



(10) 申请公布号 CN 118202079 A

(43) 申请公布日 2024.06.14

(21) 申请号 202280076612.1

(22) 申请日 2022.12.12

(30) 优先权数据

2021-203934 2021.12.16 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/045666 2022.12.12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/112892 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 满凤 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 $50\mu\text{m}$ 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50 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:

对具有所述无取向性电磁钢板的组成的钢原材实施热轧从而得到热轧板的热轧工序;

根据需要对所述热轧板实施热轧板退火的热轧板退火工序;

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的酸洗工序;

对实施了所述酸洗的所述热轧板实施冷轧从而得到冷轧板的冷轧工序;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 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750°C以上且850°C以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,从而得到冷轧退火板。

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,对电气设备的节能化的要求在世界范围内不断提高。伴随于此,对用于电动机铁芯的电磁钢板也开始要求更优良的磁特性。另外,最近,在混合动力电动汽车(HEV)、电动汽车(EV)的驱动电动机等中,小型化和高输出化的需求强烈,为了应对该需求,正在研究提高电动机的转速。

[0003] 电动机铁芯分为定子铁芯和转子铁芯,HEV驱动电动机的转子铁芯由于其外径大,因此作用有大的离心力。另外,转子铁芯结构上存在称为转子铁芯桥接部的非常窄的部分(宽度:1~2mm),该部分在电动机驱动中成为应力特别高的状态。因此,为了防止因离心力引起的转子铁芯的破损,用于转子铁芯的电磁钢板需要为高强度。另一方面,从为了实现电动机的小型化和高输出化而能在高频域驱动来看,用于定子铁芯的电磁钢板期望为高磁通密度且在高频域为低铁损。因此,用于电动机铁芯的电磁钢板理想的是:对于转子铁芯用途而言为高强度,对于定子铁芯用途而言为高磁通密度且在高频域为低铁损。

[0004] 如此,即使是用于相同电动机铁芯的电磁钢板,转子铁芯用途和定子铁芯用途所要求的特性也大不相同。但是,在电动机铁芯的制造中,为了提高材料成品率、生产率,优选通过冲裁加工从同一原材钢板同时裁取转子芯材和定子芯材,然后将各个钢板层叠而组装成转子铁芯和定子铁芯。

[0005] 作为制造电动机铁芯用途的高强度且低铁损的无取向性电磁钢板的技术,例如在专利文献1中公开了如下技术:制造高强度的无取向性电磁钢板,通过冲裁加工从该钢板裁取转子芯材和定子芯材并层叠,组装转子铁芯和定子铁芯,然后仅对定子铁芯实施去应力退火,从而由同一原材制造高强度的转子铁芯和低铁损的定子铁芯。另外,作为得到在高频域为低铁损的无取向性电磁钢板的技术,例如在专利文献2中公开了如下方法:通过添加Cr,提高钢的电阻率,实现高频域中的低铁损化。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2008-50686号公报

[0009] 专利文献2:日本特开平11-343544号公报

发明内容

[0010] 发明所要解决的问题

[0011] 但是,根据本发明人的研究,对于上述专利文献1中公开的技术而言,去应力退火后的磁特性中,铁损得到大幅改善,但存在磁通密度大幅降低的问题。另一方面,Cr是使饱和磁通密度降低的元素。因此,对于专利文献2公开的技术而言,不能兼顾高磁通密度和高频低铁损,无法充分应对近来对无取向性电磁钢板的要求。

[0012] 本发明是为了解决上述问题而完成的,其目的在于提供高强度且在实施去应力退火的情况下也为高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。

[0013] 用于解决问题的方法

[0014] 本发明人为了解决上述问题进行了深入研究,结果得到如下见解:通过将平均结晶粒径 d 微细化至 $50\mu\text{m}$ 以下,以 $\langle 100 \rangle$ 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 $S_A - S_B \geq 0$ 的方式控制钢板组织,由此可以得到具有适合于转子铁芯用材料的高强度特性、并且作为定子铁芯用材料在实施了去应力退火的情况下磁通密度也高且在高频域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,能够控制朝向特定的取向的晶体的面积率。

[0015] 本发明是基于上述见解而完成的,具有以下构成。

[0016] 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 $50\mu\text{m}$ 以下, $\langle 100 \rangle$ 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 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0017] 优选 $\langle 100 \rangle$ 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 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 。

[0018] 优选以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Co。

[0019] 优选以质量%计还含有0.0005%以上且0.0050%以下的Zn。

[0020] 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。

[0021] • A组:Mo:0.01%以上且0.20%以下;

[0022] • B组:Cr:0.1%以上且5.0%以下;

[0023] • 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;

[0024] • 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。

[0025] 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:对具有上述无取向性电磁钢板的组成的钢原材实施热轧从而得到热轧板的热轧工序;根据需要对上述热轧板实施热轧板退火的热轧板退火工序;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的酸洗工序;对实施了上述酸洗的上述热轧板实施冷轧从而得到冷轧板的冷轧工序;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 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 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 $15^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上的条件下加热至 750°C 以上且 850°C 以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,从而得到冷轧退火板。

[0026] 本发明的无取向性电磁钢板的制造方法在上述发明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} 以下的条件下进行上述冷轧工序。

[0027] 发明效果

[0028] 根据本发明,可以提供高强度且在实施了去应力退火的情况下也为高磁通密度-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。

具体实施方式

[0029] 以下,对本发明的详细内容及其限定理由一起进行说明。

[0030] <钢板的成分组成>

[0031] 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。

[0032] C:0.010%以下

[0033] 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%。

[0034] Si:1.0%以上且5.0%以下

[0035] 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使钢的强度提高的效果。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。

[0036] Mn:0.05%以上且5.0%以下

[0037] Mn与Si同样是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。

[0038] P:0.1%以下

[0039] 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。

[0040] S:0.01%以下

[0041] 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。特别而言,如果S添加量超过0.01%,则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。

[0042] Al:3.0%以下

[0043] Al与Si同样是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。

[0044] N:0.0050%以下

[0045] N是形成微细析出物而对铁损特性带来不良影响的元素。特别而言,如果添加量超过0.0050%,则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。

[0046] 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,根据要求特性,也可以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。

[0047] Co:0.0005%以上且0.0050%以下

[0048] Co具有在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时增加 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 、降低 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_B 的效果。即,通过微量添加Co,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。

[0049] Zn:0.0005%以上且0.0050%以下

[0050] Zn具有在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时增加 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_C 、降低 $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制 45° 方向和轧制 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_D 的效果。即,通过微量添加Zn,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。

[0051] Mo:0.01%以上且0.20%以下

[0052] Mo具有在钢中形成微细的碳化物、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。

[0053] Cr:0.1%以上且5.0%以下

[0054] 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。

[0055] Ca:0.001%以上且0.10%以下

[0056] Ca是以硫化物的形式固定S、有助于铁损的降低的元素。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。

[0057] Mg:0.001%以上且0.10%以下

[0058] Mg是以硫化物的形式固定S、有助于铁损的降低的元素。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。

[0059] REM:0.001%以上且0.10%以下

[0060] REM是以硫化物的形式固定S、有助于铁损的降低的元素组。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。

[0061] Sn:0.001%以上且0.20%以下

[0062] Sn是通过织构改善而对提高磁通密度和降低铁损有效的元素。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。

[0063] Sb:0.001%以上且0.20%以下

[0064] Sb是通过织构改善而对提高磁通密度和降低铁损有效的元素。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。

[0065] Cu:0%以上且0.5%以下、Ni:0%以上且0.5%以下

[0066] 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。

[0067] W:0%以上且0.05%以下

[0068] W形成微细碳化物,通过析出强化提高钢板强度,从而提高冲裁疲劳强度,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%。

[0069] 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

[0070] 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,从而提高冲裁疲劳强度,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%。

[0071] B:0%以上且0.002%以下、Ga:0%以上且0.005%以下

[0072] B、Ga形成微细的氮化物,通过析出强化提高钢板强度,从而提高冲裁疲劳强度,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%。

[0073] Pb:0%以上且0.002%以下

[0074] Pb形成微细的Pb粒子,通过析出强化提高钢板强度,从而提高冲裁疲劳强度,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%。

[0075] As:0%以上且0.05%以下、Ge:0%以上且0.05%以下

[0076] As、Ge是通过织构改善而对提高磁通密度和降低铁损有效的元素,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,添加量的上限分别优选设定为0.05%。更优选添加量分别为0.002%以上且0.01%以下的范围。

[0077] <钢板的显微组织>

[0078] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的显微组织进行说明。

[0079] 《平均结晶粒径d为50 μm 以下》

[0080] 根据本发明人的研究,平均结晶粒径d粗大时,钢板强度降低。即,通过使平均结晶粒径d为50 μm 以下,能够实现目标强度特性。对于平均结晶粒径d的下限,无需特别规定,在通过本发明记载的方法制造的情况下,通常为5 μm 以上。

[0081] 《<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 $S_A - S_B \geq 0$ 》

[0082] 根据本发明人的研究发现,对于具有规定的成分组成的钢,通过形成<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 $S_A - S_B \geq 0$ 的钢板组织,在去应力退火后,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 $S_A - S_B \geq 0$,磁通密度和铁损满足应用于HEV、EV和燃料电池电动汽车(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 $S_A - S_B \geq 5\%$ 。

[0083] 《<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 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 》

[0084] 根据本发明人的研究发现,通过形成在上述钢板组织的基础上<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 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 的钢板组织,在去应力退火后,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 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 。更优选为 $5 \times S_C - S_D \geq 1\%$ 。

[0085] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0086] 概括而言,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、退火从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,则除此以外可以为通常公知的方法。

[0087] <钢原材>

[0088] 钢原材只要为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,优选在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。

[0089] <热轧工序>

[0090] 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、实施热轧从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。

[0091] 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,对加热后的钢原材在800°C以上且950°C以下的精轧出口侧温度下实施热轧,热轧结束后,适当的轧制后实施冷却(例如,以20°C/s以上且100°C/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。

[0092] <热轧板退火工序>

[0093] 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从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。

[0094] <酸洗工序>

[0095] 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到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。

[0096] <冷轧工序>

[0097] 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,根据需要也可以通过夹有中间退火的两次以上的冷轧而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150mm φ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($\dot{\epsilon}'_{\text{m}}$)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。

[0098] (最终道次的工作辊直径D)

[0099] 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150mm φ以上。将最终道次的工作辊直径D设定为150mm φ以上的理由是为了满足 $5 \times S_c - S_b \geq 0$,得到期望的钢板组织。在最终道次的工作辊直径D小于150mm φ的情况下,与平面压缩的状态相去甚远,因此与工作辊直径大的情况相比,晶粒单元中的剪切应变的不均匀性增强。接下来的退火工序中的成核和晶粒生长容易集中在特定的取向的区域中,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>取向于该方向的晶粒的面积率之和 S_b 增加。结果不能满足 $5 \times S_c - S_b \geq 0$ 。另一方面,在最终道次的工作辊直径D为150mm φ以上的情况下,满足 $5 \times S_c - S_b \geq 0$,可以得到期望的钢板组织。最终道次的工作辊直径D优选为170mm φ以上,进一步优选为200mm φ以上。上限无需特别设定,但是在辊直径过大的情况下轧制载荷增大,因此优选设定为700mm φ。

[0100] (最终道次的压下率r)

[0101] 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,可发挥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,而且冷轧板的形状控制也变得困难,因此通常为50%以下。

[0102] (最终道次的应变速率(ϵ'_m))

[0103] 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(ϵ'_m)优选为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下。将最终道次的应变速率(ϵ'_m)设定为 100s^{-1} 以上且 1300s^{-1} 以下的理由是为了抑制轧制中的断裂并且满足 $5 \times S_c - S_D \geq 0$,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,冷轧板的晶粒单元中的剪切应变的不均匀性增强,接下来的退火工序中的成核和晶粒生长容易集中在特定的取向的区域, $\langle 100 \rangle$ 取向于轧制 45° 和 -45° 方向的晶粒的面积率之和 S_c 减少, $\langle 111 \rangle$ 取向于该方向的晶粒的面积率之和 S_D 增加。结果不能满足 $5 \times S_c - S_D \geq 0$ 。虽然原因还未必清楚,但本发明人推测是因为,由于应变速率低使得流动应力降低,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大于 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,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)的近似式来导出。

[0104] [数学式1]

$$[0105] \quad \epsilon'_m \cong \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r} \quad \dots (1)$$

[0106] 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(%)。

[0107] <退火工序>

[0108] 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 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 750°C 以上且 850°C 以下的退火温度 T_2 ,进行冷却,从而得到冷轧退火板。对于退火工序后对冷轧退火板的表面实施绝缘涂覆,其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。

[0109] (保持温度 T_1)

[0110] 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 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 为满足 $S_A - S_B \geq 0$ 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 降低而且面积率之和 S_A 也降低,因此结果不能

满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0111] (从200°C到保持温度 T_1 的平均升温速度 V_1)

[0112] 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°C/s以上。将平均升温速度 V_1 设定为50°C/s以上的理由是为了使 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 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 为满足 $S_A - S_B \geq 0$ 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°C/s以上,更优选为100°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500°C/s。

[0113] (保持温度 T_1 下的保持时间 t)

[0114] 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 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 为满足 $S_A - S_B \geq 0$ 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 大于10秒时,过度地发生组织的恢复,不仅 S_B 降低而且 S_A 也降低,因此,结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。

[0115] (从保持温度 T_1 到750°C的平均升温速度 V_2)

[0116] 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 设定为15°C/s以上的理由是为了使 $\langle 100 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的面积率之和 S_A 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 为满足 $S_A - S_B \geq 0$ 的范围,得到期望的钢板组织。平均升温速度 V_2 小于15°C时,再结晶核的生成位置的选择性增强, $\langle 111 \rangle$ 朝向轧制方向或轧制直角方向的晶粒的生成频率变高,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,但是升温速度过高时,容易产生温度不均,因此优选设定为200°C/s。

[0117] (退火温度 T_2)

[0118] 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750°C以上且850°C以下。将退火温度 T_2 设定为750°C以上且850°C以下的理由是为了使平均结晶粒径为50 μm 以下,得到期望的钢板组织。退火温度 T_2 低于750°C时,再结晶不充分地进展,成为残留大量加工组织的钢板组织。该未再结晶部包含大量 $\langle 111 \rangle$ 取向于轧制直角方向的区域,因此 S_B 增加。结果不能满足 $S_A - S_B \geq 0$ 。退火温度 T_2 为750°C以上时,发生充分的再结晶,能够使 $S_A - S_B \geq 0$ 。退火温度 T_2 优选为775°C以上。另一方面,退火温度 T_2 高于850°C时,再结晶晶粒过度生长,不能使平均结晶粒径为50 μm 以下。因此,退火温度 T_2 设定为850°C以下。优选为825°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。

[0119] 实施例

[0120] 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。

[0121] \langle 冷轧退火板的制造 \rangle

[0122] 通过通常公知的方法对具有表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)。对得到的钢坯实施热轧,从而得到板厚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,得到冷轧板。对得到的冷轧板在表2-1、2-2所示的条件下实施退火,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)。

[0123]

[表1-1]
(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	0.02	0.017	0.0028	0.9	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
R	0.0036	2.1	0.08	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	-	-	0.0035	-	-	-	-	-	-	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

[0124]

表1-2
(表1-2)

牌号	成分组成[质量%]																	备注												
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	Cu		Ni	W	Ti	Nb	V	Ta	B	Ga	Pb	As	Ge	
AJ	0.0034	3.4	0.3	0.021	0.0013	1.0	0.0013	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AK	0.0037	3.4	0.2	0.017	0.0021	1.0	0.0017	-	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AL	0.0014	3.4	0.4	0.003	0.0031	0.6	0.0023	-	-	0.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AM	0.0015	3.5	0.4	0.004	0.0030	0.6	0.0021	-	-	-	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AN	0.0017	3.5	0.2	0.005	0.0030	0.6	0.0023	-	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AO	0.0018	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.5	0.0022	-	-	-	-	0.096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AP	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.6	0.0023	-	-	-	-	-	0.093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AQ	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0026	0.7	0.0020	-	-	-	-	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AR	0.0018	3.6	0.3	0.005	0.0033	0.7	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	0.18	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AS	0.0040	2.3	1.2	0.011	0.0031	1.2	0.0019	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AT	0.0038	2.5	1.2	0.011	0.0036	1.3	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AU	0.0037	2.5	1.2	0.012	0.0037	1.2	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AV	0.0037	2.5	1.1	0.013	0.0030	1.2	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AW	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0030	1.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AX	0.0034	2.2	0.7	0.006	0.0029	1.8	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AY	0.0035	2.1	0.5	0.005	0.0036	1.8	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
AZ	0.0032	2.1	0.5	0.005	0.0033	1.9	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BA	0.0031	2.2	0.5	0.003	0.0029	1.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BB	0.0032	2.2	0.5	0.005	0.0029	1.7	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BC	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0032	1.7	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0011	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BD	0.0032	2.2	0.5	0.007	0.0038	1.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0095	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BE	0.0034	2.2	0.6	0.003	0.0031	1.8	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BF	0.0032	2.1	0.7	0.005	0.0030	1.8	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0017	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BG	0.0039	2.7	2.7	0.007	0.0024	0.5	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	-	-	-	-	-	-	适合例
BH	0.0038	2.7	2.6	0.006	0.0016	0.5	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0018	-	-	-	-	-	-	适合例
BI	0.0039	2.7	2.7	0.010	0.0020	0.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	-	-	-	-	适合例
BJ	0.0039	2.6	2.6	0.008	0.0022	0.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0047	-	-	-	-	-	适合例
BK	0.0040	2.7	2.6	0.010	0.0022	0.4	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	-	-	-	-	适合例
BL	0.0040	2.6	2.6	0.007	0.0020	0.5	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	-	-	适合例
BM	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0026	2.0	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BN	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0031	1.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BO	0.0029	2.9	1.1	0.004	0.0036	1.9	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例
BP	0.0030	3.0	1.3	0.009	0.0036	2.0	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	适合例

[表2-1]
(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	-	530	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	30	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	0	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	8	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	880	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	1070	比较例
50	A	0.25	110	28	780	-	490	270	2	32	1000	发明例
51	A	0.25	180	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

[0125]

注)下划线部分表示在发明范围外

[表2-2]
(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	780	发明例
59	AK	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	780	发明例
60	AL	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	810	发明例
61	AM	0.25	290	28	780	-	490	260	2	35	810	发明例
62	AN	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	810	发明例
63	AO	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	810	发明例
64	AP	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	810	发明例
65	AQ	0.25	290	28	780	-	490	280	2	33	810	发明例
66	AR	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	810	发明例
67	AS	0.25	330	23	860	-	480	470	3	53	810	发明例
68	AT	0.25	330	23	860	-	480	460	3	52	810	发明例
69	AU	0.25	330	23	860	-	480	480	3	53	810	发明例
70	AV	0.25	330	23	860	-	480	450	3	54	810	发明例
71	AW	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	790	发明例
72	AX	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	790	发明例
73	AY	0.25	360	23	200	-	420	470	2	57	790	发明例
74	AZ	0.25	360	23	200	-	420	470	2	54	790	发明例
75	BA	0.25	360	23	200	-	420	490	2	54	790	发明例
76	BB	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	790	发明例
77	BC	0.25	360	23	200	-	420	490	2	53	790	发明例
78	BD	0.25	360	23	200	-	420	490	2	55	790	发明例
79	BE	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	790	发明例
80	BF	0.25	360	23	200	-	420	500	2	52	790	发明例
81	BG	0.25	340	25	190	-	590	320	9	50	810	发明例
82	BH	0.25	340	25	190	-	590	330	9	50	810	发明例
83	BI	0.25	340	25	190	-	590	320	9	48	810	发明例
84	BJ	0.25	340	25	190	-	590	330	9	51	810	发明例
85	BK	0.25	340	25	190	-	590	330	9	48	810	发明例
86	BL	0.25	340	25	190	-	590	320	9	51	810	发明例
87	BM	0.25	290	29	700	-	440	320	5	36	820	发明例
88	BN	0.25	290	29	700	-	440	290	5	38	820	发明例
89	BO	0.25	290	29	700	-	440	300	5	37	820	发明例
90	BP	0.25	290	29	700	-	440	320	5	39	820	发明例

[0126]

[0127] <评价>

[0128] 《组织观察》

[0129] 从得到的冷轧退火板截取组织观察用试验片。接着,将裁取的试验片以与轧制方向垂直的面(RD面)作为观察面用树脂包埋,利用胶体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2.5μm,测定区域设定为20mm²以上。测定区域的面积以在接下来的分析中晶粒的数为10000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功能结合多次扫描结果。分析软件使用OIM Analysis 8,对得到的局部取向数据进行分析。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: GCI[.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。

[0130] 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设为5°、将Minimum Grain Size(最小结晶粒度)设为2、将Minimum Anti Grain Size(最小Anti Grain尺寸)设为2、将Multiple Rows Requirement(多行要求)和Anti-Grain Multiple Rows Requirement(Anti-Grain多行要求)一起设为OFF(关闭),进行以下分析。对于实施了预处理的数据,将使用Grain Size(diameter)(结晶粒度(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 $[A1, A2, A3] = [100], [010], [110], [1-10]$ 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, $\langle 111 \rangle$ 取向于轧制方向或者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。

[0131] 《机械特性评价》

[0132] 从得到的退火板截取以轧制方向作为拉伸方向的JIS5号拉伸试验片,实施依据JIS Z2241:2011的拉伸试验,测定拉伸强度(TS)。

[0133] 《磁特性评价》

[0134] 从得到的退火板截取以长度方向作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,通过爱泼斯坦法评价冷轧退火板的磁特性。评价项目设为饱和磁通密度: 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,出于考察磁特性的各向异性的目的,截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 C2550-1:2011,通过爱泼斯坦法评价冷轧退火板的磁特性。评价项目设为磁场的强度5000A/m下的磁通密度: $B_{50_45^\circ}$ 。去应力退火后 $B_{50} \geq 1.57$ (T) 且 $B_{50}/B_s \geq 0.80$ 时评价为磁通密度良好,去应力退火后 $W_{10}/800 \leq 40$ (W/kg) 时评价为高频铁损特性良好。去应力退火后 $\Delta B_{50} = B_{50} - B_{50_45^\circ} \leq 0.120$ (T) 时评价为磁特性的各向异性小。

[表3-1]
(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 _{10/50} (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

[0135]

[表3-2]
(表3-2)

No.	钢板组织							机械特性 拉伸强度 TS (MPa)	去应力退火后磁性						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 $\Delta B50$ (T)	
58	29	24	8	7	29	16	6	713	1.96	1.77	0.90	27.4	1.73	0.045	发明例
59	30	18	7	6	17	11	13	706	1.96	1.65	0.84	29.3	1.62	0.028	发明例
60	31	19	9	6	22	10	8	729	1.97	1.66	0.84	31.1	1.63	0.034	发明例
61	28	19	8	5	18	11	7	705	1.97	1.66	0.84	30.8	1.63	0.035	发明例
62	31	21	9	5	18	12	7	694	1.97	1.72	0.87	29.9	1.68	0.041	发明例
63	40	17	7	5	18	10	7	672	1.97	1.67	0.85	30.6	1.63	0.039	发明例
64	34	19	8	5	17	11	8	683	1.97	1.69	0.86	30.3	1.65	0.038	发明例
65	33	21	9	5	17	12	8	695	1.97	1.78	0.90	29.1	1.74	0.038	发明例
66	34	20	9	5	19	11	6	690	1.97	1.77	0.90	29.2	1.73	0.038	发明例
67	33	9	4	7	26	5	9	639	1.98	1.65	0.83	30.6	1.62	0.030	发明例
68	30	12	6	5	17	6	8	654	1.98	1.71	0.86	29.7	1.68	0.033	发明例
69	28	11	5	6	21	6	9	655	1.98	1.68	0.85	30.2	1.65	0.032	发明例
70	33	10	4	5	17	6	8	645	1.98	1.66	0.84	30.5	1.62	0.038	发明例
71	27	14	4	6	25	10	5	687	1.97	1.68	0.85	29.9	1.64	0.040	发明例
72	35	15	4	5	20	11	5	662	1.97	1.66	0.84	30.2	1.61	0.050	发明例
73	26	15	4	6	25	11	5	692	1.97	1.69	0.86	29.8	1.65	0.039	发明例
74	21	14	4	6	25	10	5	700	1.97	1.67	0.85	30.1	1.63	0.044	发明例
75	25	14	4	6	25	10	5	684	1.97	1.66	0.84	30.2	1.62	0.044	发明例
76	23	14	4	5	20	10	5	698	1.97	1.72	0.87	29.4	1.68	0.037	发明例
77	25	13	3	6	25	10	5	685	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.040	发明例
78	34	15	4	6	25	11	5	663	1.97	1.67	0.85	30.1	1.62	0.046	发明例
79	22	16	4	7	30	12	5	706	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.040	发明例
80	27	15	4	6	25	11	5	687	1.97	1.67	0.85	30.1	1.62	0.047	发明例
81	38	18	5	7	31	13	4	682	1.96	1.70	0.87	27.7	1.66	0.040	发明例
82	26	16	4	7	31	12	4	709	1.96	1.71	0.87	27.5	1.66	0.053	发明例
83	29	15	4	8	26	11	4	705	1.96	1.66	0.85	28.2	1.62	0.044	发明例
84	40	16	4	6	26	12	4	676	1.96	1.67	0.85	28.1	1.62	0.052	发明例
85	32	17	5	6	26	12	4	690	1.96	1.69	0.86	27.8	1.64	0.051	发明例
86	28	14	3	7	31	11	4	702	1.96	1.69	0.86	27.8	1.64	0.048	发明例
87	30	12	5	6	23	7	7	695	1.92	1.74	0.91	24.2	1.70	0.040	发明例
88	37	11	4	6	22	7	8	680	1.92	1.75	0.91	24.1	1.71	0.039	发明例
89	28	11	4	6	22	7	8	706	1.92	1.73	0.90	24.4	1.69	0.042	发明例
90	30	12	5	6	23	7	7	693	1.92	1.76	0.92	24.0	1.73	0.035	发明例

[0136]

[0137] 由表3-1、3-2的结果可知,根据本发明的无取向性电磁钢板均具有高拉伸强度,并且在去应力退火后兼顾优良的磁通密度和优良的高频铁损特性。

[0138] 产业上的可利用性

[0139] 根据本发明,能够提供高强度且在实施了去应力退火的情况下也为高磁通密度-高频低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。