



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120187883 A

(43) 申请公布日 2025. 06. 20

(21) 申请号 202380080245.7

(22) 申请日 2023.10.30

(30) 优先权数据

2022-209327 2022.12.27 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.05.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/039033 2023.10.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/142579 JA 2024.07.04

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 末广龙一 大久保智幸 财前善彰

斋藤勇人 宫本幸乃

(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)

G22C 38/60 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

G21D 8/12 (2006.01)

权利要求书1页 说明书15页 附图2页

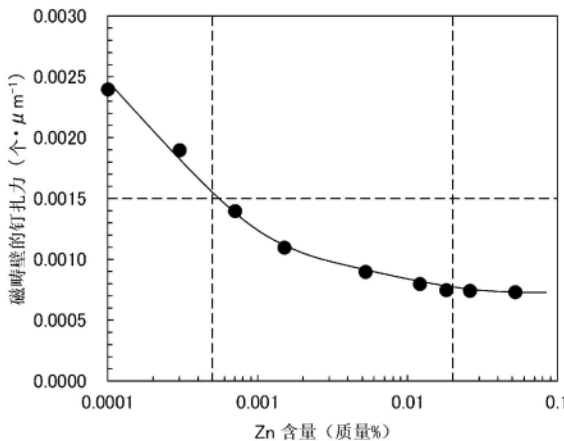
(54) 发明名称

冲裁加工性优良的无取向性电磁钢板

(57) 摘要

一种低铁损且冲裁加工性优良的无取向性电磁钢板,其具有含有以质量%计C:0.0050%以下、Si:2.5~6.5%、Mn:0.05~2.0%、P:0.10%以下、S:0.0050%以下、Al:0.30~2.0%、N:0.010%以下、Pb:0.00010~0.010%、Zn:0.0005~0.020%且上述Pb与Zn的含量(质量%)之比[Zn]/[Pb]为1.58以上的成分组成,在将轧制方向的板厚截面内存在的粒径0.10 μm以上且小于5.00 μm的第二相粒子的粒径分布用将粒径设为组、将个数密度设为频数、将组距设为0.10 μm的直方图表示时,由上述粒径分布通过下述(3)式计算出的磁畴壁的钉扎力为0.0015以下,

$\sum_{i=1}^n \pi d_i N_{Si} \dots (3)$ 在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{Si} :组i的频数(个/μm²)。



1. 一种无取向性电磁钢板,其特征在于,

具有如下成分组成:含有C:0.0050质量%以下、Si:2.5~6.5质量%、Mn:0.05~2.0质量%、P:0.10质量%以下、S:0.0050质量%以下、Al:0.30~2.0质量%、N:0.010质量%以下、Pb:0.00010~0.010质量%、Zn:0.0005~0.020质量%、Ti:0.0050质量%以下、Nb:0.0050质量%以下、V:0.0050质量%以下和O:0.0050质量%以下,并且,在将Pb和Zn的含量(质量%)分别表示为[Pb]和[Zn]时,所述[Pb]和[Zn]满足下述(1)式,余量由Fe和不可避免的杂质构成,

在将轧制方向的板厚截面内存在的粒径 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $5.00\mu\text{m}$ 的第二相粒子的粒径分布用将粒径设为组、将个数密度设为频数、将组距设为 $0.10\mu\text{m}$ 的直方图表示时,所述粒径分布满足下述(2)式,

$$[\text{Zn}]/[\text{Pb}] \geq 1.58 \cdots (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \pi d_i N_{Si} \leq 0.0015 \cdots (2)$$

在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{Si} :组i的频数(个/ μm^2)。

2. 根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,轧制方向的板厚截面内存在的粒径 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $5.00\mu\text{m}$ 的第二相粒子的平均粒径为 $0.40\mu\text{m}$ 以上。

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还含有下述A~I组中的至少1组的成分,

- A组:Sn和Sb中的至少一种:合计0.005~0.20质量%;
- B组:Ca、Mg和REM中的至少一种:合计0.0005~0.020质量%;
- C组:Cr、Cu和Ni中的至少一种:合计0.01~1.0质量%;
- D组:Mo:0.001~0.050质量%和W:0.001~0.050质量%中的至少一种;
- E组:B:0.0001~0.0040质量%;
- F组:Co:0.0005~0.0200质量%;
- G组:Ta:0~0.0020质量%;
- H组:As:0~0.020质量%;
- I组:Ge:0~0.030质量%和Ga:0~0.030质量%中的至少一种。

冲裁加工性优良的无取向性电磁钢板

技术领域

[0001] 本发明涉及低铁损并且冲裁加工性也优良的无取向性电磁钢板。

背景技术

[0002] 近年来,对节能化的要求提高,对于电气设备也强烈要求高效率化。因此,对于作为电气设备的铁芯材料被广泛使用的无取向性电磁钢板而言,也期望铁损降低等特性的进一步提高。以往,对于上述要求,通过大量添加Si、Al等提高钢的电阻率的成分或者降低板厚来应对。

[0003] 另一方面,在采用将具有芯形状的钢板(芯材)层叠而成的叠片铁芯作为电动机等的铁芯(芯)的情况下,作为从无取向性电磁钢板上裁取芯材的方法,通常使用冲裁加工。但是,已知由于因该冲裁加工而被导入到切断部附近的应变、塌边、毛刺这样的切断端面的形状变化,铁芯的磁特性劣化。

[0004] 因此,关于提高无取向性电磁钢板的冲裁加工性的对策,迄今为止进行了大量的研究。例如,专利文献1中公开了一种无取向性电磁钢,其含有Si:1.5质量%以下、Mn:0.4质量%以上且1.5质量%以下、sol.Al:0.01质量%以上且0.04质量%以下、Ti:0.0015质量%以下、N:0.0030质量%以下、S:0.0010质量%以上且0.0040质量%以下、以B/N计为0.5以上且1.5以下的B,余量由Fe和不可避免的杂质构成,使含有Mn的硫化物中的以个数比例计10%以上与B析出物复合析出,形成适当的结晶粒径,由此确保了冲裁加工性。

[0005] 另外,专利文献2中公开了一种磁特性和冲裁加工性优良的无取向性电磁钢,其具有含有C:0.003质量%以下、Si:1.0质量%以上且3.0质量%以下、Al:0.1质量%以上且3.0质量%以下、Mn:0.1质量%以上且1.0质量%以下、Al和Si的含量满足 $0.2 \leq Al/(Si+Al) \leq 0.6$ 的关系、余量由Fe和不可避免的杂质构成的钢成分,并且,由(屈服强度/拉伸强度)表示的屈服比为0.6以上,维氏硬度为200以下。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:国际公开第2005/100627号

[0009] 专利文献2:日本特开2015-214758号公报

发明内容

[0010] 发明所要解决的问题

[0011] 然而,上述专利文献1中记载的电磁钢板的Si含量为1.5质量%以下,不能直接应用于含有更高的Si的无取向性电磁钢板。另外,专利文献2中记载的电磁钢板需要维氏硬度为200以下,因此同样不能应用于Si含量高的无取向性电磁钢板。而且,专利文献1中记载的无取向性电磁钢板是通过控制结晶粒径来提高冲裁加工性的技术,另外,专利文献2中记载的无取向性电磁钢板是通过控制母相的机械特性来提高冲裁加工性的技术,但是仅通过这些方法难以实现冲裁加工性的进一步提高。

[0012] 本发明是鉴于现有技术所存在的上述问题而完成的,其目的在于,提供通过与现有技术不同的方法在不导致铁损特性劣化的情况下提高冲裁加工性的高Si的无取向性电磁钢板。

[0013] 用于解决问题的方法

[0014] 发明人为了实现上述课题而反复进行了深入研究。其结果发现,通过在钢原材中添加Pb,能够实现钢板的冲裁加工性的提高,并且,对于上述Pb添加所导致的磁特性的劣化,通过添加适当量的Zn而将钢板中存在的夹杂物等第二相粒子的粒径分布控制在适当范围,能够在不导致铁损劣化的情况下提高冲裁加工性,从而开发出本发明。

[0015] 基于上述见解的本发明为一种无取向性电磁钢板,其特征在于,

[0016] 具有如下成分组成:含有C:0.0050质量%以下、Si:2.5~6.5质量%、Mn:0.05~2.0质量%、P:0.10质量%以下、S:0.0050质量%以下、Al:0.30~2.0质量%、N:0.010质量%以下、Pb:0.00010~0.010质量%、Zn:0.0005~0.020质量%、Ti:0.0050质量%以下、Nb:0.0050质量%以下、V:0.0050质量%以下和O:0.0050质量%以下,并且,在将Pb和Zn的含量(质量%)分别表示为[Pb]和[Zn]时,上述[Pb]和[Zn]满足下述(1)式,余量由Fe和不可避免的杂质构成,

[0017] $[Zn]/[Pb] \geq 1.58 \dots (1)$

[0018] 在将轧制方向的板厚截面内存在的粒径 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $5.00\mu\text{m}$ 的第二相粒子的粒径分布用将粒径设为组、将个数密度设为频数、将组距设为 $0.10\mu\text{m}$ 的直方图表示时,上述粒径分布满足下述(2)式,

[0019] $\sum_{i=1}^n \pi d_i N_{Si} \leq 0.0015 \dots (2)$

[0020] 在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{Si} :组i的频数(个/ μm^2)。

[0021] 本发明的上述无取向性电磁钢板的特征在于,轧制方向的板厚截面内存在的粒径 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $5.00\mu\text{m}$ 的第二相粒子的平均粒径为 $0.40\mu\text{m}$ 以上。

[0022] 另外,本发明的上述无取向性电磁钢板的特征在于,在上述成分组成的基础上还含有下述A~I组中的至少1组的成分。

[0023] • A组:Sn和Sb中的至少一种:合计0.005~0.20质量%

[0024] • B组:Ca、Mg和REM中的至少一种:合计0.0005~0.020质量%

[0025] • C组:Cr、Cu和Ni中的至少一种:合计0.01~1.0质量%

[0026] • D组:Mo:0.001~0.050质量%和W:0.001~0.050质量%中的至少一种

[0027] • E组:B:0.0001~0.0040质量%

[0028] • F组:Co:0.0005~0.0200质量%

[0029] • G组:Ta:0~0.0020质量%

[0030] • H组:As:0~0.020质量%

[0031] • I组:Ge:0~0.030质量%和Ga:0~0.030质量%中的至少一种

[0032] 发明效果

[0033] 根据本发明,能够在不导致铁损特性劣化的情况下提高Si含量高的无取向性电磁钢板的冲裁加工性,因此,能够提供适合作为通过冲裁加工进行制造的电动机、变压器等的铁芯原材的无取向性电磁钢板。

附图说明

[0034] 图1是示出Pb含量对冲裁加工后的切断面的毛刺高度带来的影响的图。

[0035] 图2是示出Zn含量对磁畴壁的钉扎力带来的影响的图。

[0036] 图3是示出磁畴壁的钉扎力对铁损带来的影响的图。

具体实施方式

[0037] 首先,对开发出本发明的实验进行说明。

[0038] (实验1)

[0039] 将具有含有C:0.0020质量%、Si:2.9质量%、Mn:0.2质量%、P:0.01质量%、S:0.0020质量%、Al:0.4质量%、N:0.0012质量%、Ti:0.0010质量%、Nb:0.0001质量%、V:0.0005质量%和O:0.0010质量%、还以在0.00001~0.022质量%的范围内各种变化的方式含有Pb、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢在真空熔炼炉中熔炼,并进行铸造而制成钢锭。接着,对上述钢锭进行热轧而制成板厚为1.8mm的热轧板,对该热轧板实施1000℃×30秒的热轧板退火后,进行酸洗,并进行冷轧而制成最终板厚为0.25mm的冷轧板,对该冷轧板实施1000℃×10秒的最终退火。

[0040] 接着,从上述最终退火后的钢板上通过将间隙设定为5%的冲裁加工截取直径为10mm的圆盘状的试验片。此时,对于各钢板,使用新的模具进行冲裁加工,对于100万次冲裁加工后的圆盘状试验片,测定在轧制方向的两端这2处切断端部产生的毛刺的高度,由它们的平均值来评价该钢板的冲裁加工性。

[0041] 图1示出了钢原材中的Pb含量与100万次冲裁加工后的毛刺高度的关系。由该图可知,通过添加0.00010质量%以上的Pb,毛刺高度降低至30μm以下,冲裁加工性提高。

[0042] 关于冲裁加工性由于添加Pb而提高的理由,考虑如下。Pb在钢中未固溶,而是以微细的粒状(金属夹杂物)形式分散在钢中,因此,在冲裁加工时应力集中于这些金属夹杂物而促进龟裂的产生、传播,模具的磨损得到减轻。

[0043] 上述实验的结果确认了,通过适量添加Pb,冲裁加工性提高。但是,另一方面明确了,由于Pb的添加,晶粒细化,产生磁特性、特别是铁损特性劣化这样的新问题。因此,发明人着眼于夹杂物等第二相粒子对铁损特性带来的影响,进行了对得到良好的铁损所需的第二相粒子的粒径和粒径分布进行调查的以下实验。

[0044] (实验2)

[0045] 将具有含有C:0.0020质量%、Si:3.1质量%、Mn:0.3质量%、P:0.01质量%、S:0.0020质量%、Al:0.8质量%、N:0.0010质量%、Pb:0.003质量%、Ti:0.0015质量%、Nb:0.0002质量%、V:0.0010质量%和O:0.0010质量%、还以在0.0001~0.052质量%的范围内各种变化的方式含有Zn、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢在真空熔炼炉中熔炼,并进行铸造而制成钢锭。接着,对上述钢锭进行热轧而制成板厚为1.5mm的热轧板,对该热轧板实施1020℃×30秒的热轧板退火后,进行酸洗,并进行冷轧而制成最终板厚为0.25mm的冷轧板,然后对该冷轧板实施1000℃×10秒的最终退火。

[0046] 接着,从上述最终退火后的钢板上通过剪切加工截取以长度方向为轧制方向(L方向)或板宽方向(C方向)的宽度30mm×长度280mm的2种试验片,在爱泼斯坦试验机上层叠相同数量的L方向和C方向的试验片,通过JIS C 2550中记载的方法测定铁损 $W_{10/400}$ 。

[0047] 另外,使用扫描型显微镜SEM在 2mm^2 以上的范围内观察试验片的轧制方向的板厚截面(总板厚),测定在上述范围内存在的第二相粒子的粒径。在此,上述第二相粒子是指成为除作为母相的铁素体相以外的相的夹杂物或析出物,具体而言,是指氧化物系夹杂物、碳氮化物、硫化物、硼化物以及它们的复合物。另外,上述第二相粒子的粒径是指轧制方向的费雷特直径和板厚方向的费雷特直径的平均值。需要说明的是,测定粒径的第二相粒子以上述粒径为 $0.10\mu\text{m}$ 以上的粒子为对象。这是因为,粒径小于 $0.10\mu\text{m}$ 的粒子与磁畴壁的相互作用小,磁畴壁的钉扎效应小。另外, $5.00\mu\text{m}$ 以上的粒子也由于与磁畴壁的相互作用小而从测定对象中排除。需要说明的是,虽然本发明中第二相粒子的粒径的测定使用SEM,但是只要是能够观察到 $0.10\mu\text{m}$ 以上的粒子的方法就没有特别限制。但是,从试样调整容易性、能够进行大范围观察方面出发,优选使用SEM。

[0048] 接着,将如上测定的第二相粒子的粒径的测定数据按粒径 $0.10\mu\text{m}$ 为间距进行划分,求出各区间内具有的第二相粒子的个数,用该值除以测定面积,求出各区间内存在的第二相粒子的个数密度 N_s (个/ μm^2)。接着,制作将各区间内具有的第二相粒子的粒径(组中值)视为该区间的中心值(例如,将粒径 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $0.20\mu\text{m}$ 的区间内具有的粒子的粒径作为 $0.15\mu\text{m}$ 进行处理)、将组设为第二相粒子的粒径、将频数设为第二相粒子的个数密度 N_{si} 、将组距设为 $0.10\mu\text{m}$ 的直方图。

[0049] 接着,根据如上求出的直方图,求出由以下的(3)式定义的指标值(个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$)。该指标值表示抑制磁畴壁的移动的力的大小。因此,在本发明中,将抑制上述磁畴壁的移动的力也称为“磁畴壁的钉扎力”。

$$[0050] \quad \sum_{i=1}^n \pi d_i N_{si} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

[0051] 在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{si} :组i的频数(个/ μm^2)。

[0052] 图2示出上述磁畴壁的钉扎力与Zn含量的关系。由该图可知,随着Zn含量增大,磁畴壁的钉扎力降低,特别是,Zn添加量为 0.0005 质量%以上时,磁畴壁的钉扎力降低至 0.0015 个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下。另外,图3示出上述磁畴壁的钉扎力与铁损 $W_{10/400}$ 的关系。由该图可知,随着磁畴壁的钉扎力降低,铁损 $W_{10/400}$ 也降低,特别是,磁畴壁的钉扎力为 0.0015 个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下时,铁损 $W_{10/400}$ 显示出 10.0W/kg 以下的良好的值。由上述结果可知,要抑制Pb添加所导致的铁损劣化,添加Zn而使第二相粒子的粒径分布适当化、将由上述(3)式定义的“磁畴壁的钉扎力”降低至规定值以下是重要的。

[0053] 需要说明的是,关于如上所述Zn的添加对磁畴壁的钉扎力带来影响的机理,目前尚未充分明确,但发明人推测如下。

[0054] 钢水中的Zn浓度增加时,Zn与钢水中的O、S结合而形成氧化物、硫化物,被排出到体系外或者粗大地生长,微细的氧化物系夹杂物、微细的析出物的形成被抑制。其结果是,磁畴壁的钉扎力降低,得到良好的铁损。

[0055] 本发明是对上述新的见解进一步加以研究而开发的。

[0056] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的成分组成进行说明。

[0057] C: 0.0050 质量%以下

[0058] 制品板中含有的C是由于磁时效而形成碳化物并析出、使铁损特性劣化的有害元素。因此,钢原材中含有的C限制为 0.0050 质量%以下。优选为 0.0040 质量%以下。需要说明的是,C的下限没有特别规定,但从抑制精炼工序中的脱碳成本的观点出发,优选为约 0.0001

质量%。

[0059] Si:2.5~6.5质量%

[0060] Si是对提高钢的电阻率、降低铁损有效的元素。另外,还具有通过固溶强化提高钢的强度的效果。因此,在本发明中,含有2.5质量%以上的Si。另一方面, Si大于6.5质量%时,轧制制造变得困难,因此上限设为6.5质量%。优选为2.8~6.0质量%的范围。

[0061] Mn:0.05~2.0质量%

[0062] Mn与Si同样是对提高钢的电阻率和强度有用的元素。另外,也是形成硫化物而提高热加工性的元素,因此,在本发明中含有0.05质量%以上。另一方面,大于2.0质量%的Mn的添加会引起钢坯裂纹等,使炼钢工序中的操作性变差,因此上限设为2.0质量%。优选为0.1~1.5质量%的范围。

[0063] P:0.10质量%以下

[0064] P是提高钢的电阻率、降低涡流损耗的效果大的元素。另外,还具有提高钢的硬度而改善冲裁加工性的效果,因此可以适当添加。但是,P的过量添加会导致冷轧性变差,因此上限设为0.10质量%。优选为0.05质量%以下。

[0065] S:0.0050质量%以下

[0066] S是变成硫化物而形成析出物、夹杂物、使制造性(热轧性)、制品板的磁特性变差的有害元素,因此优选尽可能降低。因此,在本发明中将S的上限设为0.0050质量%。优选为0.0030质量%以下。

[0067] Al:0.30~2.0质量%

[0068] Al与Si同样是具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果和提高钢的强度的效果的元素。但是,大于2.0质量%时,钢脆化,轧制变得困难,因此上限设为2.0质量%。另一方面,Al小于0.30质量%时,形成微细的氮化物并析出,反而使铁损特性变差,因此下限设为0.30质量%。优选为0.4~1.5质量%的范围。

[0069] N:0.010质量%以下

[0070] N是形成氮化物并析出、使磁特性劣化的有害元素,因此限制为0.010质量%以下。优选为0.0060质量%以下。

[0071] Pb:0.00010~0.010质量%

[0072] Pb以微细的粒状的金属夹杂物形式分散在钢中,在最终退火后也残留在钢中,因此在冲裁加工时应力集中而成为龟裂的起点或促进龟裂的传播,由此具有改善冲裁加工性或抑制模具的磨损的效果。但是,Pb小于0.00010质量%时,无法充分地得到上述效果,另一方面,大于0.010质量%时,阻碍晶粒生长,无法得到良好的铁损。因此,Pb设为0.00010~0.010质量%的范围。优选为0.0003~0.0050质量%的范围。

[0073] Zn:0.0005~0.020质量%

[0074] Zn形成稳定且粗大的硫化物或氧化物,即,使钢中的第二相粒子粗大化,从而具有减弱第二相粒子所造成的磁畴壁的钉扎力、抑制前述的Pb添加所导致的铁损增加的效果。为了得到上述效果,需要添加0.0005质量%以上的Zn。但是,即使添加超过0.020质量%,上述效果也饱和。因此,Zn的含量设为0.0005~0.020质量%的范围。优选为0.001~0.010质量%的范围。

[0075] Ti:0.0050质量%以下、Nb:0.0050质量%以下和V:0.0050质量%以下

[0076] Ti、Nb和V均是形成微细的碳氮化物并析出、使铁损增加的有害元素。特别是,各元素大于0.0050质量%时,上述不良影响变得显著,因此各元素的上限限制为0.0050质量%。优选分别为0.0030质量%以下。

[0077] O:0.0050质量%以下

[0078] O是形成氧化物、钉扎晶界和磁畴壁的移动、使磁特性劣化的有害元素,因此需要尽可能降低。因此,在本发明中限制为0.0050质量%以下。优选为0.0040质量%以下。

[0079] $[Zn]/[Pb] \geq 1.58$

[0080] 本发明的无取向性电磁钢板除了需要以上述范围含有Pb和Zn以外,还需要在将Pb和Zn的含量(质量%)分别用[Zn]和[Pb]表示时上述[Zn]和[Pb]满足下述(1)式: $[Zn]/[Pb] \geq 1.58 \cdots (1)$ 。由上述的实验结果可以明确得知,添加Pb时,铁损劣化,但是,通过以满足上述(1)式的方式添加Zn,磁畴壁的钉扎力降低,能够得到良好的铁损。优选 $[Zn]/[Pb] \geq 2.5$ 。

[0081] 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。但是,可以根据要求特性在上述成分的基础上进一步适当含有以下的成分。

[0082] Sn和Sb中的至少一种:合计0.005~0.20质量%

[0083] Sn和Sb均具有改善再结晶织构、改善磁通密度、铁损特性的效果。为了得到上述效果,需要添加合计0.005质量%以上的上述成分中的至少一种。但是,即使添加超过0.20质量%,上述效果也饱和。因此,在添加Sn和Sb的情况下,优选将至少一种设为合计0.005~0.20质量%的范围。更优选为合计0.010~0.10质量%的范围。

[0084] Ca、Mg和REM中的至少一种:合计0.0005~0.020质量%

[0085] Ca、Mg和REM均通过形成稳定且粗大的硫化物或氧化物而具有降低第二相粒子的磁畴壁的钉扎力的效果。为了得到上述效果,需要添加合计0.0005质量%以上的Ca、Mg和REM中的至少一种。但是,即使添加超过0.020质量%,上述效果也饱和。因此,在添加Ca、Mg和REM的情况下,优选将至少一种设为合计0.0005~0.020质量%的范围。更优选为合计0.0010~0.010质量%的范围。

[0086] Cu、Ni和Cr中的至少一种:合计0.01~1.0质量%

[0087] Cu、Ni和Cr均具有提高钢的电阻率而降低铁损的效果。为了得到上述效果,优选添加合计0.01质量%以上的Cu、Ni和Cr中的至少一种。但是,超过1.0质量%的添加会导致原料成本的上升。因此,上述元素优选以合计0.01~1.0质量%的范围添加至少一种。更优选为合计0.03~0.8质量%的范围。

[0088] Mo:0.001~0.050质量%和W:0.001~0.050质量%中的至少一种

[0089] Mo和W均是对抑制钢板的表面缺陷(鳞状折叠)有效的元素。特别是本发明的钢板为高合金钢,表面容易被氧化,因此容易产生由表面裂纹引起的鳞状折叠,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。Mo、W的含量分别低于0.001质量%时,上述效果不充分,另一方面,即使分别添加超过0.050质量%,上述效果也饱和,只会使合金成本上升。因此,在添加Mo和W的情况下,优选将至少一种分别设为上述范围。更优选为0.0050~0.050质量%的范围。

[0090] B:0.0001~0.0040质量%

[0091] B是使钢板组织细粒化、有助于改善冲裁加工性的元素。为了得到该效果,优选添加0.0001质量%以上。另一方面,大于0.0040质量%时,不仅上述效果饱和,而且过量生成硼

化物反而使铁损增加,因此上限优选设为0.0040质量%。更优选为0.0005~0.0020质量%的范围。

[0092] Co:0.0005~0.0200质量%

[0093] Co具有抑制最终退火时的氮化的效果,为了得到上述效果,优选添加0.0005质量%以上。另一方面,即使添加超过0.0200质量%,上述效果也饱和,只会使合金成本增大。因此,在添加Co的情况下,优选设为0.0005~0.0200质量%的范围。更优选为0.001~0.010质量%的范围。

[0094] Ta:0~0.0020质量%

[0095] Ta可以为了钢的加工性改善、高强度化而添加。为了可靠地得到上述效果,优选添加0.0001质量%以上。另一方面,Ta也是使铁损增加的元素,特别是大于0.0020质量%时,上述不良影响变得显著,因此上限设为0.0020质量%。更优选为0.0003~0.0010质量%的范围。

[0096] As:0~0.020质量%

[0097] As是提高钢的硬度的元素,可以为了调整机械特性而添加。为了可靠地得到上述效果,优选添加0.001质量%以上。另一方面,As也是使钢脆化的元素,特别是大于0.020质量%时,上述不良影响变得显著,因此上限设为0.020质量%。更优选为0.003~0.010质量%的范围。

[0098] Ge:0~0.030质量%和Ga:0~0.030质量%中的至少一种

[0099] Ge和Ga均是改善织构的元素。为了可靠地得到上述效果,优选分别添加0.001质量%以上的上述元素中的至少一种。另一方面,即使添加超过0.030质量%,上述效果也饱和,因此上限分别设为0.030质量%。更优选的范围分别为0.003~0.010质量%。

[0100] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板进行说明。

[0101] 本发明的无取向性电磁钢板需要使由钢板中存在的粒径0.10 μm 以上且小于5.00 μm 的第二相粒子的粒径和个数密度通过下述(3)式求出的磁畴壁钉扎力为0.0015个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下。如果上述磁畴壁钉扎力大于0.0015个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$,则磁畴壁的移动受到阻碍,因此无法通过添加Zn抵消铁损劣化。优选为0.0012个 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下。

[0102]
$$\sum_{i=1}^n \pi d_i N_{Si} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

[0103] 在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{Si} :组i的频数(个/ μm^2)。

[0104] 另外,就本发明的无取向性电磁钢板而言,从进一步降低成为铁损增加的原因的磁畴壁的钉扎力的观点出发,钢板中存在的粒径为0.10 μm 以上且小于5.00 μm 的范围内的第二相粒子的粒径的平均值优选为0.40 μm 以上。进一步优选为0.6 μm 以上。

[0105] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0106] 本发明的无取向性电磁钢板只要通过公知的方法制造即可,没有特别限定,以下对优选的制造方法的一例进行说明。

[0107] 首先,将上述的具有符合本发明的成分组成的钢通过使用转炉、电炉、真空脱气装置等的公知的精炼工艺进行熔炼后,通过公知的连续铸造法或铸锭-开坯轧制法制造钢原材(钢坯)。在上述的熔炼工艺中,通过使用以由市场产生的铁废料为原料的电炉,能够将以含有作为杂质的Pb和Zn的价格低廉的废料作为铁源有效利用,因此能够有助于原料成本的降低。另外,在上述钢坯的制造中,出于降低后续工序的冷轧压下率、提高磁通密度的目的,可以制造钢坯厚度为200mm以下的薄钢坯。

[0108] 另外,在通过连续铸造制造钢坯时,若凝固时的冷却速度大,则夹杂物微细化而阻碍晶粒生长或者钉扎磁畴壁的力变大,因此,优选钢坯的厚度中心部的凝固温度至1400℃的平均冷却速度为1.0℃/s以下。更优选为0.5℃/s以下。另外,上述凝固时的冷却速度也可以通过增大铸造的钢坯的厚度或者降低铸造速度来控制。

[0109] 需要说明的是,作为使第二相粒子的粒径粗大化而促进无害化的方法,除了上述降低连续铸造时的冷却速度以外,添加形成粗大的硫化物/氧化物的Ca、Mg和REM等也是有效的。

[0110] 接着,对通过上述方法制造的钢坯进行热轧,根据需要进行热轧板退火、酸洗、冷轧、最终退火,根据需要被覆绝缘覆膜,制成无取向性电磁钢板的制品板。这些制造工序在以往公知的条件下进行即可,没有特别限定。另外,上述冷轧可以通过一次冷轧制成最终板厚(制品板厚),也可以通过夹着中间退火的两次以上冷轧制成最终板厚。

[0111] 实施例

[0112] 通过连续铸造法制造具有含有表1所示的各种成分、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢原材(钢坯),进行热轧而制成板厚为1.5mm的热轧板。接着,对上述热轧板实施1080℃×30秒的热轧板退火后,进行酸洗、冷轧,制成最终板厚为0.25mm的冷轧板。需要说明的是,No.A1和No.A4由于在冷轧中发生断裂因而停止了冷轧以后的评价。然后,对上述冷轧板实施1000℃×15秒的最终退火,制成制品板。

[0113]

[表1-1]

No.	化 学 成 分 (质量%)														备注	
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Pb	Zn	Ti	Nb	V	O	其他		Zn/Pb
1	0.008	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
2	0.002	2.2	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
3	0.002	3.1	0.03	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
4	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.25	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
5	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0007	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	28.57	比较钢
6	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
7	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.0006	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	4.62	发明钢
8	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0003	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	6.67	发明钢
9	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	2.22	发明钢
10	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0108	0.019	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.76	比较钢
11	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.006	—	5.00	比较钢
12	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0002	0.0004	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	2.00	比较钢
13	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.010	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	25.00	发明钢
14	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0008	0.001	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.25	比较钢
15	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0008	0.0015	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.88	发明钢
16	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.007	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
17	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0060	0.0003	0.001	—	5.00	比较钢
18	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0060	0.001	—	5.00	比较钢
19	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	5.00	发明钢
20	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.003	—	15.38	发明钢
21	0.002	4.5	0.3	0.03	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
22	0.002	5.5	0.3	0.01	0.003	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
23	0.002	6.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
24	0.002	6.7	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	比较钢
25	0.002	3.1	0.06	0.05	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
26	0.002	3.1	1.2	0.05	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
27	0.002	3.1	1.9	0.05	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
28	0.002	3.1	0.3	0.12	0.001	0.8	0.001	0.0013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	比较钢

[0114]

[表1-2]

No.	化 学 成 分 (质量%)														备注	
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Pb	Zn	Ti	Nb	V	O	其他		Zn/Pb
29	0.002	3.1	2.0	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0010	0.001	—	15.38	发明钢
30	0.002	3.1	2.5	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	比较钢
31	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.31	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
32	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	1.2	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
33	0.002	3.1	0.3	0.01	0.004	2.0	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
34	0.002	3.1	0.3	0.01	0.006	2.0	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	比较钢
35	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	2.2	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	比较钢
36	0.002	3.1	0.3	0.1	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
37	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.010	0.019	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.90	发明钢
38	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.005	0.008	0.015	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.88	发明钢
39	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.011	0.008	0.015	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.88	比较钢
40	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	15.38	发明钢
41	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.020	0.001	0.0040	0.0003	0.001	—	153.85	发明钢
42	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.0005	0.003	0.0002	0.0003	0.001	—	3.85	发明钢
43	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.009	0.001	0.0002	0.0040	0.001	—	69.23	发明钢
44	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.015	0.005	0.0002	0.0003	0.001	—	115.38	发明钢
45	0.002	2.5	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.022	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	169.23	比较钢
46	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0012	0.0018	0.001	0.0002	0.0003	0.001	—	1.50	比较钢
47	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sn : 0.01	5.00	发明钢
48	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sn : 0.15	5.00	发明钢
49	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sb : 0.02	5.00	发明钢
50	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sb : 0.18	5.00	发明钢
51	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ca : 0.0007	5.00	发明钢
52	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ca : 0.018	5.00	发明钢
53	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Mg : 0.0006	5.00	发明钢
54	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Mg : 0.019	5.00	发明钢
55	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	REM : 0.0006	5.00	发明钢
56	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	REM : 0.018	5.00	发明钢
57	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ca : 0.0004, Mg : 0.0002, REM : 0.0002	5.00	发明钢

[0115]

[表1-3]

No.	化学成分 (质量%)														Zn/Pb	备注
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Pb	Zn	Ti	Nb	V	O	其他		
58	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Cu : 0.05	5.00	发明钢
59	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Cu : 0.52	5.00	发明钢
60	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Cr : 0.04	5.00	发明钢
61	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Cr : 0.34	5.00	发明钢
62	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ni : 0.05	5.00	发明钢
63	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ni : 0.65	5.00	发明钢
64	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Mo : 0.015	5.00	发明钢
65	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Mo : 0.04	5.00	发明钢
66	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	W : 0.0015	5.00	发明钢
67	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	W : 0.038	5.00	发明钢
68	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	B : 0.00015	5.00	发明钢
69	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	B : 0.0037	5.00	发明钢
70	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Co : 0.004	5.00	发明钢
71	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Co : 0.015	5.00	发明钢
72	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sn : 0.03, Sb : 0.0025, Cu : 0.08, Cr : 0.12, Ni : 0.08, Mo : 0.031, W : 0.0021, B : 0.0001, Co : 0.0058	5.00	发明钢
73	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sn : 0.03, Sb : 0.0025, Ca : 0.0004, Mg : 0.0002, REM : 0.0002, Cu : 0.08, Cr : 0.12, Ni : 0.08, Mo : 0.031, W : 0.0021, B : 0.0001, Co : 0.0058	5.00	发明钢
74	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ta : 0.0018	5.00	发明钢
75	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	As : 0.019	5.00	发明钢
76	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ge : 0.028	5.00	发明钢
77	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ga : 0.029	5.00	发明钢
78	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Ge : 0.027, Ga : 0.028	5.00	发明钢
79	0.002	3.1	0.3	0.01	0.001	0.8	0.001	0.00013	0.002	0.001	0.0002	0.0003	0.001	Sn : 0.01, Ca : 0.0002, Mg : 0.0005, Mo : 0.02, B : 0.0002, Co : 0.004, As : 0.003, Ga : 0.002	15.38	发明钢

[0116] 接着,从上述最终退火后的钢板(制品板)上通过将间隙设定为5%的模具进行冲裁加工而裁取直径为10mm的圆盘状的试验片。此时,就上述冲裁模具而言,对每个钢板更换新

的模具,对于100万次冲裁后的圆盘状试验片,测定轧制方向的两端这2处冲裁加工端部的毛刺的高度,算出平均值。

[0117] 另外,从最终退火后的钢板上通过剪切加工切出以长度方向为轧制方向(L方向)或宽度方向(C方向)的宽度30mm×长度280mm的2种试验片。接着,在爱泼斯坦试验机上层叠相同数量的L方向和C方向的试验片,通过JIS C 2550中记载的方法测定铁损 $W_{10/400}$ 。

[0118] 进而,用SEM对上述钢板的轧制方向的截面观察以(总板厚×轧制方向)计 2mm^2 以上,测定上述截面内存在的粒径为 $0.10\mu\text{m}$ 以上且小于 $5.00\mu\text{m}$ 的全部第二相粒子的粒径。接着,将上述粒径测定数据按粒径 $0.10\mu\text{m}$ 为间距进行分组,制作粒径分布的直方图,根据上述直方图得到由下述(3)式定义的磁畴壁的钉扎力。

$$[0119] \quad \sum_{i=1}^n \pi d_i N_{Si} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

[0120] 在此, d_i :组i的组中值(μm), N_{Si} :组i的频数(个/ μm^2)。

[0121] 将上述测定的结果(100万次冲裁加工后的毛刺高度、铁损 $W_{10/400}$ 、第二相粒子所造成的磁畴壁的钉扎力和第二相粒子的平均粒径)示于表2中。由该结果可知,满足本发明的条件的钢板的冲裁加工性均优良,并且铁损特性也均优良。

[表2-1]

[0122]

No.	毛刺高度 (μm)	磁畴壁 的钉扎力 ($\text{个}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	第二相粒子 的平均粒径 (μm)	铁损 $W_{10/400}$ (W/kg)	备注
1	23.2	0.0012	0.68	11.57	比较例
2	26.8	0.0012	0.67	10.68	比较例
3	23.7	0.0012	0.69	10.79	比较例
4	22.7	0.0018	0.38	10.68	比较例
5	38.0	0.0008	0.96	9.58	比较例
6	26.7	0.0010	0.76	9.62	发明例
7	24.7	0.0011	0.71	9.63	发明例
8	24.6	0.0014	0.46	9.64	发明例
9	22.6	0.0014	0.37	9.69	发明例
10	27.1	0.0017	0.32	11.26	比较例
11	23.7	0.0018	0.42	11.35	比较例
12	24.8	0.0017	0.48	10.87	比较例
13	25.2	0.0011	0.61	9.58	发明例
14	23.2	0.0018	0.38	10.68	比较例
15	23.5	0.0013	0.43	9.84	发明例
16	27.5	0.0019	0.41	11.29	比较例
17	27.2	0.0021	0.34	11.49	比较例
18	21.1	0.0021	0.38	11.57	比较例
19	26.4	0.0011	0.68	9.65	发明例
20	26.9	0.0009	0.58	9.85	发明例
21	26.8	0.0010	0.67	9.21	发明例
22	26.9	0.0012	0.68	9.14	发明例
23	26.6	0.0008	0.71	9.08	发明例
24	-	-	-	-	比较例
25	26.6	0.0009	0.78	9.91	发明例
26	26.7	0.0010	0.70	9.54	发明例
27	26.4	0.0011	0.62	9.85	发明例
28	-	-	-	-	比较例

[表2-2]

[0123]

No.	毛刺高度 (μm)	磁畴壁 的钉扎力 ($\text{个}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	第二相粒子 的平均粒径 (μm)	铁损 $W_{10/100}$ (W/kg)	备注
29	26.8	0.0012	0.61	9.87	发明例
30	26.5	0.0016	0.63	10.89	比较例
31	27.2	0.0013	0.53	9.84	发明例
32	26.8	0.0009	0.72	9.34	发明例
33	26.8	0.0013	0.68	9.58	发明例
34	26.9	0.0018	0.65	10.12	比较例
35	26.7	0.0012	0.65	11.06	比较例
36	26.2	0.0008	0.67	9.42	发明例
37	22.1	0.0014	0.58	9.92	发明例
38	23.5	0.0013	0.63	9.84	发明例
39	23.6	0.0017	0.61	10.08	比较例
40	27.9	0.0010	0.76	9.75	发明例
41	27.5	0.0008	0.79	9.85	发明例
42	27.6	0.0012	0.57	9.89	发明例
43	27.4	0.0011	0.75	9.87	发明例
44	27.9	0.0010	0.62	9.88	发明例
45	27.5	0.0008	0.78	10.78	比较例
46	23.4	0.0010	0.69	9.64	比较例
47	26.0	0.0012	0.68	9.54	发明例
48	25.7	0.0013	0.69	9.35	发明例
49	27.1	0.0012	0.67	9.55	发明例
50	25.7	0.0013	0.69	9.38	发明例
51	25.0	0.0009	0.73	9.51	发明例
52	24.3	0.0008	0.89	9.48	发明例
53	24.6	0.0007	0.72	9.52	发明例
54	23.5	0.0008	0.91	9.47	发明例
55	23.1	0.0008	0.73	9.58	发明例
56	25.1	0.0009	0.82	9.52	发明例
57	24.7	0.0005	0.92	9.43	发明例

[表2-3]

No.	毛刺高度 (μm)	磁畴壁 的钉扎力 ($\text{个}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	第二相粒子 的平均粒径 (μm)	铁损 $W_{10/400}$ (W/kg)	备注
58	25.1	0.0012	0.68	9.61	发明例
59	26.2	0.0011	0.67	9.62	发明例
60	25.7	0.0011	0.69	9.59	发明例
61	24.7	0.0013	0.65	9.57	发明例
62	25.7	0.0012	0.68	9.58	发明例
63	26.0	0.0011	0.69	9.54	发明例
64	24.2	0.0014	0.65	9.68	发明例
65	22.9	0.0014	0.62	9.69	发明例
66	24.2	0.0013	0.68	9.67	发明例
67	26.5	0.0014	0.67	9.72	发明例
68	24.6	0.0011	0.42	9.68	发明例
69	25.0	0.0012	0.41	9.75	发明例
70	24.6	0.0011	0.65	9.61	发明例
71	22.7	0.0010	0.68	9.52	发明例
72	25.3	0.0010	0.71	9.61	发明例
73	25.2	0.0008	0.87	9.49	发明例
74	24.4	0.0013	0.67	9.82	发明例
75	25.1	0.0012	0.68	9.63	发明例
76	25.2	0.0011	0.66	9.45	发明例
77	25.3	0.0011	0.65	9.44	发明例
78	25.2	0.0012	0.66	9.41	发明例
79	24.6	0.0013	0.67	9.49	发明例

[0124]

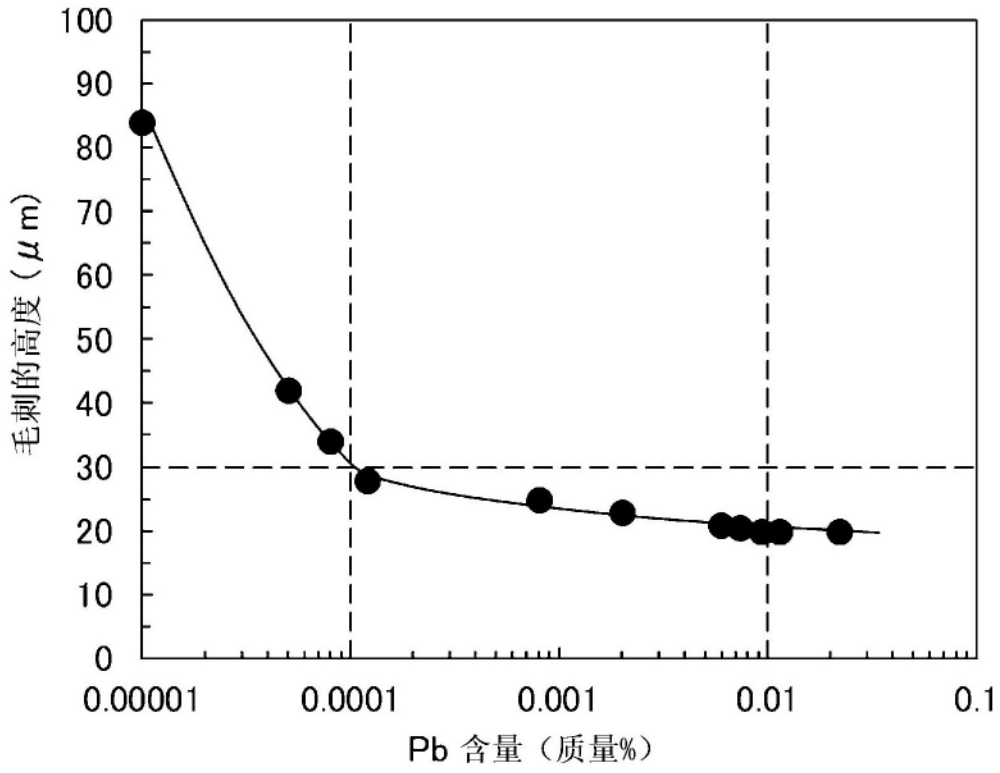


图1

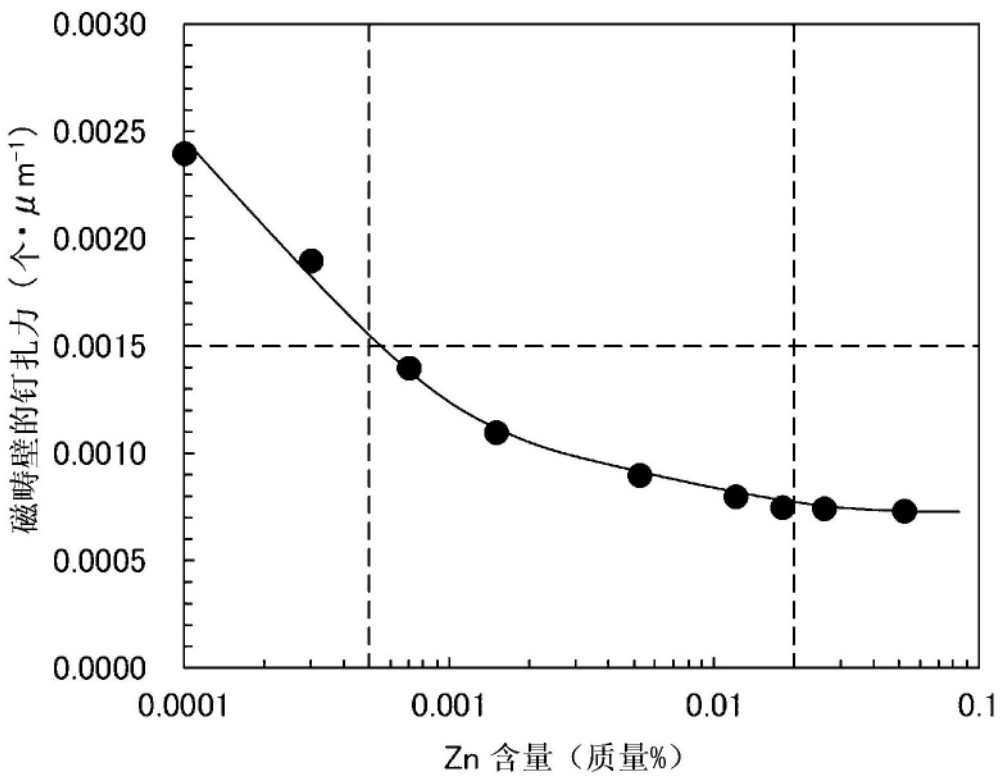


图2

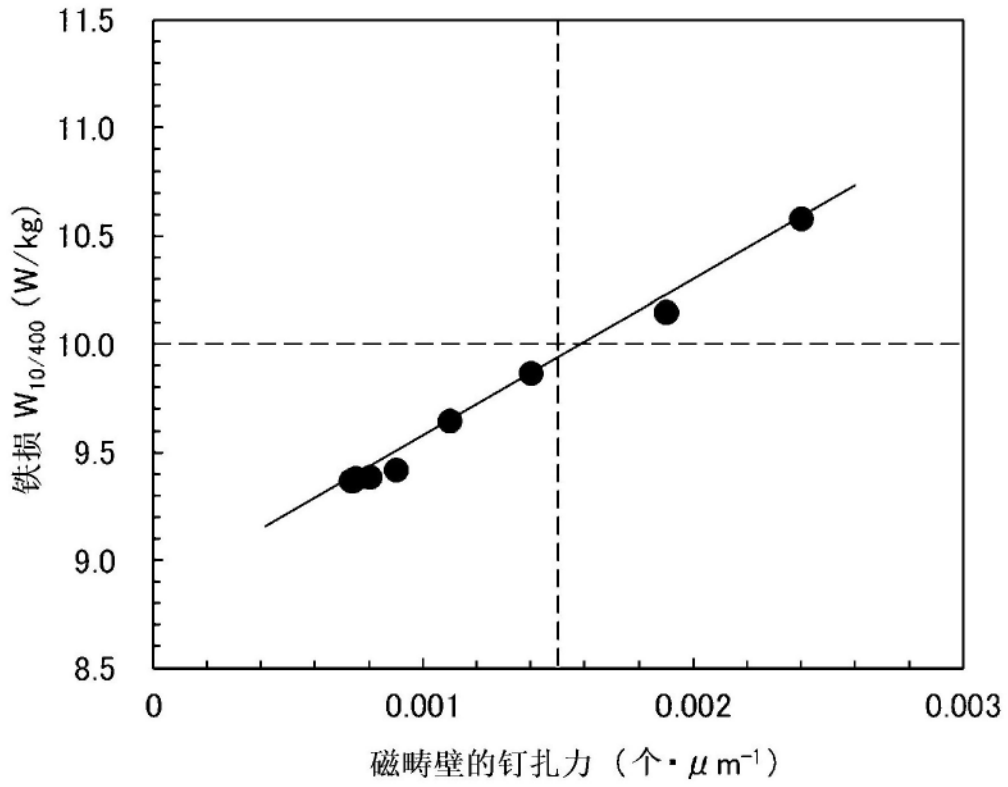


图3