



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116844812 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 03

(21) 申请号 202310745614.1

(22) 申请日 2023.06.21

(71) 申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72) 发明人 岳明 秦渊 刘卫强

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司

11002

专利代理师 刘璞

(51) Int. Cl.

H01F 1/057 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

G22C 38/00 (2006.01)

G22C 38/16 (2006.01)

G22C 38/10 (2006.01)

G22C 38/14 (2006.01)

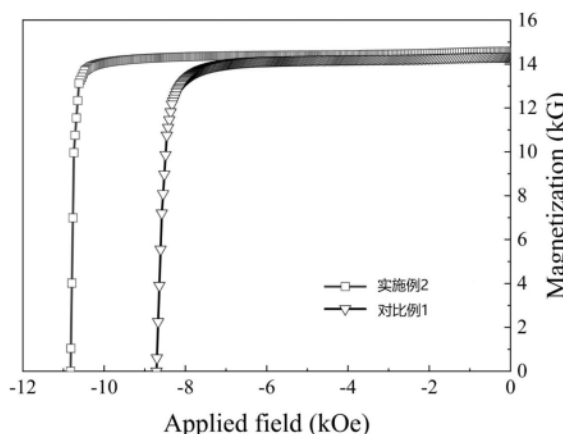
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种稀土永磁合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明属于稀土磁性材料技术领域,具体涉及一种稀土永磁合金及其制备方法,具有式Nd<sub>x</sub>(La<sub>a</sub>Ce<sub>1-a</sub>)<sub>y</sub>Fe<sub>100-x-y-w-t-e-z</sub>Ga<sub>t</sub>Cu<sub>e</sub>M<sub>z</sub>B<sub>w</sub>表示的组成,式中M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种;16.0≤x≤33.0,0.05≤a≤0.20,1.0≤y≤12.0,0.3≤t≤1.0,0.3≤e≤1.0,0.1≤z≤1.0,0.8≤w≤1.0。该稀土永磁合金通过引入La元素并调节Ga、Cu比例来宏观调控晶间相成分,促进稀土元素之间扩散,使得大量稀土元素聚集在晶粒边界,有利于在相邻主相晶粒之间形成均匀连续的富稀土相薄层,抑制主相晶粒之间的交换耦合作用,显著提高磁性能。



1. 一种稀土永磁合金, 其特征在于, 所述稀土永磁合金具有式  $Nd_x (La_a Ce_{1-a})_y Fe_{100-x-y-w-t-e-z} Ga_t Cu_e M_z B_w$  表示的组成, 式中:

M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种;

x、y、t、e、z、w为各元素的重量百分比含量, 其范围是  $16.0 \leq x \leq 33.0$ ,  $1.0 \leq y \leq 12.0$ ,  $0.3 \leq t \leq 1.0$ ,  $0.3 \leq e \leq 1.0$ ,  $0.1 \leq z \leq 1.0$ ,  $0.8 \leq w \leq 1.0$ ;

a为La在La和Ce整体中的重量百分比含量, 其范围是  $0.05 \leq a \leq 0.20$ 。

2. 根据权利要求1所述的稀土永磁合金, 其特征在于,  $28.0 \leq x+y \leq 34.0$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的稀土永磁合金, 其特征在于,  $y/(x+y) = 5.0 \sim 40.0 \text{wt.}\%$ 。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的稀土永磁合金, 其特征在于, M为质量比为0.1~0.6:0.12的Co和Zr。

5. 一种稀土永磁合金的制备方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

通过气流磨的方式获得稀土永磁合金磁粉; 所述稀土永磁合金磁粉具有式  $Nd_x (La_a Ce_{1-a})_y Fe_{100-x-y-w-t-e-z} Ga_t Cu_e M_z B_w$  表示的组成, 式中:

M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种;

x、y、t、e、z、w为各元素的重量百分比含量, 其范围是  $16.0 \leq x \leq 33.0$ ,  $1.0 \leq y \leq 12.0$ ,  $0.3 \leq t \leq 1.0$ ,  $0.3 \leq e \leq 1.0$ ,  $0.1 \leq z \leq 1.0$ ,  $0.8 \leq w \leq 1.0$ ; a为La在La和Ce整体中的重量百分比含量, 其范围是  $0.05 \leq a \leq 0.20$ ;

将所述稀土永磁合金磁粉依次进行磁场取向成型、冷等静压、真空烧结和二级回火热处理, 得到稀土永磁合金。

6. 根据权利要求5所述的稀土永磁合金, 其特征在于,  $28.0 \leq x+y \leq 34.0$ ;

和/或,  $y/(x+y) = 5.0 \sim 40.0 \text{wt.}\%$ ;

和/或, M为质量比为0.2~0.5:0.12的Co和Zr。

7. 根据权利要求5或6所述的稀土永磁合金, 其特征在于, 所述稀土永磁合金磁粉的制备方法具体如下:

(1) 按照所述稀土永磁合金磁粉中各元素的比例配料;

(2) 将配好的含各元素的原料混合并进行熔炼, 再制得速凝片;

(3) 将所述速凝片进行破氢处理, 脱氢后得到粗磁粉;

(4) 将所述粗磁粉与第一润滑剂、第一抗氧化剂混合均匀, 进行气流磨得到稀土永磁合金磁粉, 所述稀土永磁合金磁粉的平均粒径为  $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ ;

优选的, 所述速凝片的厚度为  $200 \sim 350 \mu\text{m}$ ;

和/或, 以所述粗磁粉的重量计, 所述第一润滑剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ , 所述第一抗氧化剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ 。

8. 根据权利要求5-7任一项所述的稀土永磁合金, 其特征在于, 将所述稀土永磁合金磁粉依次进行磁场取向成型、冷等静压具体为:

先将所述稀土永磁合金磁粉与第二润滑剂、第二抗氧化剂混合均匀, 然后于惰性气氛保护下在磁场强度为  $1.5 \sim 1.8 \text{T}$  的磁场中取向压型, 得到粗胚;

将所述粗胚真空封装后进行冷等静压, 冷等静压的压力为  $210 \sim 230 \text{MPa}$ , 保压时间为  $120 \sim 240 \text{s}$ ;

优选的, 以所述粗磁粉的重量计, 所述第二润滑剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ , 所述第二防氧

化剂的用量为0.01~3%。

9. 根据权利要求5-8任一项所述的稀土永磁合金,其特征在于,所述真空烧结的烧结温度为1040~1080℃,保温时间为3~5h。

10. 根据权利要求5-9任一项所述的稀土永磁合金,其特征在于,所述二级回火热处理具体为:首先在800~900℃下进行3~5h的热处理,然后在400~500℃下进行3~5h的热处理。

## 一种稀土永磁合金及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于稀土磁性材料技术领域,具体涉及一种稀土永磁合金及其制备方法。

### 背景技术

[0002] Nd-Fe-B磁体具有优异的磁性能,被广泛应用于风力电机、新能源汽车、智能电子设备等领域。然而,随着社会对Nd-Fe-B磁体需求量的不断增加,导致了稀土元素Nd、Pr、Dy、Tb的过度使用,使得丰富而廉价的La、Ce元素被大量积压,稀土资源利用失衡。因此,使用La、Ce元素来制备高性能烧结磁体,对于节约生产成本和稀土资源平衡利用具有十分重要的意义。

[0003] 从资源平衡利用和经济适用性的角度来看,用La、Ce元素替代Nd、Pr元素已成为制造Nd-Fe-B磁体的优先选择,但是由于La、Ce元素的内禀性能较差,大量添加La、Ce元素会导致磁性能急剧下降,特别是矫顽力的严重恶化。为了提高磁体的磁性能,研究者们主要从以下两个方面进行了大量的研究工作:一是提高主相晶粒的各向异性场来提高矫顽力,如CN201210315684.5和CN201911156116.3;二是通过晶界优化来形成均匀连续的富稀土相薄层来减弱交换耦合作用,抑制磁化过程中的晶粒反转来提高矫顽力,如CN201310035673.6。现有的研究工作集中于通过改进制备方法提高主相晶粒的各向异性场和晶界优化,如上述现有技术主要以双合金法和晶界扩散法为主,但采用双合金法制备的LaCe基磁体中稀土元素的互扩散行为很难精确控制,在长时间的高温烧结过程中,Ce等扩散速度较快的元素易形成较厚的富高丰度稀土元素壳层,具有更低的磁晶各向异性场,易成为反磁化过程中的形核位点,降低矫顽力。而晶界扩散法只适用于薄磁体,受扩散深度的影响,无法制备较厚的大块磁体。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种稀土永磁合金及其制备方法,该稀土永磁合金为单主相(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B永磁合金,通过La元素取代Ce元素并调节微量元素Ga、Cu比例来宏观调控晶间相成分,促进Nd/La/Ce稀土元素之间的扩散,使得大量的稀土元素聚集在晶粒边界,优化了富稀土相成分并在相邻主相晶粒之间形成均匀连续的富稀土相薄层,抑制主相晶粒之间的交换耦合作用,显著提高磁性能(剩磁、矫顽力和最大磁能积)。

[0005] 具体地,本发明提供以下技术方案:

[0006] 一种稀土永磁合金,所述稀土永磁合金具有式 $Nd_x(La_aCe_{1-a})_yFe_{100-x-y-w-t-e-z}Ga_tCu_eM_zB_w$ 表示的组成,式中:

[0007] M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种;

[0008] x、y、t、e、z、w为各元素的重量百分比含量(wt. %),其范围是 $16.0 \leq x \leq 33.0$ ,  $1.0 \leq y \leq 12.0$ ,  $0.3 \leq t \leq 1.0$ ,  $0.3 \leq e \leq 1.0$ ,  $0.1 \leq z \leq 1.0$ ,  $0.8 \leq w \leq 1.0$ ;

[0009] a为La在La和Ce整体中的重量百分比含量,其范围是 $0.05 \leq a \leq 0.20$ 。

- [0010] 作为优选,  $28.0 \leq x+y \leq 34.0$ 。
- [0011] 作为优选,  $y/(x+y) = 5.0 \sim 40.0 \text{wt.}\%$ 。
- [0012] 本发明发现, 控制稀土总量为  $28.0 \sim 34.0 \text{wt.}\%$ , La和Ce总量占稀土总量的  $5.0 \sim 40.0 \text{wt.}\%$ , 剩磁、矫顽力和最大磁能积都得到了进一步提高。
- [0013] 作为优选, M为质量比为  $0.1 \sim 0.6:0.12$  的Co和Zr。
- [0014] 本发明还提供一种稀土永磁合金的制备方法, 包括以下步骤:
- [0015] 通过气流磨的方式获得稀土永磁合金磁粉; 所述稀土永磁合金磁粉具有式  $\text{Nd}_x(\text{La}_a\text{Ce}_{1-a})_y\text{Fe}_{100-x-y-w-t-e-z}\text{Ga}_t\text{Cu}_e\text{M}_z\text{B}_w$  表示的组成, 式中:
- [0016] M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种;
- [0017] x、y、t、e、z、w为各元素的重量百分比含量(wt.%) , 其范围是  $16.0 \leq x \leq 33.0$ ,  $1.0 \leq y \leq 12.0$ ,  $0.3 \leq t \leq 1.0$ ,  $0.3 \leq e \leq 1.0$ ,  $0.1 \leq z \leq 1.0$ ,  $0.8 \leq w \leq 1.0$ ; a为La在La和Ce整体中的重量百分比含量, 其范围是  $0.05 \leq a \leq 0.20$ ;
- [0018] 将所述稀土永磁合金磁粉依次进行磁场取向成型、冷等静压、真空烧结和二级回火热处理, 得到稀土永磁合金。
- [0019] 作为优选,  $28.0 \leq x+y \leq 34.0$ ;
- [0020] 和/或,  $y/(x+y) = 5.0 \sim 40.0 \text{wt.}\%$ ;
- [0021] 和/或, M为质量比为  $0.2 \sim 0.5:0.12$  的Co和Zr。
- [0022] 作为优选, 所述稀土永磁合金磁粉的制备方法具体如下:
- [0023] (1) 按照所述稀土永磁合金磁粉中各元素的比例配料;
- [0024] (2) 将配好的含各元素的原料混合并进行熔炼, 再制得速凝片;
- [0025] (3) 将所述速凝片进行破氢处理, 脱氢后得到粗磁粉;
- [0026] (4) 将所述粗磁粉与第一润滑剂、第一抗氧化剂混合均匀, 进行气流磨得到稀土永磁合金磁粉, 所述稀土永磁合金磁粉的平均粒径为  $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 。
- [0027] 进一步优选的, 所述速凝片的厚度为  $200 \sim 350 \mu\text{m}$ ;
- [0028] 和/或, 以所述粗磁粉的重量计, 所述第一润滑剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ , 所述第一抗氧化剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ 。
- [0029] 作为优选, 将所述稀土永磁合金磁粉依次进行磁场取向成型、冷等静压具体为:
- [0030] 先将所述稀土永磁合金磁粉与第二润滑剂、第二抗氧化剂混合均匀, 然后于惰性气氛保护下在磁场强度为  $1.5 \sim 1.8 \text{T}$  的磁场中取向压型, 得到粗胚;
- [0031] 将所述粗胚真空封装后进行冷等静压, 冷等静压的压力为  $210 \sim 230 \text{MPa}$ , 保压时间为  $120 \sim 240 \text{s}$ 。
- [0032] 进一步优选的, 以所述粗磁粉的重量计, 所述第二润滑剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ , 所述第二抗氧化剂的用量为  $0.01 \sim 3\%$ 。
- [0033] 作为优选, 所述真空烧结的烧结温度为  $1040 \sim 1080^\circ\text{C}$ , 保温时间为  $3 \sim 5 \text{h}$ 。
- [0034] 作为优选, 所述二级回火热处理具体为: 首先在  $800 \sim 900^\circ\text{C}$  下进行  $3 \sim 5 \text{h}$  的热处理, 然后在  $400 \sim 500^\circ\text{C}$  下进行  $3 \sim 5 \text{h}$  的热处理。
- [0035] 本发明对任一所述润滑剂、任一所述抗氧化剂为无特殊限制, 采用本领域常规的润滑剂、抗氧化剂即可。
- [0036] 与现有技术相比, 本发明具有如下优点:

[0037] 本发明提供的稀土永磁合金,通过引入La元素并调节Ga、Cu比例来宏观调控晶间相成分,促进Nd/La/Ce稀土元素之间扩散,使得大量的稀土元素聚集在晶粒边界,优化了富稀土相成分并在相邻主相晶粒之间形成均匀连续的富稀土相薄层,抑制主相晶粒之间的交换耦合作用,显著提高磁性能;

[0038] 现有高丰度稀土永磁材料主要以含Ce磁体为主,La元素由于内禀磁性能较差而应用较少。本发明提供的稀土永磁合金,在含Ce磁体中引入La元素,得到的磁体与未添加La元素制得的磁体相比,剩磁、矫顽力和最大磁能积都有了大幅度提高,实现了La元素的高效利用,对促进稀土资源的平衡利用,降低生产成本具有重要意义。

## 附图说明

[0039] 图1为实施例2和对比例1的矫顽力效果对比,其中横坐标为矫顽力,纵坐标为剩磁。

## 具体实施方式

[0040] 本发明提供了一种稀土永磁合金,该合金的名义成分为 $Nd_x(La_aCe_{1-a})_yFe_{100-x-y-w-t-e-z}Ga_tCu_eM_zB_w$  (wt. %), M为Al、Nb、Ti、Co、Zr中的一种或者几种,其中x、a、y、t、e、z、w满足以下关系: $16.0 \leq x \leq 33.0$ ,  $0.05 \leq a \leq 0.20$ ,  $1.0 \leq y \leq 12.0$ ,  $0.3 \leq t \leq 1.0$ ,  $0.3 \leq e \leq 1.0$ ,  $0.1 \leq z \leq 1.0$ ,  $0.8 \leq w \leq 1.0$ 。通过La元素取代Ce元素并调节微量元素Ga、Cu比例来宏观调控晶间相成分,促进Nd/La/Ce稀土元素之间的扩散,使得大量的稀土元素聚集在晶粒边界,优化了富稀土相成分并在相邻主相晶粒之间形成均匀连续的富稀土相薄层,抑制主相晶粒之间的交换耦合作用,同时提高了单主相(Nd, La, Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B烧结永磁材料剩磁、矫顽力和最大磁能积。

[0041] 在一种优选的实施方式中, $28.0 \leq x+y \leq 34.0$ ,  $y/(x+y) = 5.0 \sim 40.0$ wt. %, M为质量比为0.2~0.5:0.12的Co和Zr。

[0042] 本发明还提供了一种上述稀土永磁合金的制备方法,包括以下步骤:

[0043] 通过气流磨的方式获得稀土永磁合金磁粉;

[0044] 将所述稀土永磁合金磁粉依次进行磁场取向成型、冷等静压、真空烧结和二级回火热处理,得到稀土永磁合金。

[0045] 在一种优选的实施方式中,该制备方法具体包括以下步骤:

[0046] (1)根据合金的名义成分为 $Nd_x(La_aCe_{1-a})_yFe_{100-x-y-w-t-e-z}Ga_tCu_eM_zB_w$ ,分别选择对应的金属钕、金属镧、金属铈、铁、铁硼合金、其他元素M放入坩埚中,在氩气保护下进行熔炼,然后浇到旋转的水冷铜辊上,铜辊转速1~4m/s,得到厚度约为200~350 $\mu$ m的速凝片;

[0047] (2)将步骤(1)中得到的速凝片进行氢破碎,脱氢后得到粗粉;

[0048] (3)在步骤(2)中得到的氢破碎粗粉中分别添加0.01~3%质量比的润滑剂和抗氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径为2.5~3.0 $\mu$ m的细粉;

[0049] (4)将步骤(3)中的气流磨细粉中再分别添加0.01~3%质量比的润滑剂和抗氧化剂混合均匀,在惰性气体的保护下,将细粉在磁场强度为1.5~1.8T的磁场中进行取向压型,得到粗胚;

[0050] (5)将步骤(4)中得到粗胚真空封装后进行冷等静压,压力225MPa,保压时间180s;

[0051] (6)将步骤(5)中得到的粗胚放入真空烧结炉中进行高温烧结(真空环境下),得到烧结态磁体,烧结温度为1040~1080℃,保温时间为3~5h;

[0052] (7)将步骤(6)中得到的烧结态磁体放入真空烧结炉中进行两级热处理(真空环境下),一级热处理温度为800~900℃,保温时间为3~5h;二级热处理温度为400~500℃,时间为3~5h。

[0053] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。

[0054] 以下实施例仅用于说明本发明,并不用来限制本发明的保护范围。

[0055] 以下实施例中所使用的实验方法如无特殊说明,均为常规方法。

[0056] 以下实施例中所用的材料、试剂等,如无特殊说明,均可从商业途径得到。其中,所用润滑剂为NdFeB专用润滑剂,产品编号YSH-06;所用抗氧化剂为NdFeB专用抗氧化剂,产品编号YSH-05。

[0057] 实施例1

[0058] 采用单合金法制备单主相(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体,根据合金A2的名义成分 $\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$ (wt.%),采用1.3m/s的铜辊转速,得到厚度为260 $\mu\text{m}$ 的速凝片A1。

[0059] 将速凝片A1进行氢破碎,脱氢后得到粗粉,然后分别添加质量比为0.05%的润滑剂和0.1%的抗氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径 $X_{50}$ 为2.8 $\mu\text{m}$ 的细粉A1。

[0060] 在真空手套箱中对细粉A1再分别添加质量比为0.1%的润滑剂和0.2%的抗氧化剂,混合均匀。

[0061] 在惰性气体保护下,将气流磨细粉A1在磁场强度为2.0T的磁场中取向成型,得到粗胚,将粗胚真空封装进行冷等静压后放入真空烧结炉中进行烧结,烧结温度为1040℃,保温时间3h后通氩气风冷,然后进行一级热处理和二级热处理,一级热处理温度为850℃,时间3h;二级热处理温度为450℃,时间4h。得到单主相磁体A1,放入BH测试仪中测试磁性能,结果如下:

[0062] 磁体A1: $B_r=14.41\text{kG}, H_{c_j}=10.21\text{kOe}, (\text{BH})_{\text{max}}=49.83\text{MG0e}, H_k/H_{c_j}=97.40\%$

[0063] 实施例2

[0064] 采用单合金法制备单主相(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体,根据合金A2的名义成分 $\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.8}\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.6}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$ (wt.%),采用1.3m/s的铜辊转速,得到厚度为260 $\mu\text{m}$ 的速凝片A2。

[0065] 将速凝片A2进行氢破碎,脱氢后得到粗粉,然后分别添加质量比为0.05%的润滑剂和0.1%的抗氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径 $X_{50}$ 为2.8 $\mu\text{m}$ 的细粉A2。

[0066] 在真空手套箱中对细粉A2再分别添加质量比为0.1%的润滑剂和0.2%的抗氧化剂,混合均匀。

[0067] 在惰性气体保护下,将气流磨细粉A2在磁场强度为2.0T的磁场中取向成型,得到粗胚,将粗胚真空封装进行冷等静压后放入真空烧结炉中进行烧结,烧结温度为1030℃,保温时间3h后通氩气风冷,然后进行一级热处理和二级热处理,一级热处理温度为850℃,时间3h;二级热处理温度为450℃,时间4h。得到单主相磁体A2,放入BH测试仪中测试磁性能,结果如下:

[0068] 磁体A2: $B_r=14.40\text{kG}, H_{c_j}=10.75\text{kOe}, (\text{BH})_{\text{max}}=50.14\text{MG0e}, H_k/H_{c_j}=97.40\%$

[0069] 对比例1

[0070] 采用单合金法制备单主相(Nd,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体,根据合金A3的名义成分 $\text{Nd}_{26.5}\text{Ce}_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$ (wt.%) (“bal”代表余量),采用1.3m/s的铜辊转速,得到厚度为260 $\mu\text{m}$ 的速凝片A3。

[0071] 将速凝片A3进行氢破碎,脱氢后得到粗粉,然后分别添加质量比为0.05%的润滑剂和0.1%的防氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径 $X_{50}$ 为2.8 $\mu\text{m}$ 的细粉A3。

[0072] 在真空手套箱中对细粉A3再分别添加质量比为0.1%的润滑剂和0.2%的防氧化剂,混合均匀。

[0073] 在惰性气体保护下,将气流磨细粉A3在磁场强度为2.0T的磁场中取向成型,得到粗胚,将粗胚真空封装进行冷等静压后放入真空烧结炉中进行烧结,烧结温度为1040 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间3h后通氩气风冷,然后进行一级热处理和二级热处理,一级热处理温度为850 $^{\circ}\text{C}$ ,时间3h;二级热处理温度为450 $^{\circ}\text{C}$ ,时间4h。得到单主相磁体A3,放入BH测试仪中测试磁性能,结果如下:

[0074] 磁体A3: $B_r=14.26\text{kG}$ , $H_{c_j}=8.71\text{kOe}$ , $(\text{BH})_{\text{max}}=49.54\text{MG0e}$ , $H_k/H_{c_j}=93.60\%$

[0075] 对比例2

[0076] 采用单合金法制备单主相(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体,根据合金A4的名义成分 $\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.35}\text{Ce}_{0.65})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$ (wt.%) ,采用1.3m/s的铜辊转速,得到厚度为260 $\mu\text{m}$ 的速凝片A4。

[0077] 将速凝片A4进行氢破碎,脱氢后得到粗粉,然后分别添加质量比为0.05%的润滑剂和0.1%的防氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径 $X_{50}$ 为2.8 $\mu\text{m}$ 的细粉A4。

[0078] 在真空手套箱中对细粉A4再分别添加质量比为0.1%的润滑剂和0.2%的防氧化剂,混合均匀。

[0079] 在惰性气体保护下,将气流磨细粉A4在磁场强度为2.0T的磁场中取向成型,得到粗胚,将粗胚真空封装进行冷等静压后放入真空烧结炉中进行烧结,烧结温度为1070 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间3h后通氩气风冷,然后进行一级热处理和二级热处理,一级热处理温度为850 $^{\circ}\text{C}$ ,时间3h;二级热处理温度为450 $^{\circ}\text{C}$ ,时间4h。得到单主相磁体A4,放入BH测试仪中测试磁性能,结果如下:

[0080] 磁体A4: $B_r=14.49\text{kG}$ , $H_{c_j}=8.14\text{kOe}$ , $(\text{BH})_{\text{max}}=49.33\text{MG0e}$ , $H_k/H_{c_j}=96.40\%$

[0081] 对比例3

[0082] 采用单合金法制备单主相(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体,根据合金A5的名义成分 $\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.1}\text{Co}_{0.2}\text{Ga}_{0.1}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$ (wt.%) ,采用1.3m/s的铜辊转速,得到厚度为260 $\mu\text{m}$ 的速凝片A5。

[0083] 将速凝片A5进行氢破碎,脱氢后得到粗粉,然后分别添加质量比为0.05%的润滑剂和0.1%的防氧化剂,混合均匀后进行气流磨制粉,得到平均粒径 $X_{50}$ 为2.8 $\mu\text{m}$ 的细粉A5。

[0084] 在真空手套箱中对细粉A5再分别添加质量比为0.1%的润滑剂和0.2%的防氧化剂,混合均匀。

[0085] 在惰性气体保护下,将气流磨细粉A5在磁场强度为2.0T的磁场中取向成型,得到粗胚,将粗胚真空封装进行冷等静压后放入真空烧结炉中进行烧结,烧结温度为1040 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间3h后通氩气风冷,然后进行一级热处理和二级热处理,一级热处理温度为850 $^{\circ}\text{C}$ ,时



间3h;二级热处理温度为495℃,时间4h。得到单主相磁体A5,放入BH测试仪中测试磁性能,结果如下:

[0086] 磁体A5: $B_r = 14.39\text{kG}$ ,  $H_{c_j} = 8.82\text{kOe}$ ,  $(BH)_{\max} = 49.73\text{MGOe}$ ,  $H_k/H_{c_j} = 96.60\%$

[0087] 试验例

[0088] 实施例和对比例所得磁体的磁性能参见表1。

[0089] 由表1可以看出,实施例1的磁体中La取代Ce含量为10wt.%,与未添加La的对比例1相比,剩磁增幅约为1.05%,矫顽力增幅约为17.22%,最大磁能积增幅约为0.64%,与La取代Ce含量为35wt.%的对比例2相比,剩磁性能基本不变,矫顽力增幅约为25.43%,最大磁能积增幅约为1.01%;实施例1的磁体中Cu的含量为0.3,Ga的含量为0.3,与Cu的含量为0.1,Ga的含量为0.1的对比例3相比,剩磁和最大磁能积性能基本不变,矫顽力增幅约为15.76%。

[0090] 图1为实施例2和对比例1的矫顽力效果对比。

[0091] 表1不同成分的(Nd,La,Ce)-Ga-Cu-M-Fe-B磁体磁性能表

	成分 (wt.%)	剩磁 (kG)	矫顽力 (kOe)	磁能积 (MGOe)	方形度 (%)
实施例 1	$\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}$ $\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$	14.41	10.21	49.83	97.4
实施例 2	$\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.8}$ $\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.6}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$	14.40	10.75	50.14	97.4
[0092] 对比例 1	$\text{Nd}_{26.5}\text{Ce}_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}$ $\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$	14.26	8.71	49.54	93.6
对比例 2	$\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.35}\text{Ce}_{0.65})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.3}$ $\text{Co}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$	14.49	8.14	49.33	96.4
对比例 3	$\text{Nd}_{26.5}(\text{La}_{0.1}\text{Ce}_{0.9})_3\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.1}$ $\text{Co}_{0.2}\text{Ga}_{0.1}\text{Zr}_{0.12}\text{B}_{0.94}$	14.39	8.82	49.73	96.6

[0093] 最后,以上仅为本发明的较佳实施方案,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

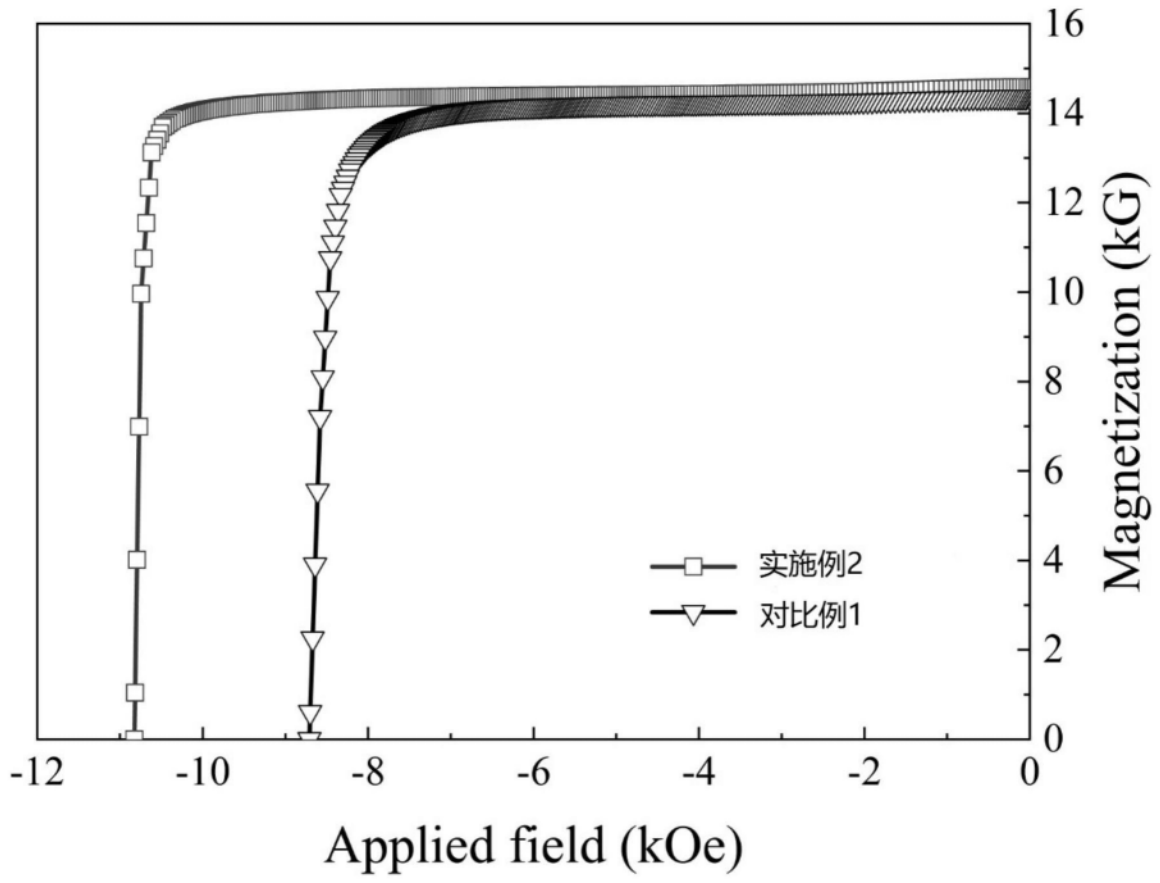


图1