



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103695619 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 24

(21) 申请号 201210365931. 2

(22) 申请日 2012. 09. 27

(73) 专利权人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路 885 号

(72) 发明人 沈侃毅 李国保 储双杰 孙业中

章华兵 杨勇杰 胡卓超 赵斌

徐琪 黄杰 章培莉

(74) 专利代理机构 上海东信专利商标事务所

(普通合伙) 31228

代理人 杨丹莉

(51) Int. Cl.

G21D 8/12(2006. 01)

G22C 38/04(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102021282 A, 2011. 04. 20,

CN 101845582 A, 2010. 09. 29,

CN 101353760 A, 2009. 01. 28,

KR 100340495 B1, 2002. 11. 22,

CN 102605267 A, 2012. 07. 25,

US 6296719 B1, 2001. 10. 02,

EP 0837149 A2, 1998. 04. 22,

CN 101768697 A, 2010. 07. 07,

CN 1231703 A, 1999. 10. 13,

审查员 章端婷

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种高磁感普通取向硅钢的制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高磁感取向硅钢的制造方法,其包括下列步骤:1) 冶炼、连铸后得到板坯,控制冶炼阶段的N含量为0.002~0.014wt%;2) 热轧;3) 冷轧;4) 脱碳退火;5) 氮化处理:控制渗入氮含量 $[N]_b$ 满足: $328-0.14a-0.85b-2.33c \leq [N]_b \leq 362-0.16a-0.94b-2.57c$ ,式中,a为冶炼步骤中Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub>的含量,ppm;b为N元素的含量,ppm;c为初次晶粒尺寸, $\mu\text{m}$ ;6) 表面氧化镁涂层,进行退火;7) 涂敷绝缘涂层。采用该方法能够获得磁感 $B_8 \geq 1.88\text{T}$ 的普通取向硅钢,不仅节省了生产工序,提高了生产效率,而且还保证普通取向硅钢具备理想的磁性能和优良的取向度。

1. 一种高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,包括下列步骤:

(1) 冶炼、连铸后得到板坯,控制冶炼阶段的 N 含量为 0.002 ~ 0.014wt%;

(2) 热轧:加热温度为 1090 ~ 1200℃;

(3) 冷轧:一次免时效轧制;

(4) 脱碳退火;

(5) 氮化处理:渗入氮含量  $[N]_0$  满足  $328-0.14a-0.85b-2.33c \leq [N]_0 \leq 362-0.16a-0.94b-2.57c$ ; 其中, a 为冶炼步骤 Al 的含量, ppm; b 为冶炼步骤 N 元素的含量, ppm; c 为初次晶粒尺寸,  $\mu\text{m}$ ;

(6) 钢板表面涂覆氧化镁涂层,进行退火;

(7) 涂敷绝缘涂层。

2. 如权利要求 1 所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,所述步骤(2)中,1180℃以下开轧,860℃以上终轧,轧后卷取,卷取温度小于 650℃。

3. 如权利要求 2 所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,所述步骤(3)中,冷轧压下率  $\geq 80\%$ 。

4. 如权利要求 3 所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,所述步骤(4)中,升温速度 15 ~ 35℃/s,脱碳温度 800 ~ 860℃,脱碳露点 60 ~ 70℃。

5. 如权利要求 4 所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,所述步骤(4)中保护气氛为 75% $\text{H}_2$ +25% $\text{N}_2$ 。

6. 如权利要求 1-5 中任意一项所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,其特征在于,所述步骤(5)中,采用体积分数为 0.5 ~ 4.0% 的  $\text{NH}_3$  进行渗氮,渗氮温度 760 ~ 860℃,渗氮时间 20 ~ 50s,氧化度  $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{P}_{\text{H}_2}$  为 0.045 ~ 0.200。

## 一种高磁感普通取向硅钢的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种金属合金制造方法,尤其涉及一种铁基合金的制造方法。

### 背景技术

[0002] 通常现有普通取向硅钢 (CGO) 是以 MnS 或 MnSe 为抑制剂,利用二次冷轧法制造生产的,其主要生产工艺流程为:

[0003] 冶炼→热轧→常化→一次冷轧→中间退火→二次冷轧→脱碳退火→高温退火→绝缘涂层。其中技术要点为:

[0004] 冶炼:用转炉(或电炉)炼钢,进行二次精炼及合金化,连铸成板坯,其基本化学成分质量百分含量为 Si :2.5 ~ 4.5%, C :0.02 ~ 0.10%, Mn :0.025 ~ 0.25%, S 或 Se :0.01 ~ 0.035%, Al ≤ 0.01%, N ≤ 0.005%,有的成分体系还含有 Cu、Mo、Sb、B、Bi 等元素中的一种或多种,其余为铁及不可避免的杂质元素。

[0005] 热轧:一般将板坯在专用高温加热炉内加热到 1350℃ 以上的温度,并进行 45 分钟以上的保温,使有利的夹杂物 MnS 或 MnSe 充分固溶,然后进行 4 ~ 6 道次的粗轧和精轧。通过精轧和卷取之间的快速冷却,可使碳化物弥散分布在晶粒内,有利于以后获得细小均匀的初次晶粒。

[0006] 常化:在 850 ~ 950℃ 温度下保持 3 分钟,使热轧板组织更均匀。

[0007] 一次冷轧:冷轧压下率为 60 ~ 70%,经 3 ~ 4 道轧制。

[0008] 中间退火:中间退火温度为 850 ~ 950℃,退火时间为 2.5 ~ 4.0 分钟。

[0009] 二次冷轧:中间退火后的二次冷轧压下率为 50 ~ 55%,冷轧道次为 2 ~ 3 道。

[0010] 脱碳退火:通过脱碳退火完成初次再结晶并形成二次晶粒形核点。将 C 含量脱至 30ppm 以下,保证之后的高温退火时处于单一的  $\alpha$  相,发展完善的二次再结晶组织,消除成品的磁时效。

[0011] 高温退火:必须先经高温退火进行二次再结晶并使二次晶粒长大,然后在带钢表面形成一层硅酸镁底层玻璃膜;最后净化退火除掉抑制剂分解出来的硫和氮等对磁性有害的元素,得到取向度高和理想磁性能的普通取向硅钢。

[0012] 绝缘涂层:经过涂布绝缘涂层和拉伸退火,获得商业应用形态的取向硅钢产品。

[0013] 公开号为 CN1321787A,公开日为 2001 年 11 月 14 日,名称为“单取向电工钢板及其制备方法”的中国专利文献,其公开了一种单取向电工钢板及其制造方法。该方法的制造工序包括:将原材料进行冶炼,其化学成分质量百分含量为 C :0.02 ~ 0.15%, Si :1.5 ~ 2.5%, Mn :0.02 ~ 0.20%, 酸可溶性的 Al :0.015 ~ 0.065%, N :0.0030 ~ 0.0150%, 选自 S 和 Se 中的一种或两种的总量 :0.005 ~ 0.040%, 余量为 Fe 和不可避免的其他杂质;在 900 ~ 1100℃ 温度下进行热轧板卷退火,进行一次冷轧,脱碳退火,最终退火,最后涂敷后获得板厚为 0.20 ~ 0.55mm、平均结晶粒径为 1.5 ~ 5.5mm 的电工钢板,其铁损值  $W_{17/50}$  满足: $0.5884e^{1.9154 \times \text{板厚}(\text{mm})} \leq W_{17/50} (W / \text{kg}) \leq 0.7558e^{1.7378 \times \text{板厚}(\text{mm})}$ , B8(T) 值满足  $1.88 \leq B8(T) \leq 1.95$ 。

[0014] 公开号为 US5039359, 公开日为 1991 年 8 月 13 日, 名称为“一种具有优异磁性晶粒取向电工钢板的制造方法”的美国专利文献, 其涉及一种具有优良磁性电工钢板的制造方法, 其制造方法的步骤为: 冶炼钢水, 其化学成分的质量百分含量配比为 C : 0.021 ~ 0.100wt%, Si : 2.5 ~ 4.5wt%, 其中还含有硅钢板坯形成抑制剂, 其余铁和不可避免的其他杂质, 形成热轧卷取钢板, 卷取冷却温度  $\leq 700^{\circ}\text{C}$ , 该温度比实际的热轧卷取钢板的温度降低 80% 以上, 在热轧钢板的工作表上组成的平衡一个或多个元素, 采取至少一次冷轧生产取向硅钢, 该产品磁感可以达到 1.90T 以上。

[0015] 公开号为 US5472521, 公开日为 1995 年 12 月 5 日, 名称为“一种具有优异磁性晶粒取向的电工钢板的制造方法”的美国专利文献, 其公开了一种提高磁性和稳定晶粒取向的电工钢板的制造方法。其采用低温板坯加热技术、免常化的一次冷轧工艺生产取向硅钢, 同时还涉及了冶炼后氮含量与钢板磁感的关系。

[0016] 上述现有技术存在以下缺点:

[0017] (1) 采用 MnS 或 MnSe 为主抑制剂, 导致成品磁性偏低;

[0018] (2) 为了使 MnS 或 MnSe 抑制剂充分固溶, 加热温度最高需达到  $1400^{\circ}\text{C}$ , 这是传统加热炉的极限水平; 此外, 由于加热温度高、烧损大, 加热炉需频繁修补, 利用率低; 同时, 加热温度高导致能耗高, 热轧卷的边裂大, 致使冷轧工序生产困难, 成材率低, 成本也高;

[0019] (3) 在现有化学成分体系下, 整个生产过程需要采用常化、中间退火以及两次冷轧法才能获得磁性符合要求的普通取向硅钢成品, 从而导致工序繁复、制造工艺流程长, 生产效率过低;

[0020] (4) 现有普通取向硅钢中的 MnS 或 MnSe 为完全固溶非氮化型, 其在实际生成中由于板坯再加热温度过高, 会发生板坯内抑制剂强度不均匀, 易生成粗大晶粒等, 这都会导致二次再结晶不完善, 磁感降低等问题。

## 发明内容

[0021] 本发明的目的在于提供一种高磁感普通取向硅钢的制造方法, 采用该制造方法能在省去常化、中间退火等工序的前提下, 仅采用一次免时效轧制即可获得较高磁感 ( $B_8 \geq 1.88\text{T}$ ) 的普通取向硅钢。

[0022] 为了实现上述发明目的, 本发明提供了一种高磁感普通取向硅钢的制造方法, 其包括下列步骤:

[0023] (1) 冶炼、连铸后得到板坯, 控制冶炼阶段的 N 含量为 0.002 ~ 0.014wt%;

[0024] (2) 热轧: 加热温度为  $1090 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ;

[0025] (3) 冷轧: 一次免时效轧制;

[0026] (4) 脱碳退火;

[0027] (5) 氮化处理: 渗入氮含量  $[\text{N}]_0$  满足  $328 - 0.14a - 0.85b - 2.33c \leq [\text{N}]_0 \leq 362 - 0.16a - 0.94b - 2.57c$ ; 其中, a 为冶炼步骤 Al 的含量, 单位为 ppm; b 为冶炼步骤 N 元素的含量, 单位为 ppm; c 为初次晶粒尺寸, 单位为  $\mu\text{m}$ ;

[0028] (6) 钢板表面涂覆氧化镁涂层, 进行退火;

[0029] (7) 涂敷绝缘涂层。

[0030] 发明人通过大量试验发现, 在炼钢过程中适当控制氮含量, 既能获得磁感较高的

产品,又能免去常化和中间退火等工序,并且将二次冷轧法转为一次冷轧法,使得生产周期缩短,生产效率明显提高。由于在本技术方案中,脱碳退火工序后还需要采取氮化处理,因此需要在冶炼阶段可将 N 含量控制在较低范围内,从而避免用高温来进行加热,本技术方案中采用了 1090 ~ 1200℃ 的低温板坯加热技术进行生产制造。在本技术方案中,当 N 含量不足 0.002% 时,不能获得稳定的一次抑制剂效果,初次再结晶尺寸的控制变得困难,二次再结晶也不完善。此时,需要采用中间退火和二次冷轧工艺来改善成品磁性。然而,当 N 含量超过 0.014% 时,在实际的生产过程中既需要使板坯再加热温度升至 1350℃ 以上,又由于后工序的氮化处理,会使高斯取向度降低。另外,当 N 含量较高时,还需要增加常化工序来使得 AlN 抑制剂细小弥散的析出,并采用一次冷轧时效轧制工艺来获得最终成品厚度的冷轧板。因此,结合成品磁性,生产效率及综合各项因素而言,在本发明的技术方案中,需要将 N 含量控制在 0.002 ~ 0.014wt%。

[0031] 本技术方案中的氮化处理是针对本技术方案中的低温板坯加热技术的,其对冷轧脱碳板进行渗氮处理,从而补充基板中不足抑制剂的强度,所增加的抑制剂是专门为进行二次再结晶所准备的二次抑制剂,其数量的多少直接决定了脱碳钢板在高温退火过程中二次再结晶的完善程度。当氮化处理中的渗入氮含量过少时,会使抑制剂强度偏弱,从而导致二次再结晶晶核位置扩展到板厚方向,不仅钢板近表层的尖锐高斯取向,而且中心层的正常晶粒也发生二次再结晶,致使取向度变差,磁特性劣化,使得成品的  $B_8$  降低。反之,氮化处理中渗入氮含量过多时,高斯取向度也会极为劣化,并且在高温退火过程中形成的硅酸镁玻璃膜上会发生露出金属缺陷,且缺陷率会显著增加。因此,氮化处理的渗入氮含量应满足关系式:  $328-0.14a-0.85b-2.33c \leq [N]_D \leq 362-0.16a-0.94b-2.57c$  (a 为冶炼步骤中 Al 的含量, ppm; b 为冶炼步骤中 N 元素的含量, ppm; c 为初次晶粒尺寸,  $\mu\text{m}$ )。

[0032] 进一步地,在上述步骤(2)中,1180℃ 以下开轧,860℃ 以上终轧,轧后卷取,卷取温度小于 650℃。

[0033] 进一步地,在上述步骤(3)中,控制冷轧压下率  $\geq 80\%$ 。

[0034] 进一步地,在上述步骤(4)中,控制升温速度 15 ~ 35℃/s,脱碳温度 800 ~ 860℃,脱碳露点 60 ~ 70℃。

[0035] 进一步地,在上述步骤(4)中保护气氛为 75% $\text{H}_2$ +25% $\text{N}_2$  (体积分数)。

[0036] 进一步地,在上述步骤(5)中,采用体积分数为 0.5 ~ 4.0% 的  $\text{NH}_3$  进行渗氮,渗氮温度 760 ~ 860℃,渗氮时间 20 ~ 50s,氧化度  $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{P}_{\text{H}_2}$  为 0.045 ~ 0.200。

[0037] 与现有技术相比,本发明所述的高磁感普通取向硅钢的制造方法,通过控制冶炼过程中的 N 含量,并根据冶炼步骤中 Al 的含量, N 元素的含量和初次晶粒尺寸控制后续过程中氮化处理的渗入氮含量,在减少生产工艺流程的前提下,获得了磁感较高 ( $B_8 \geq 1.88\text{T}$ ) 的普通取向硅钢,不仅节省了生产工序,提高了生产效率,而且还保证普通取向硅钢具备理想的磁性能和优良的取向度。

## 具体实施方式

[0038] 以下将结合具体实施例和比较例对本发明所述的技术方案作进一步的解释说明。

[0039] 实施例 1-3 和比较例 1-2:

[0040] 采用转炉或电炉炼钢,钢水经二次精炼,并在连铸后得到板坯,其化学元素质

量百分数为 :C:0.02 ~ 0.08%, Si:2.0 ~ 3.5%, Mn:0.05 ~ 0.20%, S:0.005 ~ 0.012%, Als:0.010 ~ 0.060%, N:0.002 ~ 0.014%, Sn: ≤ 0.10%, 余量为 Fe 及其他不可避免的杂质。将不同成分的板坯放在 1150℃ 加热后热轧至厚度为 2.3mm 的热轧板,开轧和终轧温度分别为 1070℃ 和 935℃,卷取温度 636℃。热轧板经酸洗后,一次冷轧到成品厚度 0.30mm。脱碳退火升温速率 25℃ /s、脱碳温度 845℃,脱碳露点 67℃ 的条件下进行脱碳退火,使钢板中 [C] 含量降到 30ppm 以下。氮化处理工艺 :780℃ × 30sec,氧化度  $P_{H_2O}/P_{H_2}$  是 0.065,  $NH_3$  用量 3.2wt%, 渗入 [N] 含量 160ppm。涂布 MgO 为主要成分的隔离剂后,在罩式炉中进行高温退火。开卷后经过涂敷绝缘涂层及拉伸平整退火,得到的成品  $B_8$  和生产周期见表 1。

[0041] 表 1。(余量为 Fe 和其他不可避免的杂质, wt%)

[0042]

序号	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	Als (%)	N (%)	Sn (%)	$B_8$ (T)	工艺	热轧--冷轧生产周期
1	0.04	2.0	0.10	0.012	0.03	0.014	0.04	1.90	免常化和中间退火、一次冷轧法	≤48 小时
2	0.06	3.5	0.20	0.005	0.06	0.008	0.10	1.88		
3	0.08)	3.0	0.05	0.006	0.01	0.002	0.06	1.89		
4	0.05	3.2	0.15	0.006	0.03	<b>0.016</b>	0.06	1.85	常化、一次冷轧法	48~56 小时

[0043]

5	0.07	2.6	0.12	0.007	0.04	<b>0.001</b>	0.05	1.84	中间退火、二次冷轧法	55~65 小时
---	------	-----	------	-------	------	--------------	------	------	------------	----------

[0044] (序号 1-3 分别为实施例 1-3, 序号 4-5 分别为对比例 1-2)

[0045] 从表 1 可以看出,当 N 元素含量控制在 0.002 ~ 0.014% 范围内时,成品的磁感普遍较高,都能达到  $B_8 \geq 1.88T$ 。反之,对比例 1-2 的 N 元素不满足本发明所述的技术方案,其磁感与实施例 1-3 相比较稍低。

[0046] 此外,从表 1 还可以看出,当冶炼阶段的 N 含量满足 0.002~0.014% 时,可以免去常化和中间退火步骤,同时采用一次冷轧工艺技术,这就使得从热轧板到最终成品冷轧板的生产周期控制在 48 小时以内。否则,当 N 含量不满足要求时,由于需要进行常化、中间退火和二次冷轧等工序,会将生产周期延长约 5~20 小时。

[0047] 实施例 4-8 和对比例 3-7 :

[0048] 采用转炉或电炉炼钢,钢水经二次精炼,并在连铸后得到板坯,其化学元素质量百分数为 Si:3.0%, C:0.05%, Mn:0.11%, S:0.007%, Als:0.03%, N:0.007%, Sn:0.06%, 其余为 Fe 及不可避免的杂质;然后进行热轧,不同的热轧工艺条件如下表 2 所示。热轧板经酸洗,一次冷轧到成品厚度 0.30mm。脱碳退火升温速率 25℃ /s、脱碳温度 840℃,脱碳露点 70℃ 的条件下进行脱碳退火,使钢板中 [C] 含量降到 30ppm 以下。氮化处理工艺 :800℃ × 30sec,氧化度  $P_{H_2O}/P_{H_2}$  是 0.14,  $NH_3$  用量 1.1wt%, 渗入 [N] 含量 200ppm。涂布 MgO 为主要成分的隔离剂后,在罩式炉中进行高温退火。开卷后经过涂敷绝缘涂层及拉伸平整退火,得到的成品  $B_8$  见表 2。

[0049] 表 2

序号	板坯加热温度 (°C)	开轧温度 (°C)	终轧温度 (°C)	卷取温度 (°C)	$B_8$ (T)
实施例 4	1090°C	1060	945	576	1.88
实施例 5	1200°C	1070	880	628	1.89
实施例 6	1150°C	1180	940	564	1.89
实施例 7	1130°C	1050	860	550	1.88
实施例 8	1100°C	1065	930	650	1.90
对比例 3	<b>1085°C</b>	1090	905	625	1.83
对比例 4	<b>1205°C</b>	1054	885	589	1.85
对比例 5	1105°C	<b>1185</b>	936	640	1.85
对比例 6	1160°C	1081	<b>850</b>	580	1.84
对比例 7	1135°C	1140	920	<b>660</b>	1.84

[0052] 从表 2 结果可以看到,当热轧工艺满足:板坯在加热炉内加热到 1090~1200°C,开轧温度 1180°C 以下,终轧温度为 860°C 以上,轧后层流冷却,650°C 温度以下卷取时,实施例 4-8 的磁感普遍更高,都能达到  $B_8 \geq 1.88T$ 。反之,当热轧工艺与本技术方案不符时,对比例 3-7 的磁感都较实施例偏低。

[0053] 实施例 9-13 和对比例 8-13:

[0054] 采用转炉或电炉炼钢,钢水经二次精炼,并在连铸后得到板坯,其化学元素质量百分数为 Si:2.8%,C:0.04%,S:0.009%,Als:0.04%,N:0.005%,Mn:0.10%,Sn:0.03%,其余为 Fe 及不可避免的杂质。将板坯在 1130°C 下加热,而后热轧至厚度为 2.5mm 的热轧板,开轧和终轧温度分别为 1080°C 和 920°C,卷取温度 605°C。热轧板经酸洗,冷轧到成品厚度 0.35mm,然后进行脱碳退火,不同的脱碳退火工艺条件如下表 3 所示。脱碳退火后,使钢板中 [C] 含量降到 30ppm 以下。渗氮退火工艺:800°C × 30sec,氧化度  $P_{H_2O}/P_{H_2}$  是 0.15,  $NH_3$  用量 0.9wt%,渗入 [N] 含量 170ppm。涂布 MgO 为主要成分的隔离剂后,在罩式炉中进行高温退火。开卷后经过涂敷绝缘涂层及拉伸平整退火,得到的成品  $B_8$  见表 3。

[0055] 表 3

序号	脱碳升温速度(°C/s)	脱碳温度 (°C)	脱碳露点 (°C)	$B_8$ (T)
实施例 9	15	800	66	1.88
实施例 10	20	860	62	1.89
实施例 11	25	815	70	1.89
实施例 12	30	830	60	1.90
实施例 13	35	845	68	1.90
对比例 8	<b>13</b>	810	64	1.82
对比例 9	<b>38</b>	830	68	1.85
对比例 10	26	<b>795</b>	66	1.83
对比例 11	18	<b>865</b>	60	1.81
对比例 12	30	845	<b>72</b>	1.83
对比例 13	22	855	<b>58</b>	1.84

[0057] 从表 3 可以看到,当脱碳退火工艺满足:脱碳升温速度 15~35°C/sec,脱碳

温度 800~860℃,脱碳露点 60~70℃时,实施例 9-13 的成品的磁感普遍更高,都能达到  $B_8 \geq 1.88T$ 。反之,当脱碳退火工艺与本技术方案不符时,对比例 8-13 的磁感都偏低。

[0058] 实施例 14-23 和对比例 14-19:

[0059] 采用转炉或电炉炼钢,钢水经二次精炼,并在连铸后得到板坯,其化学元素质量百分数为 Si:3.0%,C:0.05%,Mn:0.11%,S:0.007%,Als:0.03%,N:0.007%,Sn:0.06%,其余为 Fe 及不可避免的杂质。将板坯放在 1120℃下进行加热,热轧至厚度为 2.5mm 的热轧板,开轧和终轧温度分别为 1080℃和 920℃,卷取温度 605℃。热轧板经酸洗,冷轧到成品厚度 0.35mm。而后以升温速度 30℃/sec,脱碳温度 840℃,脱碳露点 68℃下进行脱碳退火。然后进行氮化处理,不同的渗氮退火工艺条件如下表 4 所示。涂布 MgO 为主要成分的隔离剂后,在罩式炉中进行高温退火。开卷后经过涂敷绝缘涂层及拉伸平整退火,得到的成品  $B_8$ 见表 4。

[0060] 表 4

[0061]

序号	渗氮温度 (℃)	渗氮时间 (sec)	渗氮 $PH_2O/PH_2$	$NH_3$ (%)	渗入[N] 含量(ppm)	$B_8$ (T)
实施例 14	760	45	0.150	3.8	245	1.89
实施例 15	860	25	0.120	1.0	105	1.90
实施例 16	780	20	0.050	2.4	130	1.90
实施例 17	770	50	0.085	1.8	185	1.88
实施例 18	820	40	0.045	3.5	110	1.89
实施例 19	840	35	0.200	0.5	205	1.90
实施例 20	850	30	0.185	0.6	215	1.89
实施例 21	830	30	0.105	4.0	190	1.89
实施例 22	810	35	0.070	1.2	70	1.88
实施例 23	790	40	0.095	2.6	280	1.89
对比例 14	750	30	0.100	2.0	230	1.86
对比例 15	870	15	0.100	2.5	215	1.84
对比例 16	820	55	0.040	2.0	100	1.84
对比例 17	830	30	0.205	0.4	150	1.85
对比例 18	830	40	0.160	4.1	285	1.83
对比例 19	820	40	0.075	1.0	65	1.82

[0062] 从表 4 的试验结果可以看到,当渗氮退火工艺满足本技术方案:渗氮温度 760~860℃,渗氮时间 20~50sec,氧化度  $PH_2O/PH_2$ : 0.045~0.200,  $NH_3$ :0.5~4.0wt%, 渗入氮含量  $328-0.14a-0.85b-2.33c \leq [N]_0 \leq 362-0.16a-0.94b-2.57c$  时,实施例 14-23 的磁感普遍更高,都能达到  $B_8 \geq 1.88T$ 。反之,当渗氮退火工艺与本技术方案不符时,对比例 14-19 的成品磁感都偏低。

[0063] 实施例 24-29 和对比例 20-25:

[0064] 采用转炉或电炉炼钢,钢水经二次精炼,并在连铸后得到板坯,其化学元素质量百分数为 Si:2.8%,C:0.045%,Mn:0.06%,S:0.009%,Als:0.024%,N:0.009%,Sn:0.04%,其余为 Fe 及不可避免的杂质。将板坯放在 1120℃下进行加热,热轧至厚度为 2.3mm 的热轧板,开轧和终轧温度分别为 1070℃和 900℃,卷取温度 570℃。热轧板经酸洗,冷轧到成品厚度



0.30mm。而后以升温速度 20℃ /sec,脱碳温度 830℃,脱碳露点 70℃下进行脱碳退火。然后进行氮化处理,不同的渗入氮含量对成品 B<sub>8</sub>的影响如下表 5 所示。涂布 MgO 为主要成分的隔离剂后,在罩式炉中进行高温退火。开卷后经过涂敷绝缘涂层及拉伸平整退火,得到的成品 B<sub>8</sub>见表 5。

[0065] 表 5

[0066]

序号	炼钢[Als]	炼钢[N]	初次晶粒尺寸	计算渗入氮含量	实际渗入氮含量	B <sub>8</sub> (T)
	(ppm)	(ppm)	( $\mu\text{m}$ )	(ppm)	(ppm)	
	a	b	c	$[\text{N}]_{\text{D 计算}}$	$[\text{N}]_{\text{D 实际}}$	
实施例 24	100	120	23.6	157~173	161	1.90
实施例 25	200	40	22.2	214~235	220	1.90
实施例 26	300	60	21.0	186~204	192	1.89
实施例 27	400	140	19.9	107~115	110	1.90
实施例 28	500	20	22.7	188~205	188	1.89
实施例 29	600	130	17.2	93~100	100	1.88
对比例 20	100	120	23.6	157~173	<b>177</b>	1.84
对比例 21	200	40	22.2	214~235	<b>240</b>	1.85
对比例 22	300	60	21.0	186~204	<b>180</b>	1.83
对比例 23	400	140	19.9	107~115	<b>96</b>	1.82
对比例 24	500	20	22.7	188~205	<b>221</b>	1.83
对比例 25	600	130	17.2	93~100	<b>80</b>	1.82

[0067] 表 5 反映了渗入氮含量对成品 B<sub>8</sub> 的影响。从表 5 可以看出,渗入氮含量需要满足根据冶炼阶段 Als 含量 a、N 含量 b 和初次晶粒尺寸 c 理论计算得到的渗入氮含量  $[\text{N}]_{\text{D}}$  ( $328-0.14a-0.85b-2.33c \leq [\text{N}]_{\text{D}} \leq 362-0.16a-0.94b-2.57c$ )。当实际渗氮量在计算值范围内时,如实施例 24-29,成品的磁感较高;反之,如对比例 20-25,其成品磁感偏低。

[0068] 要注意的是,以上列举的仅为本发明的具体实施例,显然本发明不限于以上实施例,随之有着许多的类似变化。本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,均应属于本发明的保护范围。