



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118302556 A

(43) 申请公布日 2024.07.05

(21) 申请号 202280080970.X

(22) 申请日 2022.12.12

(30) 优先权数据

2021-203933 2021.12.16 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.06.06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/045664 2022.12.12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/112891 JA 2023.06.22

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 田中孝明 大久保智幸

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

专利代理师 盛曼 金龙河

(51) Int.Cl.

G22C 38/00 (2006.01)

B21B 3/02 (2006.01)

G21D 8/12 (2006.01)

G21D 9/46 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

B21B 1/22 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

权利要求书1页 说明书16页

(54) 发明名称

无取向性电磁钢板及其制造方法

(57) 摘要

本发明的无取向性电磁钢板以质量%计含有C:0.010%以下、Si:1.0%以上且5.0%以下、Mn:0.05%以上且5.0%以下、P:0.1%以下、S:0.01%以下、Al:3.0%以下、N:0.005%以下,余量为Fe和不可避免的杂质,平均结晶粒径为60 μ m以上且200 μ m以下,<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

1. 一种无取向性电磁钢板,其以质量%计含有C:0.010%以下、Si:1.0%以上且5.0%以下、Mn:0.05%以上且5.0%以下、P:0.1%以下、S:0.01%以下、Al:3.0%以下、N:0.005%以下,余量为Fe和不可避免的杂质,

平均结晶粒径为60 μm 以上且200 μm 以下,

<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

2. 根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板,其中,<100>朝向轧制45°方向和轧制-45°方向的晶粒的面积率之和 S_C 与<111>朝向轧制45°方向和轧制-45°方向的晶粒的面积率之和 S_D 满足 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的无取向性电磁钢板,其中,以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Co。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的无取向性电磁钢板,其中,以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Zn。

5. 根据权利要求1~4中任一项所述的无取向性电磁钢板,其中,以质量%计还含有下述A~D组中的至少一组成分以及选自由Cu:0%以上且0.5%以下、Ni:0%以上且0.5%以下、W:0%以上且0.05%以下、Ti:0%以上且0.005%、Nb:0%以上且0.005%以下、V:0%以上且0.010%以下、Ta:0%以上且0.002%以下、B:0%以上且0.002%以下、Ga:0%以上且0.005%以下、Pb:0%以上且0.002%以下、As:0%以上且0.05%以下和Ge:0%以上且0.05%以下中的一种或两种以上,

• A组:Mo:0.01%以上且0.20%以下;

• B组:Cr:0.1%以上且5.0%以下;

• C组:Ca:0.001%以上且0.10%以下、Mg:0.001%以上且0.10%以下和REM:0.001%以上且0.10%以下中的任意一种或两种以上;

• D组:Sn:0.001%以上且0.20%以下和Sb:0.001%以上且0.20%以下中的任意一种或两种。

6. 一种无取向性电磁钢板的制造方法,其是权利要求1~5中任一项所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其包括:

热轧工序,其中,通过对具有所述无取向性电磁钢板的组成的钢原材实施热轧而得到热轧板;

热轧板退火工序,其中,根据需要对所述热轧板实施热轧板退火;

酸洗工序,其中,对所述热轧板和实施了所述热轧板退火的所述热轧板实施酸洗;

冷轧工序,其中,通过对实施了所述酸洗的所述热轧板实施冷轧而得到冷轧板;以及

退火工序,其中,将所述冷轧板在从200°C到400°C以上且600°C以下的保持温度 T_1 为止的平均升温速度 V_1 为50°C/s以上、保持温度 T_1 下的保持时间 t 为1秒以上且10秒以下、从保持温度 T_1 到750°C的平均升温速度 V_2 为15°C/s以上的条件下加热至875°C以上且1050°C以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,由此得到冷轧退火板。

7. 根据权利要求6所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,在最终道次的工作辊直径为150mm ϕ 以上、最终道次的压下率为15%以上、最终道次的应变速率为100s⁻¹以上且1300s⁻¹以下的条件下进行所述冷轧工序。

无取向性电磁钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无取向性电磁钢板及其制造方法。

背景技术

[0002] 近年来,从对全球变暖等环境问题的考虑出发,要求削减CO₂排放量及节能化,在汽车领域,正在进行组合使用发动机和电动机的混合动力电动汽车(HEV)、仅利用电动机驱动的电动汽车(EV)和燃料电池电动汽车(FCEV)等的开发。对于上述HEV、EV和FCEV等中使用的电动机而言,通常为了实现电动机效率的高效率化而在有利于高速旋转的高频域中驱动。上述电动机的铁芯材料中大多使用无取向性电磁钢板,为了实现电动机效率的高效率化,对于上述钢板,强烈要求高频域中的低铁损化。

[0003] 以往,对于无取向性电磁钢板而言,主要通过添加Si、Al等合金元素来提高电阻率、或者减薄板厚来减少涡流损耗,由此实现低铁损化。但是,对于合金元素的大量添加而言,即使能够实现低铁损化,也会导致饱和磁通密度的降低。饱和磁通密度的降低导致电动机的铜损增加,因此导致电动机效率的降低。另外,板厚的减少需要减薄热轧钢板的板厚、或者提高冷轧压下率,因此导致生产率的降低。因此认为,如果能够开发不会导致饱和磁通密度降低、生产率降低的高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板,则大大地有助于电动机的高效率化。

[0004] 作为在高频域得到低铁损的无取向性电磁钢板的技术,例如在专利文献1中公开了通过添加Cr来提高钢的电阻率、实现高频域中的低铁损化的方法。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开平11-343544号公报

发明内容

[0008] 发明所要解决的问题

[0009] 但是,Cr是使饱和磁通密度降低的元素。因此,在专利文献1公开的技术中,不能兼顾高磁通密度和高频低铁损,无法充分满足近来对无取向性电磁钢板的要求。

[0010] 本发明是为了解决上述问题而完成的,其目的在于提供不会导致饱和磁通密度降低、生产率降低的高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。

[0011] 用于解决问题的方法

[0012] 本发明人为了解决上述问题进行了深入研究,结果发现,通过以<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的方式控制钢板组织,能够得到磁通密度高、且在高频域中为低铁损的无取向性电磁钢板。此外还发现,通过使退火工序中的加热时的急热停止温度、中间保持时间等为适当的范围,能够控制朝向特定取向的晶体的面积率。

[0013] 本发明是基于上述见解而完成的,具有以下构成。

[0014] 本发明的无取向性电磁钢板以质量%计含有C:0.010%以下、Si:1.0%以上且5.0%以下、Mn:0.05%以上且5.0%以下、P:0.1%以下、S:0.01%以下、Al:3.0%以下、N:0.005%以下,余量为Fe和不可避免的杂质,平均结晶粒径为60 μm 以上且200 μm 以下,<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0015] 优选<100>朝向轧制45°方向和轧制-45°方向的晶粒的面积率之和 S_C 与<111>朝向轧制45°方向和轧制-45°方向的晶粒的面积率之和 S_D 满足 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 。

[0016] 优选以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Co。

[0017] 优选以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Zn。

[0018] 优选以质量%计还含有下述A~D组中的至少一组成分以及选自Cu:0%以上且0.5%以下、Ni:0%以上且0.5%以下、W:0%以上且0.05%以下、Ti:0%以上且0.005%、Nb:0%以上且0.005%以下、V:0%以上且0.010%以下、Ta:0%以上且0.002%以下、B:0%以上且0.002%以下、Ga:0%以上且0.005%以下、Pb:0%以上且0.002%以下、As:0%以上且0.05%以下和Ge:0%以上且0.05%以下中的一种或两种以上。

[0019] • A组:Mo:0.01%以上且0.20%以下

[0020] • B组:Cr:0.1%以上且5.0%以下

[0021] • C组:Ca:0.001%以上且0.10%以下、Mg:0.001%以上且0.10%以下和REM:0.001%以上且0.10%以下中的任意一种或两种以上

[0022] • D组:Sn:0.001%以上且0.20%以下和Sb:0.001%以上且0.20%以下中的任意一种或两种

[0023] 本发明的无取向性电磁钢板的制造方法是本发明的无取向性电磁钢板的制造方法,其包括:热轧工序,其中,通过对具有上述无取向性电磁钢板的组成的钢原材实施热轧而得到热轧板;热轧板退火工序,其中,根据需要对上述热轧板实施热轧板退火;酸洗工序,其中,对上述热轧板和实施了上述热轧板退火的上述热轧板实施酸洗;冷轧工序,其中,通过对实施了上述酸洗的上述热轧板实施冷轧而得到冷轧板;以及退火工序,其中,将上述冷轧板在从200°C到400°C以上且600°C以下的保持温度 T_1 为止的平均升温速度 V_1 为50°C/s以上、保持温度 T_1 下的保持时间 t 为1秒以上且10秒以下、从保持温度 T_1 到750°C的平均升温速度 V_2 为15°C/s以上的条件下加热至875°C以上且1050°C以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,由此得到冷轧退火板。

[0024] 优选在最终道次的工作辊直径为150mm ϕ 以上、最终道次的压下率为15%以上、最终道次的应变速率为100 s^{-1} 以上且1300 s^{-1} 以下的条件下进行上述冷轧工序。

[0025] 发明效果

[0026] 根据本发明,能够提供不会导致饱和磁通密度降低、生产率降低的、高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。因此,通过使用本发明的无取向性电磁钢板及其制造方法,能够实现电动机的高效率化。即使以降低冲裁时的应变所致的铁损升高为目的而对本发明的无取向性电磁钢板实施去应力退火,上述效果也不会受到任何影响。

具体实施方式

[0027] 以下,对本发明的详细内容和其限定理由进行说明。

[0028] <钢板的成分组成>

[0029] 首先,对本发明的无取向性电磁钢板(以下,简称为“钢板”)和电动机铁芯所具有的适合的成分组成进行说明。成分组成中的元素的含量的单位均为“质量%”,以下,只要没有特别说明,仅以“%”表示。

[0030] C:0.010%以下

[0031] C是在电动机的使用中形成碳化物而引起磁时效、使电动机的铁损特性劣化的有害元素。为了避免磁时效,钢板中所含的C设定为0.010%以下。优选为0.004%以下。C添加量的下限没有特别规定,但过度地减少了C的钢板非常昂贵,因此优选设定为约0.0001%。

[0032] Si:1.0%以上且5.0%以下

[0033] Si具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果,并且具有通过固溶强化提高钢的强度的效果。为了得到这样的效果,将Si添加量设定为1.0%以上即可。另一方面,Si添加量超过5.0%时,伴随饱和磁通密度的降低,磁通密度显著降低,因此将上限设定为5.0%以下。因此,Si添加量设定为1.0%以上且5.0%以下的范围。优选为1.5%以上且小于4.5%的范围,更优选为2.0%以上且小于4.0%的范围。

[0034] Mn:0.05%以上且5.0%以下

[0035] Mn是与Si同样地对提高钢的电阻率和强度有用的元素。为了得到这样的效果,需要含有0.05%以上的Mn。另一方面,添加超过5.0%时,有时促进MnC的析出而使电动机的磁特性劣化,因此上限设定为5.0%。因此,Mn添加量设定为0.05%以上且5.0%以下。优选为0.1%以上且3.0%以下的范围。

[0036] P:0.1%以下

[0037] P是用于调整钢的强度(硬度)的有用的元素。但是,P添加量超过0.1%时,韧性降低,加工时容易产生裂纹,因此上限设定为0.1%。下限没有特别规定,但过度地减少了P的钢板非常昂贵,因此设定为0.001%。P添加量优选为0.003%以上且0.08%以下的范围。

[0038] S:0.01%以下

[0039] S是形成微细析出物而对电动机的铁损特性带来不良影响的元素。特别是S添加量超过0.01%时,其不良影响变得显著,因此上限设定为0.01%。下限没有特别规定,但过度地减少了S的钢板非常昂贵,因此设定为0.0001%。S添加量优选为0.0003%以上且0.0080%以下的范围。

[0040] Al:3.0%以下

[0041] Al是与Si同样地具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果的有用的元素。为了得到这样的效果,优选添加0.005%以上。更优选为0.010%以上,进一步优选为0.015%以上。另一方面,添加超过3.0%时,有时助长钢板表面的氮化、使磁特性劣化,因此将上限设定为3.0%。更优选为2.0%以下。

[0042] N:0.0050%以下

[0043] N是形成微细析出物而对铁损特性带来不良影响的元素。特别是添加量超过0.0050%时,其不良影响变得显著,因此上限设定为0.0050%。下限没有特别规定,但过度地减少了N的钢板非常昂贵,因此设定为0.0005%。N添加量优选为0.0008%以上且0.0030%以下的范围。

[0044] 在本发明的无取向性电磁钢板中,上述成分以外的余量为Fe和不可避免的杂质。

此外,可以根据要求特性,在上述成分组成的基础上,以下述的范围含有选自Co、Zn、Mo、Cr、Ca、Mg、REM、Sn、Sb、Cu、Ni、W、Ti、Nb、V、Ta、B、Ga、Pb、As和Ge中的一种或两种以上。

[0045] Co:0.0005%以上且0.0050%以下

[0046] Co具有在将退火工序中的加热时的急热停止温度、中间保持时间等设定为适当的范围时使 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 增加、使 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 降低的效果。即,通过Co的微量添加,能够稳定地实现 $S_A - S_B \geq 0$ 。为了得到这样的效果,将Co添加量设定为0.0005%以上即可。另一方面,Co超过0.0050%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.0050%。因此,Co优选以0.0005%以上且0.0050%以下的范围添加。

[0047] Zn:0.0005%以上且0.0050%以下

[0048] Zn具有在将退火工序中的加热时的急热停止温度、中间保持时间等设定为适当的范围时使 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_C 增加、使 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 降低的效果。即,通过Zn的微量添加,能够稳定地实现 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 。为了得到这样的效果,将Zn添加量设定为0.0005%以上即可。另一方面,Zn超过0.0050%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.0050%。因此,Zn优选以0.0005%以上且0.0050%以下的范围添加。

[0049] Mo:0.01%以上且0.20%以下

[0050] Mo具有在钢中形成微细的碳化物而提高钢板的强度的效果。为了得到这样的效果,将Mo添加量设定为0.01%以上即可。另一方面,Mo添加量超过0.20%时,过度地形成碳化物,铁损劣化,因此将上限设定为0.20%。因此,Mo优选以0.01%以上且0.20%以下的范围添加。

[0051] Cr:0.1%以上且5.0%以下

[0052] Cr具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果。为了得到这样的效果,将Cr添加量设定为0.1%以上即可。另一方面,Cr添加量超过0.1%时,伴随饱和磁通密度的降低,磁通密度显著降低,因此将上限设定为5.0%。因此,Cr优选以0.1%以上且5.0%以下的范围添加。

[0053] Ca:0.001%以上且0.10%以下

[0054] Ca是以硫化物的形式固定S、有助于铁损降低的元素。为了得到这样的效果,Ca添加量设定为0.001%以上即可。另一方面,Ca添加量超过0.10%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.10%。因此,Ca优选以0.001%以上且0.10%以下的范围添加。

[0055] Mg:0.001%以上且0.10%以下

[0056] Mg是以硫化物的形式固定S、有助于铁损降低的元素。为了得到这样的效果,Mg添加量设定为0.001%以上即可。另一方面,Mg添加量超过0.10%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.10%。因此,Mg优选以0.001%以上且0.10%以下的范围添加。

[0057] REM:0.001%以上且0.10%以下

[0058] REM是以硫化物的形式固定S、有助于铁损降低的元素组。为了得到这样的效果,REM添加量设定为0.001%以上即可。另一方面,REM添加量超过0.10%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.10%。因此,REM优选以0.001%以上且0.10%以下的范围添加。

[0059] Sn:0.001%以上且0.20%以下

[0060] Sn是通过织构改善而对磁通密度提高和铁损降低有效的元素。为了得到这样的效果,Sn添加量设定为0.001%以上即可。另一方面,Sn添加量超过0.20%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.20%。因此,Sn优选以0.001%以上且0.20%以下的范围添加。

[0061] Sb:0.001%以上且0.20%以下

[0062] Sb是通过织构改善而对磁通密度提高和铁损降低有效的元素。为了得到这样的效果,Sb添加量设定为0.001%以上即可。另一方面,Sb添加量超过0.20%时,效果饱和,徒然地导致成本的升高,因此将上限设定为0.20%。因此,Sb优选以0.001%以上且0.20%以下的范围添加。

[0063] Cu:0%以上且0.5%以下、Ni:0%以上且0.5%以下

[0064] Cu、Ni是使钢的韧性提高的元素,可以适当添加。但是,即使添加超过0.5%,上述效果也饱和,因此添加量的上限优选分别设定为0.5%。更优选添加量分别为0.01%以上且0.1%以下的范围。

[0065] W:0%以上且0.05%以下

[0066] W形成微细碳化物,通过析出强化提高钢板强度,由此使冲裁疲劳强度提高,因此可以适当添加。另一方面,添加量超过上述范围时,过度地形成碳化物,铁损劣化。因此,W的添加量设定为0%以上且0.05%以下的范围。优选的添加量的上限为0.02%。

[0067] Ti:0%以上且0.005%以下、Nb:0%以上且0.005%以下、V:0%以上且0.010%以下、Ta:0%以上且0.002%以下

[0068] Ti、Nb、V、Ta形成微细的碳氮化物,通过析出强化提高钢板强度,由此使冲裁疲劳强度提高,因此可以适当添加。另一方面,添加量超过上述范围时,过度地形成碳氮化物,铁损劣化。因此,Ti、Nb、V、Ta的添加量分别设定为Ti:0%以上且0.005%以下、Nb:0%以上且0.005%以下、V:0%以上且0.010%以下、Ta:0%以上且0.002%以下的范围。优选的添加量的上限为Ti:0.002%、Nb:0.002%、V:0.005%、Ta:0.001%。

[0069] B:0%以上且0.002%以下、Ga:0%以上且0.005%以下

[0070] B、Ga形成微细的氮化物,通过析出强化提高钢板强度,由此使冲裁疲劳强度提高,因此可以适当添加。另一方面,添加量超过上述范围时,过度地形成氮化物,铁损劣化。因此,B、Ga的添加量分别设定为B:0%以上且0.002%以下、Ga:0%以上且0.005%以下的范围。优选的添加量的上限为B:0.001%、Ga:0.002%。

[0071] Pb:0%以上且0.002%以下

[0072] Pb形成微细的Pb粒子,通过析出强化提高钢板强度,由此使冲裁疲劳强度提高,因此可以适当添加。另一方面,添加量超过上述范围时,过度地形成Pb粒子,铁损劣化。因此,Pb的添加量设定为0%以上且0.002%以下的范围。优选的添加量的上限为0.001%。

[0073] As:0%以上且0.05%以下、Ge:0%以上且0.05%以下

[0074] As、Ge是通过织构改善而对磁通密度提高和铁损降低有效的元素,可以适当添加。但是,即使添加超过0.05%,上述效果也饱和。因此,添加量的上限优选分别设定为0.05%。更优选添加量分别为0.002%以上且0.01%以下的范围。

[0075] <钢板的显微组织>

[0076] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的显微组织进行说明。

[0077] 《平均结晶粒径d为60 μm 以上且200 μm 以下》

[0078] 根据本发明人的研究,平均结晶粒径d粗大时,铁损降低。即,通过将平均结晶粒径d设定为60 μm 以上,能够实现目标铁损特性。另一方面,平均结晶粒径d过度地粗大时,由于涡流损耗的增加,反而铁损升高。即,通过将平均结晶粒径d设定为200 μm 以下,能够实现目标铁损特性。

[0079] 《 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 》

[0080] 根据本发明人的研究发现,对于具有规定的成分组成的钢,通过制成 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的钢板组织,钢板的磁通密度提高,并且铁损降低。晶体取向的允许误差设定为 15° 。即,如果为 $S_A - S_B \geq 0$,则磁通密度和铁损满足应用于HEV、EV和FCEV的电动机所需的值,因此设定为 $S_A - S_B \geq 0$ 。优选为 $S_A - S_B \geq 2\%$,更优选为 $S_A - S_B \geq 5\%$ 。

[0081] 《 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_C 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 满足 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 》

[0082] 根据本发明人的研究发现,通过在上述钢板组织的基础上制成 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_C 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 满足 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 的钢板组织,磁特性的各向异性降低。各向异性的降低有助于电动机效率的提高,因此更优选作为应用于HEV、EV和FCEV的电动机用材料。因此,优选满足 $5 \times S_C > S_D$ 。更优选为 $5 \times S_C > S_D \geq 1\%$ 。

[0083] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0084] 概略而言,本发明的无取向性电磁钢板的制造方法是通过对具有上述成分组成的钢原材依次实施热轧、根据需要的热轧板退火、酸洗、冷轧、退火而得到上述本发明的无取向性电磁钢板的方法。在本发明的无取向性电磁钢板的制造方法中,只要本发明中规定的成分、冷轧、退火条件在本发明的范围内,除此以外也可以是通常公开的方法。

[0085] <钢原材>

[0086] 钢原材只要是具有上述组成的钢原材就没有特别限定。钢原材的熔炼方法没有特别限定,可以采用使用了转炉或电炉等的公知的熔炼方法。从生产率等问题出发,优选熔炼后通过连铸法制成钢坯(钢原材),也可以通过铸锭-开坯轧制法或薄板坯连铸法等公知的铸造方法制成钢坯。

[0087] <热轧工序>

[0088] 热轧工序是通过对具有上述组成的钢原材实施热轧而得到热轧板的工序。热轧工序只要是对具有上述组成的钢原材进行加热并实施热轧而得到规定尺寸的热轧板的工序就没有特别限定,可以应用常用的热轧工序。

[0089] 作为常用的热轧工序,例如可以例示如下所述的热轧工序:将钢原材加热至 1000°C 以上且 1200°C 以下的温度,对加热后的钢原材以 800°C 以上且 950°C 以下的精轧出口侧温度实施热轧,热轧结束后,实施适当的轧制后冷却(例如,以 $20^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上且 $100^\circ\text{C}/\text{s}$ 以下的平均冷却速度在 450°C 以上且 950°C 以下的温度范围进行冷却),在 400°C 以上且 700°C 以下的卷取温度下卷取,制成规定尺寸形状的热轧板。

[0090] <热轧板退火工序>

[0091] 热轧板退火工序是通过对上述热轧板进行加热并高温保持而对热轧板进行正火的工序。热轧板退火工序没有特别限定,可以应用常用的热轧板退火工序。该工序不是必须的,也可以省略。

[0092] <酸洗工序>

[0093] 酸洗工序是对上述热轧板退火工序后的钢板或者在省略热轧板退火工序的情况下对上述热轧板实施酸洗的工序。酸洗工序只要是能够酸洗至可以对酸洗后的钢板实施冷轧的程度的工序就没有特别限定,例如可以应用使用盐酸或硫酸等的常用的酸洗工序。该酸洗工序可以在与上述热轧板退火工序相同的生产线内连续地实施,也可以在其它生产线上实施。

[0094] <冷轧工序>

[0095] 冷轧工序是对经过了酸洗工序的酸洗板实施冷轧的工序。冷轧工序只要是能够将酸洗后的钢板压低至期望的板厚的工序就没有特别限定,可以应用常用的冷轧工序。另外,也可以根据需要通过夹有中间退火的两次以上的冷轧制成规定尺寸的冷轧板,这种情况下的中间退火条件没有特别限定,可以应用常用的中间退火工序。优选为通过在最终道次的工作辊直径 D 为 $150\text{mm } \varphi$ 以上、最终道次的压下率 r 为 15% 以上以及最终道次的应变速率($\dot{\epsilon}'_m$)为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下的条件下实施冷轧而得到冷轧板的冷轧工序。

[0096] (最终道次的工作辊直径 D)

[0097] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中最终道次的工作辊直径 D 设定为 $150\text{mm } \varphi$ 以上。将最终道次的工作辊直径 D 设定为 $150\text{mm } \varphi$ 以上的理由是为了使 $5 \times S_c - S_D \geq 0$,得到期望的钢板组织。最终道次的工作辊直径 D 小于 $150\text{mm } \varphi$ 时,变成与平面压缩的状态相去甚远,与工作辊直径大时相比晶粒单位的剪切应变的不均匀性增强。接下来的退火工序中的核生成和晶粒生长容易集中于特定取向的区域,因此<100>取向于轧制 45° 和 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_c 减少,<111>取向于轧制 45° 和 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 增加。结果不能满足 $5 \times S_c - S_D \geq 0$ 。另一方面,最终道次的工作辊直径 D 为 $150\text{mm } \varphi$ 以上时,满足 $5 \times S_c - S_D \geq 0$,能够得到期望的钢板组织。最终道次的工作辊直径 D 优选为 $170\text{mm } \varphi$ 以上,进一步优选为 $200\text{mm } \varphi$ 以上。上限无需特别设定,辊直径过大时,轧制载荷增大,因此优选设定为 $700\text{mm } \varphi$ 。

[0098] (最终道次的压下率 r)

[0099] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中最终道次的压下率 r 优选为 15% 以上。将最终道次的压下率 r 设定为 15% 以上的理由是为了得到一系列冷轧控制的效果,容易得到期望的钢板组织。最终道次的压下率 r 小于 15% 时,压下率过低,因此难以控制退火后的组织。另一方面,最终道次的压下率 r 为 15% 以上时,发挥出一系列冷轧控制的效果。其结果是容易得到期望的钢板组织。最终道次的压下率 r 优选为 20% 以上。在本发明中无需规定最终道次的压下率 r 的上限,但过高的压下率要求庞大的装置能力,并且冷轧板的形状控制也变难,因此通常为 50% 以下。

[0100] (最终道次的应变速率($\dot{\epsilon}'_m$))

[0101] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中最终道次的应变速率($\dot{\epsilon}'_m$)优选为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下。将最终道次的应变速率($\dot{\epsilon}'_m$)设定为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下的理由是为了在抑制轧制中的断裂的同时使 $5 \times S_c - S_D \geq 0$,得到期望的钢板组织。最终道次的应变

速率(ϵ'_m)小于 100s^{-1} 时,冷轧板的晶粒单位的剪切应变的不均匀性增强,接下来的退火工序中的核生成和晶粒生长容易集中于特定取向的区域,因此 $\langle 100 \rangle$ 取向于轧制 45° 和 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_c 减少, $\langle 111 \rangle$ 取向于轧制 45° 和 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_d 增加。结果不能满足 $5 \times S_c - S_d \geq 0$ 。虽然理由还未必清楚,但本发明人推断是因为,由于应变速率低而使流动应力降低,应变容易集中于容易变形的晶体取向的晶粒,应变分布不均匀化。另一方面,最终道次的应变速率超过 1300s^{-1} 时,流动应力过度增大,容易发生轧制中的脆性断裂。最终道次的应变速率(ϵ'_m)为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下时,能够在抑制轧制中的断裂的同时满足 $5 \times S_c - S_d \geq 0$ 。最终道次的应变速率(ϵ'_m)优选为 150s^{-1} 以上,优选为 1300s^{-1} 以下。本发明中的冷轧时的各道次的应变速率(ϵ'_m)使用以下的数学式(1)所示的艾克隆德(Ekelund)的近似式导出。

[0102] [数学式1]

$$[0103] \quad \epsilon'_m \cong \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r} \quad \dots (1)$$

[0104] 在此, v_R 为辊圆周速度(mm/s), R' 为辊半径(mm), h_1 为辊入口侧板厚(mm), r 为压下率(%)。

[0105] <退火工序>

[0106] 退火工序是对经过了冷轧工序的冷轧板实施退火的工序。更详细而言,为如下所述的退火工序:将经过了冷轧工序的冷轧板在从 200°C 到 400°C 以上且 600°C 以下的保持温度 T_1 为止的平均升温速度 V_1 为 $50^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上、保持温度 T_1 下的保持时间为1秒以上且10秒以下、从保持温度 T_1 到 750°C 的平均升温速度 V_2 为 $15^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上的条件下加热至 875°C 以上且 1050°C 以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,由此得到冷轧退火板。对于退火工序后对冷轧退火板的表面实施绝缘涂覆,该方法和涂覆种类没有特别限定,可以应用常用的绝缘涂覆工序。

[0107] (保持温度 T_1)

[0108] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中加热升温中的保持温度 T_1 设定为 400°C 以上且 600°C 以下。将保持温度 T_1 设定为 400°C 以上且 600°C 以下的理由是为了设定为 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的范围,得到期望的钢板组织。保持温度 T_1 低于 400°C 时,温度过低,因此得不到保持的效果, S_B 变高,结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。另一方面,保持温度 T_1 为 600°C 以上时,不仅面积率之和 S_B 而且面积率之和 S_A 也降低,因此,结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0109] (从 200°C 到保持温度 T_1 的平均升温速度 V_1)

[0110] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中从 200°C 到保持温度 T_1 的平均升温速度 V_1 设定为 $50^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上。将平均升温速度 V_1 设定为 $50^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上的理由是为了设定为 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的范围,得到期望的钢板组织。平均升温速度 V_1 小于上述速度时,在保持温度 T_1 下的保持以前发生恢复,因此不能充分地控制恢复行为, S_B 和 S_A 均降低,结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。从 200°C 到保持温度 T_1 的平均升温速度 V_1 优选为 $70^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上,更优选为 $100^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上。上限无需特别设定,但升温速度过高时,容易产生温度不均,因

此优选设定为500°C/s。

[0111] (保持温度 T_1 下的保持时间 t)

[0112] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中,保持温度 T_1 下的保持时间 t 设定为1秒以上且10秒以下。将保持时间 t 设定为1秒以上且10秒以下的理由是为了设定为<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的范围,得到期望的钢板组织。保持时间 t 小于1秒时,组织的恢复未充分发生,因此 S_B 变高,结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。另一方面,保持时间 t 超过10秒时,过度地发生组织的恢复,不仅 S_B 而且 S_A 也降低,因此结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0113] (从保持温度 T_1 到750°C的平均升温速度 V_2)

[0114] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中,从保持温度 T_1 到750°C的平均升温速度 V_2 设定为15°C/s以上。将平均升温速度 V_2 设为15°C/s以上的理由是为了设定为<100>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 与<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的范围,得到期望的钢板组织。平均升温速度 V_2 小于15°C/s时,再结晶核的生成位置的选择性变强,<111>朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的生成频率提高,因此 S_B 增加。结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。平均升温速度 V_2 优选为20°C/s以上,更优选为30°C/s以上。上限无需特别设定,但升温速度过高时,容易产生温度不均,因此优选设定为200°C/s。

[0115] (退火温度 T_2)

[0116] 在本发明的无取向性电磁钢板的制造中退火温度 T_2 设定为875°C以上且1050°C以下。将退火温度 T_2 设定为875°C以上且1050°C以下的理由是为了使平均结晶粒径为60 μm 以上,得到期望的钢板组织。退火温度 T_2 低于875°C时,再结晶晶粒未充分地晶粒生长,不能使平均结晶粒径为60 μm 以上。退火温度 T_2 为875°C以上时,发生充分的晶粒生长,能够使平均结晶粒径为60 μm 以上。退火温度 T_2 优选为900°C以上。另一方面,退火温度 T_2 超过1050°C时,再结晶晶粒过度地生长,不能使平均结晶粒径为200 μm 以下。因此,退火温度 T_2 设定为1050°C以下。优选为1025°C以下。加热至上述退火温度后进行冷却,从防止冷却不均的观点出发,该冷却优选以50°C/s以下的速度进行。

[0117] 实施例

[0118] 以下,列举实施例对本发明进行具体说明。但是,本发明不限于此。

[0119] <冷轧退火板的制造>

[0120] 通过通常公知的方法将具有表1-1、1-2所示的成分组成的钢水进行熔炼,进行连续铸造而制成厚度230mm的钢坯(钢原材)。通过对得到的钢坯实施热轧,得到板厚2.0mm的热轧板。通过公知的方法对得到的热轧板实施热轧板退火和酸洗,接着,实施冷轧至表2-1、2-2所示的板厚而得到冷轧板。在表2-1、2-2所示的条件下对得到的冷轧板实施退火,接着通过公知的方法实施涂覆,得到冷轧退火板(无取向性电磁钢板)。

[0121]

(表1-1)

钢种	成分组成[质量%]														备注		
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM		Sn	Sb
A	0.0016	3.5	0.3	0.004	0.0029	0.6	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
B	0.0038	2.4	1.2	0.011	0.0033	1.2	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
C	0.0035	3.5	0.2	0.019	0.0017	1.1	0.0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
D	0.0034	2.1	1.3	0.015	0.0027	0.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
E	0.0033	2.2	0.6	0.005	0.0033	1.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
F	0.0038	2.7	2.7	0.008	0.0021	0.5	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
G	0.0027	2.9	1.2	0.006	0.0031	1.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
H	0.0009	2.3	1.2	0.011	0.0024	1.4	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
I	0.0029	2.9	1.0	0.012	0.0037	1.2	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
J	0.0015	3.9	0.7	0.013	0.0008	1.5	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
K	0.0047	2.2	1.3	0.009	0.0021	1.3	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
L	0.0017	0.8	0.8	0.013	0.0007	1.5	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
M	0.0016	1.2	0.8	0.012	0.0009	1.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
N	0.0013	1.5	0.7	0.011	0.0009	1.6	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
O	0.0015	4.8	0.7	0.015	0.0005	1.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
P	0.0017	5.2	0.7	0.014	0.0005	1.4	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
Q	0.0035	2.1	0.2	0.017	0.0028	0.9	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
R	0.0036	2.1	0.8	0.013	0.0023	0.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
S	0.0035	2.0	3.4	0.013	0.0030	0.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
T	0.0034	2.1	5.1	0.015	0.0023	1.0	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
U	0.0031	3.0	1.0	0.011	0.0033	0.003	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
V	0.0029	3.0	1.0	0.010	0.0038	0.012	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
W	0.0028	2.8	1.0	0.014	0.0038	2.2	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
X	0.0030	2.9	1.1	0.012	0.0039	3.4	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
Y	0.0035	3.4	0.3	0.020	0.0018	1.1	0.0013	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
Z	0.0037	3.5	0.2	0.017	0.0014	1.1	0.0016	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
AA	0.0037	3.4	0.2	0.018	0.0020	1.0	0.0014	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
AB	0.0033	3.6	0.2	0.019	0.0016	1.1	0.0013	-	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	适合同例
AC	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0031	0.6	0.0023	-	-	0.035	-	-	-	-	-	-	适合同例
AD	0.0015	3.5	0.3	0.005	0.0028	0.6	0.0023	-	-	0.14	-	-	-	-	-	-	适合同例
AE	0.0017	3.6	0.4	0.005	0.0024	0.5	0.0023	-	-	-	0.004	-	-	-	-	-	适合同例
AF	0.0014	3.5	0.2	0.003	0.0030	0.6	0.0020	-	-	-	-	0.003	-	-	-	-	适合同例
AG	0.0018	3.5	0.3	0.002	0.0029	0.6	0.0023	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	适合同例
AH	0.0017	3.5	0.4	0.006	0.0031	0.7	0.0022	-	-	-	-	-	-	0.032	-	-	适合同例
AI	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0033	0.6	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	0.054	适合同例

(表2-1)

No.	钢种	板厚 [mm]	冷轧工序				退火工序					备注
			最终道次的工作辊直径D [mm φ]	最终道次的压下率r[%]	最终道次的应变速率 [s ⁻¹]	轧制中的断裂	保持温度 T ₁ [°C]	升温速度 V ₁ [°C/s]	保持时间 t[s]	升温速度 V ₂ [°C/s]	退火温度 T ₂ [°C]	
1	A	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	发明例
2	B	0.25	330	23	860	-	480	460	3	53	990	发明例
3	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	发明例
4	D	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	发明例
5	E	0.25	360	23	200	-	420	480	2	55	940	发明例
6	F	0.25	340	25	190	-	590	320	9	49	1000	发明例
7	G	0.25	290	29	700	-	440	310	5	37	1010	发明例
8	H	0.25	360	24	510	-	420	350	3	33	960	发明例
9	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	发明例
10	J	0.25	210	34	710	-	510	190	3	47	910	发明例
11	K	0.25	360	24	510	-	420	340	3	34	960	发明例
12	L	0.25	210	34	710	-	510	190	3	47	910	比较例
13	M	0.25	210	34	710	-	510	200	3	47	910	发明例
14	N	0.25	210	34	710	-	510	190	3	49	910	发明例
15	O	0.25	210	34	710	-	510	180	3	49	910	发明例
16	P	0.25	210	34	710	-	510	190	3	46	910	比较例
17	Q	0.25	390	27	260	-	470	120	7	30	1010	比较例
18	R	0.25	390	27	260	-	470	120	7	32	1010	发明例
19	S	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	发明例
20	T	0.25	390	27	260	-	470	130	7	33	1010	比较例
21	U	0.25	200	33	690	-	500	370	3	52	990	比较例
22	V	0.25	200	33	690	-	500	400	3	56	990	发明例
23	W	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	发明例
24	X	0.25	200	33	690	-	500	360	3	55	990	比较例
25	Y	0.25	360	31	300	-	590	130	9	32	920	发明例
26	Z	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	920	发明例
27	AA	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	发明例
28	AB	0.25	360	31	300	-	590	120	9	31	920	发明例
29	AC	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	发明例
30	AD	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	1000	发明例
31	AE	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	发明例
32	AF	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	1000	发明例
33	AG	0.25	290	28	780	-	490	270	2	35	1000	发明例
34	AH	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	发明例
35	AI	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	发明例
36	J	0.25	210	34	710	-	<u>630</u>	190	3	46	910	比较例
37	J	0.25	210	34	710	-	380	190	3	47	910	比较例
38	D	0.25	390	27	260	-	470	<u>30</u>	7	31	1010	比较例
39	D	0.25	390	27	260	-	470	60	7	31	1010	发明例
40	D	0.25	390	27	260	-	470	90	7	32	1010	发明例
41	G	0.25	290	29	700	-	440	300	<u>0</u>	37	1010	比较例
42	G	0.25	290	29	700	-	440	300	15	38	1010	比较例
43	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	<u>8</u>	990	比较例
44	I	0.25	200	33	690	-	500	400	3	17	990	发明例
45	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	24	990	发明例
46	C	0.25	360	31	300	-	500	120	3	33	<u>860</u>	比较例
47	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	880	发明例
48	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	34	1040	发明例
49	C	0.25	360	31	300	-	590	130	9	33	<u>1070</u>	比较例
50	A	0.25	110	28	780	-	490	270	2	32	1000	发明例
51	A	0.25	160	28	780	-	490	280	2	35	1000	发明例
52	A	0.25	180	28	780	-	490	270	2	33	1000	发明例
53	A	0.25	290	9	780	-	490	270	2	35	1000	发明例
54	A	0.25	290	17	780	-	490	280	2	34	1000	发明例
55	A	0.25	290	28	60	-	490	260	2	34	1000	发明例
56	A	0.25	290	28	120	-	490	260	2	33	1000	发明例
57	A	0.25	290	28	1400	部分断裂	490	260	2	34	1000	发明例

注)下划线部分表示在发明范围外

[0123]

[0124]

(表2-2)

No.	钢种	板厚 [mm]	冷轧工序			退火工序				备注		
			最终道次的 工作辊直径D [mm φ]	最终道次的 压下率r [%]	最终道次的 应变速率 [s ⁻¹]	轧制中的 断裂	保持温度 T ₁ [°C]	升温速度 V ₁ [°C/s]	保持时间 t [s]		升温速度 V ₂ [°C/s]	退火温度 T ₂ [°C]
58	AJ	0.25	360	31	300	-	590	120	9	31	920	发明例
59	AK	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	920	发明例
60	AL	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	1000	发明例
61	AM	0.25	290	28	780	-	490	260	2	35	1000	发明例
62	AN	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	1000	发明例
63	AO	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	发明例
64	AP	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	1000	发明例
65	AQ	0.25	290	28	780	-	490	280	2	33	1000	发明例
66	AR	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	1000	发明例
67	AS	0.25	330	23	860	-	480	470	3	53	990	发明例
68	AT	0.25	330	23	860	-	480	460	3	52	990	发明例
69	AU	0.25	330	23	860	-	480	480	3	53	990	发明例
70	AV	0.25	330	23	860	-	480	450	3	54	990	发明例
71	AW	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	940	发明例
72	AX	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	940	发明例
73	AY	0.25	360	23	200	-	420	470	2	57	940	发明例
74	AZ	0.25	360	23	200	-	420	470	2	54	940	发明例
75	BA	0.25	360	23	200	-	420	490	2	54	940	发明例
76	BB	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	940	发明例
77	BC	0.25	360	23	200	-	420	490	2	53	940	发明例
78	BD	0.25	360	23	200	-	420	490	2	55	940	发明例
79	BE	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	940	发明例
80	BF	0.25	360	23	200	-	420	500	2	52	940	发明例
81	BG	0.25	340	25	190	-	590	320	9	50	1000	发明例
82	BH	0.25	340	25	190	-	590	330	9	50	1000	发明例
83	BI	0.25	340	25	190	-	590	320	9	48	1000	发明例
84	BJ	0.25	340	25	190	-	590	330	9	51	1000	发明例
85	BK	0.25	340	25	190	-	590	330	9	48	1000	发明例
86	BL	0.25	340	25	190	-	590	320	9	51	1000	发明例
87	BM	0.25	290	29	700	-	440	320	5	36	1010	发明例
88	BN	0.25	290	29	700	-	440	290	5	38	1010	发明例
89	BO	0.25	290	29	700	-	440	300	5	37	1010	发明例
90	BP	0.25	290	29	700	-	440	320	5	39	1010	发明例

[0125] <评价>

[0126] 《组织观察》

[0127] 从得到的冷轧退火板上裁取组织观察用试验片。接着,将与轧制方向垂直的面(RD面)作为观察面,对裁取的试验片进行树脂包埋,通过胶态二氧化硅研磨进行镜面化。对镜面化的观察面实施电子束背散射衍射(EBSD)测定,得到局部取向数据。此时,步长设定为5μm,测定区域设定为50mm²以上。测定区域的面积以在接下来的分析中晶粒的数量为5000个以上的方式适当调整。测定可以对整个区域进行一次扫描,也可以利用Combo Scan(组合扫描)功能结合多次扫描结果。分析软件使用OIM Analysis 8,进行得到的局部取向数据的分析。在数据分析之前,以成为试样坐标系的A1轴//轧制方向、A2轴//轧制直角方向、A3轴//板面方向的方式进行坐标旋转处理。另外,利用分析软件的Partition Properties(分区属性)在Formula(公式):GCI[&5.000,2,0.000,0,0,8.0,1,1,1.0,0;]>0.1的条件下进行晶

粒平均数据点的筛选,将不适合分析的数据点排除。此时,有效的数据点为98%以上。

[0128] 对于如上所述进行了调整的数据,作为晶界的定义,将Grain Tolerance Angle (晶粒公差角)设为 5° ,将Minimum Grain Size(最小晶粒尺寸)设为2,将Minimum Anti Grain Size(最小Anti晶粒尺寸)设为2,Multiple Rows Requirement(多行要求)和Anti-Grain Multiple Rows Requirement(Anti-晶粒多行要求)均设为OFF(关闭),进行以下的分析。对于实施了预处理的数据,将使用Grain Size(diameter)(晶粒尺寸(直径))功能求出的Area Average(区域平均)的值作为平均结晶粒径。另外,使用Crystal Direction(晶体方向)功能,求出 $\langle 100 \rangle$ 和 $\langle 111 \rangle$ 相对于试样坐标系的 $[A1, A2, A3]=[100], [010], [110], [1-10]$ 这四个方向取向的晶粒的面积率。面积率计算时的Tolerance Angle(公差角)设为 15° 。将 $\langle uvw \rangle$ 取向于试样坐标系的 $[u' v' w']$ 方向的晶粒的面积率表述为 $S_{\langle uvw \rangle // [u' v' w']}$ 时, $\langle 100 \rangle$ 取向于轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 可以以 $S_A = S_{\langle 100 \rangle // [100]} + S_{\langle 100 \rangle // [010]}$ 求出。同时满足 $\langle 100 \rangle // [100]$ 和 $\langle 100 \rangle // [010]$ 的取向的面积率双重计数。以下也是同样。同样地, $\langle 111 \rangle$ 取向于轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 以 $S_B = S_{\langle 111 \rangle // [100]} + S_{\langle 111 \rangle // [010]}$ 求出, $\langle 100 \rangle$ 取向于轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_C 以 $S_C = S_{\langle 100 \rangle // [110]} + S_{\langle 100 \rangle // [1-10]}$ 求出, $\langle 111 \rangle$ 取向于轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 以 $S_D = S_{\langle 111 \rangle // [110]} + S_{\langle 111 \rangle // [1-10]}$ 求出。

[0129] 《磁特性评价》

[0130] 从得到的退火板上裁取将长度方向设为轧制方向或轧制直角方向的、宽度30mm、长度280mm的磁测定用试验片和,依据JIS C2550-1:2011,通过爱泼斯坦法对冷轧退火板的磁特性进行评价。评价项目设定为饱和磁通密度: B_s 、磁场的强度5000A/m下的磁通密度: B_{50} 以及铁损: $W_{10}/800$ 。另外,出于调查磁特性的各向异性的目的,裁取将长度方向设为轧制 45° 方向和轧制 -45° 的、宽度30mm、长度280mm的磁测定用试验片和,依据JIS C 2550-1:2011,通过爱泼斯坦法对冷轧退火板的磁特性进行评价。评价项目设定为磁场的强度5000A/m下的磁通密度: $B_{50_45^\circ}$ 。在 $B_{50} \geq 1.60$ (T)且 $B_{50}/B_s \geq 0.82$ 的情况下评价为磁通密度良好,在 $W_{10}/800 \leq 40$ (W/kg)的情况下评价为高频铁损特性良好。在 $\Delta B_{50} = B_{50} - B_{50_45^\circ} \leq 0.120$ (T)的情况下评价为磁特性的各向异性小。

(表3-1)

No.	钢板组织							特性						备注
	平均 结晶粒径 d(μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	磁通密度 Bs(T)	磁通密度 B50(T)	B50/Bs	铁损 W _{10/60} (W/kg)	磁通密度 B50.45° (T)	各向异性 ΔB50(T)	
1	103	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	30.2	1.67	0.048	发明例
2	124	13	6	6	25	7	5	1.98	1.71	0.86	29.7	1.66	0.047	发明例
3	69	17	4	7	27	13	8	1.95	1.73	0.89	28.0	1.69	0.042	发明例
4	104	19	6	3	11	13	4	2.00	1.76	0.88	31.5	1.71	0.053	发明例
5	106	20	6	4	11	14	9	1.97	1.74	0.88	29.1	1.71	0.034	发明例
6	126	17	8	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	发明例
7	124	16	5	4	13	11	7	1.92	1.69	0.88	25.1	1.65	0.038	发明例
8	86	16	5	6	26	11	4	1.97	1.71	0.87	29.0	1.66	0.047	发明例
9	90	19	6	7	28	13	7	1.96	1.70	0.87	28.3	1.66	0.044	发明例
10	100	13	6	5	16	7	9	1.91	1.65	0.86	25.0	1.62	0.032	发明例
11	84	15	5	5	21	10	4	1.98	1.70	0.86	29.6	1.65	0.053	发明例
12	66	12	5	6	21	7	9	2.04	1.76	0.86	47.7	1.73	0.030	比较例
13	90	13	6	4	12	7	8	2.03	1.78	0.88	38.0	1.74	0.038	发明例
14	99	12	5	5	17	7	8	2.01	1.75	0.87	36.3	1.71	0.041	发明例
15	96	13	6	5	16	7	9	1.87	1.62	0.87	22.7	1.59	0.032	发明例
16	91	13	6	4	12	7	8	1.86	1.59	0.86	22.3	1.55	0.038	比较例
17	112	19	6	3	11	13	4	2.03	1.75	0.86	46.9	1.71	0.042	比较例
18	132	19	6	3	11	13	4	2.03	1.79	0.88	36.0	1.74	0.048	发明例
19	120	21	7	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	35.4	1.64	0.043	发明例
20	95	19	6	3	11	13	4	1.91	1.67	0.87	42.1	1.63	0.041	比较例
21	96	19	7	6	23	12	7	2.01	1.74	0.87	43.3	1.70	0.038	比较例
22	104	17	5	7	28	12	7	2.01	1.77	0.88	36.1	1.73	0.039	发明例
23	136	19	6	7	28	13	7	1.92	1.67	0.87	37.6	1.63	0.042	发明例
24	93	20	6	7	27	14	8	1.86	1.65	0.89	40.7	1.61	0.038	比较例
25	97	19	4	3	11	15	4	1.96	1.76	0.90	27.5	1.72	0.044	发明例
26	106	21	4	3	11	17	4	1.96	1.78	0.91	27.0	1.74	0.043	发明例
27	108	18	4	5	13	14	12	1.96	1.68	0.86	29.4	1.65	0.026	发明例
28	67	17	4	6	16	13	14	1.95	1.73	0.89	28.1	1.71	0.025	发明例
29	94	19	7	5	20	12	5	1.98	1.70	0.86	30.7	1.66	0.045	发明例
30	110	18	6	6	25	12	5	1.98	1.71	0.87	30.1	1.67	0.045	发明例
31	91	20	7	5	20	13	5	1.97	1.69	0.86	30.2	1.65	0.044	发明例
32	123	19	6	7	30	13	5	1.98	1.75	0.89	29.6	1.71	0.040	发明例
33	97	20	7	6	25	13	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.65	0.047	发明例
34	137	17	5	6	25	12	5	1.97	1.77	0.90	28.7	1.72	0.049	发明例
35	109	17	5	6	25	12	5	1.98	1.78	0.90	29.3	1.73	0.050	发明例
36	100	13	15	5	15	-2	10	1.91	1.54	0.81	42.3	1.50	0.037	比较例
37	93	5	6	5	16	-1	9	1.91	1.50	0.79	40.5	1.46	0.038	比较例
38	117	3	5	3	11	-2	4	2.00	1.55	0.77	45.4	1.50	0.047	比较例
39	115	9	7	3	11	2	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.050	发明例
40	117	9	5	3	11	4	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.051	发明例
41	106	17	18	4	13	-1	7	1.92	1.50	0.78	41.5	1.46	0.038	比较例
42	127	3	5	4	12	-2	8	1.92	1.53	0.80	40.9	1.49	0.042	比较例
43	95	16	17	8	32	-1	8	2.01	1.61	0.80	46.1	1.57	0.037	比较例
44	96	15	14	7	28	1	7	2.01	1.66	0.83	38.1	1.62	0.036	发明例
45	129	15	11	8	33	4	7	2.01	1.71	0.85	37.2	1.67	0.042	发明例
46	53	17	4	3	11	13	4	1.96	1.70	0.87	42.9	1.65	0.048	比较例
47	62	17	4	3	11	13	4	1.96	1.69	0.86	37.4	1.65	0.041	发明例
48	193	18	4	3	11	14	4	1.96	1.72	0.88	36.8	1.68	0.043	发明例
49	232	18	4	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	43.3	1.64	0.045	比较例
50	88	25	6	5	26	19	-1	1.97	1.74	0.88	29.6	1.60	0.139	发明例
51	106	25	6	5	24	19	1	1.97	1.76	0.89	29.3	1.69	0.070	发明例
52	122	25	7	4	17	18	3	1.97	1.75	0.89	29.5	1.70	0.055	发明例
53	116	24	6	5	27	18	-2	1.97	1.73	0.88	29.8	1.60	0.127	发明例
54	138	24	6	4	20	18	0	1.97	1.73	0.88	29.8	1.63	0.096	发明例
55	139	23	6	4	21	17	-1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.62	0.131	发明例
56	99	25	6	5	24	19	1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.68	0.067	发明例
57	94	19	6	6	25	13	5	1.97	1.73	0.88	30.0	1.69	0.045	发明例

注) 下划线部分表示在发明范围外

[0131]

[0132]

(表3-2)

No.	钢板组织						特性						备注	
	平均结晶粒径d (μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB 5SC-SD [%]	磁通密度 Bs (T)	磁通密度 B50 (T)	B50/Bs	铁损 W _{10/800} (W/kg)	磁通密度 B50.45° (T)	各向异性 ΔB50 (T)		
58	98	19	4	3	11	15	4	1.95	1.78	0.91	27.1	1.73	0.051	发明例
59	103	18	4	5	12	14	13	1.95	1.67	0.85	28.8	1.64	0.028	发明例
60	107	19	7	7	29	12	6	1.97	1.68	0.85	30.8	1.64	0.038	发明例
61	99	19	6	6	25	13	5	1.97	1.68	0.85	30.5	1.64	0.040	发明例
62	109	21	7	6	25	14	5	1.97	1.74	0.88	29.6	1.69	0.047	发明例
63	139	17	5	5	20	12	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.66	0.044	发明例
64	120	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	29.9	1.67	0.046	发明例
65	116	21	7	6	25	14	5	1.97	1.77	0.90	29.2	1.72	0.046	发明例
66	120	20	7	6	25	13	5	1.97	1.76	0.89	29.3	1.72	0.040	发明例
67	113	11	5	7	30	6	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.038	发明例
68	102	14	7	5	20	7	5	1.98	1.74	0.88	29.3	1.70	0.039	发明例
69	96	13	6	6	25	7	5	1.98	1.70	0.86	29.9	1.66	0.040	发明例
70	112	13	5	5	20	8	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.045	发明例
71	91	20	7	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.032	发明例
72	117	19	5	4	11	14	9	1.97	1.68	0.85	29.9	1.64	0.040	发明例
73	88	18	5	4	12	13	8	1.97	1.71	0.87	29.5	1.68	0.033	发明例
74	71	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	发明例
75	85	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	发明例
76	77	19	6	4	12	13	8	1.97	1.75	0.89	29.0	1.72	0.031	发明例
77	85	18	5	4	11	13	9	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.032	发明例
78	116	21	7	4	10	14	10	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.035	发明例
79	75	21	6	4	10	15	10	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.030	发明例
80	91	19	6	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.038	发明例
81	133	18	9	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.68	0.032	发明例
82	90	18	9	7	27	9	8	1.96	1.72	0.88	27.4	1.68	0.042	发明例
83	100	17	9	8	32	9	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.65	0.034	发明例
84	140	16	7	6	22	8	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.64	0.041	发明例
85	113	18	9	6	23	9	7	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	发明例
86	97	16	7	7	27	9	8	1.96	1.70	0.87	27.7	1.66	0.038	发明例
87	101	16	6	4	13	10	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.71	0.040	发明例
88	124	15	4	4	12	11	8	1.92	1.77	0.92	24.2	1.73	0.039	发明例
89	96	17	5	4	12	12	8	1.92	1.73	0.90	24.7	1.69	0.042	发明例
90	100	17	6	4	13	11	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.72	0.035	发明例

[0133] 根据表3-1、3-2的结果可知,根据本发明的无取向性电磁钢板均兼顾了优良的磁通密度和优良的高频铁损特性。而且,出于恢复冲裁时的应变所致的铁损降低的目的而对钢板实施了去应力退火,结果对本发明效果没有任何影响,兼顾了优良的磁通密度和优良的铁损特性。

[0134] 产业上的可利用性

[0135] 根据本发明,能够提供不会导致饱和磁通密度降低、生产率降低的、高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。