



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106409458 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(21)申请号 201610392390.0

(22)申请日 2016.05.27

(71)申请人 慈溪市华夏电器实业有限公司

地址 315313 浙江省慈溪市掌起镇北一环
43号

(72)发明人 柴成华

(51)Int.Cl.

H01F 1/09(2006.01)

H02K 1/02(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54)发明名称

一种电机复合永磁材料及其制备方法

(57)摘要

本发明提供了一种电机复合永磁材料及其制备方法,其原料由Eu、Gd、Fe、Al、P以及M体系构成,M由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,其中,体系中的Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为(5~7):(5~7):(60~70):(2~3):(1~2):(5~7),M中的 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。从而在提高永磁材料矫顽力和高温稳定性的同时保持其剩磁及磁能积,并有效降低成本。

1. 一种电机复合永磁材料,其特征在于,原料由Eu、Gd、Fe、Al、P以及M体系构成,M由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,其中,体系中的Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为 $(5\sim7):(5\sim7):(60\sim70):(2\sim3):(1\sim2):(5\sim7)$,M中的 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。

2. 根据权利要求1所述的电机复合永磁材料,其特征在于,M的颗粒度范围为20nm~50nm。

3. 一种如权利要求1或2所述的电机复合永磁材料制备方法,其特征在于,包括步骤:

(a) 制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,其中,熔炼过程中,热处理温度为 $1050^\circ\text{C}\sim 1100^\circ\text{C}$,烧结时间为4~6小时;

(b) 破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 的稀土磁粉;

(c) 混合粉末的制备:将 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为 $900\sim 1000^\circ\text{C}$,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与所述稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1~2倍的水和混合物总重3~5倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间6~8小时,得到混合粉末;

(d) 二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,研磨成 $5\sim 10\mu\text{m}$ 的混合磁粉;

(e) 磁场成型、静压:将所述混合磁粉在2T~4T的磁场中取向,以10MPa~20MPa压制成型,得到成型坯件,再将所述成型坯件经等静压180~220MPa压制2~3分钟;

(f) 烧结、回火处理:将所述成型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为 $1100\sim 1150^\circ\text{C}$,烧结时间为2~4小时,烧结后的永磁材料在 $900\sim 1000^\circ\text{C}$ 回火2~4小时,然后在 $500\sim 700^\circ\text{C}$ 回火3~6小时,制得磁体;以及

(g) 充磁:对所述磁体再次充磁,制得所述复合永磁材料。

一种电机复合永磁材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及永磁材料技术领域,具体地说,是一种适用于电机的复合永磁材料及其制备方法。

背景技术

[0002] 永磁体广泛应用于计算机的硬件驱动设备、各种家用电器、电声设备、多媒体设备、电子仪器、仪表、医疗设备、工业电动机、风力发电机、以及汽车传感器、电动汽车和混合动力汽车的驱动电机等,已经成为现代工业和社会经济发展不可或缺的重要功能材料。

[0003] 稀土永磁材料是80年代新发展起来的性能最好的永磁材料,其广泛应用于电机制造。与传统永磁材料电机相比,稀土永磁材料电机具有效率高、噪音低的优点。稀土材料与电子控制器配合可进行无级调速,在点钞机、洗衣机、电冰箱、空调等电子产品领域也有广泛应用。随着科学技术的进步及人们对自动化设备和产品要求的不断提升,对拥有较高磁能积的稀土永磁体的需求越来越大,但是稀土的价格,特别是钕金属的价格不断上涨,导致以钕铁硼磁性材料为代表的稀土永磁材料的价格也大幅上涨,造成用户的使用成本明显提高,对整个市场的良性发展造成了很大的冲击,且其稳定性不好,制约了很多电机或者永磁行业的发展。因而开发价格低廉、磁能积和稳定性高的新型稀土磁性材料或者稀土材料的替代品是市场发展的需要。

发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供一种电机复合永磁材料及其制备方法,以解决现有技术的不足,提高永磁材料矫顽力和高温稳定性的同时保持其剩磁及磁能积,并有效降低成本。

[0005] 为达到以上目的,本发明采用的技术方案为:一种电机复合永磁材料的原料由Eu、Gd、Fe、Al、P以及M体系构成,M由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,其中,体系中的Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为 $(5\sim 7):(5\sim 7):(60\sim 70):(2\sim 3):(1\sim 2):(5\sim 7)$,M中的 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。

[0006] 根据本发明的一实施例,M的颗粒度范围为20nm~50nm。

[0007] 一种电机复合永磁材料的制备方法,其包括步骤:

[0008] (a)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,其中,熔炼过程中,热处理温度为1050℃~1100℃,烧结时间为4~6小时;

[0009] (b)破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为5~10 μm 的稀土磁粉;

[0010] (c)混合粉末的制备:将 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为900~1000℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与上述

稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1~2倍的水和混合物总重3~5倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间6~8小时,得到混合粉末;

[0011] (d)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,研磨成5~10 μ m的混合磁粉;

[0012] (e)磁场成型、静压:将所述混合磁粉在2T~4T的磁场中取向,以10MPa~20MPa压制成型,得到成型坯件,再将所述成型坯件经等静压180~220MPa压制2~3分钟;(f)烧结、回火处理:将所述成型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1100~1150 $^{\circ}$ C,烧结时间为2~4小时,烧结后的永磁材料在900~1000 $^{\circ}$ C回火2~4小时,然后在500~700 $^{\circ}$ C回火3~6小时,制得磁体;以及

[0013] (g)充磁:对所述磁体再次充磁,制得所述复合永磁材料。

[0014] 本发明同现有技术相比,主要具有以下优点和有益效果:

[0015] 1、本发明的电机复合永磁材料,采用Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,与传统永磁材料Nd-Fe-B相比较,采用Eu和Gd替代Nd,采用P及M替代部分Fe和B,在保持成本较低的同时,提高材料的剩磁与矫顽力及耐高温性能;钕在0 $^{\circ}$ C时比铁具更强的铁磁性,同时添加稀土元素Gd和Eu既可以提高矫顽力,又提高磁体的居里温度,从而提高磁体的工作稳定性;在Gd中添加一定量的Eu,可以抑制铸锭中 α -Fe的形成,减少Gd富相团聚现象;Eu-Gd-Fe-Al-P-M具有较高的各向异性场和饱和磁化强度,且Gd和Eu相对于Nd价格相对低廉,复合添加P、Al,价格低廉的P、Al溶解在合金主相中,可以提高磁体的剩磁及居里温度,在晶界改善磁体微观形貌,有利于主相晶体形成较均匀的晶体,进一步提高磁体的矫顽力;在提高矫顽力的同时,还能保证剩磁及磁能积不下降;另外这两种成分复合添加后,可以增强磁性材料的抗氧化腐蚀性能。

[0016] 2、TiC和SiN溶解在合金主相中,可以提高磁体的剩磁及居里温度,在晶界改善磁体微观形貌,有利于主相晶体形成较均匀的晶体,进一步提高磁体的矫顽力;在提高矫顽力的同时,还能保证剩磁及磁能积不下降;一方面,通过掺杂这两种纳米粒子,可以在永磁材料中引入C/Si/N等非金属元素,形成的铁碳、铁氮、铁硅化合物具有良好的内禀磁性,单向各相异性、高饱和磁化强度和高居里温度;另一方面,能提高永磁材料的抗氧化性能和机械性能;Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN这个组合在一起,相当于一个铁氧体的掺杂,具有高磁导率等特点,使得制备得到的永磁材料,同时兼具有稀土永磁材料和铁氧体永磁材料的优异性能。

具体实施方式

[0017] 以下描述用于揭露本发明以使本领域技术人员能够实现本发明。以下描述中的优选实施例只作为举例,本领域技术人员可以想到其他显而易见的变型。

[0018] 一种电机复合永磁材料的原料由Eu、Gd、Fe、Al、P以及M体系构成,M由Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,其中,体系中的Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为(5~7):(5~7):(60~70):(2~3):(1~2):(5~7),M中的Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。

[0019] 其中,M的颗粒度范围为20nm~50nm。

[0020] 钕在0 $^{\circ}$ C时比铁具更强的铁磁性,同时添加稀土元素Gd和Eu既可以提高矫顽力,又提高磁体的居里温度,从而提高磁体的工作稳定性。在Gd中添加一定量的Eu,可以抑制铸锭中 α -Fe的形成,减少Gd富相团聚现象。Eu-Gd-Fe-Al-P-M具有较高的各向异性场和饱和磁化强度,且Gd和Eu相对于Nd价格相对低廉,复合添加P、Al,价格低廉的P、Al溶解在合金主相

中,可以提高磁体的剩磁及居里温度,在晶界改善磁体微观形貌,有利于主相晶体形成较均匀的晶体,进一步提高磁体的矫顽力。在提高矫顽力的同时,还能保证剩磁及磁能积不下降。另外这两种成分复合添加后,可以增强磁性材料的抗氧化腐蚀性能。

[0021] 一种电机复合永磁材料的制备方法,其包括步骤:

[0022] (a)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,其中,熔炼过程中,热处理温度为1050℃~1100℃,烧结时间为4~6小时;

[0023] (b)破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为5~10 μ m的稀土磁粉;

[0024] (c)混合粉末的制备:将Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为900~1000℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与所述稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1~2倍的水和混合物总重3~5倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间6~8小时,得到混合粉末;

[0025] (d)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,研磨成5~10 μ m的混合磁粉;

[0026] (e)磁场成型、静压:将所述混合磁粉在2T~4T的磁场中取向,以10MPa~20MPa压制成型,得到成型坯件,再将所述成型坯件经等静压180~220MPa压制2~3分钟;(f)烧结、回火处理:将所述成型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1100~1150℃,烧结时间为2~4小时,烧结后的永磁材料在900~1000℃回火2~4小时,然后在500~700℃回火3~6小时,制得磁体;以及

[0027] (g)充磁:对所述磁体再次充磁,制得所述复合永磁材料。

[0028] 所述电机复合永磁材料,制备原料易得、容易操作、对设备的要求不高,降低了价格昂贵的Nd稀土用量,有效减少成本。

[0029] 所述电机复合永磁材料,采用Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,与传统永磁材料Nd-Fe-B相比较,采用Eu和Gd替代Nd,采用P及M替代部分Fe和B,在保持成本较低的同时,提高材料的剩磁与矫顽力及耐高温性能。

[0030] 所述电机复合永磁材料中的掺杂纳米粒子主要弥散分布于合金主相组织晶界间处,不仅使产品的内部结构更趋均匀,组织更加致密化,而且有高的磁场取向度,对高磁体的矫顽力和晶界磁畴结构有较强的钉扎作用,能提高合金的矫顽力和高温稳定性,还兼具有稀土永磁材料和铁氧体永磁材料的优点。

[0031] 其中,TiC和SiN溶解在合金主相中,可以提高磁体的剩磁及居里温度,在晶界改善磁体微观形貌,有利于主相晶体形成较均匀的晶体,进一步提高磁体的矫顽力。在提高矫顽力的同时,还能保证剩磁及磁能积不下降。一方面,通过掺杂这两种纳米粒子,可以在永磁材料中引入C/Si/N等非金属元素,形成的铁碳、铁氮、铁硅化合物具有良好的内禀磁性,单向各相异性、高饱和磁化强度和高居里温度。另一方面,能提高永磁材料的抗氧化性能和机械性能。Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN这个组合在一起,相当于一个铁氧体的掺杂,具有高磁导率等特点,使得制备得到的永磁材料,同时兼具有稀土永磁材料和铁氧体永磁材料的优异性能。

[0032] 本发明下述实施例中所使用的原料来自于上海泉昕进出口贸易有限公司。

[0033] 本发明实施例中的磁性能测试利用BH仪测试,在25℃下进行的。测试方法参考GB-T3217-1992。

[0034] 实施例1

[0035] 一种电机复合永磁材料,其原料包括Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,其中M由Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,它的颗粒度范围为20nm,Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。体系中Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为5:5:60:2:1:5。

[0036] 所述电机复合永磁材料制备方法,包括步骤:

[0037] 1)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,其中,熔炼过程中,热处理温度为1050℃,烧结时间为4小时;

[0038] 2)破碎制粉:将所述稀土永磁锭先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,然后通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为5μm的稀土磁粉;

[0039] 3)混合粉末的制备:将Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为900℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与基体合金稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1倍的水和混合物总重3倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间6小时,得到混合粉末;

[0040] 4)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,然后研磨成5μm的磁粉得混合磁粉。

[0041] 5)磁场成型、静压:将得到的混合粉末在2T的磁场中取向,以10MPa压制成型,得到成型坯件,将所述成型坯件经等静压180MPa压制2分钟;

[0042] 6)烧结、回火处理:将成型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1100℃,烧结时间为2小时,烧结后的永磁材料在900℃回火2小时,然后在500℃回火3小时;

[0043] 7)充磁:将所述磁体再次充磁,制得所述电机复合永磁材料。

[0044] 实施例2

[0045] 一种电机复合永磁材料,其原料包括Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,其中M由Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,它的颗粒度范围为25nm,Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。体系中Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为6:5:65:3:2:6。

[0046] 所述电机复合永磁材料制备方法,包括以下步骤:

[0047] 1)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,熔炼过程中,热处理温度为1060℃,烧结时间为5小时;

[0048] 2)破碎制粉:将所述稀土永磁锭先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,然后通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为7μm的稀土磁粉;

[0049] 3)混合粉末的制备:将Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为950℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与基体合金稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1.5倍的水和混合物总重4倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间7小时,得到混合粉末;

[0050] 4)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,然后研磨成6μm的磁粉得混合磁粉。

[0051] 5)磁场成型、静压:将得到的混合粉末在3T的磁场中取向,以15MPa压制成型,得到型坯件;然后成型坯件经等静压190MPa压制3分钟;

[0052] 6)烧结、回火处理:将型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1120℃,烧结时间为3小时,烧结后的永磁材料在950℃回火3小时,然后在600℃回火4小时;以及

[0053] 7)充磁:将所述磁体再次充磁,制得所述电机复合永磁材料。

[0054] 实施例3

[0055] 一种电机复合永磁材料,其原料包括Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,其中M由Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,它的颗粒度范围为30nm,Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1。体系中Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为7:5:70:2:1:6。

[0056] 所述电机复合永磁材料制备方法,包括以下步骤:

[0057] 1)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,熔炼过程中,热处理温度为1080℃,烧结时间为6小时;

[0058] 2)破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为10μm的稀土磁粉;

[0059] 3)混合粉末的制备:将Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为980℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与基体合金稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重2倍的水和混合物总重4倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间8小时,得到混合粉末;

[0060] 4)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,然后研磨成10μm的磁粉得混合磁粉;

[0061] 5)磁场成型、静压:将得到的混合粉末在4T的磁场中取向,以16MPa压制成型,得到成型坯件;然后成型坯件经等静压200MPa压制3分钟;

[0062] 6)烧结、回火处理:将所述成型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1130℃,烧结时间为3小时,烧结后的永磁材料在950℃回火3小时,然后在650℃回火5小时;

[0063] 7)充磁:将所述磁体再次充磁,制得所述电机复合永磁材料。

[0064] 实施例4

[0065] 一种电机复合永磁材料,其原料包括Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,其中M由Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,它的颗粒度范围为40nm,Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1,体系中Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为7:6:68:3:2:7。

[0066] 所述电机复合永磁材料制备方法,包括以下步骤:

[0067] 1)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,熔炼过程中,热处理温度为1090℃,烧结时间为5.5小时;

[0068] 2)破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为9μm的稀土磁粉;

[0069] 3)混合粉末的制备:将Fe₂O₃、Fe₃O₄、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为1000℃,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与基体合金

稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重1倍的水和混合物总重3倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间6小时,得到混合粉末;

[0070] 4)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,然后研磨成 μm 的磁粉得混合磁粉;

[0071] 5)磁场成型、静压:将得到的混合粉末在3T的磁场中取向,以17MPa压制成型,得到型坯件;然后成型坯件经等静压210MPa压制3分钟;

[0072] 6)烧结、回火处理:将型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1140 $^{\circ}\text{C}$,烧结时间为4小时,烧结后的永磁材料在980 $^{\circ}\text{C}$ 回火3小时,然后在650 $^{\circ}\text{C}$ 回火5.5小时;

[0073] 7)充磁:将所述磁体再次充磁,制得所述电机复合永磁材料。

[0074] 实施例5

[0075] 一种电机复合永磁材料,其原料包括Eu-Gd-Fe-Al-P-M体系,其中M由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的纳米粒子混合而成,它的颗粒度范围为50nm, Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC和SiN的质量比为10:5:2:1,体系中Eu、Gd、Fe、Al、P、M质量比为7:7:70:3:2:7。

[0076] 所述电机复合永磁材料制备方法,包括以下步骤:

[0077] 1)制备稀土永磁锭:按照配比将Eu、Gd、Fe、Al、P混合,将称取后的原料混合后置于中频真空感应熔炼炉进行熔炼,得到稀土永磁锭,熔炼过程中,热处理温度为1100 $^{\circ}\text{C}$,烧结时间为6小时;

[0078] 2)破碎制粉:将所述稀土永磁锭,先通过氢破法破碎为6mm大小的合金粉末,然后放置于反应容器内抽真空,通入氦气,保持氦气压力为2MPa,利用气流磨将合金粉化为平均粒径为10 μm 的稀土磁粉;

[0079] 3)混合粉末的制备:将 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、TiC按照比例混合后在空气下进行预烧,预烧温度为1000 $^{\circ}\text{C}$,待原料自然冷却后进行粗破碎,然后按比例将粗破碎后的原料与基体合金稀土磁粉和SiN混合,混合后,加入混合物总重2倍的水和混合物总重5倍的磨球,采用球磨机进行湿磨,球磨时间8小时,得到混合粉末;

[0080] 4)二次研磨:将所述混合粉末均匀化处理,然后研磨成10 μm 的磁粉得混合磁粉;

[0081] 5)磁场成型、静压:将得到的混合粉末在4T的磁场中取向,以20MPa压制成型,得到成型坯件,将成型坯件经等静压220MPa压制3分钟;

[0082] 6)烧结、回火处理:将型坯件在真空条件下进行烧结,烧结温度为1150 $^{\circ}\text{C}$,烧结时间为4小时,烧结后的永磁材料在1000 $^{\circ}\text{C}$ 回火4小时,然后在700 $^{\circ}\text{C}$ 回火6小时;

[0083] 7)充磁:将所述磁体再次充磁,制得所述电机复合永磁材料。

[0084] 其中,实施例1至实施例5的所述电机复合永磁材料检测结果如表1所示。

表1 实施例1至5的复合永磁材料检测结果

| 样品 | Br(Gs) | Hcb(KA/m) | Hcj(KA/m) | BH(Kj/m ³) | HK/Hci |
|------|--------|-----------|-----------|------------------------|--------|
| 实施例1 | 4400 | 330 | 389 | 37 | 0.93 |
| 实施例2 | 4420 | 325 | 400 | 36.5 | 0.94 |
| 实施例3 | 4423 | 320 | 395 | 36.7 | 0.93 |
| 实施例4 | 4430 | 325 | 398 | 36.8 | 0.92 |
| 实施例5 | 4436 | 328 | 410 | 37.5 | 0.94 |

[0085] 从表1中数据可知,本发明的永磁材料,在室温(25 $^{\circ}\text{C}$)下具有 $\text{Br} \geq 4400\text{Gs}$ 的剩磁, $\text{Hcj} \geq 389\text{KA/m}$ 的内禀矫顽力,保证电机所需永磁材料的高磁性能,产品性能的稳定性好,满

足电机对所需磁体的稳定性的要求。

[0086] 对比例6至对比例11

[0087] 对比例6至对比例11中的电机复合永磁材料的制备方法同实施例5,不同之处在于原料成分含量的不同,各对比例中的组分比例如表2所示。其中,对比例6至对比例11的电机复合永磁材料的检测结果如表3所示。

表2 对比例6至11的各组分比例

| 对比例 成分 | 例 6 | 例 7 | 例 8 | 例 9 | 例 10 | 例 11 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-------------|
| Eu | 0 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Gd | 7 | 0 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Al | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| P | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| M | 7 | 7 | 7 | 7 | 0 | 无 TiC 和 SiN |
| Fe | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |

表3对比例6至11的复合永磁材料检测结果

| 样品 | Br(Gs) | Hcb(KA/m) | Hcj(KA/m) | BH(Kj/m ³) | HK/Hci |
|-------|--------|-----------|-----------|------------------------|--------|
| 对比例6 | 4400 | 310 | 405 | 30 | 0.90 |
| 对比例7 | 4406 | 300 | 408 | 25 | 0.91 |
| 对比例8 | 4286 | 295 | 406 | 32 | 0.92 |
| 对比例9 | 4316 | 316 | 405 | 32 | 0.91 |
| 对比例10 | 4315 | 310 | 358 | 27 | 0.80 |
| 对比例11 | 4395 | 306 | 368 | 26 | 0.87 |

[0088] 从表3中数据可知,添加稀土金属Gd和Eu既可以可以提高矫顽力,又提高磁体的居里温度,从而提高磁体的工作稳定性。P、Al溶解在合金主相中,可以提高磁体的剩磁及居里温度,在晶界改善磁体微观形貌,有利于主相晶体形成较均匀的晶体,进一步提高磁体的矫顽力,在提高矫顽力的同时,还能保证剩磁及磁能积不下降。通过掺杂TiC和SiN这两种纳米粒子,能使永磁材料具有良好的内禀磁性,单向各相异性、高饱和磁化强度和高居里温度。通过添加M,对永磁材料的内禀矫顽力,剩磁,磁能积和矫顽力的提高都有益。

[0089] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明的范围内。本发明要求的保护范围由所附的权利要求书及其等同物界定。