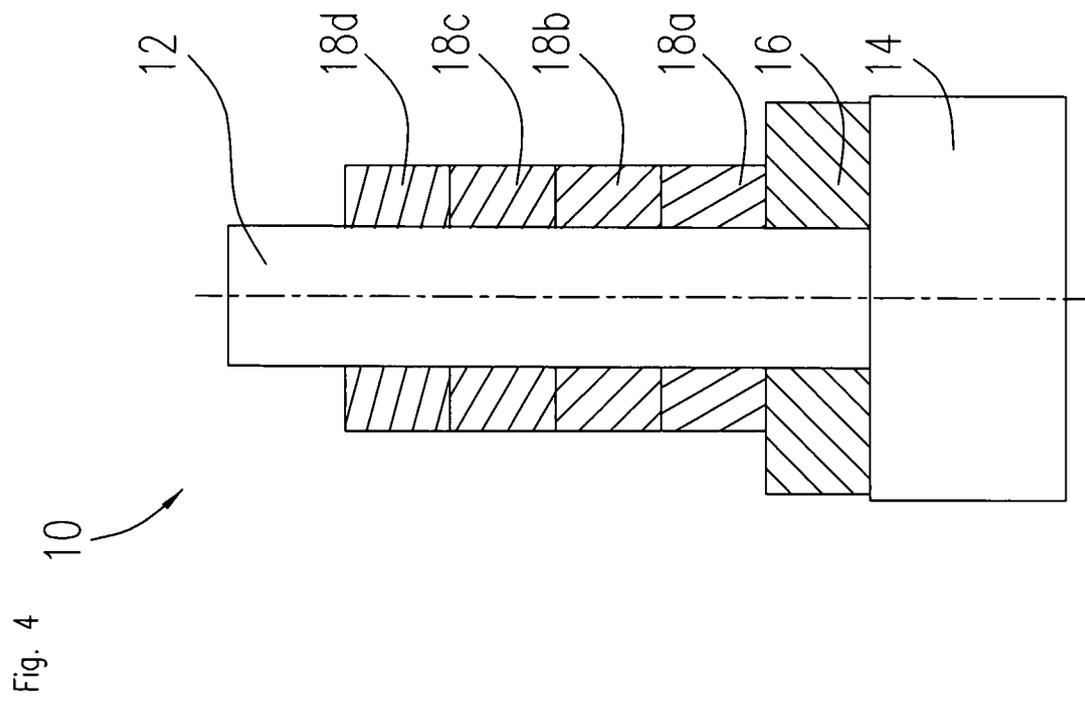
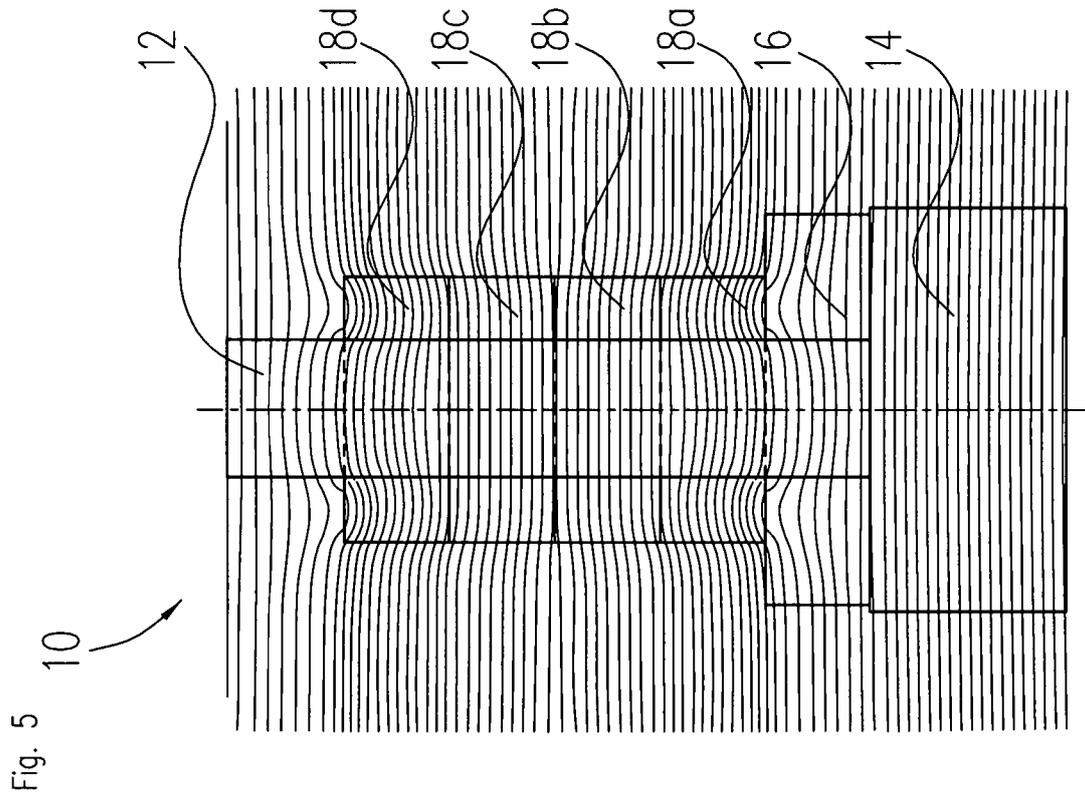


Fig. 6

