(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118159677 A
(43)申请公布日 2024.06.07

(21)申请号 202280074304.5
(22)申请日 2022.10.31
(30)优先权数据
2021-186845 2021.11.17 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.05.08
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/040677 2022.10.31
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/090138 JA 2023.05.25
(71)申请人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本
(72)发明人 高城重宏 财前善彰
(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.
C22C 38/00(2006.01)
C21D 8/12(2006.01)
C22C 38/04(2006.01)
C22C 38/60(2006.01)
H01F 1/147(2006.01)

权利要求书1页 说明书19页

(54)发明名称

无取向性电磁钢板及其制造方法以及电动机铁芯的制造方法

(57)摘要

本发明的目的在于通过一次再结晶的利用和新的晶体织构控制以及结晶粒径控制来提供不仅低频铁损而且高频铁损也低的无取向性电磁钢板。无取向性电磁钢板具有以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:1.0%以上且7.5%以下、Mn:2.00%以下、P:0.10%以下、S:0.0040%以下、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,板厚为0.20mm以下,在ODF中,最大的强度在Φ=0°内,φ1=45°、φ2=45°、Φ=0°的取向的强度为4.0以上。无取向性电磁钢板的制造方法是对具有规定的成分组成的钢原材进行热轧、实施夹有中间退火的两次冷轧、然后实施最终退火的制造方法,其中,第一次冷轧的压下率以92%以上进行,第二次冷轧的压下率为30%以上且80%以下。

CN 118159677 A

1.一种无取向性电磁钢板,其具有以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:1.0～4.5%、Mn:2.00%以下、P:0.10%以下、S:0.0040%以下、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,

板厚为0.20mm以下,

在表示晶体织构的0≤φ1≤90°、φ2=45°、0≤Φ≤90°的欧拉空间内所示的板厚中心层的取向分布函数ODF中,最大强度在Φ=0°内,φ1=45°、φ2=45°、Φ=0°的取向的强度为4.0以上。

2.根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,轧制方向的平均结晶粒径为0.20mm以下。

3.根据权利要求1或2所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,在所述成分组成的基础上,以质量%计还含有选自Al:0.0001～2.0%、N:0.003%以下、Ca:0.0005～0.010%、Cr:0.001～0.05%、Cu:0.001～0.5%、Sb:0.001～0.05%、Sn:0.001～0.05%和B:0.0001～0.005%中的至少一种。

4.根据权利要求1～3中任一项所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,以1.0～7.5%的范围含有Si。

5.根据权利要求1～4中任一项所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,在所述成分组成的基础上,以质量%计还以合计为0.001～0.1质量%的范围含有选自Zn、Co、Mo、Ni和W中的一种或两种以上。

6.根据权利要求1～5中任一项所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,在所述成分组成的基础上,以质量%计还以合计为0.001～0.05质量%的范围含有选自O、Mg、REM、Ti、Nb、V、Ta、Ge、Pb、As和Ga中的一种或两种以上。

7.一种无取向性电磁钢板的制造方法,其为对钢原材进行热轧、进行夹有中间退火的两次冷轧、然后实施最终退火的无取向性电磁钢板的制造方法,所述钢原材具有以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:1.0～4.5%、Mn:2.00%以下、P:0.10%以下、S:0.0040%以下、任选地还含有选自Al:0.0001～2.0%、N:0.003%以下、Ca:0.0005～0.010%、Cr:0.001～0.05%、Cu:0.001～0.5%、Sb:0.001～0.05%、Sn:0.001～0.05%和B:0.0001～0.005%中的至少一种、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,所述无取向性电磁钢板的制造方法中,

将第一次冷轧的压下率设定为92%以上,将第二次冷轧的压下率设定为30%以上且80%以下。

8.根据权利要求7所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,在所述热轧与所述第一次冷轧之间实施热轧板退火。

9.根据权利要求7或8所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,在所述冷轧时,将所述第一次冷轧的轧制温度设定为150～300℃,将所述第二次冷轧的轧制温度设定为50～150℃。

10.根据权利要求7～9中任一项所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,在所述冷轧后实施渗硅处理,使Si以总板厚平均计最大含有7.5%。

11.一种电动机铁芯的制造方法,其特征在于,由通过权利要求7～9中任一项所述的方法制造的无取向性电磁钢板制作由转子铁芯和定子铁芯构成的电动机铁芯,然后对定子铁芯实施去应力退火。

无取向性电磁钢板及其制造方法以及电动机铁芯的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于电动机的铁芯材料的磁特性优良的无取向性电磁钢板及其制造方法以及电动机铁芯的制造方法。

背景技术

[0002] 对于主要用作电动汽车的驱动用电动机、家电设备的电动机的铁芯材料的无取向性电磁钢板,为了提高能量使用效率而要求低铁损,并且,为了小型化而要求高磁通密度。这些磁特性根据钢板的板厚、电阻率而大幅变化,因此对于高功能材料、例如高Si电磁钢板,正在推进薄壁化、提高Si、Al等电阻率增大元素的含量的高合金化。但是,过度的薄壁化、合金元素的添加使轧制负荷增大、或者使钢脆化,存在显著损害制造性、制造成本增大的问题。

[0003] 在这样的状况下,不断进行用于提高无取向性电磁钢板的磁特性的技术开发,但它们中不少基于钢晶体的织构的变更、磁畴的控制技术的构建。

[0004] 已知具有体心立方结构的铁的晶体在沿＜100＞取向被磁化时,显示出作为上述用途有用的磁化行为。由于设想无取向性电磁钢板在钢板的面内沿任意的取向磁化而使用,因此认为理想的是具有＜100＞取向与板面平行、且在板面内向所有取向分散的晶体织构。

[0005] 但是,在以往的无取向性电磁钢板的制造方法、即、将板厚2mm至3mm的热轧钢板冷轧至约0.2mm并进行再结晶退火的方法中,存在在板面内优先地形成磁特性方面不优选的{111}面这样的问题。{111}面从冷轧前的晶粒的晶界附近生成,因此也确立了对热轧钢板进行退火而降低冷轧前的晶界的频率从而改善磁特性的技术,但即便如此,也主导性地形成{111}面。

[0006] 另一方面,提出了与以往的制造工艺不同、通过在减压气氛下实施高温退火而得到极高的磁通密度的技术。例如,专利文献1中公开了在低压气氛中利用了具有表面能低的{100}面取向、{110}面取向的晶粒逐步侵占具有表面能高的其它取向的晶粒而生长的机制的技术。该方法不依赖于Si、Al等的高合金化,因此具有能够不受合金原料成本的趋势影响地生产具有良好的磁特性的无取向性电磁钢板的优点。

[0007] 另外,专利文献2中公开了如下技术:通过将钢的高纯度化与减压气氛下的退火组合,使结晶粒径为几mm,并且优先地形成{100}织构。

[0008] 另外,为了降低铁损,需要形成在板面内具有{100}面取向的晶粒作为退火后的再结晶组织。即使形成{100}作为冷轧后的未再结晶组织,加工组织也会损害磁特性,因此并非有用的组织。再结晶有一次再结晶、二次再结晶和三次再结晶,分别以应变能、晶界能、表面能作为再结晶显现的驱动力。其中,专利文献3中示出了通过二次再结晶形成{100}的技术。另外,专利文献2、非专利文献1等中示出了三次再结晶,但并没有充分地进行是否实现的验证。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特开2001-131642号公报

[0012] 专利文献2:日本特开2017-106101号公报

[0013] 专利文献3:日本特开2008-106367号公报

[0014] 非专利文献

[0015] 非专利文献1:George W. Wiener, “Metallurgy of oriented silicon steels”, Journal of Applied Physics, 35.3(1964), p. 856-860.

发明内容

[0016] 发明所要解决的问题

[0017] 本发明人对于在板面内优先地形成{100}面取向的无取向性电磁钢板的制造方法、也包括现有技术的补充试验反复进行了研究。

[0018] 其结果可知:对于上述专利文献1中公开的技术而言,通过减压气氛下的退火,磁通密度B_{50}、铁损$W_{15/100}$等商用频域中的磁特性优良,但铁损$W_{10/400}$等在高频区域中的铁损未降低至预期以上。为了考察其原因,对得到的钢板组织进行了观察,结果是结晶粒径的偏差非常大,例如混合存在以轧制方向的粒径计从最小几mm到最大40mm的超粗大晶粒,平均结晶粒径粗大化至20mm以上。高频区域中的铁损强烈地受到磁畴结构的影响,因此认为上述铁损的升高是由于晶粒的粗大化导致磁畴尺寸变大。

[0019] 另外可知,对于专利文献2中公开的技术而言,如果与对于降低高频区域中的铁损而言优选的结晶粒径为1mm以下进行比较,则所得到的钢板的晶粒依然较大,存在进一步改善的余地。

[0020] 另外,专利文献3中公开的二次再结晶显现方法需要长时间的分批退火,无法得到高的生产率,除此以外,再结晶组织也容易粗大化,因此不适于高频用途。

[0021] 此外,对于非专利文献1、专利文献2中公开的利用三次再结晶的方法而言,为了有效地利用表面能,除了需要高纯度的钢原材以外,还需要为了使钢板表面洁净化而在退火时设为减压气氛等先进的生产技术。另外,利用三次再结晶的方法需要使退火时间也长时间化至几十分钟以上,在生产率上存在问题。

[0022] 因此,鉴于现有技术所存在的上述问题,本发明的目的在于,提供不仅在低频区域而且在高频区域也为低铁损的无取向性电磁钢板,提出其有利的制造方法,并且提出使用了上述钢板的电动机铁芯的制造方法。

[0023] 用于解决问题的方法

[0024] 本发明人为了解决上述问题反复进行了深入研究。其结果发现,通过在冷轧中采用二次冷轧法,将第一次冷轧设为高压下率,并且适当地控制轧制温度,优化最终退火后的钢板的织构,可以得到不仅在低频区域而且在高频区域中也为低铁损的无取向性电磁钢板,从而开发了本发明。

[0025] 基于上述见解的本发明如下构成。

[0026] [1]一种无取向性电磁钢板,其具有以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:1.0~4.5%、Mn:2.00%以下、P:0.10%以下、S:0.0040%以下、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,板厚为0.20mm以下,在表示晶体织构的$0 \leqq \varphi 1 \leqq 90°$、$\varphi 2 = 45°$、$0 \leqq \Phi \leqq 90°$的欧拉

空间内所示的板厚中心层的取向分布函数ODF中,最大强度在Φ=0°内,φ1=45°、φ2=45°、Φ=0°的取向的强度为4.0以上。

[0027] [2]在上述[1]中,优选轧制方向的平均结晶粒径为0.20mm以下。

[0028] [3]在上述[1]或[2]中,可以在上述成分组成的基础上,以质量%计还含有选自Al:0.0001～2.0%、N:0.003%以下、Ca:0.0005～0.010%、Cr:0.001～0.05%、Cu:0.001～0.5%、Sb:0.001～0.05%、Sn:0.001～0.05%和B:0.0001～0.005%中的至少一种。

[0029] [4]在上述[1]～[3]的任一项中,可以以1.0～7.5%的范围含有Si。

[0030] [5]在上述[1]～[4]的任一项中,可以在上述成分组成的基础上,以质量%计还以合计为0.001～0.1质量%的范围含有选自Zn、Co、Mo、Ni和W中的一种或两种以上。

[0031] [6]在上述[1]～[5]的任一项中,可以在上述成分组成的基础上,以质量%计还以合计为0.001～0.05质量%的范围含有选自O、Mg、REM、Ti、Nb、V、Ta、Ge、Pb、As和Ga中的一种或两种以上。

[0032] [7]一种无取向性电磁钢板的制造方法,其为对钢原材进行热轧、进行夹有中间退火的两次冷轧、然后实施最终退火的无取向性电磁钢板的制造方法,所述钢原材具有以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:1.0～4.5%、Mn:2.00%以下、P:0.10%以下、S:0.0040%以下、任选地还含有选自Al:0.0001～2.0%、N:0.003%以下、Ca:0.0005～0.010%、Cr:0.001～0.05%、Cu:0.001～0.5%、Sb:0.001～0.05%、Sn:0.001～0.05%和B:0.0001～0.005%中的至少一种、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,所述无取向性电磁钢板的制造方法中,将第一次冷轧的压下率设定为92%以上,将第二次冷轧的压下率设定为30%以上且80%以下。

[0033] [8]在上述[7]中,可以在上述热轧与上述第一次冷轧之间实施热轧板退火。

[0034] [9]在上述[7]或[8]中,可以在上述冷轧时,将上述第一次冷轧的轧制温度设定为150～300℃,将上述第二次冷轧的轧制温度设定为50～150℃。

[0035] [10]在上述[7]～[9]的任一项中,可以在上述冷轧后实施渗硅处理,使Si以总板厚平均计最大含有7.5%。

[0036] [11]一种电动机铁芯的制造方法,其中,由通过上述[7]～[9]中任一项所述的方法制造的无取向性电磁钢板制作由转子铁芯和定子铁芯构成的电动机铁芯,然后对定子铁芯实施去应力退火。

[0037] 发明效果

[0038] 根据本发明,能够在不需要先进的生产设备的情况下制造磁通密度高、不仅在低频区域而且在高频区域也为低铁损的无取向性电磁钢板,因此适合于小型且高效率的电动机的制造,产业上是有用的。

具体实施方式

[0039] 本发明人在包括热轧、冷轧和退火的无取向性电磁钢板的制造工序中着眼于冷轧,进行了以下研究。具体而言,关于冷轧,以往以来进行了大量研究,制造条件得到了优化,但本发明人在尚未进行研究的新条件下尝试了无取向性电磁钢板的制造,考察了对磁特性的影响。

[0040] 准备具有以质量%计含有C:0.001%、Si:3.0%、Mn:0.4%、P:0.02%、S:0.0018%、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的厚度100mm的钢锭。接着,将上述钢锭加热至1020

℃,然后在精加工温度800℃下进行热轧而精加工成板厚5mm的热轧板,然后在950℃下实施30秒热轧板退火。接着,对上述热轧板退火后的钢板进行冷轧而制成1.8mm、0.5mm、0.2mm、0.1mm和0.08mm板厚的冷轧板,从该冷轧板上切割出宽度30mm×长度280mm的试验片。关于试验片,裁取共计4片试验片,其中,2片为将长度方向设为轧制方向的试验片,2片为将长度方向设为与轧制方向成90°的方向的试验片。然后,在Ar气氛中对上述试验片在800℃下实施15秒退火,然后通过爱泼斯坦试验求出轧制方向和轧制直角方向的磁通密度B_{50}的平均值。

[0041] 进而,使用磁测定后的试验片,使用X射线衍射法对板厚中心层的织构进行测定。具体而言,实验性地求出{200}、{110}和{211}的不完全极图,通过ADC法由不完全极图计算取向分布函数(ODF),对于BCC铁的代表性的织构良好地出现的0≤φ1≤90°、φ2=45°、0≤Φ≤90°的区域,详细地考察ODF。需要说明的是,在上述区域中,Φ=0°的区域对应于有利于磁特性的与轧制面平行地出现{100}面的晶体取向的存在频率,进而φ1=45°对应于被称为Cube取向的{100}＜001＞。另外,Φ=55°的区域对应于对磁特性不利的与轧制面平行地出现{111}面的晶体取向。

[0042] 将上述测定的结果示于表1中。到中间厚度(上述第一次冷轧后的板厚)0.10mm为止,随着冷轧压下率增加,磁通密度降低。认为这是因为对磁特性造成不良影响的{111}增加。但是,进一步提高冷轧压下率而将最终厚度减薄至0.08mm时,与条件5相比,条件6的情况下Φ=55°内的最大ODF降低,因此确认到{111}的强度减少,磁特性提高。在此,“Φ=55°内的最大ODF”是指φ2=45°截面中的Φ=55°的最大强度。

[0043] 接着,对将表1所示的各冷轧退火板作为起始材料进一步进行第二次冷轧和退火的情况下会得到怎样的磁特性进行了研究。需要说明的是,第二次冷轧后的退火条件设为在Ar气氛中、820℃×30秒。表2中示出第二次轧制条件和磁特性的评价结果。对于将表1的条件3～6(第一次冷轧压下率为92%以上)的冷轧退火板作为母材(起始材料)在表2的条件9～11、14(第二次冷轧压下率为50%、63%)下实施了第二次冷轧和退火的钢板,ODF达到最大值的Φ为0°,表明以4.0以上的高频率生成了对于提高磁通密度优选的Cube取向。

[0044] 以往,能够使最终厚度充分变薄的超过90%的强压下轧制的应用存在限于通过一次冷轧精加工成制品厚度的一次冷轧法的倾向。另外,通过两次冷轧精加工成制品厚度的二次冷轧法中,为了抑制磁特性方面不优选的取向的形成,当然将第一次的冷轧压下率设定得较低。

[0045] 但是,由上述实验结果发现,通过采用在第一次冷轧中进行强压下、在第二次冷轧中进行轻压下的轧制而精加工成制品厚度的新工艺,能够得到对以往没有的磁特性、特别是高频区域中的铁损降低有利的织构。

[表1]

[0046]

条件	第一次冷轧		磁通密度B_{50} (T)	ODF取最大值的Φ (°)	Cube的ODF	Φ=55° 内的最大ODF
	压下率 (%)	中间厚度 (mm)				
1	64.0	1.80	1.738	35	2.1	1.9
2	90.0	0.50	1.585	20	0.8	3.8
3	92.0	0.40	1.592	20	0.6	3.2
4	96.0	0.20	1.583	20	0.6	3.3
5	98.0	0.10	1.511	20	1.0	6.3
6	98.4	0.08	1.567	15	0.8	5.2
轧制前	0	5.00	—	0	1.5	8.3

[表2]

[0047]

条件	供试材料	第二次冷轧		磁通密度B_{50} (T)	ODF取最大值的Φ (°)	Cube的ODF	Φ=55° 内的最大ODF
		压下率 (%)	最终厚度 (mm)				
7	表1的1的冷轧退火板	61	0.70	1.694	90	1.4	2.8
8	表1的2的冷轧退火板	60	0.20	1.628	55	2.5	4.7
9	表1的3的冷轧退火板	63	0.15	1.704	0	5.1	3.9
10	表1的4的冷轧退火板	50	0.10	1.695	0	4.1	4.1
11	表1的5的冷轧退火板	50	0.05	1.757	0	7.3	2.8
12	表1的5的冷轧退火板	25	0.075	1.595	55	3.1	1.9
13	表1的5的冷轧退火板	85	0.015	1.512	55	2.8	1.8
14	表1的6的冷轧退火板	50	0.04	1.688	0	5.2	3.5

[0048] 接着,对于用于制造本发明的无取向性电磁钢板的钢原材的化学成分,以下说明的钢成分的“%”是指质量%。

[0049] C:0.0050%以下

[0050] 制品板中所含的C的含量高时,产生磁时效,磁特性劣化,因此钢原材中所含的C限制在0.0050%以下。优选为0.0030%以下。

[0051] Si:1.0～4.5%

[0052] Si是电阻率增大元素,对降低涡流损耗是有效的,因此添加1.0%以上。另一方面,过度地添加时,使钢脆化,损害制造性(轧制性),因此设定为4.5%以下。优选为2.0%以上且4.0%以下。

[0053] 但是,最终冷轧后利用CVD法、PVD法等公知的方法通过渗硅处理使钢中含有Si的情况下,钢原材中所含的Si含量可以低于上述范围,渗硅处理后为1.0～7.5%的范围即可。将上限设定为7.5%是因为,即使由于含有Si而使钢脆化,在后续工序中也没有容易发生板开裂的轧制工序。但是,使钢中过度地含有Si时,磁通密度降低,因此优选的上限为7.0%。

[0054] Mn:2.00%以下

[0055] Mn是电阻率增大元素,过度地添加时,原料成本增大,因此限制在2.00%以下。需要说明的是,从减少由MnS析出引起的对铁损的不良影响的观点出发,优选将Mn设定为0.5%以下。

[0056] P:0.10%以下

[0057] P具有使钢板高强度化、改善冲裁性的效果,另一方面,使钢板脆化,因此将上限设定为0.10%。优选为0.05%以下。

[0058] S:0.0040%以下

[0059] S形成MnS而对磁特性带来不良影响,因此设定为0.0040%以下。优选为0.0030%以下。

[0060] 用于制造本发明的无取向性电磁钢板的钢原材在上述成分的基础上还可以含有以下成分。

[0061] Al:0.0001～2.0%

[0062] Al是电阻率增大元素,是对低铁损化有效的元素。另一方面,过度地含有时,磁通密度降低,因此上限优选设定为2.0%。更优选为1.5%以下。

[0063] N:0.003%以下

[0064] N与Al、Si形成氮化物,使磁特性劣化,因此优选设定为0.003%以下。更优选为0.002%以下。进一步优选为0.0009%以下。

[0065] Ca:0.0005～0.010%

[0066] Ca通过实施适当的热处理而固定S,抑制对磁特性不利的微细S析出物的形成,因此可以在从0.0005%到0.010%的范围内添加。

[0067] Cr:0.001～0.05%

[0068] Cr增大电阻率,有利于铁损降低,因此可以在从0.001%到0.05%的范围内添加。但是,过度的添加会使磁通密度降低。

[0069] Cu:0.001～0.5%

[0070] Cu通过实施适当的热处理而固定S,抑制对磁特性不利的微细S析出物的形成,可以在从0.001%到0.5%的范围内添加。

[0071] Sb:0.001～0.05%

[0072] Sb与Sn同样在退火时在钢板表面偏析,抑制氮向钢板内部侵入,抑制成为磁特性劣化的原因的氮化物的形成,因此可以含有0.001%以上。但是,过度地添加时,原料成本增大,因此优选设定为0.05%以下。更优选为0.01%以下。

[0073] Sn:0.001～0.05%

[0074] Sn在退火中在钢板的表面偏析,抑制氮向钢板内部侵入,抑制成为磁特性劣化的原因的氮化物的形成,因此可以含有0.001%以上。但是,过度地添加时,原料成本增大,因此优选设定为0.05%以下。更优选为0.01%以下。

[0075] B:0.0001～0.005%

[0076] B通过实施适当的热处理而形成氮化物,抑制对磁特性不利的微细氮化物的形成,因此可以添加0.0001%以上且0.005%以下。

[0077] 选自Zn、Co、Mo、Ni和W中的一种或两种以上的合计:0.001～0.1%

[0078] Zn:0.001～0.1%

[0079] Zn具有抑制最终退火时的氮化的效果,因此在添加Zn的情况下设定为0.001%以上。另一方面,添加超过0.1%时,形成硫化物而使铁损增加,因此限制在0.1%以下。优选为0.002%以上且0.05%以下。

[0080] Co:0.001～0.1%

[0081] Co具有改善钢的晶体取向的效果,因此在添加Co的情况下设定为0.001%以上。另一方面,添加超过0.1%时,效果饱和,并且添加成本也增大,因此限制在0.1%以下。优选为0.002%以上且0.05%以下。

[0082] Mo、W:0.001～0.1%

[0083] Mo、W均是对抑制本实施方式的无取向性电磁钢板的表面缺陷(鳞状折叠)有效的元素。本实施方式的无取向性电磁钢板为高合金钢且表面容易被氧化,因此由表面裂纹引起的鳞状折叠的产生率高,但通过微量添加作为提高高温强度的元素的Mo、W,能够抑制上述裂纹。上述效果在Mo、W的合计含量低于0.001%时不充分,另一方面,即使添加超过0.1%,上述效果也饱和,只是合金成本升高。因此,在添加Mo、W的情况下,Mo和W的合计含量设定为0.001%以上且0.1%以下。优选Mo和W的合计含量为0.0050%以上且0.050%以下的范围。需要说明的是,在单独含有Mo或W的情况下,出于与上述同样的理由,Mo或W的含量为0.001%以上且0.1%以下。

[0084] Ni:0.001～0.1%

[0085] Ni增大电阻率,有利于铁损降低,因此在添加Ni的情况下Ni含量设定为0.001%以上且0.1%以下。但是,过度的添加会使磁通密度降低。

[0086] 选自O、Mg、REM、Ti、Nb、V、Ta、Ge、Pb、As和Ga中的一种或两种以上的合计:0.001～0.05%

[0087] O、Ti、Nb、V、Ta、Pb、As:0.001～0.05%

[0088] O、Ti、Nb、V、Ta、Pb和As形成成为磁特性劣化的原因的碳氮化物、硫化物、氧化物,因此在添加的情况下各自的含量设定为0.001%以上且0.05%以下。

[0089] Mg、REM:0.001～0.05%

[0090] Mg和REM形成稳定的硫化物,具有改善晶粒生长性的效果。为了得到上述效果,Mg和REM合计设定为0.001%以上。但是,即使添加超过0.05%,上述效果也饱和。因此,在添加Mg和REM的情况下,设定为合计0.001%以上且0.05%以下。需要说明的是,在单独含有Mg或REM的情况下,出于与上述同样的理由,Mg或REM的含量为0.001%以上且0.05%以下。

[0091] Ge、Ga:0.001～0.05%

[0092] Ge和Ga具有改善织构的效果。上述效果在Ge、Ga的合计含量低于0.001%时不充分,另一方面,即使超过0.05%,上述效果也饱和,只是合金成本升高。因此,在添加Ge和Ga的情况下,合计含量设定为0.001%以上且0.05%以下。优选合计含量为0.005%以上且0.05%以下。需要说明的是,在单独含有Ge或Ga的情况下,出于与上述同样的理由,Ge或Ga的含量为0.001%以上且0.05%以下。

[0093] 但是,Zr形成成为磁特性劣化的原因的碳氮化物、硫化物,因此优选分别添加小于0.001%。

[0094] 接着,对本发明的无取向性的电磁钢板进行说明。

[0095] ＜晶体取向＞

[0096] 本发明的无取向性电磁钢板的特征在于,其晶体取向优先地具有{100}面取向。在此,上述优先地具有{100}面取向定义为在0≤φ1≤90°、φ2=45°、0≤Φ≤90°的欧拉空间内所示的取向分布函数(ODF:Orientation Distribution Function)中最大的强度在Φ=0°内。该ODF通过在使板厚中心层露出后通过EBSD法、X射线衍射法进行分析而得到。EBSD法

的情况下,在分析中包含至少5000个以上足够数量的晶粒的基础上计算ODF。X射线衍射法的情况下,首先测定{110}、{200}、{211}这3个面的不完全极图,基于此通过ADC法、使用球面调和函数的方法计算ODF。ODF在由φ1、φ2、Φ这3个角度(Bunge法)表示的欧拉空间上求出。即,可以根据ODF得知具有欧拉角(φ1、Φ、φ2)的取向的晶体的存在量。

[0097] 在上述Bunge法中,原本利用φ1:0～360°、φ2:0～360°、Φ:0～180°的空间定义ODF,但由于本发明的无取向性电磁钢板的晶粒为对称性高的立方晶,因此可以以φ1、φ2、Φ均为0～90°来表示取向空间。

[0098] 另外,本发明的无取向性电磁钢板的晶体取向的特征在于,{100}面取向中,被称为Cube取向的{100}＜001＞特别地以高频率生成。即、特征在于与Cube取向对应的φ1=45°、Φ=0°、φ2=45°时的ODF强度高,具体而言需要为4.0以上。优选的Cube取向的ODF强度为5.0以上。

[0099] 另外,表示具有上述欧拉角(φ1、Φ、φ2)的取向的晶体的存在量的织构以将欧拉角(φ1、Φ、φ2)采用直角坐标的三维空间中的密度来表示,但通常大多使用φ2恒定的截面(φ1-Φ截面)来二维地表示。因此,考虑本发明的φ2=45°时的φ1-Φ的织构图(晶体取向密度分布)。在此,ODF强度是指具有欧拉角(φ1、Φ、φ2)的取向的晶体的存在量、即晶体取向密度。

[0100] 最大的强度在Φ=0°内是指在φ2=45°时的φ1-Φ的织构图中在Φ=0°时具有最大的ODF强度的情况。另外,φ1=45°、φ2=45°、Φ=0°时的ODF强度为4以上是指在φ2=45°时的φ1-Φ的织构图中φ1=45°、Φ=0°时的取向的强度为4.0以上。

[0101] ＜轧制方向的平均结晶粒径＞

[0102] 关于本发明的结晶粒径,由使板厚中心层露出并进行研磨、蚀刻的试样表面利用EBSD法、光学显微镜观察例如通过线截距法(JIS G0551)算出。结晶粒径对磁畴结构造成影响,如果粗大则高频铁损增大,因此优选较小。一次再结晶粒的平均结晶粒径通常为0.5mm以下,但在本发明中优选为0.20mm以下。

[0103] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0104] 在炼钢工序中调整为上述说明的适合于本发明的成分组成后的钢坯优选在热轧之前加热至1200℃以下的温度。高于1200℃时,在热轧后的工序中发生MnS、AlN的微细分散,成为抑制晶粒生长的原因。更优选为1150℃以下。

[0105] 加热至上述温度后的钢坯之后进行热轧。此时,优选精轧温度设定为700～900℃、卷取温度设定为600℃以下。精轧温度低于700℃时,热轧时的轧制负荷变大,另一方面,超过900℃时,难以控制热轧时的钢板形状,不优选。另外,卷取温度超过600℃而过高时,微细的AlN分散析出,有可能抑制热轧板退火时、最终退火时的晶粒生长,不优选。

[0106] 另外,本发明必须进行两次冷轧,并且需要提高第一次冷轧的压下率,因此增加热轧的最终板厚这点是关键。优选的最终板厚为3.8mm以上。这是因为,薄的情况下,在之后的冷轧工序中不能进行期望的强压下。需要说明的是,上限没有限制,但过度地变大时,对焊接性等制造性带来障碍,因此优选设为6mm。

[0107] 上述热轧后的钢板之后进行冷轧,但也可以在其之前实施热轧板退火。通过实施热轧板退火,与不实施的情况相比,磁特性方面显示出良好的值,但也有制造成本增大的缺点。

[0108] 另外,如后所述,第一次冷轧需要设为高压下率,但在压下率高达95%以上的情况下,为了减小轧制负荷,优选进行热轧板退火而预先软质化。热轧板退火的气氛可以为氮气气氛,但优选在氢气气氛或Ar气氛下进行。这是因为,如果在氮气气氛下进行退火,则氮侵入钢基中,成为磁特性劣化的原因的氮化硅析出。热轧板退火的均热温度优选为750℃以上,上限优选设定为1200℃。

[0109] 接着,热轧后或热轧板退火后的热轧板通过盐酸酸洗等方法除去氧化皮后,通过二次冷轧法制成冷轧板。上述二次冷轧法是指在两次冷轧之间夹有中间退火工序的冷轧方法。

[0110] 在此,在本发明中,上述第一次冷轧的压下率需要设定为92%以上。小于92%时,后述的最终退火后{100}取向晶粒未充分地形成。需要说明的是,对于压下率的上限,没有特别限制,但为了避免成为过度的轧制负荷,优选设定为98%。

[0111] 另外,第一次冷轧中的钢板的轧制温度优选设定为150℃以上且300℃以下。通过设定为150℃以上,强压下的冷轧时在钢板中形成形变带。接下来的中间退火后,从该形变带更多地形成{100}取向晶粒。另一方面,高于300℃的温度的轧制成为过度的轧制负荷,因此优选设定为300℃以下。

[0112] 继第一次冷轧之后的中间退火优选在600℃以上的温度下进行均热而使轧制组织再结晶。更优选为900℃以上。上限优选设定为1200℃。中间退火的气氛与热轧板退火同样优选设为氢气气氛或Ar气氛。

[0113] 继上述中间退火之后的第二次冷轧的压下率需要设定为30%以上且80%以下。小于30%时,作为再结晶的驱动力的应变未充分蓄积,退火中因应变诱发晶粒生长而使晶粒过度粗大化,使高频铁损增大。优选为40%以上。另一方面,超过80%时,从晶界附近优先地再结晶的对磁特性不利的{111}取向晶粒增大。优选为65%以下。

[0114] 另外,第二次冷轧中的钢板的轧制温度优选设定为50℃以上且150℃以下。通过设定为50℃以上,使C在钢板中的扩散变容易,通过在冷轧中利用C固定位错,从而促进钢带中的形变带的发达,最终退火后,能够从该形变带更多地形成{100}取向晶粒。另一方面,高于150℃的温度的轧制的情况下,上述效果饱和,并且成为过度的轧制负荷,因此优选设定为150℃以下。

[0115] 冷轧的最终板厚、即第二次冷轧后的板厚优选设定为0.20mm以下。板厚变厚时,高频铁损增大,因此优选较薄。更优选为0.10mm以下。另一方面,如果过度地变薄,则不仅冷轧负荷增大或者生产率降低,而且损害钢板的操作性,容易产生弯折等变形,磁特性劣化,因此下限优选设定为0.05mm。

[0116] 冷轧至最终板厚的钢板进行最终退火并通过涂布、烘烤形成绝缘覆膜。为了使轧制组织再结晶而得到0.20mm以下的轧制方向的平均结晶粒径,最终退火的均热温度优选设定为700℃以上。需要说明的是,最终退火的上限温度优选设定为1200℃。这是因为,超过1200℃时,设备上成本升高。另外,最终退火的气氛优选设为氢气气氛、Ar气氛等还原性气氛、或者10kPa以下的减压气氛。

[0117] 但是,如果在组装铁芯后在700℃以上实施去应力退火而使其再结晶,则也可以使第二次冷轧后的最终退火低于700℃,残留未再结晶组织而实现高强度化,在制造转子铁芯和定子铁芯后对定子铁芯实施后述的去应力退火而使其完全再结晶从而实现低铁损化。这

样在最终退火中残留未再结晶组织而通过后述的去应力退火使其完全再结晶的情况下,本发明的晶体织构的规定适用于去应力退火后的钢板。

[0118] 另外,覆膜的形成可以与最终退火另外地进行,但在本发明中,形成绝缘覆膜的工序也包含在最终退火工序中。

[0119] 另外,在本发明中,在上述最终退火工序中,可以利用CVD法、PVD法等公知的方法进行渗硅处理使钢中含有Si。

[0120] 电动机铁芯通常由转子铁芯和定子铁芯构成。用于上述转子铁芯的电磁钢板由于要耐受高速旋转所引起的离心力,优选为高强度。另一方面,为了实现电动机的小型化和高输出化,用于上述定子铁芯的电磁钢板优选为高磁通密度且低铁损。因此,在本发明中,从通过上述说明的本发明的制造方法得到的无取向性电磁钢板上裁取加工成铁芯形状的转子铁芯材料和定子铁芯材料,转子铁芯通过层叠上述转子铁芯材料而制作,定子铁芯通过层叠上述定子铁芯材料后实施去应力退火来制作。将通过上述方法制造的转子铁芯和定子铁芯组装成电动机铁芯的电动机具有高转矩且高效率的优良特性。

[0121] 在此,上述去应力退火优选在700℃以上的温度下进行。这是因为,低于700℃时,在最终退火后的钢板中残留未再结晶组织的情况下,难以完全地再结晶,除此以外,冲裁加工时的应变未被除去。另外,该去应力退火的气氛优选设为非氧化性的气氛。

[0122] 实施例

[0123] 将具有表3-1和表3-2所示的化学成分组成的钢在低压气氛下熔解,进行铸造而制成钢锭后,进行切削加工而制作钢坯。

[0124]

[表3-1]

钢符号	化学成分(质量%)						备注
	C	Si	Mn	P	S	其它成分	
A	0.0020	3.5	0.04	0.002	0.0008	—	发明钢
B	0.0010	2.5	0.10	0.050	0.0020	Ca:0.03	发明钢
C	0.0030	3.2	0.03	0.007	0.0015	Al:2.0	发明钢
D	0.0020	3.2	0.05	—	0.0007	Cu:0.03, Al:0.5	发明钢
E	0.0020	3.5	0.25	—	0.0008	Sb:0.05	发明钢
F	0.0010	3.2	0.25	0.030	0.0010	B:0.005, Cr:0.01, Sn:0.03	发明钢
G	0.0015	1.5	0.03	0.070	0.0006	—	发明钢
H	0.0014	1.1	0.50	0.050	0.0015	—	发明钢
I	0.0025	4.4	0.10	0.010	0.0018	—	发明钢
J	0.0021	2.8	1.00	0.010	0.0022	—	发明钢
K	0.0029	2.8	1.50	0.010	0.0022	—	发明钢
L	0.0029	2.8	1.90	0.010	0.0022	—	发明钢
M	0.0024	3.2	0.30	0.010	0.0015	N:0.0035	发明钢
N	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Mo:0.04	发明钢
O	0.0019	2.8	0.50	0.010	0.0019	Nb:0.0011	发明钢
P	0.0023	3.6	0.20	0.010	0.0020	N:0.0028, Cu:0.04, Mo:0.05	发明钢
Q	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ni:0.05	发明钢
R	0.0025	3.4	0.80	0.008	0.0011	Cr:0.05	发明钢
S	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	Sn:0.04	发明钢

[表3-2]

[0125]

钢符号	化学成分（质量%）						备注
	C	Si	Mn	P	S	其它成分	
T	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Zn:0.003%	发明钢
U	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Zn:0.050%	发明钢
V	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Co:0.025%	发明钢
W	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Co:0.070%	发明钢
X	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	W:0.050%	发明钢
Y	0.0021	3.1	0.15	0.010	0.0022	Zn:0.004%, Co：0.01%	发明钢
Z	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Mg:0.002%	发明钢
A A	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Mg:0.03%	发明钢
B B	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	REM:0.003%	发明钢
C C	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	REM:0.040%	发明钢
D D	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Mg:0.005%, REM:0.01%	发明钢
E E	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ge：0.002%	发明钢
F F	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ge：0.01%	发明钢
G G	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ge：0.04%	发明钢
H H	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ga：0.005%	发明钢
I I	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ga：0.030%	发明钢
J J	0.0028	3.8	0.40	0.006	0.0026	Ge：0.004%, Ga：0.005%	发明钢
K K	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	O:0.005%	发明钢
L L	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	Ti:0.0035%	发明钢
M M	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	Nb:0.006%	发明钢
N N	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	V:0.005%	发明钢
O O	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	Ta:0.007%	发明钢
P P	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	Pb:0.001%	发明钢
Q Q	0.0026	4.2	0.10	0.005	0.0012	As:0.005%	发明钢

[0126] 将上述钢坯加热至1100℃,进行热轧而制成表4-1～4-3所示板厚的热轧板。热轧的精轧温度设为1000℃～900℃,卷取温度设为600～550℃。接着,在表4-1～4-3所示的条件下对上述热轧板实施热轧板退火,然后进行夹有中间退火的两次冷轧,进行最终退火而制成无取向性电磁钢板。需要说明的是,对于一部分钢板,作为最终退火,通过CVD法实施渗硅处理,进行扩散退火。此时,热轧板退火在氮气气氛中进行,其它退火全部在Ar气氛中进行。

[0127] 接着,对于上述最终退火后的钢板,在以下说明的条件下测定磁特性、平均结晶粒径和织构。

[0128] 关于磁特性,从最终退火后的各钢板分别切割出长度方向为轧制方向以及长度方向为轧制正交方向的各2片长度280mm×宽度30mm的试验片,4片1组,通过爱泼斯坦试验测定磁通密度B_{50}和铁损$W_{10/400}$,求出它们的平均值。需要说明的是,对于一部分钢板,从最终退火板冲裁出外径100mmφ、内径60mmφ的环,用丙烯酸类胶粘剂胶粘层叠至厚度达到10mm,制作环形铁芯,实施800℃×10分钟的去应力退火,然后测定磁特性。

[0129] 关于织构和平均结晶粒径,从最终退火后的各钢板切割出试验片,进行化学研磨而使板厚中心层露出,对于上述中心层面,织构使用X射线来测定,另外,平均结晶粒径由显微镜的组织通过线截距法来测定。

[0130]

[表4-1]

钢板No.	钢符号	热轧最终厚度(mm)	热轧板退火(温度×时间)	第一次冷轧		中间退火(温度×时间)	第二次冷轧		最终退火(温度×时间)	渗硅处理		去应力退火的有无
				压下率(%)	中间厚度(mm)		压下率(%)	最终厚度(mm)		实施有无	处理后Si(质量%)	
1	D	1.8	900℃×30秒	72.2	0.50	900℃×60秒	60.0	0.20	1000℃×10秒	无	—	无
2	D	1.8	900℃×30秒	86.1	0.25	900℃×60秒	64.0	0.09	1000℃×10秒	无	—	无
3	D	1.8	900℃×30秒	90.6	0.17	900℃×60秒	64.7	0.06	1000℃×10秒	无	—	无
4	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.25	1000℃×20秒	60.0	0.10	950℃×10秒	无	—	无
5	A	5.2	1000℃×10秒	92.3	0.40	1000℃×20秒	50.0	0.20	950℃×10秒	无	—	无
6	B	4.0	1000℃×10秒	95.0	0.20	950℃×30秒	65.0	0.07	1200℃×90秒	CVD	6.5	无
7	C	5.4	950℃×30秒	93.5	0.35	1000℃×20秒	42.9	0.20	1000℃×10秒	无	—	无
8	D	4.5	900℃×30秒	94.9	0.23	900℃×60秒	56.5	0.10	1000℃×10秒	无	—	无
9	E	3.8	无	94.7	0.20	1000℃×20秒	50.0	0.10	1000℃×10秒	无	—	无
10	F	4.2	900℃×30秒	95.2	0.20	900℃×60秒	55.0	0.09	950℃×10秒	无	—	无
11	G	4.0	900℃×30秒	95.0	0.20	950℃×30秒	60.0	0.08	1200℃×90秒	CVD	6.5	无
12	E	5.0	1000℃×20秒	96.0	0.20	1000℃×20秒	50.0	0.10	600℃×10秒	无	—	有(800℃×10分钟)
13	H	4.0	无	93.8	0.25	900℃×30秒	60.0	0.10	920℃×10秒	无	—	无
14	I	4.5	900℃×30秒	93.3	0.30	950℃×30秒	40.0	0.18	950℃×10秒	无	—	无
15	J	4.6	950℃×30秒	92.4	0.35	950℃×30秒	57.1	0.15	1000℃×10秒	无	—	无
16	K	5.0	980℃×30秒	92.2	0.39	950℃×30秒	74.4	0.10	1000℃×10秒	无	—	无
17	L	5.3	950℃×30秒	92.5	0.40	950℃×30秒	75.0	0.10	1000℃×10秒	无	—	无
18	M	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.10	980℃×10秒	无	—	无
19	N	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.10	980℃×10秒	无	—	无
20	O	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.10	980℃×10秒	无	—	无
21	P	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.10	980℃×10秒	无	—	无
22	Q	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.10	980℃×10秒	无	—	无
23	R	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.10	980℃×10秒	无	—	无
24	S	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.10	980℃×10秒	无	—	无
25	T	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.10	980℃×10秒	无	—	无

[0131]

[表4-2]

钢板No.	钢符号	热轧最终厚度(mm)	热轧板退火(温度×时间)	第一次冷轧		中间退火(温度×时间)	第二次冷轧		最终退火(温度×时间)	渗硅处理		去应力退火的有无
				压下率(%)	中间厚度(mm)		压下率(%)	最终厚度(mm)		实施有无	处理后Si(质量%)	
26	U	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.1	980℃×10秒	无	—	无
27	V	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.1	980℃×10秒	无	—	无
28	W	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.1	980℃×10秒	无	—	无
29	X	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.1	980℃×10秒	无	—	无
30	Y	5.2	960℃×30秒	92.3	0.40	980℃×30秒	75.0	0.1	980℃×10秒	无	—	无
31	Z	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
32	AA	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
33	BB	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
34	CC	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
35	DD	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
36	EE	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
37	FF	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
38	GG	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
39	HH	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
40	II	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
41	JJ	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
42	KK	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
43	LL	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
44	MM	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
45	NN	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
46	OO	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
47	PP	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
48	QQ	4.9	960℃×30秒	92.9	0.35	980℃×30秒	71.4	0.1	980℃×10秒	无	—	无
49	A	5.2	1000℃×10秒	92.3	0.40	1000℃×20秒	50.0	0.2	950℃×10秒	无	—	无
50	A	5.2	1000℃×10秒	92.3	0.40	1000℃×20秒	50.0	0.2	950℃×10秒	无	—	无
51	A	5.2	1000℃×10秒	92.3	0.40	1000℃×20秒	50.0	0.2	950℃×10秒	无	—	无

[0132]

[表4-3]

钢板No.	钢符号	热轧最终厚度(mm)	热轧板退火(温度×时间)	第一次冷轧		中间退火(温度×时间)	第二次冷轧		最终退火(温度×时间)	渗硅处理		去应力退火的有无
				压下率(%)	中间厚度(mm)		压下率(%)	最终厚度(mm)		实施有无	处理后Si(质量%)	
52	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.14	1000℃×20秒	28.6	0.10	950℃×10秒	无	—	无
53	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.15	1000℃×20秒	33.3	0.10	950℃×10秒	无	—	无
54	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.45	1000℃×20秒	77.8	0.10	950℃×10秒	无	—	无
55	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.60	1000℃×20秒	83.3	0.10	950℃×10秒	无	—	无
56	A	4.2	900℃×30秒	94.0	0.25	1000℃×20秒	60.0	0.10	950℃×10秒	无	—	无

[0133] 将上述测定结果示于表5-1～5-3中。需要说明的是,磁特性根据钢成分(特别是Si、Mn)、板厚而大幅变化,因此通过与考虑这些因素的下式定义的基准值进行比较来评价

磁特性。

[0134] B_{50}基准值=1.78-(Si×0.04+Mn×0.15)

[0135] $W_{10/400}$基准值=17.6×t+7.3

[0136] 在此,上述式中的Si、Mn为各成分的含量(质量%),t为钢板板厚(mm)。

[0137] 根据上述表5-1～5-3,可以得出以下结论。

[0138] 与第一次冷轧压下率为72.2～90.6%的比较例(No.1～3)相比,采用二次冷轧法且使第一次冷轧压下率为92%以上的发明例(No.4～51)得到了良好的高频铁损。认为这是因为,根据ODF分析值,在发明例(No.4～51)中Cube取向发达,在比较例(No.1～3)中与Cube取向相比在磁特性方面不利的{111}取向发达。

[0139] 另外,平均结晶粒径为0.20mm以下的发明例(No.4、5、8、9、10、13～51)的高频铁损$W_{10/400}$为6.8～8.5W/kg,与此相对,平均结晶粒径为0.23mm的发明例(No.7)的高频铁损$W_{10/400}$为9.1W/kg,因此可知,通过使平均结晶粒径为0.20mm以下,能够进一步改善高频铁损。

[0140]

[表5-1]

钢板No.	第一次冷轧	第二次冷轧	平均结晶粒径	织构		磁特性				备注
	轧制温度(℃)	轧制温度(℃)	(mm)	ODF最大值Φ(°)	Cube的ODF	B_{50} (T)	B_{50}基准值(T)	$W_{10/400}$ (W/kg)	$W_{10/400}$基准值(W/Kg)	测定方法	
1	140	130	0.12	55	2.1	1.63	1.65	11.1	10.8	爱泼斯坦	比较例
2	180	170	0.10	55	1.9	1.59	1.65	9.2	8.9	爱泼斯坦	比较例
3	200	160	0.09	55	3.6	1.55	1.65	8.7	8.4	爱泼斯坦	比较例
4	240	130	0.11	0	5.8	1.66	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
5	220	80	0.16	0	6.1	1.70	1.64	8.1	10.8	爱泼斯坦	发明例
6	270	150	0.38	0	5.7	1.55	1.52	6.2	8.5	爱泼斯坦	发明例
7	240	70	0.23	0	6.8	1.68	1.65	9.1	10.8	爱泼斯坦	发明例
8	260	60	0.13	0	5.2	1.67	1.65	7.0	9.1	爱泼斯坦	发明例
9	260	55	0.18	0	7.4	1.71	1.64	7.2	9.1	爱泼斯坦	发明例
10	270	60	0.11	0	6.1	1.68	1.65	7.0	8.9	爱泼斯坦	发明例
11	270	100	0.35	0	6.5	1.56	1.52	6.4	8.7	爱泼斯坦	发明例
12	280	60	0.19	0	7.0	1.70	1.64	7.3	9.1	环形铁芯	发明例
13	240	100	0.07	0	5.7	1.78	1.73	8.1	9.1	爱泼斯坦	发明例
14	240	50	0.09	0	6.8	1.69	1.60	8.2	10.5	爱泼斯坦	发明例
15	220	70	0.13	0	6.1	1.72	1.65	7.9	9.9	爱泼斯坦	发明例
16	210	120	0.14	0	6.5	1.71	1.65	7.4	9.1	爱泼斯坦	发明例
17	220	130	0.13	0	6.7	1.70	1.64	7.1	9.1	爱泼斯坦	发明例
18	220	130	0.12	0	6.1	1.70	1.67	7.3	9.1	爱泼斯坦	发明例
19	220	130	0.12	0	6.2	1.70	1.67	7.2	9.1	爱泼斯坦	发明例
20	230	130	0.12	0	6.6	1.72	1.68	7.5	9.1	爱泼斯坦	发明例
21	220	130	0.12	0	5.9	1.68	1.65	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
22	220	110	0.12	0	6.8	1.68	1.64	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
23	200	110	0.12	0	6.7	1.69	1.65	7.0	9.1	爱泼斯坦	发明例
24	210	110	0.12	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
25	220	130	0.13	0	6.3	1.71	1.67	7.1	9.1	爱泼斯坦	发明例

[0141]

[表5-2]

钢板No.	第一次冷轧	第二次冷轧	平均结晶粒径	织构		磁特性				备注
	轧制温度(℃)	轧制温度(℃)	(mm)	ODF最大值Φ(°)	Cube的ODF	B_{50} (T)	B_{50}基准值(T)	$W_{10/400}$ (W/kg)	$W_{10/400}$基准值(W/Kg)	测定方法	
26	220	130	0.14	0	6.4	1.71	1.67	7.1	9.1	爱泼斯坦	发明例
27	220	130	0.12	0	6.5	1.72	1.67	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
28	220	130	0.12	0	6.6	1.72	1.67	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
29	220	130	0.11	0	6.3	1.70	1.67	7.1	9.1	爱泼斯坦	发明例
30	220	130	0.15	0	6.6	1.72	1.67	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
31	220	110	0.14	0	6.9	1.69	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
32	220	110	0.12	0	6.8	1.68	1.64	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
33	220	110	0.12	0	6.8	1.68	1.64	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
34	220	110	0.14	0	6.9	1.68	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
35	220	110	0.15	0	6.9	1.68	1.64	6.7	9.1	爱泼斯坦	发明例
36	220	110	0.12	0	7.0	1.69	1.64	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
37	220	110	0.12	0	7.0	1.69	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
38	220	110	0.12	0	7.1	1.69	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
39	220	110	0.12	0	6.9	1.69	1.64	6.8	9.1	爱泼斯坦	发明例
40	220	110	0.12	0	6.9	1.69	1.64	6.7	9.1	爱泼斯坦	发明例
41	220	110	0.12	0	7.1	1.70	1.64	6.7	9.1	爱泼斯坦	发明例
42	210	110	0.11	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
43	210	110	0.10	0	6.4	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
44	210	110	0.10	0	6.4	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
45	210	110	0.10	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
46	210	110	0.10	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
47	210	110	0.10	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
48	210	110	0.11	0	6.5	1.68	1.63	6.9	9.1	爱泼斯坦	发明例
49	130	80	0.16	0	5.8	1.68	1.64	8.3	10.8	爱泼斯坦	发明例
50	220	30	0.16	0	5.7	1.68	1.64	8.5	10.8	爱泼斯坦	发明例
51	220	180	0.16	0	5.7	1.68	1.64	8.5	10.8	爱泼斯坦	发明例

[0142]

[表5-3]

钢板No.	第一次冷轧	第二次冷轧	平均结晶粒径(mm)	织构		磁特性				备注
	轧制温度(℃)	轧制温度(℃)		ODF最大值Φ(°)	Cube的ODF	B_{50}(T)	B_{50}基准值(T)	$W_{10/400}$(W/kg)	$W_{10/400}$基准值(W/Kg)	测定方法	
52	240	130	0.11	0	3.6	1.61	1.64	9.9	9.1	爱泼斯坦	比较例
53	240	130	0.11	0	5.4	1.65	1.64	7.1	9.1	爱泼斯坦	发明例
54	240	130	0.11	0	5.5	1.65	1.64	7.0	9.1	爱泼斯坦	发明例
55	240	130	0.11	0	3.8	1.62	1.64	9.4	9.1	爱泼斯坦	比较例
56	320	130	0.11	0	5.2	1.65	1.64	7.2	9.1	爱泼斯坦	发明例

[0143] 产业上的可利用性

[0144] 根据本发明,能够制造磁通密度高且高频铁损也低的无取向性电磁钢板,具有能

够将本无取向性电磁钢板应用于要求小型且高速旋转电动机的电气设备等的可能性。