



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**16.08.2023 Patentblatt 2023/33**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H01F 1/057<sup>(2006.01)</sup> H01F 41/02<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **22155955.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H01F 1/0577; H01F 41/0293**

(22) Anmeldetag: **09.02.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
 Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder:  
 • **Rieger, Gotthard**  
**80636 München (DE)**  
 • **Vollmer, Rolf**  
**36129 Gersfeld (DE)**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**  
**Postfach 22 16 34**  
**80506 München (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MAGNETWERKSTOFFES UND MAGNETWERKSTOFF**

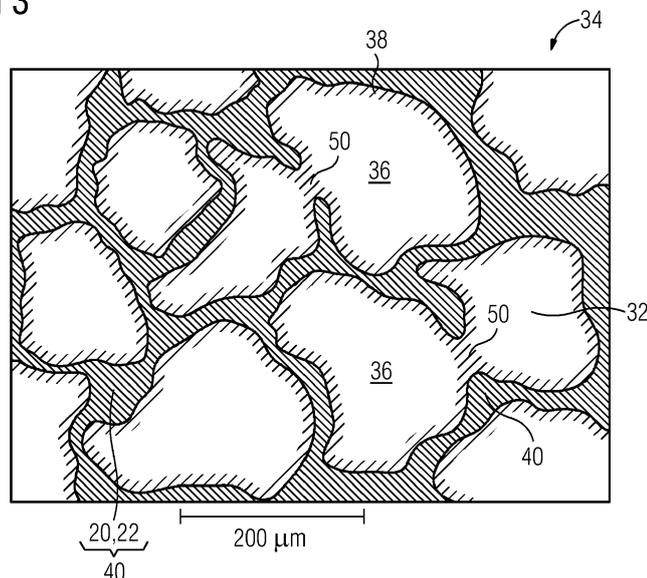
(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zu Herstellung eines Magnetwerkstoffes (2), umfassend folgende Schritte:

- Bereitstellen einer Mischung (4) eines Magnetpulvers (6) umfassend Eisen, Bor und ein erstes Lanthanoid (8), und ein Bindemittel (10),
- Formgebung der Mischung (4) zu einem Vorkörper (12),
- Durchführen eines Entbinderungsschrittes (14) zur Entfernung des Bindemittels (10) unter Ausbildung eines offenporigen Vorkörpers (16)
- Bereitstellen einer zweiten Mischung (18) aus einem zweiten Lanthanoiden (20) und einem Salz (22) das ei-

nen elektrischen Leitwert von weniger als  $10^{-1}$  S/m aufweist,

- Lösen dieser zweiten Mischung (18) in einem Lösungsmittel (24) zu einer Lösung (26) und
- Infiltration des offenporigen Vorkörpers (16) mit der Lösung (26),
- Entfernung des Lösungsmittels (24) und
- Wärmebehandlung (28) des infiltrierten Vorkörpers (30) auf einem Temperaturniveau, dass zu einer Diffusion des zweiten Lanthanoiden (20) und des Salzes (22) in einem Grenzbereich zwischen Körner (32) des Magnetpulvers (6) führt.

FIG 3



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes nach Patentanspruch 1 sowie einen Magnetwerkstoff nach Patentanspruch 10.

**[0002]** Metallische Hochleistungsmagnete weisen bei Anwendung mit hohen Frequenzen auch hohe magnetische Verluste auf. Hierzu existieren im Stand der Technik verschiedene Lösungsansätze. Es ist bekannt, dass ein geringerer elektrischer Leitwert des Magnetwerkstoffes die genannten Wirbelstromverluste reduzieren kann. Daher werden vielfach kunststoffgebundene Magnete, die einen metallisch-magnetisch wirkenden Anteil haben, hergestellt. Diese Magnete weisen gute dauermagnetische Eigenschaften auf, zeigen sich jedoch bei höheren Betriebstemperaturen aufgrund ihrer Kunststoffbindung als ungeeignet. Insbesondere Temperaturen über 100 °C führen bereits dazu, dass derartige Magnetwerkstoffe nur noch bedingt einsetzbar sind und ihre magnetischen Eigenschaften nicht entsprechend ausspielen können.

**[0003]** Bei rein metallischen bzw. metallreichen Dauermagneten, beispielsweise auf der Basis von Neodym, Eisen und Bor, werden auch Materialien im sogenannten Flüssigphasensintern hergestellt. Hierbei wird eine neodymreiche Schicht um Eisenbohrkörner herum erzeugt, die bei einem Flüssiginterprozess ausgebildet wird. Hierfür wird eine sehr feine Mikrostruktur der Eisenbohrkörner benötigt, die in der Regel weniger als 20 µm beträgt. Der Flüssigphasensinterprozess ist aufwendig und schwer zu regulieren. Die so erzielten Ergebnisse führen jedoch nicht zu den gewünschten guten dauermagnetischen Eigenschaften. Insbesondere ist bei derartig hergestellten Magnetwerkstoffen der elektrische Leitwert zu hoch, sodass wieder die beschriebenen Wirbelstromverluste auftreten.

**[0004]** Um dies zu verhindern, wird im Stand der Technik ein derartiger Werkstoff beispielsweise auf Basis von Eisen, Bor und Neodym durch Zersägen segmentiert und unter Verwendung eines Polymerbinders wieder zu einem Laminat zusammengesetzt. Derartige Laminatwerkstoffe weisen zwar gute dauermagnetische Eigenschaften auf, sie sind jedoch, wie bereits erwähnt, aufgrund der Polymerbindung (hier im Laminat und nicht in der Mikrostruktur) bereits bei Temperaturen unter 100 °C nicht mehr gut für den Einsatz in hochbelasteten elektrischen Maschinen geeignet.

**[0005]** Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes sowie einen Magnetwerkstoff bereitzustellen, die gegenüber dem Stand der Technik eine höhere Temperaturbeständigkeit aufweisen und dabei auch bessere dauermagnetische Eigenschaften mit sich bringen.

**[0006]** Die Lösung der Aufgabe besteht in einem Verfahren zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie in einem gesinterten, polymerfreien Magnetwerkstoff mit den Merkmalen des Patentanspruches 10.

**[0007]** Das entsprechende Verfahren gemäß Patentanspruch 1 zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes umfasst folgende Schritte:

- 5 - Bereitstellen einer Mischung eines Magnetpulvers, die Eisen und Bor sowie ein erstes Lanthanoid und ein Bindemittel umfasst.
- Durchführen eines Entbinderungsschrittes zur Entfernung des Bindemittels unter Ausbildung eines offenporigen Formkörpers.
- 10 - Bereitstellen einer zweiten Mischung aus einem zweiten Lanthanoid und einem Salz, das einen elektrischen Leitwert von weniger als 10<sup>-1</sup> S/m aufweist.
- Lösen dieser zweiten Mischung in einem Lösungsmittel zu einer Lösung und
- 15

**[0008]** Infiltration des offenporigen Vorkörpers mit der Lösung.

- 20 - Entfernung des Lösungsmittels und Wärmbehandlung des infiltrierten Vorkörpers auf einem Temperaturniveau, das zu einer Diffusion des zweiten Lanthanoiden und des Salzes in einem Grenzbereich zwischen Körnern des Magnetpulvers führt.
- 25

**[0009]** Unter Infiltration wird hierbei das Einbringen eines Fluids in ein offenporiges System verstanden. Das Fluid einschließlich des Lösungsmittels kann dabei gasförmig sein, wobei es zu einer Kondensation des einzubringenden Stoffes an den Porenwänden kommt und diese dort abscheiden. Bevorzugt erfolgt jedoch die Infiltration von flüssigen Medien, die auf Basis von Kapillareffekten und Kapillarkräften getrieben ist. Hierbei ist auch das Lösungsmittel flüssig.

- 30 **[0010]** Gegenüber dem Stand der Technik führt das beschriebene Verfahren zu einem Magnetwerkstoff, der ausgesprochen hohe dauermagnetische Eigenschaften aufweist und dabei eine hohe Temperaturbeständigkeit von deutlich mehr als 100 °C zeigt. Die Verwendung eines zweiten Lanthanoiden, das in den Grenzbereichen zwischen den bereits bestehenden Körnern, die bereits eine Eisen-Bor-Legierung sowie ein darin enthaltenes Lanthanoid aufweisen, bewirkt noch einmal eine deutliche Erhöhung der dauermagnetischen Eigenschaften gegenüber reinen Eisen-Bor-Lanthanoid-Werkstoffen.
- 35 Ferner bewirkt das ebenfalls mit dem zweiten Lanthanoid in die Poren des porösen Vorkörpers infiltrierte Salz eine Verringerung des elektrischen Leitwertes gegenüber einem rein metallischen Dauermagneten auf Basis von Eisen, Bor und Lanthanoid, beispielsweise auch Eisen, Bor und Neodym. Dadurch werden ohmsche Wirbelstromverluste bei hohen Frequenzen im Magnetwerkstoff reduziert, weshalb der Werkstoff bei höheren Frequenzen
- 40 auch bessere magnetische Eigenschaften aufweist. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einerseits das zweite Lanthanoid die magnetischen Eigenschaften erhöht und dass mit dem zweiten Lanthanoid einge-
- 45
- 50
- 55

brachtes Salz den elektrischen Leitwert verringert, um dabei eine hohe Frequenzbeständigkeit zu schaffen.

**[0011]** Dabei ist das erste Lanthanoid in einer bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung Neodym. Eisen-Bor-Neodym Dauermagnete haben grundsätzlich sehr gute dauermagnetische Eigenschaften. Das zweite Lanthanoid, das in dem porösen Vorkörper zusammen mit Salz infiltriert wird, hat dabei bevorzugt eine höhere Ordnungszahl als das erste Lanthanoid. Hierfür bieten sich, insbesondere im Gegensatz zu dem ersten Lanthanoid Neodym die Elemente Dysprosium und Terbium an. Dabei können auch Mischungen bzw. Legierungen dieser Elemente zweckmäßig sein.

**[0012]** Als beigefügtes Salz, das den elektrischen Leitwert des Magnetwerkstoffes reduziert, wird in vorteilhafter Weise ein Salz verwendet, das in der flüssigen Phase des zweiten Lanthanoids löslich ist und sich mit diesem verbindet. Daher ist z. B. das Oxid des Dysprosiums oder des Terbioms sehr gut geeignet. Grundsätzlich kann auch ein Fluorid als Salz geeignet sein, da sich Fluoride gut in der flüssigen Phase des zweiten Lanthanoids lösen lassen. Insbesondere sind die Salze Kalziumfluorid oder Neodymfluorid geeignet.

**[0013]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass aufgrund der beschriebenen Prozessschritte die Verwendung einer Korngrößenverteilung möglich ist, die zwischen 100 und 300 Mikrometer liegt. Hierunter fallen bevorzugt 80 % der in der Mikrostruktur des entstandenen Werkstoffes vorliegenden Körner des Magnetpulvers.

**[0014]** Die Korngrößenverteilung erfolgt durch Siebanalyse. Die Analyse der Kornverteilung in der Mikrostruktur des Magnetwerkstoffes erfolgt durch eine Bildanalyse einer lichtmikroskopischen Aufnahme eines Schlibbildes des Magnetwerkstoffes. Die Bestimmung der Elementverteilung innerhalb der Körner erfolgt durch eine quantifizierte EDX Auswertung auf Basis einer Rasterelektronenmikroskop Auswertung des Schlibbildes.

**[0015]** Ein weiterer Bestandteil der Erfindung ist ein gesinterter, polymerfreier Magnetwerkstoff mit den Merkmalen des Anspruches 10. Dieser weist eine Mikrostruktur auf, die zwischen 60 vol% und 80 vol% Lanthanoid-Eisen-Bor-Körner aufweist. Die Körner weisen dabei in ihrem Kern mindestens 80 at% Eisen und Bor auf. In ihrem Randbereich umfassen die Körner neben dem Eisen und Bor mehr als 50 at% eines ersten Lanthanoids, das dort in erhöhter Konzentration vorliegt. Der Magnetwerkstoff zeichnet sich dadurch aus, dass zwischen den Lanthanoid-FeB-Körnern eine Zwischenphase vorliegt, die zu mehr als 50 at% ein zweites Element aus der Reihe der Lanthanoiden, also ein zweites Lanthanoid aufweist, das eine höhere Ordnungszahl aufweist als das erste Lanthanoid, das in den Körnern vorliegt. Ferner weist diese Zwischenphase ein Salz auf, wobei der elektrische Leitwert des Magnetwerkstoffes weniger als 10 S/m beträgt.

**[0016]** Der beschriebene Magnetwerkstoff weist dieselben vorteilhaften Eigenschaften auf, die bereits be-

züglich des Verfahrens zur Herstellung dieses Magnetwerkstoffes beschrieben sind. Insbesondere die Einbringung des zweiten Lanthanoiden in die Zwischenphase, gemeinsam mit dem beschriebenen Salz, führen einerseits zur Erhöhung der dauermagnetischen Eigenschaften bei einer gleichzeitigen Reduktion des elektrischen Leitwertes durch das Salz.

**[0017]** Auch bezüglich des Dauermagneten an sich ist es zweckmäßig, als erstes Lanthanoidelement des Neodyms anzuwenden, das zusammen mit Eisen und Bor einen sehr guten Dauermagneten ergibt. Des Weiteren ist es zweckmäßig, als zweites Lanthanoid das Dysprosium oder das Terbium bzw. Legierungen hieraus anzuwenden, wodurch die magnetischen Eigenschaften noch einmal erhöht werden.

**[0018]** Auch das Oxid des Dysprosiums und des Terbioms, bzw. ein Fluorid des Kalziums oder des Dysprosiums, sind besonders gut geeignet, sich in dem zweiten Lanthanoid zu lösen und dort eine Reduktion des elektrischen Leitwertes zu bewirken.

**[0019]** Besonders bevorzugt zeichnet sich der Magnetwerkstoff durch eine geringe Porosität aus, wobei diese insbesondere weniger als 20 vol% beträgt. Die Porosität wird mittels Quecksilberporosimetrie gemessen.

**[0020]** Weitere vorteilhafte Merkmale und weitere Ausgestaltungsformen der Erfindung werden anhand der folgenden Figuren beschrieben. Dabei handelt es sich um rein schematische Darstellungen, die keine Einschränkung im Schutzbereich darstellen.

**[0021]** Dabei zeigen:

Figur 1 einen schematischen Ablauf des beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes

Figur 2 einen Querschnitt durch ein Korn eines Magnetpulvers und

Figur 3 eine schematische Darstellung der Mikrostruktur des Magnetwerkstoffes.

**[0022]** In Figur 1 ist rein schematisch das Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Magnetwerkstoffes 2, das am Ende der Prozesskette der Figur 1 abgebildet ist, dargestellt. Hierzu wird zunächst in einer beliebigen Mischvorrichtung 48 eine Mischung 4 bereitgestellt, die zum einen ein Magnetpulver 6 sowie ein Bindemittel 10 umfasst. Diese Mischung wird in einem Formgebungsprozess mit einer beliebigen Formgebungsvorrichtung 42, hier beispielsweise in Form einer uniaxialen Presse, dargestellt, zu einem porösen Vorkörper 12 geformt. Neben der bereits beschriebenen uniaxialen Pressmethode könnte auch ein isostatisches Pressen des Vorkörpers 12 oder ein Extrusionsverfahren angewendet werden.

**[0023]** Der so entstandene Vorkörper 12 weist somit das Bindemittel 10 und das Magnetpulver 6 auf, wobei in einem weiteren Schritt, einem Entbinderungsschritt 14, in einem Entbinderungssofen 44 bei erhöhter Tempe-

ratur, beispielsweise bei 220 °C, das Bindemittel 10 thermisch zersetzt wird und aus dem Vorkörper 12 austritt. Diesen Prozessschritt bezeichnet man als Entbindern.

**[0024]** Nach dem Entbindern ist der ehemals im Wesentlichen dichte Vorkörper 12 zu einem porösen Vorkörper 16 geworden, da das vormals enthaltene Bindemittel 10 sich thermisch bzw. chemisch zersetzt hat und aus dem Vorkörper 12 ausgetreten ist. Der poröse Vorkörper 16 wird nun einem Infiltrationsschritt zugeführt. Hierbei wird zunächst eine zweite Mischung 18 bereitgestellt, die ein zweites Lanthanoid 20 sowie ein Salz 22 umfasst, die zusammen in ein Lösungsmittel 24 gegeben werden, woraus eine Lösung 26 entsteht. Die Lösung 26 wird über Kapillarkräfte in den porösen Vorkörper 16 infiltriert.

**[0025]** Der Begriff Infiltration ist dabei weitläufig zu verstehen. Grundsätzlich handelt es sich bei der Beschreibung unter Anwendung eines Lösungsmittels um eine beispielhafte, vorteilhafte Ausgestaltungsform. Grundsätzlich könnte auch das Lanthanoid auf eine entsprechende Schmelztemperatur gebracht werden, darin das Salz 22 gelöst werden und bei einem Hochtemperaturprozess eine Infiltration des offenporigen Vorkörpers 16 mit der zweiten Mischung in flüssiger Phase durchgeführt werden. Des Weiteren ist es auch möglich, die zweite Mischung 18 und das Lösungsmittel 24 in der Art zu wählen, dass die Lösung 26 in gasförmiger Form vorliegt und eine Infiltration in Form einer Gasphasenabscheidung, beispielsweise in Form einer chemical vapor deposition (CVD oder CVI), erfolgt.

**[0026]** Nach der Infiltration wird von einem infiltrierten Vorkörper 30 gesprochen, der in einem weiteren Prozessschritt, einer Wärmebehandlung 28 in einem Wärmebehandlungsöfen 46 bei einer Sintertemperatur zum Magnetwerkstoff 2 gesintert wird. Bei der Wärmebehandlung 28 handelt es sich dabei bevorzugt um einen diffusionsgesteuerten Sinter-Prozess, bei dem bevorzugt keine flüssige Phase in der Mikrostruktur eines Sinterkörpers 52 (Übergangszustand zwischen infiltrierter Vorkörper 30 und Magnetwerkstoff 2) während des Prozesses vorliegt. Beispielsweise liegen bei Temperaturen von ca. 1000 °C, bevorzugt in einem Bereich zwischen 800 °C und 1200 °C, je nach verwendeten Komponenten für den Magnetwerkstoff 2, im Sinterkörper 52 Aggregatzustände vor, die zwar flüssige Phasenanteile aufweisen, wobei jedoch bei dem Austausch von Materialien zwischen Körnern 32 Diffusionsprozesse dominieren. Durch derartige diffusionsgesteuerte Prozesse kann eine Mikrostruktur 34, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, erzielt werden.

**[0027]** In Figur 3 ist zunächst ein typisches Magnetkorn 32 des Magnetpulvers 6 dargestellt, das in einem inneren Bereich eine Eisen-Bor-(FeB)-Phase 36 aufweist. In einem Randbereich 38 des Kornes 32 liegt eine Phase vor, die sehr stark mit einem ersten Lanthanoid, insbesondere dem Neodym, angereichert ist. Bevorzugt weist der atomare Anteil des Neodyms in dem Randbereich 38 mehr als 50 % auf. Gleichzeitig können auch im Randbereich 38 Eisen-Bor-Atome vorliegen. Es hat sich her-

ausgestellt, dass ein derartig gestaltetes Magnetpulver 6 mit den magnetischen Körnern 32 und dem beschriebenen lanthanoidreichen Randbereich 38 einen Magnetwerkstoff 2 hervorbringen kann, der sehr gute dauermagnetische Eigenschaften aufweist. Derartige Körner weisen üblicherweise einen Korndurchmesser auf, der zwischen 100 µm und 300 µm (bevorzugt bei 200 µm) liegt, wobei sie dabei bevorzugt eine hier nicht graphisch dargestellte Korn-Substruktur im Größenbereich 5 µm und 15 µm aufweisen, die zu den guten dauermagnetischen bzw. hartmagnetischen Eigenschaften beitragen.

**[0028]** Diese guten dauermagnetischen Eigenschaften werden durch eine Mikrostruktur, die in Figur 3 schematisch veranschaulicht ist, noch verstärkt. Diese Mikrostruktur 34 gemäß Figur 3 ist ein Resultat des beschriebenen Herstellungsverfahrens, insbesondere durch die Infiltration eines porösen Vorkörpers 16 mit einem zweiten Lanthanoid und einem Salz 22 sowie dem anschließenden diffusionsgesteuerten Sinterprozess 28.

**[0029]** Die in Figur 3 dargestellte Mikrostruktur 34 zeichnet sich insbesondere durch die bereits in Figur 2 beschriebenen Körner 32 aus, die einen Eisen-Borkern aufweisen und von einem neodymreichen Randbereich 38 umgeben sind. Gelegentlich sind die Körner 32 auch durch die Ausbildung von Sinterhalsen 50 miteinander verbunden. Zum großen Teil liegt jedoch zwischen den Körnern 32 eine Zwischenphase 40 vor, die zum einen das zweite Lanthanoid 20 sowie das Salz 22 umfasst. Das zweite Lanthanoid 20, beispielsweise Dysprosium oder Terbium, mit einem Salz 22 des Dysprosiums oder des Terbiums oder einem Kalziumfluorid, dominiert die Zwischenphase 40. Durch den diffusionsgesteuerten Sinterprozess diffundieren jedoch auch Dysprosium- oder Terbiumatome in dem Randbereich 38 der Körner 32. Durch die Umschließung des Eisen-Bor-Kernes der Körner 32 durch Neodym und angereichert durch ein schwereres Lanthanoid mit einer höheren Ordnungszahl, wie das Dysprosium oder Terbium, werden die dauermagnetischen Eigenschaften des Eisen-Bor noch verstärkt. Die Porosität der Mikrostruktur 34 bzw. des Magnetwerkstoffes 2 ist sehr gering, sie liegt bevorzugt unter 20 vol%, besonders bevorzugt unter 10 vol%. Eine derart niedrige Porosität ist insbesondere durch den beschriebenen Sinterprozess zu erzielen.

**[0030]** Im Gegensatz zum Stand der Technik erweist sich die beschriebene Mikrostruktur 34 als eine typische Mikrostruktur, die durch einen diffusionsgesteuerten Prozess erzielt wird. Würde bei der Herstellung bzw. bei dem Sinterprozess die flüssige Phase dominieren, wie es im Stand der Technik häufig angewendet wird, so würde die Mikrostruktur von Schmelzphasen dominiert werden. Hier liegt jedoch das ursprüngliche Korn 32 nur in leicht modifizierter Form mit einem höheren Anreicherungsgrad von Lanthanoiden im Randbereich 38 vor.

**[0031]** Ferner ist es bei dem beschriebenen Werkstoff 2 und der Mikrostruktur 34 zweckmäßig, dass die verwendeten Körner 32 einen höheren Durchmesser aufweisen als dies im Stand der Technik üblich ist. Körner

32 weisen einen Durchmesser zwischen 100 und 300 Mikrometer, bevorzugt zwischen 150 und 250 Mikrometern auf. Sie sind in der gemäß Figur 2 vorteilhaften Form mit Kernbereich 36 und Randbereich 38 besser herstellbar. Ein derartig ausgestaltetes Korn 32 führt in der Mikrostruktur 34 bzw. im Magnetwerkstoff 2 zu besseren dauermagnetischen Eigenschaften. Üblicherweise müssen bei Flüssigphasensinterprozessen Körner verwendet werden, die unter 20 Mikrometer groß sind. Derartig kleine Körner, die hier nicht dargestellt sind, führen zu schlechteren magnetischen Eigenschaften. Gute hartmagnetische Magnetwerkstoffe 2, die durch das beschriebene Verfahren hergestellt wurden oder eine Mikrostruktur gemäß Figur 3 aufweisen, umfassen im Beispiel A eine Remanenz  $B_r$  von 1,1 T und eine Koerzitivfeldstärke  $H_c$  von ca. 2600 kA/m und ein Energieprodukt  $(B \times H)_{\max}$  von 225 kJ/m<sup>3</sup> und im Beispiel B eine Remanenz  $B_r$  von 1,5 T und eine Koerzitivfeldstärke  $H_c$  von ca. 1400 kA/m und ein Energieprodukt  $(B \times H)_{\max}$  von 410 kJ/m<sup>3</sup>.

#### Bezugszeichenliste

#### [0032]

2	Magnetwerkstoff
4	Mischung
6	Magnetpulver
8	erstes Lanthanoid
10	Bindemittel
12	Vorkörper
14	Entbinderungsschritt
16	offenporige Vorkörper
18	zweite Mischung
20	zweites Lanthanoid
22	Salz
24	Lösungsmittel
26	Lösung
28	Wärmebehandlung
30	infiltrierte Vorkörper
32	Körniges Magnetpulver
34	Mikrostruktur
36	Eisen-Bor Phase
38	Randbereich
40	Zwischenphase
42	Formgebungsvorrichtung
44	Entbinderungs-ofen
46	Wärmebehandlungsofen
48	Mischvorrichtung
50	Sinterhölse

#### Patentansprüche

1. Verfahren zu Herstellung eines Magnetwerkstoffs (2), umfassend folgende Schritte:

- Bereitstellen einer Mischung (4) eines Magnet-

pulvers (6) umfassend Eisen, Bor und ein erstes Lanthanoid (8), und ein Bindemittel (10),

- Formgebung der Mischung (4) zu einem Vorkörper (12),

- Durchföhren eines Entbinderungsschrittes (14) zur Entfernung des Bindemittels (10) unter Ausbildung eines offenporigen Vorkörpers (16)

- Bereitstellen einer zweiten Mischung (18) aus einem zweiten Lanthanoiden (20) und einem Salz (22) das einen elektrischen Leitwert von weniger als  $10^{-1}$  S/m aufweist,

- Lösen dieser zweiten Mischung (18) in einem Lösungsmittel (24) zu einer Lösung (26) und

- Infiltration des offenporigen Vorkörpers (16) mit der Lösung (26),

- Entfernung des Lösungsmittels (24) und

- Wärmebehandlung (28) des infiltrierten Vorkörpers (30) auf einem Temperaturniveau, dass zu einer Diffusion des zweiten Lanthanoiden (20) und des Salzes (22) in einem Grenzbereich zwischen Körner (32) des Magnetpulvers (6) führt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Lanthanoid (8) Neodym ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ordnungszahl des zweiten Lanthanoids (20) höher ist als die des ersten Lanthanoids.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Lanthanoid (20) Dysprosium oder Terbium oder eine Mischung daraus ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Salz (22) ein in der flüssigen Phase des zweiten Lanthanoids (20) lösliches Salz ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Salz (22) ein Oxid des Dysprosiums oder des Terbiums ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Salz (22) ein Fluorid ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Salz (22) ein Fluorid des Kalziums oder des Neodyms ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Magnetpulver (6) eine Korngrößenverteilung aufweist, die zu 80 % zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 300  $\mu\text{m}$  liegt.

10. Gesinterter, polymerfreier Magnetwerkstoff (2) mit

einer Mikrostruktur, die zwischen 60 vol% und 80 vol% Lanthanoid-FeB-Körner (32) aufweist, wobei die Körner (32) die in ihrem Kern eine zu mindestens 80 at% Eisen und Bor umfassende Phase (36) aufweisen und in ihrem Randbereich (38) neben Eisen und Bor mehr als 50 at% eines ersten Lanthanoiden (8) vorliegt, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den Lanthanoid-FeB-Körnern (32) eine Zwischenphase (40) vorliegt, die zu mehr als 50 at% ein zweites Element aus der Reihe der Lanthanoiden, ein zweites Lanthanoid (20) aufweist, das eine höhere Ordnungszahl aufweist als das erste Lanthanoid (8) der Körner (32) und die ein Salz (22) aufweist, wobei der elektrische Leitwert des Magnetwerkstoffes (2) weniger als 10 S/m beträgt.

5

10

15

11. Magnetwerkstoff nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lanthanoid-Element Neodym ist.

20

12. Magnetwerkstoff nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Lanthanoid (20) Dysprosium oder Terbium ist.

13. Magnetwerkstoff nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Salz (22) in der Zwischenphase (40) ein Oxid des Dysprosioms oder Terbioms oder ein Fluorid des Kalziums oder des Dysprosioms umfasst.

25

30

14. Magnetwerkstoff nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Porosität des Werkstoffes weniger als 10 vol% beträgt.

35

40

45

50

55

FIG 1

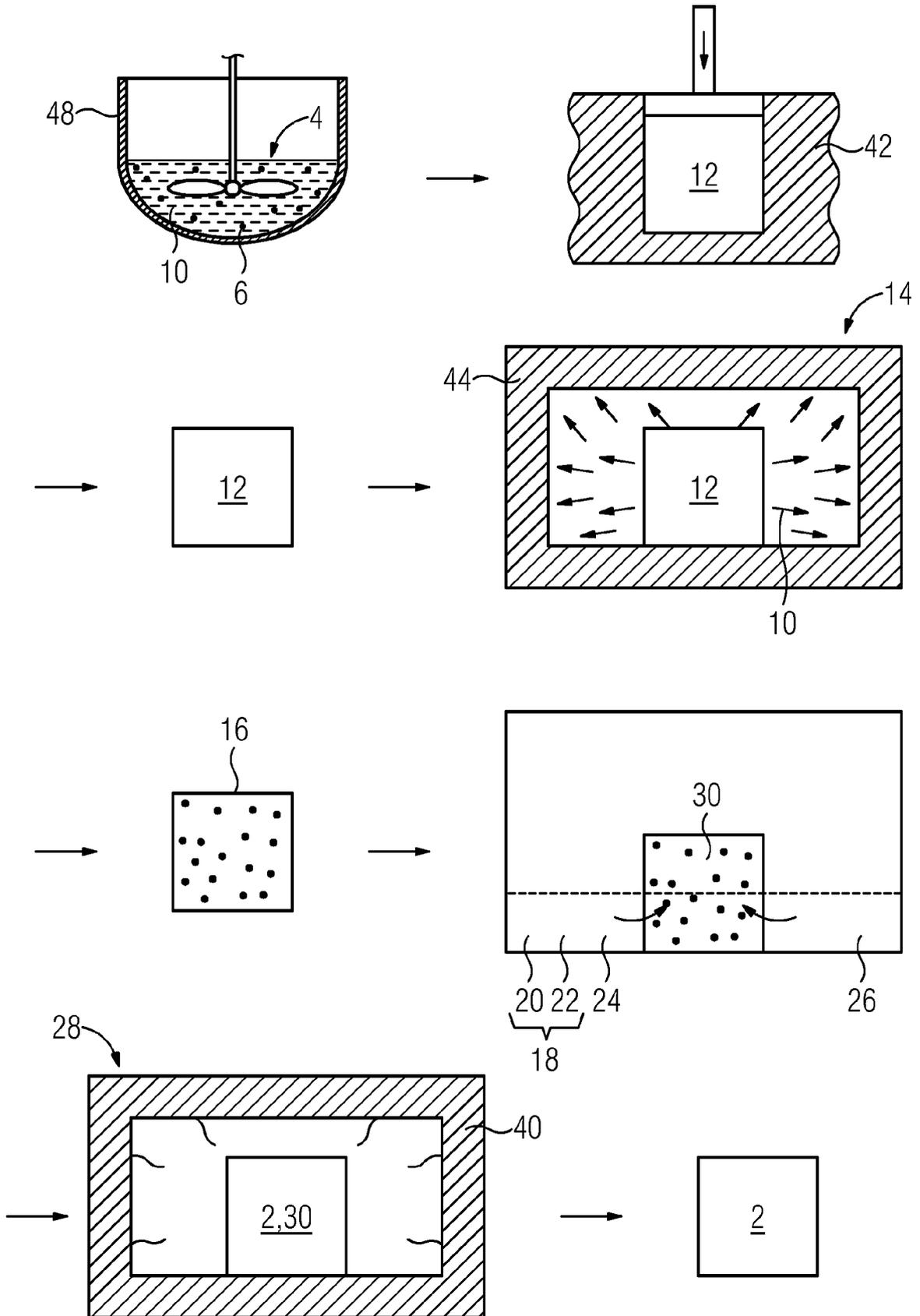


FIG 2

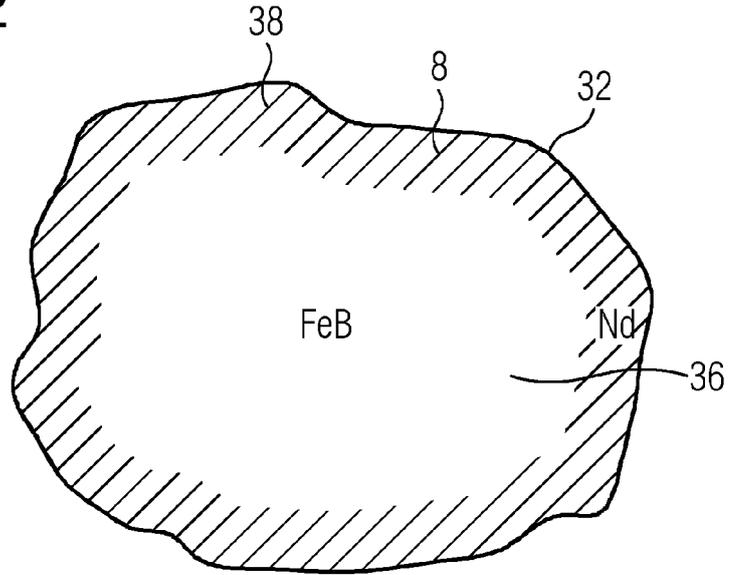
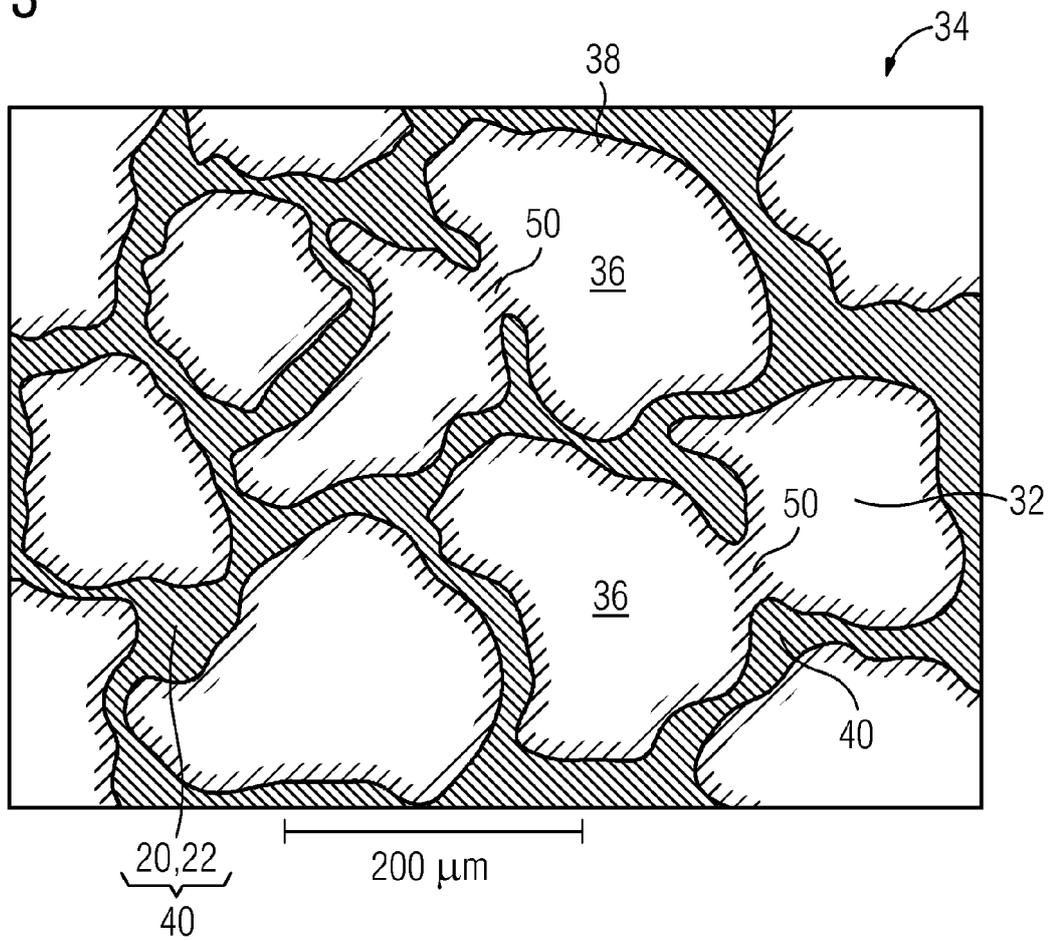


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 22 15 5955

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
E	DE 10 2020 211857 A1 (MIMPLUS TECH GMBH & CO KG [DE]) 24. März 2022 (2022-03-24) * Absatz [0014]; Ansprüche 1,2,3,5,7,9; Abbildung 2c *	1,2,5,7, 10,11	INV. H01F1/057 H01F41/02
X	EP 2 043 114 A1 (HITACHI METALS LTD [JP]) 1. April 2009 (2009-04-01) * Absatz [0142]; Ansprüche 1,10,17 *	1-14	
A	WO 2017/055170 A1 (OBE OHNMACHT & BAUMGÄRTNER GMBH & CO KG [DE]) 6. April 2017 (2017-04-06) * Seite 16, Zeile 15 - Seite 19, Zeile 22 *	1-14	
A	CN 105 976 959 A (ANHUI ONE MAGNET ELECTRONIC CO LTD) 28. September 2016 (2016-09-28) * Anspruch 3 *	1-14	
A	WO 2021/071236 A1 (LG CHEM LTD) 15. April 2021 (2021-04-15) * Beispiel 1 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>3. August 2022</b>	Prüfer <b>Primus, Jean-Louis</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 15 5955

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-08-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>DE 102020211857 A1</b>	<b>24-03-2022</b>	<b>DE 102020211857 A1</b>	<b>24-03-2022</b>
		<b>WO 2022063798 A1</b>	<b>31-03-2022</b>
-----			
<b>EP 2043114 A1</b>	<b>01-04-2009</b>	<b>CN 101379574 A</b>	<b>04-03-2009</b>
		<b>EP 2043114 A1</b>	<b>01-04-2009</b>
		<b>JP 4924615 B2</b>	<b>25-04-2012</b>
		<b>JP 5304907 B2</b>	<b>02-10-2013</b>
		<b>JP 2012099852 A</b>	<b>24-05-2012</b>
		<b>JP WO2008065903 A1</b>	<b>04-03-2010</b>
		<b>US 2009032147 A1</b>	<b>05-02-2009</b>
		<b>WO 2008065903 A1</b>	<b>05-06-2008</b>
-----			
<b>WO 2017055170 A1</b>	<b>06-04-2017</b>	<b>DE 112016004392 A5</b>	<b>21-06-2018</b>
		<b>EP 3357074 A1</b>	<b>08-08-2018</b>
		<b>WO 2017055170 A1</b>	<b>06-04-2017</b>
-----			
<b>CN 105976959 A</b>	<b>28-09-2016</b>	<b>KEINE</b>	
-----			
<b>WO 2021071236 A1</b>	<b>15-04-2021</b>	<b>CN 114223044 A</b>	<b>22-03-2022</b>
		<b>EP 4006931 A1</b>	<b>01-06-2022</b>
		<b>KR 20210041315 A</b>	<b>15-04-2021</b>
		<b>WO 2021071236 A1</b>	<b>15-04-2021</b>
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82