



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110444359 B

(45) 授权公告日 2021.09.14

(21) 申请号 201910614115.2

(22) 申请日 2019.07.09

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110444359 A

(43) 申请公布日 2019.11.12

(73) 专利权人 浙江东阳东磁稀土有限公司

地址 322118 浙江省金华市东阳市横店镇
工业区

(72) 发明人 洪群峰 郝忠彬 叶志晓

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司 44245

代理人 张金刚

(51) Int. Cl.

H01F 1/057 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103000325 A, 2013.03.27

CN 104985173 A, 2015.10.21

CN 1938115 A, 2007.03.28

CN 104449740 A, 2015.03.25

CN 108831650 A, 2018.11.16

CN 108417373 A, 2018.08.17

CN 108376607 A, 2018.08.07

CN 108376596 A, 2018.08.07

CN 108364735 A, 2018.08.03

CN 107393711 A, 2017.11.24

CN 104449740 A, 2015.03.25

CN 104107908 A, 2014.10.22

CN 101740190 A, 2010.06.16

CN 1408495 A, 2003.04.09

CN 108133818 A, 2018.06.08

JP H04119604 A, 1992.04.21

审查员 万琦萍

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法及
添加剂

(57) 摘要

本发明涉及永磁材料技术领域,公开了一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法及添加剂。本发明的方法采用磨前和磨后两步法对磁粉进行防氧化保护,磨前和磨后的添加剂采用不同的配方(I型和II型),其中I型添加剂包含BTA、200#溶剂油、异丙醇和环己酮;II型添加剂包含硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis(R) 450。本发明中添加剂以连续喷雾的方式加入到钕铁硼粉料中,将钕铁硼粉末的颗粒表面均匀包覆,改善了钕铁硼粉料的防氧化作用,I型添加剂链段稍长,便于包覆因气流磨产生的新断面;II型添加剂链段稍短且含有润滑剂和极性基团成份,能减弱粉末颗粒间的静磁作用,减少粉末颗粒之间的团聚,有利于提高取向度。

1. 一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

(1) 配制I型添加剂和II型添加剂,其中所述I型添加剂包含BTA、200#溶剂油、异丙醇和环己酮;所述II型添加剂包含硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis (R) 450;

(2) 取添加剂I,加入氢碎炉出口处的自动脉冲式雾化加料机中,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼中粉;

(3) 将混合均匀的粉料输送至气流磨上料罐中,在气流磨设备下料口处的自动脉冲式雾化加料机中添加II型添加剂,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼成粉中;

(4) 将步骤(3)中磨后的钕铁硼成粉输送至磁场取向压机中压制成生胚;

(5) 将生胚等静压处理后装炉烧结;

所述步骤(1)中I型添加剂里BTA、200#溶剂油、异丙醇和环己酮的质量比为(1~5):(20~60):(25~45):(14~22);II型添加剂里硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis (R) 450的质量比为(5~10):(20~60):(8~30):(10~30):(10~32):(2~5);

所述步骤(5)中烧结过程包括在380~400℃的环境下进行脱除添加剂处理1.5~2 h。

2. 根据权利要求1所述的降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法,其特征在于,所述步骤(2)中I型添加剂的加入量为钕铁硼中粉重量的1.0~1.5‰。

3. 根据权利要求1所述的降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法,其特征在于,所述步骤(3)中调整气流磨转速将粒度控制在2.8~3.0μm。

4. 根据权利要求1所述的降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法,其特征在于,所述步骤(3)中II型添加剂的添加量为钕铁硼成粉重量的0.5~0.7‰。

5. 根据权利要求1所述的降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法,其特征在于,所述步骤(4)中压制成生胚的压制密度4.12~4.16 g/cm³。

6. 一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的添加剂,其特征在于,所述添加剂包含I型添加剂和II型添加剂,其特征在于,所述I型添加剂包含BTA、200#溶剂油、异丙醇和环己酮;所述II型添加剂包含硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis (R) 450;其中,I型添加剂在钕铁硼材料磨前加入,II型添加剂在钕铁硼材料磨后加入;

所述I型添加剂里BTA、200#溶剂油、异丙醇和环己酮的质量比为(1~5):(20~60):(25~45):(14~22);所述II型添加剂里硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis (R) 450的质量比为(5~10):(20~60):(8~30):(10~30):(10~32):(2~5)。

7. 根据权利要求6所述降低烧结钕铁硼材料氧含量的添加剂,其特征在于,所述硬脂酸盐为硬脂酸锌、硬脂酸铝、硬脂酸锂中的一种或几种。

一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法及添加剂

技术领域

[0001] 本发明涉及永磁材料技术领域,具体涉及一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法及添加剂。

背景技术

[0002] 烧结钕铁硼(NdFeB)永磁材料主要是由稀土金属镨钕、铁、硼和一些添加金属如Co、Cu、Al、Ga等元素通过粉末冶金工艺制备而成。自钕铁硼永磁材料发明以来,因其具有高磁能积、高矫顽力、重量轻等特性使磁性器件向高效化、小型化、轻型化方向发展。然而在烧结钕铁硼永磁材料的制造过程中尚存在以下问题:一是钕铁硼粉末需要氮气保护,暴露在空气中或者存放、转移时容易被氧化、受潮,严重影响磁体性能;二是在取向压制时,钕铁硼粉料颗粒之间由于静磁作用容易团聚,导致粉末的流动性变差,影响其进入模腔后分散的均匀性,进而导致压制后生胚密度不均,最终造成烧结后磁体的变形、开裂等一系列问题。

[0003] 为了解决上述问题,在制备烧结钕铁硼永磁材料时通常使用添加剂,且添加剂需要具有以下特性:一是能将钕铁硼粉末颗粒均匀包覆,在颗粒表面形成均匀、致密的有机薄膜,要求添加剂有较好的包覆能力和流动性,且与钕铁硼粉末颗粒的浸润性好,使混料容易,成膜更均匀致密;二是能提高粉料颗粒之间的润滑性,同时减弱粉体之间的静磁作用,减少粉末颗粒之间的团聚,提高粉末颗粒在模压时的取向度,最终提升产品磁性能。

[0004] 现有技术中中国专利申请CN201410731094.X公开了一种烧结钕铁硼气流磨制粉中加剂的方法,该方法在气流磨底喷入口处采用一次加料的方法添加抗氧化剂和润滑剂,剩磁和矫顽力和添加剂均有一定量的提高。但是采用一次添加的方法会导致抗氧化剂和润滑剂在气流磨中损失,对磨后成粉的保护降低,造成成型压制时磁体的密度和取向度的提升有限,同时流失的添加剂会腐蚀设备中的橡胶件,造成设备漏气增加安全隐患。同时在底喷处加料由于底喷的压力大(约6MPa),需要比底喷更大的压力才能加入抗氧化剂,在技术可行性上和安全上都有一定的问题。

[0005] 而中国专利申请CN201410683011.4公开了一种烧结钕铁硼气流磨用抗氧化剂及其使用方法,该方法中的抗氧化剂和抗氧化助剂分别在气流磨前后加入钕铁硼粉末颗粒中,有效降低了钕铁硼磁体烧结后的氧含量,同时剩磁和矫顽力也有一定的提升。但是此方法在磨前和磨后分别对粉料和添加剂进行称重和混合,降低了生产效率的同时在混料和添加添加剂的时候容易混入氧气造成磁粉氧化导致磁体性能的降低。同时磨前的抗氧化剂中含有硬脂酸锌成份,一般硬脂酸锌作为润滑剂使用,在磨前加入不仅起不到作用反而容易造成粉末研磨时间变长,再者磨前和磨后添加的抗氧化剂成份基本相同,磨后添加主要是为了补充气流磨时损失的抗氧化剂。

发明内容

[0006] 本发明的目的是为了克服上述背景技术的不足,提供了一种降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法及添加剂。本发明降低烧结钕铁硼材料氧含量所使用的添加剂包含I型添加

剂和Ⅱ型添加剂,两者的成份和作用不同;Ⅰ型添加剂用于磨前防氧化,添加剂链段稍长,便于包覆粉末表面且不易被气流磨的气体带走,Ⅱ型添加剂用于磨后防氧化,链段稍短且含有润滑剂和极性基团能有效润滑磁体并防粉料聚集,并且能在烧结时能快速排出降低残碳。此外,本发明的自动称料和喷雾加料机能保证生产系统的连续性和密闭性。使用本发明降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法可有效防止粉料氧化、受潮以及在压制过程中改善粉料流动性。

[0007] 为达到本发明的目的,本发明降低烧结钕铁硼材料氧含量的方法包括以下步骤:

[0008] (1) 配制Ⅰ型添加剂和Ⅱ型添加剂,其中所述Ⅰ型添加剂包含BTA(苯并三氮唑)、200#溶剂油、异丙醇和环己酮;所述Ⅱ型添加剂包含硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis(R) 450;

[0009] (2) 取添加剂Ⅰ,加入氢碎炉出口处的自动脉冲式雾化加料机中,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼中粉(喷雾的方式加入使得在输送管道中即可混合均匀,无需额外的混料罐进行混料处理,所述钕铁硼中粉是钕铁硼甩片氢碎后得到的钕铁硼粉末,气流磨前的粉末;下面所述钕铁硼成粉是经过气流磨研磨后的钕铁硼粉末);

[0010] (3) 将混合均匀的粉料输送至气流磨上料罐中,在气流磨设备下料口处的自动脉冲式雾化加料机中添加Ⅱ型添加剂,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼成粉中;

[0011] (4) 将步骤(3)中磨后的钕铁硼成粉输送至磁场取向压机中压制成生胚;

[0012] (5) 将生胚等静压处理后装炉烧结。

[0013] 进一步地,所述步骤(1)中Ⅰ型添加剂里BTA(苯并三氮唑)、200#溶剂油、异丙醇和环己酮的质量比为(1~5):(20~60):(25~45):(14~22);Ⅱ型添加剂里硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis(R) 450的质量比为(5~10):(20~60):(8~30):(10~30):(10~32):(2~5)。

[0014] 进一步地,所述步骤(2)中Ⅰ型添加剂的加入量为钕铁硼中粉重量的1.0~1.5‰。

[0015] 进一步地,所述步骤(3)中调整气流磨转速将粒度控制在2.8~3.0 μm 。

[0016] 进一步地,所述步骤(3)中Ⅱ型添加剂的添加量为钕铁硼成粉重量的0.5~0.7‰。

[0017] 进一步地,所述步骤(4)中压制成生胚的压制密度4.12~4.16g/cm³。

[0018] 进一步地,所述步骤(5)中烧结过程包括在380~400℃的环境下进行脱除添加剂处理1.5~2h。

[0019] 本发明采用磨前和磨后两步法对磁粉进行防氧化保护,磨前和磨后的添加剂采用不同的配方(Ⅰ型和Ⅱ型),同时本发明采用自动脉冲式雾化加料机分别对磨前和磨后的粉料按比例自动添加抗氧化剂,从中粉到成粉均无需使用专用的混料罐进行粉料的混合。在氢碎炉出料口的输送管道上设置一台自动脉冲式雾化加料机,按中粉质量自动添加Ⅰ型添加剂,在管道输送时即可对磨前的中粉进行预混;同时在气流磨成粉下料口设置一台自动脉冲式雾化加料机,对磨后的成粉按重量比进行自动添加Ⅱ型添加剂。在气流磨过程中,通过Ⅰ型和Ⅱ型添加剂的协同使用不仅能起到对粉料的防氧化作用,同时增加成粉的流动性与移动性。

[0020] 相对于一步添加法,采用两步法的好处在于粉料在气流磨时所需要的抗氧化剂类型和气流磨后所需要的抗氧化剂类型是不一样的,所采用的抗氧化剂的成份、配方也是不同的。磨前的添加剂链段稍长,便于包覆因气流磨产生的新断面,且添加剂不容易被气流磨

的氮气带走造成设备橡胶件的腐蚀,增加设备漏气的安全隐患;磨后的添加剂链段稍短且含有润滑剂和极性基团成份,能减弱粉末颗粒间的静磁作用,减少粉末颗粒之间的团聚,使成粉充分分散,同时能增加粉末颗粒的流动性和移动性,起润滑作用,有利于粉末在磁场中的取向,提高取向度。

[0021] 本发明降低烧结钕铁硼材料氧含量的添加剂包含I型添加剂和II型添加剂,所述I型添加剂包含BTA(苯并三氮唑)、200#溶剂油、异丙醇和环己酮;所述II型添加剂包含硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis(R) 450;其中,I型添加剂在钕铁硼材料磨前加入,II型添加剂在钕铁硼材料磨后加入。

[0022] 优选地,所述I型添加剂里BTA(苯并三氮唑)、200#溶剂油、异丙醇和环己酮的质量比为(1~5):(20~60):(25~45):(14~22);所述II型添加剂里硬脂酸盐与120#溶剂油、油酸酰胺、松油醇、石油醚和stadis(R) 450的质量比为(5~10):(20~60):(8~30):(10~30):(10~32):(2~5)。

[0023] 优选地,所述硬脂酸盐为硬脂酸锌、硬脂酸铝、硬脂酸锂中的一种或几种。

[0024] 本发明中的I型添加剂是一种BTA与多种有机化合物的混合物,以具有适当链长的亲油基团烃链为主,磁性材料粉末颗粒在搅磨过程中反复地碰撞、破碎,新产生的断口与添加剂接触,便在每个颗粒表面包覆一层厚度约5~8nm的添加剂薄膜,可防止粉末颗粒与空气和水分接触,起防锈防氧化作用。

[0025] 本发明中的II型添加剂在磨后加入,其作用是减少粉末颗粒之间的静磁作用,减少粉末颗粒之间的团聚,起分散作用;增加粉末颗粒的流动性与移动性,起润滑剂的作用;有利于粉末颗粒在磁场中的取向,可提高取向度;其Br可提高0.02~0.05T(T:特斯拉,简称特,符号T,国际单位制中磁感应强度的单位),其磁能积(BH)_m也可相应地提高。

[0026] 本发明的组合添加剂的碳链短、不含氧元素,烧结后整链排出,不含残余碳氧成份,挥发温度在150~400℃,烧结升温时需要在350~450℃保温0.5~3h,以便使添加剂从磁体中排放出去,以免增加碳含量。

[0027] 与现有技术相比,本发明的添加剂以连续喷雾的方式加入到钕铁硼粉料中,将钕铁硼粉末的颗粒表面均匀包覆,改善了钕铁硼粉料的防氧化作用。添加混合过程实质上是一个均匀混料的过程,由于添加剂对钕铁硼中粉的包覆,阻隔了空气的接触及其极性添加剂的使用,实现了钕铁硼成粉的防氧化、防潮作用。由于粉料流动性的改善,其在取向压制时,具有良好的自动称重精度和入模腔后的分散均匀性。另外,由于添加剂的使用,使压制后的生胚密度得到大幅度提高,处于表面的添加剂具有润滑作用,既保护了模具表面、提高模具使用寿命,又使生胚表面光洁、平整、易于脱模,使成品的磁场取向度和磁体均匀性提高,使烧结后的磁体致密均匀、烧结变形小。

具体实施方式

[0028] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。应当理解,以下描述仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0029] 本文中所用的术语“包含”、“包括”、“具有”、“含有”或其任何其它变形,意在覆盖

非排它性的包括。例如,包含所列要素的组合物、步骤、方法、制品或装置不必仅限于那些要素,而是可以包括未明确列出的其它要素或此种组合物、步骤、方法、制品或装置所固有的要素。

[0030] 当量、浓度、或者其它值或参数以范围、优选范围、或一系列上限优选值和下限优选值限定的范围表示时,这应当被理解为具体公开了由任何范围上限或优选值与任何范围下限或优选值的任一配对所形成的所有范围,而不论该范围是否单独公开了。例如,当公开了范围“1至5”时,所描述的范围应被解释为包括范围“1至4”、“1至3”、“1至2”、“1至2和4至5”、“1至3和5”等。当数值范围在本文中被描述时,除非另外说明,否则该范围意图包括其端值和在该范围内的所有整数和分数。

[0031] 而且,本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0032] 实施例1

[0033] 本实施例的烧结钕铁硼制备方法包括以下工艺步骤:

[0034] (1) 按重量比配制I型和II型添加剂:

[0035] 配制I型添加剂:BTA(1%),200#溶剂油(60%),异丙醇(25%),环己酮(14%);

[0036] 配制II型添加剂:硬脂酸锌(5%),120#溶剂油(60%),油酸酰胺(10%),松油醇(10%),石油醚(10%),stadis(R)450(5%);

[0037] (2) 取添加剂I,加入氢碎炉出口处的自动脉冲式雾化加料机中,控制添加剂的添加比例为钕铁硼中粉重量的1.0‰,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼中粉,在输送管道中即可混合均匀,无需额外的混料罐进行混料处理;

[0038] (3) 将混合均匀的粉料输送至气流磨上料罐中,调整气流磨转速将粒度控制在 $2.8 \sim 3.0 \mu\text{m}$,在气流磨设备的下料口处的自动脉冲式雾化加料机中添加II型添加剂,控制添加剂的添加比例为钕铁硼成粉重量的0.5‰,在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼成粉中;

[0039] (4) 将磨后成粉输送至磁场取向压机中压制成生胚,其压制密度 $4.12\text{g}/\text{cm}^3$;

[0040] (5) 将生胚等静压后装炉烧结,在 380°C 的环境下进行脱除添加剂处理2小时,后续程序按照正常烧结工艺进行;

[0041] (6) 将烧结后的坯料取样测试,试验的结果见表1。

[0042] 实施例2

[0043] 本实施例的烧结钕铁硼制备方法包括以下工艺步骤:

[0044] (1) 按重量比配制I型和II型添加剂:

[0045] 配制I型添加剂:BTA(3%),200#溶剂油(40%),异丙醇(35%),环己酮(22%);

[0046] 配制II型添加剂:硬脂酸锌(8%),120#溶剂油(40%),油酸酰胺(8%),松油醇(20%),石油醚(21%),stadis(R)450(3%);

[0047] (2) 取添加剂I,加入氢碎炉出口处的自动脉冲式雾化加料机中,控制添加剂的添加比例为钕铁硼中粉重量的1.5‰;在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼中粉,在输送管道中即可混合均匀,无需额外的混料罐进行混料处理;

[0048] (3) 将混合均匀的粉料输送至气流磨上料罐中,调整气流磨转速将粒度控制在 $2.8 \sim 3.0 \mu\text{m}$;在气流磨设备的下料口处的自动脉冲式雾化加料机中添加II型添加剂;控制添加剂的添加比例为钕铁硼成粉重量的0.7‰;在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼成粉中;

- [0049] (4) 将磨后成粉输送至磁场取向压机中压制生胚,其压制密度 $4.16\text{g}/\text{cm}^3$;
- [0050] (5) 将生胚等静压后装炉烧结,在 400°C 的环境下进行脱除添加剂处理1.5小时,后续程序按照正常烧结工艺进行;
- [0051] (6) 将烧结后的坯料取样测试,试验的结果见表1。
- [0052] 实施例3
- [0053] 本实施例的烧结钕铁硼制备方法包括以下工艺步骤:
- [0054] (1) 按重量比配制I型和II型添加剂:
- [0055] 配制I型添加剂:BTA(5%),200#溶剂油(20%),异丙醇(45%),环己酮(20%);
- [0056] 配制II型添加剂:硬脂酸铝(10%),120#溶剂油(20%),油酸酰胺(30%),松油醇(30%),石油醚(32%),stadis(R) 450(2%);
- [0057] (2) 取添加剂I,加入氢碎炉出口处的自动脉冲式雾化加料机中,控制添加剂的添加比例为钕铁硼中粉重量的1.0‰;在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼中粉,在输送管道中即可混合均匀,无需额外的混料罐进行混料处理;
- [0058] (3) 将混合均匀的粉料输送至气流磨上料罐中,调整气流磨转速将粒度控制在 $2.8\sim 3.0\mu\text{m}$;在气流磨设备的下料口处的自动脉冲式雾化加料机中添加II型添加剂;控制添加剂的添加比例为钕铁硼成粉重量的0.5‰;在常温下,以喷雾的方式加入钕铁硼成粉中;
- [0059] (4) 将磨后成粉输送至磁场取向压机中压制生胚,其压制密度 $4.12\text{g}/\text{cm}^3$;
- [0060] (5) 将生胚等静压后装炉烧结,在 380°C 的环境下进行脱除添加剂处理2小时,后续程序按照正常烧结工艺进行。
- [0061] (6) 将烧结后的坯料取样测试,试验的结果见表1。
- [0062] 对比例1
- [0063] 与实施例1相同的条件制粉、压制、烧结和取样测试,在制粉前后均不添加抗氧化剂。实施例1与对比例1相比制粉生产用时节省1小时/吨,在磁场取向压机中压制生胚,其压制密度为 $3.71\text{g}/\text{cm}^3$,磁性能测试结果见表1。
- [0064] 对比例2
- [0065] 与实施例1相同的条件制粉、压制、烧结和取样测试,在制粉前添加抗氧化剂I,制粉后不添加抗氧化剂II。在磁场取向压机中压制生胚,其压制密度为 $3.89\text{g}/\text{cm}^3$,磁性能测试结果见表1。
- [0066] 对比例3
- [0067] 与实施例1相同的条件制粉、压制、烧结和取样测试,在制粉前不添加抗氧化剂I,在制粉后添加抗氧化剂II。实施例1与对比例3相比制粉生产用时节省1小时/吨,在磁场取向压机中压制生胚,其压制密度为 $4.07\text{g}/\text{cm}^3$,磁性能测试结果见表1。
- [0068] 性能测试结果
- [0069] 表1为各实施例和对比例按GB/T 3217规定的磁性能测试方法取样测试的结果。
- [0070] 表1磁性能测试结果

[0071]

测试项	等静压 前密度	烧结后 密度	碳含量 (ppm)	氧含量 (ppm)	Br (kGs)	Hcb kOe	Hcj kOe	(BH)m MGOe
实施例 1	4.12	7.556	490	680	13.12	13.04	24.31	42.65
实施例 2	4.16	7.563	468	586	13.15	12.86	24.11	42.12
实施例 3	4.16	7.559	425	632	13.18	12.96	24.43	42.47
对比例 1	3.71	7.465	381	1350	12.79	12.5	24.01	39.89
对比例 2	3.89	7.516	428	805	13.01	12.91	24.69	42.02
对比例 3	4.07	7.537	412	1187	12.93	12.76	24.56	41.07

[0072] 上述测试项的单位解释如下：

[0073] 密度： g/cm^3 ；Gs：高斯， $1\text{T}=10\text{kGs}$ ；Oe：奥斯特， $1\text{kOe}=79.6\text{kA}/\text{m}$ ；MGOe：兆高·奥， $1\text{MGOe}=7.96\text{kJ}/\text{m}^3$ 。

[0074] 表1中，磁体碳、氧含量由碳氧分析仪测得，由实施例1-3和对比例1-3对比可知，本发明中添加剂I和II的使用对磁体碳含量的提升并不明显，说明添加剂能在 $350\sim 450^\circ\text{C}$ 的排胶阶段大量排出，不影响磁体的性能。

[0075] 由实施例1-3和对比例1的氧含量对比可知，未添加本发明抗氧化剂的烧结钕铁硼材料中氧含量为1350ppm，明显高于添加本发明抗氧化剂的烧结钕铁硼永磁材料的氧含量。

[0076] 由实施例1-3和对比例2的氧含量对比可知，在磨前添加抗氧化剂也可以降低磁体的氧含量，但是效果不如前后同时使用抗氧化剂的方法。钕铁硼永磁材料氧含量的高低与磁性能有着直接联系，氧含量越高，消耗的稀土越多，磁性能越低。使用本发明添加剂的烧结钕铁硼永磁材料的性能明显高于不加或者只加一种添加剂的性能，说明本发明I型和II型添加剂的联合使用能提高磁体性能。

[0077] 由实施例1-3和对比例1-3对比可知，添加本发明I型和II型添加剂后能明显改善磁体等静压前的密度，说明本发明添加剂的联合使用能改善磁体的润滑性和分散性，使磁粉易于取向，压制相同密度可明显降低成型压力。

[0078] 通过对比可以看出本发明的添加剂在制粉前后分不同的阶段加入，可以有效防止钕铁硼磁粉在生产各个阶段的氧化，同时提高磨后磁粉的润滑性，改善成型性能提高取向度，提高等静压前的密度，提升磁体的剩磁和矫顽力。

[0079] 本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。