



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105950960 B

(45)授权公告日 2018.09.14

(21)申请号 201610288967.3

G22C 38/06(2006.01)

(22)申请日 2016.05.04

G22C 38/04(2006.01)

G21D 8/12(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105950960 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2016.09.21

CN 101654757 A,2010.02.24,说明书第  
0002、0009、0030段.

(73)专利权人 武汉钢铁有限公司

CN 102383037 A,2012.03.21,全文.

地址 430083 湖北省武汉市青山区厂前2号  
门股份公司机关

JP 特开2004-183002 A,2004.07.02,全文.

CN 102433055 A,2012.05.02,全文.

(72)发明人 石文敏 冯大军 陈圣林 杜光梁  
杨光 吕黎 詹东方

审查员 杨文昭

(74)专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限  
公司 42104

代理人 王和平 张继巍

(51)Int.Cl.

G22C 38/02(2006.01)

权利要求书2页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

电动汽车驱动电机用无取向硅钢及其制备  
方法

(57)摘要

本发明公开了一种电动汽车驱动电机用无取向硅钢及其制备方法,通过化学成分的优化组合、控制不完全再结晶退火的均热时间、均热温度来调整再结晶比例,来控制硅钢带的性能。不完全再结晶退火后的无取向硅钢带制成的转子铁芯屈服强度可达500MPa以上,维氏硬度在250以下,在保证转子强度的前提下充分考虑对模具的磨损;另外,不完全再结晶退火后的无取向硅钢带消除应力退火后,其制造的定子铁芯磁性能非常优异,即消除应力退火后定子铁芯产品的磁性水平与传统全工艺产品相当甚至更为优良。

1. 一种电动汽车驱动电机用无取向硅钢,其特征在于:以重量百分比计,包括以下化学元素成分: $0 < \text{碳} \leq 0.003\%$ 、 $3.0\% \leq \text{硅} \leq 4.0\%$ 、 $0 < \text{锰} \leq 0.5\%$ 、 $0 < \text{磷} \leq 0.05\%$ 、 $0 < \text{硫} \leq 0.002\%$ 、 $0 < \text{铝} \leq 0.5\%$ 、 $0 < \text{氮} \leq 0.003\%$ ,并且 $0 < (\text{硅} + \text{铝} + \text{锰}) \leq 4.5\%$ ,其余为铁及不可避免的杂质;

所述电动汽车驱动电机用无取向硅钢的方法如下:

1) 冶炼、铸造

按所述成分及重量百分比制备铸坯;

2) 轧制

铸坯加热温度 $1100^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 、加热时间 $3 \sim 6\text{h}$ ;粗轧出口温度 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ,总压下率不低于 $80\%$ ,出口厚度为 $35\text{mm} \sim 50\text{mm}$ ;精轧终轧温度 $800^{\circ}\text{C} \sim 980^{\circ}\text{C}$ ,总压下率不低于 $80\%$ ,板厚为 $2\text{mm} \sim 2.5\text{mm}$ ;卷取温度为 $650^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ ;

3) 常化和酸洗

常化均热温度 $860^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$ 、常化均热时间 $40\text{s} \sim 180\text{s}$ ;酸洗时的酸百分比浓度 $5\% \sim 10\%$ 、酸洗温度 $75 \sim 95^{\circ}\text{C}$ 、漂洗水温 $45^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ ;

4) 冷轧

采用一次性且多道次冷轧法,前几道次的总压下率不低于 $80\%$ ,最后一道次的压下率不超过 $20\%$ ;

5) 不完全再结晶退火

在连续退火炉中进行不完全再结晶退火,不完全再结晶退火气氛为 $\text{N}_2 + \text{H}_2$ 混合气体,不完全再结晶退火温度为 $800^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ ,不完全再结晶退火均热时间 $80 \sim 20\text{s}$ ,再结晶比例控制在 $35\% \sim 80\%$ ,制得厚度 $\leq 0.30\text{mm}$ 的半工艺型冷轧无取向硅钢带。

2. 一种制备权利要求1所述电动汽车驱动电机用无取向硅钢的方法,其特征在于:

1) 冶炼、铸造

按所述成分及重量百分比制备铸坯;

2) 轧制

铸坯加热温度 $1100^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 、加热时间 $3 \sim 6\text{h}$ ;粗轧出口温度 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ,总压下率不低于 $80\%$ ,出口厚度为 $35\text{mm} \sim 50\text{mm}$ ;精轧终轧温度 $800^{\circ}\text{C} \sim 980^{\circ}\text{C}$ ,总压下率不低于 $80\%$ ,板厚为 $2\text{mm} \sim 2.5\text{mm}$ ;卷取温度为 $650^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ ;

3) 常化和酸洗

常化均热温度 $860^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$ 、常化均热时间 $40\text{s} \sim 180\text{s}$ ;酸洗时的酸百分比浓度 $5\% \sim 10\%$ 、酸洗温度 $75 \sim 95^{\circ}\text{C}$ 、漂洗水温 $45^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ ;

4) 冷轧

采用一次性且多道次冷轧法,前几道次的总压下率不低于 $80\%$ ,最后一道次的压下率不超过 $20\%$ ;

5) 不完全再结晶退火

在连续退火炉中进行不完全再结晶退火,不完全再结晶退火气氛为 $\text{N}_2 + \text{H}_2$ 混合气体,不完全再结晶退火温度为 $800^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ ,不完全再结晶退火均热时间 $80 \sim 20\text{s}$ ,再结晶比例控制在 $35\% \sim 80\%$ ,制得厚度 $\leq 0.30\text{mm}$ 的半工艺型冷轧无取向硅钢带。

3. 根据权利要求2所述电动汽车驱动电机用无取向硅钢的制备方法,其特征在于:对所

述步骤5)中不完全再结晶退火后的半工艺型冷轧无取向硅钢带进行连续冲压成散片,并将散片叠片铆接为电机转子铁芯。

4. 根据权利要求2所述电动汽车驱动电机用无取向硅钢的制备方法,其特征在于:对所述步骤5)中不完全再结晶退火后的半工艺型冷轧无取向硅钢带进行连续冲压成散片,将散片在N<sub>2</sub>中进行消除应力退火,消除应力退火温度700℃~800℃、均热时间2~3h,再对散片进行发蓝处理,在表面形成绝缘膜,最后叠片铆接为电机定子铁芯。

## 电动汽车驱动电机用无取向硅钢及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及属于无取向硅钢制造领域,特别涉及一种电动汽车驱动电机用无取向硅钢及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 近年来地球环境问题日益突出,很多领域都在提倡使用节能产品。在汽车领域也不例外,低排放、减少燃料消耗技术取得了长足进步。而电动汽车和混合动力汽车领域是节能减排领域中非常突出的例子,驱动电机的性能直接影响到这些电动汽车的性能。

[0003] 驱动电机铁芯多使用永磁体、定子和转子一起构成。最近,将永磁体嵌入转子内部的IPM电机已得到广泛使用。并且随着电气驱动技术的发展任意调节转子转速成为可能,转子有向高速化发展的趋势。工业上随着50-60Hz以上高频励磁比例的升高,高频磁性能发生了变化,特别是400-1KHz时定子铁芯的磁性能要求越来越高。而转子高速旋转时由于离心力随着转速的升高使转子受到的应力也不断升高,对转子材料的机械性能提出了很高的要求。特别是当IPM电机的转子形状非常复杂时,必须考虑到转子材料的集中应力、离心力和应力变化等对机械性能的要求。一般说来,作用于转子的离心力与旋转速度的平方成正比,当旋转速度较高时,作用于转子的力也有超过600MPa的情况。因此,生产转子需要高屈服强度的铁芯材料。

[0004] 尽管在电机铁芯中定子的损耗占了较大比例,但在转子高速旋转时涡流损耗特别大,也会造成电机效率降低。另外,还有在IPM电机中因转子发热导致永磁体退磁的问题。

[0005] 电动汽车驱动电机的定子和转子主要用无取向电工钢板经冲压后叠片而成,要求定子有良好的磁性能,转子具有高强度的机械性能。上述转子的生产要求精密加工,会使铁芯生产成本大幅上升。从降低成本的角度看,使用同种电工钢板冲压加工定转子铁芯比较合适,这就需要开发出磁性能和机械性能兼顾的无取向电工钢板。在冷轧钢板中,一般采用固溶强化、析出强化、相变强化、细晶强化等方法提高强度,但是电磁性能可能变差。一般情况下,高强度和电磁性能很难兼得。

[0006] 经检索国内外公开发表文献中,有关于高强度且磁性优良的无取向电工钢化学成分、工艺及性能的相关报道,中国发明专利申请(公开号102453838A、公开日2012.05.16)公开了一种较高磁感的高强度无取向电工钢及其生产方法,其方法包括如下步骤:1)冶炼、浇铸,电工钢成分重量百分比为: $C \leq 0.0040\%$ ,  $Si: 2.50 \sim 4.00\%$ ,  $Al: 0.20\% \sim 0.80\%$ ,  $Cr: 1.0 \sim 8.0\%$ ,  $Ni: 0.5 \sim 5.0\%$ ,  $Mn \leq 0.50\%$ ,  $P \leq 0.30\%$ ,  $S \leq 0.0020\%$ ,  $N \leq 0.0030\%$ ,  $Ti \leq 0.0030\%$ ,  $Nb \leq 0.010\%$ ,  $V \leq 0.010\%$ ,  $C+S+N+Ti: \leq 0.010\%$ , 余Fe;冶炼、RH真空处理、浇铸;2)热轧;3)常化,温度850~950℃,时间0.5~3min,后以5~15℃/s缓冷至650~750℃,再以20~70℃/s快冷至100℃以下;4)酸洗冷轧,总压下率 $\geq 70\%$ ;5)退火,温度800~1000℃,保持5~60s,后以3~10℃/s缓冷却至650~750℃,再以20~70℃/s快冷至100℃以下。本发明专利申请在不增加生产难度条件下生产高强度兼具高效磁性能的无取向电工钢。Cr%低时,磁性转变温度(居里温度 $T_c$ )随Cr%的增加而稍增,而超过5%Cr后, $T_c$ 随Cr%的增加而降

低,因此少量Cr加入到钢中能使 $T_c$ 升高,由公式 $M_s^2 \approx 3N^2 \mu_B^2 (1-T/T_c)$ 可知, $T_c$ 升高有利于饱和磁化强度 $M_s$ 的提高。但该专利中的最大添加量超过5%,显然会降低饱和磁感。Ni元素成本较高,过量Ni使钢板变脆,冷轧时容易断裂,因此Ni的添加也应该适量。

[0007] 日本专利名称为《高强度无方向性电磁钢板及其生产方法》公开了一种高强度无方向性电磁钢板,其中,具有下述组成:以质量%计,使C和N为C:0.010%以下和N:0.010%以下、且 $C+N \leq 0.010\%$ ,含有Si:大于3.5%且在5.0%以下、Mn:3.0%以下、Al:3.0%以下、P:0.2%以下、以及S:0.01%以下,或还含有Ni:5.0%以下,并且在满足 $(Ti+V)/(C+N) \geq 16$ 的范围内含有总计为0.01%以上、0.8%以下的Ti、V中的任意1种或2种,余量为Fe和不可避免的杂质,并且,钢板中的未再结晶恢复组织的存在比率以面积率计为50%以上。该专利含有Si大于3.5%,轧制难度极大,容易发生断带,Al最高可以达到3.0%,钢水中Al含量高,浇铸时易结瘤,铸坯表面易结疤,成品表面缺陷多,Al也容易在退火时产生内氧化层和内氮化层。添加Ti、V中的任意1种或2种会使在热轧过程中析出的大量细小的Ti(C,N)或V(C,N)质点,严重阻碍动态再结晶过程,降低退火过程中的再结晶比例,成品晶粒尺寸较小,使成品铁损大幅上升。

[0008] 日本专利《高强度电磁钢板及其加工部件和它们的生产方法》公开了一种高强度电磁钢板及其加工部件,其特征在于,以质量百分比计,含有C:0.06%或以下、Si:0.2~6.5%、Mn:0.05~3.0%、P:0.30%或以下、S或Se:0.040%或以下、Al:2.50%或以下、Cu:0.6~8.0%、N:0.0400%或以下,其余量由Fe及不可避免的杂质组成,且在钢材内部含有直径为0.1 $\mu$ m或以下的由Cu构成的金属相。Cu在热轧过程中会析出细小的 $\epsilon$ -Cu第二相质点,其未经常化热轧板强度高导致冷轧困难,再结晶过程中 $\epsilon$ -Cu第二相质点也会阻碍晶粒的长大,最终恶化磁性能。该专利加Cu可以提高电磁钢板的强度但会使电磁性能变差。

[0009] 日本钢管株式会社在中国申请的专利《无取向电工钢板及其制造方法》公开了一种电动汽车用电机和空调用电机的铁芯材料,涉及一种具有优良冲压性能和疲劳性能的、频率在1000Hz以下的消除应力退火以后铁损低的无取向电工钢板及其制造方法。其中,具有下述组成:以质量%计,含有C:0.005%以下、Si:1.5~3%、Mn:0.05~1.5%、P:0.05%以下、S:0.02%以下、Al:0.1~2%、N:0.005%以下、Cr:0.4~5%、Ti/C:1~30、Mn/S $\geq 10$ 、其余基本为Fe。以及含有C:0.01%以下、Si:1~4.0%、Mn:1%以下、P:0.05%以下、S:0.02%以下、Al:0.1~2%、N:0.005%以下、Cr:0.2~5%、而且至少含有Cu:0.05~5%、Sb:0.002~0.1%、Sn:0.002~0.1%中的一种元素,其余基本为Fe。该方案通过Cr与其他元素的适当配合,控制Ti/C来改善钢板的冲压性和消除应力退火后的磁性,通过Cu、Sn、Sb的复合加入,也能在消除应力退火后得到较低的铁损。该专利主要通过元素的合理添加和配合实现高的疲劳极限和消除应力退火后较低的铁损。但明显此方法合金成本较高,特别是细小 $Cu_2S$ 和 $\epsilon$ -Cu的析出对晶粒长大有明显阻碍作用。

[0010] 文献《Magnetic and Mechanical Properties of Newly Developed High-Strength Nonoriented Electrical Steel》介绍了一种具有优良力学性能的高强度无取向电工钢,通过位错强化提高强度,强度达到了690和780兆帕级。冷轧引入的位错被重新排列,并形成几个再结晶晶粒内的位错减少变形的矩阵。这种电工钢是通过固溶铌适度抑制位错的合并对消而得到一种特殊的微观组织,因此兼具很高的力学性能和磁性,特别适用于HEV、EV驱动电机转子。但固溶铌后的成品再结晶比例低,400Hz、1.0T下的铁损在40W/kg

以上,铁损明显偏高。该产品的强度虽高但磁性能较差。

## 发明内容

[0011] 本发明的目的就是要提供一种消除应力退火前机械性能优良、消除应力退火后磁性能优良的电动汽车驱动电机用无取向硅钢及其制备发生。

[0012] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种电动汽车驱动电机用无取向硅钢,以重量百分比计,包括以下化学元素成分:0<碳 $\leq$ 0.003%、2.0% $\leq$ 硅 $\leq$ 0.4%、0<锰 $\leq$ 1.5%、0<磷 $\leq$ 0.05%、0<硫 $\leq$ 0.002%、0<铝 $\leq$ 1.0%、0<氮 $\leq$ 0.003%,并且0<(硅+铝+锰) $\leq$ 4.5%,其余为铁及不可避免的杂质。

[0013] 作为优选方案一,以重量百分比计,包括以下化学元素成分:0<碳 $\leq$ 0.003%、3.0% $\leq$ 硅 $\leq$ 0.4%、0<锰 $\leq$ 0.5%、0<磷 $\leq$ 0.05%、0<硫 $\leq$ 0.002%、0<铝 $\leq$ 0.5%、0<氮 $\leq$ 0.003%,并且0<(硅+铝+锰) $\leq$ 4.5%,其余为铁及不可避免的杂质。此方案的特点是硅含量较高,其他合金元素含量相对较低,在保证生产可行性前提下可得到兼顾铁损和磁感的优良磁性能。

[0014] 作为优选方案二,以重量百分比计,包括以下化学元素成分:0<碳 $\leq$ 0.003%、2.0% $\leq$ 硅 $\leq$ 0.3%、0.5<锰 $\leq$ 1.5%、0<磷 $\leq$ 0.05%、0<硫 $\leq$ 0.002%、0.5<铝 $\leq$ 1.0%、0<氮 $\leq$ 0.003%、0.03 $\leq$ 锡 $\leq$ 0.06%,并且0<(硅+铝+锰) $\leq$ 4.5%,其余为铁及不可避免的杂质。此方案的特点是硅含量较低,其他合金元素含量较高,在保证生产可行性前提下同样可得到兼顾铁损和磁感的优良磁性能。

[0015] 上述两种方案在得到高性能的同时,需要严格控制合金含量,特别是主要合金元素硅+铝+锰(Si+Al+Mn)的含量不能超过4.5%,否则在冷轧时容易出现边裂和断带,难以保证轧制顺行。方案一中Si%较高,其对降低铁损、提高机械强度效果最为明显,但也会明显降低磁感,因此方案一(Al+Mn)%较低,以保证磁感不会急剧恶化,同时保证(Si+Al+Mn)的含量不超标。方案二中Si%较低,其对提高磁感强度有明显作用,且因为Si为脆性元素,其含量的降低有利轧制特别是冷轧,方案二(Al+Mn)%较高,以保证材料的电阻率不会因为Si%的降低而急剧下降,从而保证材料的铁损不会明显升高;另外,添加一定量的Sn,可以改善成品织构提高磁性;但是,因为Sn易在晶界处偏析,导致晶界强度较低,材料冷变形时也容易发生断带,因此其含量也不宜过高,方案二中Sn为0.03%~0.06%。

[0016] 一种制备上述所述电动汽车驱动电机用无取向硅钢的方法,

[0017] 1) 冶炼、铸造

[0018] 按所述成分及重量百分比制备铸坯;

[0019] 2) 轧制

[0020] 铸坯加热温度1100℃~1200℃、加热时间3~6h;粗轧出口温度1000℃~1100℃,总压下率不低于80%,出口厚度为35mm~50mm;精轧终轧温度800℃~980℃,总压下率不低于80%,板厚为2mm~2.5mm;卷取温度为650℃~700℃;

[0021] 3) 常化和酸洗

[0022] 常化均热温度860℃~950℃、常化均热时间40s~180s;酸洗时的酸百分比浓度5%~10%、酸洗温度℃75~95℃、漂洗水温45℃~65℃;

[0023] 4) 冷轧

[0024] 采用一次性且多道次冷轧法,前几道次的总压下率不低于80%,最后一道次的压下率不超过20%。

[0025] 5) 不完全再结晶退火

[0026] 在连续退火炉中进行不完全再结晶退火,不完全再结晶退火气氛为 $N_2+H_2$ 混合气体,不完全再结晶退火温度为 $700^{\circ}C\sim 900^{\circ}C$ ,不完全再结晶退火均热时间 $80\sim 20s$ ,再结晶比例控制在 $35\%\sim 80\%$ ,制得厚度 $\leq 0.30mm$ 的半工艺型冷轧无取向硅钢带。不完全再结晶退火中之所以将热处理温度控制在 $700\sim 900^{\circ}C$ 、均热时间 $20\sim 80s$ ,主要是为了控制再结晶比例,温度低于 $700^{\circ}C$ 或均热时间少于 $20s$ ,消除应力退火前的再结晶比例低,成品硬度高,冲压时容易损坏模具,冲压加工性恶化;温度高于 $900^{\circ}C$ 或均热时间多于 $80s$ ,消除应力退火前的再结晶比例高,转子铁芯强度较低,消除应力退火时再结晶驱动力不足,定子铁芯消除应力退火后成品磁性差。

[0027] 进一步地,对所述步骤5)中不完全再结晶退火后的半工艺型冷轧无取向硅钢带进行连续冲压成散片,并将散片叠片铆接为电机转子铁芯。

[0028] 进一步地,对所述步骤5)中不完全再结晶退火后的半工艺型冷轧无取向硅钢带进行连续冲压成散片,将散片在 $N_2$ 中进行消除应力退火,消除应力退火温度 $700^{\circ}C\sim 800^{\circ}C$ 、均热时间 $2\sim 3h$ ,再对散片进行发蓝处理,在表面形成绝缘膜,最后叠片铆接为电机定子铁芯。消除应力退火温度控制在 $700^{\circ}C\sim 800^{\circ}C$ ,主要是由于温度低于 $700^{\circ}C$ 时,形变组织回复和再结晶不完全,或细小的晶粒难以获得足够的长大动力,定子铁芯磁性难以保证,温度高于 $800^{\circ}C$ 时,会对材料的有利织构产生破坏作用,且造成能源浪费。

[0029] 消除应力退火前,由于大量形变带的存在,位错密度高,导致胞状亚结构的形成和细化,对位错的滑移产生巨大的阻碍作用,使材料的变形抗力显著升高,屈服强度 $\sigma_s$ 与晶粒直径 $d$ 的关系:

$$[0030] \quad \sigma_s = \sigma_0 + kd^{1/2}$$

[0031] 式中 $\sigma_0$ 为常数,大体相当于单晶体金属的屈服强度; $d$ 为多晶体中各晶粒的平均直径; $k$ 为表征对强度影响程度的常数。该式表明细化晶粒有利于提高材料的屈服强度。因此,较低的再结晶比例和较小的晶粒尺寸有利于提高无取向硅钢片的屈服强度,但对其磁性不利。

[0032] 消除应力退火后,冷轧残余的形变储能为回复再结晶提供了足够动力,特别是当成品不完全再结晶退火温度低于消除应力退火温度时,形变带中的晶核获得足够的回复动力,位错密度降低,部分细小的晶粒获得足够的再结晶长大动力,参与磁化的有效磁畴数量增加,磁性得到恢复。

[0033] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0034] 1、通过化学成分的优化组合、控制不完全再结晶退火的均热时间、均热温度来调整再结晶比例,从而控制硅钢带的性能。不完全再结晶退火后的无取向硅钢带制成的转子铁芯屈服强度可达 $500MPa$ 以上,维氏硬度在 $250$ 以下,在保证转子强度的前提下充分考虑对模具的磨损;另外,不完全再结晶退火后的无取向硅钢带在消除应力退火后,其制造的定子铁芯磁性能非常优异,如 $0.30mm$ 厚度产品铁损值铁损 $P_{1.0/400} \leq 14.0W/kg$ 、磁感 $B_{5000} \geq 1.69T$ , $0.27mm$ 厚度产品铁损值铁损 $P_{1.0/400} \leq 13.0W/kg$ 、磁感 $B_{5000} \geq 1.68T$ , $0.25mm$ 厚度产品铁损值铁损 $P_{1.0/400} \leq 12.0W/kg$ 、磁感 $B_{5000} \geq 1.67T$ , $0.20mm$ 厚度产品铁损值铁损 $P_{1.0/400} \leq 11.0W/kg$ 、

磁感 $B_{5000} \geq 1.65T$ ,即消除应力退火后定子铁芯产品的磁性水平与传统全工艺产品相当甚至更为优良。

[0035] 2、本发明生产的电动汽车驱动电机用无取向硅钢性价比非常高,冲压后即可得到高强度转子铁芯,消除应力退火后即可得到磁性能优良的定子铁芯,充分利用了材料特性,节省了原料成本,满足了下游用户特别是高速驱动电机厂家的需求;另外,较低温度和较短均热时间的不完全再结晶退火有效降低了硅钢生产厂家能源的成本,且不完全再结晶退火完后不经过涂层处理也降低了产品原料成本。

### 附图说明

[0036] 图1为20%再结晶比例组织图;

[0037] 图2为80%再结晶比例组织图;

[0038] 图3为本发明再结晶比例对消除应力退火前机械性能的影响图;

[0039] 图4为本发明再结晶比例对消除应力退火后磁性能的影响图。

### 具体实施方式

[0040] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明,便于更清楚地了解本发明,但它们不对本发明构成限定。

[0041] 下面结合具体实施例进一步阐述通过优化化学成分制备的电动汽车驱动电机用无取向硅钢的性能。

[0042] 铸坯的化学成分如表1

[0043] 表1铸坯的化学成分如表1 (wt, %)

[0044]

元素类型	Si(硅)	Al(铝)	Mn (锰)	C(碳)	S(硫)	P(磷)	N(氮)	Sn(锡)
实施	3.1	0.5	0.2	0.0020	0.0008	0.031	0.0007	≤0.01



[0045]

例 1								
实 施 例 2	3.3	0.3	0.4	0.0018	0.0010	0.021	0.0008	$\leq 0.01$
实 施 例 3	3.5	0.2	0.3	0.0016	0.0012	0.025	0.0006	$\leq 0.01$
实 施 例 4	3.7	0.3	0.2	0.0025	0.0016	0.018	0.0005	$\leq 0.01$
实 施 例 5	4.0	0.1	0.1	0.0021	0.0009	0.020	0.0008	$\leq 0.01$
实 施 例 6	2.4	0.8	0.6	0.0015	0.0011	0.017	0.0010	0.045
实 施 例 7	2.9	0.6	0.9	0.0017	0.0013	0.015	0.0015	0.032
实 施 例 8	2.1	1.2	1.0	0.0017	0.0013	0.015	0.0015	0.056
实 施 例 9	2.3	1.0	0.8	0.0021	0.0015	0.012	0.0011	0.038
实	2.0	1.5	0.7	0.0019	0.0008	0.016	0.0020	0.060

[0046]

施 例 10								
实 施 例 11	2.6	0.7	0.6	0.0022	0.0018	0.014	0.0010	0.030
对 比 例 1	3.5	0.8	0.6	0.0011	0.0010	0.017	0.0010	≤0.01
对 比 例 2	3.2	1.0	0.4	0.0013	0.0014	0.022	0.0010	≤0.01
对 比 例 3	2.6	0.2	0.3	0.0011	0.0010	0.018	0.0010	≤0.01
对 比 例 4	2.8	0.3	0.6	0.0012	0.0011	0.022	0.0010	0.05
对 比 例 5	4.3	0.1	0.5	0.0021	0.0015	0.024	0.0013	0.03
对 比 例 6	1.5	1.3	0.8	0.0022	0.0013	0.024	0.0015	0.03
对 比 例 7	2.4	0.8	1.0	0.0023	0.0012	0.015	0.0021	0.10

[0047]

对比例 8	3.2	0.8	0.3	0.0023	0.0012	0.015	0.0020	0.105
对比例 9	2.4	0.8	1.2	0.0023	0.0012	0.015	0.0021	0.015
对比例 10	3.3	0.2	0.4	0.0037	0.0010	0.018	0.0023	0.012
对比例 11	2.7	0.9	0.8	0.0023	0.0027	0.026	0.0021	0.045

[0048] 其余的为Fe(铁)及不可避免的杂质。将厚度为200mm的铸坯装入加热炉均热,热轧成2.0mm厚度的热轧板卷,经过均热温度900℃、均热时间40~180s常化,经过酸百分比浓度为5%、温度80℃酸洗,经过水温45℃漂洗,冷轧至0.30mm厚度,然后再经过700~900℃×(80~20)s不完全再结晶退火,且再结晶比例控制在35%~80%,冲片后在N<sub>2</sub>保护气氛中经750℃×2h消除应力退火(SRA)即可,空冷至室温进行磁性检测,具体见表2。

[0049] 表2试验钢的成品性能

[0050]

类型	SRA 前		SRA 后		备注
	Rp <sub>0.2</sub> (MPa)	HV <sub>5</sub>	P <sub>1.0/400</sub> (W/kg)	B <sub>5000</sub> (T)	
实施例 1	594	215	13.3	1.701	—
实施例 2	622	221	13.6	1.698	—
实施例 3	666	228	13.7	1.706	—
实施例 4	699	240	13.6	1.693	—
实施例 5	798	247	12.9	1.695	—
实施例 6	545	196	13.3	1.706	—
实施例 7	575	208	13.5	1.708	—

[0051]	实施例 8	525	192	13.8	1.712	—
	实施例 9	540	198	13.4	1.706	—
	实施例 10	505	189	13.8	1.715	—
	实施例 11	565	205	13.5	1.698	—
	对比例 1	—	—	—	—	冷轧断带
	对比例 2	—	—	—	—	冷轧断带
	对比例 3	484	235	15.6	1.678	—
	对比例 4	503	237	14.3	1.681	—
	对比例 5	534	283	13.4	1.682	冷轧裂纹
	对比例 6	425	195	15.2	1.691	—
	对比例 7	—	—	—	—	冷轧断带
	对比例 8	—	—	—	—	冷轧断带
	对比例 9	495	240	14.8	1.688	—
	对比例 10	511	256	13.3	1.685	—
对比例 11	499	245	15.9	1.692	—	

[0052] 下面结合附图进一步说明再结晶比例对消除应力退火前机械性能和对消除应力退火后磁性能的影响。不完全再结晶退火后的组织见附图1和图2,图1为20%再结晶比例组织图片(0.30mm成品厚度)、图2为80%再结晶比例组织图片(0.30mm成品厚度)。

[0053] 由图像分析仪软件可以算出不完全再结晶退火比例,不完全再结晶退火比例对机械性能和磁性能的影响见附图3和附图4。图3为再结晶比例对消除应力退火前机械性能的影响(0.30mm成品厚度),图3可见,要得到较高的屈服强度又不至于使硬度过高,不完全再结晶退火比例应在35~95%范围内,图4为再结晶比例对消除应力退火后磁性能的影响(0.30mm成品厚度),由图4可见,不完全再结晶退火比例由80%提高到90%过程中,对应消除应力退火后的试样磁感急剧下降,要在消除应力退火后得到理想的磁性能,不完全再结晶退火比例应在30~80%范围内,综合二者要求,理想的不完全再结晶退火比例应在35~80%范围内。

[0054] 下面结合具体实施例进一步说明通过控制不完全再结晶退火的均热时间、均热温度来调整再结晶比例对消除应力退火前机械性能和对消除应力退火后磁性能的影响。

[0055] 选取实施例3(钢种3)和实施例9(钢种9)的钢种,将厚度为200mm的铸坯装入加热炉均热,热轧成2.0mm厚度的热轧板卷,经过均热温度900℃、均热时间40~180s常化,经过酸百分比浓度为5%、温度80℃酸洗,经过水温45℃漂洗,冷轧至0.30mm厚度,然后再经过700~900℃×(80~20)s不完全再结晶退火,且再结晶比例控制在35%~80%,冲片后进行750℃×2h消除应力退火(SRA),空冷至室温进行磁性检测,具体工艺见及磁性能结果具体见表3。

[0056] 表3退火工艺及对应再结晶比例

[0057]

钢种	类型	退火温度(°C)	均热时间(s)	再结晶比例(%)	SRA 前		SRA 后		备注
					Rp <sub>0.2</sub> (MPa)	HV <sub>5</sub>	P <sub>L.0/400</sub> (W/kg)	B <sub>5000</sub> (T)	
钢种 3	实施例 12	790	70	50	590	221	13.3	1.705	—
	实施例 13	850	20	45	573	218	13.8	1.693	—
	实施例 14	800	40	35	685	239	13.1	1.701	—
	实施例 15	710	80	80	642	229	13.5	1.705	—
	对比例 12	650	150	70	720	278	15.4	1.678	退火温度过低
	对比例 13	950	60	90	580	211	14.7	1.691	再结晶比例过高
	对比例 14	750	110	100	660	233	13.9	1.685	再结晶比例过高
	对比例 15	840	15	55	705	286	15.8	1.670	均热时间过短
	对比例 16	880	80	95	565	215	15.1	1.678	再结晶比例过高
钢种 9	实施例 16	900	60	75	680	241	13.7	1.704	—
	实施例 17	840	30	30	663	248	13.1	1.714	—
	实施例 18	810	80	60	675	249	13.9	1.782	—
	实施	750	40	35	632	229	13.5	1.706	—

[0058]

	例 19								
	对比例 17	680	150	90	615	234	15.6	1.695	再结晶比例过高
	对比例 18	930	60	85	580	229	14.2	1.681	退火温度过高
	对比例 19	750	20	20	595	213	14.6	1.688	再结晶比例过低
	对比例 20	790	100	80	435	195	15.1	1.679	均热时间过长
	对比例 21	860	120	100	425	185	15.3	1.694	再结晶比例过高

[0059] 综上所述,下游电机厂购得本发明生产的半工艺型冷轧无取向硅钢后,用户应用

自身条件,冲片后定子铁芯只需经过消除应力退火后,磁性能即可显著改善,达到磁性能要求;转子铁芯无需消除应力退火,其强度已经达到要求。

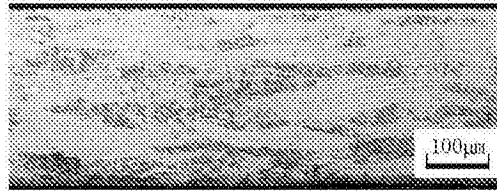


图1

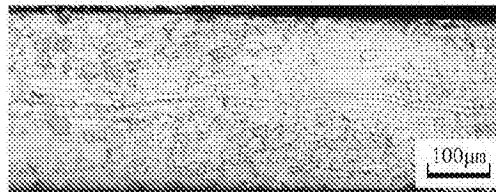


图2

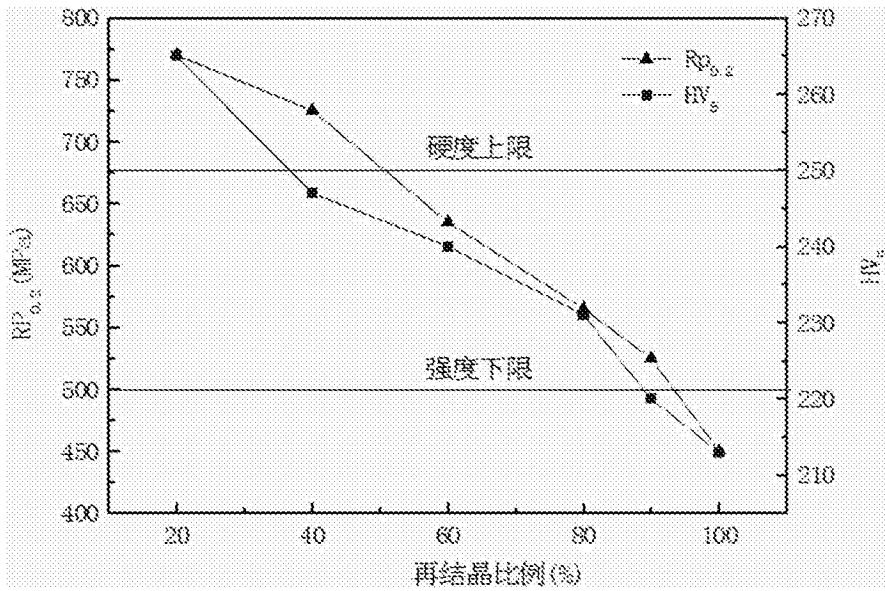


图3

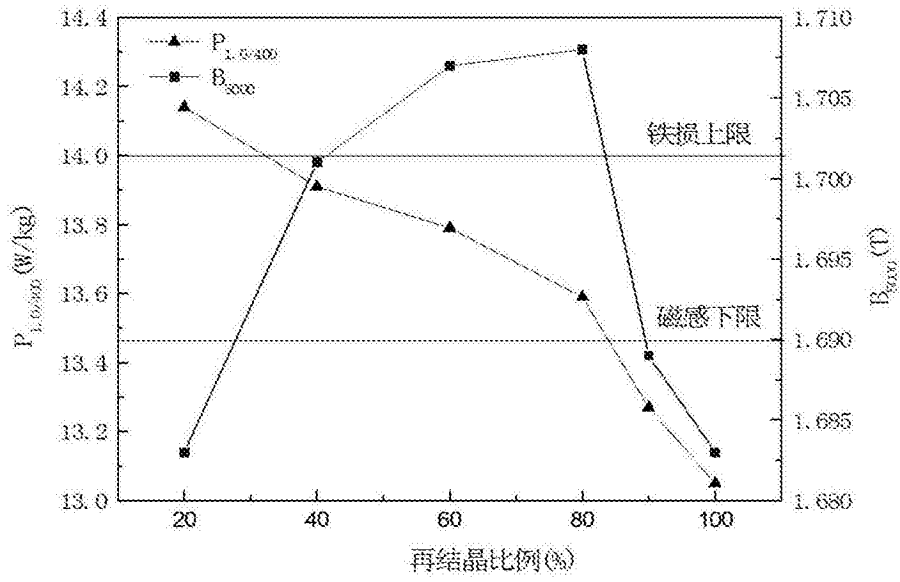


图4