



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109841367 A

(43)申请公布日 2019.06.04

(21)申请号 201711225326.4

(22)申请日 2017.11.29

(71)申请人 有研稀土新材料股份有限公司

地址 100088 北京市西城区新街口外大街2号

申请人 国科稀土新材料有限公司

(72)发明人 罗阳 张洪滨 胡州 于敦波

权宁涛 杨远飞 闫文龙 谢佳君

(74)专利代理机构 北京智桥联合知识产权代理

事务所(普通合伙) 11560

代理人 侯桂丽

(51)Int.Cl.

H01F 1/057(2006.01)

H01F 41/02(2006.01)

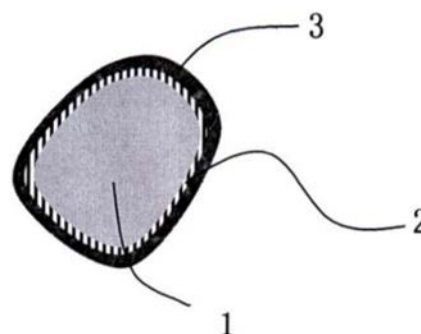
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

稀土粘结磁粉及其制备方法和粘结磁体

(57)摘要

本发明公开了一种稀土粘结磁粉及其制备方法。该粘结磁粉为多层核壳结构,包括核心层和抗氧化剂层,其中,核心层由RFeMB构成,R为Nd和/或PrNd,M为Co、Nb、Zr中的一种或多种;核心层外部包覆铁氮层。此外,还公开了其制备方法和粘结磁体。本发明有效避免了在磷化以及后续处理过程中磁性原粉的氧化与腐蚀,进一步提高了材料的长时间耐温性与环境耐受性。



1. 一种稀土粘结磁粉,所述粘结磁粉为多层核壳结构,包括核心层和抗氧化剂层,其中,核心层由RFeMB构成,R为Nd和/或PrNd,M为Co、Nb、Zr中的一种或多种;其特征在于,核心层外部包覆铁氮层。

2. 根据权利要求1所述的稀土粘结磁粉,其特征在于,所述RFeMB中,R含量为20~30wt.%,M含量为0~6wt.%,B含量为0.85~1.05wt.%,余量为Fe。

3. 根据权利要求1所述的稀土粘结磁粉,其特征在于,所述铁氮层由铁氮化合物构成,铁氮层厚度为50~500nm;优选地,厚度为100~400nm;更优选地厚度为150~350nm;最优选地,厚度为200~300nm。。

4. 根据权利要求1所述的稀土粘结磁粉,其特征在于,所述抗氧化剂层由磷酸盐复合物构成,厚度10~200nm;优选地,厚度为20~160nm;以及,最优选地,厚度为50~80nm。。

5. 一种制备权利要求1-4任一项所述稀土粘结磁粉的方法,其特征在于,所述制备方法包括以下步骤:磁性原粉进行表面氮化处理得到氮化粉,氮化温度在300~550℃,时间为10~120min,优选地,氮化温度在350~550℃,时间为10~100min;更优选地,氮化温度在400~550℃,时间为10~60min;以及,最优选地,氮化温度在450~550℃,时间为10~30min;

制备抗氧化剂溶液;将氮化粉浸入到抗氧化剂溶液中,经烘干得到核壳结构的粘结磁粉。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述氮化处理为磁性原粉与含氮气氛反应。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述含氮气氛主要由氮气组成,但不含有氨气和氢气。

8. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述抗氧化剂溶液为磷酸或其盐溶于有机溶剂形成的溶液,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.1~5)g:100mL。

9. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述烘干温度为80~110℃;优选地,烘干温度为85~105℃;更优选地,烘干温度为90~105℃;以及,最优选地,烘干温度为95~105℃。

10. 一种粘结磁体,其特征在于,由权利要求1-4所述的稀土粘结磁粉或权利要求5-9的方法制备而成。

稀土粘结磁粉及其制备方法和粘结磁体

技术领域

[0001] 本发明涉及一种稀土粘结磁粉及其制备方法和粘结磁体,属于稀土材料技术领域。

背景技术

[0002] 目前,NdFeB系稀土永磁材料已成为多个领域中不可替代的一种基础材料,广泛应用于电子、汽车、计算机等众多领域,带动着各行业的发展。传统粘结磁体的制备方法,是将具有永磁性能的稀土粘结磁粉与树脂粘结剂(如环氧树脂或尼龙)混合,然后将混合物压缩成型或注射成型。对于最终的磁体来说,磁性能主要来源于粘结磁粉,而力学性能主要来源于粘结剂。

[0003] 稀土永磁材料一般都要求在一定的温度和环境工作,要求在长期工作过程中,保持其外形尺寸的完整性和磁性能的稳定性。对于粘结磁体来说,影响使用性能有两个关键因素:首先是粘结剂,虽然粘结剂的存在使其相对烧结磁体来说具有较强的优势,但是由于高分子材料本身缺陷,磁体的分解和软化温度明显低于金属材料,最终影响包含在其中的材料性能;其次,虽然粘结磁粉有外面的高分子材料包覆,但是也会发生氧化,并且随着温度越高,氧化越容易进行,这种氧化使材料的不可逆磁通损失明显提高,引起磁体生锈、失磁等诸多问题。

[0004] 磁体不仅会在使用过程中产生氧化,而且在制备过程中也会发生。这样不仅导致制备中存在安全隐患,造成产品稳定性差;而且对粘结磁体应用领域的扩展,造成很大的局限性。

[0005] 目前在提高粘结磁粉抗氧化性等方面,中国专利申请CN102498530A、CN101228024A、CN103503086A等均提到采用在稀土粘结磁粉表面沉积有机涂层的方法,可以在稀土粘结磁粉形成有机钝化层,达到抗老化的目的。中国专利CN1808648B也提出一种各向异性粘结磁粉表面处理工艺,将各向异性磁粉进行无水磷化处理,以防止各向异性磁粉在高温注射成型过程中的氧化。此外,中国专利申请CN103862033A和CN102744403A等也提到了针对软磁粉末进行表面处理的方法,以降低软磁粉芯的涡流损耗。

[0006] 然而,以上现有技术均从粉末表面化学处理的角度进行改性,但在化学处理中,不可避免的接触到氧、水等导致腐蚀的物质,仍然部分程度地发生氧化。

[0007] 因此,针对现有技术的缺陷,仍然需要进一步探索性能更有益的表面处理工艺。

[0008] 发明概述

[0009] 本发明的发明目的是提供一种稀土粘结磁粉及其制备方法,以进一步提高稀土粘结永磁粉的抗氧化抗腐蚀性能。

[0010] 为了解决该问题,本发明采取以下技术方案:

[0011] 一种稀土粘结磁粉,所述粘结磁粉为多层核壳结构,包括核心层和抗氧化剂层,其中,核心层由RFeMB构成,R为Nd和/或PrNd,M为Co、Nb、Zr中的一种或多种;其特征在于,核心层外部包覆铁氮层。

[0012] 根据本发明所述的稀土粘结磁粉,其中,所述RFeMB中,R含量为20~30wt.%,M含量为0~6wt.%,B含量为0.85~1.05wt.%,余量为Fe。

[0013] 根据本发明所述的稀土粘结磁粉,其中,所述铁氮层由铁氮化合物构成,铁氮层厚度为50~500nm;优选地,厚度为100~400nm;更优选地厚度为150~350nm;最优选地,厚度为200~300nm。

[0014] 根据本发明所述的稀土粘结磁粉,所述抗氧化剂层由磷酸盐复合物构成,厚度10~200nm;优选地,厚度为20~160nm;以及,最优选地,厚度为50~80nm。

[0015] 另一方面,本发明还提供一种制备上述稀土粘结磁粉的方法,该方法包括以下步骤:磁性原粉进行表面氮化处理得到氮化粉;氮化温度在300~550℃,时间为10~120min,优选地,氮化温度在350~550℃,时间为10~100min;更优选地,氮化温度在400~550℃,时间为10~60min;以及,最优选地,氮化温度在450~550℃,时间为10~30min;

[0016] 制备抗氧化剂溶液;将氮化粉浸入到抗氧化剂溶液中,经烘干得到核壳结构的粘结磁粉。

[0017] 根据本发明所述的制备方法,其中,所述氮化处理为磁性原粉与含氮气氛反应。

[0018] 优选地,所述含氮气氛主要由氮气组成,但不含有氨气和氢气。在本发明中,主要表示70%以上。

[0019] 根据本发明所述的制备方法,其中,所述抗氧化剂溶液为磷酸或其盐溶入有机溶剂形成的溶液,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.1~5)g:100mL。

[0020] 根据本发明所述的制备方法,其中,所述烘干温度为80~110℃;优选地,烘干温度为85~105℃;更优选地,烘干温度为90~105℃;以及,最优选地,烘干温度为95~105℃。

[0021] 本发明也提供一种粘结磁体,该粘结磁粉包含上述稀土粘结磁粉或采用以上方法制备而成。

[0022] 通过以上的的方法,可以在粘结磁粉表面形成更多一层的保护,避免进行后续化学处理过程中的氧等引入对性能的影响,提高了后续化学处理的效果,对粘结磁体的抗氧化性,耐腐蚀性,高温下的性能稳定性有很大的提高。

附图说明

[0023] 图1是本发明的稀土粘结磁粉表面多层结构示意图;

[0024] 图2是本发明的稀土粘结磁粉制备工艺流程图。

[0025] 发明详述

[0026] 本发明所述的目的/或方案将以优选实施方式的形式给出。对这些实施方式的说明是用于对本发明的理解,而非限制可行的其他方式,这些可行的其他实施方式可由对本发明的实践得知。

[0027] 下面通过实施例对本发明做进一步阐述,但显然本发明的范围并不仅限于以下实施例。

[0028] 如图1所示,本发明中,稀土粘结磁粉为多层核壳结构组成,其中核心层是成分为RFeMB的磁性原粉1,核心层外部依次包覆铁氮层2及抗氧化剂层3。其中,铁氮层2和抗氧化剂层3分别采用不同的工艺依次形成。

[0029] 本发明磁性原粉1的优选成分为RFeMB,其中R为Nd和/或PrNd,M为Co、Nb、Zr中的一

种或多种。磁性原粉1以 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 为主相结构。在本发明中，“主相”是指构成材料结构与性能的主体，对材料的性质起支配作用的晶相。在本发明中， $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 主相构成永磁性能的基础，保证了最终磁粉具有一定的剩磁、矫顽力等磁性能。本领域技术人员可以理解，除了主相，本发明的RFeMB还可以包括一定量的 $\alpha\text{-Fe}$ 、富钕相、铁硼等辅助相。辅助相主要由成分调整以及在优化制备工艺过程中引入。辅助相的添加量也是本领域通常的添加量。

[0030] 本发明中，优选R含量为20~30wt.%，M含量为0~6wt.%，B含量为0.85~1.05wt.%，余量为Fe。这些成分范围为保证一定的主相结构和永磁性能的必要，同时添加少量的Co、Nb、Zr，以改善稀土粘结磁粉的耐温性、耐腐蚀性以及成型性能。在一个实施方式中，当M为Co时，Co含量为2~6at.%。

[0031] 本发明中，磁性原粉1可通过本领域熟知的方法而制备，包括，但不限于快淬、气雾化方法等。

[0032] 以快淬法为例，该方法主要通过将熔融的合金溶液通过喷嘴喷射到高速旋转的辊轮上，急速冷却后形成片状稀土合金粉。

[0033] 在快淬方法中，熔融合金溶液主要通过中频或者高频感应熔炼方法实现，感应熔炼化料速度快，在化料过程中对溶液搅拌，保证化料均匀性，避免成分偏析。熔融合金液通过喷嘴喷射到高速旋转的辊轮上，喷嘴材料可为石英、BN、 Al_2O_3 等高温耐火材料制成，孔径在0.5~2mm之间，辊轮可采用铜、铜合金、碳钢、W、Mo等导热性好的材料组成。综合材料的制备、熔融合金液与辊轮的浸润性、材料的强度与耐磨性等特点，辊轮材料优选为铜、铜合金、Mo或者Mo合金。辊轮直径优选为250mm~500mm，内部带有水路，保证辊轮温度，以便相对熔融合金形成大的温度梯度，使喷射到辊轮上的合金来不及形核或者来不及长大，得到非晶或者纳米晶的片状稀土合金粉。

[0034] 整个快淬过程在非氧化性气氛中进行，主要优选为Ar，环境中Ar压力范围P在10~80kPa，优选为20~60kPa。与辊轮接触而甩出的稀土合金粉在飞出过程中的非氧化性气氛中一次冷却，压力低于10kPa，起不到快速冷却效果，太高则不利于快淬过程中溶液与辊轮充分润湿，从而影响最终磁粉的表面粗糙度状态，不利于整个稀土粘结磁粉的制备。

[0035] 快淬过程可将熔炼与快淬在一个腔室中进行，此时熔炼与快淬所处环境压力相同，钢液依靠自重从喷嘴中喷出；熔炼与快淬也可在两个独立的腔室中进行，中间通过喷嘴连接，通过调节熔炼腔的压力调节喷出速度与喷出的稳定性。

[0036] 快淬过程结束，收集快淬获得的磁性原粉进行下一步处理，即氮化处理和抗氧化处理。

[0037] 本发明中，通过氮化处理在磁性原粉1外层形成一层厚度为50~500nm的铁氮层。铁氮层以铁氮化合物为主要成分，包括 Fe_4N 、 Fe_2N 、 Fe_3N 等。铁氮化合物主要通过含Fe的材料与含氮气氛反应生成，主要作用是防止核心层的磁性原粉1后续抗氧化剂层3形成过程以及后续成型过程中与水、空气等接触，进而发生氧化而影响后续性能。在本发明中，主要是RFeMB与含氮气氛反应而成。

[0038] 反应需要在一定温度下进行。有利地，反应温度在300~550℃，时间为10~120min。

[0039] 本发明中，铁氮层2的厚度为50~500nm，该厚度可保证在核心部分磁性能不大幅降低的情况下形成铁氮层。优选地，铁氮层2的厚度为100~400nm；更优选地，铁氮层2的厚

度为150~350nm;以及,最优选地,铁氮层2的厚度为200~300nm。

[0040] 在一个具体的实施方式中,铁氮层2的厚度为250nm。

[0041] 本发明中,在铁氮层2外部还包覆一层抗氧化剂层3,抗氧化剂层优选为磷酸盐复合物。该磷酸盐复合物为磷酸或者磷酸盐与磁性原粉1及铁氮层2反应而成,该磷化层3的形成对核心部分形成第二道屏障的保护,从而有效避免了核心部分的氧化与腐蚀。

[0042] 本发明中,抗氧化剂层的厚度为10~200nm,太厚则影响磁性能提高,太薄则起不到防护效果。优选地,抗氧化剂层的厚度为20~160nm;更优选地,抗氧化剂层的厚度为40~120nm;以及,最优选地,抗氧化剂层的厚度为50~80nm。

[0043] 在一个具体的实施方式中,抗氧化剂层的厚度为60nm。

[0044] 另一方面,本发明还涉及该稀土粘结磁粉的制备方法。图2是稀土粘结磁粉制备工艺流程图。制备方法主要包括以下几个步骤:

[0045] (1) 磁性原粉进行表面氮化处理得到氮化粉的步骤:

[0046] 该步骤主要用来形成铁氮层1,该过程中氮化处理的气氛优选氮气,其他 N_2+H_2 、 NH_3+H_2 等气氛虽然能够提高氮化效率,但是不可避免造成 $Nd_2Fe_{14}B$ 主相的分解,严重影响了最终磁粉的性能。本步骤的关键在于,使氮在磁性原粉中形成一定的分布,使氮集中在磁粉的表面层,尽量少进入磁粉的主相 $Nd_2Fe_{14}B$ 晶格中,使主相保持稳定。

[0047] 本发明中,氮化温度在300~550℃,时间为10~120min。优选地,氮化温度在350~550℃,时间为10~100min;更优选地,氮化温度在400~550℃,时间为10~60min;以及,最优选地,氮化温度在450~550℃,时间为10~30min。

[0048] 在一个具体的实施方式中,氮化温度在500℃,时间为20min。

[0049] (2) 制备抗氧化剂溶液的步骤:

[0050] 将抗氧化剂溶入有机溶剂中形成溶液,该抗氧化剂包括磷酸或者磷酸盐。磷酸优选为无水磷酸,以避免水分与磁性原粉1和氮化层2发生反应;磷酸盐优选为选自IA族,IIA族,IIIA族金属的磷酸盐;有机溶剂优选为丙酮或酒精,不仅能使抗氧化剂充分溶解,而且能够在抗氧化剂充分均匀附着后挥发完全形成固态。

[0051] 本发明中,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.1~5)g:100mL。优选地,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.2~4)g:100mL;更优选地,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.4~3)g:100mL;以及,最优选地,抗氧化剂与有机溶剂比例为(0.6~2)g:100mL。

[0052] 在一个具体的实施方式中,抗氧化剂与有机溶剂比例为1.2g:100mL。

[0053] (3) 将氮化粉浸入到抗氧化剂溶液中,经烘干得到核壳结构的粘结磁粉。

[0054] 在该步骤中,将磁粉与抗氧化剂按照一定比例备好,置入抗氧化剂溶液中进行充分反应,优选采用搅拌方式处理,更加有利于磁粉与抗氧化剂反应均匀;处理完过滤后进行烘干。

[0055] 本发明中,烘干温度为80~110℃。优选地,烘干温度为85~105℃;更优选地,烘干温度为90~105℃;以及,最优选地,烘干温度为95~105℃。

[0056] 又一方面,本发明还包括一种粘结磁体,该磁体由上述制备方法得到。

[0057] 与现有技术相比,本发明最大优点在于在传统磷化步骤之前增加了氮化处理步骤,由此在磁性原粉1与抗氧化剂层3之间形成氮化层2,有效避免了在磷化以及后续处理过程中磁性原粉的氧化与腐蚀,进一步提高了材料的长时间耐高温性与环境耐受性。

具体实施方式

[0058] 下面通过实施例,对本发明作进一步具体说明。

[0059] 实施例1-25

[0060] 按比例将表1的No.1~No.9各实施例列出的各种原料(Nd、NdPr、Fe、Co、B、Zr、Nb)混合后放入感应熔炼炉中,在Ar气保护下进行熔炼得到合金铸锭。

[0061] 将合金铸锭粗破碎后放入快淬炉中进行快淬,快淬后得到磁性原粉。

[0062] 由此制备而成的平均厚度在15~100 μ m的稀土合金粉,得到的稀土合金粉通过XRD确定相结构。

[0063] 将上述磁性原粉在Ar气保护下于一定温度和时间处理后进入N₂下进行氮化,在磁性原粉表面形成铁氮层。

[0064] 将抗氧化剂溶入有机溶剂中形成溶液。

[0065] 将氮化粉浸入到抗氧化剂溶液中,经烘干得到核壳结构的粘结磁粉。

[0066] 比较例CompNo.1

[0067] 省略表面氮化处理步骤,其余步骤同实施例1。

[0068] 比较例CompNo.2

[0069] 具体参见表1。

[0070] 表1

[0071]

试验	磁性原粉1	含氮气氛	氮化温度及时间	铁氮层厚度	抗氧化剂溶液	烘干温度	抗氧化剂层厚度
No.1	Nd ₂₀ Co ₆ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	500℃, 20min	250nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 1.2g: 100ml	100℃	50nm
No.2	Nd ₂₅ Co ₂ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	450℃, 30min	200nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 0.6g: 100ml	95℃	50m
No.3	Nd ₃₀ Nb ₅ B _{0.85} Fe _{bal}	N ₂	550℃, 10min	300nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 2g: 100ml	105℃	80nm
No.4	Nd ₂₆ Zr ₄ B _{0.85} Fe _{bal}	N ₂	300℃, 120min	50nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 0.1g: 100ml	80℃	10nm
No.5	Nd ₁₅ (PrNd) ₁₂ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	550℃, 30min	500nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 5g: 100ml	110℃	200nm
No.6	(PrNd) ₂₁ Nb ₂ Co ₃ B _{0.9} Fe _{bal}	N ₂	350℃, 100min	100nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 0.2g: 100ml	85℃	20nm
No.7	(PrNd) ₃₀ Nb ₃ Zr ₂ B _{1.05} Fe _{bal}	N ₂	400℃, 60min	400nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 4g: 100ml	105℃	160nm
No.8	(PrNd) ₂₆ Nb _{2.5} Zr ₂ B _{1.05} Fe _{bal}	N ₂	550℃, 25min	300nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 1.5g: 100ml	100℃	80nm

[0072]

No.9	(PrNd) ₂₁ Zr ₂ Co ₃ B _{0.9} Fe _{bal}	N ₂	500℃, 22min	250nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 2g: 100ml	105℃	60nm
No.10	(PrNd) ₂₅ Zr ₁ Co ₂ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	450℃, 20min	150nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 0.4g: 100ml	90℃	60nm
No.11	Nd ₂₀ (PrNd) ₁₀ Zr ₁ Co ₁ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	400℃, 50min	350nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 3g: 100ml	90℃	50nm
Comp No.1	Nd ₂₀ Co ₆ B _{1.0} Fe _{bal}				抗氧化剂与有机溶剂 比例 1.2g: 100ml	100℃	60nm
Comp No.2	Nd ₁₅ (PrNd) ₁₂ B _{1.0} Fe _{bal}	N ₂	200℃, 120min	20nm	抗氧化剂与有机溶剂 比例 0.1g: 100ml	80℃	10nm

[0073] 磁粉性能评价方法

[0074] (1) 稀土粘结磁粉成分

[0075] 稀土粘结磁粉成分为快淬后得到的稀土合金粉经过热处理以及氮化处理后的成分,成分用原子百分比表示。

[0076] (2) 磁粉性能

[0077] 磁粉性能通过振动样品磁强计(VSM检测)。

[0078] 其中Br为剩磁,单位为kGs;

[0079] Hc_j为内禀矫顽力,单位为kOe;[0080] (BH)_m为磁能积,单位为MG0e。

[0081] (3) 耐腐蚀性能η

[0082] 首先将氮化后的稀土粘结磁粉过300目筛,取出小于50μm的细粉,称量去除细粉后的稀土粘结磁粉质量W₁;

[0083] 在5%的NaCl水溶液中,80℃下处理48h,处理后的磁粉经过干燥后,继续过300目筛,称出处理后的稀土粘结磁粉质量W₂;

[0084] 耐腐蚀性能 $\eta = (W_1 - W_2) / W_1$;

[0085] 认为损失小于1wt.%的样品为耐腐蚀性合格。

[0086] (4) 耐温性能

[0087] 利用120℃下1000h的不可逆磁通损失来测定。

[0088] 表2记载了本申请实施例No.1-9和比较例CompNo.1-2的稀土粘结磁粉成分、磁粉性能、耐腐蚀性能η和耐温性能。

[0089] 表2

[0090]

试验	永磁粉成分	Br	Hcj	(BH)m	η	不可逆磁通损失
No.1	$\text{Nd}_{8.4}\text{Co}_6\text{B}_{5.6}\text{N}_{1.1}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.5	12.3	15.2	0.25%	2.7%
No.2	$\text{Nd}_{10.8}\text{Co}_{2.1}\text{B}_{5.8}\text{N}_{0.9}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.7	12.5	15.5	0.60%	3.5%
No.3	$\text{Nd}_{13.8}\text{Nb}_{3.6}\text{B}_{5.2}\text{N}_{1.4}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.2	12	14.7	0.35%	3.0%
No.4	$\text{Nd}_{11.7}\text{Zr}_{2.9}\text{B}_5\text{N}_{0.3}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.8	12.7	15.8	0.80%	3.8%
No.5	$\text{Nd}_{7.8}\text{Pr}_4\text{B}_{5.8}\text{N}_{2.3}\text{Fe}_{\text{bal}}$	7.8	11.7	14.2	0.50%	3.2%
No.6	$\text{Nd}_{2.6}\text{Pr}_{6.6}\text{Nb}_{1.3}\text{Co}_{3.1}\text{B}_{5.1}\text{N}_{0.44}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.7	12.6	15.7	0.70%	3.6%
No.7	$\text{Nd}_{3.6}\text{Pr}_{10.2}\text{Nb}_{2.1}\text{Zr}_{1.4}\text{B}_{6.3}\text{N}_{1.9}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8	11.8	14.5	0.55%	3.3%
No.8	$\text{Pr}_{3.1}\text{Nd}_{9.0}\text{Nb}_{1.8}\text{Zr}_{1.3}\text{B}_{5.1}\text{N}_{1.5}\text{Fe}_{\text{bal}}$	9.2	13.0	14.2	0.20%	2.0%
No.9	$\text{Nd}_{2.4}\text{Pr}_{6.5}\text{Nb}_{1.2}\text{Co}_{3.0}\text{B}_{5.0}\text{N}_{1.2}\text{Fe}_{\text{bal}}$	9.0	13.2	14.0	0.22%	2.1%
No.10	$\text{Nd}_{2.6}\text{Pr}_{8.5}\text{Co}_{2.1}\text{Zr}_{0.7}\text{B}_{5.8}\text{N}_{0.7}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.5	12.4	15.6	0.65%	3.4%
No.11	$\text{Nd}_{10.3}\text{Pr}_{3.2}\text{Co}_{1.1}\text{Zr}_{0.7}\text{B}_6\text{N}_{1.6}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.1	12.1	14.6	0.40%	3.1%
Comp No.1	$\text{Nd}_{8.4}\text{Co}_6\text{B}_{5.6}\text{N}_{1.1}\text{Fe}_{\text{bal}}$	8.4	11.9	15.2	1.20%	4.2%
Comp No.2	$\text{Nd}_{11.7}\text{Zr}_{2.9}\text{B}_5\text{N}_{0.1}\text{Fe}_{\text{bal}}$	7.8	11.7	13.8	1.40%	5.3%

[0091] 可以看出,与比较例相比,本申请实施例No.1-9有效避免了在磷化以及后续处理过程中磁性原粉的氧化与腐蚀,进一步提高了材料的长时间耐高温性与环境耐受性。

[0092] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。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,均包含在本发明的保护范围之内。

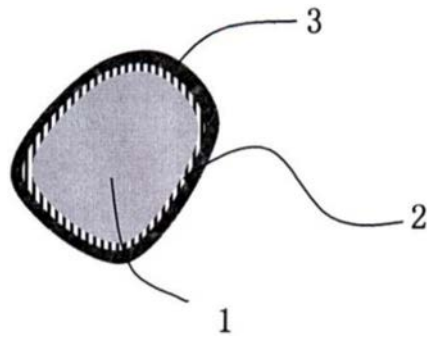


图1

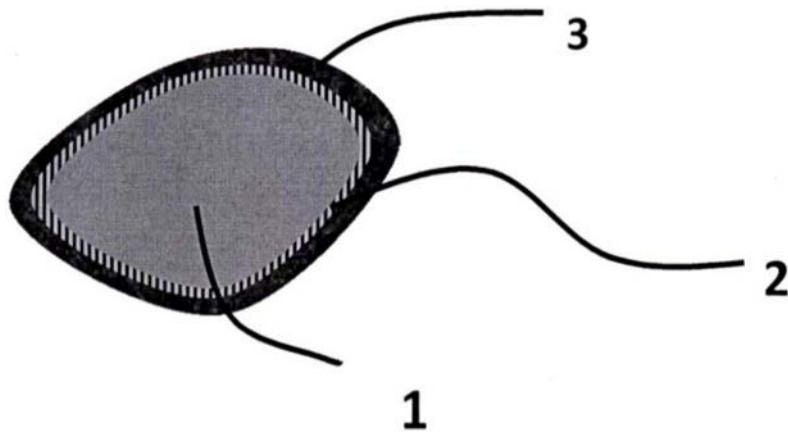


图2