



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118202429 A

(43) 申请公布日 2024.06.14

(21) 申请号 202280073481.1

(22) 申请日 2022.11.02

(30) 优先权数据

2021-181081 2021.11.05 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.04.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/041055 2022.11.02

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/080169 JA 2023.05.11

(71) 申请人 TDK株式会社

地址 日本

(72) 发明人 河村弘树 工藤光 三轮将史

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

专利代理师 杨琦 陈明霞

(51) Int.Cl.

H01F 1/057 (2006.01)

B22F 3/00 (2021.01)

G22C 38/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书11页

(54) 发明名称

R-T-B系永久磁铁

(57) 摘要

一种R-T-B系永久磁铁,其含有Al、Ga及Zr。R的含量为30.00质量%以上33.00质量%以下,B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下,Al的含量大于0质量%且为0.07质量%以下,Ga的含量为0.40质量%以上1.00质量%以下,Zr的含量大于0.10质量%且为1.60质量%以下。

1. 一种R-T-B系永久磁铁,其中,
所述R-T-B系永久磁铁含有Al、Ga及Zr,
将所述R-T-B系永久磁铁设为100质量%时,
R的含量为30.00质量%以上33.00质量%以下,
B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下,
Al的含量大于0质量%且为0.07质量%以下,
Ga的含量为0.40质量%以上1.00质量%以下,
Zr的含量大于0.10质量%且为1.60质量%以下。
2. 根据权利要求1所述的R-T-B系永久磁铁,其中,
Co的含量为0.50质量%以上3.00质量%以下。
3. 根据权利要求1或2所述的R-T-B系永久磁铁,其中,
Cu的含量为0.15质量%以上1.00质量%以下。
4. 根据权利要求1~3中任一项所述的R-T-B系永久磁铁,其中,
C的含量为0.05质量%以上0.30质量%以下。
5. 根据权利要求1~4中任一项所述的R-T-B系永久磁铁,其中,
重稀土元素的含量为0质量%以上0.30质量%以下。
6. 根据权利要求1~5中任一项所述的R-T-B系永久磁铁,其中,
将所述R-T-B系永久磁铁的室温下的剩余磁通密度设为 Br_L ,将所述R-T-B系永久磁铁的
150°C下的矫顽力设为 HcJ_H 时,
 $Br_L + (HcJ_H/3) \geq 1580$
其中 Br_L 的单位为mT; HcJ_H 的单位为kA/m。

R-T-B系永久磁铁

技术领域

[0001] 本发明涉及R-T-B系永久磁铁。

背景技术

[0002] 在专利文献1中记载有一种发明,该发明涉及一种R-Fe-B系烧结磁铁,该R-Fe-B系烧结磁铁通过具有特定的组成及微细结构,从而在高温下具有高矫顽力(HcJ)。

[0003] 在专利文献2中记载有一种发明,该发明涉及一种R-(Fe、Co)-B系烧结磁铁,该R-(Fe、Co)-B系烧结磁铁通过具有特定的组成及微细结构,从而在室温及高温下具有高HcJ。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2017-228771号公报

[0007] 专利文献2:日本特开2018-82040号公报

发明内容

[0008] 发明想要解决的技术问题

[0009] 本发明的目的在于,提供一种室温下的剩余磁通密度(Br)和高温下的HcJ平衡良好地提高了的R-T-B系永久磁铁。

[0010] 用于解决问题的技术手段

[0011] 为了实现上述目的,本发明提供一种R-T-B系永久磁铁,

[0012] 其含有Al、Ga及Zr,其中,

[0013] 将所述R-T-B系永久磁铁设为100质量%时,

[0014] R的含量为30.00质量%以上33.00质量%以下,

[0015] B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下,

[0016] Al的含量大于0质量%且为0.07质量%以下,

[0017] Ga的含量为0.40质量%以上1.00质量%以下,

[0018] Zr的含量大于0.10质量%且为1.60质量%以下。

[0019] Co的含量也可以为0.50质量%以上3.00质量%以下。

[0020] Cu的含量也可以为0.15质量%以上1.00质量%以下。

[0021] C的含量也可以为0.05质量%以上0.30质量%以下。

[0022] 重稀土元素的含量也可以为0质量%以上0.30质量%以下。

[0023] 将所述R-T-B系永久磁铁的室温下的剩余磁通密度设为 Br_L (mT),将所述R-T-B系永久磁铁的150°C下的矫顽力设为 HcJ_H (kA/m),也可以为

[0024] $Br_L + (HcJ_H/3) \geq 1580$ 。

具体实施方式

[0025] 以下,基于实施方式说明本发明。

[0026] R-T-B系永久磁铁含有Al、Ga及Zr。而且,将R-T-B系永久磁铁设为100质量%时,R的含量为30.00质量%以上33.00质量%以下,B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下,Al的含量大于0质量%且为0.07质量%以下,Ga的含量为0.40质量%以上1.00质量%以下,Zr的含量大于0.10质量%且为1.60质量%以下。

[0027] R-T-B系永久磁铁通过具有上述组成,能够良好平衡地提高室温下的Br及高温下的HcJ。

[0028] R-T-B系永久磁铁的R表示稀土元素,T表示铁族元素,B表示硼。R-T-B系永久磁铁是含有1种以上的稀土元素、1种以上的铁族元素、及硼的永久磁铁。铁族元素是Fe、Co及Ni的总称。R-T-B系永久磁铁包含具有 $R_2T_{14}B$ 型的晶体结构的主相颗粒。

[0029] 关于稀土元素,R的含量、即稀土元素的含量为30.00质量%以上33.00质量%以下。稀土元素的含量也可以为30.00质量%以上32.00质量%以下。在稀土元素的含量为30.00质量%以上32.00质量%以下的情况下,与稀土元素的含量超过32.00质量%的情况相比,容易提高室温下的Br。在R的含量过小的情况下,高温下的HcJ容易变低。在R的含量过大的情况下,容易产生异常晶粒生长,室温下的Br容易变低。作为稀土元素,R-T-B系永久磁铁可以实际上仅含有选自Nd、Pr、Dy及Tb中的1种以上,也可以实际上仅含有选自Nd及Pr中的1种以上。此外,作为稀土元素,R-T-B系永久磁铁实际上仅含有选自Nd、Pr、Dy及Tb中的1种以上是指Nd、Pr、Dy及Tb以外的稀土元素的含量合计为0.01质量%以下。作为稀土元素,R-T-B系永久磁铁实际上仅含有选自Nd及Pr中的1种以上是指Nd及Pr以外的稀土元素的含量合计为0.01质量%以下。

[0030] 关于稀土元素,为了降低原料成本,重稀土元素的含量可以为0质量%以上0.80质量%以下,也可以为0质量%以上0.50质量%以下,还可以为0质量%以上0.30质量%以下。

[0031] 稀土元素中,将Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb及Lu作为重稀土元素。

[0032] 关于铁族元素,R-T-B系永久磁铁也可以必须含有Fe或Fe及Co。R-T-B系永久磁铁含有Fe及Co时的Co的含量没有特别限制,但从提高磁特性及耐腐蚀性的观点来看,可以为0.50质量%以上3.00质量%以下,也可以为0.80质量%以上3.00质量%以下。此外,也可以实际上不含有Ni。具体而言,Ni的含量也可以低于0.01质量%。

[0033] B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下。也可以为0.70质量%以上0.83质量%以下。在B的含量过小的情况下,烧结容易不充分。其结果,室温下的Br和高温下的HcJ均容易变低。在B的含量过大的情况下,高温下的HcJ容易变低。

[0034] Al的含量大于0质量%且为0.07质量%以下。也可以为0.02质量%以上0.07质量%以下。在不含有Al的情况下,高温下的HcJ变低。在Al的含量过大的情况下,室温下的Br变低。

[0035] Ga的含量为0.40质量%以上1.00质量%以下。Ga的含量也可以为0.40质量%以上0.80质量%以下。在Ga的含量为0.40质量%以上0.80质量%以下的情况下,与Ga的含量超过0.80质量%的情况相比,容易提高室温下的Br。在Ga的含量过小的情况下,高温下的HcJ容易变低。在Ga的含量过大的情况下,室温下的Br容易变低。

[0036] Zr的含量大于0.10质量%且为1.60质量%以下。也可以为0.15质量%以上1.50质量%以下,还可以为0.35质量%以上1.30质量%,还可以为0.35质量%以上0.95质量%以下。在重视高温下的HcJ高的情况下,也可以为0.50质量%以上1.50质量%以下。在Zr的含

量过小的情况下,R-T-B系永久磁铁中所含的磁性颗粒容易进行晶粒生长。其结果,高温下的HcJ容易降低。在Zr的含量过大的情况下,烧结容易不充分。其结果,室温下的Br和高温下的HcJ均容易变低。

[0037] R-T-B系永久磁铁根据需要可以含有Cu,也可以不含有Cu。含有Cu的情况下的Cu的含量也可以为0.15质量%以上1.00质量%以下。通过Cu的含量为0.15质量%以上1.00质量%以下,更容易平衡良好地提高室温下的Br及高温下的HcJ。

[0038] Cu的含量可以为0.15质量%以上0.30质量%以下。在Cu的含量为0.15质量%以上0.30质量%以下的情况下,与Cu的含量超过0.30质量%的情况相比,容易提高高温下的HcJ。

[0039] R-T-B系永久磁铁根据需要也可以含有O、N和/或C,也可以不含有O、N和/或C。

[0040] 含有O的情况下的O的含量也可以为0质量%以上0.20质量%以下。

[0041] 含有N的情况下的N的含量也可以为0质量%以上0.10质量%以下。

[0042] 含有C的情况下的C的含量可以为0.05质量%以上0.30质量%以下,也可以为0.09质量%以上0.26质量%以下。通过C的含量在上述范围内,更容易平衡良好地提高室温下的Br及高温下的HcJ。

[0043] 将R-T-B系永久磁铁设为100质量%是指将全部元素的含量的合计设为100质量%。而且,R-T-B系永久磁铁中的Fe的含量也可以是R-T-B系永久磁铁中的实际上的余部。具体而言,上述的元素以外的元素、即稀土元素、Fe、Co、Ni、B、Al、Ga、Zr、Cu、O、N及C以外的元素的含量合计也可以为0.50质量%以下。

[0044] <R-T-B系永久磁铁的制造方法>

[0045] 以下,对制造本实施方式的R-T-B系永久磁铁的方法的一例进行说明。制造本实施方式的R-T-B系永久磁铁(R-T-B系烧结磁铁)的方法具有以下的工序。此外,以下所示的(g)~(i)的各工序也可以省略。

[0046] (a) 制作原料合金的合金准备工序

[0047] (b) 粉碎原料合金的粉碎工序

[0048] (c) 将得到的合金粉末成型的成型工序

[0049] (d) 烧结成型体,得到R-T-B系永久磁铁的烧结工序

[0050] (e) 对R-T-B系永久磁铁进行时效处理的时效处理工序

[0051] (f) 冷却R-T-B系永久磁铁的冷却工序

[0052] (g) 对R-T-B系永久磁铁进行加工的加工工序

[0053] (h) 使重稀土元素扩散到R-T-B系永久磁铁的晶界的晶界扩散工序

[0054] (i) 对R-T-B系永久磁铁进行表面处理的表面处理工序

[0055] [合金准备工序]

[0056] 首先,准备原料合金(合金准备工序)。以下,作为合金准备方法的一例对薄带连铸法进行说明,但合金准备方法不限于薄带连铸法。

[0057] 首先,准备与原料合金的组成对应的原料金属,在真空或Ar气等惰性气体气氛中熔解所准备的原料金属。然后,通过铸造已熔解的原料金属,制作原料合金。此外,在本实施方式中,对单合金法进行说明,但也可以是将第一合金和第二合金的两个合金混合而制作原料合金的双合金法。

[0058] 原料金属的种类没有特别限制。能够使用例如稀土金属或稀土合金、纯铁、纯钴、硼铁合金,进一步可以使用它们的合金或化合物等。铸造原料金属的铸造方法没有特别限制。可举出例如锭块铸造法、薄带连铸法、书型铸模法(book molding method)、及离心铸造法等。在具有凝固偏析的情况下,得到的原料合金也可以根据需要进行均质化处理(溶体化处理)。

[0059] [粉碎工序]

[0060] 制作原料合金后,粉碎原料合金(粉碎工序)。粉碎工序也可以通过粉碎至粒径成为数百 μm ~数mm程度的粗粉碎工序和微粉碎至粒径成为数 μm 程度的微粉碎工序的两个阶段进行,但也可以通过仅微粉碎工序的一个阶段进行。

[0061] (粗粉碎工序)

[0062] 将原料合金粗粉碎至粒径成为数百 μm ~数mm程度(粗粉碎工序)。由此,得到原料合金的粗粉碎粉末。粗粉碎例如也可以通过吸氢粉碎进行。吸氢粉碎能够通过如下进行,在使原料合金吸氢后,基于不同的相之间的吸氢量的不同通过释放氢从而产生自崩解性的粉碎。将基于不同的相之间的吸氢量的不同而释放氢称为脱氢。脱氢的条件没有特别限制,例如在300~650 $^{\circ}\text{C}$ 、氩流中或真空中进行脱氢。

[0063] 此外,粗粉碎的方法不限定于上述的吸氢粉碎。例如,也可以在惰性气体气氛中,使用捣碎机、颚式破碎机、布朗研磨机等粗粉碎机进行粗粉碎。

[0064] 另外,为了得到具有高磁特性的R-T-B系永久磁铁,从粗粉碎工序至后面叙述的烧结工序的各工序的气氛优选设为低氧浓度的气氛。氧浓度通过各制造工序中的气氛的控制等而被调节。当各制造工序的氧浓度高时,将原料合金粉碎而得到的合金粉末中的稀土元素氧化,会生成稀土元素的氧化物。稀土元素的氧化物在烧结中未被还原,以稀土元素的氧化物的形式直接在晶界析出。晶界是存在于两个以上的主相颗粒之间的部分。其结果,得到的R-T-B系永久磁铁的Br降低。因此,例如,各工序(微粉碎工序、成型工序)也可以在将氧浓度设为100ppm以下的气氛中实施。

[0065] (微粉碎工序)

[0066] 粗粉碎原料合金后,将得到的原料合金的粗粉碎粉末微粉碎至平均粒径成为数 μm 程度(微粉碎工序)。由此,得到原料合金的微粉碎粉末。通过对已粗粉碎的粉末进一步微粉碎,从而能够得到微粉碎粉末。微粉碎粉末中所含的颗粒的D50没有特别限制。例如,D50可以为2.0 μm 以上4.5 μm 以下,也可以为2.5 μm 以上3.5 μm 以下。D50越小,本实施方式的R-T-B系永久磁铁的HcJ越容易提高。但是,在烧结工序中容易产生异常晶粒生长,烧结温度幅度的上限变低。D50越大,在烧结工序中越不易产生异常晶粒生长,烧结温度幅度的上限变高。但是,本实施方式的R-T-B系永久磁铁的HcJ容易降低。

[0067] 微粉碎通过一边适当调整粉碎时间等条件,一边使用例如喷磨机、球磨机、振动磨机、湿式磨碎机等微粉碎机对已粗粉碎的粉末进一步进行粉碎来实施。以下,对喷磨机进行说明。喷磨机是将高压的惰性气体(例如,He气、N₂气、Ar气)从狭窄的喷嘴释放而产生高速的气流,通过该高速的气流使原料合金的粗粉碎粉末加速,产生原料合金的粗粉碎粉末彼此的碰撞或与靶材或容器壁的碰撞从而进行粉碎的微粉碎机。

[0068] 在对原料合金的粗粉碎粉末进行微粉碎时,也可以添加粉碎助剂。粉碎助剂的种类没有特别限制。例如,也可以使用有机物润滑剂或固体润滑剂。作为有机物润滑剂,可举

出例如油酸酰胺、月桂酸酰胺、硬脂酸锌等。作为固体润滑剂,可举出例如石墨等。通过添加粉碎助剂,能够得到在成型工序中施加磁场时容易产生取向的微粉碎粉末。有机物润滑剂及固体润滑剂可以仅使用任一者,但也可以将两者混合来使用。这是由于特别是在仅使用固体润滑剂的情况下,有时取向度降低。

[0069] [成型工序]

[0070] 将微粉碎粉末成型为目标的形状(成型工序)。在成型工序中,通过将微粉碎粉末填充到配置于电磁铁中的模具内并进行加压,从而对微粉碎粉末进行成型,得到成型体。此时,通过一边施加磁场一边成型,从而能够在将微粉碎粉末的结晶轴取向为特定方向的状态下成型。所得到的成型体向特定方向取向,因此,可得到具有磁性更强的各向异性的R-T-B系永久磁铁。另外,也可以添加成型助剂。成型助剂的种类没有特别限制。也可以使用与粉碎助剂相同的润滑剂。另外,粉碎助剂也可以兼作成型助剂。

[0071] 加压时的压力例如也可以设为30MPa以上300MPa以下。施加的磁场例如也可以设为1000kA/m以上1600kA/m以下。施加的磁场不限定于静磁场,也能够设为脉冲状磁场。另外,也能够并用静磁场和脉冲状磁场。

[0072] 此外,作为成型方法,除了应用如上述那样将微粉碎粉末直接成型的干式成型之外,还能够应用将使微粉碎粉末分散于油等溶剂所得到的浆料进行成型的湿式成型。

[0073] 将微粉碎粉末成型而得到的成型体的形状没有特别限定,例如能够设为长方体、平板状、柱状、环状等、与期望的R-T-B系永久磁铁的形状对应的形状。

[0074] [烧结工序]

[0075] 将在磁场中成型且成型为目标的形状而得到的成型体在真空或惰性气体气氛中烧结,并得到R-T-B系永久磁铁(烧结工序)。烧结时的保持温度及保持时间需要根据组成(主要是B的含量)、粉碎方法、粒度和粒度分布的不同等各条件进行调整。保持温度例如可以设为1000°C以上1100°C以下,也可以设为1020°C以上1070°C以下。保持时间没有特别限制,例如可以设为2小时以上50小时以下,也可以设为4小时以上40小时以下。保持时间越短,生产效率越高。保持时的气氛没有特别限制。例如,可以设为惰性气体气氛,也可以设为低于100Pa的真空气氛,也可以设为低于10Pa的真空气氛。至保持温度的加热速度没有特别限制。通过烧结,微粉碎粉末产生液相烧结,得到本实施方式的R-T-B系永久磁铁。对成型体烧结而得到烧结体后的冷却速度没有特别限制,但为了提高生产效率,也可以对烧结体进行骤冷。也可以以30°C/分钟以上的速度骤冷。

[0076] [时效处理工序]

[0077] 烧结成型体后,对R-T-B系永久磁铁进行时效处理(时效处理工序)。烧结后,通过比烧结时低的温度保持得到的R-T-B系永久磁铁等,对R-T-B系永久磁铁实施时效处理。以下,对将时效处理分为第一时效处理和第二时效处理的两个阶段的情况进行说明,但也可以仅进行任一个时效处理,也可以进行3个阶段以上的时效处理。

[0078] 各时效处理中的保持温度及保持时间没有特别限制。例如,第一时效处理可以以800°C以上900°C以下的保持温度进行30分钟以上4小时以下。至保持温度的升温速度可以设为5°C/分钟以上50°C/分钟以下。第一时效处理时的气氛可以设为大气压以上的压力的惰性气体气氛(例如,He气、Ar气)。第二时效处理除了将保持温度设为450°C以上550°C以下这一点以外,也可以通过与第一时效处理相同的条件实施。通过时效处理,能够提高R-T-B

系永久磁铁的磁特性。另外,时效处理工序也可以在后面叙述的加工工序之后进行。

[0079] [冷却工序]

[0080] 在对R-T-B系永久磁铁实施时效处理(第一时效处理或第二时效处理)之后,R-T-B系永久磁铁在惰性气体气氛中进行骤冷(冷却工序)。由此,能够得到本实施方式的R-T-B系永久磁铁。冷却速度没有特别限定。可以设为30°C/分钟以上。

[0081] [加工工序]

[0082] 得到的R-T-B系永久磁铁也可以根据需要加工成期望的形状(加工工序)。加工方法可举出例如切断、磨削等形状加工、及滚筒研磨等倒角加工等。

[0083] [晶界扩散工序]

[0084] 也可以对加工后的R-T-B系永久磁铁的晶界进一步扩散重稀土元素(晶界扩散工序)。晶界扩散的方法没有特别限制。例如,也可以通过涂布或蒸镀等,使含有重稀土元素的化合物附着于R-T-B系永久磁铁的表面后进行热处理来实施。另外,也可以通过在含有重稀土元素的蒸气的气氛中对R-T-B系永久磁铁进行热处理来实施。通过晶界扩散,能够进一步提高R-T-B系永久磁铁的HcJ。

[0085] [表面处理工序]

[0086] 通过以上工序得到的R-T-B系永久磁铁也可以实施镀敷、树脂覆膜、氧化处理、化学处理等表面处理(表面处理工序)。由此,能够进一步提高耐腐蚀性。

[0087] 如上得到的R-T-B系永久磁铁具有良好的磁特性。即,可得到室温下的Br和高温下的HcJ平衡良好地提高了的R-T-B系永久磁铁。具体而言,将R-T-B系永久磁铁的室温(23°C)下的Br设为Br_L(mT),将R-T-B系永久磁铁的高温(150°C)下的HcJ设为HcJ_H(kA/m),可得到满足Br_L+(HcJ_H/3)≥1580的R-T-B系永久磁铁。

[0088] 此外,本发明不限于上述的实施方式,能够在本发明的范围内进行各种改变。例如,关于R-T-B系永久磁铁的制造方法,也可以进行热成型及热加工来代替烧结。

[0089] 实施例

[0090] 以下,通过实施例更详细地说明发明,但本发明不限于这些实施例。

[0091] (实验例1)

[0092] (合金准备工序)

[0093] 在合金准备工序中,准备最终得到具有表1~表3所示的组成的R-T-B系永久磁铁的原料合金。TRE是指R的含量。表1~表3中未记载的元素即Fe以外的元素的含量全部低于0.01质量%。即,在表1~表3所示的各实施例及各比较例中,Fe为实际上的余部。

[0094] 首先,准备具有规定元素的原料金属。作为原料金属,例如,适当选择表1~表3中记载的元素的单体、含有表1~表3中记载的元素的合金、和/或含有表1~表3中记载的元素的化合物等来准备。

[0095] 接着,对这些原料金属进行称重,并通过薄带连铸法准备原料合金。此时,准备最终可得到具有表1~表3所示的组成的磁铁的原料合金。此外,原料合金中的碳的含量通过改变原料金属中使用的生铁的比例来控制。

[0096] (粉碎工序)

[0097] 在粉碎工序中,对通过合金准备工序而得到的原料合金进行粉碎,得到了合金粉末。通过粗粉碎和微粉碎的两个阶段进行粉碎。粗粉碎通过吸氢粉碎进行。在对原料合金吸

氢后,在氩流中或真空中以300~600°C进行了脱氢。通过粗粉碎,得到了数百 μm ~数mm程度的粒径的合金粉末。

[0098] 对粗粉碎中得到的合金粉末100质量份添加作为粉碎助剂的油酸酰胺,在混合后使用喷磨机进行了微粉碎。以最终得到具有表1~表3所示的组成的磁铁的方式,控制油酸酰胺的添加量。喷磨机中使用了氮气。微粉碎进行至合金粉末的D50成为3.0 μm 程度。

[0099] (成型工序)

[0100] 在成型工序中,将通过粉碎工序得到的合金粉末在磁场中成型,得到成型体。将合金粉末填充到配置于电磁铁中的模具内后,一边通过电磁铁施加磁场,一边加压而进行成型。施加的磁场的大小设为1200kA/m。成型时的压力设为40MPa。

[0101] (烧结工序)

[0102] 在烧结工序中,对得到的成型体进行烧结,得到了烧结体。烧结时的保持温度及保持时间根据B的含量而适当变化。在表1~表3中表示烧结时的保持温度及保持时间。升温至保持温度时的升温速度设为8.0°C/分钟,从保持温度冷却至室温时的冷却速度设为50°C/分钟。烧结时的气氛设为真空气氛或惰性气体气氛。

[0103] (时效处理工序)

[0104] 在时效工序中,对得到的烧结体进行时效处理,得到了R-T-B系永久磁铁。通过第一时效处理和第二时效处理的两个阶段进行时效处理。

[0105] 在第一时效处理中,升温至保持温度时的升温速度设为8.0°C/分钟,保持温度设为900°C,保持时间设为1.0小时,从保持温度冷却至室温时的冷却速度设为50°C/分钟。第一时效处理时的气氛设为Ar气氛。

[0106] 在第二时效处理中,升温至保持温度时的升温速度设为8.0°C/分钟,保持温度设为500°C,保持时间设为1.5小时,从保持温度冷却至室温时的冷却速度设为50°C/分钟。第二时效处理时的气氛设为Ar气氛。

[0107] 各实施例及比较例中最终得到的R-T-B系永久磁铁的组成成为表1~表3所示的组成通过根据荧光X射线分析法、电感耦合等离子体质量分析法(ICP法)、及气体分析进行组成分析来确认。特别是C的含量通过氧气流中燃烧-红外线吸收法测定。另外,B的含量通过ICP法测定。

[0108] (评价)

[0109] 使用B-H示踪剂测定各实施例及比较例的由原料合金制作的R-T-B系永久磁铁的磁特性。作为磁特性,测定了 Br_L 及 HcJ_H 。进一步计算出 $Br_L + (HcJ_H/3)$ 。将结果示于表1~表3中。

[0110] 在本实施例的R-T-B系永久磁铁中,将 $Br_L + (HcJ_H/3) \geq 1580$ 的情况设为良好。

[0111]

[表 1]

	TRE [mass%]	Nd [mass%]	Pr [mass%]	Co [mass%]	B [mass%]	Al [mass%]	Cu [mass%]	Ga [mass%]	Zr [mass%]	O [mass%]	N [mass%]	C [mass%]	保持温度 [°C]	保持时间 [h]	Br _L [mT]	Hc _H [kA/m]	Br _L ⁺ (Hc _H /3)
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
比较例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
比较例 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
比较例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
比较例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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

[0112]

[表 2]

	TRE [mass%]	Nd [mass%]	Pr [mass%]	Co [mass%]	B [mass%]	Al [mass%]	Cu [mass%]	Ga [mass%]	Zr [mass%]	O [mass%]	N [mass%]	C [mass%]	保持温度 [°C]	保持时间 [h]	Br _L [mT]	HeI _F [kA/m]	Br _L ⁺ (HeI _F /3)
比较例 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	1392	535	1570
实施例 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	1386	595	1584
实施例 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	1371	641	1585
实施例 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	1360	669	1583
实施例 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
实施例 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	1334	739	1580
比较例 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	1328	742	1575
比较例 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	1369	587	1565
实施例 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	1368	644	1583
实施例 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	1359	669	1582
实施例 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
实施例 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	1340	722	1581
比较例 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	1333	700	1566
比较例 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	1353	632	1564
实施例 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	1353	697	1585
实施例 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	1350	700	1583
实施例 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
实施例 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	1344	712	1581
实施例 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	1342	718	1581
实施例 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	1338	726	1580
比较例 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	1318	649	1534
实施例 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	1348	700	1581
实施例 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	1348	703	1582
实施例 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
实施例 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	1357	698	1590
实施例 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
实施例 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	1385	591	1582
实施例 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	1393	585	1588
实施例 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	1397	581	1591
实施例 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	1400	562	1587
实施例 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	1408	528	1584

[0113]

[表 3]

	TRE [mass%]	Nd [mass%]	Pr [mass%]	Dy [mass%]	Tb [mass%]	Co [mass%]	B [mass%]	Al [mass%]	Cu [mass%]	Ga [mass%]	Zr [mass%]	O [mass%]	N [mass%]	C [mass%]	保持 温度 [°C]	保持 时间 [h]	Br _L [mT]	Hc _H [kA/m]	Br _L + (Hc _H /3)
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
比较例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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
实施例 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

[0114] 在表1中表示主要改变了B的含量及Al的含量的实施例及比较例。B的含量为0.70质量%以上0.88质量%以下、且Al的含量大于0且为0.07质量%以下的各实施例满足Br_L+

$(\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。与之相对,B的含量过小的比较例3的烧结无法充分进行。其结果,比较例3不满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。B的含量过大的各比较例均不满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。Al的含量过大的各比较例均不满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。

[0115] 在表2中表示主要改变了R的含量(TRE)、Ga的含量、Zr的含量、Cu的含量、或Co的含量的实施例及比较例。全部元素的含量在规定的范围内的各实施例满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。与之相对,R的含量(TRE)、Ga的含量、或Zr的含量在规定的范围外的各比较例均不满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。

[0116] 在表3中示出对于实施例11、比较例4、实施例15的各自分别将Nd和Pr的比率设为一定,并将Nd的一部分及Pr的一部分置换为Dy或Tb的实施例及比较例。即使将Nd的一部分及Pr的一部分置换为Dy或Tb,全部元素的含量也在规定的范围内的各实施例满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。与之相对,B的含量在规定的范围外的各比较例均不满足 $\text{Br}_{\text{L}} + (\text{HcJ}_{\text{H}}/3) \geq 1580$ 。