

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6255977号
(P6255977)

(45) 発行日 平成30年1月10日(2018.1.10)

(24) 登録日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(51) Int. Cl.			F I		
H O 1 F	1/057	(2006.01)	H O 1 F	1/057	1 7 0
H O 1 F	41/02	(2006.01)	H O 1 F	41/02	G
C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C	38/00	3 0 3 D
C 2 2 C	33/02	(2006.01)	C 2 2 C	33/02	H
B 2 2 F	3/00	(2006.01)	B 2 2 F	3/00	F

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2013-263371 (P2013-263371)
 (22) 出願日 平成25年12月20日(2013.12.20)
 (65) 公開番号 特開2014-209547 (P2014-209547A)
 (43) 公開日 平成26年11月6日(2014.11.6)
 審査請求日 平成28年7月14日(2016.7.14)
 (31) 優先権主張番号 特願2013-67862 (P2013-67862)
 (32) 優先日 平成25年3月28日(2013.3.28)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000003067
 T D K 株式会社
 東京都港区芝浦三丁目9番1号
 (74) 代理人 110001494
 前田・鈴木国際特許業務法人
 (72) 発明者 佐藤 勝男
 千葉県市川市東大和田二丁目15番7号
 T D K テクノ株式会社内
 (72) 発明者 加藤 英治
 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K 株
 式会社内
 審査官 池田 安希子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 希土類磁石

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

$R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子と、隣接する該主相結晶粒子間の粒界相とを含む希土類焼結磁石において、前記希土類焼結磁石の任意の断面において前記主相結晶粒子の丸み度合いを円磨度 A で評価したときに、該円磨度 A が 0.24 以上であることを特徴とする希土類焼結磁石。

ただし、円磨度 A は下記式(1)により定義され、

$$A = r_i / (R n) \quad (1)$$

ここで、 r_i は着目する結晶粒子の角部に内接する円の半径

R は着目する結晶粒子に内接する最大円の半径

n は着目する結晶粒子の角部の数

は着目する結晶粒子の角部に対する和、を表す。

【請求項2】

前記粒界相が非磁性の R リッチ相により形成されていることを特徴とする請求項1に記載の希土類焼結磁石。

【請求項3】

前記粒界相が反強磁性もしくはフェリ磁性の化合物により構成されていることを特徴とする請求項1に記載の希土類焼結磁石。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、希土類磁石に関し、さらに詳しくはR - T - B系焼結磁石の微細構造を制御した希土類磁石に関する。

【背景技術】

【0002】

Nd - Fe - B系焼結磁石に代表されるR - T - B系焼結磁石（Rは希土類元素、TはFeを必須元素とした一種以上の鉄族元素、Bはホウ素を示す）は、高い飽和磁束密度を有することから、使用機器の小型化・高効率化に有利であり、ハードディスクドライブのボイスコイルモーター等に利用されている。近年では、各種産業用モーターやハイブリッド自動車の駆動モーター等にも適用されつつあり、エネルギー保全等の観点からこれらの分野への更なる普及が望まれている。ところで、ハイブリッド自動車等へのR - T - B系焼結磁石の適用においては、磁石は比較的高温に晒されることになるため、熱による高温減磁を抑制することが重要となる。この高温減磁を抑制するには、R - T - B系焼結磁石の室温における保磁力を充分高めておく手法が有効であることは良く知られている。

10

【0003】

例えば、Nd - Fe - B系焼結磁石の室温における保磁力を高める手法として、主相であるNd₂Fe₁₄B化合物のNdの一部を、Dy、Tbといった重希土類元素で置換する手法は良く知られている。Ndの一部を重希土類元素で置換することにより、結晶磁気異方性を高め、その結果、Nd - Fe - B系焼結磁石の室温における保磁力を充分に高めることができる。重希土類元素による置換以外にも、Cu元素等の添加も室温における保磁力向上に効果があるとされている（特許文献1）。

20

【0004】

微細構造すなわち希土類磁石のR₂T₁₄B主相結晶粒子および粒界相の構造を制御することにより保磁力を高める方法として、特許文献2に開示の技術が知られている。特許文献2には、正方晶金属間化合物（R₂Fe₁₄B）主相結晶粒子と該結晶粒子間に形成された粒界相とを有する磁性体であって、前記結晶粒子は最長幅が500nmの角丸形状をしており、粒界相は最小幅が1nm以上である希土類磁石が開示されている。ここで、最長幅とは主相結晶粒子を磁化容易軸（c軸）に平行な面で切断したときに断面形状に表れたc軸に垂直な方向における結晶粒子の最大長さであり、また、角丸形状とは前記断面形状に角張った部位が見られないことを意味するとしている。すなわち、上記角丸形状とは、従来のように結晶粒子が方形状ではなく、方形状を構成する角部が略円弧状になっている形状としている。このような構造とすることにより、結晶粒子の角部における反磁界の影響が低減され、その結果結晶粒子における逆磁区の生成等が抑制され、磁性体の保磁力が高まったものと考えられている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002 - 327255号公報

40

【特許文献2】特開2012 - 164764号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

R - T - B系焼結磁石を100 ~ 200 といった高温環境下で使用する場合、室温における保磁力の値も有効な指標の一つではあるが、実際に高温環境下に晒されても減磁しない、若しくは減磁率が小さい、ということが重要である。主相であるR₂T₁₄B化合物のRの一部がTbやDyといった重希土類元素で置換された組成は保磁力が大幅に向上し、高保磁力化にとっては簡便な手法ではあるが、Dy、Tbといった重希土類元素は産出地、産出量が限られているので、資源的な問題がある。置換に伴い、例えばNdとD

50

yとの反強磁性的な結合により残留磁束密度の減少も避けられない。上記のCu元素の添加等も有効ではあるが、R-T-B系焼結磁石の適用領域の拡大のためには、高温減磁（高温環境下に晒されることによる減磁）抑制の更なる向上が望まれる。

【0007】

ところで、希土類磁石の保磁力を向上させる場合、従来以下のような指針のもとに焼結体の微細構造が検討されてきた。すなわち、主相である $R_2T_{14}B$ 結晶粒子の形状としては、磁化容易軸方向に伸張した直方体形状とし、隣接する主相粒子との間には主相粒子間の磁氣的結合を遮断する一様な厚さの粒界相が形成される構造とする。このように磁化容易磁区方向に伸張した粒子形状とすることにより、反磁場の影響を低減し、よって保磁力低下の要因である逆磁区の発生を抑制することが出来るとされてきた。また、主相粒子間の磁氣結合を遮断する一様な厚さの粒界相を形成することにより、隣接する粒子からの磁氣的な影響による逆磁区の発生が抑制され、結果として高い保磁力が達成され、高温減磁率が抑制できるものと考えられていた。上記特許文献2にある、希土類磁石の主相結晶粒を角丸形状とすると保磁力すなわち高温減磁率の抑制効果が向上するという示唆は、Dy、Tbといった重希土類元素を使わずに高性能な磁石を得る有力な技術の一つと思われるが、このような理想的な粒子形状を、粉末冶金法で工業的規模で実現することに関しては何も開示が無い。また、角丸形状はどの程度であれば、保磁力向上、すなわち高温減磁率の抑制に効果があるのかも不明となっている。

10

【0008】

そこで、本発明は、粉末冶金法により製造される希土類磁石において、主相結晶粒子の粒子形状を定量的に評価し、これをもとに高温減磁率の抑制を向上した希土類磁石を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

本願発明者等は、従来の粉末冶金法においても工業的規模で実現でき、高温減磁率の抑制効果の高い主相粒子形状を鋭意検討した結果、本発明を完成させるに至った。

【0010】

すなわち、本発明に係る希土類磁石は、 $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子と、隣接する主相結晶粒子間の粒界相とを含み、前記希土類磁石の任意の断面において、前記主相結晶粒子の丸み度合いをWadellの円磨度(Roundness)Aで評価したときに、Aが0.24以上であることを特徴とする。

30

【0011】

尚、Wadellの円磨度Aの評価方法については後述する。すなわち、本願発明者等は、現実的に実現しうる主相結晶粒子構造を鋭意検討した結果、従来有利とされていたように主相結晶粒子を磁化容易軸方向に伸張した直方体形状とするのではなく、この従来指針から大きく外れた、主相粒子の角部が丸みを帯びた形状、もしくは楕円体状形状とすることにより、上記課題を解決できることを見出し、本発明を完成させるに至った。

【0012】

希土類磁石の微細構造をこのような構造とすることにより、主相結晶粒子表面が滑らかな形状となり、局部的に反磁場の影響を受けやすい領域を低減することによる逆磁区の発生を抑えることができるとともに、隣接する $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子間の粒界相に厚い領域を多くすることができ、主相結晶粒子間の磁氣的結合を分断し、よって隣接結晶粒子の影響による逆磁区の発生を抑制することができ、その結果、高温減磁率を抑制することができるものとする。

40

【0013】

前記隣接する $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子間の粒界相は、非磁性の希土類元素Rの濃度が相対的に高い相(Rリッチ相)とするのが好ましい。さらには、反強磁性もしくはフェリ磁性の化合物であってもよい。粒界相をこのように構成することにより、主相結晶粒子の磁氣的孤立性を向上させ、その結果、希土類磁石の高温減磁率を大幅に抑制することができる。

50

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、高温減磁率の小さい希土類磁石を提供でき、高温環境下で使用されるモーター等に適用できる希土類磁石を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本実施形態に係る円磨度と高温減磁率の関係を示す図である。

【図2】本実施形態における円磨度の評価方法を説明する図である。

【図3】実施例の希土類磁石の微細構造を示す断面写真である。

【図4】比較例の希土類磁石の微細構造を示す断面写真である。

10

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態を説明する。尚、本発明でいう希土類磁石とは、 $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子と粒界相を含む焼結磁石であり、 R は一種以上の希土類元素を含み、 T は Fe を必須元素とした一種以上の鉄族元素を含み、 B を含み、さらには各種公知の添加元素が添加されたものをも含むものである。

【0017】

図2は、本発明に係る実施形態の希土類磁石の断面構造を模式的に示す図である。本実施形態に係る希土類磁石は、 $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子の断面形状が丸みを帯びた形状となるものである。

20

【0018】

先ず、図2をもとに本発明における主相結晶粒子の丸み度合いの評価指標である $Waldell$ の円磨度について説明する。本明細書においては、円磨度 A は下記式(1)のように定義される。

$$A = r_i / (Rn) \quad (1)$$

ここで、 r_i は着目する結晶粒子の角部に内接する円の半径

R は着目する結晶粒子に内接する最大円の半径

n は着目する結晶粒子の角部の数

は着目する結晶粒子の角部に対する和、を表す。

この定義によれば、着目する粒子が理想的な円(球)の場合は、円磨度 A は $A = 1$ となる。よって、本明細書でいう円磨度は1を超えることは無い。図2の模式図でいえば、この結晶粒子には5個の角部($n = 5$)があり、これら角部に内接する円の半径はそれぞれ r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 であり、また内接する最大円の半径は R となっている。

30

【0019】

次に、本実施形態に係る希土類磁石の高温減磁率の評価について説明する。評価用試料形状としては特に限定されないが、一般に多用されているように、パーミアンス係数が2となる形状とする。先ず室温(25)における試料の残留磁束を測定し、これを B_0 とする。残留磁束は、例えばフラックスメーター等により測定できる。次に試料を140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、再度残留磁束を測定し、これを B_1 とする。すると、高温減磁率 D は下記式(2)により評価される。

$$D = (B_1 - B_0) / B_0 * 100 (\%) \quad (2)$$

40

【0020】

本実施形態に係る希土類磁石においては、上記した円磨率が0.24以上とされるので、従来の矩形状粒子が充填された構造に較べて主相結晶粒子間の間隙が大きくなるように構成される。このことにより、隣接する主相結晶粒子の磁氣的孤立が向上し、高温減磁率の抑制がなされる。

以下、本実施形態に係る希土類磁石の製造方法の一例を説明する。

【0021】

本実施形態に係る希土類磁石の組成は、元素 T に較べ元素 R が $R_2T_{14}B$ の化学両論比よりも過剰となるようにする。具体的には、 R の原子百分率を14.4%前後とするの

50

がよい。また、本実施形態に係る希土類磁石は通常の粉末冶金法により製造することができ、該粉末冶金法は、原料合金を調製する調製工程、原料合金を粉砕して原料微粉末を得る粉砕工程、原料微粉末を成形して成形体を作製する成形工程、成形体を焼成して焼結体を得る焼結工程、及び焼結体に時効処理を施す熱処理工程を有する。

【0022】

調製工程は、本実施形態に係る希土類磁石に含まれる各元素を有する原料合金を調製する工程である。まず、所定の元素を有する原料金属を準備し、これらを用いてストリップキャスト法等を行う。これによって原料合金を調製することができる。原料金属としては、例えば、希土類金属や希土類合金、純鉄、純コバルト、フェロボロン、またはこれらの合金が挙げられる。これらの原料金属を用い、所望の組成を有する希土類磁石が得られるような原料合金を調製する。

10

【0023】

粉砕工程は、調製工程で得られた原料合金を粉砕して原料微粉末を得る工程である。この工程は、粗粉砕工程及び微粉砕工程の2段階で行うことが好ましいが、1段階としても良い。粗粉砕工程は、例えばスタンプミル、ジョークラッシャー、ブラウンミル等を用い、不活性ガス雰囲気中で行うことができる。水素を吸蔵させた後、粉砕を行う水素吸蔵粉砕を行うこともできる。粗粉砕工程においては、原料合金を、粒径が数百 μm から数 mm 程度となるまで粉砕を行う。

【0024】

微粉砕工程は、粗粉砕工程で得られた粗粉末を微粉砕して、平均粒径が数 μm 程度の原料微粉末を調製する。原料微粉末の平均粒径は、焼結後の結晶粒の成長度合を勘案して設定すればよい。微粉砕は、例えば、ジェットミルを用いて行うことができる。

20

【0025】

成形工程は、原料微粉末を磁場中で成形して成形体を作製する工程である。具体的には、原料微粉末を電磁石中に配置された金型内に充填した後、電磁石により磁場を印加して原料微粉末の結晶軸を配向させながら、原料微粉末を加圧することにより成形を行う。この磁場中の成形は、例えば、 $1000 \sim 1600 \text{ kA/m}$ の磁場中、 $30 \sim 300 \text{ MPa}$ 程度の圧力で行えばよい。

【0026】

焼結工程は、成形体を焼成して焼結体を得る工程である。磁場中成形後、成形体を真空もしくは不活性ガス雰囲気中で焼成し、焼結体を得ることができる。焼成条件は、成形体の組成、原料微粉末の粉砕方法、粒度等の条件に応じて適宜設定することが好ましいが、例えば、 $1000 \sim 1100$ で $1 \sim 10$ 時間程度行えばよい。

30

【0027】

熱処理工程は、焼結体を時効処理する工程である。この工程を経た後、 $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子の円磨度 A および粒界相の幅が決定される。しかしながら、これらの微細構造はこの工程のみで制御されるのではなく、上記した焼結工程の諸条件及び原料微粉末の状況との兼ね合いで決まる。従って、熱処理条件と焼結体の微細構造との関係を勘案しながら、熱処理温度及び時間を設定すればよい。熱処理は 400 以上、焼結温度以下の温度範囲で行えばよいが、 800 近傍での熱処理を行った後 550 近傍での熱処理を行うというふうに2段階に分けて行ってもよい。熱処理の降温過程における冷却速度でも微細組織は変動するが、冷却速度は、 100 /分以上、特に 300 /分以上とすることが好ましい。本発明の上記時効によれば、冷却速度を従来よりも速くしているため、粒界相における強磁性相の偏析を効果的に抑制させることができると考えている。よって、保磁力の低下、ひいては高温減磁率の悪化を招く原因を排除することができる。原料合金組成と前記した焼結条件および 800 近傍の熱処理条件を種々設定することにより、主相結晶粒子の形状を制御することができる。ここでは主相結晶粒子の形状の制御方法として熱処理工程の一例を述べたが、次に述べるような組成的要因によっても主相結晶粒子の形状を制御することは可能である。

40

【0028】

50

本発明者等の実験に基づく知見によれば、主相結晶粒子を構成するR、T、B元素以外の添加元素を適宜選択することにより、800近傍の高温熱処理において、主相の角部を溶解させ、主相結晶粒子の角部を丸くするとともに、粒界相にR、Feといった元素が析出するものと考えられる。このメカニズムに立脚すると、原料合金をRリッチ組成として粒界相に非磁性のRリッチ相を析出させるとともに、添加元素として、R、Tを取り込んで反強磁性もしくはフェリ磁性などの強磁性とは異なる磁気構造を有する化合物を形成する元素を選ぶことが好ましい。具体的には、Al、Ge、Si、Sn、Gaなどを添加するのが良いが、強磁性とは異なる磁気構造をもつ化合物を形成するものであればこれ以外でも良い。このように粒界相に非磁性のRリッチ相を析出させたり、粒界相が反強磁性もしくはフェリ磁性の化合物にすると、主相結晶粒子の磁氣的孤立化が起こりやすくなり高温減磁率の抑制等、優れた磁気特性を持つ磁石となる。

10

【0029】

また、得られた希土類磁石中に含まれるOについては、不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法により、Cについては、酸素気流中燃焼 - 赤外線吸収法により、Nについては、不活性ガス融解 - 熱伝導度法により測定することができるが、本実施形態の希土類磁石の組成は、上述したように元素Tに較べ元素Rが $R_2T_{14}B$ の化学両論比よりも過剰となるようにするとともに、含有するC、O及びNの原子数を、それぞれ[C]、[O]、及び[N]としたとき、 $[O]/([C]+[N]) < 0.60$ となる関係を満たすことが好ましい。このように構成することで、高温減磁率の絶対値を小さく抑制できる。

【0030】

20

次に、本発明を具体的な実施例に基づきさらに詳細に説明するが、本発明は、以下の実施例に限定されない。

【実施例】

【0031】

R元素としてNd、T元素としてFeを用い、また粒界相を形成するための添加元素としてCu、Gaを用い、希土類磁石の原料金属を準備し、

Nd : 31.08質量%、

B : 0.95質量%、

Ga : 0.72質量%、

Cu : 0.10質量%、

30

Fe : 残部(不可避不純物等を除いた部分はFe)、及び、

その他不可避不純物等が1質量%以下

からなる組成の各元素を溶解し、ストリップキャスト法により、原料合金を作製した。尚、より厚い粒界相とするために、上記組成よりもさらにNdリッチGaリッチの組成としても良い。次に、得られた原料合金に水素を吸蔵させた後、Ar雰囲気中で600、1時間の脱水素を行う水素粉碎処理を行った。その後、得られた粉碎物をAr雰囲気中で室温まで冷却した。

【0032】

得られた粉碎物に粉碎助剤としてオレイン酸アミドを添加、混合した後、ジェットミルを用いて微粉碎を行い、平均粒径が3~4 μ mである原料粉末を得た。

40

【0033】

得られた原料粉末を、低酸素雰囲気下において、配向磁場1200kA/m、成形圧力120MPaの条件で成形を行って、成形体を得た。

【0034】

その後、成形体を、真空中で1060、3時間焼成した後、急冷して焼結体を得た。得られた焼結体に対し、表1及び表3に示すように熱処理温度、時間及び熱処理の降温過程における冷却速度を変え、主相結晶粒子の円磨度の異なる複数の試料を準備した。尚、上記したように主相結晶粒子の円磨度は、原料合金組成、焼結条件によっても変化させることができる。

【0035】

50

【表 1】

試料No.	熱処理温度(°C)	熱処理時間(hr)	円磨度	高温減磁率(%)
比較例1	850	0.2	0.15	-2.3
比較例2	850	0.5	0.16	-2.2
比較例3	850	1	0.19	-2.1
比較例4	850	5	0.21	-2.1
実施例1	700	0.2	0.24	-0.77
実施例2	700	0.5	0.26	-0.51
実施例3	700	1	0.31	-0.27
実施例4	700	5	0.35	-0.2
実施例5	700	20	0.36	-0.18

10

【0036】

以上のようにして得られた試料につき、先ず高温減磁率を測定し、次に断面を電子顕微鏡により観察し、円磨度の測定および粒界相の観察を行った。円磨度に関してはそれぞれ大きさの異なる五個の粒子につき測定し、これら測定値の平均をその試料における円磨度とした。表2には実施例および比較例の一つの主相結晶粒子に対する円磨度測定の詳細を示す。実施例1の評価事例とした主相結晶粒子は10個の角部を持ち、それぞれの角部に内接する円の半径は表2に示すような値となった。また比較例1の評価事例とした主相結晶粒子は7個の角部を持ち、それぞれの角部に内接する円の半径は表2に示すような値となった。それぞれの実施例・比較例につき、残り4個の結晶粒子についても同様の測定を行い、その平均を求めて円磨度とした。

20

【0037】

【表2】

	実施例1	比較例1
R(μm)	7.98	4.23
r1(μm)	3.04	2.2
r2(μm)	1.48	1.15
r3(μm)	1.4	0.79
r4(μm)	2.95	0.43
r5(μm)	2.03	0.15
r6(μm)	3.11	0.15
r7(μm)	4.83	0.04
r8(μm)	0.39	—
r9(μm)	0.39	—
r10(μm)	1.05	—
n	10	7
円磨度A	0.26	0.17

30

40

【0038】

また、得られた希土類磁石中に含まれるN、C、O素の原子数を、それぞれ[C]、[O]、[N]としたとき、各試料の[O]/([C]+[N])の値を算出し、表3に示し

50

た。希土類磁石に含まれる酸素の量及び窒素の量は、粉碎工程から熱処理工程に至るまでの雰囲気を制御し、特に粉碎工程での雰囲気に含まれる酸素の量及び窒素の量の増減調整により、表3の範囲に調整した。また、希土類磁石に含まれる原料に含まれる炭素の量は、粉碎工程で添加する粉碎助剤の量の増減調整により、表3の範囲に調整した。

【0039】

【表3】

試料No.	希土類磁石に含まれるN、C、Oの量			原子数の比	熱処理の冷却速度
	N	C	O		
	質量%	質量%	質量%	$[O] / ([C] + [N])$	°C/min
比較例1	0.05	0.09	0.11	0.62	60
比較例2	0.05	0.09	0.11	0.62	60
比較例3	0.05	0.09	0.10	0.57	100
比較例4	0.05	0.09	0.10	0.57	100
実施例1	0.05	0.09	0.08	0.45	100
実施例2	0.05	0.09	0.08	0.45	100
実施例3	0.05	0.09	0.08	0.45	100
実施例4	0.05	0.09	0.09	0.51	300
実施例5	0.05	0.09	0.09	0.51	300

【0040】

図1は、他の実施例、比較例に対しても上記のようにして円磨度Aを評価し、この円磨度Aと高温減磁率Dとの関係を示したグラフである。図1より円磨度Aが0.24以上となる点を境として、高温減磁率Dの抑制効果が格段に向上しているのが解る。

【0041】

図3は本実施形態に係る希土類磁石の微細構造を示す断面写真である。この希土類磁石の円磨度Aは0.31であり、高温減磁率は-0.27%と極めて低く抑制されている。図3より、丸みを帯びた主相結晶粒子の間には、極めて大きな粒界相が形成されているのが解る。上記したように高温熱処理時に主相結晶粒子の角部を融解させ、これをもとに厚い粒界相を形成することにより、主相結晶粒子の表面を滑らかにするとともに磁氣的に孤立させることが出来ている。この粒界相の組成分析を行うと、Ndが90at%であるNdリッチ相、Fe元素を含んでも反強磁性とされるNd₆Fe₁₃Ga化合物相などが形成されていることを確認できた。合金原料組成をRリッチな組成とし、さらにGa等を添加することにより粒界相を強磁性ではない磁気構造とすることができ、よって主相結晶粒子の磁氣的孤立化を達成している。

【0042】

図4は、比較例である希土類磁石の微細構造を示す断面写真である。この比較例は上記した実施例とほぼ同一の組成であるが、高温熱処理等が不十分であるため、主相結晶粒子は角ばった形状となっている。この比較例の希土類磁石の円磨度Aは0.15であり、高温減磁率は-2.3%と大きい。

【0043】

また、表3に示すように、本発明の条件を満たす実施例1～5の試料では、焼結磁石に上

述した微細構造が形成されているとともに、焼結磁石に含まれるO、C及びNの原子数が、次のような特定の関係を満たしている。すなわち、O、C及びNの原子数を、それぞれ $[O]$ 、 $[C]$ 及び $[N]$ としたとき、 $[O]/([C]+[N]) < 0.60$ となる関係を満たしている。このように、 $[O]/([C]+[N]) < 0.60$ であることにより、高温減磁率Dを効果的に抑制させることが可能であった。

【0044】

上記実施例をもとに説明したように本発明に係る希土類磁石は、 $R_2T_{14}B$ 主相結晶粒子を円磨度Aが0.24以上となるように丸みを帯びた形状とすることで、主相結晶粒子に隣接して形成される粒界相の幅を厚くすることと相俟って、高温減磁率が低く抑制される。

10

【0045】

以上、本発明を実施の形態をもとに説明した。実施の形態は例示であり、いろいろな変形および変更が本発明の特許請求範囲内で可能なこと、またそうした変形例および変更も本発明の特許請求の範囲にあることは当業者に理解されるところである。従って、本明細書での記述および図面は限定的ではなく例証的に扱われるべきものである。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明によれば、高温環境下においても使用可能な希土類磁石を提供できる。

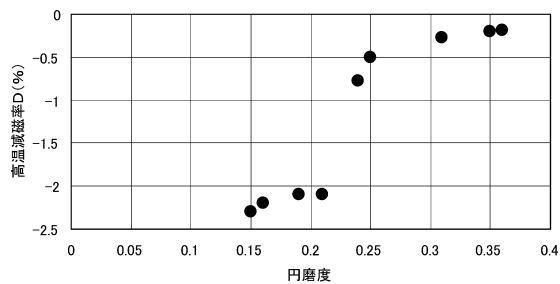
【符号の説明】

【0047】

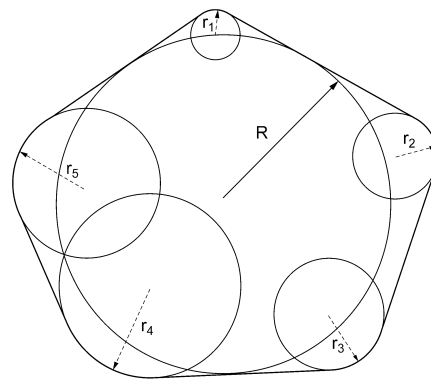
- 1 主相結晶粒子
- 2 粒界相

20

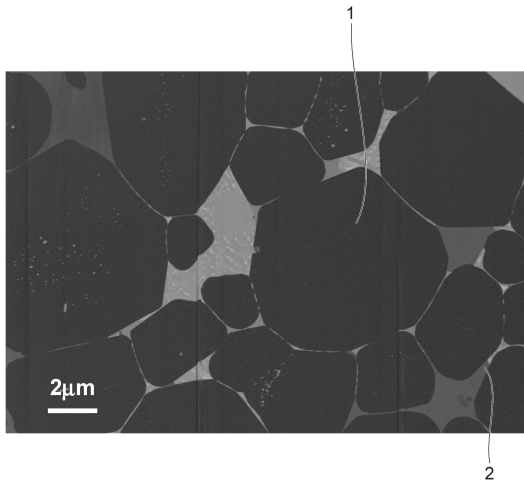
【図1】



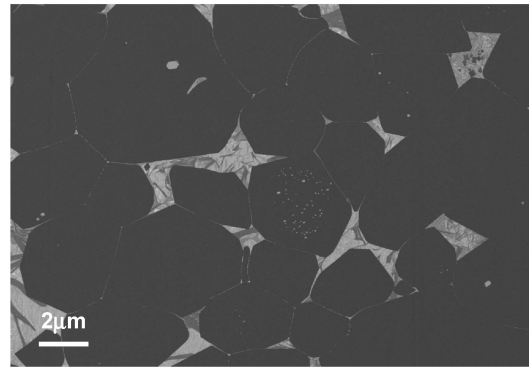
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-135019(JP,A)
特開平04-359404(JP,A)
特開2004-079922(JP,A)
特開2012-164764(JP,A)
特開平06-084627(JP,A)
特開2001-167916(JP,A)
特開2013-110389(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F	1/057
H01F	41/02
B22F	3/00
C22C	33/02
C22C	38/00