



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120092101 A

(43) 申请公布日 2025. 06. 03

(21) 申请号 202380074717.8

(22) 申请日 2023.08.31

(30) 优先权数据

2022-174748 2022.10.31 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.04.23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/031961 2023.08.31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/095595 JA 2024.05.10

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 财前善彰 大久保智幸 斋藤勇人

田中孝明 末广龙一

(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)

G21D 8/12 (2006.01)

G22C 38/14 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

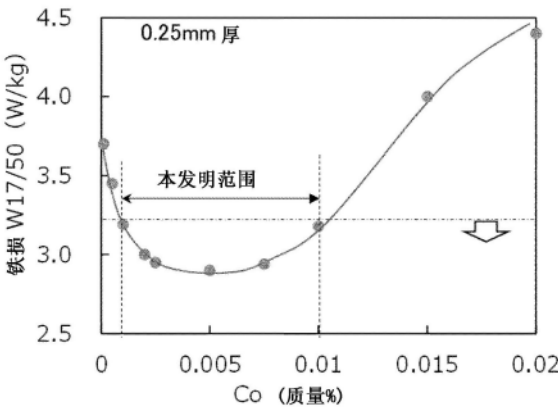
权利要求书2页 说明书25页 附图5页

(54) 发明名称

无取向性电磁钢板及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供不会导致磁通密度降低、生产率降低的、高磁通密度区域的低铁损的无取向性电磁钢板,并且提出其有利的制造方法。一种无取向性电磁钢板,其具有含有C、Si、Mn、P、S、Al、N、Co、Ti、Nb、O的成分组成,在钢板的至少一个表面具有含有Si、Al和Co的氧化物层,钢板表层的氮量为0.01质量%以下,钢板板厚中心部的氮量 N_c 和钢板表层的氮量(N_{sAlN})满足下述(1)式,在50Hz、1.7T下励磁后的钢板的铁损为3.2W/kg以下。一种无取向性电磁钢板的制造方法,其包括如下工序:对含有上述成分组成的钢坯进行热轧,在进行退火或者不进行退火的情况下进行冷轧,进行电解脱脂处理,实施最终退火,上述电解脱脂处理中规定碱液的电量密度、浓度、液温、处理时间,上述最终退火设定为低露点。 $(N_{sAlN})/N_c \leq 3.0 \cdots (1)$ 。



1. 一种无取向性电磁钢板, 其具有含有以质量%计C:0.0050%以下、Si:2.0~6.5%、Mn:0.05~2.00%、P:0.10%以下、S:0.0050%以下、Al:0.3~2.0%、N:0.0010%~0.0050%、Co:0.0010~0.010%、Ti:0.0030%以下、Nb:0.0030%以下、O:0.0050%以下且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,

在钢板的至少一个表面具有含有Si、Al和Co的氧化物层,

在从钢板的表面起到板厚1/20为止的层内以AlN形式存在的钢板表层的氮量(NasAlN)为0.01质量%以下,

钢板板厚中心部的氮量Nc和所述钢板表层的氮量(NasAlN)满足下述(1)式,

在50Hz、1.7T下励磁后的钢板的铁损为3.2W/kg以下,

$(\text{NasAlN})/\text{Nc} \leq 3.0 \cdots (1)$ 。

2. 根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板, 其中, 在所述钢板的表面所具有的氧化物层中的Al浓度为10原子%以上。

3. 根据权利要求1或2所述的无取向性电磁钢板, 其中, 所述钢板在所述成分组成的基础上还含有下述A~C组中的一组以上的成分,

以质量%计,

A组:选自Sn:0.005~0.20%、Sb:0.005~0.20%中的一种或两种;

B组:选自Cu、Ni和Cr中的一种或两种以上:合计为0.03~1.0%;

C组:选自Ca、Mg和REM中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.020%。

4. 根据权利要求1~3所述的无取向性电磁钢板, 其中, 所述钢板在所述成分组成的基础上还含有下述D~G组中的一组以上的成分,

以质量%计,

D组:选自Ge和Ga中的一种或两种:合计为0.0005~0.01%;

E组:Zn:0.001~0.05%;

F组:选自Mo、As和W中的一种或两种以上:合计为0.001~0.05%;

G组:选自B、Pb和V中的一种或两种以上:合计为0.0001~0.01%。

5. 一种无取向性电磁钢板的制造方法, 其包括:

热轧工序, 其中, 对具有含有以质量%计C:0.0050%以下、Si:2.0~6.5%、Mn:0.05~2.00%、P:0.10%以下、S:0.0050%以下、Al:0.3~2.0%、N:0.0010~0.0050%、Co:0.0010~0.010%、Ti:0.0030%以下、Nb:0.0030%以下、O:0.0050%以下且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢坯进行热轧, 制成热轧板;

冷轧工序, 其中, 对所述热轧板在进行退火或者不进行退火的情况下进行一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧, 制成冷轧板;

电解脱脂处理工序, 其中, 对所述冷轧板进行电解脱脂处理; 以及

最终退火工序, 其中, 对所述电解脱脂处理后的冷轧板实施最终退火,

所述电解脱脂处理中, 利用电量密度为3~12(C/dm²)、浓度为1~10%、液温为30~120℃的碱液进行1~15秒, 所述最终退火中, 将露点设定为-70~-10℃。

6. 根据权利要求5所述的无取向性电磁钢板的制造方法, 其中, 所述钢坯在所述成分组成的基础上还含有A组~C组中的一组以上的成分,

以质量%计,

A组:选自Sn:0.005~0.20%、Sb:0.005~0.20%中的一种或两种;

B组:选自Cu、Ni和Cr中的一种或两种以上:合计为0.03~1.0%;

C组:选自Ca、Mg和REM中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.020%。

7.根据权利要求5或6所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,所述钢板在所述成分组成的基础上还含有下述D~G组中的一组以上的成分,

以质量%计,

D组:选自Ge和Ga中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.01%;

E组:Zn:0.001~0.05%;

F组:选自Mo、As和W中的一种或两种以上:合计为0.001~0.05%;

G组:选自B、Pb和V中的一种或两种以上:合计为0.0001~0.01%。

8.根据权利要求5~7所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,所述电解脱脂处理的碱液为选自氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钙和原硅酸钠中的一种。

无取向性电磁钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及磁特性优良的无取向性电磁钢板及其制造方法。

背景技术

[0002] 近年来,出于全球变暖等环境方面的考虑,要求节能化,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)、仅利用电动机进行驱动的电动汽车(EV)和燃料电池车(FCEV)等的开发。对于上述电动机而言,电动机的高效率化和高输出化正在发展,在没有发动机等内燃机的EV电动机中,电动机高输出化的要求也变强。这样的EV的驱动电动机的铁芯材料大多使用无取向性电磁钢板,为了实现电动机的高输出和高效率化,对于上述钢板,强烈要求在高磁通密度区域的低铁损化。

[0003] 无取向性电磁钢板以往主要通过添加Si、Al等合金元素而提高电阻率、或者使板厚变薄而降低涡流损耗来实现低铁损化。但是,合金元素的大量添加尽管能够实现低铁损化,但导致饱和磁通密度的降低。磁通密度的降低会导致电动机的铜损增加,因此会导致电动机效率的降低。另外,板厚的减小需要使热轧钢板的板厚变薄、或者提高冷轧压下率,因此也存在导致生产率降低的问题。

[0004] 因此认为,如果能够开发出在不降低磁通密度或不导致生产率降低的情况下具有高磁通密度区域的低铁损的无取向性电磁钢板,则大大地有助于电气设备的小型化和高效率化。

[0005] 作为得到在高磁通密度区域低铁损的无取向性电磁钢板的技术,例如专利文献1中公开了如下方法:通过添加P来控制钢的晶体取向(织构),在提高磁通密度的同时实现高磁通密度区域的低铁损。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2018-012854号公报

发明内容

[0009] 发明所要解决的问题

[0010] 但是,P是在晶界偏析、导致钢的脆化的元素,因此,在专利文献1公开的技术中,不能稳定地得到高磁通密度区域的低铁损,不能充分地应对近来对无取向性电磁钢板的要求。

[0011] 因此,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,提供不会导致磁通密度降低、生产率降低的、高磁通密度区域的低铁损的无取向性电磁钢板,并且提出其有利的制造方法。

[0012] 用于解决问题的方法

[0013] 为了解决上述问题,本发明人着眼于表面状态对无取向性电磁钢板的磁特性的影响而反复进行了深入研究。具体而言,在将钢中所含的Co的含量控制在规定的范围内的基

础上,对最终退火前的钢板在规定的条件下进行电解碱脱脂处理(以下称为“电解脱脂处理”、“电解碱处理”或“碱处理”)后,在 $-70\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的低露点下进行最终退火,将表层的氮量控制在规定的范围内。其结果发现,能够在不导致磁通密度降低的情况下降低高磁通密度区域的铁损,从而开发出本发明。

[0014] 基于上述见解的本发明的无取向性电磁钢板如下构成。

[0015] [1]一种无取向性电磁钢板,其具有含有以质量%计C:0.0050%以下、Si:2.0~6.5%、Mn:0.05~2.00%、P:0.10%以下、S:0.0050%以下、Al:0.3~2.0%、N:0.0010%~0.0050%、Co:0.0010~0.010%、Ti:0.0030%以下、Nb:0.0030%以下、O:0.0050%以下且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,在钢板的至少一个表面具有含有Si、Al和Co的氧化物层,在从钢板的表面起到板厚 $1/20$ 为止的层内以AlN形式存在的钢板表层的氮量(NasAlN)为0.01质量%以下,钢板板厚中心部的氮量Nc和上述钢板表层的氮量(NasAlN)满足下述(1)式,在50Hz、1.7T下励磁后的钢板的铁损为3.2W/kg以下。

[0016] $(\text{NasAlN})/\text{Nc} \leq 3.0 \cdots (1)$

[0017] [2]根据上述[1]所述的无取向性电磁钢板,其中,在上述钢板的表面所具有的氧化物层中的Al浓度为10原子%以上。

[0018] [3]根据上述[1]或[2]所述的无取向性电磁钢板,其中,上述钢板在上述成分组成的基础上还含有下述A~C组中的一组以上的成分,

[0019] 以质量%计,

[0020] A组:选自Sn:0.005~0.20%、Sb:0.005~0.20%中的一种或两种;

[0021] B组:选自Cu、Ni和Cr中的一种或两种以上:合计为0.03~1.0%;

[0022] C组:选自Ca、Mg和REM中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.020%。

[0023] [4]根据上述[1]~[3]所述的无取向性电磁钢板,其中,上述钢板在上述成分组成的基础上还含有下述D~G组中的一组以上的成分,

[0024] 以质量%计,

[0025] D组:选自Ge和Ga中的一种或两种:合计为0.0005~0.01%;

[0026] E组:Zn:0.001~0.05%;

[0027] F组:选自Mo、As和W中的一种或两种以上:合计为0.001~0.05%;

[0028] G组:选自B、Pb和V中的一种或两种以上:合计为0.0001~0.01%。

[0029] 基于上述见解的本发明的无取向性电磁钢板的制造方法如下构成。

[0030] [5]一种无取向性电磁钢板的制造方法,其包括:热轧工序,其中,对具有含有以质量%计C:0.0050%以下、Si:2.0~6.5%、Mn:0.05~2.00%、P:0.10%以下、S:0.0050%以下、Al:0.3~2.0%、N:0.0010~0.0050%、Co:0.0010~0.010%、Ti:0.0030%以下、Nb:0.0030%以下、O:0.0050%以下且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢坯进行热轧,制成热轧板;冷轧工序,其中,对上述热轧板在进行退火或者不进行退火的情况下进行一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧,制成冷轧板;电解脱脂处理工序,其中,对上述冷轧板进行电解脱脂处理;以及最终退火工序,其中,对上述电解脱脂处理后的冷轧板实施最终退火,上述电解脱脂处理中,利用电量密度为 $3\sim 12(\text{C}/\text{dm}^2)$ 、浓度为1~10%、液温为 $30\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的碱液进行1~15秒,上述最终退火中,将露点设定为 $-70\sim-10^{\circ}\text{C}$ 。

[0031] [6]根据上述[5]所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述钢坯在上述成

分组成的基础上还含有A组~C组中的一组以上的成分,

[0032] A组:选自Sn:0.005~0.20质量%、Sb:0.005~0.20质量%中的一种或两种;

[0033] B组:选自Cu、Ni和Cr中的一种或两种以上:合计为0.03~1.0质量%;

[0034] C组:选自Ca、Mg和REM中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.020质量%。

[0035] [7]根据上述[5]或[6]所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述钢板在上述成分组成的基础上还含有下述D~G组中的一组以上的成分,

[0036] 以质量%计,

[0037] D组:选自Ge和Ga中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.01%;

[0038] E组:Zn:0.001~0.05%;

[0039] F组:选自Mo、As和W中的一种或两种以上:合计为0.001~0.05%;

[0040] G组:选自B、Pb和V中的一种或两种以上:合计为0.0001~0.01%。

[0041] [8]根据上述[5]~[7]所述的无取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述电解脱脂处理的碱液为选自氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钙和原硅酸钠中的一种。

[0042] 发明效果

[0043] 根据本发明,能够制造在高磁通密度区域具有低铁损的无取向性电磁钢板,因此,能够提供适合于制造实现电气设备的小型化和高效率化的电动机的原材。

附图说明

[0044] 图1是示出Co含量与铁损的关系的图。

[0045] 图2是示出表层氮化量(NasAlN)/Nc与铁损的关系的图。

[0046] 图3A是示出电量密度与铁损的关系的图。

[0047] 图3B是示出电量密度与表层氮化量(NasAlN)/Nc的关系的图。

[0048] 图4A是示出碱处理浓度与铁损的关系的图。

[0049] 图4B是示出碱处理浓度与表层氮化量(NasAlN)/Nc的关系的图。

[0050] 图5A是示出碱处理温度与铁损的关系的图。

[0051] 图5B是示出碱处理温度与表层氮化量(NasAlN)/Nc的关系的图。

[0052] 图6A是示出碱处理时间与铁损的关系的图。

[0053] 图6B是示出碱处理时间与表层氮化量(NasAlN)/Nc的关系的图。

具体实施方式

[0054] 首先,对成为开发本发明的契机的实验进行说明。

[0055] <实验1>

[0056] 将含有C:0.0025质量%、Si:2.9质量%、Mn:0.3质量%、P:0.01质量%、S:0.0019质量%、Al:0.6质量%、N:0.0023质量%、Ti:0.0015质量%、Nb:0.0009质量%和0:0.0020质量%、进一步以在0.0001~0.02质量%的范围内进行各种变化的方式含有Co、且余量具有Fe和不可避免的杂质的钢在真空炉中熔炼,进行铸造而制成钢锭。接着,进行热轧而制成板厚为2.0mm的热轧板,实施 $950^{\circ}\text{C} \times 30$ 秒的热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚为0.25mm的冷轧板。接着,将冷轧板进行在电量密度为 $5(\text{C}/\text{dm}^2)$ 、浓度为5%、液温为 70°C 的氢氧化钠中浸渍5秒的电解处理,然后,在露点为 -45°C 、 $\text{H}_2:\text{N}_2=20:80$ (体积%比)的气氛下在

1000℃下实施10秒的最终退火。

[0057] 从这样得到的最终退火板的轧制方向(L方向)和宽度方向(C方向)切割出宽度30mm×长度180mm的试验片,通过爱泼斯坦试验测定(L+C)方向的高磁通密度区域的铁损 $W_{17/50^\circ}$

[0058] 将上述测定的结果示于图1中,在Co为0.001~0.01质量%的范围内时观察到铁损的降低。

[0059] 为了调查该Co的微量添加引起的铁损降低的原因,利用SEM观察了最终退火后的钢板的轧制方向截面。其结果是,对于观察到铁损增加的钢板而言,在钢板表层、具体而言在从钢板表面起到板厚1/20的深度为止的层中观察到微细的AlN的析出,推测由于该微细的氮化物而导致铁损增加。

[0060] 因此,对于该最终退火板,通过电解提取对在从钢板表面起到板厚1/20为止的层中以AlN形式存在的氮N的浓度(质量%)和钢板中心部的氮N的浓度(质量%)进行了分析。其结果发现,在从钢板表面起到板厚1/20为止的层(表层)中形成AlN的氮量与钢板板厚中心部的氮量之比与高磁通密度区域的铁损具有强相关性。图2中示出氮量之比(表层氮化量/板厚中心部的氮量)与铁损 $W_{17/50^\circ}$ 的关系。发现了:该比为3.0以下时铁损大幅降低,并且该氮化量之比为3.0以下的钢板的Co含量均在0.001~0.01质量%的范围内。

[0061] 另外,针对观察到铁损降低的样品,利用透射电子显微镜(TEM)对钢板表面进行了观察,结果明确了,在钢板表层钢基界面形成了具有约20nm的厚度、并且具有Co的Fe-Si-Al氧化层。根据上述实验结果认为:向钢板中添加微量Co、在最终退火前进行电解碱处理、在低露点下进行最终退火的钢板观察到铁损降低的原因在于,由于电解碱处理而在最终退火时产生的钢板表层的氧化层有助于抑制最终退火时的氮化。

[0062] 接着,为了调查电解碱处理的电量密度对最终退火后的钢板的磁特性带来的影响,如下制造钢板。将含有C:0.0028质量%、Si:3.2质量%、Mn:0.6质量%、P:0.01质量%、S:0.0019质量%、Al:0.8质量%、N:0.0022质量%、Ti:0.0011质量%、Nb:0.0007质量%和O:0.0020质量%、Co:0.0027%、且余量具有Fe和不可避免的杂质的钢在真空炉中熔炼,进行铸造而制成钢锭。接着,进行热轧而制成板厚为2.2mm的热轧板,实施980℃×30秒的热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚为0.35mm的冷轧板。接着,将该冷轧板在使电量密度在1~15(C/dm²)内变化、液温为90℃的3%氢氧化钠中浸渍8秒来进行电解处理。接着,对于电解处理后的冷轧板,在露点为-50℃、以体积%比计H₂:N₂=20:80的气氛下在970℃下实施10秒的最终退火。

[0063] 另外,为了调查碱处理浓度对最终退火后的钢板磁特性带来的影响,如下制造钢板。将含有C:0.0028质量%、Si:3.2质量%、Mn:0.6质量%、P:0.01质量%、S:0.0019质量%、Al:0.8质量%、N:0.0022质量%、Ti:0.0011质量%、Nb:0.0007质量%和O:0.0020质量%、Co:0.0027%、且余量具有Fe和不可避免的杂质的钢在真空炉中熔炼,进行铸造而制成钢锭。接着,进行热轧而制成板厚为2.2mm的热轧板,在980℃下实施30秒的热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚为0.35mm的冷轧板。接着,将该冷轧板在电量密度为4(C/dm²)、液温为90℃且在0.5~20%内变化的氢氧化钾中浸渍6秒来进行电解处理。接着,对于电解处理后的冷轧板,在露点为-55℃、以体积%比计H₂:N₂=20:80的气氛下在980℃下实施10秒的最终退火。

[0064] 进而,为了调查碱处理温度对最终退火后的钢板磁特性带来的影响,如下制造钢板。将含有C:0.0028质量%、Si:3.2质量%、Mn:0.6质量%、P:0.01质量%、S:0.0019质量%、Al:0.8质量%、N:0.0022质量%、Ti:0.0011质量%、Nb:0.0007质量%和0:0.0020质量%、Co:0.0027%、且余量具有Fe和不可避免的杂质的钢在真空炉中熔炼,进行铸造而制成钢锭。接着,进行热轧而制成板厚为2.2mm的热轧板,在980℃下实施30秒的热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚为0.35mm的冷轧板。接着,将该冷轧板在电量密度为4(C/dm²)、使液温在20~150℃内变化的3%的氢氧化钙中浸渍4秒来进行电解处理。接着,对于电解处理后的冷轧板,在露点为-55℃、以体积%比计H₂:N₂=20:80的气氛下在980℃下实施10秒的最终退火。

[0065] 另外,为了调查碱处理时间对最终退火后的钢板磁特性带来的影响,如下制造钢板。将含有C:0.0028质量%、Si:3.2质量%、Mn:0.6质量%、P:0.01质量%、S:0.0019质量%、Al:0.8质量%、N:0.0022质量%、Ti:0.0011质量%、Nb:0.0007质量%和0:0.0020质量%、Co:0.0027%、且余量具有Fe和不可避免的杂质的钢在真空炉中熔炼,进行铸造而制成钢锭。接着,进行热轧而制成板厚为2.2mm的热轧板,在980℃下实施30秒的热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚为0.35mm的冷轧板。接着,将该冷轧板在电量密度为3(C/dm²)、液温为35℃的3%的氢氧化钠中以在5~30秒内变化的方式浸渍来进行电解处理。接着,对于电解处理后的冷轧板,在露点为-60℃、以体积%比计H₂:N₂=20:80的气氛下在980℃下实施10秒的最终退火。

[0066] 从这样得到的最终退火板的轧制方向(L方向)和宽度方向(C方向)切割出宽度30mm×长度180mm的试验片,通过爱泼斯坦试验测定(L+C)方向的高磁通密度区域的铁损W_{17/50}。进而,利用提取残渣对钢板表层的氮量(NasAlN)、钢板板厚中心部的氮量进行分析。

[0067] 将测定的结果示于图3、图4、图5、图6中。在电解碱处理的电量密度为3~12(C/dm²)、碱处理浓度为1~10%、碱处理时间为1~15秒以及碱处理温度为30~120℃时观察到铁损的降低。这是因为,电量密度低、碱处理浓度低、碱处理温度低或者碱处理时间短时,钢板表面的脱脂变得不充分,最终退火时未形成含有Co的氧化层而在最终退火时产生了氮化物。另外,认为是因为,电量密度高、碱处理浓度高、碱处理温度高或者碱处理时间长时,最终退火时产生的钢板表层的氧化层变厚,通过该氧化膜促进了最终退火时的氮化。

[0068] 根据上述结果发现,通过将钢中所含的Co的含量设定为规定的范围、在规定的条件下对最终退火前的钢板进行电解碱脱脂处理、并在低露点下进行最终退火,能够抑制钢板表层的氮量、降低铁损,从而开发了本发明。

[0069] <无取向性电磁钢板>

[0070] 对本实施方式的无取向性电磁钢板进行说明。

[0071] 首先,对无取向性电磁钢板的成分组成的限定理由进行说明。需要说明的是,只要没有特别说明,与成分有关的“%”标记是指“质量%”。

[0072] C:0.0050%以下

[0073] C是产生磁时效、形成碳化物并析出、使铁损特性劣化的有害元素。因此,C含量限制为0.0050%以下。优选C含量为0.0040%以下。需要说明的是,C含量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,优选设定为约0.0001%。

[0074] Si:2.0~6.5%

[0075] Si具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果。另外,具有通过固溶强化而提高钢的强度的效果,因此,Si含量设定为2.0%以上。另一方面,超过6.5%时,难以进行轧制,因此,Si含量的上限设定为6.5%。优选Si含量为2.5~6.0%。

[0076] Mn:0.05~2.00%

[0077] Mn与Si同样是对提高钢的电阻率和强度而言有用的元素。另外,也是形成硫化物而改善热脆性的元素,因此,Mn含量设定为0.05%以上。另一方面,Mn含量超过2.00%时,引起钢坯裂纹等,使炼钢中的操作性劣化,因此,上限设定为2.00%。优选Mn含量为0.10~1.50%的范围。

[0078] P:0.10%以下

[0079] P是提高电阻率、降低涡流损耗的效果大的元素,因此可以适当添加。但是,P的过量添加导致冷轧性的劣化,因此,P含量的上限设定为0.10%。优选P含量为0.05%以下。

[0080] 为了得到上述效果,P含量优选设定为0.001%以上。

[0081] S:0.0050%以下

[0082] S变为硫化物而形成析出物、夹杂物、使制造性(热轧性)、制品板的磁特性降低,因此越少越优选。因此,在本发明中将S含量的上限设定为0.0050%。优选S含量为0.0030%以下。

[0083] Al:0.3~2.0%

[0084] Al与Si同样具有提高钢的电阻率、降低铁损的效果。但是,Al含量超过2.0%时,钢发生脆化,难以进行轧制,因此,上限设定为2.0%。另一方面,Al含量小于0.3%时,形成微细的氮化物并析出,反而使铁损特性劣化,因此,下限设定为0.3%。优选Al含量为0.4~1.5%。

[0085] N:0.0010~0.0050%

[0086] N是形成氮化物而使磁特性劣化的有害元素,因此限制为0.0050%以下。另一方面,将N含量限制为0.0010%以下时使精炼工序中的成本显著变高,因此,下限设定为0.0010%。优选N含量为0.0015~0.0040%。

[0087] Co:0.0010~0.010%

[0088] 如上述说明的那样,Co具有抑制最终退火时的氮化的效果,因此,Co含量设定为0.0010%以上。另一方面,Co含量超过0.010%时,虽然理由还不确定,但不会由于电解碱预处理而形成含有Co的氧化覆膜层(氮化抑制层),因此,限制为0.010%以下。优选Co含量为0.002~0.007%。

[0089] Ti:0.0030%以下

[0090] Ti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Ti含量超过0.0030%时,上述不良影响变得显著,因此,将上限设定为0.0030%。优选Ti含量为0.0020%以下。

[0091] Nb:0.0030%以下

[0092] Nb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Nb含量超过0.0030%时,上述不良影响变得显著,因此,将上限设定为0.0030%。优选Nb含量为0.0020%以下。

[0093] O:0.0050%以下

[0094] O是形成氧化物、使磁特性劣化的有害元素,因此,O含量限制为0.0050%以下。优选

O含量为0.0040%以下。

[0095] 本实施方式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。为了提高特性,优选在上述无取向性电磁钢板的成分组成的基础上还含有选自下述A~C组中的至少一组的成分。

[0096] A组:选自Sn:0.005~0.20%、Sb:0.005~0.20%中的一种或两种

[0097] Sn和Sb具有改善再结晶织构、改善磁通密度、铁损的效果。为了得到上述效果,Sn和Sb的含量需要分别添加0.005%以上。但是,Sn和Sb的含量即使分别添加超过0.20%,上述效果也饱和。因此,Sn和Sb的含量优选分别设定为0.005~0.20%。

[0098] B组:选自Cu、Ni和Cr中的一种或两种以上:合计为0.03~1.0%

[0099] Cu、Ni、Cr具有使电阻率升高、降低铁损的效果。为了得到上述效果,选自Cu、Ni、Cr中的一种或两种以上的含量的合计设定为0.03%以上。选自Cu、Ni、Cr中的一种或两种以上的含量以合计1.0%以上添加时,导致成本的升高。因此,选自Cu、Ni、Cr中的一种或两种以上的含量的合计优选设定为0.03~1.0%。更优选的是,选自Cu、Ni、Cr中的一种或两种以上的含量的合计为0.05~0.8%。

[0100] C组:选自Ca、Mg和REM中的一种或两种以上:合计为0.0005~0.020%

[0101] Ca、Mg和REM具有形成稳定的硫化物、改善晶粒生长性的效果。为了得到上述效果,Ca、Mg和REM中的一种或两种以上的含量的合计设定为0.0005%以上。但是,即使添加超过0.020%,上述效果也饱和。因此,Ca、Mg和REM中的一种或两种以上的含量的合计优选设定为0.0005~0.020%。

[0102] 为了提高特性,优选在上述无取向性电磁钢板的成分组成的基础上还含有选自下述D~G组中的至少一组的成分。

[0103] D组:选自Ge和Ga中的一种或两种:合计为0.0005~0.01%

[0104] Ge和Ga是具有改善织构的效果的元素。在添加Ge和Ga中的一者或两者的情况下,为了得到上述效果,Ge和Ga的合计含量低于0.0005%时不充分,因此设定为0.0005%以上。Ge和Ga的合计含量优选设定为0.0020%以上。

[0105] 另一方面,Ge和Ga的合计含量即使添加超过0.01%,上述效果也饱和,仅是合金成本升高。因此,Ge和Ga的合计含量设定为0.01%以下,优选为0.0050%以下的范围。

[0106] E组:Zn:0.001~0.05%

[0107] Zn是具有抑制最终退火时的氮化的效果的元素。在添加Zn的情况下,Zn含量设定为0.001质量%以上,优选设定为0.002%以上。另一方面,Zn含量超过0.05质量%时,Zn形成硫化物,铁损反而增加。因此,Zn含量限制为0.05质量%以下。Zn含量优选为0.002~0.01质量%的范围。

[0108] F组:选自Mo、As和W中的一种或两种以上:合计为0.001~0.05%

[0109] Mo和As、W是具有使高温强度提高的效果的元素,通过添加Mo、As和W中的一种或两种以上,能够抑制无取向性电磁钢板的表面缺陷(鳞状折叠)。

[0110] 本发明的钢板是高合金钢,表面易被氧化,因此,由表面裂纹引起的鳞状折叠的产生率高。因此,通过添加Mo、As和W中的一种或两种以上,能够抑制上述裂纹。

[0111] 在添加Mo、As和W中的一种或两种以上的情况下,为了充分地得到上述效果,Mo、As和W的合计含量设定为0.001%以上,优选设定为0.005%以上。另一方面,合计含量超过0.05%

时,上述效果饱和,合金成本升高。因此,合计含量设定为0.05%以下,优选设定为0.02%以下。

[0112] G组:选自B、Pb和V中的一种或两种以上:合计为0.0001~0.01%

[0113] B、Pb和V是具有发生晶界偏析、使钢板的韧性提高的效果的元素,通过添加B、Pb和V中的一种或两种以上,能够提高无取向性电磁钢板的韧性。

[0114] 本发明的钢板是高合金钢,韧性有可能降低。因此,通过添加B、Pb和V中的一种或两种以上,能够提高韧性。在添加B、Pb和V中的一种或两种以上的情况下,为了充分地得到上述效果,B、Pb和V的合计含量设定为0.0001%以上,优选设定为0.0005%以上。另一方面,合计含量超过0.01%时,形成碳氮化物,导致铁损的增加。因此,合计含量设定为0.01%以下,优选设定为0.0050%以下。

[0115] 在钢板的表面的含有Si、Al和Co的氧化物层

[0116] 含有Si、Al和Co的氧化物层抑制钢板表面的氮化、实现低铁损。因此,在钢板的至少一个表面具有含有Si、Al和Co的氧化物层。另外,该氧化物可以为非晶质,也可以为结晶相,另外,还可以为非晶质与结晶质的复合氧化物。氧化层中所含的结晶相相对于非晶质相和结晶相的合计的比例优选为0%以上且30%以下,更优选为0%以上且10%以下。

[0117] 氧化物层中的Al浓度为10原子%以上

[0118] 氧化物层所含的元素中,具有氮化抑制效果的是Al和Co,Al浓度优选为10原子%以上。这是因为,Al浓度变高时,变为更致密的氧化膜,因此,最终退火时的氮化抑制效果变大。

[0119] Co的添加量为微量,只要在氧化物层内含有就发挥氮化抑制效果,其浓度所引起的效果差异微小,添加量没有特别限定。

[0120] 为了得到Al浓度为10原子%以上的该氧化覆膜,优选将电解碱处理的电量密度设定为5~10(C/dm²)。

[0121] 关于上述氧化层的厚度,从抑制氮化的观点出发,优选将该厚度设定为5nm以上。另一方面,氧化层过厚时,钢板的占空系数降低,因此,氧化层的厚度优选设定为50nm以下。

[0122] 结晶相的比例和氧化层厚度可以通过透射电子显微镜(TEM)和扫描透射电子显微镜(STEM)观察以及能量色散型X射线光谱法(EDS)分析进行测定。

[0123] 具体而言,用1nm以下的射束系统以5万倍以上测定STEM-EDS元素分布图,然后以30万倍以上获得TEM图像。根据所得到的STEM-EDS元素分布图和TEM图像,将存在Al和O的区域且能够确认晶格条纹的区域作为结晶相,将除此以外的Al和O的存在区域作为非晶质相。接着,求出两者的面积并根据该结果计算结晶相相对于非晶质相和结晶相的合计面积的面积比。

[0124] 或者,关于氧化层厚度,测定STEM-EDS元素分析图的Al区域的厚度即可。具体而言,以0.5nm的间隔获得EDS-线轮廓,根据所得到的Al、Si、Co和O的元素分布,将O的重量分数(weight fraction)为10%以上、Al、Si、Co的重量分数为3%以上的区域作为氧化层来进行处理。

[0125] 需要说明的是,氧化层中也可以含有Fe,氧化层中的Fe浓度的上限没有特别限定,但优选以相对于Al或Si、或者两者的合计的比例计小于100%。测定可以利用STEM-EDS(10万倍)等实施。

[0126] 在从钢板的表面起到板厚1/20为止的层内以A1N形式存在的钢板表层的氮量(NasA1N)为0.01质量%以下

[0127] 在钢板表层存在微细的A1N的析出时,高磁通密度区域的铁损增加,磁特性劣化。因此,需要抑制A1N的形成,作为该A1N的指标,用以A1N形式存在的氮量来表示,该以A1N形式存在的钢板表层的氮量(NasA1N)为0.01质量%以下。

[0128] 钢板板厚中心部的氮量Nc和上述钢板表层的氮量(NasA1N)满足(1)式

[0129] $(\text{NasA1N})/\text{Nc} \leq 3.0 \quad \cdots (1)$

[0130] 在从钢板表面起到板厚1/20为止的层(表层)中形成A1N的氮量与钢板板厚中心部的氮量之比与高磁通密度区域的铁损具有强相关性。氮量之比为3.0以下时,铁损大幅降低,因此氮量之比设定为3.0以下。

[0131] 磁特性:钢板的铁损为3.2W/kg以下

[0132] 铁损超过3.2W/kg时,发现电动机在高转矩区域驱动时电动机发热、或者电动机的效率降低。因此,钢板的铁损设定为3.2W/kg以下。

[0133] <无取向性电磁钢板的制造方法>

[0134] 接着,对本实施方式的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0135] 一种无取向性电磁钢板的制造方法,其包括:热轧工序,其中,对具有上述成分组成的钢坯进行热轧,制成热轧板;冷轧工序,其中,对热轧板在进行退火或者不进行退火的情况下进行一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧,制成冷轧板;电解脱脂处理工序,其中,对冷轧板进行电解脱脂处理;以及最终退火工序,其中,对电解脱脂处理后的冷轧板进行最终退火,电解脱脂处理中,利用电量密度为3~12(C/dm²)、浓度为1~10%、液温为30~120℃的碱液进行1秒~15秒,最终退火时,将露点设定为-70~-10℃。以下,具体地进行说明。

[0136] 钢坯

[0137] 首先,在本实施方式的无取向性电磁钢板的制造中使用的钢坯可以将具有上述符合本发明的成分组成的钢通过使用了转炉、电炉、真空脱气装置等的通常公知的精炼工艺进行熔炼、并利用作为常规方法的连铸法或铸锭-开坯轧制法来制造。需要说明的是,可以通过直接铸造法制造厚度为100mm以下的薄铸片。

[0138] 热轧工序

[0139] 接着,钢坯通常通过公知的方法进行热轧而制成热轧板。此时,钢坯通常用加热炉再加热至规定的温度后供于热轧,但也可以在铸造后不进行再加热而直接供于热轧。另外,在薄铸片的情况下,可以进行热轧,也可以省略热轧而直接进入之后的工序。

[0140] 热轧板退火

[0141] 接着,对热轧板进行退火、或者不进行退火而直接进入之后的工序。接着热轧的热轧板退火优选将均热温度设定为800~1100℃的范围。均热温度低于800℃时,热轧板退火的效果小,得不到磁特性的充分的改善效果,另一方面,均热温度超过1100℃时,晶粒粗大化,助长冷轧时的脆性断裂(板断裂),或者制造成本上变得不利。另外,从确保生产率的观点出发,均热时间优选设定为3分钟以下。更优选均热温度为850~1000℃、均热时间为1分钟以下。

[0142] 冷轧工序

[0143] 冷轧是对经过酸洗后的热轧退火板以冷加工进行轧制而制成制品板的板厚(最终板厚)的工序。

[0144] 热轧板退火后的钢板接着通过一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧而制成最终板厚的冷轧板。冷轧的最终板厚(制品板厚)没有特别限定,但从得到铁损的降低效果的观点出发,优选设定为0.50mm以下。

[0145] 电解脱脂处理工序

[0146] 接着,将上述冷轧板利用碱液进行电解处理。为了形成最终退火时的氮化抑制层(氧化层),电解碱处理的条件为:电量密度为 $3 \sim 12 \text{ (C/dm}^2\text{)}$,碱液浓度为 $1 \sim 10\%$,处理温度 $30 \sim 120^\circ\text{C}$ 下 $1 \sim 15$ 秒。在此,碱液选择氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钙和原硅酸钠中的任意一种。

[0147] 另外,为了得到Al浓度为10原子%以上的氧化层,优选将电量密度设定为 $5 \sim 10 \text{ (C/dm}^2\text{)}$ 。

[0148] 最终退火工序

[0149] 接着,对电解脱脂处理后的冷轧板实施最终退火。在本发明中,最终退火在低露点下实施。具体而言,在露点为 $-70 \sim -10^\circ\text{C}$ 的条件下实施最终退火。这是因为,露点超过 -10°C 时,在钢板的内部形成氧化层,没有在作为目标的钢板的表层形成氮化抑制层(氧化层)。另外,低于 -70°C 的低露点时,工业上耗费的成本变大,因此,最终退火的露点设定为 $-70 \sim -10^\circ\text{C}$ 。

[0150] 另外,从在最终退火中使结晶粒径粗大化、使铁损进一步降低的观点出发,最终退火中的均热温度优选设定为 $900 \sim 1200^\circ\text{C}$,更优选设定为 $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ 。出于同样的理由,最终退火中的均热时间优选设定为 $1 \sim 120$ 秒,更优选设定为 $5 \sim 60$ 秒。

[0151] 实施了上述最终退火的钢板之后根据需要进行覆绝缘覆膜而制成制品板。上述绝缘覆膜可以为无机、有机、无机与有机的混合中的任意一种,没有特别限制。

[0152] 实施例

[0153] 将具有表1-1~1-7所示的各种成分组成的钢坯在 1100°C 下加热30分钟后,进行热轧而制成板厚为1.9mm的热轧板。接着,在 $980^\circ\text{C} \times 30$ 秒的条件下对上述热轧板实施热轧板退火,酸洗后,进行冷轧而制成最终板厚的冷轧板,对该冷轧板进行碱处理后,实施最终退火(感应加热和辐射加热),制成制品板。需要说明的是,上述冷轧、电解脱脂处理和最终退火的条件示于表2-1~2-7中。

[0154] 从这样得到的制品板上裁取样品,从轧制方向(L方向)和宽度方向(C方向)切割出宽度 $30\text{mm} \times$ 长度 180mm 的试验片,通过爱泼斯坦试验测定(L+C)方向的铁损 $W_{17/50}$ 。另外,从上述样品上裁取试验片,进行电解提取分析,对从钢板表面起到板厚 $1/20$ 的深度为止的氮浓度N(质量%)和钢板中心部的氮浓度N(质量%)进行分析。另外,通过TEM、STEM观察表层的氧化层的厚度。

[0155] 将上述结果一并记在表2-1~2-7中。根据该结果可知,使用具有符合本发明的成分组成的钢原材(钢坯)在符合本发明的条件下制造的钢板均具有优良的铁损特性。另外,在发明例的钢板表面确认到具有Co的Fe-Si-Al氧化层。

[0156] 需要说明的是,关于铁损,将在50Hz、1.7T下励磁时的铁损值为 3.2W/kg 以下的钢板作为发明例。

[0157] 另外,钢种No.14、15、18产生了钢坯裂纹,因此不能评价钢板特性。No.21在冷轧中产生了裂纹,No.64在热轧中产生了裂纹,因此均不能评价钢板特性。

[0158] 根据本发明,由于在不导致磁通密度降低的情况下实现了在高磁通密度区域的铁损降低,因此能够适合用作混合动力电动汽车、电动汽车、发电机、空调压缩机、吸尘器、机床等的电动机铁芯用材料。

[0159]

[表1-1]

No.	化学成分 (质量%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
1	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0011	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
2	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
3	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
4	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
5	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0002	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
6	0.0025	1.9	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-
13	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
14	0.0029	3.5	2.5	0.01	0.0024	0.5	0.0021	0.0008	0.0011	0.0021	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0.0025	3.3	0.1	0.01	0.0024	2.5	0.0045	0.0008	0.0011	0.0021	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0.0019	4.2	0.3	0.01	0.0015	0.3	0.0026	0.0014	0.0012	0.0019	0.0027	-	0.01	-	-	-	-	-	-
17	0.0019	5.6	0.3	0.01	0.0015	0.3	0.0027	0.0014	0.0012	0.0019	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.0022	7.2	0.2	0.01	0.0024	0.3	0.0038	0.0008	0.0011	0.0021	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0.0021	4.0	0.4	0.01	0.0026	0.6	0.0032	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.03	-	-	-	-	-	-	-
20	0.0021	4.0	0.4	0.01	0.0026	0.6	0.0032	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.03	-	-	-	-	-	-	-

[0160]

[表1-2]

No.	化学成分 (质量%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
21	0.0026	3.2	0.1	0.25	0.0026	1.5	0.0025	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.06	-	-	-	-	-	-	-
22	0.0024	3.4	1.2	0.01	0.0019	0.9	0.0024	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	0.03	-	-	-	-	-	-	-
23	0.0024	3.3	1.8	0.01	0.0019	0.7	0.0024	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	0.03	-	-	-	-	-	-	-
24	0.0018	3.5	0.2	0.01	0.0015	0.9	0.0021	0.0012	0.0009	0.0027	0.0021	-	0.05	-	-	-	-	-	-
25	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0024	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	0.0034	-	-
26	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0026	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	-	0.0025	-
27	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0027	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	0.0072
28	0.0025	3.3	0.6	0.01	0.0059	0.9	0.0069	0.0018	0.0013	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
29	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0041	0.0013	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
30	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0038	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
31	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0011	0.0064	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
32	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0011	0.0021	0.011	0.04	-	-	-	-	-	-	-
33	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
34	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
35	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
36	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
37	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
38	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
39	0.0025	3.7	0.8	0.01	0.0021	0.8	0.0031	0.0013	0.0013	0.0032	0.0031	0.03	-	-	-	-	0.0029	-	-
40	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-

[0161]

[表 1-3]

No.	化学成分 (质量%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
41	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
42	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
43	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
44	0.0029	2.6	0.5	0.01	0.0022	0.7	0.0035	0.0019	0.0008	0.0023	0.0023	0.04	-	-	-	-	-	-	-
45	0.0029	2.6	0.5	0.01	0.0022	0.7	0.0035	0.0019	0.0008	0.0023	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
46	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	-	-	-	-
47	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.04	-	-	-	-	-
48	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.2	-	-	-	-	-
49	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.5	-	-	-	-	-
50	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.8	-	-	-	-	-
51	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.04	-	-	-	-
52	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.2	-	-	-	-
53	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.5	-	-	-	-
54	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.8	-	-	-	-
55	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.04	-	-	-
56	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.2	-	-	-
57	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.5	-	-	-
58	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.8	-	-	-
59	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.1	0.1	0.1	-	-	-
60	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.3	-	0.3	-	-	-

[0162]

[表 1-4]

No.	化学成分 (质量%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
61	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.3	0.3	-	-	-
62	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.3	0.3	0.3	-	-	-
63	0.0074	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0011	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
64	0.0025	3.3	0.04	0.01	0.0024	0.7	0.0045	0.0008	0.0011	0.0021	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0.0025	2.7	0.5	0.01	0.0019	0.2	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
66	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
67	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
68	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
69	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
70	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
71	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
72	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
73	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
74	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-
75	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-

[0163]

[表 1-5]

No.	化学成分 (质量%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
76	0.005	2.0	0.15	0.006	0.0008	1.5	0.0043	0.0030	0.0002	0.0011	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-
77	0.0032	2.2	0.05	0.004	0.0014	0.8	0.0024	0.0005	0.0030	0.0015	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-
78	0.0036	6.5	0.1	0.01	0.0013	0.4	0.0032	0.0008	0.0005	0.0050	0.0011	-	-	-	-	-	-	-	-
79	0.0021	3.5	2.0	0.10	0.0004	0.5	0.0013	0.0011	0.0008	0.0005	0.0012	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0.0023	3.5	0.5	0.05	0.0050	0.5	0.0013	0.0012	0.0009	0.0018	0.0050	-	-	-	-	-	-	-	-
81	0.0022	3.8	0.5	0.02	0.0019	2.0	0.010	0.0013	0.0009	0.0016	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-

[0164]

[表1-6]

No.	化学成分 (质量%)																			
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM	其它
82	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0015
83	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0045
84	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.021
85	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Mo:0.0029
86	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Mo:0.0300
87	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0068 Mo:0.0050
88	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.0011
89	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.014
90	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.036
91	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0012
92	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ge:0.0024
93	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0034 Ge:0.0042
94	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0067
95	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ge:0.081
96	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0008 Ge:0.0007
97	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0003
98	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0025
99	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0048

[0165]

[表1-7]

No.	化学成分 (质量%)																			
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM	其它
100	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0091
101	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0002
102	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0015
103	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0045
104	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0001
105	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0011
106	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0038
107	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0004
108	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0012
109	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0045
110	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.021 B:0.0001 V:0.0015 Pb:0.0012
111	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0026 Pb:0.0018
112	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0019 V:0.0023 Pb:0.0014

[0166]

[表2-1]

钢种 No.	冷轧 最终板厚 (mm)	最终退火前的电解碱处理条件					最终退火条件		表层的氮化量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (℃)	时间 (秒)	快速加热 露点 (℃)	辐射加热 条件 (℃×秒)						
1	0.25	氢氧化钠	4	5	70	5	-68	1000×10	0.0039	1.4	2.80	10	9	发明例
2	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0038	1.4	2.75	20	8	发明例
3	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-60	1000×10	0.0035	1.3	2.68	15	11	发明例
4	0.25	氢氧化钠	9	5	70	5	-45	1000×10	0.0034	1.3	2.70	5	10	发明例
5	0.25	氢氧化钠	12	5	70	5	-40	1000×10	0.0094	3.5	3.45	10	10	比较例
6	0.25	氢氧化钠	12	5	70	5	-40	1000×10	0.004	1.7	3.40	20	10	比较例
7	0.30	氢氧化钠	4	10	70	3	-40	1000×10	0.0035	1.5	2.77	10	9	发明例
8	0.30	氢氧化钠	5	13	70	15	-40	1000×10	0.0041	1.7	2.61	45	12	发明例
9	0.30	氢氧化钠	5	0.5	70	10	-40	1000×10	0.0098	4.1	3.55	3	6	比较例
10	0.30	氢氧化钠	5	8	90	20	-40	1000×10	0.0099	4.1	3.56	65	7	比较例
11	0.30	氢氧化钠	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0035	1.5	2.65	15	10	发明例
12	0.27	氢氧化钠	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0038	2.0	2.62	20	10	发明例
13	0.25	氢氧化钠	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0036	1.8	2.61	20	10	发明例
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
16	0.25	氢氧化钾	7	7	50	5	-30	980×10	0.0039	1.4	2.59	10	13	发明例
17	0.25	氢氧化钾	7	7	50	5	-30	980×10	0.0038	1.4	2.59	15	13	发明例
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
19	0.35	氢氧化钙	8	3	90	12	-40	960×10	0.0036	1.5	2.65	20	12	发明例
20	0.20	氢氧化钙	8	3	90	12	-40	960×10	0.0035	1.5	2.64	20	12	发明例

[0167]

[表2-2]

钢种 No.	冷轧 最终板厚 (mm)	最终退火前的电解碱处理条件					最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (°C)	时间 (秒)	快速加热 露点 (°C)	辐射加热 条件 (°C×秒)						
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
22	0.25	正硅酸钠	3	5	30	30	-20	1000×10	0.0041	2.0	2.92	15	8	发明例
23	0.25	正硅酸钠	3	5	30	30	-20	1000×10	0.0040	1.9	2.91	15	8	发明例
24	0.27	正硅酸钠	3	3	50	50	-20	1000×10	0.0045	2.1	2.85	35	8	发明例
25	0.25	氢氧化钾	5	8	70	20	-20	1000×10	0.0041	2.0	2.78	30	10	发明例
26	0.25	氢氧化钾	5	10	100	10	-30	1020×10	0.0035	1.7	2.71	25	10	发明例
27	0.25	氢氧化钾	5	10	20	10	-30	1020×10	0.0035	1.7	2.72	20	10	发明例
28	0.25	氢氧化钾	6	7	80	5	-40	960×10	0.0044	1.7	3.55	15	10	比较例
29	0.25	氢氧化钾	6	7	80	5	-40	960×10	0.0041	1.6	3.65	15	10	比较例
30	0.25	氢氧化钾	6	7	80	5	-40	960×10	0.0042	1.6	3.71	15	10	比较例
31	0.25	氢氧化钾	6	7	80	5	-40	960×10	0.0041	1.6	3.48	15	10	比较例
32	0.25	氢氧化钾	6	7	80	5	-40	960×10	0.05	4.5	3.85	15	10	比较例
33	0.20	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0039	1.8	2.61	20	13	发明例
34	0.25	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0038	1.7	2.60	20	13	发明例
35	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0038	1.7	2.60	25	14	发明例
36	0.15	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0033	1.4	2.58	25	14	发明例
37	0.20	氢氧化钠	10	3	90	4	-10	1000×10	0.0032	1.4	2.57	25	14	发明例
38	0.25	氢氧化钠	10	5	80	4	-10	1000×10	0.0032	1.4	2.55	25	14	发明例
39	0.25	氢氧化钠	10	5	80	4	-10	1000×10	0.0032	1.0	2.55	25	14	发明例
40	0.35	氢氧化钠	10	1	85	1	-55	1000×10	0.0043	1.6	2.99	30	15	发明例

[0168]

[表2-3]

钢种 No.	冷轧 最终板厚 (mm)	最终退火前的电解碱处理条件					最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (°C)	时间 (秒)	快速加热 露点 (°C)	辐射加热 条件 (°C×秒)						
41	0.35	氢氧化钠	10	1	85	15	-55	1000×10	0.0042	1.6	2.98	25	14	发明例
42	0.35	氢氧化钠	10	10	85	1	-55	1000×10	0.0041	1.5	2.96	20	13	发明例
43	0.35	氢氧化钠	10	10	85	15	-55	1000×10	0.0041	1.5	2.95	30	15	发明例
44	0.50	氢氧化钠	11	3	90	3	-55	1000×10	0.0039	1.7	3.02	30	9	发明例
45	0.50	氢氧化钠	11	3	90	3	-55	1000×10	0.0039	1.5	3.08	30	9	发明例
46	0.30	氢氧化钠	11	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.85	15	9	发明例
47	0.30	氢氧化钠	11	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.81	15	9	发明例
48	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	发明例
49	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	发明例
50	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	发明例
51	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.80	15	10	发明例
52	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	发明例
53	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	发明例
54	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	发明例
55	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.80	15	10	发明例
56	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	发明例
57	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	发明例
58	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	发明例
59	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.76	15	10	发明例
60	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.75	15	10	发明例

[0169]

钢种 No.	冷轧 最终板厚 (mm)	最终退火前的电解碱处理条件					最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (°C)	时间 (秒)	快速加热 露点 (°C)	辐射加热 条件 (°C×秒)						
61	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.74	15	10	发明例
62	0.30	氢氧化钠	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.73	15	10	发明例
63	0.25	氢氧化钠	5	5	70	5	-68	1000×10	0.01	3.7	3.47	10	12	比较例
64	-	-	-	-	-	-	-	1000×10	-	-	-	-	-	比较例
65	0.30	氢氧化钠	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0097	4.0	3.58	15	10	比较例
66	0.25	氢氧化钠	2	5	70	5	-55	1000×10	0.0089	3.3	3.42	20	6	比较例
67	0.25	氢氧化钠	13	5	70	5	-55	1000×10	0.0091	3.4	3.44	20	15	比较例
68	0.25	氢氧化钠	5	0.7	70	5	-55	1000×10	0.011	4.1	3.76	20	15	比较例
69	0.25	氢氧化钠	5	11.5	70	5	-55	1000×10	0.01	3.7	3.71	20	15	比较例
70	0.25	氢氧化钠	5	3	25	3	-35	1050×10	0.0076	3.8	3.72	20	10	比较例
71	0.25	氢氧化钠	5	3	125	3	-35	1050×10	0.0082	4.1	3.78	20	10	比较例
72	0.25	氢氧化钠	5	3	85	0.5	-35	1050×10	0.0095	4.8	3.95	20	10	比较例
73	0.25	氢氧化钠	5	3	85	17	-35	1050×10	0.0087	4.4	3.83	20	10	比较例
74	0.27	氢氧化钾	5	3	85	5	-70	1050×10	0.0034	1.8	2.59	20	13	发明例
75	0.27	氢氧化钾	3	1	40	3	-70	1050×10	0.0048	2.7	2.79	20	8	发明例

[0170]

[表2-5]

钢种 No.	冷轧 最终 板厚 (mm)	最终退火前的电解碱处理条件				最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (°C)	时间 (秒)	快速加热 露点 (°C)						
76	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0032	3.2	2.78	15	12	发明例
77	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0034	1.4	2.58	15	11	发明例
78	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0023	2.1	2.77	15	11	发明例
79	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0021	1.8	2.87	15	12	发明例
80	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0089	1.8	2.79	15	11	发明例
81	0.25	氢氧化钠	6	5	70	5	-68	0.0032	1.4	2.88	15	12	发明例

[0171]

[表2-6]

钢种 No.	冷轧 最终板厚 (mm)	最终退火前的碱电解处理条件					最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (°C)	时间 (秒)	快速加热 露点 (°C)	辐射加热 条件 (°C×秒)						
82	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.72	20	8	发明例
83	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	22	8	发明例
84	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0032	1.2	2.68	24	8	发明例
85	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	发明例
86	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.71	21	8	发明例
87	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	发明例
88	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.71	20	8	发明例
89	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	发明例
90	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	22	8	发明例
91	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.74	20	8	发明例
92	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.74	20	8	发明例
93	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.73	20	8	发明例
94	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	20	8	发明例
95	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	发明例
96	0.25	氢氧化钠	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.71	20	8	发明例
97	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.58	25	14	发明例
98	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0036	1.6	2.57	25	14	发明例
99	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0035	1.6	2.57	25	14	发明例

[0172]

[表2-7]

钢种 No.	冷轧 最终 板厚 (mm)	最终退火前的碱电解处理条件					最终退火条件		表层的氮含量 N as AlN (质量%)	(N as AlN) /Nc	铁损 W17/50 (W/kg)	表层 氧化膜 厚度 (nm)	氧化膜 Al浓度 (原子%)	备注
		液体种类	电量 密度 (C/dm ²)	浓度 (%)	温度 (℃)	时间 (秒)	快速加热 露点 (℃)	辐射加热 条件 (℃×秒)						
100	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0035	1.6	2.56	25	14	发明例
101	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.59	25	14	发明例
102	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.59	25	14	发明例
103	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.58	25	14	发明例
104	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.58	25	14	发明例
105	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0036	1.6	2.57	25	14	发明例
106	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0035	1.6	2.55	25	14	发明例
107	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.58	25	14	发明例
108	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0035	1.6	2.56	25	14	发明例
109	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0034	1.5	2.54	25	14	发明例
110	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0033	1.5	2.53	25	14	发明例
111	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0034	1.5	2.55	25	14	发明例
112	0.30	氢氧化钠	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0033	1.5	2.53	25	14	发明例

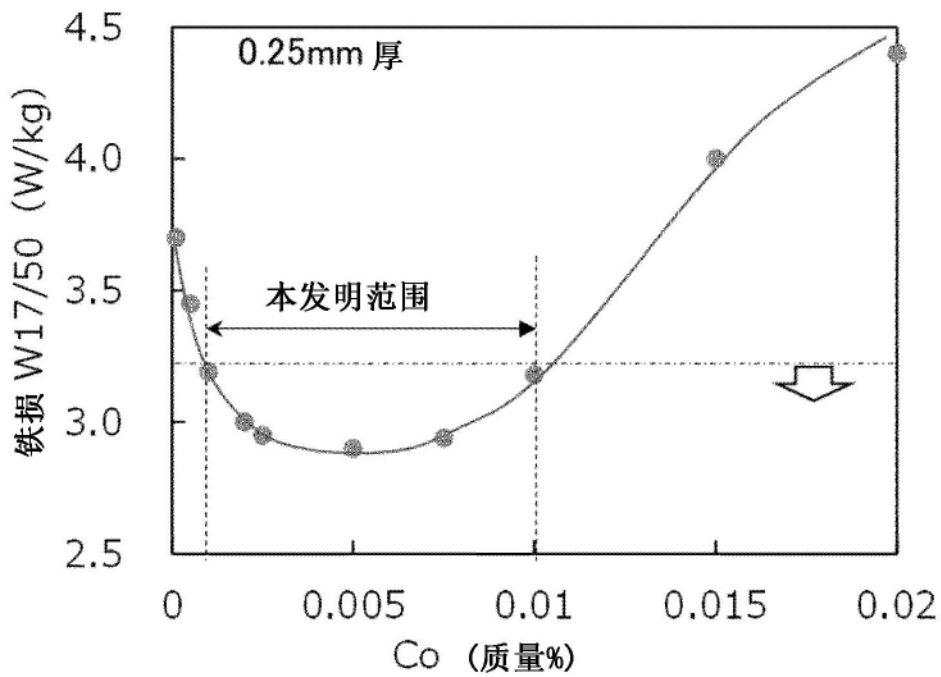


图1

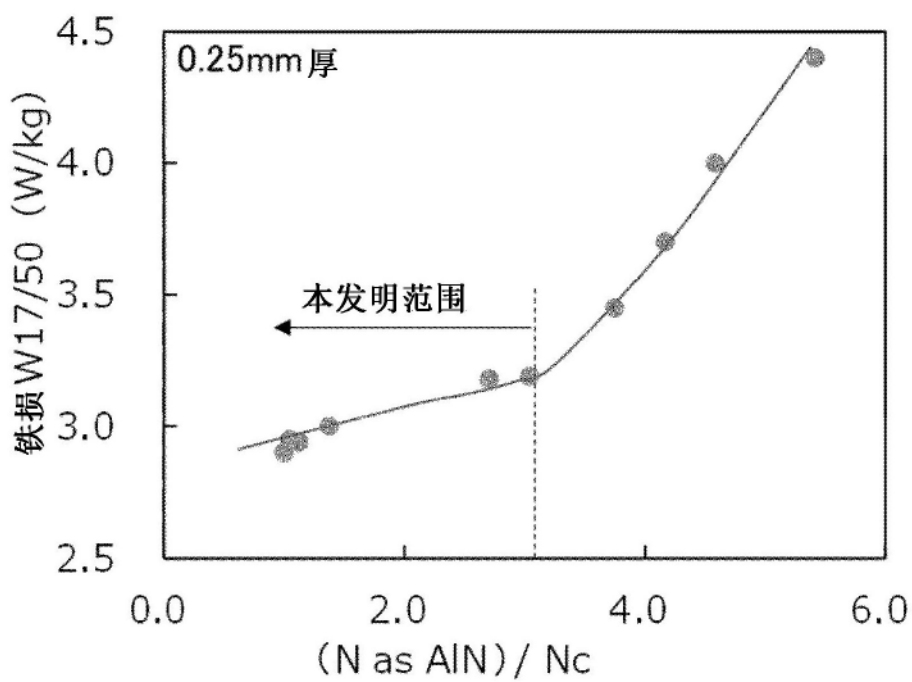


图2

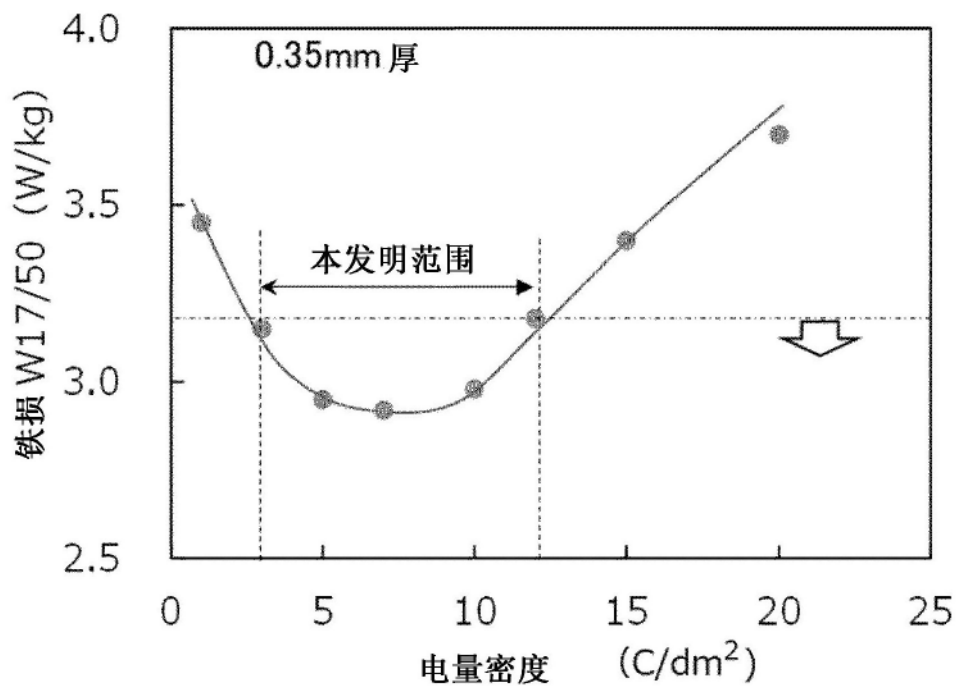


图3A

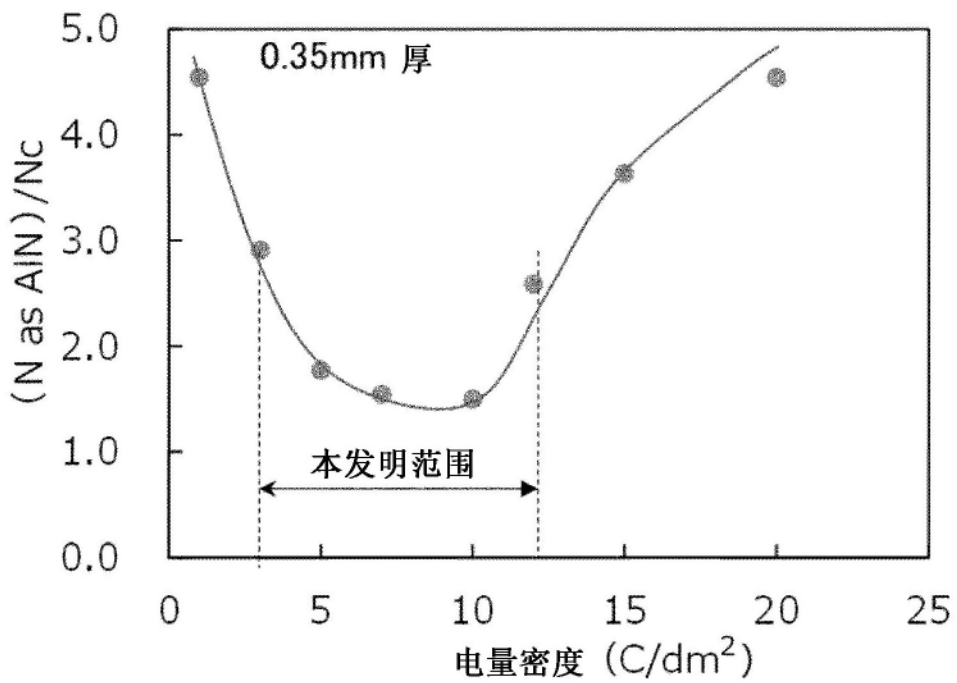


图3B

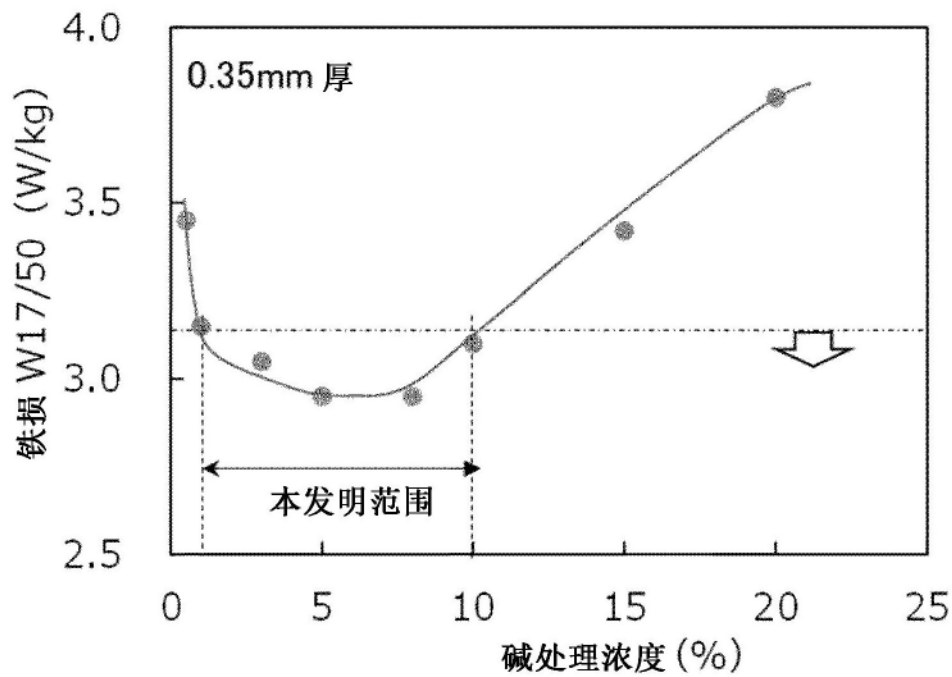


图4A

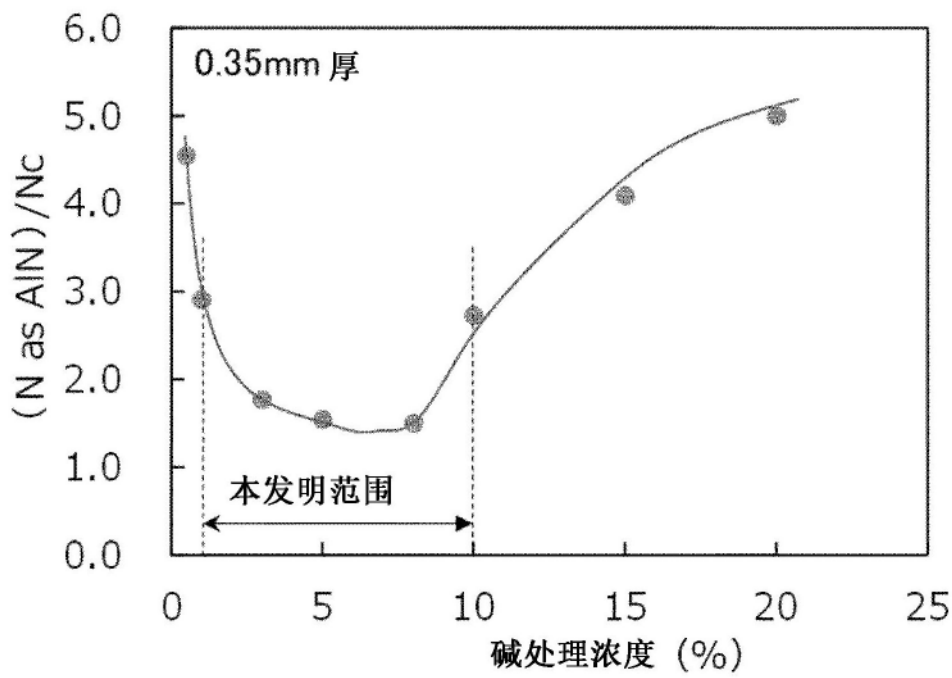


图4B

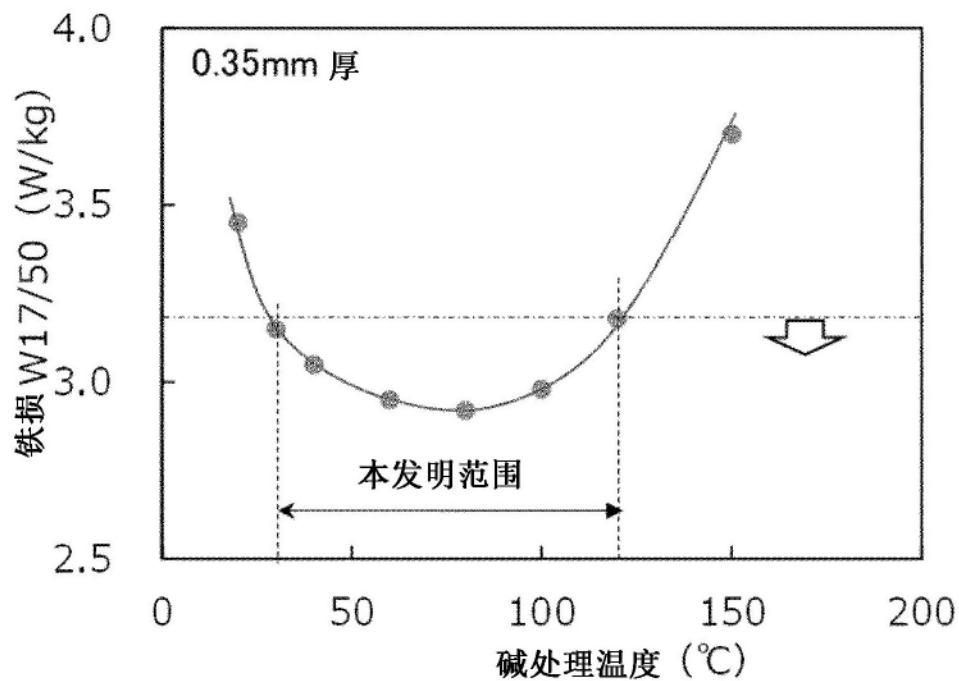


图5A

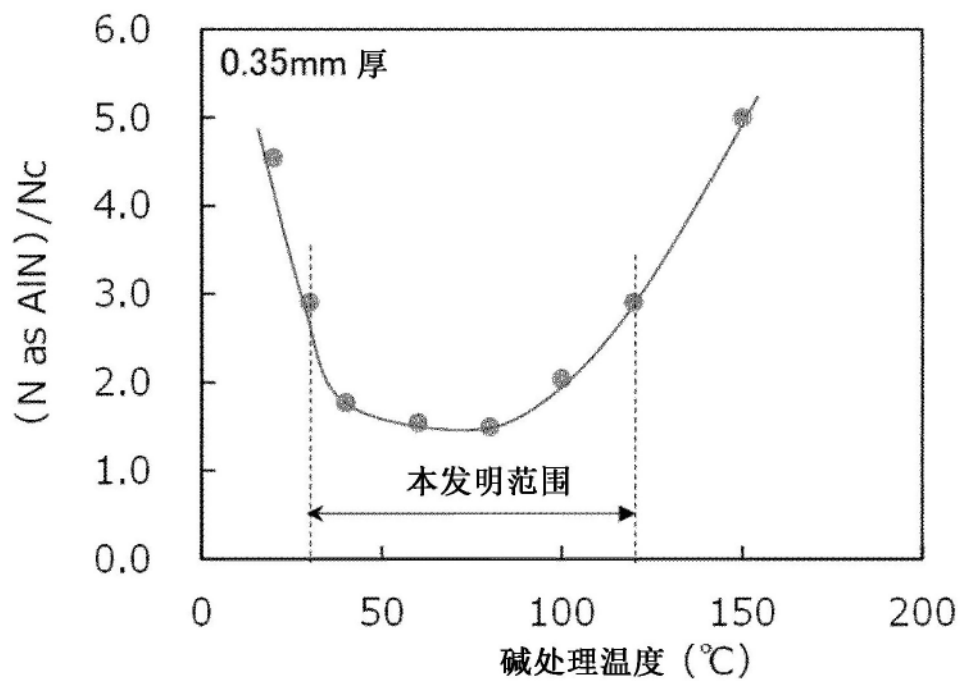


图5B

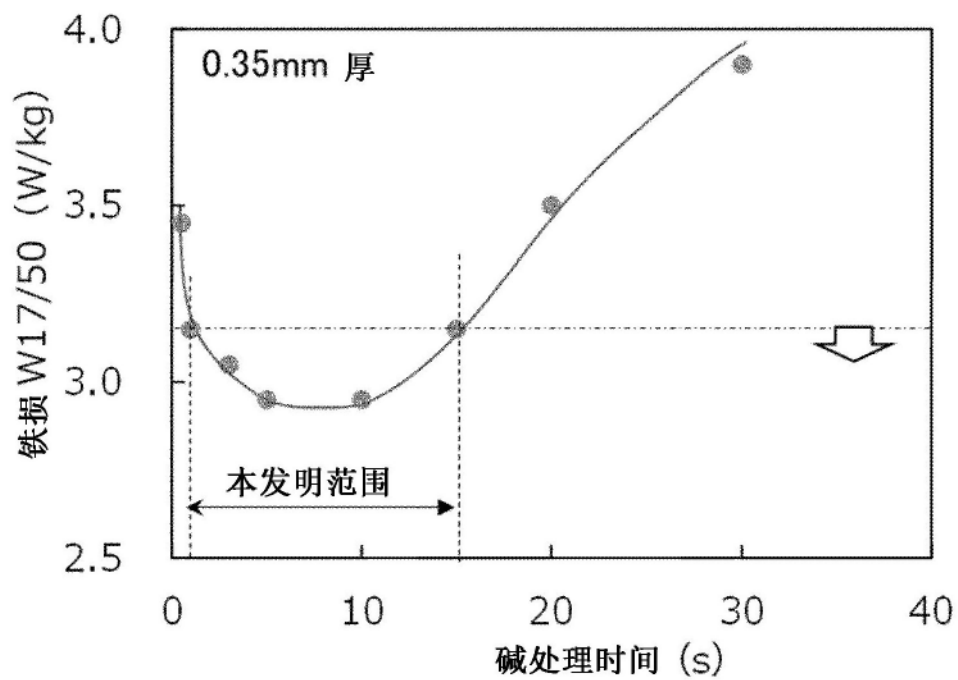


图6A

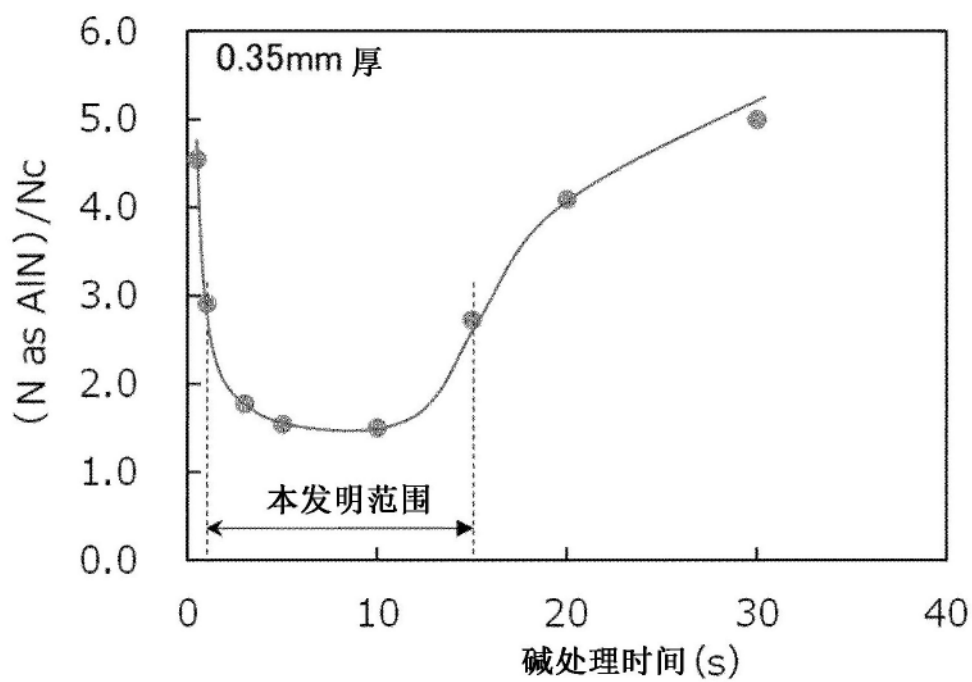


图6B