



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113077953 B

(45) 授权公告日 2024.04.16

(21) 申请号 202110323561.5

H01F 41/02 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103846426 A, 2014.06.11

申请公布号 CN 113077953 A

WO 2013100143 A1, 2013.07.04

(43) 申请公布日 2021.07.06

CN 105006325 A, 2015.10.28

(73) 专利权人 安徽工业大学

CN 104078182 A, 2014.10.01

地址 243002 安徽省马鞍山市花山区湖东

CN 1483207 A, 2004.03.17

路59号

JP 2020077731 A, 2020.05.21

专利权人 鞍钢股份有限公司

审查员 高涛

(72) 发明人 吴朝阳 贾吉祥 孔辉 高子涵

彭春霖 眭梦静 杨光

(74) 专利代理机构 安徽知问律师事务所 34134

专利代理师 于婉萍 平静

(51) Int. Cl.

H01F 1/24 (2006.01)

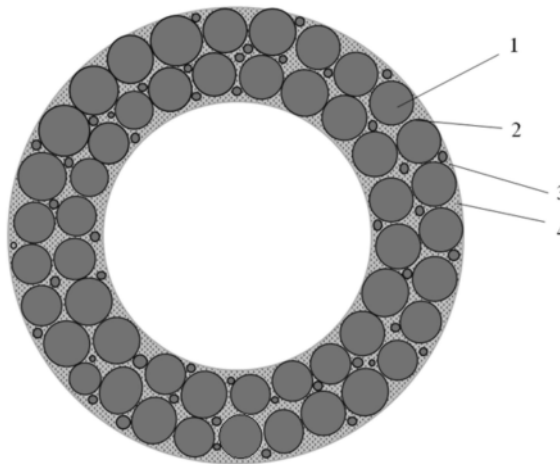
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

## (54) 发明名称

一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品

## (57) 摘要

本发明公开了一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品,属于软磁材料及粉末冶金技术领域。本发明的制备方法为:首先将铁基软磁粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末;然后将纳米级铁基软磁粉末加入粘结剂中,混合均匀并超声分散,获得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂;最后将铁基/二氧化硅软磁复合粉末、纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂及脱模剂混匀后压制成型,并进行热处理,从而得到铁基磁粉芯内磁性相的间距被控制在磁交换长度(30~75nm)范围内的产品,有效提升了产品的磁感应强度和磁导率。本发明的工艺简单,易操作,生产成本低,适于推广使用。



1. 一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁基软磁粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末;

(2) 粘结剂配置:将纳米级铁基软磁粉末加入粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,获得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂;

纳米级铁基软磁粉末与铁基软磁粉末为同种粉末,其粒度为1~4nm,添加量记为 $m_1$ ,并根据下面公式进行计算:

$$m_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \times \frac{m_2}{\rho_2 \times l^3} \times \rho_1$$

其中: $m_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的取用质量; $r$ 为纳米级铁基软磁粉末的粒径; $m_2$ 为粘结剂的质量; $\rho_2$ 为粘结剂的密度; $\rho_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的密度; $l$ 为纳米级铁基软磁粉末之间的间距, $l$ 取30~35;

(3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按比例混合均匀后,不断搅拌,压制成型,获得铁基磁粉芯;

(4) 热处理:在保护气氛下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。

2. 根据权利要求1所述的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(1)中,铁基软磁粉末的粒度为30~150 $\mu\text{m}$ ,包覆在铁基软磁粉末表面的二氧化硅绝缘层厚度为30~40nm。

3. 根据权利要求1-2中任一项所述的一种基于磁交换长度的提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(2)中,粘结剂为有机硅树脂、环氧树脂或酚醛树脂中的任一种;超声分散的时间为20~60min,频率为25~40kHz。

4. 根据权利要求1-2中任一项所述的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(3)中,铁基/二氧化硅软磁复合粉末、纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂的质量比为1:(0.1-0.4):(0.05-0.1)。

5. 根据权利要求4所述的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(3)中,脱模剂为硬脂酸锌或硬脂酸镁中的任一种;压制成型时,压制时间为5~10s,压强为1.0~2.0GP。

6. 根据权利要求5所述的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(4)中,保护气氛为氩气或氮气中的任一种,热处理时间为1~3h,温度为200~500 $^{\circ}\text{C}$ ,冷却方式为随炉冷却。

7. 根据权利要求6所述的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,其特征在于:步骤(1)中,铁基软磁粉末为铁硅粉末、气雾化铁粉、铁硅铝粉末、铁镍粉末或铁镍铝粉末中的任一种。

8. 一种铁基磁粉芯产品,其特征在于:采用权利要求1-7中任一项所述的方法制备得到。

9. 根据权利要求8所述的一种铁基磁粉芯产品,其特征在于:该铁基磁粉芯产品内的铁基软磁粉末存在两层结构,内层是厚度为30~40nm的二氧化硅绝缘层,外层是厚度为200~

300nm的纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂,且铁基磁粉芯内所有铁基磁性相的间距被控制在30~75nm的范围内。

## 一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品

### 技术领域

[0001] 本发明属于软磁材料及粉末冶金技术领域,更具体地说,涉及一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品。

### 背景技术

[0002] 将铁基软磁金属颗粒与绝缘粘合剂复合后压制铁基磁粉芯,是制作电感器件,尤其是高频、大电流和大功率电路中电感器件的关键方法。随着电感器件功能的增加及技术的提高,这对铁基磁粉芯的性能提出了更高的要求。铁基磁粉芯必须满足高频率、小型化、贴片化、高导磁、低损耗和抗电磁干扰的要求。其中,如何进一步优化铁基磁粉芯的导磁性一直是提高产品综合性能的重要研究方向。

[0003] 饱和磁感应强度和磁导率是衡量铁基磁粉芯的导磁能力的物理量,与单位质量铁基磁粉芯内磁性相的含量以及磁性相之间交换耦合程度紧密相关。目前,通常采用调整铁基软磁粉末粒级配比、多种铁基软磁粉末复合或高导磁铁基磁粉芯对低导磁铁基磁粉芯填充的方式来获得高导磁性的铁基磁粉芯。

[0004] 经检索,中国专利申请号为:201911297670.3,申请日为:2019年12月17日,发明创造名称为:磁导率为125的铁镍软磁粉芯制备方法。该申请案的方法包括以下步骤:将气雾化铁镍粉末分筛成小于 $60\mu\text{m}$ 、大于等于 $60\mu\text{m}$ 且小于 $125\mu\text{m}$ 、大于等于 $125\mu\text{m}$ 三种粒径,按40%:30%:30%的比例混合均匀,采用溶胶-凝胶法在铁镍粉末表面形成硅氧化物包覆层进行绝缘,然后压制磁粉芯,再将产品进行热处理,表面喷涂,得到铁镍磁粉芯。由于,铁基软磁粉末的合理配比小粒径铁基软磁粉末能填充大粒径铁基软磁粉末之间的孔隙,从而增加单位质量铁基磁粉芯内磁性相的含量达到提升铁基磁粉芯导磁性的目的。但是,该申请案中为了获得较大的磁导率,需添加过多的铁基软磁粉末,这将不利于铁基磁粉芯产品的成型率和合格率。

[0005] 又如,中国专利申请号为201711049625.7,申请日为:2017年10月31日,发明创造名称为:一种面向PFC电感的磁导率等于125的复合软磁粉芯的制备方法。该申请案的制备方法包括以下步骤:选用质量占比20~30%的铁硅粉和70~80%的铁硅铝粉配置出铁基金属磁粉,绝缘包覆后加入脱模剂和粘结剂压制成型制成磁粉芯毛坯,退火热处理后得到所需磁导率的复合磁粉芯。再如,中国专利申请号为201811019618.7,申请日为:2018年8月31日,发明创造名称为:提高金属软磁粉芯高频有效磁导率的制备方法及产品,该申请案将高频有效磁导率为160-220的铁镍钼磁粉芯镶嵌入低磁导率的铁硅磁粉芯内部,压制复合磁粉芯,降低非磁性气隙比例,减少磁通路长度增加,有效地提高了铁硅磁粉芯的磁导率。但是,采用高导磁铁基磁性粉末复合或高导磁铁基磁粉芯填充的方法可以有效地提高单一铁基磁粉芯产品的磁导率,然而,不同铁基软磁粉末或磁粉芯的损耗不同以及磁导率随频率的稳定性较差,尽管磁导率有所提高,但是磁导率随频率变化的稳定性下降,以及磁损耗也增加,从而起不到综合提升铁基磁粉芯磁性能的目的。

## 发明内容

### [0006] 1. 要解决的问题

[0007] 本发明目的在于克服采用现有技术制备铁基磁粉芯产品时,难以综合提升铁基磁粉芯磁性能及保证所得产品成型率、合格率的不足,提供了一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品。采用本发明的技术方案能够有效解决上述问题,工艺简单,易操作,生产成本低。同时,所得铁基磁粉芯内磁性相的间距被控制在磁交换长度(30~75nm)的范围附近减少磁晶各向异性和磁滞伸缩,从而有效实现了提升饱和磁感应强度和磁导率的目的。

### [0008] 2. 技术方案

[0009] 为了解决上述问题,本发明所采用的技术方案如下:

[0010] 本发明的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁基软磁粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末;

[0012] (2) 粘结剂配置:取适量的纳米级铁基软磁粉末加入粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,获得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂;

[0013] (3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按比例混合均匀后,不断搅拌,压制成型,获得铁基磁粉芯;

[0014] (4) 热处理:在保护气氛下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。

[0015] 更进一步的,步骤(2)中,纳米级铁基软磁粉末与铁基软磁粉末为同种粉末,其粒度为1~4nm,添加量记为 $m_1$ ,并根据下面公式进行计算:

$$[0016] \quad m_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \times \frac{m_2}{\rho_2 \times l^3} \times \rho_1$$

[0017] 其中: $m_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的取用质量; $r$ 为纳米级铁基软磁粉末的粒径; $m_2$ 为粘结剂的质量; $\rho_2$ 为粘结剂的密度; $\rho_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的密度; $l$ 为纳米级铁基软磁粉末之间的间距, $l$ 取30~35。

[0018] 更进一步的,步骤(1)中,铁基软磁粉末的粒度为30~150 $\mu\text{m}$ ,包覆在铁基软磁粉末表面的二氧化硅绝缘层厚度为30~40nm。

[0019] 更进一步的,步骤(2)中,粘结剂为有机硅树脂、环氧树脂或酚醛树脂中的任一种;超声分散的时间为20~60min,频率为25~40kHz。

[0020] 更进一步的,步骤(3)中,铁基/二氧化硅软磁复合粉末、纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂的质量比为1:(0.1-0.4):(0.05-0.1)。

[0021] 更进一步的,步骤(3)中,脱模剂为硬脂酸锌或硬脂酸镁中的任一种;压制成型时,压制时间为5~10s,压强为1.0~2.0GPa。

[0022] 更进一步的,步骤(4)中,保护气氛为氩气或氮气中的任一种,热处理时间为1~3h,温度为200~500 $^{\circ}\text{C}$ ,冷却方式为随炉冷却。

[0023] 更进一步的,步骤(1)中,铁基软磁粉末为铁硅粉末、气雾化铁粉、铁硅铝粉末、铁镍粉末或铁镍钼粉末中的任一种。

[0024] 本发明的一种铁基磁粉芯产品,采用上述方法制备得到。

[0025] 更进一步的,该铁基磁粉芯产品内的铁基软磁粉末存在两层结构,内层是厚度为30~40nm的二氧化硅绝缘层,外层是厚度为200~300nm的纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂,且铁基磁粉芯内所有铁基磁性相的间距被控制在30~75nm的范围内。

[0026] 3.有益效果

[0027] 相比于现有技术,本发明的有益效果为:

[0028] (1)本发明的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,通过对制备工艺步骤进行优化设计,尤其是在粘结剂中添加纳米级铁基软磁粉末,并控制纳米级铁基软磁粉末之间的距离,从而一方面能够有效增加单位质量铁基磁粉芯内磁性相的含量,另一方面,也能够使铁基磁粉芯内磁性相的间距被控制在磁交换长度(30~75nm)的范围附近减少磁晶各向异性和磁滞伸缩,进而显著提升了所得产品的饱和磁感应强度和磁导率。此外,本发明的制备工艺流程简单、易操作,生产成本低。

[0029] (2)本发明的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,通过将纳米级铁基软磁粉末与粘结剂充分混匀,并不是简单的将小粒径的纳米级铁基软磁粉末和大粒径的铁基软磁粉末进行混合,从而能够有效避免对铁基磁粉芯成型和合格率的影响,保证了产品的成型率及合格率。

[0030] (3)本发明的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,采用同种的纳米级铁基软磁粉末与粘结剂混匀,避免了多种不同铁基软磁粉末的使用及在铁基磁粉芯中存在,有效保证了损耗和磁导率的一致性,能够在提升铁基软磁粉芯导磁性的同时保证磁导率随频率变化的稳定性,从而起到综合提升铁基软磁粉芯磁性能的目的。

[0031] (4)本发明的一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法,通过对各步骤的工艺参数,尤其是对与粘结剂混合时纳米级铁基软磁粉末的添加量进行优化控制,从而可以有效保证铁基磁粉芯内磁性相之间距离保持在30~75nm,与铁基磁性相磁性交换长度不产生太大偏差,实现对产品导磁性的优化调控。

[0032] (5)本发明的一种铁基磁粉芯产品,通过采用上述方法制备,所得产品内的铁基软磁粉末存在两层结构,内层是厚度为30~40nm的二氧化硅绝缘层,外层是厚度为200~300nm的纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂,粘结剂中纳米级铁基软磁粉末之间的距离在30~35nm,从而能够有效提升产品饱和磁感应强度和磁导率,且本发明的产品的制备工艺简单,生产过程方便,提高了生产效率,生产成本较低,适于推广使用。

## 附图说明

[0033] 图1为本发明中铁基磁粉芯的整体结构示意图;

[0034] 图2为本发明中铁基磁粉芯截面的扫描电镜图;

[0035] 图3为图2的局部放大图;

[0036] 图4为对本发明中各实施例所得铁基磁粉芯的饱和磁感应强度及磁导率的检测结果图。

[0037] 图中:

[0038] 1、铁基软磁粉末;2、绝缘层;3、粘结剂;4、纳米级铁基软磁粉末。

## 具体实施方式

[0039] 随着技术的发展和进步,电感元器件的功能性越丰富,对铁基磁粉芯的性能也提出了更高要求。然而衡量铁基磁粉芯性能的关键参数即是饱和磁感应强度和磁导率,采用现有常规的生产方法制备铁基磁粉芯,不同程度上存在一些缺陷,如,采用调整铁基软磁粉末粒级配比的方法,易导致铁基磁粉芯产品的成型率不良,合格率较低;采用多种铁基软磁粉末复合或高导磁铁基磁粉芯对低导磁铁基磁粉芯填充的方式,未考虑到不同铁基软磁粉末或磁粉芯的损耗不同以及磁导率随频率的稳定性波动较大,导致所得产品的磁损耗增加。本发明提供了一种基于磁交换长度提升铁基磁粉芯导磁性的方法及产品,通过对工艺操作及其工艺参数进行优化设计,将铁基磁粉芯内磁性相的磁交换长度控制在35nm左右,由于磁性相距离与磁交换长度的差距越小,磁晶各向异性和磁滞伸缩越低,其之间交换耦合程度越强,从而能够有效解决传统制备方法存在的缺陷,进而获得饱和磁感强度及磁导率均较高的铁基磁粉芯产品。

[0040] 具体的,本发明的方法,包括如下步骤:

[0041] (1) 无机包覆

[0042] 采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁基软磁粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末。其中,铁基软磁粉末为铁硅粉末、气雾化铁粉、铁硅铝粉末、铁镍粉末或铁镍铝粉末中的任一种,其粒度控制为30~150 $\mu\text{m}$ ;包覆在铁基软磁粉末表面的二氧化硅绝缘层厚度为30~40nm。

[0043] (2) 粘结剂配置

[0044] 将纳米级铁基软磁粉末加入粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,粘结剂为有机硅树脂、环氧树脂或酚醛树脂中的任一种,并控制超声分散的时间为20~60min,频率为25~40kHz,获得纳米级铁基软磁粉末分散均匀的粘结剂。

[0045] 需要说明的是,所述纳米级铁基软磁粉末与铁基软磁粉末为同种粉末,其粒度为1~4nm,添加量记为 $m_1$ ,并根据下面公式进行计算:

$$[0046] \quad m_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \times \frac{m_2}{\rho_2 \times l^3} \times \rho_1$$

[0047] 其中: $m_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的取用质量; $r$ 为纳米级铁基软磁粉末的粒径; $m_2$ 为粘结剂的质量; $\rho_2$ 为粘结剂的密度; $\rho_1$ 为纳米级铁基软磁粉末的密度; $l$ 为纳米级铁基软磁粉末之间的间距, $l$ 取30~35。

[0048] 通过将纳米级铁基软磁粉末与粘结剂充分混匀,一方面,本发明中并不是简单的将小粒径的纳米级铁基软磁粉末和大粒径的铁基软磁粉末进行混合,而是将其与粘结剂进行充分混匀,并通过控制纳米级铁基软磁粉末的添加量,从而能够有效避免对铁基磁粉芯成型和合格率的影响,保证了产品的成型率及合格率。另一方面,采用同种的纳米级铁基软磁粉末与粘结剂混匀,避免了多种不同铁基软磁粉末的使用及在铁基磁粉芯中存在,有效保证了损耗和磁导率的一致性,能够在提升铁硅软磁铁芯导磁性的同时保证磁导率随频率变化的稳定性,从而起到综合提升铁硅软磁铁芯磁性能的目的。

[0049] (3) 压制成型

[0050] 将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁基软磁

粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按质量比为1:(0.1-0.4):(0.05-0.1)的比例混合均匀后,不断搅拌,控制压强为1.0~2.0GP,压制时间为5~10s,压制成型,获得铁基磁粉芯。

[0051] (4) 热处理

[0052] 在保护气氛下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。其中,保护气氛为氩气或氮气中的任一种,热处理时间为1~3h,温度为200~500℃,冷却方式为随炉冷却,即可得到本发明的铁基磁粉芯产品。

[0053] 具体的,本发明的产品主要结构如图1所示,产品内铁基软磁粉末1之间存在两层结构,内层为30~40nm厚的二氧化硅绝缘层2,外层为200~300nm厚的纳米级铁基软磁粉末4分散均匀的粘结剂3;粘结剂3中纳米级铁基软磁粉末4之间的距离在30~35nm,既能增加单位质量铁基磁粉芯内磁性相的含量,同时也能够使铁基磁粉芯内磁性相的间距被控制在磁交换长度(30~75nm)的范围附近,达到提升饱和磁感应强度和磁导率的目的。本发明的制备工艺简单,生产过程方便,提高了生产效率,生产成本较低,适于推广使用。

[0054] 下面结合具体实施例对本发明进一步进行描述。

[0055] 实施例1

[0056] 如图1所示,本实施例的一种铁基磁粉芯产品,其制备方法包括如下步骤:

[0057] (1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁硅粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,其中,铁硅粉末的粒度控制为30~150 $\mu\text{m}$ ,二氧化硅绝缘层厚度为30nm,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末。

[0058] (2) 粘结剂配置:取适量的纳米级铁硅粉末加入有机硅树脂粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,超声分散的时间为30min,频率为35kHz,其中,纳米级的粒度控制为3nm,纳米级铁硅粉末和粘结剂添加质量根据本发明的公式进行确定。本实施例中,纳米级铁硅粉末之间的间距 $\lambda$ 取3 $\lambda$ ,最终获得纳米级铁硅粉末分散均匀的粘结剂。

[0059] (3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁硅粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按质量比为1:0.2:0.055的比例混合均匀后,不断搅拌,控制压强为1.5GP,压制时间为7s,压制成型,获得铁基磁粉芯。

[0060] (4) 热处理:在氩气的保护下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。热处理时间为2h,温度为300℃,冷却方式为随炉冷却,即可得到本发明的铁基软磁芯产品。

[0061] 对所得铁基磁粉芯的截面进行电镜扫描,扫描结果如图2及图3所示;从图2和图3中可以看出,在所得的铁基磁粉芯内铁基软磁粉末被绝缘层所隔开,绝缘层中弥散分布了同种纳米级铁基软磁粉末,且同种纳米级铁基软磁粉末之间间距在30nm左右。对其性能进行检测,检测结果如图4所示。

[0062] 实施例2

[0063] 如图1所示,本实施例的一种铁基磁粉芯产品,其制备方法包括如下步骤:

[0064] (1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在气雾化铁粉表面包覆二氧化硅绝缘层,其中,气雾化铁粉的粒度控制为30~150 $\mu\text{m}$ ,二氧化硅绝缘层厚度为35nm,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末。

[0065] (2) 粘结剂配置:取适量的纳米级气雾化铁粉加入有机硅树脂粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,超声分散的时间为60min,频率为25kHz,其中,纳米级的粒度控制为4nm,纳米级气雾化铁粉和粘结剂添加质量根据本发明的公式进行确定。本实施例中,纳米级气



雾化铁粉之间的间距 $l$ 取30,最终获得纳米级气雾化铁粉分散均匀的粘结剂。

[0066] (3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级气雾化铁粉分散均匀的粘结剂以及脱模剂按质量比为1:0.1:0.05的比例混合均匀后,不断搅拌,控制压强为1.3GP,压制时间为6s,压制成型,获得铁基磁粉芯。

[0067] (4) 热处理:在氩气的保护下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。热处理时间为2.5h,温度为28℃,冷却方式为随炉冷却,即可得到本发明的铁基软磁芯产品。

[0068] 对所得铁基磁粉芯的截面进行电镜扫描,扫描结果基本同图2及图3所示;对其性能进行检测,检测结果如图4所示。

[0069] 实施例3

[0070] 如图1所示,本实施例的一种铁基磁粉芯产品,其制备方法包括如下步骤:

[0071] (1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁硅铝粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,其中,铁硅铝粉末的粒度控制为30~150 $\mu\text{m}$ ,二氧化硅绝缘层厚度为40nm,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末。

[0072] (2) 粘结剂配置:取适量的纳米级铁硅铝粉末加入环氧树脂粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,超声分散的时间为20min,频率为40kHz,其中,纳米级的粒度控制为1nm,纳米级铁硅铝粉末和粘结剂添加质量根据本发明的公式进行确定。本实施例中,纳米级铁硅铝粉末之间的间距 $l$ 取35,最终获得纳米级铁硅铝粉末分散均匀的粘结剂。

[0073] (3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁硅铝粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按质量比为1:0.4:0.1的比例混合均匀后,不断搅拌,控制压强为1.0GP,压制时间为10s,压制成型,获得铁基磁粉芯。

[0074] (4) 热处理:在氮气的保护下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。热处理时间为3h,温度为200℃,冷却方式为随炉冷却,即可得到本发明的铁基软磁芯产品。

[0075] 对所得铁基磁粉芯的截面进行电镜扫描,扫描结果基本同图2及图3所示;对其性能进行检测,检测结果如图4所示。

[0076] 实施例4

[0077] 如图1所示,本实施例的一种铁基磁粉芯产品,其制备方法包括如下步骤:

[0078] (1) 无机包覆:采用溶胶-凝胶法或流态化气相沉积法在铁镍钼粉末表面包覆二氧化硅绝缘层,其中,铁镍钼粉末的粒度控制为30~150 $\mu\text{m}$ ,二氧化硅绝缘层厚度为38nm,获得铁基/二氧化硅软磁复合粉末。

[0079] (2) 粘结剂配置:取适量的纳米级铁镍钼粉末加入酚醛树脂粘结剂中,混合均匀后进行超声分散,超声分散的时间为50min,频率为30kHz,其中,纳米级的粒度控制为2nm,纳米级铁镍钼粉末和粘结剂添加质量根据本发明的公式进行确定。本实施例中,纳米级铁镍钼粉末之间的间距 $l$ 取32,最终获得纳米级铁镍钼粉末分散均匀的粘结剂。

[0080] (3) 压制成型:将步骤(1)中所得铁基/二氧化硅软磁复合粉末、步骤(2)中所得纳米级铁镍钼粉末分散均匀的粘结剂以及脱模剂按质量比为1:0.3:0.075-0.1的比例混合均匀后,不断搅拌,控制压强为2.0GP,压制时间为5s,压制成型,获得铁基磁粉芯。

[0081] (4) 热处理:在氩气保护下,对铁基磁粉芯进行去应力退火热处理。热处理时间为1h,温度为500℃,冷却方式为随炉冷却,即可得到本发明的铁基软磁芯产品。

[0082] 对所得铁基磁粉芯的截面进行电镜扫描,扫描结果基本同图2及图3所示;对其性

能进行检测,检测结果如图4所示。

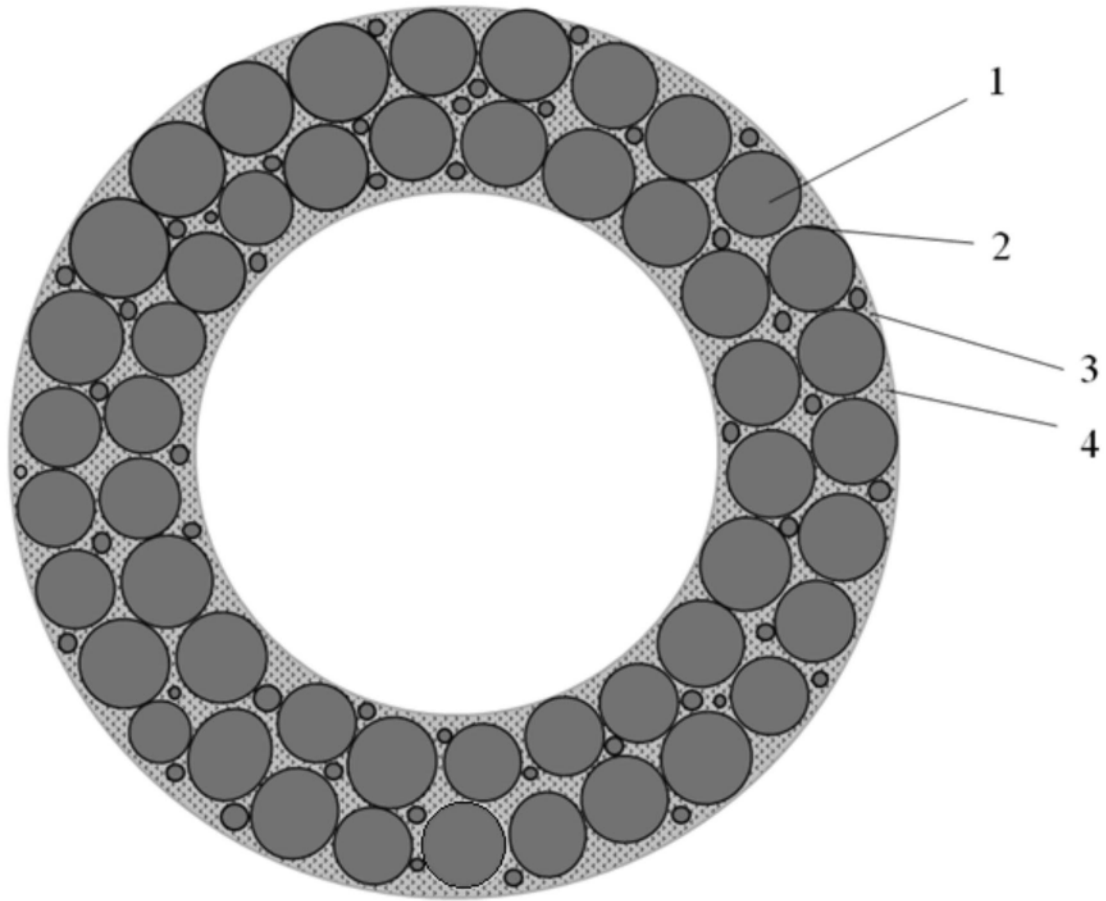


图1

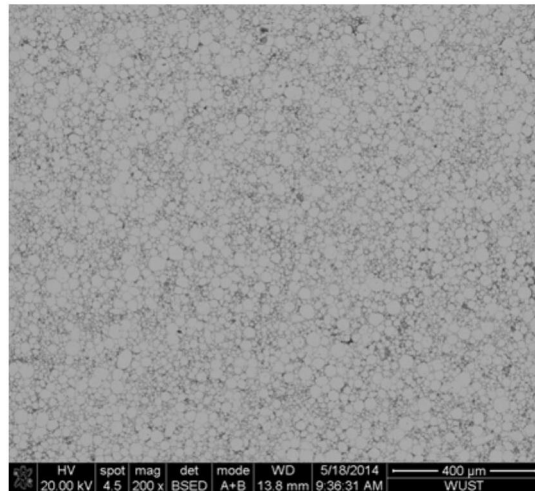


图2

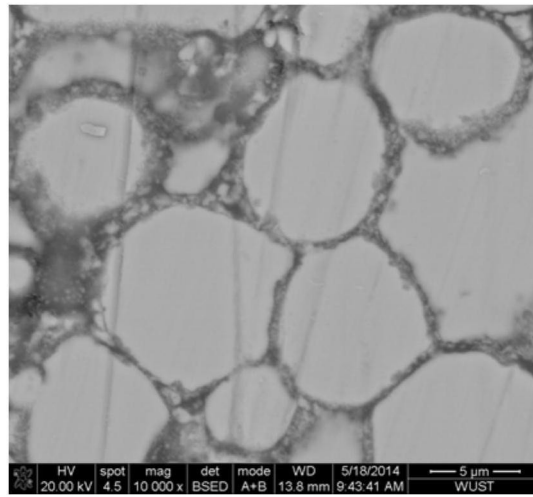


图3

编号	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4
饱和磁感应强度 (单位: T)	1.52	1.52	1.15	81
磁导率	87	96	103	341

图4