



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107058874 B

(45)授权公告日 2018.07.03

(21)申请号 201710402775.5

G22C 38/04(2006.01)

(22)申请日 2017.06.01

G22C 38/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G21D 8/12(2006.01)

申请公布号 CN 107058874 A

G21D 1/26(2006.01)

G21D 1/74(2006.01)

(43)申请公布日 2017.08.18

(73)专利权人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号

(72)发明人 李成刚 方烽 兰梦飞 张元祥

卢翔 王洋 曹光明 袁国

王国栋

(74)专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 21234

代理人 张志伟

(51)Int.Cl.

G22C 38/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 105803311 A,2016.07.27,说明书0009段、0011段.

CN 102134675 A,2011.07.27,说明书0005段、0007段、0021段、0025段、实施例1、6、8-10.

US 6322635 B1,2001.11.27,全文.

CN 103510004 A,2014.01.15,全文.

CN 106435358 A,2017.02.22,全文.

US 6562473 B1,2003.05.13,全文.

CN 101343683 A,2009.01.14,全文.

审查员 辛彩萍

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法

(57)摘要

本发明属于冶金技术领域,特别涉及一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法。按照以下步骤进行:(1)按照设定的成分冶炼钢水,其成分按质量百分比为:C≤0.003%,Si 2.0~3.5%,Mn≤0.01%,Al≤0.003%,P 0.02~0.06%,S≤0.003%,余量为Fe及不可避免杂质;(2)薄带连铸得到铸带;(3)在惰性气氛条件下进行热轧;(4)冷却至650℃卷取,去除氧化铁皮厚进行单阶段多道次冷轧;(5)冷轧带进行连续退火,然后涂覆绝缘层并烘干,获得高性能无取向硅钢薄规格产品。本发明的方法基于薄带连铸技术,简化工艺、降低生产成本,提高了无取向硅钢薄规格成品的磁性能。

钢水冶炼→薄带连铸→热轧→酸洗→冷轧→薄带退火→涂覆绝缘层

1. 一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,按以下步骤进行:

(1) 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为: $C \leq 0.006\%$ ,  $Si \ 2.0 \sim 4.5 \%$ ,  $Mn \ 0.2 \sim 0.4\%$ ,  $Al \leq 0.003\%$ ,  $P \ 0.02 \sim 0.06\%$ ,  $S \leq 0.003\%$ ,余量为Fe及不可避免杂质;

(2) 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度 $1200 \sim 1250^{\circ}C$ ,控制熔池内过热度为 $10 \sim 30^{\circ}C$ ,钢水通过中间包进入薄带连铸机后形成铸带,控制铸速 $60 \sim 90m/min$ ,控制熔池液位高度 $75 \sim 120mm$ ,控制铸带厚度 $1.0 \sim 1.5mm$ ;基于薄带连铸成型工艺,钢水通过中间包进入薄带连铸机,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形;

(3) 铸带出辊后在惰性气氛条件下自然冷却至热轧机,热轧温度 $900 \sim 950^{\circ}C$ ,终轧温度 $800 \sim 850^{\circ}C$ ,压下量 $10 \sim 15\%$ ,热轧后卷取,卷取温度 $640 \sim 660^{\circ}C$ ;

(4) 将热卷清理掉氧化皮后进行单阶段多道次冷轧,总压下量为 $80 \sim 90\%$ ,获得冷轧带卷;

(5) 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在 $850 \sim 950^{\circ}C$ 进行再结晶退火,时间为 $120 \sim 180s$ ,再结晶退火在氮气氢气混合气氛条件下进行,控制混合气氛的露点在 $-30^{\circ}C$ 以下,然后涂覆绝缘层并烘干,获得高性能无取向硅钢薄规格产品。

2. 根据权利要求1所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,所述的无取向硅钢采用超低Al、Mn含量控制。

3. 根据权利要求1所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,所述的无取向硅钢铸带厚度为 $1.0 \sim 1.5mm$ ,经过 $10 \sim 15\%$ 的压下量热轧和 $80 \sim 90\%$ 的压下量冷轧后带钢厚度 $0.1 \sim 0.2mm$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,所述的无取向硅钢磁性能为: $P_{10/400}$ 为 $7.2 \sim 11W/kg$ ,磁感 $B_{50}$ 为 $1.68 \sim 1.75T$ 。

5. 根据权利要求1所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,所述的步骤(4)中,单阶段多道次冷轧的每道次压下量为 $10 \sim 20\%$ 。

6. 根据权利要求1所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,其特征在于,所述的步骤(5)中,氮气氢气混合气氛的氢气体积比例为 $20\% \sim 60\%$ 。

## 一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于冶金技术领域,特别涉及一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法。

### 背景技术

[0002] 硅钢是电力、电子和军事工业中不可或缺的节能金属软磁材料,薄规格无取向硅钢主要用于中高频(400Hz~10kHz)电机、微电机的铁芯材料,一直是我国市场紧缺的一种材料。无取向硅钢薄规格产品一般是指硅含量在1.0~4.0%,厚度在0.08~0.20mm的电工钢,以其低铁损高磁感的特性,使用中高频电机的定子和转子铁芯上。随着全球能源紧张和气候变暖,节能和环保要求电机通过提高频率降低损耗,要求铁芯材料具有高频性能。因此,制备薄规格高磁感和低铁损的无取向硅钢是电机高效化的关键核心。

[0003] 随着电力行业的逐渐发展,能源短缺和环境污染等问题的日益突出,机电产品正朝着小型化、高效率、高精度化的方向发展,然而传统冷轧硅钢片制造的铁芯已经难以满足产品要求,开发低铁损、高磁感的薄规格无取向硅钢产品来替代现行普通冷轧硅钢片是促使电机产品减小体积、降低能耗、减轻质量,提高效率的重要途径。从产品性能来看,无取向电工钢极薄带主要用于制造各种电机铁芯,包括工业用小型电机、汽车用小型、微型电机铁芯等,传统依赖进口,由小规模军工企业或科研机构生产的薄带产品已不能满足未来市场发展的需求。在燃料系、空调系、冷却系所使用的电机以及混合型电力汽车的启动发电机中,主要使用厚度为0.35mm的无取向硅钢,而厚度从0.5mm减薄到0.35mm能够有效降低硅钢涡流损失。目前,中高频电机、控制电器及高能加速器的铁芯材料中通常采用小于0.2mm的无取向硅钢薄带。随着变频及高频控制技术的逐渐发展,无取向电工钢0.15mm或0.20mm薄带产品的市场需求将会逐渐增多,而传统采用常规流程工艺生产薄规格无取向硅钢的技术潜力已经基本挖掘殆尽,因此开发新工艺成为当前急需解决的问题。

[0004] 双辊薄带连铸技术,是以两支平行放置、旋转方向相反的结晶辊与两端的陶瓷侧封板构成的熔池形成一个移动式的结晶器,液态钢水直接注入熔池内逐渐在结晶辊的表面结晶,结晶层逐渐增厚在临近出口位置相遇并经历一个极短暂的固相铸轧过程。这种由液态钢水直接凝固成形目标厚度薄带,可不需经过连铸、加热、热轧和常化等生产工序,液态金属在结晶凝固的同时承受着压力加工和塑性变形,短时间内从液态金属凝固到固态薄带,凝固速度可达 $10^2\sim 10^4\text{°C/s}$ ,大大细化了硅钢凝固组织。薄带连铸制备无取向硅钢的工艺特点决定了其可以提供新的技术思路,一方面薄带连铸可直接生产1.2~1.5mm铸带,比常规热轧带薄,可经过单阶段冷轧制备极薄带,有效减小冷轧压下量,提高成材率。另一方面,铸带组织可控,合理的控制熔池过热度可以获得细小等轴晶的铸带组织。因此,薄带连铸工艺为薄规格无取向硅钢的制备提供了新的技术途径。

[0005] 经过检索国内外公开发表的文献中,有关于生产冷轧薄规格无取向硅钢化学成分、工艺方法及其性能方面的报道。例如:中国发明专利(公开号CN104294022A)公开一种高磁感薄规格无取向硅钢的制备方法,其要求的原料成分为:Si:2.8~3.2%,C:0.025~

0.045%, Mn:0.05~0.35%,  $P \leq 0.008\%$ ,  $N \leq 0.005\%$ ,  $S \leq 0.02\%$ , 余量为铁和不可避免的杂质;工艺路线为硅钢铸锭 $\rightarrow 1200 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ 加热后热轧 $\rightarrow 1110 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ 常化 $\rightarrow$ 含中间退火的两次冷轧至 $0.12 \sim 0.2\text{mm}$  $\rightarrow$ 脱碳退火 $\rightarrow$ 最终退火。其中,铸锭中柱状晶体积分数为 $50 \sim 100\%$ ,常化过程在纯 $\text{N}_2$ 环境下,两次冷轧过程中,一次冷轧压下率为 $73 \sim 80\%$ ,二次冷轧压下率为 $55 \sim 60\%$ ,脱碳退火采用 $20 \sim 30\% \text{H}_2 + 70 \sim 80\% \text{N}_2$ ,终退火在纯 $\text{H}_2$ 条件下。该专利文献中,采用高温常化使热轧板组织均匀,析出物粗化,同时在终退火之前进行脱碳退火,生产节奏慢,成本增高。本发明与上述方法根本的区别在于省去了铸坯组织控制,热轧,常化等技术控制要求,利用薄带连铸流程直接将钢水凝固成形获得冷轧坯料,而且通过一个酸洗冷轧流程实现最终成品厚度,而且可以极大提高产品性能。

[0006] 中国发明专利(公开号CN105779878)公开一种中频冷轧无取向硅钢薄带的生产方法,其化学成分要求 $C \leq 0.003\%$ ,  $\text{Si}: 2.0 \sim 3.3\%$ ,  $\text{Al}: 0.5 \sim 1.0\%$ ,  $\text{Mn}: 0.10 \sim 0.80\%$ ,  $P \leq 0.020\%$ ,  $S \leq 0.008\%$ ,  $N \leq 0.003\%$ , 其余为Fe和不可避免的杂质。工艺路线为:连铸 $\rightarrow$ 热轧 $\rightarrow$ 常化 $\rightarrow$ 冷轧 $\rightarrow$ 退火。另一个中国发明专利(公开号CN 105238996 A)所述成分工艺与中国发明专利(公开号CN105779878)类似。其中,CN105779878冷轧过程中采用两卷同尺寸的热轧板叠在一起冷轧后切边分卷,退火时采用罩式加热炉, $\text{H}_2 + \text{N}_2$ 保护。该专利文献中采用热轧卷开卷进行冷轧叠轧会严重影响叠片系数,无法在大规模生产。本发明与上述专利区别在于,根据薄带连铸流程特点改变了成分设计思路,放宽了C含量限制,并且采用极低Al含量控制,这是由于省去热轧过程中反复动态再结晶细化组织的影响,成分设计上降低了对Al和C含量的限制。而且在冷轧成形方式上极大简化,提高性能指标。

[0007] 中国发明专利(公开号CN 101967602 A)公开一种无取向硅钢薄带及其制备方法、中国发明专利(公开号CN 102049479 A)公开一种双辊薄带连铸制备无取向硅钢等轴晶薄带坯的方法和中国发明专利(公开号CN 102274936 A)公开一种基于双辊薄带连铸技术的无取向硅钢板的制造方法,提出了利用薄带连铸流程制造高性能无取向硅钢、控制无取向硅钢凝固组织等专利要求。

## 发明内容

[0008] 针对现有无取向硅钢薄规格产品的制取方法存在的上述问题,本发明的目的在于提供一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,基于对无取向硅钢在双辊薄带连铸亚快速凝固过程中的组织-织构的系统认识,依靠合理设计化学成分,适当控制薄带连铸工艺,通过后续的冷加工和退火得到性能优异的薄规格高磁感无取向硅钢产品。

[0009] 本发明的技术方案是:

[0010] 一种基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,按以下步骤进行:

[0011] (1) 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为: $C \leq 0.006\%$ ,  $\text{Si} 2.0 \sim 4.5\%$ ,  $\text{Mn} 0.2 \sim 0.4\%$ ,  $\text{Al} \leq 0.003\%$ ,  $P 0.02 \sim 0.06\%$ ,  $S \leq 0.003\%$ , 余量为Fe及不可避免杂质;

[0012] (2) 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度 $1200 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ ,控制熔池内过热度为 $10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ,钢水通过中间包进入薄带连铸机后形成铸带,控制铸速 $60 \sim 90\text{m}/\text{min}$ ,控制熔池液位高度 $75 \sim 120\text{mm}$ ,控制铸带厚度 $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ ;

[0013] (3) 铸带出辊后在惰性气氛条件下自然冷却至热轧机,热轧温度 $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$ ,终轧温度 $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ ,压下量 $10 \sim 15\%$ ,热轧后卷取,卷取温度 $640 \sim 660^{\circ}\text{C}$ ;

[0014] (4) 将热卷清理掉氧化皮后进行单阶段多道次冷轧,总压下量为80~90%,获得冷轧带卷;

[0015] (5) 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在850~950℃进行再结晶退火,时间为120~180s,再结晶退火在氮气氢气混合气氛条件下进行,控制混合气氛的露点在-30℃以下,然后涂覆绝缘层并烘干,获得高性能无取向硅钢薄规格产品。

[0016] 所述的基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,基于薄带连铸成型工艺,钢水通过中间包进入薄带连铸机,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形,通过控制低熔池液位和熔池低过热度,获得细小均匀等轴晶组织,提高冷轧成形能力。

[0017] 所述的无取向硅钢采用超低Al、Mn含量控制。

[0018] 所述的无取向硅钢铸带厚度为1.0~1.5mm,经过10~15%的压下量热轧和80~90%的压下量冷轧后带钢厚度0.1~0.2mm。

[0019] 所述的无取向硅钢磁性能为: $P_{10/400}$ 为7.2~11W/kg,磁感 $B_{50}$ 为1.68~1.75T。

[0020] 所述的步骤(4)中,单阶段多道次冷轧的每道次压下量为10~20%。

[0021] 所述的步骤(5)中,氮气氢气混合气氛的氢气体积比例为20%~60%。

[0022] 与现有技术相比,本发明的优点及有益效果在于:

[0023] 1) 本发明在现有技术的基础上,调整了成分要求,重新设计了薄带连铸流程无取向硅钢成分体系,使之更加适应薄带连铸连续浇注过程和硅钢流程特点。本发明成分按重量百分比为: $C \leq 0.006\%$ , $Si$  2.0~4.5%, $Mn$  0.2~0.4%, $Al \leq 0.003\%$ , $P$  0.02~0.06%, $S \leq 0.003\%$ ,余量为Fe及不可避免杂质——新的控制思想在于取消了Al在成分体系中的添加。Al元素扩大铁素体温度范围,改善大压缩比热轧过程中再结晶,在薄带连铸流程中不需要此项工艺要求,Al元素降低后可以提高钢水流动性,避免 $Al_2O_3$ 凝固过程堵水口的现象发生。此外,本发明放宽了C含量的要求,使之有利于降低生产难度、提高生产节奏。硅含量提高到2.0~4.5%,有利于高频铁损降低。

[0024] 2) 本发明提出了基于薄带连铸流程制备0.1~0.2mm薄规格无取向硅钢带钢的全套工艺方法,明确了控制成分范围、铸态组织、铸带厚度、冷/热轧压下量与最终产品性能的关联性。

[0025] 3) 本发明提出控制液位和过热度结合的工艺获得良好铸态组织,为实现一阶段冷轧的轧制流程奠定基础。

[0026] 4) 本发明通过凝固组织-热轧-冷轧-退火工艺匹配实现退火板低铁损、高磁感的磁性能指标。

## 附图说明

[0027] 图1为基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品制备流程图;

[0028] 图2为实施例1中铸带微观组织图。

## 具体实施方式

[0029] 在具体实施过程中,采用的薄带连铸机为专利(公开号CN103551532A)公开的薄带连铸机。如图1所示,基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品制备流程如下:按设

定成分冶炼钢水,进入薄带连铸机完成薄带连铸过程,出铸机后的铸带进行一道次热轧,热轧带经酸洗后进行单阶段多道次冷轧,得到目标厚度薄带后进行再结晶退火,退火板表面涂绝缘涂层并烘干,得到薄规格无取向硅钢成品。

[0030] 下面,通过实施例对本发明进一步详细阐述。

[0031] 实施例1

[0032] 本实施例中,基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,按以下步骤进行:

[0033] 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为:C 0.006%,Si 2.0%,Mn 0.4%,Al 0.003%,P 0.04%,S 0.0025%,余量为Fe;

[0034] 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度1230℃,控制过热度为30℃,钢水通过中间包进入薄带连铸机,控制液位高度120mm,铸速60m/min,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形,铸带厚度为1.5mm;

[0035] 铸带出辊后在惰性气氛条件下,以50℃/s的速率冷却至950℃,然后进行热轧,开轧温度950℃,终轧温度850℃,压下量15%,制成热轧铸带,将热轧铸带以20℃/s的速率冷却至650℃卷取;

[0036] 将热轧带酸洗去除氧化皮,然后进行单阶段6道次冷轧,压下量为84%,每道次压下量为13~15%,获得冷轧带,厚度为0.20mm;

[0037] 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在950℃进行再结晶退火,时间为180s,再结晶退火在氮气氢气混合气氛(本实施例的氢气体积比例为20%)条件下进行,控制混合气氛的露点在-30℃,然后涂覆绝缘层并烘干,获得最终成品。磁性能 $P_{10/400}$ 为11W/kg,磁感 $B_{50}$ 为1.75T。

[0038] 如图2所示,从铸带微观组织可以看出,铸带凝固晶粒粗大均匀,冷却过程中并未发生显著相变行为,有效保护了铸态组织的遗传效果,从而获得良好的成品磁性能。

[0039] 实施例2

[0040] 本实施例中,基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,按以下步骤进行:

[0041] 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为:C 0.0052%,Si 2.2%,Mn 0.35%,Al 0.003%,P 0.05%,S 0.0022%,余量为Fe;

[0042] 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度1230℃,控制过热度为30℃,钢水通过中间包进入薄带连铸机,控制液位高度120mm,铸速60m/min,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形,铸带厚度为1.5mm;

[0043] 铸带出辊后在惰性气氛条件下,以50℃/s的速率冷却至950℃,然后进行热轧,开轧温度950℃,终轧温度850℃,压下量10%,制成热轧铸带,将热轧铸带以20℃/s的速率冷却至650℃卷取;

[0044] 将热轧带酸洗去除氧化皮,然后进行单阶段6道次冷轧,总压下量为88.9%,每道次压下量为13~15%,获得冷轧带,厚度为0.15mm;

[0045] 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在950℃进行再结晶退火,时间为180s,再结晶退火在氮气氢气混合气氛(本实施例的氢气体积比例为40%)条件下进行,控制混合气氛的露点在-35℃,然后涂覆绝缘层并烘干,获得最终成品。磁性能 $P_{10/400}$ 为10.0W/kg,磁感 $B_{50}$

为1.72T。

[0046] 实施例3

[0047] 本实施例中,基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,按以下步骤进行:

[0048] 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为:C 0.004%,Si 3.0%,Mn 0.2%,Al 0.0015%,P 0.03%,S 0.0018%,余量为Fe;

[0049] 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度1250℃,控制过热度为20℃,钢水通过中间包进入薄带连铸机,控制液位高度100mm,铸速70m/min,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形,厚度为1.2mm;

[0050] 铸带出辊后在惰性气氛条件下,以70℃/s的速率冷却至900℃,然后进行热轧,开轧温度900℃,终轧温度800℃,压下量10%,制成热轧铸带,将热轧铸带以30℃/s的速率冷却至650℃卷取;

[0051] 将热轧带酸洗去除氧化皮,然后进行单阶段8道次冷轧,总压下量为89%,每道次压下量为10~12%,获得冷轧带,厚度为0.12mm;

[0052] 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在950℃进行再结晶退火,时间为180s,再结晶退火在氮气氢气混合气氛(本实施例的氢气体积比例为60%)条件下进行,控制混合气氛的露点在-40℃,然后涂覆绝缘层并烘干,获得最终成品。磁性能 $P_{10/400}$ 为8.35W/kg,磁感 $B_{50}$ 为1.70T。

[0053] 实施例4

[0054] 本实施例中,基于薄带连铸制备高磁感无取向硅钢薄规格产品的方法,按以下步骤进行:

[0055] 按设定成分冶炼钢水,其成分按重量百分比为:C 0.0025%,Si 4.5%,Mn 0.2%,Al 0.002%,P 0.045%,S 0.0012%,余量为Fe;

[0056] 薄带连铸过程:将钢水通过浇口进入中间包,中间包预热温度1250℃,控制过热度为20℃,钢水通过中间包进入薄带连铸机,控制液位高度75mm,铸速90m/min,在旋转的铸辊与侧封板组成的结晶器内形成熔池并凝固成形,厚度为1.0mm;

[0057] 铸带出辊后在惰性气氛条件下,以70℃/s的速率冷却至900℃,然后进行热轧,开轧温度900℃,终轧温度800℃,压下量10%,制成热轧铸带,将热轧铸带以30℃/s的速率冷却至650℃卷取;

[0058] 将热轧带酸洗去除氧化皮,然后进行单阶段8道次冷轧,总压下量为85%,每道次压下量为10~12%,获得冷轧带,厚度为0.1mm;

[0059] 将冷轧带通过连续退火进行热处理,在950℃进行再结晶退火,时间为180s,再结晶退火在氮气氢气混合气氛(本实施例的氢气体积比例为30%)条件下进行,控制混合气氛的露点在-45℃,然后涂覆绝缘层并烘干,获得最终成品。磁性能 $P_{10/400}$ 为7.2W/kg,磁感 $B_{50}$ 为1.66T。

[0060] 实施例结果表明,本发明的方法基于薄带连铸技术,简化工艺、降低生产成本,提高了无取向硅钢薄规格成品的磁性能。

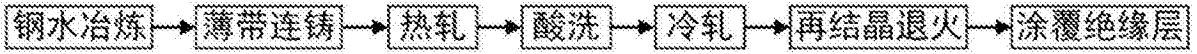


图1

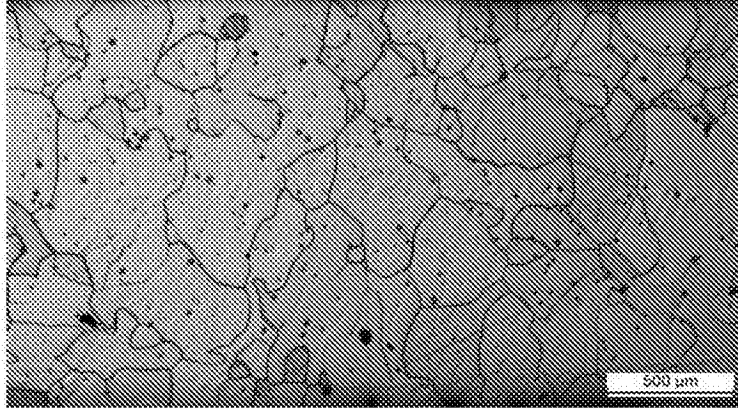


图2