



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/080169**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 005 318.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/041055**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.11.2022**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.05.2023**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **29.08.2024**

(51) Int Cl.: **H01F 1/057 (2006.01)**

C22C 38/00 (2006.01)

B22F 3/00 (2021.01)

(30) Unionspriorität:
2021-181081 05.11.2021 JP

(71) Anmelder:
TDK Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,
80802 München, DE**

(72) Erfinder:
**Kawamura, Hiroki, Tokyo, JP; Kudo, Hikaru,
Tokyo, JP; Miwa, Masashi, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Permanentmagnet auf R-T-B-Basis**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf einen Permanentmagneten auf R-T-B-Basis, der Al, Ga und Zr enthält. Der R-Gehalt ist größer oder gleich 30,00 Masse-% und kleiner oder gleich 33,00 Masse-%, der B-Gehalt ist größer oder gleich 0,70 Masse-% und kleiner oder gleich 0,88 Masse-%, der Al-Gehalt ist größer als 0 Masse-% und kleiner oder gleich 0,07 Masse-%, der Ga-Gehalt ist größer oder gleich 0,40 Masse-% und kleiner oder gleich 1,00 Masse-%, und der Zr-Gehalt ist größer als 0,10 Masse-% und kleiner oder gleich 1,60 Masse-%.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft einen Permanentmagneten auf R-T-B-Basis.

Hintergrund

[0002] Patentdokument 1 beschreibt eine Erfindung, die sich auf einen gesinterten Magneten auf R-Fe-B-Basis bezieht, der eine hohe Koerzitivität (H_{cJ}) bei hohen Temperaturen aufweist, indem er eine spezifische Zusammensetzung und eine spezifische Mikrostruktur hat.

[0003] Patentdokument 2 beschreibt eine Erfindung in Bezug auf einen gesinterten Magneten auf R-(Fe,Co)-B-Basis mit hoher H_{cJ} bei Raumtemperatur und bei hohen Temperaturen durch eine spezifische Zusammensetzung und eine spezifische Mikrostruktur.

Patentdokument 1: JP-Patentanmeldung Offenlegungs-Nr. 2017-228771

Patentdokument 2: JP-Patentanmeldung Offenlegungs-Nr. 2018-82040

Zusammenfassung

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, einen Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bereitzustellen, der eine verbesserte Restflussdichte (Br) bei Raumtemperatur und ein verbessertes H_{cJ} bei hohen Temperaturen in ausgewogener Weise aufweist.

[0005] Um das obige Ziel zu erreichen, ist ein R-T-B-basierter Permanentmagnet gemäß der vorliegenden Offenbarung

ein Permanentmagnet auf R-T-B-Basis, der Al, Ga und Zr enthält und der einen R-Gehalt von 30,00 Masse-% oder mehr und 33,00 Masse-% oder weniger, einen B-Gehalt von 0,70 Masse-% oder mehr und 0,88 Masse-% oder weniger, einen Al-Gehalt von über 0 Masse-% und 0,07 Masse-% oder weniger, einem Ga-Gehalt von 0,40 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger, und einen Zr-Gehalt von über 0,10 Masse-% und 1,60 Masse-% oder weniger, von 100 Masse-% des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis, aufweist.

[0006] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann einen Co-Gehalt von 0,50 Masse-% oder mehr und 3,00 Masse-% oder weniger aufweisen.

[0007] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann einen Cu-Gehalt von 0,15 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger aufweisen.

[0008] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann einen C-Gehalt von 0,05 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger aufweisen.

[0009] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann einen Gehalt an schweren Seltenerdelementen von 0 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger aufweisen.

[0010] Der R-T-B-basierte Permanentmagnet kann $Br_L + (H_{cJ_H}/3) \geq 1580$ erfüllen, wobei Br_L (mT) eine Restflussdichte des R-T-B-basierten Permanentmagneten bei Raumtemperatur und H_{cJ_H} (kA/m) eine Koerzitivität des R-T-B-basierten Permanentmagneten bei 150°C bezeichnet.

Detaillierte Beschreibung

[0011] Nachfolgend wird die vorliegende Offenbarung anhand einer Ausführungsform beschrieben.

[0012] Ein Permanentmagnet auf R-T-B-Basis enthält Al, Ga und Zr. Von 100 Masse-% des R-T-B-basierten Permanentmagneten hat der R-T-B-basierte Permanentmagnet einen „R“-Gehalt von 30,00 Masse-% oder mehr und 33,00 Masse-% oder weniger, einen B-Gehalt von 0,70 Masse-% oder mehr und 0,88 Masse-% oder weniger, einen Al-Gehalt von über 0 Masse-% und 0,07 Masse-% oder weniger, einen Ga-Gehalt von

0,40 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger, und einen Zr-Gehalt von über 0,10 Masse-% und 1,60 Masse-% oder weniger.

[0013] Mit der obigen Zusammensetzung kann der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis ein verbessertes Br bei Raumtemperatur und ein verbessertes HcJ bei hohen Temperaturen in ausgewogener Weise aufweisen.

[0014] „R“ des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis steht für ein Seltenerdelement. „T“ des auf R-T-B basierenden Permanentmagneten steht für ein Element der Eisengruppe. „B“ des auf R-T-B basierenden Permanentmagneten steht für Bor. Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis ist ein Permanentmagnet, der mindestens ein Seltenerdelement, mindestens ein Eisengruppenelement und Bor enthält. Ein Eisengruppenelement ist ein allgemeiner Begriff für Fe, Co oder Ni. Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis enthält Hauptphasenkörner mit einer Kristallstruktur vom Typ $R_2T_{14}B$.

[0015] Was das mindestens eine Seltenerdelement betrifft, so beträgt der „R“-Gehalt, d.h. der Gehalt an Seltenerdelementen, 30,00 Masse-% oder mehr und 33,00 Masse-% oder weniger. Der Gehalt an Seltenerdelementen kann 30,00 Masse-% oder mehr und 32,00 Masse-% oder weniger betragen. Wenn der Gehalt an Seltenerdelementen 30,00 Masse-% oder mehr und 32,00 Masse-% oder weniger beträgt, wird Br bei Raumtemperatur einfacher verbessert als wenn der Gehalt an Seltenerdelementen 32,00 Masse-% überschreitet. Wenn der „R“-Gehalt zu niedrig ist, wird HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert. Wenn der „R“-Gehalt zu hoch ist, kommt es einfach zu abnormalem Kornwachstum, und Br bei Raumtemperatur wird einfach verringert. Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann im Wesentlichen nur mindestens ein Element aus der Gruppe bestehend aus Nd, Pr, Dy und Tb als mindestens ein Seltenerdelement enthalten oder kann im Wesentlichen nur mindestens ein Element aus der Gruppe bestehend aus Nd und Pr als mindestens ein Seltenerdelement enthalten. Die Formulierung „enthält im Wesentlichen nur mindestens ein Element aus der Gruppe bestehend aus Nd, Pr, Dy und Tb als mindestens ein Seltenerdelement“ bedeutet, dass der Gehalt an anderen Seltenerdelementen als Nd, Pr, Dy und Tb im Permanentmagneten auf R-T-B-Basis insgesamt 0,01 Masse-% oder weniger beträgt. Die Formulierung „enthält im Wesentlichen nur mindestens ein Seltenerdelement, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nd und Pr“ bedeutet, dass der Gehalt an anderen Seltenerdelementen als Nd und Pr im R-T-B-basierten Permanentmagneten insgesamt 0,01 Masse-% oder weniger beträgt.

[0016] Was das mindestens eine Seltenerdelement betrifft, so kann der Gehalt an schweren Seltenerdelementen 0 Masse-% oder mehr und 0,80 Masse-% oder weniger, 0 Masse-% oder mehr und 0,50 Masse-% oder weniger oder 0 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger betragen, um die Rohstoffkosten zu senken.

[0017] Unter den Seltenerdelementen werden Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und Lu als schwere Seltenerdelemente klassifiziert.

[0018] Was das mindestens eine Eisengruppenelement betrifft, so kann der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis unabdingbar Fe enthalten oder unabdingbar Fe und Co enthalten. Wenn der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis Fe und Co enthält, ist der Co-Gehalt nicht begrenzt. Im Hinblick auf die Verbesserung der magnetischen Eigenschaften und der Korrosionsbeständigkeit kann der Co-Gehalt jedoch 0,50 Masse-% oder mehr und 3,00 Masse-% oder weniger betragen, oder er kann 0,80 Masse-% oder mehr und 3,00 Masse-% oder weniger betragen. Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann im Wesentlichen kein Ni enthalten. Insbesondere kann der Ni-Gehalt weniger als 0,01 Masse-% betragen.

[0019] Der B-Gehalt beträgt 0,70 Masse-% oder mehr und 0,88 Masse-% oder weniger. Der B-Gehalt kann 0,70 Masse-% oder mehr und 0,83 Masse-% oder weniger betragen. Wenn der B-Gehalt zu niedrig ist, ist die Sinterung tendenziell unzureichend. Infolgedessen werden Br bei Raumtemperatur und HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert. Wenn der B-Gehalt zu hoch ist, wird HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert.

[0020] Der Al-Gehalt liegt über 0 Masse-% und beträgt 0,07 Masse-% oder weniger. Der Al-Gehalt kann 0,02 Masse-% oder mehr und 0,07 Masse-% oder weniger betragen. Wenn kein Al enthalten ist, wird HcJ bei hohen Temperaturen verringert. Wenn der Al-Gehalt zu hoch ist, wird Br bei Raumtemperatur verringert.

[0021] Der Ga-Gehalt beträgt 0,40 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger. Der Ga-Gehalt kann 0,40 Masse-% oder mehr und 0,80 Masse-% oder weniger betragen. Wenn der Ga-Gehalt 0,40 Masse-% oder mehr und 0,80 Masse-% oder weniger beträgt, wird Br bei Raumtemperatur einfacher verbessert, als

wenn der Ga-Gehalt 0,80 Masse-% übersteigt. Ist der Ga-Gehalt zu niedrig, wird HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert. Wenn der Ga-Gehalt zu hoch ist, wird Br bei Raumtemperatur einfach reduziert.

[0022] Der Zr-Gehalt liegt über 0,10 Masse-% und bei 1,60 Masse-% oder weniger. Der Zr-Gehalt kann 0,15 Masse-% oder mehr und 1,50 Masse-% oder weniger, 0,35 Masse-% oder mehr und 1,30 Masse-% oder weniger, oder 0,35 Masse-% oder mehr und 0,95 Masse-% oder weniger betragen. Wenn bei hohen Temperaturen Wert auf einen hohen HcJ-Gehalt gelegt wird, kann der Zr-Gehalt 0,50 Masse-% oder mehr und 1,50 Masse-% oder weniger betragen. Wenn der Zr-Gehalt zu niedrig ist, kommt es einfach zum Kornwachstum der magnetischen Körner im R-T-B-basierten Permanentmagneten. Infolgedessen wird HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert. Wenn der Zr-Gehalt zu hoch ist, ist die Sinterung tendenziell unzureichend. Infolgedessen werden Br bei Raumtemperatur und HcJ bei hohen Temperaturen einfach verringert.

[0023] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann je nach Bedarf Cu enthalten oder auch nicht enthalten. Wenn Cu enthalten ist, kann der Cu-Gehalt 0,15 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger betragen. Bei einem Cu-Gehalt von 0,15 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger werden Br bei Raumtemperatur und HcJ bei hohen Temperaturen in ausgewogener Weise einfach weiter verbessert.

[0024] Der Cu-Gehalt kann 0,15 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger betragen. Wenn der Cu-Gehalt 0,15 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger beträgt, wird HcJ bei hohen Temperaturen einfacher verbessert als wenn der Cu-Gehalt 0,30 Masse-% übersteigt.

[0025] Der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann je nach Bedarf O, N und/oder C enthalten oder auch nicht enthalten.

[0026] Wenn O enthalten ist, kann der O-Gehalt 0 Masse-% oder mehr und 0,20 Masse-% oder weniger betragen.

[0027] Wenn N enthalten ist, kann der N-Gehalt 0 Masse-% oder mehr und 0,10 Masse-% oder weniger betragen.

[0028] Wenn C enthalten ist, kann der C-Gehalt 0,05 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger oder 0,09 Masse-% oder mehr und 0,26 Masse-% oder weniger betragen. Mit einem C-Gehalt innerhalb des obigen Bereichs werden Br bei Raumtemperatur und HcJ bei hohen Temperaturen in ausgewogener Weise weiter verbessert.

[0029] „Von 100 Masse-% des R-T-B-basierten Permanentmagneten“ bedeutet, dass der Gesamtgehalt aller Elemente 100 Masse-% beträgt. Der Fe-Gehalt des R-T-B-basierten Permanentmagneten kann im Wesentlichen der Differenzbetrag des R-T-B-basierten Permanentmagneten sein. Insbesondere kann der Gesamtgehalt an anderen Elementen als den oben genannten Elementen, d.h. der Gesamtgehalt an anderen Elementen als Seltenerdeelementen, Fe, Co, Ni, B, Al, Ga, Zr, Cu, O, N und C, 0,50 Massen-% oder weniger betragen.

<Verfahren zur Herstellung eines Permanentmagneten auf R-T-B-Basis>

[0030] Nachfolgend wird ein Beispielfahrer zur Herstellung des R-T-B-basierten Permanentmagneten gemäß der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. Das Verfahren zur Herstellung des R-T-B-basierten Permanentmagneten (R-T-B-basierter gesinteter Magnet) gemäß der vorliegenden Ausführungsform umfasst die folgenden Schritte. Die nachstehend genannten Schritte (g) bis (i) können weggelassen werden.

- (a) einen Legierungsherstellungsschritt zur Herstellung einer Rohmateriallegierung
- (b) einen Mahlschritt zum Mahlen der Rohmateriallegierung
- (c) einen Pressschritt zum Pressen eines resultierenden Legierungspulvers
- (d) einen Sinterschritt, bei dem ein resultierender Grünling gesintert wird, um den Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bereitzustellen
- (e) einen Alterungsbehandlungsschritt, bei dem der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis einer Alterungsbehandlung unterzogen wird
- (f) einen Abkühlungsschritt zum Abkühlen des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis
- (g) einen Bearbeitungsschritt zum Bearbeiten des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis

(h) einen Korngrenzen-Diffusionsschritt des Diffundierens eines schweren Seltenerdelements oder schwerer Seltenerdelemente zu den Korngrenzen des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis

(i) einen Oberflächenbehandlungsschritt zur Oberflächenbehandlung des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis

[Legierungsherstellungsschritt]

[0031] Zunächst wird eine Ausgangsmaterial-Legierung hergestellt (Legierungsherstellungsschritt). Ein Bandgießverfahren wird im Folgenden als ein Beispielverfahren zur Herstellung der Legierung beschrieben, aber die Verfahren zur Herstellung der Legierung sind nicht auf das Bandgießverfahren beschränkt.

[0032] Zunächst werden Ausgangsmaterial-Metalle, die der Zusammensetzung der Ausgangsmaterial-Legierung entsprechen, hergestellt und in einer Vakuum- oder Inertgasatmosphäre (z. B. Ar-Gas) geschmolzen. Anschließend werden die geschmolzenen Ausgangsmaterial-Metalle gegossen, um die Ausgangsmaterial-Legierung herzustellen. Während in der vorliegenden Ausführungsform ein Ein-Legierungs-Verfahren beschrieben wird, kann auch ein Zwei-Legierungs-Verfahren verwendet werden, bei dem zwei Legierungen, nämlich eine erste Legierung und eine zweite Legierung, gemischt werden, um die Ausgangsmaterial-Legierung herzustellen.

[0033] Die Metalle des Ausgangsmaterials können von beliebiger Art sein. So können beispielsweise Seltenerdmetalle, Seltenerdlegierungen, reines Eisen, reines Kobalt, Ferrobor, deren Legierungen oder deren Verbindungen verwendet werden. Die Gießverfahren für das Gießen der Ausgangsmaterial-Metalle sind nicht beschränkt. Beispiele für Gießverfahren umfassen das Barrengießverfahren, das Bandgießverfahren, das Book-Molding-Verfahren und das Schleudergießverfahren. Die resultierende Ausgangsmaterial-Legierung kann bei Bedarf einer Homogenisierungsbehandlung (Lösungsbehandlung) unterzogen werden, wenn die Ausgangsmaterial-Legierung eine Erstarrungssegregation aufweist.

[Mahlschritt]

[0034] Nachdem die Ausgangsmaterial-Legierung hergestellt wurde, wird die Ausgangsmaterial-Legierung gemahlen (Mahlschritt). Der Mahlschritt kann in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt werden, das einen Grobmahlschritt, bei dem die Ausgangsmaterial-Legierung auf eine Teilchengröße von etwa mehreren hundert μm bis etwa mehreren mm gemahlen wird, und einen Feinmahlschritt, bei dem ein grob vermahlene Pulver auf eine Teilchengröße von etwa mehreren μm fein vermahlen wird, umfasst. Es kann jedoch auch ein einstufiges Verfahren durchgeführt werden, das nur aus dem Feinmahlschritt besteht.

(Grobmahlschritt)

[0035] Die Ausgangsmaterial-Legierung wird grob gemahlen, bis sie eine Partikelgröße von etwa mehreren hundert μm bis etwa mehreren mm aufweist (Grobmahlschritt). Dadurch erhält man das grob gemahlene Pulver der Ausgangsmaterial-Legierung. Die Grobvermahlung kann z. B. mit Hilfe der Wasserstoffspeicher-Ver-mahlung durchgeführt werden. Die Wasserstoffspeicher-Ver-mahlung kann durchgeführt werden, indem die Ausgangsmaterial-Legierung Wasserstoff speichert und dann Wasserstoff auf der Grundlage des Unterschieds in der Menge des gespeicherten Wasserstoffs zwischen verschiedenen Phasen freisetzt, um eine selbstzerfallende Pulverisierung zu erreichen. Die Freisetzung von Wasserstoff auf der Grundlage des Unterschieds in der Menge des gespeicherten Wasserstoffs zwischen verschiedenen Phasen wird als Dehydrogenierung bezeichnet. Die Dehydrogenierungsbedingungen sind nicht begrenzt. Die Dehydrogenierung wird z. B. bei 300 bis 650°C in einem Argonstrom oder im Vakuum durchgeführt.

[0036] Die Methoden der Grobvermahlung sind nicht auf die oben erwähnte Wasserstoffspeicher-Ver-mahlung beschränkt. Die Grobvermahlung kann beispielsweise mit Grobzerkleinerern, wie einer Stempelmühle, einem Backenbrecher oder einer Brautmühle (brown mill), in einer Inertgasatmosphäre durchgeführt werden.

[0037] Damit der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis hohe magnetische Eigenschaften aufweist, kann die Atmosphäre in jedem Schritt vom Grobmahlschritt bis zum später beschriebenen Sinterschritt eine Atmosphäre mit niedriger Sauerstoffkonzentration sein. Die Sauerstoffkonzentration wird z. B. durch Kontrolle der Atmosphäre jedes Herstellungsschritts eingestellt. Wenn die Sauerstoffkonzentration in jedem Herstellungsschritt hoch ist, wird ein Seltenerdelement in dem Legierungspulver, das aus dem Vermahlen der Ausgangsmaterial-Legierung resultiert, oxidiert, um ein Seltenerdelementoxid zu erzeugen. Das Seltenerdelementoxid wird während des Sinterns nicht reduziert und lagert sich in Form des Seltenerdelementoxids an den Korn-

grenzen ab. Bei den Korngrenzen handelt es sich um Bereiche zwischen zwei oder mehr Körnern der Hauptphase. Infolgedessen ist das Br des entstehenden Permanentmagneten auf R-T-B-Basis verringert. So kann zum Beispiel jeder Schritt (Feinmahlschritt, Pressschritt) in einer Atmosphäre mit einer Sauerstoffkonzentration von 100 ppm oder weniger durchgeführt werden.

(Feinmahlschritt)

[0038] Nachdem die Ausgangsmaterial-Legierung grob vermahlen wurde, wird das resultierende grob vermahlene Pulver der Ausgangsmaterial-Legierung fein vermahlen, bis das Pulver eine durchschnittliche Teilchengröße von etwa einigen μm aufweist (Feinmahlschritt). Dadurch wird ein fein vermahlene Pulver der Ausgangsmaterial-Legierung bereitgestellt. Durch Feinmahlen des grob vermahlene Pulvers kann das fein vermahlene Pulver bereitgestellt werden. Der D50 der in dem fein pulverisierten Pulver enthaltenen Teilchen ist nicht begrenzt. Zum Beispiel kann D50 2,0 μm oder mehr und 4,5 μm oder weniger, oder 2,5 μm oder mehr und 3,5 μm oder weniger betragen. Je kleiner der D50-Wert ist, desto einfacher wird HcJ des R-T-B-basierten Permanentmagneten gemäß der vorliegenden Ausführungsform verbessert. Allerdings kommt es während des Sinterschritts einfach zu anormalem Kornwachstum, wodurch die Obergrenze des Sinterbereichs verringert wird. Je größer der D50-Wert ist, desto weniger einfach tritt anormales Kornwachstum während des Sinterschritts auf, wodurch sich die Obergrenze des Sinterbereichs erhöht. Allerdings wird HcJ des R-T-B-basierten Permanentmagneten gemäß der vorliegenden Ausführungsform einfach verringert.

[0039] Das Feinvermahlen erfolgt durch weiteres Mahlen des grob vermahlene Pulvers mit einem Feinmahlwerk, wie z. B. einer Strahlmühle, einer Kugelmühle, einer Schwingmühle oder einem Nass-Attritor, wobei die Bedingungen, wie z. B. die Mahlzeit und dergleichen, entsprechend angepasst werden. Eine Strahlmühle wird im Folgenden beschrieben. Eine Strahlmühle ist ein Feinmahlwerk, in dem ein Hochdruck-Inertgas (z. B. He-Gas, N_2 -Gas oder Ar-Gas) aus einer engen Düse freigesetzt wird, um einen Hochgeschwindigkeits-Gasstrom zu erzeugen, der das grob vermahlene Pulver der Ausgangsmaterial-Legierung beschleunigt, damit es gegeneinander oder gegen ein Ziel oder eine Behälterwand zur Pulverisierung prallt.

[0040] Wenn das grob vermahlene Pulver der Ausgangsmaterial-Legierung fein vermahlen ist, kann eine Mahlhilfe hinzugefügt werden. Die Mahlhilfe kann von beliebiger Art sein. Zum Beispiel kann ein organisches Schmiermittel oder ein festes Schmiermittel verwendet werden. Beispiele für organische Schmiermittel umfassen Ölsäureamid, Lauramid und Zinkstearat. Beispiele für feste Schmiermittel umfassen Graphit. Durch die Zugabe des Mahlhilfsmittels kann das Pulver so fein vermahlen bereitgestellt werden, dass es sich beim Anlegen eines Magnetfelds im Pressvorgang einfach ausrichten lässt. Es kann entweder ein organisches Schmiermittel oder ein festes Schmiermittel verwendet werden, oder beide können gemischt und verwendet werden. Insbesondere wenn nur ein festes Schmiermittel verwendet wird, kann der Orientierungsgrad verringert werden.

[Pressschritt]

[0041] Das fein vermahlene Pulver wird in die gewünschte Form gepresst (Pressschritt). Beim Pressen wird eine in einem Elektromagneten angeordnete Form mit dem fein vermahlene Pulver gefüllt und das Pulver gepresst, um einen Grünling bereitzustellen. Durch das Pressen des fein vermahlene Pulvers bei gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds kann eine Kristallachse des fein vermahlene Pulvers in eine bestimmte Richtung ausgerichtet werden. Da der resultierende Grünling in der spezifischen Richtung ausgerichtet ist, hat der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis eine höhere magnetische Anisotropie. Ein Presshilfsmittel kann hinzugefügt werden. Das Presshilfsmittel kann von beliebiger Art sein. Es kann das gleiche Schmiermittel wie die Mahlhilfe verwendet werden. Die Mahlhilfe kann gleichzeitig als Presshilfe dienen.

[0042] Der beim Pressen angewendete Druck kann z. B. 30 MPa oder mehr und 300 MPa oder weniger betragen. Das angelegte Magnetfeld kann z. B. 1000 kA/m oder mehr und 1600 kA/m oder weniger betragen. Das angelegte Magnetfeld ist nicht auf ein statisches Magnetfeld beschränkt und kann auch ein gepulstes Magnetfeld sein. Ein statisches Magnetfeld und ein gepulstes Magnetfeld können zusammen angewendet werden.

[0043] Als Pressverfahren kann neben dem Trockenpressen, bei dem das fein vermahlene Pulver wie oben beschrieben direkt gepresst wird, auch das Nasspressen verwendet werden, bei dem eine Aufschlämmung, die das fein vermahlene Pulver in einem Lösungsmittel (z. B. Öl) dispergiert enthält, gepresst wird.

[0044] Der aus dem Pressen des fein vermahlenden Pulvers resultierende Grünling kann jede beliebige Form haben, die der gewünschten Form des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis entspricht. Zum Beispiel kann der Grünling eine rechteckige Parallelepipet-Form, eine Plattenform, eine Säulenform oder eine Ringform haben.

[Sinterungsschritt]

[0045] Der Grünling, der durch Pressen des fein vermahlenden Pulvers in einem Magnetfeld in die gewünschte Form gebracht wurde, wird in einem Vakuum oder einer Inertgasatmosphäre gesintert, um den Permanentmagneten auf R-T-B-Basis zu erhalten (Sinterungsschritt). Die Haltetemperatur und die Haltezeit während des Sinterns müssen je nach den Bedingungen, wie z. B. der Zusammensetzung (hauptsächlich dem B-Gehalt), dem Mahlverfahren und den Unterschieden in der Teilchengröße und der Teilchengrößenverteilung, angepasst werden. Die Haltetemperatur kann z.B. 1000°C oder mehr und 1100°C oder weniger, oder 1020°C oder mehr und 1070°C oder weniger betragen. Die Haltezeit ist nicht begrenzt und kann z. B. 2 Stunden oder mehr und 50 Stunden oder weniger, oder 4 Stunden oder mehr und 40 Stunden oder weniger betragen. Je kürzer die Haltezeit ist, desto höher ist die Produktionseffizienz. Die Halteatmosphäre ist nicht begrenzt. Es kann z. B. eine Inertgasatmosphäre, eine Vakuumatmosphäre von weniger als 100 Pa oder eine Vakuumatmosphäre von weniger als 10 Pa verwendet werden. Die Aufheizrate zum Erreichen der Haltetemperatur ist nicht begrenzt. Durch Sintern wird der Grünling in der Flüssigphase gesintert, um den R-T-B-basierten Permanentmagneten gemäß der vorliegenden Ausführungsform bereitzustellen. Die Abkühlungsrate nach dem Sintern des Grünlings zur Bereitstellung des Sinterkörpers ist nicht begrenzt. Um eine höhere Produktionseffizienz zu erreichen, kann der Sinterkörper schnell abgekühlt werden. Der Sinterkörper kann mit 30°C/min oder mehr schnell abgekühlt werden.

[Alterungsbehandlungsschritt]

[0046] Nachdem der Grünling gesintert wurde, wird der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis einer Alterungsbehandlung unterzogen (Alterungsbehandlungsschritt). Nach dem Sintern wird der entstandene Permanentmagnet auf R-T-B-Basis beispielsweise bei einer Temperatur gehalten, die niedriger ist als die Sintertemperatur, um eine Alterungsbehandlung des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis durchzuführen. Im Folgenden wird die Alterungsbehandlung beschrieben, die in zwei Stufen durchgeführt wird, nämlich einer ersten und einer zweiten Alterungsbehandlung. Es kann jedoch auch nur eine von beiden durchgeführt werden, oder die Alterungsbehandlung kann in drei oder mehr Stufen durchgeführt werden.

[0047] Die Haltedauer und die Haltetemperatur der einzelnen Alterungsbehandlungen sind nicht begrenzt. Zum Beispiel kann die erste Alterungsbehandlung bei einer Haltetemperatur von 800°C oder mehr und 900°C oder weniger für 30 Minuten oder mehr und 4 Stunden oder weniger durchgeführt werden. Die Aufheizgeschwindigkeit zum Erreichen der Haltetemperatur kann 5°C/min oder mehr und 50°C/min oder weniger betragen. Die Atmosphäre der ersten Alterungsbehandlung kann eine Inertgasatmosphäre (z. B. He-Gas oder Ar-Gas) unter mindestens atmosphärischem Druck sein. Die zweite Alterungsbehandlung kann unter den gleichen Bedingungen wie die erste Alterungsbehandlung durchgeführt werden, mit der Ausnahme, dass die Haltetemperatur 450°C oder mehr und 550°C oder weniger betragen kann. Die Alterungsbehandlung kann die magnetischen Eigenschaften des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis verbessern. Der Alterungsbehandlungsschritt kann nach dem später beschriebenen Bearbeitungsschritt durchgeführt werden.

[Abkühlungsschritt]

[0048] Nach der Alterungsbehandlung (die erste Alterungsbehandlung oder die zweite Alterungsbehandlung) des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis wird der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis in einer Inertgasatmosphäre schnell abgekühlt (Kühlschritt). Auf diese Weise kann der R-T-B-basierte Permanentmagnet gemäß der vorliegenden Ausführungsform hergestellt werden. Die Abkühlgeschwindigkeit ist nicht begrenzt. Die Abkühlgeschwindigkeit kann 30°C/min oder mehr betragen.

[Bearbeitungsschritt]

[0049] Der resultierende Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann nach Bedarf in die gewünschte Form bearbeitet werden (Bearbeitungsschritt). Beispiele für Bearbeitungsmethoden sind Formbearbeitung (z. B. Schneiden oder Schleifen) und Anfasen (z. B. Trommelpolieren).

[Korngrenzen-Diffusionsschritt]

[0050] Ferner kann ein schweres Seltenerdelement oder können schwere Seltenerdelemente in die Korngrenzen des bearbeiteten Permanentmagneten auf R-T-B-Basis diffundiert werden (Korngrenzen-Diffusionsschritt). Die Methoden der Korngrenzendiffusion sind nicht beschränkt. Beispielsweise kann eine Verbindung, die das schwere Seltenerdelement oder die schweren Seltenerdelemente enthält, an einer Oberfläche des R-T-B-basierten Permanentmagneten durch Beschichtung, Ablagerung oder ähnliches haften, und dann kann eine Wärmebehandlung durchgeführt werden. Alternativ kann der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis einer Wärmebehandlung in einer Atmosphäre unterzogen werden, die einen Dampf des schweren Seltenerdelements oder der schweren Seltenerdelemente enthält. Die Korngrenzendiffusion kann das HcJ des R-T-B-basierten Permanentmagneten weiter verbessern.

[Oberflächenbehandlungsschritt]

[0051] Der aus den obigen Schritten resultierende Permanentmagnet auf R-T-B-Basis kann Oberflächenbehandlungen unterzogen werden, wie z.B. Plattieren, Harzbeschichtung, eine oxidierende Behandlung und eine chemische Behandlung (Oberflächenbehandlungsschritt). Dadurch kann die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessert werden.

[0052] Der wie oben beschrieben erhaltene Permanentmagnet auf R-T-B-Basis hat gute magnetische Eigenschaften. Das heißt, der Permanentmagnet auf R-T-B-Basis hat ein verbessertes Br bei Raumtemperatur und ein verbessertes HcJ bei hohen Temperaturen in einer ausgewogenen Weise. Insbesondere erfüllt der R-T-B-basierte Permanentmagnet $Br_L + (HcJ_H/3) \geq 1580$, wobei Br_L (mT) das Br des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bei Raumtemperatur (23°C) und HcJ_H (kA/m) das HcJ des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bei hohen Temperaturen (150°C) bezeichnet.

[0053] Die vorliegende Offenbarung ist nicht auf die oben beschriebene Ausführungsform beschränkt und kann im Rahmen der vorliegenden Offenbarung auf verschiedene Weise modifiziert werden. Zum Beispiel können im Hinblick auf das Herstellungsverfahren des R-T-B-basierten Permanentmagneten Warmumformung und Warmbearbeitung anstelle des Sinterns verwendet werden.

Beispiele

[0054] Nachfolgend wird die vorliegende Offenbarung anhand von Beispielen näher beschrieben. Die vorliegende Offenbarung ist jedoch nicht auf diese Beispiele beschränkt.

(Versuch 1)

(Schritt der Legierungsherstellung)

[0055] In einem Legierungsherstellungsschritt wurde eine Ausgangsmaterial-Legierung hergestellt, mit der schließlich ein Permanentmagnet auf R-T-B-Basis mit einer in den Tabellen 1 bis 3 gezeigten Zusammensetzung hergestellt wurde. „TRE“ bedeutet einen „R“-Gehalt. Der Gehalt jedes in den Tabellen 1 bis 3 nicht beschriebenen Elements außer Fe betrug weniger als 0,01 Masse-%. Das bedeutet, dass der Fe-Gehalt in jedem in den Tabellen 1 bis 3 dargestellten Beispiel oder Vergleichsbeispiel im Wesentlichen der Differenzbetrag war.

[0056] Zunächst wurden Ausgangsmaterial-Metalle hergestellt, die bestimmte Elemente enthielten. Als Ausgangsmaterial-Metalle wurden z.B. einfache Substanzen der in den Tabellen 1 bis 3 dargestellten Elemente, Legierungen, die die in den Tabellen 1 bis 3 dargestellten Elemente enthalten, und/oder Verbindungen, die die in den Tabellen 1 bis 3 dargestellten Elemente enthalten, je nach Bedarf ausgewählt und hergestellt.

[0057] Dann wurden diese Ausgangsmaterial-Metalle gewogen und ein Bandgießverfahren zur Herstellung der Ausgangsmaterial-Legierung angewendet. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Ausgangsmaterial-Legierung hergestellt, mit der schließlich der Magnet mit der in den Tabellen 1 bis 3 angegebenen Zusammensetzung produziert wurde. Der Kohlenstoffgehalt der Ausgangsmaterial-Legierung wurde durch Veränderung des Anteils an Roheisen, das als Ausgangsmaterial-Metall verwendet wurde, gesteuert.

(Pulverisierungsschritt)

[0058] In einem Pulverisierungsschritt wurde die aus dem Legierungsherstellungsschritt erhaltene Ausgangsmaterial-Legierung vermahlen um ein Legierungspulver bereitzustellen. Das Mahlen erfolgte in zwei Schritten, der Grobmahlung und der Feinmahlung. Die Grobvermahlung wurde mit Hilfe der Wasserstoffspeichervermahlung durchgeführt. Nach der Speicherung des Wasserstoffs in der Legierung wurde die Dehydrogenierung in einem Argonfluss oder im Vakuum bei 300 bis 600°C durchgeführt. Die Grobmahlung ergab ein Legierungspulver mit einer Teilchengröße von etwa mehreren hundert µm bis zu mehreren mm.

[0059] Die Feinmahlung wurde mit einer Strahlmühle durchgeführt, nachdem Ölsäureamid als Mahlhilfsmittel zu 100 Masseteilen Legierungspulver aus der Grobmahlung hinzugefügt und mit dem Pulver vermischt worden waren. Die Menge des zugegebenen Ölsäureamids wurde so gesteuert, dass der schließlich hergestellte Magnet die in den Tabellen 1 bis 3 angegebene Zusammensetzung aufwies. Für die Strahlmühle wurde Stickstoffgas verwendet. Die Feinmahlung wurde durchgeführt, bis das Legierungspulver einen D50 von etwa 3,0 µm hatte.

(Pressschritt)

[0060] In einem Pressschritt wurde das aus dem Pulverisierungsschritt resultierende Legierungspulver in einem Magnetfeld gepresst, um einen Grünling bereitzustellen. Nachdem eine in einem Elektromagneten angeordnete Form mit dem Legierungspulver gefüllt worden war, wurde das Pulver gepresst, während mit Hilfe des Elektromagneten ein Magnetfeld angelegt wurde. Das angelegte Magnetfeld betrug 1200 kA/m. Der beim Pressen angelegte Druck betrug 40 MPa.

(Sinterschritt)

[0061] In einem Sinterschritt wurde der entstandene Grünling gesintert, um einen Sinterkörper bereitzustellen. Die Haltetemperatur und die Haltezeit während des Sinterns wurden entsprechend dem B-Gehalt variiert. Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die Haltetemperatur und die Haltezeit während des Sinterns. Die Aufheizgeschwindigkeit zum Erreichen der Haltetemperatur betrug 8,0°C/min. Die Abkühlgeschwindigkeit zum Abkühlen von der Haltetemperatur auf Raumtemperatur betrug 50°C/min. Die Sinteratmosphäre war eine Vakuumatmosphäre oder eine Inertgasatmosphäre.

(Alterungsbehandlungsschritt)

[0062] In einem Alterungsbehandlungsschritt wurde der resultierende Sinterkörper einer Alterungsbehandlung unterzogen, um den Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bereitzustellen. Die Alterungsbehandlung wurde in zwei Stufen durchgeführt, einer ersten und einer zweiten Alterungsbehandlung.

[0063] Bei der ersten Alterungsbehandlung betrug die Aufheizgeschwindigkeit zum Erreichen der Haltetemperatur 8,0°C/min. Die Haltetemperatur betrug 900°C. Die Haltezeit betrug 1,0 Stunden. Die Abkühlgeschwindigkeit zum Abkühlen von der Haltetemperatur auf Raumtemperatur betrug 50°C/min. Die Atmosphäre der ersten Alterungsbehandlung war eine Ar-Atmosphäre.

[0064] Bei der zweiten Alterungsbehandlung betrug die Aufheizgeschwindigkeit zum Erreichen der Haltetemperatur 8,0°C/min. Die Haltetemperatur betrug 500°C. Die Haltezeit betrug 1,5 Stunden. Die Abkühlgeschwindigkeit zum Abkühlen von der Haltetemperatur auf Raumtemperatur betrug 50°C/min. Die Atmosphäre der zweiten Alterungsbehandlung war eine Ar-Atmosphäre.

[0065] Durch Zusammensetzungsanalysen wie Fluoreszenz-Röntgenanalyse, induktiv gekoppelte Plasma-Emissions-spektroskopische Analyse (ICP-Analyse) und Gasanalyse wurde bestätigt, dass die Zusammensetzung des schließlich in jedem Beispiel oder Vergleichsbeispiel hergestellten Permanentmagneten auf R-T-B-Basis die in den Tabellen 1 bis 3 gezeigte war. Insbesondere wurde der C-Gehalt mit einer Verbrennung in einer Sauerstoff-Luftstrom-Infrarotabsorptionsmethode gemessen. Der B-Gehalt wurde mittels ICP-Analyse gemessen.

(Auswertung)

[0066] Die magnetischen Eigenschaften des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis, der aus der Rohmateriallegierung jedes Beispiels oder Vergleichsbeispiels gebildet wurde, wurden mit einem B-H-Tracer gemessen.

sen. Als magnetische Eigenschaften wurden Br_L und Hc_{JH} gemessen. Ferner wurde $Br_L + (Hc_{JH}/3)$ berechnet. Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die Ergebnisse.

[0067] Der R-T-B-basierte Permanentmagnet, der $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$ erfüllt, wurde in den Beispielen als gut definiert.

Tabelle 1

	TRE [Masse%]	Nd [Masse%]	Pr [Masse%]	Co [Masse%]	B [Masse%]	Al [Masse%]	Cu [Masse%]	Ga [Masse%]	Zr [Masse%]	O [Masse%]	N [Masse%]	C [Masse%]	Halte- temperatur [°C]	Halte- zeit [h]	Br_L [mT]	Hc_{JH} [kA/m]	$Br_L +$ $(Hc_{JH}/3)$
Beispiel 1	32,00	25,44	6,56	2,00	0,75	0,02	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,20	1040	40	1348	708	1584
Beispiel 2	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,02	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1351	698	1584
Beispiel 3	32,00	25,44	6,56	2,00	0,83	0,02	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,13	1060	8	1357	680	1584
Beispiel 4	32,00	25,44	6,56	0,88	0,88	0,02	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1388	583	1582
Vergleichsbeispiel 1	32,00	25,44	6,56	0,88	0,90	0,02	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1392	526	1567
Beispiel 5	32,00	25,44	6,56	2,00	0,75	0,03	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,20	1040	40	1346	710	1583
Beispiel 6	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,03	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1350	698	1583
Beispiel 7	32,00	25,44	6,56	2,00	0,83	0,03	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,13	1060	8	1356	681	1583
Beispiel 8	32,00	25,44	6,56	0,80	0,88	0,03	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1387	585	1582
Vergleichsbeispiel 2	32,00	25,44	6,56	0,80	0,90	0,03	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1390	527	1566
Vergleichsbeispiel 3	32,00	25,44	6,56	2,00	0,60	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,32	1020	40	1315	603	1516
Beispiel 9	32,00	25,44	6,56	2,00	0,70	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,25	1020	40	1338	727	1580
Beispiel 10	32,00	25,44	6,56	2,00	0,75	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,20	1040	40	1344	715	1582
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1348	702	1582
Beispiel 12	32,00	25,44	6,56	2,00	0,83	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,13	1060	8	1354	687	1583
Beispiel 13	32,00	25,44	6,56	0,88	0,88	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1385	591	1582
Vergleichsbeispiel 4	32,00	25,44	6,56	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1387	533	1565
Beispiel 14	32,00	25,44	6,56	2,00	0,75	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,20	1040	40	1342	718	1581
Beispiel 15	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1347	704	1582
Beispiel 16	32,00	25,44	6,56	2,00	0,83	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,13	1060	8	1352	692	1583
Beispiel 17	32,00	25,44	6,56	0,88	0,88	0,07	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1383	596	1582
Vergleichsbeispiel 5	32,00	25,44	6,56	0,88	0,90	0,07	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1384	535	1562
Vergleichsbeispiel 6	32,00	25,44	6,56	2,00	0,75	0,08	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,20	1040	40	1338	720	1578
Vergleichsbeispiel 7	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,08	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1344	706	1579
Vergleichsbeispiel 8	32,00	25,44	6,56	2,00	0,83	0,08	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,13	1060	8	1348	694	1579
Vergleichsbeispiel 9	32,00	25,44	6,56	0,88	0,88	0,08	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1379	597	1578
Vergleichsbeispiel 10	32,00	25,44	6,56	0,88	0,90	0,08	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1381	537	1560

Tabelle 2

	TRE [Mass- e%]	Nd [Mass- e%]	Pr [Mass- se%]	Co [Mass- e%]	B [Mass- e%]	Al [Mass- e%]	Cu [Mass- e%]	Ga [Mass- e%]	Zr [Mass- e%]	O [Mass- e%]	N [Mass- e%]	C [Mass- e%]	Halte- tempe- ratur [°C]	Halte- zeit [h]	Br _L [m- T]	H _C J _H β _L A/ I	Br _t + (H _C J w/3)
Vergleichsbei- spiel 16	29,50	23,45	6,05	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 92	535	1570
Beispiel 18	30,00	23,85	6,15	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 86	595	1584
Beispiel 18a	31,00	24,65	6,36	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 71	641	1585
Beispiel 18b	31,50	25,04	6,46	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 60	669	1583
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	702	1582
Beispiel 19	33,00	26,24	6,77	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 34	739	1580
Vergleichsbei- spiel 17	33,50	26,63	6,87	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 28	742	1575
Vergleichsbei- spiel 18	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,30	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 69	587	1565
Beispiel 20	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,40	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 68	644	1583
Beispiel 20a	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 59	669	1582
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	702	1582
Beispiel 21	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	1,00	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 40	722	1581
Vergleichsbei- spiel 19	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	1,20	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 33	700	1566
Vergleichsbei- spiel 20	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,10	0,05	0,07	0,12	1040	40	13- 53	632	1564

	TRE [Mass- e%]	Nd [Mass- e%]	Pr [Mass- se%]	Co [Mass- e%]	B [Mass- e%]	Al [Mass- e%]	Cu [Mass- e%]	Ga [Mass- e%]	Zr [Mass- e%]	O [Mass- e%]	N [Mass- e%]	C [Mass- e%]	Halte- tempe- ratur [°C]	Halte- zeit [h]	Br _L [m- T]	H _C J _H β _L A/ I	Br _t + (H _C J _w /3)
Beispiel 22	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,15	0,05	0,07	0,14	1040	40	13- 53	697	1585
Beispiel 23	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,35	0,05	0,07	0,15	1040	40	13- 50	700	1583
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	702	1582
Beispiel 24	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,95	0,05	0,07	0,21	1040	40	13- 44	712	1581
Beispiel 25	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	1,30	0,05	0,07	0,24	1040	40	13- 42	718	1581
Beispiel 26	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	1,50	0,05	0,07	0,26	1040	40	13- 38	726	1580
Vergleichsbei- spiel 21	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	1,70	0,05	0,07	0,28	1040	40	13- 18	649	1534
Beispiel 27	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,15	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	700	1581
Beispiel 27a	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,20	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	703	1582
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 48	702	1582
Beispiel 28	32,00	25,44	6,56	2,00	0,78	0,05	1,00	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	13- 57	698	1590
Beispiel 8	32,00	25,44	6,56	0,80	0,88	0,03	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	13- 87	585	1582
Beispiel 29	32,00	25,44	6,56	0,88	0,88	0,03	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	13- 85	591	1582
Beispiel 30	32,00	25,44	6,56	1,25	0,88	0,03	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	13- 93	585	1588

	TRE [Mass- e%]	Nd [Mass- e%]	Pr [Mass- se%]	Co [Mass- e%]	B [Mass- e%]	Al [Mass- e%]	Cu [Mass- e%]	Ga [Mass- e%]	Zr [Mass- e%]	O [Mass- e%]	N [Mass- e%]	C [Mass- e%]	Halte- tempe- ratur [°C]	Halte- zeit [h]	Br _L [m- T]	H _C JH β _L A/ I	Br _t + (H _C J w/3)
Beispiel 31	32,00	25,44	6,56	1,63	0,88	0,03	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	13- 97	581	1591
Beispiel 32	32,00	25,44	6,56	2,00	0,88	0,03	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	14- 00	562	1587
Beispiel 33	32,00	25,44	6,56	3,00	0,88	0,03	0,30	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	14- 08	528	1584

Tabelle 3

	TRE [Masse %]	Nd [Masse %]	Pr [Masse %]	Dy [Masse %]	Tb [Masse %]	Co [Masse %]	B [Masse %]	Al [Masse %]	Cu [Masse %]	Ga [Masse %]	Zr [Masse %]	O [Masse %]	N [Masse %]	C [Masse %]	Halte- temperatur [°C]	Halte- zeit [h]	Br _L [mT]	Hc _{JH} [kA/m]	Br _L + (Hc _{JH} /3)
Beispiel 11	32,00	25,44	6,56	0,00	0,00	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1348	702	1582
Beispiel 34	32,00	25,12	6,48	0,00	0,40	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1346	738	1592
Beispiel 35	32,00	24,80	6,40	0,00	0,80	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1342	784	1603
Beispiel 36	32,00	25,12	6,48	0,40	0,00	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1340	754	1591
Beispiel 37	32,00	24,80	6,40	0,80	0,00	2,00	0,78	0,05	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1327	782	1588
Vergleichsbeispiel 4	32,00	25,44	6,56	0,00	0,00	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1387	533	1565
Vergleichsbeispiel 22	32,00	25,12	6,48	0,00	0,40	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1382	562	1569
Vergleichsbeispiel 23	32,00	24,80	6,40	0,00	0,80	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1375	602	1576
Vergleichsbeispiel 24	32,00	25,12	6,48	0,40	0,00	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1368	578	1561
Vergleichsbeispiel 25	32,00	24,80	6,40	0,80	0,00	0,88	0,90	0,05	0,15	0,60	0,50	0,05	0,07	0,09	1070	4	1356	604	1557
Beispiel 15	32,00	25,44	6,56	0,00	0,00	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1347	704	1582
Beispiel 38	32,00	25,12	6,48	0,00	0,40	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1340	740	1587
Beispiel 39	32,00	24,80	6,40	0,00	0,80	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1336	783	1597
Beispiel 40	32,00	25,12	6,48	0,40	0,00	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1335	751	1585
Beispiel 41	32,00	24,80	6,40	0,80	0,00	2,00	0,78	0,07	0,30	0,80	0,50	0,05	0,07	0,17	1040	40	1322	779	1582

[0068] Tabelle 1 zeigt Beispiele und Vergleichsbeispiele, die hauptsächlich Variationen des B-Gehalts und des Al-Gehalts aufwiesen. Jedes Beispiel mit einem B-Gehalt von 0,70 Masse-% oder mehr und 0,88 Masse-% oder weniger und einem Al-Gehalt von über 0 und 0,07 Masse-% oder weniger erfüllte $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$. Im Gegensatz dazu verlief die Sinterung bei Vergleichsbeispiel 3, das einen zu niedrigen B-Gehalt aufwies, nicht ausreichend. Infolgedessen erfüllte das Vergleichsbeispiel 3 nicht $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$. Jedes Vergleichsbeispiel, das einen zu hohen B-Gehalt aufwies, erfüllte nicht $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$. Jedes Vergleichsbeispiel mit einem zu hohen Al-Gehalt erfüllte nicht $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$.

[0069] Tabelle 2 zeigt Beispiele und Vergleichsbeispiele, die hauptsächlich Variationen des „R“-Gehalts (TRE), des Ga-Gehalts, des Zr-Gehalts, des Cu-Gehalts oder des Co-Gehalts aufwiesen. Jedes Beispiel, bei dem der Gehalt aller Elemente innerhalb vorgegebener Bereiche liegt, erfüllte $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$. Im Gegensatz dazu erfüllte jedes Vergleichsbeispiel mit dem „R“-Gehalt (TRE), dem Ga-Gehalt oder dem Zr-Gehalt außerhalb der vorgegebenen Bereiche nicht $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$.

[0070] Tabelle 3 zeigt Beispiele und Vergleichsbeispiele, bei denen Nd oder Pr teilweise durch Dy oder Tb ersetzt wurde, wobei die Verhältnisse von Nd zu Pr von Beispiel 11, Vergleichsbeispiel 4 und Beispiel 15 unverändert blieben. Selbst wenn Nd oder Pr teilweise durch Dy oder Tb ersetzt wurde, erfüllte jedes Beispiel, bei dem der Gehalt aller Elemente innerhalb der vorgegebenen Bereiche lag, $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$. Im Gegensatz dazu erfüllte jedes Vergleichsbeispiel mit einem B-Gehalt außerhalb eines vorgegebenen Bereichs nicht $Br_L + (Hc_{JH}/3) \geq 1580$.

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

- JP 2017228771 [0003]
- JP 201882040 [0003]

Patentansprüche

1. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis, umfassend Al, Ga und Zr, der einen R-Gehalt von 30,00 Masse-% oder mehr und 33,00 Masse-% oder weniger, einen B-Gehalt von 0,70 Masse-% oder mehr und 0,88 Masse-% oder weniger, einen Al-Gehalt von über 0 Masse-% und 0,07 Masse-% oder weniger, einen Ga-Gehalt von 0,40 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger, und einen Zr-Gehalt von über 0,10 Masse-% und 1,60 Masse-% oder weniger, bezogen auf 100 Masse-% des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis, aufweist.
2. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis nach Anspruch 1 mit einem Co-Gehalt von 0,50 Masse-% oder mehr und 3,00 Masse-% oder weniger.
3. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis nach Anspruch 1 oder 2 mit einem Cu-Gehalt von 0,15 Masse-% oder mehr und 1,00 Masse-% oder weniger.
4. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit einem C-Gehalt von 0,05 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger.
5. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einem Gehalt an schweren Seltenerdelementen von 0 Masse-% oder mehr und 0,30 Masse-% oder weniger.
6. Permanentmagnet auf R-T-B-Basis nach einem der Ansprüche 1 bis 5, der die Bedingung $Br_L + (H_c J_H / 3) \geq 1580$ erfüllt, wobei Br_L (mT) eine Restflussdichte des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bei Raumtemperatur und $H_c J_H$ (kA/m) eine Koerzitivität des Permanentmagneten auf R-T-B-Basis bei 150°C bezeichnet.

Es folgen keine Zeichnungen