

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-8212

(P2022-8212A)

(43)公開日 令和4年1月13日(2022.1.13)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 F 1/057(2006.01)	H 0 1 F 1/057 1 7 0	5 E 0 4 0
H 0 1 F 41/02 (2006.01)	H 0 1 F 41/02 G	5 E 0 6 2
H 0 2 K 15/03 (2006.01)	H 0 2 K 15/03 Z	5 H 6 2 2

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全16頁)

(21)出願番号 特願2021-103438(P2021-103438)	(71)出願人 000003067 T D K 株式会社 東京都中央区日本橋二丁目 5 番 1 号
(22)出願日 令和3年6月22日(2021.6.22)	
(31)優先権主張番号 特願2020-108717(P2020-108717)	(74)代理人 110001494 前田・鈴木国際特許業務法人
(32)優先日 令和2年6月24日(2020.6.24)	
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(72)発明者 三浦 晃嗣 東京都中央区日本橋二丁目 5 番 1 号 T D K 株式会社内
	(72)発明者 三輪 将史 東京都中央区日本橋二丁目 5 番 1 号 T D K 株式会社内
	F ターム(参考) 5E040 AA04 AA19 BD01 CA01 HB11 NN01 5E062 CD04 CG07 5H622 AA03 DD02 QA01

(54)【発明の名称】 R - T - B系永久磁石およびモータ

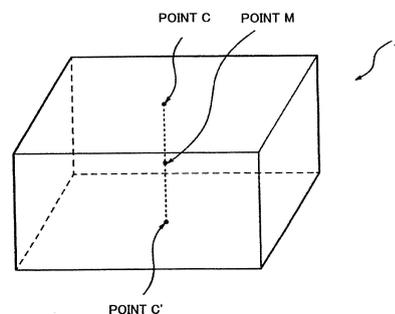
(57)【要約】

【課題】室温での残留磁束密度 B_r および高温での保磁力 $H_c J$ が共に高い R - T - B系永久磁石を提供する。

【解決手段】Rが希土類元素、Tが鉄族元素、Bがホウ素であって、Rとして軽希土類元素および重希土類元素を含む R - T - B系永久磁石である。R - T - B系永久磁石は、さらに Al, Ga および Zr を含む。R - T - B系永久磁石を 100質量%として、Rの合計含有量が 28.50質量% ~ 30.25質量% (28.50質量%を含まない)、Bの含有量が 0.93質量% ~ 0.98質量%、Alの含有量が 0.03質量% ~ 0.19質量%、Gaの含有量が 0.03質量% ~ 0.15質量%、Zrの含有量が 0.30質量% ~ 0.50質量%である。

【選択図】 図 1

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

R が希土類元素、T が鉄族元素、B がホウ素であって、R として軽希土類元素および重希土類元素を含む R - T - B 系永久磁石であって、
前記 R - T - B 系永久磁石は、さらに Al, Ga および Zr を含み、
前記 R - T - B 系永久磁石を 100 質量%として、
R の合計含有量が 28.50 質量% ~ 30.25 質量% (28.50 質量% を含まない)

、
B の含有量が 0.93 質量% ~ 0.98 質量%、
Al の含有量が 0.03 質量% ~ 0.19 質量%、
Ga の含有量が 0.03 質量% ~ 0.15 質量%、
Zr の含有量が 0.30 質量% ~ 0.50 質量%であることを特徴とする R - T - B 系永久磁石。

10

【請求項 2】

軽希土類元素の合計含有量が 28.50 質量% ~ 29.50 質量%、重希土類元素の合計含有量が 0 質量% ~ 0.75 質量% (0 質量% を含まない) である請求項 1 に記載の R - T - B 系永久磁石。

【請求項 3】

Pr を含み、Pr の含有量が 0.01 質量% ~ 1.00 質量% である請求項 1 または 2 に記載の R - T - B 系永久磁石。

20

【請求項 4】

Pr を実質的に含まない請求項 1 または 2 に記載の R - T - B 系永久磁石。

【請求項 5】

磁石表面から内部に向かって低下する重希土類元素の濃度勾配を有する請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石を含むモータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、R - T - B 系永久磁石およびモータに関する。

30

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、残留磁束密度および室温での保磁力が高い R - T - B 系永久磁石が開示されている。特許文献 1 に記載された R - T - B 系永久磁石は重希土類元素を粒界拡散させることで保磁力を向上させている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2018 - 93202 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、室温での残留磁束密度 B_r および高温での保磁力 $H_c J$ が共に高い R - T - B 系永久磁石を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記の目的を達成するため、本発明の R - T - B 系永久磁石は、
R が希土類元素、T が鉄族元素、B がホウ素であって、R として軽希土類元素および重希土類元素を含む R - T - B 系永久磁石であって、

50

前記 R - T - B 系永久磁石は、さらに Al , Ga および Zr を含み、

前記 R - T - B 系永久磁石を 100 質量%として、

R の合計含有量が 28.50 質量% ~ 30.25 質量% (28.50 質量% を含まない)

、
B の含有量が 0.93 質量% ~ 0.98 質量%、

Al の含有量が 0.03 質量% ~ 0.19 質量%、

Ga の含有量が 0.03 質量% ~ 0.15 質量%、

Zr の含有量が 0.30 質量% ~ 0.50 質量%であることを特徴とする。

【0006】

本発明の R - T - B 系永久磁石は上記の特徴を有することにより、残留磁束密度 Br および高温での保磁力 Hc J が共に高い R - T - B 系永久磁石となる。 10

【0007】

軽希土類元素の合計含有量が 28.50 質量% ~ 29.50 質量%、重希土類元素の合計含有量が 0 質量% ~ 0.75 質量% (0 質量% を含まない) であってもよい。

【0008】

Pr を含んでもよく、Pr の含有量が 0.01 質量% ~ 1.00 質量% であってもよい。

【0009】

Pr を実質的に含まなくてもよい。

【0010】

磁石表面から内部に向かって低下する重希土類元素の濃度勾配を有してもよい。 20

【0011】

本発明のモータは上記の R - T - B 系永久磁石を含む。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】R - T - B 系永久磁石の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明を、図面に示す実施形態に基づき説明する。

【0014】

< R - T - B 系永久磁石 >

R - T - B 系永久磁石は、R₂T₁₄B 型結晶構造を有する結晶粒子からなる主相粒子を有する。さらに、隣り合う 2 つ以上の主相粒子によって形成される粒界を有する。 30

【0015】

R - T - B 系永久磁石は、希土類元素 (R) , ホウ素 (B) , アルミニウム (Al) , ガリウム (Ga) およびジルコニウム (Zr) を特定の範囲内の含有量で含有させることで、室温での Br、および高温での Hc J を向上させることができる。

【0016】

R は軽希土類元素 (RL) と重希土類元素 (RH) とに分類される。R - T - B 系永久磁石における RL はスカンジウム (Sc) , イットリウム (Y) , ランタン (La) , セリウム (Ce) , プラセオジウム (Pr) , ネオジウム (Nd) , サマリウム (Sm) , ユロピウム (Eu) であり、RH はガドリニウム (Gd) , テルビウム (Tb) , ジスプロシウム (Dy) , ホルミウム (Ho) , エルビウム (Er) , ツリウム (Tm) , イッテルビウム (Yb) , ルテチウム (Lu) である。R - T - B 系永久磁石は、R として RL および RH を含む。 40

【0017】

R は Nd および Pr から選択される 1 種以上、および、Dy および Tb から選択される 1 種以上であってもよい。

【0018】

R - T - B 系永久磁石は、R として少なくとも Nd および Tb を含んでもよい。

【0019】

Tは鉄族元素である。R - T - B系永久磁石は、Tとして少なくともFeを含んでもよい。R - T - B系永久磁石は、TとしてFe単独またはFeおよびCoを含んでもよい。

【0020】

R - T - B系永久磁石のBサイトに含まれるホウ素の一部が炭素(C)に置換されていてもよい。

【0021】

R - T - B系永久磁石におけるRの含有量(TRE)は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、28.50質量%~30.25質量%(28.50質量%を含まない)である。28.84質量%~29.81質量%であってもよく、29.14質量%~29.41質量%であってもよい。TREが少なすぎる場合には、焼結性が低下しやすくなる。TREが多すぎる場合にはBrが低下しやすくなる。

10

【0022】

R - T - B系永久磁石におけるRLの含有量(TRL)には特に制限はないが、R - T - B系永久磁石を100質量%として、28.50質量%~29.50質量%であってもよく、28.84質量%~29.11質量%であってもよい。

【0023】

R - T - B系永久磁石は、RとしてPrを含んでもよい。Prの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.00質量%~10.00質量%であってもよい。

【0024】

Prの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.01質量%~1.00質量%であってもよい。Prの含有量が上記の範囲内である場合には、Prを実質的に含まない場合と比較して、室温でのHcJおよび高温でのHcJが向上しやすくなる。また、Prの含有量が多い場合と比較して、Brおよび高温でのHcJが向上しやすくなる。

20

【0025】

R - T - B系永久磁石は、Prを実質的に含まなくてもよい。実質的に含まないとは、R - T - B系永久磁石を100質量%として、含有量が0.01質量%未満であることを指す。Prを実質的に含まない場合には、Prを含む場合と比較してBrが向上しやすくなる。

【0026】

Prの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、5.00質量%~10.00質量%であってもよい。Prの含有量が上記の範囲内である場合には、Prの含有量が少ない場合と比較して、室温でのHcJが向上しやすくなる。

30

【0027】

R - T - B系永久磁石におけるRHの含有量(TRH)には特に制限はないが、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0質量%~0.75質量%(0質量%を含まない)であってもよく、0.30質量%~0.75質量%であってもよい。RHは、実質的にTbのみであってもよい。TRHが少ないほどBrが向上しやすく、TRHが多いほどHcJが向上しやすい。RHは高価であるため、TRHが少ないほどR - T - B系永久磁石を低コストで製造しやすくなる。

40

【0028】

Coの含有量は、R - T - B系永久磁石全体の質量を100質量%として、0.30質量%~3.0質量%であってもよい。高価であるCoの含有量を少なくしても高い耐食性を有するR - T - B系永久磁石を得ることができる。その結果、耐食性の高いR - T - B系永久磁石を低コストで製造しやすくなる。Coの含有量が少なすぎる場合には、耐食性が低下しやすくなる。Coの含有量が多すぎる場合には、耐食性改善の効果が頭打ちとなるとともに高コストとなる。

【0029】

Feの含有量はR - T - B系永久磁石の実質的な残部である。実質的な残部であるとは、前述のRおよびCoと、後述のB, Al, Ga, Zr, Mn, Cuおよび他元素と、を除

50

いた残部であるという意味である。

【0030】

R - T - B系永久磁石におけるBの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.93質量%～0.98質量%である。Bが多すぎる場合も少なすぎる場合も、高温でのHcJが低下しやすくなる。

【0031】

R - T - B系永久磁石は、さらにAl, GaおよびZrを含む。Al, GaおよびZrがそれぞれ以下に示す含有量の範囲内で含有されていれば、以下に示す優れた効果が得られる。

【0032】

Alの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.03質量%～0.19質量%である。Alの含有量は、0.05質量%～0.10質量%であってもよく、0.05質量%～0.09質量%であってもよい。Alの含有量が少なすぎる場合には、高温でのHcJが低下しやすくなる。Alの含有量が多すぎる場合には、Brが低下しやすくなる。

10

【0033】

Gaの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.03質量%～0.15質量%である。Gaの含有量は、0.06質量%～0.10質量%であってもよい。Gaの含有量が少なすぎる場合には、高温でのHcJが低下しやすくなる。Gaの含有量が多すぎる場合には、Brおよび高温でのHcJが低下しやすくなる。

20

【0034】

Zrの含有量は、R - T - B系永久磁石を100質量%として、0.30質量%～0.50質量%である。Zrの含有量が少なすぎる場合には、高温でのHcJが低下しやすくなる。Zrの含有量が多すぎる場合には、Brおよび高温でのHcJが低下しやすくなる。

【0035】

R - T - B系永久磁石は、さらにMnおよび/またはCuを含んでもよい。

【0036】

Mnの含有量には特に制限はなく、Mnを含まなくてもよい。Mnを含む場合には、Mnの含有量は0.02質量%～0.10質量%であってもよい。Mnの含有量が上記の範囲内であることにより、Brおよび高温でのHcJが向上しやすくなる。

30

【0037】

Cuの含有量には特に制限はなく、Cuを含まなくてもよい。Cuを含む場合には、Cuの含有量は0.10質量%～0.55質量%であってもよい。Cuの含有量が上記の範囲内であることにより、Brおよび高温でのHcJが向上しやすくなる。

【0038】

上記のR - T - B系永久磁石は、上記したR, T, B, Al, Ga, Zr, MnおよびCu以外の元素を他元素として含んでもよい。他元素の含有量には特に制限はなく、R - T - B系永久磁石の磁気特性に大きな影響を与えない量であればよい。例えば、R - T - B系永久磁石を100質量%として、合計で1.0質量%以下であってもよい。なお、Nd, Pr, DyおよびTb以外の希土類元素の含有量は合計で0.3質量%以下であってもよい。

40

【0039】

以下、他元素の一例としてC、窒素(N)および酸素(O)の含有量について述べる。

【0040】

R - T - B系永久磁石におけるCの含有量は、R - T - B系永久磁石に対して、600ppm～1100ppmであってもよい。Cの含有量を1100ppm以下とすることでHcJが向上しやすくなる。また、Cの含有量が600ppm未満であるR - T - B系永久磁石を製造することはプロセスに対する負荷が大きい。したがって、Cの含有量が600ppm未満であるR - T - B系永久磁石は低コストで製造しにくい。

【0041】

50

R - T - B系永久磁石におけるNの含有量は、R - T - B系永久磁石に対して、250 ppm ~ 700 ppmであってもよい。Nの含有量を700 ppm以下とすることでHcJが向上しやすくなる。また、Nの含有量が250 ppm未満であるR - T - B系永久磁石を製造することはプロセスに対する負荷が大きい。したがって、Nの含有量が250 ppm未満であるR - T - B系永久磁石は低コストで製造しにくい。

【0042】

R - T - B系永久磁石におけるOの含有量は、R - T - B系永久磁石に対して、350 ppm ~ 1000 ppmであってもよい。Oの含有量が350 ppm未満であるR - T - B系永久磁石を製造することはプロセスに対する負荷が大きい。したがって、Oの含有量が350 ppm未満であるR - T - B系永久磁石は低コストで製造しにくい。

10

【0043】

なお、R - T - B系永久磁石中に含まれる各種成分の測定法は、従来から一般的に知られている方法を用いることができる。各種元素量については、例えば、蛍光X線分析および誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP分析）等により測定される。Oの含有量は、例えば、不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法により測定される。Cの含有量は、例えば、酸素気流中燃焼 - 赤外線吸収法により測定される。Nの含有量は、例えば、不活性ガス融解 - 熱伝導度法により測定される。

【0044】

特に、Alの含有量が0.05質量% ~ 0.09質量%である場合において、Rの含有量（TRE）が28.50質量% ~ 30.25質量%（28.50質量%を含まない）、

20

RLの含有量（TRL）が28.50質量% ~ 29.81質量%、

RHの含有量（TRH）が0質量% ~ 0.75質量%（0質量%を含まない）、

Coの含有量が0.30質量% ~ 3.00質量%、

Bの含有量が0.93質量% ~ 0.98質量%、

Gaの含有量が0.03質量% ~ 0.15質量%、

Zrの含有量が0.30質量% ~ 0.50質量%、

Mnの含有量が0.02質量% ~ 0.10質量%、

Cuの含有量が0.10質量% ~ 0.55質量%であってもよい。

【0045】

Alの含有量が0.05質量% ~ 0.09質量%である場合において、さらに、

Cの含有量が600 ppm ~ 1000 ppm、

Nの含有量が250 ppm ~ 700 ppm、

Oの含有量が350 ppm ~ 1000 ppmであってもよい。

30

【0046】

R - T - B系永久磁石の形状には特に制限はない。例えば、直方体などの形状が挙げられる。

【0047】

R - T - B系永久磁石は、RHの濃度が、R - T - B系永久磁石1の外側から内側に向かって低下する濃度勾配を有してもよい。上記の濃度勾配を有するRHの種類には特に制限はない。例えばDyおよび/またはTbであってもよく、Tbであってもよい。

40

【0048】

具体的には、図1で示すように、直方体形状のR - T - B系永久磁石1は表面部および中心部を有し、表面部におけるRHの含有量を、中心部におけるRHの含有量よりも2%以上高くすることができ、5%以上高くすることができ、10%以上高くすることができる。なお、前記表面部とは、R - T - B系永久磁石1の表面をいう。例えば、図1のPOINT C, C'（図1の互いに向かい合う表面の重心）は表面部である。前記中心部とは、R - T - B系永久磁石1の中心をいう。例えば、R - T - B系永久磁石1の厚みの半分の部分をいう。例えば、図1のPOINT M（POINT CとPOINT C'との中点）は中心部である。なお、図1のPOINT C, C'は、R - T - B系永久磁石1

50

の表面のうち最も面積が広い表面の重心、および当該表面に向かい合う表面の重心であってもよい。

【0049】

R - T - B系永久磁石に前述のRHの濃度勾配を形成させる方法に特に制限はない。例えば、後述するRHの粒界拡散によりR - T - B系永久磁石内にRHの濃度勾配を形成させることができる。

【0050】

また、R - T - B系永久磁石の主相粒子は、コアと、コアを被覆するシェルとからなるコアシェル粒子であってもよい。そして、少なくともシェルにはRHが存在してもよく、DyまたはTbが存在してもよく、Tbが存在していてもよい。

【0051】

RHをシェルに存在させることで、効率的にR - T - B系永久磁石の磁気特性を向上させることができる。

【0052】

RLに対するRHのモル比(RH/RL)が、主相粒子中心部(コア)におけるRH/RLの2倍以上となっている部分をシェルと規定する。

【0053】

シェルの厚みには特に制限はないが、平均で500nm以下であってもよい。また、主相粒子の粒径にも特に制限はないが、平均で1.0μm以上6.5μm以下であってもよい。

【0054】

主相粒子を上記のコアシェル粒子とする方法には特に制限はない。例えば、後述する粒界拡散による方法がある。RHが粒界に拡散し、RHが主相粒子の表面のRと置換することでRHの割合が高いシェルが形成され、前記のコアシェル粒子となる。

【0055】

以下、R - T - B系永久磁石の製造方法について詳しく説明していくが、R - T - B系永久磁石の製造方法はこれに制限されず、その他の公知の方法を用いてもよい。

【0056】

[原料粉末の準備工程]

原料粉末は、公知の方法により作製することができる。以下、単独の合金を原料粉末として使用する1合金法の場合について説明するが、組成の異なる2種類以上の合金を混合して原料粉末を作製するいわゆる2合金法でもよい。

【0057】

まず、R - T - B系永久磁石の原料合金を準備する(合金準備工程)。合金準備工程では、R - T - B系永久磁石の組成に対応する原料金属を公知の方法で溶解した後、鑄造することによって所望の組成を有する原料合金を作製する。

【0058】

原料金属としては、例えば、Rの単体、Fe、Co、Cu等の金属元素の単体、複数種類の元素からなる合金(例えばFe - Co合金)、または複数種類の元素からなる化合物(例えばフェロボロン)等を適宜、使用することができる。原料金属から原料合金を鑄造する鑄造方法には特に制限はない。磁気特性の高いR - T - B系永久磁石を得るためにストリップキャスト法を用いてもよい。得られた原料合金は、必要に応じて既知の方法で均質化処理を行ってもよい。

【0059】

前記原料合金を作製した後、粉砕する(粉砕工程)。なお、粉砕工程から焼結工程までの各工程の雰囲気は、高い磁気特性を得る観点から、低酸素濃度とすることができる。例えば、各工程での雰囲気中の酸素濃度を200ppm以下としてもよい。各工程の雰囲気中の酸素濃度を制御することで、R - T - B系永久磁石におけるOの含有量を制御することができる。

【0060】

10

20

30

40

50

以下、粒径が数百 μm ～数 mm 程度になるまで粉碎する粗粉碎工程と、粒径が数 μm 程度になるまで微粉碎する微粉碎工程と、の2段階で前記粉碎工程を実施する場合を以下に記述するが、微粉碎工程のみの1段階で前記粉碎工程を実施してもよい。

【0061】

粗粉碎工程では、粒径が数百 μm ～数 mm 程度になるまで粗粉碎する。これにより、粗粉碎粉末を得る。粗粉碎の方法には特に限定はなく、水素吸蔵粉碎を行う方法や粗粉碎機を用いる方法など、公知の方法で行うことができる。水素吸蔵粉碎を行う場合、脱水素処理時の雰囲気中の窒素ガス濃度の制御を行うことで、R-T-B系永久磁石におけるNの含有量を制御することができる。

【0062】

次に、得られた粗粉碎粉末を平均粒子径が数 μm 程度になるまで微粉碎する（微粉碎工程）。これにより、微粉碎粉末（原料粉末）を得る。前記微粉碎粉末の平均粒径は、 $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下、 $2\mu\text{m}$ 以上 $6\mu\text{m}$ 以下、または $2\mu\text{m}$ 以上 $4\mu\text{m}$ 以下であってもよい。微粉碎工程での雰囲気中の窒素ガス濃度の制御を行うことで、R-T-B系永久磁石におけるNの含有量を制御することができる。

10

【0063】

微粉碎の方法には特に制限はない。例えば、各種微粉碎機を用いる方法で実施される。

【0064】

前記粗粉碎粉末を微粉碎する際、ラウリン酸アミド、オレイン酸アミド等の各種粉碎助剤を添加することにより、磁場中で加圧して成形する際に結晶粒子が特定の方向に配向しやすい微粉碎粉末を得ることができる。また、粉碎助剤の添加量を変化させることにより、R-T-B系永久磁石におけるCの含有量を制御することができる。

20

【0065】

[成形工程]

成形工程では、上記微粉碎粉末を目的の形状に成形する。成形方法には特に制限はない。例えば、上記微粉碎粉末を金型内に充填し、磁場中で加圧する。これにより得られた成形体は、結晶粒子が特定方向に配向している。したがって、よりBrの高いR-T-B系永久磁石が得られる。

【0066】

成形時の加圧は、 20MPa 以上 300MPa 以下で行うことができる。印加する磁場は、 950kA/m 以上とすることができ、 950kA/m 以上 1600kA/m 以下とすることもできる。印加する磁場は静磁場に限定されず、パルス状磁場とすることもできる。また、静磁場とパルス状磁場とを併用することもできる。

30

【0067】

なお、成形方法としては、上記のように微粉碎粉末をそのまま成形する乾式成形の他、微粉碎粉末を油等の溶媒に分散させたスラリーを成形する湿式成形を適用することもできる。

【0068】

微粉碎粉末を成形して得られる成形体の形状には特に制限はない。また、この時点での成形体の密度は 3.7Mg/m^3 ～ 4.5Mg/m^3 とすることができる。

40

【0069】

[焼結工程]

焼結工程は、成形体を真空中または不活性ガス雰囲気中で焼結し、焼結体を得る工程である。焼結条件は、組成、粉碎方法、平均粒径と粒度分布の違い等、諸条件により調整する必要がある。例えば、成形体に対して、真空中または不活性ガス雰囲気中、 1000 以上 1200 以下、1時間以上20時間以下で加熱する処理を行うことにより焼結する。上記の焼結条件で焼結することにより、高密度の焼結体を得られる。少なくとも 7.45Mg/m^3 以上の密度の焼結体を得る。焼結体の密度は 7.50Mg/m^3 以上であってもよい。なお、焼結体の密度は後述する粒界拡散工程後のR-T-B系永久磁石の密度と同等である。

50

【 0 0 7 0 】

[時効処理工程]

時効処理工程は、焼結体を焼結温度より低温で熱処理（時効処理）する工程である。時効処理を行うか否かには特に制限はなく、時効処理の回数にも特に制限はなく、所望の磁気特性に応じて適宜実施する。また、後述する粒界拡散工程が時効処理工程を兼ねてもよい。以下、時効処理を2回行う場合について説明する。

【 0 0 7 1 】

1回目の時効工程を第一時効工程、2回目の時効工程を第二時効工程とし、第一時効工程の時効温度をT1、第二時効工程の時効温度をT2とする。

【 0 0 7 2 】

第一時効工程におけるT1および時効時間には、特に制限はない。T1は700以上900以下とすることができる。時効時間は1時間以上10時間以下とすることができる。

【 0 0 7 3 】

第二時効工程におけるT2および時効時間には、特に制限はない。T2は450以上700以下とすることができる。時効時間は1時間以上10時間以下とすることができる。

【 0 0 7 4 】

このような時効処理によって、最終的に得られるR-T-B系永久磁石の磁気特性、特にHcJを向上させることができる。

【 0 0 7 5 】

[加工工程（粒界拡散前）]

必要に応じて、焼結体を所望の形状に加工する工程を有してもよい。加工方法は、例えば切断、研削などの形状加工や、パレル研磨などの面取り加工などが挙げられる。

【 0 0 7 6 】

[粒界拡散工程]

粒界拡散工程は、焼結体の表面に、拡散材を付着させ、拡散材が付着した焼結体を加熱することにより、実施できる。そして、HcJを向上させたR-T-B系永久磁石が得られる。拡散材の種類には特に制限はない。拡散材がRH（例えばTbおよび/またはDy）を含んでいてもよく、拡散材が下記の第1成分～第3成分を全て含んでもよい。第1成分は、Tbの水素化物および/またはDyの水素化物である。第2成分は、Ndの水素化物および/またはPrの水素化物である。第3成分は、Cuの単体、Cuを含む合金、および/または、Cuを含む化合物である。

【 0 0 7 7 】

第2成分に含まれるNdおよび/またはPr、および、第3成分に含まれるCuは、第1成分に含まれるTbおよび/またはDyよりも融点が高い。したがって、第2成分および第3成分は第1成分よりも先に粒界、特に二粒子粒界（2個の主相粒子の間に存在する粒界）に拡散する。そして、第2成分および第3成分が先に二粒子粒界に拡散することで、第1成分がさらに二粒子粒界に拡散しやすくなる。このため、拡散材が第1成分のみを含む場合と比較して、拡散材が第1成分～第3成分を全て含む場合には、より低い温度および短い時間でTbおよび/またはDyを二粒子粒界へ拡散させることができる。その結果、拡散材が第1成分のみを含む場合と比較して、Tbおよび/またはDyの拡散に要する温度を低下させることができ、拡散に要する時間を短縮させることができる。そして、Tbおよび/またはDyの主相粒子内部への過度の拡散が抑制される。なお、拡散材が第2成分と第3成分との両方を第1成分と共に含む場合には、第2成分と第3成分とのいずれか一方のみを第1成分と共に含む場合と比較して、Tbおよび/またはDyが二粒子粒界に拡散しやすくなる。

【 0 0 7 8 】

拡散材は、上記の第1成分～第3成分に加えて溶媒を含むスラリーであってもよい。スラリーに含まれる溶媒は、水以外の溶媒であってもよい。例えば、アルコール、アルデヒド

10

20

30

40

50

、ケトン等の有機溶媒であってもよい。さらに、拡散材は、バインダを含んでもよい。バインダの種類には特に制限はない。例えば、アクリル樹脂等の樹脂をバインダとして含んでもよい。バインダを含むことにより、拡散材が焼結体の表面に付着しやすくなる。

【0079】

拡散材は、上記の第1成分～第3成分に加えて溶媒およびバインダを含むペーストであってもよい。ペーストは、流動性および高い粘性を有する。ペーストの粘性は、スラリーの粘性よりも高い。

【0080】

粒界拡散前にスラリーまたはペーストを付着させた焼結体を乾燥させて溶媒を除去してもよい。

【0081】

粒界拡散工程における拡散処理温度は、800 以上950 以下としてもよい。粒界拡散工程では、拡散処理温度よりも低い温度（例えば500 程度）から拡散温度に至るまでの昇温速度を低くしてもよい。この場合には、600 程度の温度域において、主相粒子に含まれるNdおよび/またはPrが粒界へ染み出し、液相であるNdリッチ相および/またはPrリッチ相を形成しやすい。この結果、800 程度の温度域において、第1成分であるTbの水素化物および/またはDyの水素化物の溶解が進行しやすくなる。

【0082】

焼結体が拡散処理温度で維持される時間を拡散処理時間として、拡散処理時間は1時間以上50時間以下であってもよい。また、粒界拡散工程における雰囲気は非酸化的雰囲気、例えばアルゴン等の希ガス雰囲気であってもよい。なお、粒界拡散工程が前述した時効処理工程を兼ねてもよい。

【0083】

また、拡散処理後に、さらに熱処理を施してもよい。その場合の熱処理温度は450 以上600 以下としてもよい。熱処理時間は1時間以上10時間以下としてもよい。このような熱処理を行うことによって、最終的に得られるR-T-B系永久磁石の磁気特性、特にHcJを向上させることができる。

【0084】

[加工工程(粒界拡散後)]

粒界拡散工程の後には、R-T-B系永久磁石の表面に残存する拡散材を除去するために研磨を行ってもよい。また、R-T-B系永久磁石に対してその他の加工を行ってもよい。例えば切断、研削などの形状加工や、バレル研磨などの面取り加工を行ってもよい。

【0085】

なお、上記の製造方法では、粒界拡散前および粒界拡散後の加工工程を行っているが、これらの工程は、必ずしも行う必要はない。また、粒界拡散工程が時効工程を兼ねてもよい。粒界拡散工程が時効工程を兼ねる場合の加熱温度には、特に限定はない。粒界拡散工程において好ましい温度であり、かつ、時効工程においても好ましい温度で実施することが特に好ましい。

【0086】

特に、粒界拡散を行った後のR-T-B系永久磁石は、RHの濃度が、R-T-B系永久磁石の外側から内側に向かって低下する濃度勾配を有しやすい。また、粒界拡散を行った後のR-T-B系永久磁石に含まれる主相粒子は上記のコアシェル構造を有しやすい。

【0087】

このようにして得られるR-T-B系永久磁石は、所望の特性を有する。具体的には、Brおよび高温でのHcJが優れている。

【0088】

以上の方法により得られたR-T-B系永久磁石は、着磁することにより、磁気を帯びたR-T-B系永久磁石となる。

【0089】

上記のR-T-B系永久磁石は、モータ、発電機等の用途に好適に用いられる。特に、高

10

20

30

40

50

電流、高周波数で駆動するモータに好適に用いられる。

【0090】

従来の R - T - B 系永久磁石を高電流、高周波数で駆動するモータに用いると、R - T - B 系永久磁石に高熱が加わる場合や R - T - B 系永久磁石自体が発熱する場合がある。その結果、HcJ の低下が起こり、反磁界による減磁が起こりやすくなる。また、室温での HcJ が高い R - T - B 系永久磁石は Br が低くなりやすい。

【0091】

上記の R - T - B 系永久磁石を高電流、高周波数で駆動するモータに用いると、R - T - B 系永久磁石に高熱が加わる場合や R - T - B 系永久磁石自体が発熱する場合であっても、高温での HcJ が高いため、反磁界による減磁がおこりにくい。さらに、Br も高いため、高温での最大エネルギー積が大きくなる。したがって、上記の R - T - B 系永久磁石を含むモータは、特に、高電流、高周波数で駆動させた場合でも、高い出力を得ることができる。

10

【0092】

なお、本発明は、上述した実施形態に制限されるものではなく、本発明の範囲内で種々に改変することができる。

【0093】

R - T - B 系永久磁石の製造方法は上記の方法に制限されず、適宜変更してもよい。例えば、上記の R - T - B 系永久磁石の製造方法は焼結による製造方法であるが、R - T - B 系永久磁石が熱間加工によって製造されていてもよい。熱間加工によって R - T - B 系永久磁石を製造する方法は、以下の工程を有する。

20

- (a) 原料金属を溶解し、得られた溶湯を急冷して薄帯を得る溶解急冷工程
- (b) 薄帯を粉砕してフレーク状の原料粉末を得る粉砕工程
- (c) 粉砕した原料粉末を冷間成形する冷間成形工程
- (d) 冷間成形体を予備加熱する予備加熱工程
- (e) 予備加熱した冷間成形体を熱間成形する熱間成形工程
- (f) 熱間成形体を所定の形状に塑性変形させる熱間塑性加工工程
- (g) R - T - B 系永久磁石を時効処理する時効処理工程

なお、時効処理工程以降の工程は焼結により製造する場合と同様である。

【実施例】

30

【0094】

以下、本発明を、さらに詳細な実施例に基づき説明するが、本発明は、これら実施例に限定されない。

【0095】

(R - T - B 系永久磁石の作製)

ストリップキャスト法により、最終的に得られる R - T - B 系永久磁石の組成が表 1 および表 2 に示す各試料の組成となるように原料合金を作製した。表 1 および表 2 に記載されていない元素として、H、Si、Ca、La、Ce、Cr 等が最終的に得られる R - T - B 系永久磁石から検出される場合がある。Si は主にフェロボロン原料および合金溶解時のつぼから混入する。Ca、La、Ce は希土類の原料から混入する。また、Cr は電解鉄から混入する可能性がある。表 1 および表 2 において Fe の含有量を Bal. と記載しているのは、Fe の含有量がこれらの元素を含む R - T - B 系永久磁石を 100 質量%とした場合の残部であることを示すためである。

40

【0096】

次いで、前記原料合金に対して室温で 1 時間、水素ガスをフローさせて水素を吸蔵させた。次いで雰囲気 Ar ガスに切り替え、600 で 1 時間、脱水素処理を行い、原料合金を水素吸蔵粉砕した。

【0097】

次いで、原料合金の粉末に対し、質量比で 0.1% のオレイン酸アミドを粉砕助剤として添加し、ノウタミキサを用いて混合した。

50

【 0 0 9 8 】

次いで、衝突板式のジェットミル装置を用いて窒素気流中で微粉碎し、平均粒径が $3.5 \mu\text{m}$ 程度である微粉（原料粉末）を得た。なお、前記平均粒径は、レーザ回折式の粒度分布計で測定した平均粒径 D_{50} である。

【 0 0 9 9 】

得られた微粉を磁界中で成形して成形体を作製した。このときの印加磁場は 1200 kA/m の静磁界である。また、成形時の加圧力は 120 MPa とした。なお、磁界印加方向と加圧方向とを直交させるようにした。

【 0 1 0 0 】

次に、前記成形体を焼結し、焼結体を得た。焼結条件は、組成等により最適条件が異なるが、 $1050 \sim 1100$ の範囲内で4時間保持とした。焼結雰囲気は真空中とした。その後、 Ar 雰囲気、大気圧中で、第一時効温度 $T_1 = 850$ で1時間の第一時効処理を行い、さらに、第二時効温度 $T_2 = 520 \sim 560$ で1時間の第二時効処理を行った。

10

【 0 1 0 1 】

（拡散材ペーストの作製）

次に、粒界拡散に用いる拡散材ペーストを作製した。

【 0 1 0 2 】

まず、純度 99.9% の金属 Tb に対して水素ガスをフローさせて水素を吸蔵させた。次いで雰囲気を Ar ガスに切り替え、 600 で1時間、脱水素処理を行い、金属 Tb を水素吸蔵粉碎した。次に、粉碎助剤として、ステアリン酸亜鉛を金属 Tb 100 質量%に対して 0.05 質量%を添加し、ナウタミキサを用いて混合した。その後、酸素 3000 ppm を含んだ雰囲気中、ジェットミルを用いて微粉碎を行い、平均粒径が $10.0 \mu\text{m}$ 程度である Tb 水素化物の微粉碎粉末を得た。

20

【 0 1 0 3 】

次に、純度 99.9% の金属 Nd から平均粒径が $10.0 \mu\text{m}$ 程度である Nd 水素化物の微粉碎粉末を得た。 Nd 水素化物の微粉碎粉末を得る方法は Tb 水素化物の微粉碎粉末を得る方法と同一である。

【 0 1 0 4 】

Tb 水素化物の微粉碎粉末 46.8 質量部と、 Nd 水素化物の微粉碎粉末 17.0 質量部と、金属 Cu 粉末 11.2 質量部と、アルコール 23 質量部と、アクリル樹脂 2 質量部と、を混練し、拡散材ペーストを作製した。なお、アルコールは溶媒であり、アクリル樹脂はバインダである。

30

【 0 1 0 5 】

（拡散材ペーストの塗布および熱処理）

上記の焼結体を、縦 11 mm × 横 11 mm × 厚み 4.2 mm （磁化容易軸方向厚み 4.2 mm ）に加工した。そして、エタノール 100 質量部に対し硝酸 3 質量部とした硝酸とエタノールとの混合溶液に3分間浸漬させた後にエタノールに1分間浸漬するエッチング処理を行った。混合溶液に3分間浸漬させた後にエタノールに1分間浸漬させるエッチング処理は2回行った。

40

【 0 1 0 6 】

次いで、エッチング処理後の焼結体の全面に対し、上記の拡散材ペーストを塗布した。拡散材ペーストの塗布量は、最終的に得られる R-T-B 系永久磁石の組成が表1および表2に示す組成となるようにした。

【 0 1 0 7 】

次に、拡散材ペーストを塗布した焼結体を 160 のオープン中に放置し、拡散材ペースト中の溶媒を除去した。そして、大気圧（ 1 atm ）で Ar をフローしながら 930 で 18 時間、加熱した。その後、大気圧で Ar をフローしながら $520 \sim 560$ で4時間、加熱した。以上より、表1および表2に示す各試料の R-T-B 系永久磁石を得た。

【 0 1 0 8 】

50

R - T - B系永久磁石の表面を各面あたり0.1 mm削り落とした後に、組成、焼結性および磁気特性を評価した。

【0109】

得られた各R - T - B系焼結磁石の平均組成を測定した。各試料をスタンプミルにより粉碎し、分析に供した。各種元素量については、蛍光X線分析により測定した。Bの含有量はICP分析により測定した。Oの含有量は不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法により、Cの含有量は酸素気流中燃焼 - 赤外線吸収法により、Nの含有量は不活性ガス融解 - 熱伝導度法により測定した。そして、R - T - B系永久磁石の組成が表1および表2に記載されている組成となっていることを確認した。

【0110】

焼結性は、各実験例の密度を測定することで評価した。密度が 7.45 Mg/m^3 以上である場合に焼結性を可とし、 7.45 Mg/m^3 未満である場合を不可とした。焼結性が不可である実験例については、磁気特性の測定を行わなかった。

【0111】

R - T - B系永久磁石をパーティクル加工により縦11 mm × 横11 mm × 厚さ4.2 mm（磁化容易軸方向が4.2 mm）に加工し、BHトレースで室温での磁気特性の評価を行った。なお、磁気特性の測定前に4000 kA/mのパルス磁場によりR - T - B系永久磁石を着磁した。また、R - T - B系永久磁石の厚みが薄いため、磁石を3枚重ねて磁気特性を評価した。本実施例では室温でのHcJに加えて160 に加熱した場合のHcJを測定した。

【0112】

なお、本実施例では、R - T - B系永久磁石のBrは室温において1475 mT以上を良好とし、1490 mT以上をさらに良好とした。R - T - B系永久磁石の160 でのHcJは690 kA/m以上を良好とし、700 kA/m以上をさらに良好とした。

【0113】

R - T - B系永久磁石の室温でのBr、160 でのHcJがともに良好である場合にR - T - B系永久磁石の磁気特性を可とした。室温でのBrもしくは160 でのHcJのいずれか一つ以上が良好ではない場合にR - T - B系永久磁石の磁気特性を不可とした。結果を表1および表2に示す。

【0114】

【表 1】

表 1

試料 番号	実施例 /比較例	RL			RH		TRE (mass%)	B (mass%)	Al (mass%)	Ga (mass%)	Zr (mass%)	Mn (mass%)	Cu (mass%)	Co (mass%)	Fe (mass%)	C (ppm)	N (ppm)	O (ppm)	焼結性	磁気特性			評価
		Nd (mass%)	Pr (mass%)	TRL (mass%)	Tb (mass%)	Hc(RT) (mT)														Hc(RT) (kA/m)	Hc(160°C) (kA/m)		
1	比較例	30.00	0.02	30.02	0.30	30.32	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	907	510	509	可	1483	1776	705	不可	
2	実施例	29.49	0.01	29.50	0.30	29.81	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	902	503	504	可	1476	1773	704	可	
3	実施例	29.30	0.02	29.32	0.30	29.62	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	903	503	509	可	1483	1773	704	可	
4	実施例	29.10	0.01	29.11	0.30	29.41	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	901	501	501	可	1491	1771	703	可	
5	実施例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可	
6	実施例	28.90	0.02	28.92	0.30	29.22	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1497	1765	701	可	
7	実施例	28.46	0.04	28.84	0.30	29.14	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	908	509	506	可	1503	1746	693	可	
8	実施例	28.80	0.04	28.50	0.30	28.84	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	910	504	502	不可	測定せず				
9	比較例	28.00	0.01	28.01	0.30	28.31	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	910	509	506	可	1497	1750	693	可	
10	実施例	29.02	0.00	29.02	0.30	29.32	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可	
11	実施例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	902	506	507	可	1493	1791	701	可	
12	実施例	28.70	0.30	29.00	0.30	29.30	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	904	508	504	可	1490	1800	700	可	
13	実施例	28.00	1.00	29.00	0.30	29.30	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	909	504	505	可	1481	1905	697	可	
14	実施例	24.00	5.00	29.00	0.30	29.30	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	901	508	502	可	1477	1919	694	可	
15	実施例	21.60	7.40	29.00	0.30	29.30	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	906	509	505	可	1476	1939	691	可	
5	実施例	19.00	10.00	29.00	0.30	29.30	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可	
16	実施例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	908	504	504	可	1485	1870	782	可	
		28.92	0.03	28.95	0.75	29.70	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.39	1.00	Bal.									

【 0 1 1 5 】

10

20

30

40

50

【表 2】

表 2

試料 番号	実施例 /比較例	RL										TRE	B (mass%)	Al (mass%)	Ga (mass%)	Zr (mass%)	Mn (mass%)	Cu (mass%)	Co (mass%)	Fe (mass%)	C (ppm)	N (ppm)	O (ppm)	磁性特性			評価
		Nd (mass%)	Pr (mass%)	TrL (mass%)	Tb (mass%)	RH	Br(RT) (mT)	Hc(RT) (kA/m)	Hc(160°C) (kA/m)																		
21	比較例	29.01	0.00	29.01	0.30	29.31	1.00	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	904	501	503	可	1495	1729	671	不可					
22	実施例	29.03	0.03	29.06	0.30	29.36	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	906	507	508	可	1496	1759	693	可					
5	実施例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可					
23	比較例	29.01	0.01	29.02	0.30	29.32	0.93	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	903	508	507	可	1492	1781	698	可					
24	比較例	29.02	0.04	29.06	0.30	29.36	0.91	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	901	502	510	可	1489	1723	669	不可					
25	比較例	29.01	0.04	29.05	0.30	29.35	0.96	0.02	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	907	507	503	可	1510	1686	669	不可					
26	実施例	29.04	0.02	29.06	0.30	29.36	0.96	0.03	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	501	505	可	1505	1745	693	可					
27	実施例	29.03	0.03	29.06	0.30	29.33	0.96	0.05	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	507	可	1504	1762	696	可					
28	比較例	29.01	0.05	29.06	0.30	29.31	0.96	0.09	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	902	504	502	可	1503	1768	701	可					
5	実施例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	908	504	508	可	1483	1793	712	可					
29	比較例	29.01	0.03	29.04	0.30	29.34	0.96	0.25	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	901	509	509	可	1465	1801	715	不可					
31	比較例	29.03	0.03	29.06	0.30	29.36	0.96	0.10	0.02	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	903	508	510	可	1497	1730	687	不可					
32	実施例	29.01	0.04	29.05	0.30	29.35	0.96	0.10	0.03	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	902	502	506	可	1497	1757	697	可					
33	比較例	29.02	0.03	29.05	0.30	29.32	0.96	0.10	0.06	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	906	506	505	可	1496	1763	700	可					
34	実施例	29.04	0.04	29.08	0.30	29.34	0.96	0.10	0.09	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	509	502	可	1496	1769	702	可					
5	比較例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可					
35	実施例	29.02	0.02	29.04	0.30	29.34	0.96	0.10	0.15	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	909	506	502	可	1490	1759	698	可					
36	比較例	29.01	0.05	29.06	0.30	29.36	0.96	0.10	0.20	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	906	510	507	可	1470	1720	669	不可					
37	比較例	29.01	0.02	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.20	0.03	0.20	1.00	Bal.	903	510	509	可	1493	1610	639	不可					
38	実施例	29.02	0.05	29.07	0.30	29.37	0.96	0.10	0.10	0.30	0.03	0.20	1.00	Bal.	907	505	508	可	1494	1768	702	可					
5	比較例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.35	0.03	0.20	1.00	Bal.	905	506	501	可	1495	1770	703	可					
39	実施例	29.01	0.03	29.04	0.30	29.34	0.96	0.10	0.10	0.50	0.03	0.20	1.00	Bal.	901	507	510	可	1493	1771	703	可					
40	比較例	29.00	0.03	29.03	0.30	29.33	0.96	0.10	0.10	0.60	0.03	0.20	1.00	Bal.	906	503	501	可	1470	1766	665	不可					

10

20

30

40

【0116】

表 1 には、R - T - B系永久磁石の R の種類および含有量を変化させた点以外は同条件で実施した実施例および比較例を記載した。特定の範囲内の組成を有する各実施例は全て磁気特性が良好であった。これに対し、TRE が大きすぎる試料番号 1 は Br が低下した。TRE が小さすぎる試料番号 9 は焼結性が低下した。

【0117】

表 2 には、R - T - B系永久磁石の B , Al , Ga および Zr の含有量を変化させた実施例および比較例を記載した。特定の範囲内の組成を有する各実施例は全て磁気特性が良好であった。これに対し、B , Al , Ga または Zr の含有量が特定の範囲外である比較例

50

は B_r および / または 160 での $H_c J$ が低下した。

【0118】

なお、全ての実施例および比較例の R - T - B 系永久磁石について、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いて Tb 濃度勾配を分析し、Tb の濃度勾配が、外側から内側に向かって低下する濃度勾配であることを確認した。

【符号の説明】

【0119】

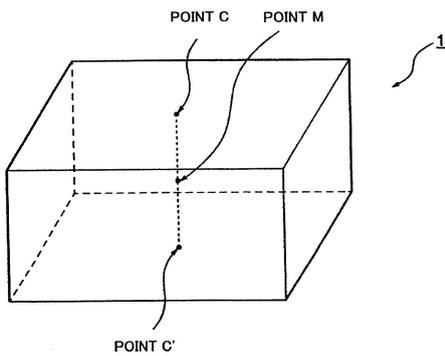
1 ... R - T - B 系永久磁石

【図面】

【図1】

10

図1



20

30

40

50