

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-102707

(P2019-102707A)

(43) 公開日 令和1年6月24日(2019.6.24)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)				
<b>H01F</b>	<b>1/057</b>	<b>(2006.01)</b>	H01F	1/057	170	4K018	
<b>H01F</b>	<b>41/02</b>	<b>(2006.01)</b>	H01F	41/02		G	5E040
<b>C22C</b>	<b>38/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C22C	38/00	303D		5E062
<b>B22F</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B22F	3/00		F	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2017-233828 (P2017-233828)	(71) 出願人	000003067 TDK株式会社 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(22) 出願日	平成29年12月5日 (2017.12.5)	(74) 代理人	110001494 前田・鈴木国際特許業務法人
		(72) 発明者	土塔 寛 東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内
		(72) 発明者	増澤 清幸 東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内
		(72) 発明者	中根 誠 東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 R-T-B系永久磁石

(57) 【要約】

【課題】 残留磁束密度および保磁力が高く、重希土類元素を粒界拡散させることによる保磁力向上効果が大きいR-T-B系永久磁石を提供する。

【解決手段】 Rが希土類元素であり、TがFeおよびCoであり、Bがホウ素であるR-T-B系永久磁石である。Rとして少なくともDyを含有する。Mを含有し、Mは、Cu、Ga、Al、Mn、Zr、Ti、Cr、Ni、Nb、Ag、Hf、Ta、W、Si、Bi、Snから選択される1種以上の元素である。Mとして少なくともCuを含有する。R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、Rの合計含有量が28.0質量%~30.2質量%、Dyの含有量が1.0質量%~6.5質量%、Cuの含有量が0.04質量%~0.50質量%、Coの含有量が0.5質量%~3.0質量%、Bの含有量が0.85質量%~0.95質量%である。

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

R が希土類元素であり、T が Fe および Co であり、B がホウ素である R - T - B 系永久磁石であって、

R として少なくとも Dy を含有し、

M を含有し、M は、Cu、Ga、Al、Mn、Zr、Ti、Cr、Ni、Nb、Ag、Hf、Ta、W、Si、Bi、Sn から選択される 1 種以上の元素であり、

M として少なくとも Cu を含有し、

R、T、B および M の合計質量を 100 質量%として、

R の合計含有量が 28.0 質量% ~ 30.2 質量%、

Dy の含有量が 1.0 質量% ~ 6.5 質量%、

Cu の含有量が 0.04 質量% ~ 0.50 質量%、

Co の含有量が 0.5 質量% ~ 3.0 質量%、

B の含有量が 0.85 質量% ~ 0.95 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】

R の合計含有量が 29.2 質量% ~ 30.2 質量%である請求項 1 に記載の R - T - B 系永久磁石。

## 【請求項 3】

R として少なくとも Nd を含有する請求項 1 または 2 に記載の R - T - B 系永久磁石。

20

## 【請求項 4】

R として少なくとも Pr を含有し、Pr の含有量が 0 より大きく 10.0 質量%以下である請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石。

## 【請求項 5】

R の合計含有量を TRE とする場合に、TRE / B が原子数比で 2.19 ~ 2.60 である請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石。

## 【請求項 6】

R の合計含有量を TRE とする場合に、Pr / TRE が原子数比で 0 以上 0.25 未満である請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石。

## 【請求項 7】

$14B / (Fe + Co)$  が原子数比で 0 より大きく 1.01 以下である請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の R - T - B 系永久磁石。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、R - T - B 系永久磁石に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

R - T - B 系の組成を有する希土類永久磁石は、優れた磁気特性を有する磁石であり、その磁気特性の更なる向上を目指して多くの検討がなされている。磁気特性を表す指標としては、一般的に、残留磁束密度（残留磁化）Br および保磁力 HcJ が用いられる。これらの値が高い磁石は優れた磁気特性を有するといえる。

40

## 【0003】

例えば、特許文献 1 には、Dy を添加することで良好な磁気特性、耐食性を有する Nd - Fe - B 系希土類永久磁石が記載されている。

## 【0004】

また、特許文献 2 では、各種希土類元素を含有する微粉末を水あるいは有機溶媒に分散させたスラリーに磁石体を浸漬させた後に加熱して粒界拡散させた希土類永久磁石が記載

50

されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3080275号公報

【特許文献2】国際公開第2006/43348号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、残留磁束密度および保磁力が高く、重希土類元素を粒界拡散させることによる保磁力向上効果が大きいR-T-B系永久磁石を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

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が希土類元素であり、TがFeおよびCoであり、Bがホウ素であるR-T-B系永久磁石であって、

Rとして少なくともDyを含有し、

Mを含有し、Mは、Cu、Ga、Al、Mn、Zr、Ti、Cr、Ni、Nb、Ag、Hf、Ta、W、Si、Bi、Snから選択される1種以上の元素であり、

Mとして少なくともCuを含有し、

20

R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、

Rの合計含有量が28.0質量%~30.2質量%、

Dyの含有量が1.0質量%~6.5質量%、

Cuの含有量が0.04質量%~0.50質量%、

Coの含有量が0.5質量%~3.0質量%、

Bの含有量が0.85質量%~0.95質量%であることを特徴とする。

【0008】

本願発明のR-T-B系永久磁石は、上記の範囲内の組成を有することで、残留磁束密度および保磁力が高いR-T-B系永久磁石となる。そして、当該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による保磁力向上効果が大きくなる。

30

【0009】

Rの合計含有量が29.2質量%~30.2質量%であってもよい。

【0010】

Rとして少なくともNdを含有していてもよい。

【0011】

Rとして少なくともPrを含有してもよく、Prの含有量が0より大きく10.0質量%以下であってもよく、5.0質量%~10.0質量%であってもよい。

【0012】

Dyの含有量が2.5質量%~6.5質量%であってもよい。

【0013】

40

Rとして少なくともNdおよびPrを含有していてもよい。

【0014】

MとしてさらにGaを含有してもよく、

Gaの含有量が0.08質量%~0.30質量%であってもよい。

【0015】

MとしてさらにAlを含有してもよく、

Alの含有量が0.15質量%~0.30質量%であってもよい。

【0016】

MとしてさらにZrを含有してもよく、

Zrの含有量が0.10質量%~0.30質量%であってもよい。

50

## 【0017】

Rの合計含有量をTREとする場合に、 $TRE/B$ が原子数比で2.19～2.60であってよい。

## 【0018】

Rの合計含有量をTREとする場合に、 $Pr/TRE$ が原子数比で0.250未満(0を含む)であってよい。

## 【0019】

$14B/(Fe+Co)$ が原子数比で0より大きく1.01以下であってよい。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

以下、本発明の一実施形態について説明する。

## 【0021】

< R - T - B系永久磁石 >

本実施形態に係るR - T - B系永久磁石は、 $R_2T_{14}B$ 結晶から成る粒子および粒界を有する。そして、複数の特定の元素を特定の範囲の含有量で含有することにより、残留磁束密度Br、保磁力HcJ、耐食性および製造安定性を向上させることができる。さらに、後述する粒界拡散における残留磁束密度Brの低下幅を小さくし、保磁力HcJの増加幅を大きくすることができる。すなわち、本実施形態に係るR - T - B系永久磁石は、粒界拡散工程なしでも優れた特性を有し、かつ、粒界拡散にも適したR - T - B系永久磁石である。また、保磁力HcJを向上させる観点から、粒界拡散で拡散させる元素は重希土類元素が好ましい。

## 【0022】

Rは希土類元素である。希土類元素とは、長周期型周期表の第3族に属するScとYとランタノイド元素を含む。ランタノイド元素には、例えば、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luが含まれる。また、RとしてNdを含むことが好ましい。

## 【0023】

一般に希土類元素は軽希土類元素と重希土類元素とに分類されるが、本実施形態に係るR - T - B系永久磁石における重希土類元素はGd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Luである。

## 【0024】

Tは、FeおよびCoである。また、RにもMにも含まれない遷移金属および不可避不純物などを含んでもよい。RにもMにも含まれない遷移金属および不可避不純物の含有量は合計0.1質量%以下とすることが好ましく、0.05質量%以下がより好ましい。なお、TにはC、OおよびNは含まれない。

## 【0025】

Bは、ホウ素である。

## 【0026】

Mは、Cu、Ga、Al、Mn、Zr、Ti、Cr、Ni、Nb、Ag、Hf、Ta、W、Si、Bi、Snから選択される1種以上の元素である。また、Mとして少なくともCuを含む。

## 【0027】

Rの合計含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、28.0質量%以上30.2質量%以下である。Rの合計含有量が少なすぎる場合には、保磁力HcJが低下する。Rの合計含有量が多すぎる場合には、残留磁束密度Brおよび耐食性が低下する。さらに、重希土類元素の粒界拡散による保磁力HcJの向上効果が小さくなる。また、Rの合計含有量は29.2質量%以上30.2質量%以下であってよい。Rの合計含有量を29.2質量%以上とすることで、焼結時の変形量が少なくなり、製造安定性が向上する。Rの合計含有量を29.2質量%以上30.2質量%以下とし、後述するようにBの含有量を0.88質量%以上0.95質量%以下とすることで、角型比Hk/H

10

20

30

40

50

c Jもさらに向上する。

【0028】

さらに、本実施形態のR-T-B系永久磁石は、NdおよびPrの合計含有量が任意である。また、Ndの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を1000質量%として、0質量%~30.2質量%であってもよく、0質量%~29.7質量%であってもよく、19.7質量%~29.7質量%、19.7質量%~24.7質量%、19.7質量%~22.6質量%であってもよい。また、Prの含有量は0.0質量%~10.0質量%であってもよい。すなわち、Prを含有しなくてもよい。Prの含有量は5.0質量%以上10.0質量%以下であってもよく、5.0質量%以上7.5質量%以下であってもよい。また、Prの含有量が10.0質量%以下である場合には保磁力HcJの温度変化率が優れる。特に高温における保磁力HcJを高くする観点からはPrの含有量を0.0質量%~7.5質量%とするのが好ましい。

10

【0029】

また、本実施形態のR-T-B系永久磁石は、RとしてDyを1.0質量%以上、6.5質量%以下含む。Dyの含有量が少なすぎる場合には保磁力HcJおよび耐食性が低下する。Dyの含有量が多すぎる場合には残留磁束密度Brが低下し、コストアップの要因となる。また、Dyの含有量が2.5質量%以上、6.5質量%以下であることが好ましい。Dyの含有量が2.5質量%以上、6.5質量%以下である場合には、保磁力HcJがさらに向上するとともに、高温減磁率が小さくなる。

20

【0030】

本実施形態のR-T-B系永久磁石は、RとしてTbを0.5質量%以下、含んでも良い。Tbの含有量を0.5質量%以下とすることで残留磁束密度Brを良好に保ちやすい。

【0031】

本明細書における高温減磁率の定義について以下に示す。まず、4000kA/mのパルス磁場により試料の着磁を行う。室温(23 )における試料の総磁束量をB0とする。次に、試料を200 に2時間高温暴露し、室温に戻す。試料温度が室温に戻ったら、再度総磁束量を測定し、これをB1とする。このときに、本明細書における高温減磁率をDとすると、

$$D = 100 * (B1 - B0) / B0 (\%)$$

30

である。上式で計算される高温減磁率の絶対値が小さいことを単に高温減磁率が小さいと記載する場合がある。

【0032】

Coの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.5質量%以上3.0質量%以下である。Coを含有することで耐食性が向上する。Coの含有量が0.5質量%未満であると、最終的に得られるR-T-B系永久磁石の耐食性が悪化する。Coの含有量が3.0質量%を超えると、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。また、Coの含有量は、1.0質量%以上3.0質量%以下であってもよい。

【0033】

Bの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.85質量%以上0.95質量%以下である。Bが0.85質量%未満であると高角型性を実現しにくくなる。すなわち、角型比Hk/HcJを向上させにくくなる。Bが0.95質量%超であると、粒界拡散後の角型比Hk/HcJが低下する。また、Bの含有量は0.88質量%以上0.94質量%以下であってもよい。Bの含有量を0.88質量%以上とすることで、残留磁束密度Brおよび角型比Hk/HcJがさらに向上する傾向にある。Bの含有量を0.94質量%以下とすることで、保磁力HcJがさらに向上する傾向にある。

40

【0034】

Mの合計含有量は任意であるが、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.04質量%以上1.5質量%以下であることが好ましい。Mの合計含有量が多すぎ

50

る場合には残留磁束密度  $B_r$  が低下する傾向がある。

【0035】

Cuの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.04質量%以上0.50質量%以下である。Cuの含有量が0.04質量%未満であると、保磁力  $H_c J$  が低下する傾向にある。また、重希土類拡散（いわゆる粒界拡散）による保磁力  $H_c J$  の向上幅  $H_c J$  が不十分となり、重希土類拡散後の保磁力  $H_c J$  も低下する傾向にある。Cuの含有量が0.50質量%を超えると、保磁力  $H_c J$  が低下する傾向にあり、さらに残留磁束密度  $B_r$  が低下する傾向にある。また、重希土類拡散による保磁力  $H_c J$  の向上幅  $H_c J$  が飽和するとともに、残留磁束密度  $B_r$  が低下する傾向にある。また、Cuの含有量は、0.10質量%以上0.50質量%以下であってもよく、0.10質量%以上0.30質量%以下であってもよい。Cuを0.10質量%以上含有することにより耐食性が向上する傾向にある。

10

【0036】

Gaの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.08質量%以上0.30質量%以下であってもよい。Gaを0.08質量%以上含有することで保磁力  $H_c J$  を十分に向上させることができる。0.30質量%を超えると、副相（例えば、R-T-Ga相）が生成しやすくなり、残留磁束密度  $B_r$  が低下する。また、Gaの含有量は、0.10質量%以上0.25質量%以下であってもよい。

【0037】

Alの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.15質量%以上0.30質量%以下であってもよい。Alの含有量を0.15質量%以上とすることで、保磁力  $H_c J$  を向上させることができる。さらに、時効温度および/または重希土類拡散後の熱処理温度の変化に対する保磁力  $H_c J$  の変化が小さくなり、量産時における特性のばらつきが小さくなる。すなわち、製造安定性が向上する。Alの含有量が0.30質量%以下であることにより、重希土類拡散前および重希土類拡散後の残留磁束密度  $B_r$  を向上させることができる。さらに、保磁力  $H_c J$  の温度変化率を向上させることができる。また、Alの含有量は0.15質量%以上0.25質量%以下であってもよい。Alの含有量を0.15質量%以上0.25質量%以下とすることにより、時効温度および/または重希土類拡散後の熱処理温度の変化に対する保磁力の変化がさらに小さくなる。

20

【0038】

Zrの含有量は、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.10質量%以上0.30質量%以下であってもよい。Zrを含有することで、焼結時の異常粒成長を抑制し、角型比  $H_k / H_c J$  および低磁場下での着磁率が改善される。Zrの含有量を0.10質量%以上とすることにより、Zrの含有による焼結時の異常粒成長抑制効果が大きくなり、角型比  $H_k / H_c J$  および低磁場下での着磁率が改善する。また、保磁力  $H_c J$  が向上しやすくなる。0.30質量%以下とすることにより、残留磁束密度  $B_r$  を向上させることができる。また、Zrの含有量は、0.15質量%以上0.30質量%以下であってもよく、0.15質量%以上0.25質量%以下であってもよい。Zrの含有量を0.15質量%以上とすることにより、焼結安定温度範囲が広がる。すなわち、焼結時において異常粒成長抑制効果がさらに大きくなる。そして、特性のバラツキが小さくなり、製造安定性が向上する。

30

40

【0039】

また、本実施形態に係るR-T-B系永久磁石は、Mnを含んでもよい。Mnを含む場合には、Mnの含有量が、R、T、BおよびMの合計質量を100質量%として、0.02質量%~0.10質量%であってもよい。Mnの含有量が0.02質量%以上であると、残留磁束密度  $B_r$  が向上する傾向にあるとともに、重希土類元素拡散後の保磁力  $H_c J$  の向上幅  $H_c J$  が向上する傾向にある。Mnの含有量が0.10質量%以下であると、保磁力  $H_c J$  が向上する傾向にあるとともに、重希土類元素拡散後の保磁力  $H_c J$  の向上幅  $H_c J$  が向上する傾向にある。また、Mnの含有量は0.02質量%以上0.06質量%以下であってもよい。

50

## 【0040】

また、R元素の合計含有量をTREとしたときに、TRE/Bが原子数比で2.19以上2.60以下であってよい。TRE/Bが上記の範囲内であることで、残留磁束密度Brおよび保磁力HcJが向上する。さらに、重希土類元素の粒界拡散後における残留磁束密度Brおよび保磁力HcJも向上する。

## 【0041】

また、R元素の含有量の合計をTREとしたときに、Pr/TREが原子数比で0以上0.250未満であってよい。Pr/TREが上記の範囲内であることで耐食性が向上する傾向にある。

## 【0042】

また、 $14B/(Fe+Co)$ が原子数比で0より大きく1.01以下であってよい。 $14B/(Fe+Co)$ が1.01以下であることで粒界拡散後の角型比Hk/HcJが向上する傾向にある。 $14B/(Fe+Co)$ は1.00以下であってよい。

## 【0043】

本実施形態に係るR-T-B系永久磁石における炭素(C)の含有量は、R-T-B系永久磁石の総質量に対して1100ppm以下であってよく、1000ppm以下、または900ppm以下であってよい。また、600ppm~1100ppm、600ppm~1000ppm、または600ppm~900ppmであってよい。炭素の含有量を1100ppm以下とすることで重希土類拡散前後における保磁力HcJが向上する傾向にある。特に重希土類拡散後における保磁力HcJを向上させる観点からは、炭素の含有量を900ppm以下とすることができる。また、炭素の含有量が、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く、コストアップ要因となる。

## 【0044】

なお、特に重希土類拡散後における角型比Hk/HcJを向上させる観点からは、炭素の含有量を800ppm~1100ppmとしてもよい。

## 【0045】

本実施形態に係るR-T-B系永久磁石において、窒素(N)の含有量は、R-T-B系永久磁石の総質量に対して1000ppm以下であってよく、700ppm以下、または600ppm以下であってよい。また、250ppm~1000ppm、250ppm~700ppm、または250ppm~600ppmであってよい。窒素の含有量が少ないほど保磁力HcJが向上しやすくなる。また、窒素の含有量が、250ppm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く、コストアップ要因となる。

## 【0046】

本実施形態に係るR-T-B系永久磁石において、酸素(O)の含有量は、R-T-B系永久磁石の総質量に対して1000ppm以下であってよく、800ppm以下であってよく、700ppm以下、または500ppm以下であってよい。また、350ppm~500ppmであってよい。酸素の含有量が少ないほど重希土類拡散前の保磁力HcJが向上しやすくなる。また、酸素の含有量が、350ppm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く、コストアップ要因となる。さらに、Rの合計含有量を29.2質量%以上としつつ、酸素の含有量を1000ppm以下、800ppm以下、700ppm以下、または500ppm以下に低減することで焼結時の変形を抑制でき、製造安定性を向上させることができる。また、酸素の含有量を1000ppm以上、3000ppm以下とすることで耐食性を向上させることができる。

## 【0047】

Rの合計含有量を所定量以上としつつ酸素の含有量を低減することで焼結時の変形を抑制できるのは、以下に示す理由であると考えられる。R-T-B系永久磁石の焼結機構は液相焼結であり、Rリッチ相と言われる粒界相成分が焼結時に液相を生成して、緻密化を促進する。一方、酸素はRリッチ相と反応しやすく、酸素の含有量が増えると希土類酸化物相

10

20

30

40

50

が形成され、Rリッチ相量が減少する。一般に焼結炉内にはごく微量であるが酸化性の不純物ガスが存在する。このため、焼結過程において成形体表面近傍でRリッチ相が酸化され、局所的にRリッチ相量が減少することがある。Rの合計含有量が多く、酸素の含有量が少ない組成ではRリッチ相量が多く、酸化が焼結時の収縮挙動へ与える影響は小さい。Rの合計含有量が少ないおよび/または酸素の含有量が多い組成ではRリッチ相量が少ないため、焼結過程での酸化は焼結時の収縮挙動に影響を与える。結果として、部分的に縮率、すなわち寸法が変化することで焼結体の変形が起こる。したがって、Rの合計含有量を所定量以上としつつ酸素の含有量を低減することで焼結時の変形を抑制できる。

#### 【0048】

なお、本実施形態に係る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。酸素の含有量は、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。炭素の含有量は、例えば、酸素気流中燃焼-赤外線吸収法により測定される。窒素の含有量は、例えば、不活性ガス融解-熱伝導度法により測定される。

10

#### 【0049】

本実施形態に係るR-T-B系永久磁石は任意の形状を有する。例えば、直方体、アーチ形状、C形状などが挙げられる。

#### 【0050】

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。

20

#### 【0051】

##### [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。本実施形態では、単独の合金を使用する1合金法の場合について説明するが、組成の異なる第1合金と第2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。

#### 【0052】

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、本実施形態に係る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。

30

#### 【0053】

原料金属としては、例えば、希土類金属あるいは希土類合金、純鉄、フェロボロン、CoやCu等の金属、さらにはこれらの合金や化合物等を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は任意の方法としてもよい。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。

#### 【0054】

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、各工程の酸素の濃度を200ppm以下としてもよい。各工程の酸素濃度を制御することで、R-T-B系永久磁石に含まれる酸素量を制御することができる。

40

#### 【0055】

以下、前記粉砕工程として、粒径が数百 $\mu\text{m}$ ~数mm程度になるまで粉砕する粗粉砕工程と、粒径が数 $\mu\text{m}$ 程度になるまで微粉砕する微粉砕工程の2段階で実施する場合を以下に記述するが、微粉砕工程のみの1段階で実施してもよい。

#### 【0056】

粗粉砕工程では、粒径が数百 $\mu\text{m}$ ~数mm程度になるまで粗粉砕する。これにより、粗粉砕粉末を得る。粗粉砕の方法は任意の方法で行ってもよく、水素吸蔵粉砕を行う方法や粗粉砕機を用いる方法など、公知の方法で行うことができる。水素吸蔵粉砕を行う場合、脱水素処理時の雰囲気中窒素ガス濃度の制御を行うことで、R-T-B系永久磁石に含ま

50

れる窒素量を制御することができる。

【0057】

次に、得られた粗粉碎粉末を平均粒子径が数 $\mu\text{m}$ 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 $3\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であってもよい。微粉碎工程の雰囲気中窒素ガス濃度の制御を行うことで、R-T-B系永久磁石に含まれる窒素量を制御することができる。

【0058】

微粉碎は任意の方法で実施される。例えば、各種微粉碎機を用いる方法で実施される。

【0059】

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、成形時に配向性の高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系永久磁石に含まれる炭素量を制御することができる。

【0060】

[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。成形は任意の方法で行ってよい。本実施形態では、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、主相結晶が特定方向に配向しているので、より残留磁束密度の高いR-T-B系永久磁石が得られる。

【0061】

成形時の加圧は、 $20\text{MPa} \sim 300\text{MPa}$ で行うことができる。印加する磁場は、 $950\text{kA/m}$ 以上とすることができ、 $950\text{kA/m} \sim 1600\text{kA/m}$ とすることもできる。印加する磁場は静磁場に制限されず、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を併用することもできる。

【0062】

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。

【0063】

微粉碎粉末を成形して得られる成形体の形状は任意の形状とすることができる。また、この時点での成形体の密度は $4.0\text{Mg/m}^3 \sim 4.3\text{Mg/m}^3$ とすることができる。

【0064】

[焼結工程]

焼結工程は、成形体を真空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。焼結温度は、組成、粉碎方法、粒度と粒度分布の違い等、諸条件により調整する必要があるが、成形体に対して、例えば、真空中または不活性ガスの存在下、 $1000$ 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成する。これにより、高密度の焼結体を得られる。本実施形態では、最低 $7.45\text{Mg/m}^3$ 以上の密度の焼結体を得る。焼結体の密度は $7.50\text{Mg/m}^3$ 以上であってもよい。

【0065】

[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。本実施形態に係るR-T-B系永久磁石では2回の時効処理を行う。以下、時効処理を2回行う実施形態について説明する。

【0066】

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 $T_1$ 、第二時効工程の時効温度を $T_2$ とする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 7 】

第一時効工程における温度  $T_1$  および時効時間には、特に制限はない。700 以上 900 以下で1時間～10時間とすることができる。

## 【 0 0 6 8 】

第二時効工程における温度  $T_2$  および時効時間には、特に制限はない。450 以上 700 以下で1時間～10時間とすることができる。

## 【 0 0 6 9 】

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、特に保磁力  $H_c J$  を向上させることができる。

## 【 0 0 7 0 】

また、本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石の製造安定性は、時効温度の変化に対する磁気特性の変化量の大きさで確認できる。例えば、時効温度の変化に対する磁気特性の変化量が大きければ、わずかな時効温度の変化で磁気特性が変化することとなる。このため、時効工程において許容される時効温度の範囲が狭くなり、製造安定性が低くなる。逆に、時効温度の変化に対する磁気特性の変化量が小さければ、時効温度が変化しても磁気特性が変化しにくいこととなる。このため、時効工程において許容される時効温度の範囲が広くなり、製造安定性が高くなる。

## 【 0 0 7 1 】

このようにして得られる本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石は、所望の特性を有する。具体的には、残留磁束密度  $B_r$  および保磁力  $H_c J$  が高く、耐食性と製造安定性も優れている。さらに、後述する粒界拡散工程を実施する場合には、重希土類元素を粒界拡散させたときの残留磁束密度  $B_r$  の低下幅が小さく、保磁力  $H_c J$  の向上幅が大きい。すなわち、本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石は、粒界拡散に適した磁石である。

## 【 0 0 7 2 】

なお、以上の方法により得られた本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石は、着磁することにより、R - T - B 系永久磁石製品となる。

## 【 0 0 7 3 】

本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石は、モーター、発電機等の用途に好適に用いられる。

## 【 0 0 7 4 】

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。

## 【 0 0 7 5 】

以上の方法により R - T - B 系永久磁石が得られるが、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、本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石は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。

( a ) 原料金属を溶解し、得られた浴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

## 【 0 0 7 6 】

以下、本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石に重希土類元素を粒界拡散させる方法について説明する。

## 【 0 0 7 7 】

[ 加工工程 ( 粒界拡散前 ) ]

必要に応じて、本実施形態に係る R - T - B 系永久磁石を所望の形状に加工する工程を

10

20

30

40

50

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、バレル研磨などの面取り加工などが挙げられる。

【0078】

粒界拡散は、永久磁石の表面に、塗布または蒸着等によって重希土類元素の金属、重希土類元素を含む化合物や合金等を付着させた後、熱処理を行うことにより、実施することができる。重希土類元素の粒界拡散により、最終的に得られるR-T-B系永久磁石の保磁力HcJをさらに向上させることができる。

【0079】

重希土類元素としては、DyまたはTbであってよく、Tbが好ましい。

【0080】

以下に説明する実施形態では、重希土類元素を含有する塗料を作製し、塗料をR-T-B系永久磁石の表面に塗布する。

【0081】

塗料の態様は任意である。重希土類元素の金属、重希土類元素を含む化合物や合金等として何を用いるか、溶媒または分散媒として何を用いるかも任意である。また、塗料における重希土類元素の濃度は任意である。重希土類元素を含む化合物として、例えばフッ化物や水素化物を用いることができる。

【0082】

本実施形態に係る粒界拡散工程における拡散処理温度は、800～950とすることができる。拡散処理時間は1時間～50時間とすることができる。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450～600とすることができる。熱処理時間は1時間～10時間とすることができる。このような熱処理によって、最終的に得られるR-T-B系永久磁石の磁気特性、特に保磁力HcJを向上させることができる。

【0084】

また、本実施形態に係るR-T-B系永久磁石の製造安定性は、粒界拡散工程における拡散処理温度および/または重希土類拡散後の熱処理温度の変化に対する磁気特性の変化量の大きさで確認できる。以下、重希土類拡散工程における拡散処理温度について説明するが、重希土類拡散後の熱処理温度についても同様である。例えば、拡散処理温度の変化に対する磁気特性の変化量が大きければ、わずかな拡散処理温度の変化で磁気特性が変化することとなる。このため、粒界拡散工程において許容される拡散処理温度の範囲が狭くなり、製造安定性が低くなる。逆に、拡散処理温度の変化に対する磁気特性の変化量が小さければ、拡散処理温度が変化しても磁気特性が変化しにくいこととなる。このため、粒界拡散工程において許容される拡散処理温度の範囲が広くなり、製造安定性が高くなる。

【0085】

[加工工程(粒界拡散後)]

粒界拡散工程の後には、R-T-B系永久磁石の各種加工を行ってもよい。実施する加工の種類は任意である。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などの表面加工を行ってもよい。

【実施例】

【0086】

以下、本発明のR-T-B系永久磁石を、さらに詳細な実施例に基づき説明するが、本発明は、これら実施例に制限されない。以下の実施例では、R-T-B系焼結磁石について説明する。

【0087】

(実験例1)

(R-T-B系焼結磁石の作製)

原料金属として、Nd、Pr、DyFe合金、電解鉄、低炭素フェロボロン合金を準備

10

20

30

40

50

した。さらに、Al、Ga、Cu、Co、Mn、Zrを、純金属またはFeとの合金の形で準備した。

【0088】

前記原料金属に対し、ストリップキャスト法により、最終的に得られる磁石組成が後述する表1、表3および表5に示す各試料の組成となるように原料合金を作製した。また、前記原料合金の合金厚みは0.2mm~0.4mmとした。表1、表3および表5に示したC、N、O以外の各元素の含有量(質量%)はR、T、BおよびMの合計含有量を100質量%としたときの値である。

【0089】

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。次いで雰囲気を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碎した。試料番号124~126については窒素含有量が所定の量となるように脱水素処理時の雰囲気中窒素ガス濃度を調整した。さらに、冷却後にふるいをういて425μm以下の粒度の粉末とした。なお、水素吸蔵粉碎から後述する焼結工程までは、常に酸素濃度200ppm未満の低酸素雰囲気とした。なお、試料番号117~121については酸素含有量が所定の量となるように雰囲気中の酸素濃度を調整した。

【0090】

次いで、水素吸蔵粉碎およびふるいをういた後の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碎助剤として添加し、混合した。なお、試料番号113~116については、炭素含有量が所定の量となるように粉碎助剤の添加量を調整した。

【0091】

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3.9μm~4.2μmである微粉(原料粉末)を得た。試料番号122、123についてはArと窒素との混合ガス気流中で微粉碎し、窒素含有量が所定の量となるように窒素ガス濃度を調整した。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D50である。

【0092】

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1200kA/mの静磁界である。また、成形時の加圧力は98MPa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。この時点での成形体の密度を測定したところ、全ての成形体の密度が4.10Mg/m<sup>3</sup>~4.25Mg/m<sup>3</sup>の範囲内であった。

【0093】

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、1040~1100℃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。このとき焼結密度は7.45Mg/m<sup>3</sup>~7.55Mg/m<sup>3</sup>の範囲にあった。その後、Ar雰囲気、大気圧中で、第一時効温度T1=850℃で1時間の第一時効処理を行い、さらに、第二時効温度T2=520℃で1時間の第二時効処理を行った。以上より、表1、表3および表5に示す各試料のR-T-B系焼結磁石を得た。

【0094】

得られたR-T-B系焼結磁石の組成は蛍光X線分析で評価した。B(ホウ素)はICPで評価した。酸素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、炭素の含有量は酸素気流中燃焼-赤外線吸収法により、窒素の含有量は不活性ガス融解-熱伝導度法により測定した。各試料における組成が表1、表3および表5の通りであることを確認した。なお、Feの含有量を残部(bal.)としているのは、上記の表1、表3および表5に記載していない元素の含有量をFeの含有量に含めてR、T、BおよびMの合計を100質量%にしているという意味である。また、表1、表3および表5に示したC、N、Oの含有量(ppm)はそれぞれ磁石の総質量に対する含有量を表す。

【0095】

また、前記R-T-B系焼結磁石をパーティカルにより14mm×10mm×11mm(磁化容易軸方向が11mm)に加工し、BHトレーサーで残留磁束密度Brを評価した。

なお、測定前に4000 kA/mのパルス磁場により着磁を行った。また、前記R-T-B系焼結磁石をパーティカルにより7 mm x 7 mm x 7 mmに加工して得られた試料について、パルスBHトレーサーで保磁力HcJを評価した。残留磁束密度Brを評価した試料と保磁力HcJを評価した試料とは別個の試料である。なお、測定前に4000 kA/mのパルス磁場により着磁を行った。

#### 【0096】

一般的には、残留磁束密度Brと保磁力HcJとはトレードオフの関係にある。すなわち、残留磁束密度Brが高いほど保磁力HcJが低くなり、保磁力HcJが高いほど残留磁束密度Brが低くなる傾向にある。そこで、本実施例では、残留磁束密度Brおよび保磁力HcJを総合的に評価するための性能指数PI (Potential Index) を設定した。mT単位で測定した残留磁束密度の大きさをBr (mT)、kA/m単位で測定した保磁力の大きさをHcJ (kA/m)とする場合に、

$$PI = Br + 25 \times HcJ \times 4 / 2000$$

とした。本実施例では、後述するTb拡散前のBr 1240 mT、HcJ 1400 kA/m、かつ、PI 1630である場合に、Tb拡散前の残留磁束密度Brおよび保磁力HcJが良好であるとした。また、Tb拡散前の角型比Hk/HcJは95.0%以上の場合を良好とした。後述するTb拡散後の角型比Hk/HcJは95.0%以上の場合を良好とした。なお、本実施例では角型比Hk/HcJは磁化J-磁場H曲線の第2象限(J-H減磁曲線)において、磁化がBrの90%となったときの磁場の大きさをHk (kA/m)として、Hk/HcJ (%)で計算される。そして、BHトレーサーを用いて測定温度200 でJ-H曲線を測定し、角型比Hk/HcJを算出した。

#### 【0097】

後述するTb拡散前のBr 1240 mT、HcJ 1400 kA/m、PI 1630、かつ、Hk/HcJ 95.0%である場合を、いずれかの特性が良好ではない場合をxと評価した。なお、HcJ 1500 kA/mであり、Hk/HcJが98.0%以上である場合に耐減磁力が特に優れている。

#### 【0098】

また、各試料に対し、耐食性試験を行った。耐食性試験は、飽和蒸気圧下におけるPCT試験(プレッシャーコッカー試験: Pressure Cooker Test)により実施した。具体的には、R-T-B系焼結磁石を2気圧、100%RHの環境下に1000時間において、試験前後での質量変化を測定した。磁石の表面積あたりの質量減少が3 mg/cm<sup>2</sup>以下である場合に耐食性が良好であると判断した。質量減少が2 mg/cm<sup>2</sup>以下である場合に耐食性が特に良好であると判断とした。耐食性が特に良好な場合を、耐食性が良好な場合を、耐食性が良好でない場合をxとした。ただし、今回耐食性試験を実施した試料で耐食性が良好でないものはなかった。

#### 【0099】

さらに、各試料について、高温減磁率を測定した。まず、試料の形状をパーミアンス係数が0.5となる形状に加工した。そして、4000 kA/mのパルス磁場により試料の着磁を行い、室温(23 )における試料の総磁束量を測定し、これをB0とした。総磁束量は、例えばフラックスメーター等により測定した。次に試料を200 に2時間高温暴露し、室温に戻す。試料温度が室温に戻ったら、再度総磁束量を測定し、これをB1とした。高温減磁率をD (%)とすると、

$$D = 100 * (B1 - B0) / B0 (%)$$

となる。Tb拡散前の高温減磁率の絶対値が50%以下である場合を良好とした。

#### 【0100】

##### (Tb拡散)

さらに、前記した工程で得られたR-T-B系焼結磁石を、14 mm x 10 mm x 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%に対し硝酸3質量%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。前記混合溶液に3分間浸漬させた後に工

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。次いで、エッチング処理後のR-T-B系焼結磁石の全面に対し、 $TbH_2$ 粒子(平均粒径 $D_{50} = 10.0 \mu m$ )をエタノールに分散させたスラリーを、R-T-B系焼結磁石の質量に対するTbの質量比が0.6質量%となるように塗布した。

【0101】

前記スラリーを塗布、乾燥させた後に大気圧でArをフローしながら930、18時間の拡散処理を実施し、続いて520、4時間の熱処理を施した。

【0102】

前記熱処理後のR-T-B系焼結磁石の表面を各面あたり0.1mm削り落とした後に、BHトレーサーおよびパルスBHトレーサーで磁気特性の評価を行った。なお、4000kA/mのパルス磁場により着磁を行ってから磁気特性を評価した。前記R-T-B系焼結磁石の厚みが薄いため、前記R-T-B系焼結磁石を3枚重ねて評価した。なお、Tb拡散後については、 $B_r = 1230 mT$ 、 $H_c J = 2150 kA/m$ 、 $PI = 1740$ かつ $H_k / H_c J = 95.0\%$ である場合を、いずれかの特性が良好ではない場合をxと評価した。なお、 $H_c J = 2250 kA/m$ である場合がさらに好ましい。

10

【0103】

また、Tb拡散後の試料についても高温減磁率を測定した。高温減磁率の測定方法はTb拡散前と同様である。Tb拡散後の高温減磁率の絶対値は1%未満である場合を良好とした。

【0104】

さらに、Tb拡散前後における残留磁束密度 $B_r$ の差を $\Delta B_r$ 、保磁力 $H_c J$ の差を $\Delta H_c J$ として各表に記載した。本実施例ではTb拡散による残留磁束密度の変化量を $\Delta B_r$ 、Tb拡散による保磁力の変化量を $\Delta H_c J$ とする。すなわち、 $\Delta B_r = (B_r)_{\text{Tb拡散後}} - (B_r)_{\text{Tb拡散前}}$ である。同様に $\Delta H_c J = (H_c J)_{\text{Tb拡散後}} - (H_c J)_{\text{Tb拡散前}}$ である。 $B_r = 15 mT$ 、かつ、 $H_c J = 700 kA/m$ である場合に、重希土類元素の粒界拡散による保磁力 $H_c J$ 向上効果が大きいとした。

20

【0105】

【表 1】

表1

試料 番号	R-T-B系綠柱石組成(Tb添加前)																		
	R				TRE		T		B		14B/ (Fe+Co)		M		C	N	O		
	Nd (質量%)	Pr (質量%)	Tb (質量%)	Dv (質量%)	(質量%)	(質量%)	Ce (質量%)	Fo (質量%)	(質量%)	(質量%)	TRE/B (原子数比)	Pi/TRE (原子数比)	Al (質量%)	Ga (質量%)				Cu (質量%)	Mn (質量%)
1*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.96	2.38	0.232	1.03	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
2*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.95	2.41	0.232	1.02	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
3*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.94	2.43	0.232	1.01	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
4*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.93	2.46	0.232	1.00	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
5*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.90	2.54	0.232	0.96	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
6*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.88	2.60	0.232	0.94	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
7*	20.5	6.9	0.0	3.3	30.7	2.0	bal.	0.85	2.69	0.232	0.91	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
8*	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.96	2.34	0.228	1.02	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
9	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.95	2.37	0.228	1.01	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
10	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.94	2.39	0.229	1.00	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
11	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.93	2.42	0.229	0.99	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
12	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.90	2.50	0.229	0.96	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
13	20.2	6.7	0.0	3.3	30.2	2.0	bal.	0.88	2.55	0.229	0.94	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
14*	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.96	2.30	0.229	1.01	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
15	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.95	2.33	0.229	1.00	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
16	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.94	2.35	0.229	0.99	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
17	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.93	2.38	0.229	0.98	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
18	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.90	2.46	0.229	0.95	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
19	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.88	2.51	0.229	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
20	19.8	6.6	0.0	3.3	29.7	2.0	bal.	0.85	2.60	0.229	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
21*	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.96	2.26	0.230	1.01	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
22	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.95	2.29	0.230	1.00	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
23	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.94	2.31	0.230	0.99	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
24	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.93	2.34	0.230	0.98	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
25	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.90	2.41	0.230	0.94	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
26	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.88	2.47	0.230	0.92	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
27	19.4	6.5	0.0	3.3	29.2	2.0	bal.	0.85	2.56	0.230	0.89	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
28*	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.96	2.24	0.228	1.00	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
29	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.95	2.26	0.228	0.99	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
30	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.94	2.29	0.228	0.98	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
31	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.93	2.31	0.228	0.97	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
32	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.90	2.39	0.228	0.94	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
33	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.88	2.44	0.228	0.92	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
34	19.2	6.4	0.0	3.3	28.9	2.0	bal.	0.85	2.53	0.228	0.89	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
35*	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.96	2.17	0.228	0.99	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
36	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.95	2.19	0.228	0.98	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
37	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.94	2.21	0.228	0.97	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
38	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.93	2.24	0.228	0.96	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
39	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.90	2.31	0.228	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500
40	18.5	6.2	0.0	3.3	28.0	2.0	bal.	0.88	2.37	0.228	0.91	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500	500

\*注比較例

【 0 1 0 6 】

10

20

30

40

【表 2】

表2

試料 番号	Tb拡散前						Tb拡散による変化量						Tb拡散後							
	Br	HcJ	PI	Hk/HcJ	PI, Hk/HcJ	耐食性	ΔBr	ΔHcJ	Br	HcJ	PI	Hk/HcJ	PI, Hk/HcJ	高温減磁率	Hk/HcJ	PI	Hk/HcJ	PI, Hk/HcJ	高温減磁率	
	(mT)	(kA/m)		(%)	評価	◎	(mT)	(kA/m)	(mT)	(kA/m)		(%)	評価	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	
1*	1340	1814	1625	98.9	x	○	-9	699	1331	2513	1726	92.1	x	0	1726	92.1	0	1726	92.1	0
2*	1339	1825	1626	98.8	x	○	-5	701	1334	2526	1731	97.8	x	0	1731	97.8	0	1731	97.8	0
3*	1338	1843	1627	98.8	x	○	-7	708	1331	2551	1732	97.8	x	0	1732	97.8	0	1732	97.8	0
4*	1334	1856	1626	98.9	x	○	-6	705	1328	2561	1730	97.8	x	0	1730	97.8	0	1730	97.8	0
5*	1335	1869	1629	98.7	x	○	-6	695	1329	2564	1732	97.3	x	0	1732	97.3	0	1732	97.3	0
6*	1332	1891	1629	98.5	x	○	-6	683	1326	2574	1730	97.8	x	0	1730	97.8	0	1730	97.8	0
7*	1322	1838	1611	98.4	x	○	-8	678	1314	2516	1709	97.2	x	0	1709	97.2	0	1709	97.2	0
8*	1352	1797	1634	98.7	○	◎	-8	723	1344	2520	1740	86.5	○	0	1740	86.5	0	1740	86.5	0
9	1349	1793	1631	98.7	○	◎	-6	735	1343	2528	1740	98.0	○	0	1740	98.0	0	1740	98.0	0
10	1350	1807	1634	98.8	○	◎	-6	738	1344	2545	1744	98.5	○	0	1744	98.5	0	1744	98.5	0
11	1350	1823	1636	98.8	○	◎	-9	726	1341	2549	1741	98.7	○	0	1741	98.7	0	1741	98.7	0
12	1347	1856	1639	98.5	○	◎	-10	719	1337	2575	1741	98.3	○	0	1741	98.3	0	1741	98.3	0
13	1345	1854	1636	98.5	○	◎	-7	708	1338	2562	1740	98.3	○	0	1740	98.3	0	1740	98.3	0
14*	1368	1739	1641	99.5	○	◎	-6	762	1362	2501	1755	85.9	○	0	1755	85.9	0	1755	85.9	0
15	1367	1749	1642	99.5	○	◎	-5	766	1362	2515	1757	98.1	○	0	1757	98.1	0	1757	98.1	0
16	1368	1785	1648	99.6	○	◎	-6	762	1362	2547	1762	98.1	○	0	1762	98.1	0	1762	98.1	0
17	1370	1789	1651	99.7	○	◎	-8	761	1362	2550	1763	98.1	○	0	1763	98.1	0	1763	98.1	0
18	1363	1828	1650	99.4	○	◎	-5	745	1358	2573	1762	98.0	○	0	1762	98.0	0	1762	98.0	0
19	1361	1842	1650	99.0	○	◎	-5	724	1356	2566	1759	98.1	○	0	1759	98.1	0	1759	98.1	0
20	1351	1814	1636	98.9	○	◎	-7	714	1344	2528	1741	98.0	○	0	1741	98.0	0	1741	98.0	0
21*	1380	1697	1647	99.2	○	◎	-4	770	1376	2467	1764	83.2	○	0	1764	83.2	0	1764	83.2	0
22	1377	1714	1646	98.9	○	◎	-4	780	1373	2494	1765	97.8	○	0	1765	97.8	0	1765	97.8	0
23	1376	1727	1647	99.0	○	◎	-3	781	1373	2508	1767	98.8	○	0	1767	98.8	0	1767	98.8	0
24	1376	1746	1650	99.1	○	◎	-5	778	1371	2524	1767	99.1	○	0	1767	99.1	0	1767	99.1	0
25	1370	1788	1651	98.8	○	◎	-6	760	1364	2548	1764	99.0	○	0	1764	99.0	0	1764	99.0	0
26	1369	1805	1653	98.9	○	◎	-6	743	1363	2548	1763	98.9	○	0	1763	98.9	0	1763	98.9	0
27	1357	1748	1632	98.5	○	◎	-5	732	1352	2480	1742	97.8	○	0	1742	97.8	0	1742	97.8	0
28*	1384	1672	1647	99.2	○	◎	-12	780	1372	2452	1757	89.4	○	0	1757	89.4	0	1757	89.4	0
29	1385	1677	1648	98.3	○	◎	-8	789	1377	2466	1764	97.7	○	0	1764	97.7	0	1764	97.7	0
30	1388	1691	1654	98.4	○	◎	-9	791	1379	2482	1769	97.2	○	0	1769	97.2	0	1769	97.2	0
31	1382	1722	1652	98.3	○	◎	-6	790	1376	2512	1771	97.3	○	0	1771	97.3	0	1771	97.3	0
32	1386	1759	1662	98.9	○	◎	-14	767	1372	2526	1769	95.7	○	0	1769	95.7	0	1769	95.7	0
33	1382	1774	1661	98.0	○	◎	-12	750	1370	2524	1766	96.0	○	0	1766	96.0	0	1766	96.0	0
34	1371	1735	1644	97.7	○	◎	-11	737	1360	2472	1748	95.5	○	0	1748	95.5	0	1748	95.5	0
35*	1378	1592	1628	99.0	x	◎	-10	780	1368	2372	1741	89.7	○	0	1741	89.7	0	1741	89.7	0
36	1378	1605	1630	99.1	○	◎	-4	792	1374	2397	1751	99.0	○	0	1751	99.0	0	1751	99.0	0
37	1378	1619	1632	98.9	○	◎	-9	793	1369	2412	1748	98.4	○	0	1748	98.4	0	1748	98.4	0
38	1377	1655	1637	98.7	○	◎	-12	790	1365	2445	1749	98.5	○	0	1749	98.5	0	1749	98.5	0
39	1377	1673	1640	98.8	○	◎	-9	774	1368	2447	1752	98.2	○	0	1752	98.2	0	1752	98.2	0
40	1374	1673	1637	98.5	○	◎	-8	755	1366	2428	1747	98.0	○	0	1747	98.0	0	1747	98.0	0

\*は比較例

ΔBr=(Tb拡散後のBr)-(Tb拡散前のBr)  
ΔHcJ=(Tb拡散後のHcJ)-(Tb拡散前のHcJ)

10

20

30

40

【表 3】

表3

試料 番号	R-T-B系磁石組成 (1g換算値)																
	R				T				B		M		C		O		
	Nd (質量%)	Pr (質量%)	Tb (質量%)	Dy (質量%)	Co (質量%)	Fe (質量%)	TRE (質量%)	TRE/B (原子数比)	Pr/TRE (原子数比)	(Fe+Co) (原子数比)	Al (質量%)	Ga (質量%)	Cu (質量%)	Mn (質量%)	Zr (質量%)	N (ppm)	O (ppm)
*41	17.0	5.7	0.0	7.5	2.0	bal.	30.2	2.46	0.198	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
42	17.8	5.9	0.0	6.5	2.0	bal.	30.2	2.47	0.204	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
43	18.1	6.1	0.0	6.0	2.0	bal.	30.2	2.48	0.210	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
44	18.5	6.2	0.0	5.5	2.0	bal.	30.2	2.47	0.213	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
45	18.9	6.3	0.0	5.0	2.0	bal.	30.2	2.48	0.216	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
46	19.3	6.4	0.0	4.5	2.0	bal.	30.2	2.49	0.219	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
47	19.6	6.6	0.0	4.0	2.0	bal.	30.2	2.49	0.226	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
48	20.0	6.7	0.0	3.5	2.0	bal.	30.2	2.50	0.229	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
49	20.4	6.8	0.0	3.0	2.0	bal.	30.2	2.51	0.232	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
50	20.8	6.9	0.0	2.5	2.0	bal.	30.2	2.52	0.235	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
51	21.9	7.3	0.0	1.0	2.0	bal.	30.2	2.52	0.247	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*52	22.3	7.4	0.0	0.5	2.0	bal.	30.2	2.53	0.250	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*53	16.6	5.6	0.0	7.5	2.0	bal.	29.7	2.41	0.198	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
54	17.4	5.8	0.0	6.5	2.0	bal.	29.7	2.42	0.204	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
55	17.8	5.9	0.0	6.0	2.0	bal.	29.7	2.43	0.207	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
56	18.1	6.1	0.0	5.5	2.0	bal.	29.7	2.43	0.214	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
57	18.5	6.2	0.0	5.0	2.0	bal.	29.7	2.44	0.217	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
58	18.9	6.3	0.0	4.5	2.0	bal.	29.7	2.44	0.220	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
59	19.3	6.4	0.0	4.0	2.0	bal.	29.7	2.45	0.223	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
60	19.6	6.6	0.0	3.5	2.0	bal.	29.7	2.45	0.229	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
61	20.0	6.7	0.0	3.0	2.0	bal.	29.7	2.46	0.232	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
62	20.4	6.8	0.0	2.5	2.0	bal.	29.7	2.46	0.235	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
63	21.5	7.2	0.0	1.0	2.0	bal.	29.7	2.48	0.248	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*64	21.9	7.3	0.0	0.5	2.0	bal.	29.7	2.48	0.257	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*65	16.1	5.4	0.0	7.0	2.0	bal.	28.5	2.32	0.199	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
66	16.5	5.5	0.0	6.5	2.0	bal.	28.5	2.32	0.202	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
67	16.9	5.6	0.0	6.0	2.0	bal.	28.5	2.33	0.205	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
68	17.2	5.8	0.0	5.5	2.0	bal.	28.5	2.33	0.212	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
69	17.6	5.9	0.0	5.0	2.0	bal.	28.5	2.34	0.215	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
70	18.0	6.0	0.0	4.5	2.0	bal.	28.5	2.34	0.218	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
71	18.4	6.1	0.0	4.0	2.0	bal.	28.5	2.35	0.221	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
72	18.7	6.3	0.0	3.5	2.0	bal.	28.5	2.35	0.228	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
73	19.1	6.4	0.0	3.0	2.0	bal.	28.5	2.36	0.231	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
74	19.5	6.5	0.0	2.5	2.0	bal.	28.5	2.36	0.234	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*79	21.0	7.0	0.0	0.5	2.0	bal.	28.5	2.38	0.250	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*76	15.4	5.1	0.0	7.5	2.0	bal.	28.0	2.27	0.191	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
77	16.1	5.4	0.0	6.5	2.0	bal.	28.0	2.28	0.202	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
78	16.5	5.5	0.0	6.0	2.0	bal.	28.0	2.29	0.205	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
79	16.9	5.6	0.0	5.5	2.0	bal.	28.0	2.29	0.208	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
80	17.2	5.8	0.0	5.0	2.0	bal.	28.0	2.30	0.215	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
81	17.6	5.9	0.0	4.5	2.0	bal.	28.0	2.30	0.219	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
82	18.0	6.0	0.0	4.0	2.0	bal.	28.0	2.31	0.222	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
83	18.4	6.1	0.0	3.5	2.0	bal.	28.0	2.31	0.225	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
84	18.7	6.3	0.0	3.0	2.0	bal.	28.0	2.32	0.232	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
85	19.1	6.4	0.0	2.5	2.0	bal.	28.0	2.32	0.235	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500
*86	20.6	6.9	0.0	0.5	2.0	bal.	28.0	2.34	0.257	0.90	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500

\*は比較例

10

20

30

40

【表 4】

表4

試料番号	Tb抜散前				Tb抜散による変化量				Tb抜散後						
	Br (mT)	HcJ (kA/m)	PI	Hk/HcJ (%)	高温減磁率 (%)	PI Hk/HcJ 評値	耐食性	ΔBr (mT)	ΔHcJ (kA/m)	Br (mT)	HcJ (kA/m)	PI	Hk/HcJ (%)	高温減磁率 (%)	PI Hk/HcJ 評値
*41	1216	2604	1625	98.5	0	x	◎	-7	739	1209	3343	1724	98.3	0	x
42	1249	2431	1631	99.5	0	○	◎	-8	755	1241	3186	1741	97.6	0	○
43	1265	2342	1633	99.8	0	○	◎	-6	725	1259	3067	1741	96.8	0	○
44	1280	2241	1632	99.7	0	○	◎	-7	756	1273	2897	1744	98.5	0	○
45	1297	2147	1634	99.4	-3	○	◎	-7	754	1260	2801	1746	97.9	0	○
46	1309	2061	1633	99.0	-9	○	◎	-7	731	1302	2792	1741	96.8	0	○
47	1327	1970	1636	98.9	-16	○	◎	-6	743	1321	2713	1747	98.5	0	○
48	1340	1890	1637	99.2	-22	○	◎	-7	735	1333	2625	1745	96.1	0	○
49	1358	1794	1640	98.9	-28	○	◎	-7	715	1351	2509	1745	96.8	0	○
50	1373	1707	1641	99.0	-34	○	◎	-7	735	1366	2442	1750	98.9	0	○
51	1420	1439	1646	98.9	-52	○	◎	-7	722	1413	2161	1752	97.6	-7	○
*52	1434	1340	1644	98.5	-58	x	◎	-7	728	1427	2068	1752	97.6	-13	○
*53	1255	2570	1639	98.5	0	x	◎	-8	765	1227	3335	1751	96.8	0	○
54	1266	2392	1642	99.5	0	○	◎	-8	741	1256	3133	1750	98.8	0	○
55	1280	2299	1641	99.6	0	○	◎	-8	779	1272	3078	1755	97.7	0	○
56	1297	2205	1643	99.7	0	○	◎	-8	759	1289	2964	1755	98.6	0	○
57	1313	2125	1647	99.4	-5	○	◎	-7	758	1308	2883	1759	96.6	0	○
58	1328	2028	1647	99.0	-12	○	◎	-8	741	1320	2769	1755	99.2	0	○
59	1339	1937	1643	98.9	-18	○	◎	-7	757	1332	2694	1755	97.3	0	○
60	1360	1857	1652	99.2	-24	○	◎	-8	761	1352	2618	1763	98.1	0	○
61	1375	1759	1651	98.9	-31	○	◎	-8	781	1367	2540	1766	96.7	0	○
62	1389	1673	1652	99.0	-37	○	◎	-8	766	1381	2439	1764	98.4	0	○
63	1435	1407	1656	98.9	-54	○	◎	-8	770	1427	2177	1769	98.5	-6	○
*64	1451	1320	1658	98.5	-59	x	◎	-8	784	1443	2104	1773	97.8	-11	○
*65	1256	2375	1629	99.5	0	x	◎	-10	760	1246	3135	1738	97.1	0	x
66	1273	2301	1634	99.5	0	○	◎	-9	740	1264	3041	1742	96.7	0	○
67	1289	2202	1635	99.6	0	○	◎	-8	749	1281	2951	1745	97.0	0	○
68	1305	2108	1638	99.7	-6	○	◎	-10	767	1295	2875	1747	98.4	0	○
69	1321	2018	1638	99.4	-12	○	◎	-8	741	1313	2759	1746	96.9	0	○
70	1335	1922	1637	99.0	-19	○	◎	-10	748	1323	2670	1744	97.5	0	○
71	1351	1840	1640	98.9	-25	○	◎	-8	775	1343	2615	1794	98.6	0	○
72	1367	1755	1643	99.2	-31	○	◎	-9	738	1358	2493	1750	98.1	0	○
73	1380	1659	1641	98.9	-38	○	◎	-9	750	1371	2409	1749	97.3	0	○
74	1396	1569	1642	99.0	-43	○	◎	-9	749	1387	2318	1751	98.8	0	○
*75	1460	1277	1650	98.5	-66	x	◎	-9	759	1451	1970	1760	97.3	-20	○
*76	1246	2417	1626	98.5	0	x	◎	-9	743	1237	3160	1733	98.0	0	x
77	1276	2263	1631	99.5	0	○	◎	-9	761	1267	3024	1742	97.7	0	○
78	1292	2162	1632	99.6	-1	○	◎	-9	754	1283	2916	1741	99.5	0	○
79	1306	2068	1631	99.7	-8	○	◎	-10	764	1296	2832	1741	98.5	0	○
80	1324	1974	1634	99.4	-15	○	◎	-8	735	1316	2709	1742	98.5	0	○
81	1338	1876	1633	99.0	-22	○	◎	-10	762	1328	2640	1743	97.9	0	○
82	1356	1789	1639	98.9	-28	○	◎	-9	754	1347	2552	1748	98.5	0	○
83	1370	1713	1639	99.2	-34	○	◎	-9	742	1361	2455	1747	98.1	0	○
84	1382	1617	1636	98.9	-40	○	◎	-8	741	1373	2358	1743	96.7	0	○
85	1399	1526	1639	99.0	-46	○	◎	-8	747	1391	2273	1748	99.2	0	○
*86	1464	1166	1647	98.5	-69	x	◎	-10	741	1454	1907	1754	98.0	-24	○

\*は比較例  
 ΔBr=(Tb抜散後のBr)-(Tb抜散前のBr)  
 ΔHcJ=(Tb抜散後のHcJ)-(Tb抜散前のHcJ)

【 0 1 0 9 】

10

20

30

【表 5】

表5

試料 番号	R										M										O (ppm)
	Pr (質量%)		Tb (質量%)		Dy (質量%)		TRE (質量%)	Pr/TRE (原子数比)	Co (質量%)	Fe (質量%)	B (質量%)	Al (質量%)	Ca (質量%)	Cu (質量%)	Mn (質量%)	Zr (質量%)	C (ppm)	N (ppm)			
	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)													(質量%)	(質量%)	
91	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
92	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	1.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
94	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	3.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
95	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.15	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
97	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.25	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
98	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.30	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
99	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.04	0.03	0.15	900	500			
100	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.10	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
102	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.30	0.03	0.15	900	500			
103	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.50	0.03	0.15	900	500			
104	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.08	0.20	0.03	0.15	900	500			
105	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.10	0.20	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
106	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.25	0.20	0.03	0.15	900	500			
107	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.30	0.20	0.03	0.15	900	500			
109	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
111	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.25	900	500			
112	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.30	900	500			
113	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	600	500			
114	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	750	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
115	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	1000	500			
116	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	1100	500			
117	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	350			
118	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	400			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
120	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	800			
121	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	1000			
122	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
123	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	300			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
124	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	600			
125	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	700			
126	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	29.7	0.229	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	1000			
127	26.4	0.0	0.0	0.0	3.3	29.7	0	0	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
128	21.4	5.0	0.0	0.0	3.3	29.7	0.174	0	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
17	19.8	6.6	0.0	0.0	3.3	29.7	0.229	2.0	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			
130	16.4	10.0	0.0	0.0	3.3	29.7	0.346	2.0	2.0	bal.	0.93	0.20	0.20	0.20	0.03	0.15	900	500			

【 0 1 1 0 】

10

20

30



角型比、Tb拡散後のBr、HcJ、PIおよび角型比のいずれか一つ以上が良好ではなかった。

【0113】

Dyの含有量が2.5質量%以上6.5質量%以下である実施例は高温減磁率良好になる傾向にあった。

【0114】

Coの含有量が1.0質量%以上であり、Cuの含有量が0.10質量%以上であり、Pr/TREが0.250未満である実施例は、耐食性が良好になる傾向にあった。

【0115】

さらに、Cの含有量が900ppm~1100ppmである実施例は、角型比が良好になる傾向にあった。

10

【0116】

また、表1~表6に記載したTb拡散後の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(EPM A)を用いてTb濃度分布を測定した。その結果、Tb拡散後のR-T-B系永久磁石は、Tbの濃度分布が、前記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分布であることを確認した。

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4K018 AA27 BA18 BB04 CA02 CA04 DA21 FA08 FA11 KA45  
5E040 AA04 AA19 BD01 CA01 HB11 NN01 NN06  
5E062 CD04 CG05 CG07