(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117396618 A
(43)申请公布日 2024.01.12

(21)申请号 202280038074.7
(22)申请日 2022.05.27
(30)优先权数据
2021-090686 2021.05.28 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.11.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/021835 2022.05.27
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/250162 JA 2022.12.01
(71)申请人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 今村猛 新垣之启 竹中雅纪 寺岛敬
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 朝鲁门
(51)Int.Cl.
C21D 8/12(2006.01)

权利要求书2页 说明书13页 附图4页

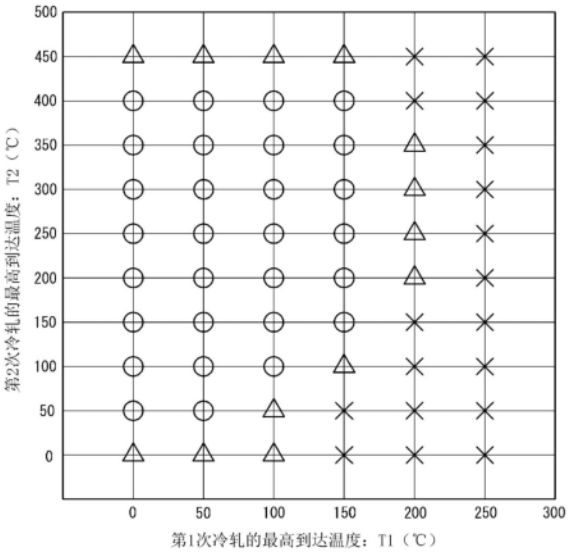
(54)发明名称

取向性电磁钢板的制造方法

(57)摘要

本发明提供一种在维持优异的磁特性的同时卷圆加工中的加工精度良好的取向性电磁钢板及其制造方法。是将取向性电磁钢板用的钢坯材进行规定的热轧,进行隔着中间退火的2次以上的冷轧,进行脱碳退火,在表面涂覆退火分离剂,然后实施最终退火,得到取向性电磁钢板,其中,第1次冷轧中的最高到达温度T1(℃)和第2次冷轧中的最高到达温度T2(℃)、第1次冷轧中的总压下率R1(%)和第2次冷轧中的总压下率R2(%)、最终退火中50℃到1000℃为止的平均升温速度H1(℃/h)和1000℃～(最高到达温度－50℃)的平均升温速度H_2(℃/h),满足式(1)～(6)。

$0 \leq T1 \leq 150 \cdots (1)$ $50 \leq T2 \leq 400 \cdots (2)$ $T1 \leq T2 \cdots (3)$ $R2 \geq 50 \geq R1 \cdots (4)$ $H1 \geq 1.1 \times H2 \cdots (5)$ $5 \leq H1 \leq 40 \cdots (6)$。



CN 117396618 A

1.一种取向性电磁钢板的制造方法,

将具有以质量%计含有C:0.010%~0.100%、Si:2.00%~5.00%、Mn:0.01%~0.50%、Al:0.010%~0.040%、N:0.0030%~0.0120%以及合计0.005%~0.100%的S和Se中的任意1种或者2种,且剩余部分为Fe和不可避免的杂质的成分组成的钢坯材,加热至1300℃以上的温度,实施热轧,制成热轧板,接下来,在实施热轧板退火后或者不实施热轧情况下,

对所述热轧板实施隔着中间退火的2次以上的冷轧,制成冷轧板,

对所述冷轧板实施脱碳退火,制成脱碳退火板,

在所述脱碳退火板的表面涂覆退火分离剂后,实施最终退火,得到取向性电磁钢板,

在所述取向性电磁钢板的制造方法中,

所述第1次冷轧中的最高到达温度T1和所述第2次冷轧中的最高到达温度T2满足下述式(1)~(3),所述T1和T2的单位为℃,

所述第1次冷轧中的总压下率R1和所述第2次冷轧中的总压下率R2满足下述式(4),所述R1和R2的单位为%,

进而,在所述最终退火中,50℃到1000℃为止的平均升温速度H1和1000℃到(最高到达温度—50℃)为止的平均升温速度H2满足下述式(5)和(6),所述H1和H2的单位为℃/h;

$0 \leqslant T1 \leqslant 150 \cdots (1)$

$50 \leqslant T2 \leqslant 400 \cdots (2)$

$T1 \leqslant T2 \cdots (3)$

$R2 \geqslant 50 \geqslant R1 \cdots (4)$

$H1 \geqslant 1.1 \times H2 \cdots (5)$

$5 \leqslant H1 \leqslant 40 \cdots (6)$。

2.根据权利要求1所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,

在所述热轧中,加热所述钢坯材后,在1100℃~1300℃实施1道次以上的粗轧,接着在800℃~1100℃实施2道次以上的精轧,将卷取温度设为400℃~750℃;

在所述热轧板退火中,将所述热轧板在800℃~1250℃保持5秒以上,然后将800℃到350℃为止的平均冷却速度设为5℃/s~100℃/s,进行冷却;

在所述中间退火中,将第1次所述冷轧后的冷轧板在800℃~1250℃保持5秒以上,然后将800℃到350℃为止的平均冷却速度设为5℃/s~50℃/s,进行冷却;

在所述脱碳退火中,在包含H_2和N_2的气氛且脱碳退火的至少一部分中的露点为20℃~80℃的湿润气氛下,将所述冷轧板在750℃~950℃保持10秒以上;

在所述最终退火前,在所述脱碳退火板的表面以每面2.5g/m^2以上涂覆含有MgO的所述退火分离剂;

在所述最终退火中,在1050℃以上的温度范围内的至少一部分中的气氛包含H_2的条件下,将所述脱碳退火板在1050℃~1300℃保持3小时以上。

3.根据权利要求1或2所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,所述成分组成进一步以质量%或质量ppm计,含有选自Ni:0%~1.50%、Cr:0%~0.50%、Cu:0%~0.50%、P:0%~0.50%、Sb:0%~0.50%、Sn:0%~0.50%、Bi:0%~0.50%、Mo:0%~0.50%、B:0ppm~25ppm、Nb:0%~0.020%、V:0%~0.010%和Zr:0%~0.10%中的至少1种。

4.根据权利要求1～3中任一项所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,所述成分组成进一步以质量%计含有选自Co:0%～0.050%和Pb:0%～0.0100%中的1种或2种。

5.根据权利要求1～4中任一项所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,所述成分组成进一步以质量%计含有选自As:0%～0.0200%、Zn:0%～0.020%、W:0%～0.0100%、Ge:0%～0.0050%和Ga:0%～0.0050%中的1种或2种以上。

取向性电磁钢板的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种适合于实施卷圆加工的小型变压器铁芯材料的取向性电磁钢板的制造方法。

背景技术

[0002] 电磁钢板是广泛用作变压器、马达等的铁芯的材料。电磁钢板大致分为取向性电磁钢板和无取向性电磁钢板,对于取向性电磁钢板,其特征在于,作为铁的易磁化轴的<001>取向在钢板的轧制方向上具有高度整合的织构。这样的织构是通过在最终退火中发生二次再结晶而形成的。这里,上述二次再结晶是指,利用晶界能量使所谓的被称为Goss取向的{110}<001>取向的晶粒优先长成巨大晶粒的现象。作为发生上述的二次再结晶的代表技术,有利用被称为抑制剂的析出物的技术。例如,已知专利文献1中记载的使用AlN、MnS的方法、专利文献2中记载的使用MnS、MnSe的方法等,并且均已被实际应用在工业中。这些使用抑制剂的方法对于使二次再结晶晶粒稳定地生长是有用的。在这些方法中,为了使抑制剂细微分散在钢中,需要在1300℃以上的高温下进行板坯加热,使抑制剂成分暂时固溶。

[0003] 另一方面,专利文献3等公开了在不含抑制剂成分的坯材中,使Goss取向晶粒通过二次再结晶生长的技术。这是通过极力排除抑制剂成分这样的杂质,使一次再结晶时的晶界所具有的晶界能量的晶界取向差角依赖性显现,即使不用抑制剂也能使具有Goss取向的晶粒发生二次再结晶的技术,将该效应称为织构抑制效应。在该方法中,由于不需要抑制剂在钢中细微分散,因此也不需要必需的高温板坯加热等,相对于利用抑制剂的方法,在制造方面具有优势。

[0004] 作为电磁钢板的用途的一个例子,可以举出如图1那样,进行卷圆加工成圆筒状,逐渐改变卷圆的直径并在径向层叠而成的铁芯。在这样制造的铁芯中,励磁的方向为图1的上下的一个方向,因此,与使用无取向性电磁钢板的情况相比,使用取向性电磁钢板时可以期待获得优异的特性。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特公昭40-15644号公报

[0008] 专利文献2:日本特公昭51-13469号公报

[0009] 专利文献3:日本特开2000-129356号公报

发明内容

[0010] 然而,新发现了如果对取向性电磁钢板实施折弯加工,则有时会在加工精度方面发生问题。例如,常常发生如图2所示的对接的钢板端部的两边A、B彼此变得不平行以及钢板的角a、b的位置错位。在这种取向性电磁钢板的加工精度变差的情况下,很难层叠钢板,无法构成铁芯。

[0011] 本发明是鉴于这样的情况而完成的,目的在于提供一种在维持优异的磁特性的同

时,卷圆加工中的加工精度良好的取向性电磁钢板及其制造方法。

[0012] 本发明人等为了解决上述课题,针对二次再结晶的条件反复进行了深入研究,结果通过细化二次再结晶晶粒,成功地提高了卷圆加工后的加工精度。

[0013] 以下,对使本发明成功的实验进行说明。

[0014] <实验1>

[0015] 将具有以质量%计含有C:0.075%、Si:3.41%、Mn:0.12%、Se:0.020%、Al:0.024%、N:0.0082%、剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢板坯,在1400℃的温度下进行再加热,通过热轧制作2.4mm板厚的热轧板。接下来,利用酸洗去除钢板的氧化皮后,在1050℃下实施10秒的热轧板退火。然后,通过冷轧制成1.7mm的板厚,此时,通过改变轧制速度和冷却液流量来控制板温,对冷轧时的最高温度进行各种改变。进而,在1050℃下实施100秒的中间退火。然后进行第2次冷轧,制成板厚0.23mm。此时,通过改变轧制速度和冷却液流量来控制板温,对轧制时的最高温度进行各种变更。进而,实施820℃×120秒、55%H_2+45%N_2、露点65℃的脱碳退火,在钢板表面涂覆含有90质量%以上的MgO的退火分离剂,然后,实施在1200℃下保温5小时的最终退火。最终退火的气氛在升温中到900℃为止为N_2气氛,从900℃以上起经过1230℃的保温结束再到冷却时的温度为1000℃为止为H_2气氛,在之后的冷却中为Ar气氛。在最终退火的升温过程中,50℃到1000℃为止的平均升温速度为20℃/h,1000℃~1150℃的平均升温速度为15℃/h,1150℃~1200℃的平均升温速度为10℃/h。

[0016] 按照JIS C2550-1(2011)记载的方法,根据得到的钢板测定磁通密度B_8(磁化力800A/m时的磁通密度)。另外,从得到的钢板上切出60mm见方的样品,使用由直径20mm的铁辊和直径300mm的聚氨酯辊形成的双辊加工机进行卷圆加工。卷圆方向为轧制直角方向(板宽方向)。即,以样品的轧制正交方向画出圆弧的方式实施卷圆加工。这样,采用图3所示的两个参数H、θ评价得到的卷圆加工后的样品的加工精度。如图3所示,H为对接的样品的角a、b之间的距离,θ为对接的两边A、B所成的角。在本条件中,当得到理想的形状时,各参数为H:2.0mm、θ:0°。越偏离该值,表示加工精度越差。如果各参数分别在H:1.8~3.0mm、θ:0~2.5°的范围内,则视为合格。作为卷圆加工中的加工精度的评价,两个参数合格的情况为○,仅一项合格的情况为△,两个参数不合格的情况为×。另外,虽然两个参数合格,但发生二次再结晶不良、磁通密度B_8小于1.900T的情况也为×。图4示出了第1次和第2次冷轧的最高到达温度T1和T2的关系。如图4所示,可知如果第1次和第2次的冷轧的最高到达温度T1和T2满足确定的范围、即0≤T1≤150、50≤T2≤400和T1≤T2,则卷圆加工的形状和磁通密度均良好。

[0017] <实验2>

[0018] 将具有以质量%计含有C:0.055%、Si:3.20%、Mn:0.05%、S:0.012%、Al:0.032%、N:0.0065%、剩余部分由Fe和不可避免的杂质的构成的成分组成的钢板坯,在1400℃的温度下进行再加热,通过热轧制作0.6mm~3.5mm的各种板厚的热轧板。接下来,利用酸洗去除钢板的氧化皮后,在1000℃下实施30秒的热轧板退火。然后,通过第1次冷轧对0.35mm~2.2mm的各种板厚进行轧制。此时,通过改变轧制速度和冷却液流量,将板温控制为70℃。接下来,在1050℃下实施150秒的中间退火,然后进行第2次冷轧,制成板厚0.23mm。此时,通过改变轧制速度和冷却液流量,将板温控制为220℃。进而,实施850℃×120秒、

55％H_2+45％N_2、露点63℃的脱碳退火，在钢板表面涂覆含有90质量％以上的MgO的退火分离剂后，实施在1200℃下、H_2气氛下保温5小时的最终退火。在最终退火的升温过程中，50℃到1000℃为止的平均升温速度为25℃/h，1000℃～1150℃的平均升温速度为16℃/h，1150℃～1200℃的平均升温速度为10℃/h。

[0019] 按照JIS C2550-1(2011)记载的方法，根据得到的钢板测定磁通密度B_8(磁化力800A/m时的磁通密度)。另外，从得到的钢板上切出60mm见方的样品，使用由直径20mm的铁辊和直径300mm的聚氨酯辊形成的双辊加工机进行卷圆加工。卷圆方向为轧制直角方向(板宽方向)。即，以样品的轧制正交方向画出圆弧的方式实施卷圆加工。这样，采用图3所示的两个参数H、θ评价得到的卷圆加工后的样品的加工精度。如图3所示，H为对接的样品的角a、b之间的距离，θ为对接的两边A、B所成的角。在本条件中，当得到理想的形状时，各参数为H:2.0mm、θ:0°。越偏离该值，表示加工精度越差。如果各参数分别在H:1.8～3.0mm、θ:0～2.5°的范围内，则视为合格。作为卷圆加工中的加工精度的评价，两个参数合格的情况为○，仅一项合格的情况为△，两个参数不合格的情况为×。另外，虽然两个参数合格，但发生二次再结晶不良、磁通密度B_8小于1.900T的情况也为×。图5中示出了第1次和第2次冷轧的总压下率的关系。如图5所示，可知在第1次冷轧的总压下率R1为50％以下、第2次的冷轧的总压下率R2为50％以上的情况下，卷圆加工的形状和磁通密度均良好。

[0020] ＜实验3＞

[0021] 将具有以质量％计含有C:0.065％、Si:2.87％、Mn:0.25％、S:0.012％、Se:0.022％、Al:0.016％、N:0.0051％、剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢板坯，再加热到1410℃的温度，热轧成板厚2.3mm，制成热轧板。接下来，利用酸洗去除钢板的氧化皮后，实施第1次冷轧，制成板厚1.5mm。此时，通过改变轧制速度和冷却液流量，将板温控制为50℃。在1025℃下实施80秒的中间退火，然后进行第2次冷轧，制成板厚0.23mm。此时，通过改变轧制速度和冷却液流量，将板温控制为300℃。进而，实施840℃×80秒、50％H_2+50％N_2、露点60℃的脱碳退火，在钢板表面涂覆含有90质量％以上的MgO的退火分离剂后，实施在1200℃、H_2气氛下保温10小时的最终退火。在最终退火的升温过程中，各种改变50℃到1000℃为止的平均升温速度H1和1000℃～1150℃的平均升温速度H2。1150℃～1200℃(最高到达温度)的平均升温速度为5℃/h。

[0022] 按照JIS C2550-1(2011)记载的方法，根据得到的钢板测定磁通密度B_8(磁化力800A/m时的磁通密度)。另外，从得到的钢板切出60mm见方的样品，使用由直径20mm的铁辊和直径300mm的聚氨酯辊形成的双辊加工机进行卷圆加工。卷圆方向为轧制直角方向(板宽方向)。即，以样品的轧制正交方向画出圆弧的方式实施卷圆加工。这样，按照与上述的实验1同样的方法评价得到的卷圆加工后的样品的加工精度。将该评价结果和最终退火的平均升温速度H1与平均升温速度H2的关系示于图6。如图6所示，可知50℃到1000℃为止的平均升温速度H1比1000℃～1150℃的平均升温速度H2的1.1倍还大，并且在5℃/h～40℃/h的情况下，卷圆加工的形状良好。

[0023] 关于上述条件时卷圆加工中的形状良好的理由尚不明确，但本发明人考虑如下。

[0024] 在这些实验中，将卷圆加工的加工精度良好的条件下的钢板与劣势条件下的钢板浸渍在90℃下5％的浓度的热盐酸中120秒，通过去除基底被膜，使二次再结晶晶粒露出。然后，比较二次再结晶晶粒的大小。其结果可知，在加工精度良好的条件下的钢板中，二次再

结晶晶粒的平均晶粒直径为5.5mm左右,与加工精度劣势的条件下的钢板中的二次再结晶晶粒的平均晶粒直径11.5mm左右相比,二次再结晶晶粒尺寸明显较小。即意味着在加工精度良好的条件下,二次再结晶晶粒的晶界较多。

[0025] 这里,认为卷圆加工为塑性加工的一种,且具有结晶取向依赖性。即,在实施单向卷圆加工的情况下,由于各晶粒中取向略有偏差,各晶粒的加工度可能略有不同。可以认为吸收该加工度的差的是允许一些应变累积的晶界。即,如果晶界少,则晶界无法吸收各晶粒的加工度的差,钢板发生变形,加工精度变差。然而,在晶界多的情况下,由于能够吸收该差,因此加工精度变得良好。为了减小二次晶粒而增加晶界,大致有两种方法。一种是通过增加在最终退火前作为二次再结晶的起源的晶粒、即具有Goss取向的晶粒,另一种是控制最终退火条件,以使最终退火中二次再结晶同时且从所有位置出现。如果替换为本实验,则可以认为将两次冷轧的最高到达温度、各冷轧的压下率控制为规定的范围属于前者,规定最终退火的平均升温速度属于后者。

[0026] 这里,新发现了通过适当控制第1次和第2次冷轧的最高到达温度、各冷轧的压下率,以及适当控制最终退火的平均升温速度,能够有效减小二次再结晶晶粒,提高卷圆加工的加工精度。本发明立足于这一见解。

[0027] 即,本发明的主要构成如下。

[0028] [1]一种取向性电磁钢板的制造方法,

[0029] 将具有以质量%计含有C:0.010%~0.100%、Si:2.00%~5.00%、Mn:0.01%~0.50%、Al:0.010%~0.040%、N:0.0030%~0.0120%以及合计0.005%~0.100%的S和Se中的任意1种或者2种,且剩余部分为Fe和不可避免的杂质的钢坯材,加热至1300℃以上的温度,实施热轧,制成热轧板,接下来,在实施热轧板退火后或者不实施热轧的情况下,

[0030] 对上述热轧板实施隔着中间退火的2次以上的冷轧,制成冷轧板,

[0031] 对上述冷轧板实施脱碳退火,制成脱碳退火板,

[0032] 在上述脱碳退火板的表面涂覆退火分离剂后,实施最终退火,得到取向性电磁钢板,在该取向性电磁钢板的制造方法中,

[0033] 上述第1次冷轧中的最高到达温度T1(℃)和上述第2次冷轧中的最高到达温度T2(℃)满足下述式(1)~(3),

[0034] 上述第1次冷轧中的总压下率R1(%)和上述第2次冷轧中的总压下率R2(%)满足下述式(4),

[0035] 进而,在上述最终退火中,50℃到1000℃为止的平均升温速度H1(℃/h)和1000℃到(最高到达温度—50℃)为止的平均升温速度H2(℃/h)满足下述式(5)和(6)。

[0036] $0 \leqslant T1 \leqslant 150 \cdots (1)$

[0037] $50 \leqslant T2 \leqslant 400 \cdots (2)$

[0038] $T1 \leqslant T2 \cdots (3)$

[0039] $R2 \geqslant 50 \geqslant R1 \cdots (4)$

[0040] $H1 \geqslant 1.1 \times H2 \cdots (5)$

[0041] $5 \leqslant H1 \leqslant 40 \cdots (6)$

[0042] [2]根据上述[1]所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,

[0043] 在上述热轧中,加热上述钢坯材后,在1100℃~1300℃实施1道次以上的粗轧,接

着在800℃～1100℃实施2道次以上的精轧,将卷取温度设为400℃～750℃,

[0044] 在上述热轧板退火中,将上述热轧板在800℃～1250℃保持5秒以上,然后将800℃到350℃为止的平均冷却速度设为5℃/s～100℃/s,进行冷却;

[0045] 在上述中间退火中,将第1次上述冷轧后的冷轧板在800℃～1250℃保持5秒以上,然后将800℃到350℃为止的平均冷却速度设为5℃/s～50℃/s,进行冷却;

[0046] 在上述脱碳退火中,在包含H_2和N_2的气氛且脱碳退火的至少一部分中的露点为20℃～80℃的湿润气氛下,将上述冷轧板在750℃～950℃保持10秒以上;

[0047] 在上述最终退火前,在上述脱碳退火板的表面以每面2.5g/m^2以上涂覆含有MgO的上述退火分离剂,

[0048] 在上述最终退火中,在1050℃以上的温度范围内的至少一部分中的气氛包含H_2的条件下,将上述脱碳退火板在1050℃～1300℃保持3小时以上。

[0049] [3]根据上述[1]或[2]所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述成分组成进一步以质量%或质量ppm计,含有选自Ni:0%～1.50%、Cr:0%～0.50%、Cu:0%～0.50%、P:0%～0.50%、Sb:0%～0.50%、Sn:0%～0.50%、Bi:0%～0.50%、Mo:0%～0.50%、B:0ppm～25ppm、Nb:0%～0.020%、V:0%～0.010%和Zr:0%～0.10%中的至少1种。

[0050] [4]根据上述[1]～[3]中任一项所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述成分组成进一步以质量%计含有选自Co:Co:0%～0.050%和Pb:0%～0.0100%中的1种或2种。

[0051] [5]根据上述[1]～[4]中任一项所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,上述成分组成进一步以质量%计含有选自As:0%～0.0200%、Zn:0%～0.020%、W:0%～0.0100%、Ge:0%～0.0050%和Ga:0%～0.0050%中的1种或2种以上。

[0052] 根据本发明能够提供一种在维持铁损特性的同时,卷圆加工中的加工精度良好的取向性电磁钢板及其制造方法。

附图说明

[0053] 图1是表示卷圆加工后的理想的形状的图。

[0054] 图2是表示在卷圆加工后加工精度差的情况下的形状的图。

[0055] 图3是表示显示基于卷圆加工的加工精度的参数的图。

[0056] 图4是表示冷轧时的最高到达温度与卷圆加工的加工精度的关系的图。

[0057] 图5是表示冷轧的总压下率与卷圆加工的加工精度的关系的图。

[0058] 图6是表示最终退火的平均升温速度与卷圆加工的加工精度的关系的图。

具体实施方式

[0059] 以下,对本发明进行详细说明。

[0060] ＜钢坯材＞

[0061] 首先,在本发明中,对于取向性电磁钢板的钢坯材(钢板坯)的成分组成没有特别限定,以下记载了优选的成分组成的范围。应予说明,涉及成分的“%”和“ppm”标记,除另有说明外,分别是指“质量%”和“质量ppm”。

[0062] C:0.010%～0.100%

[0063] C如果超过0.100％,则很难降低到脱碳退火后不产生磁时效的0.005％以下,因此限定为0.100％以下。另一方面,如果不足0.010％,则会失去C带来的晶界强化效果,引起在板坯上产生裂纹等妨碍作业性的缺陷。因此,将C限定为0.010％～0.100％。优选为0.025％以上,更优选为0.035％以上。还优选为0.085以下,更优选为0.060％以下。

[0064] Si:2.00％～5.00％

[0065] Si是为了提高钢的电阻率、改善铁损所需的元素,但小于2.00％时没有效果。另一方面,如果超过5.00％,钢的加工性变差,轧制变得困难。因此,将Si限定为2.00％～5.00％。优选为2.90％以上,更优选为3.10％以上。还优选为3.70％以下,更优选为3.55％以下。

[0066] Mn:0.01％～0.50％

[0067] Mn是为了使热加工性良好所需的元素,但小于0.01％时没有效果。另一方面,如果超过0.50％,则产品板的磁通密度下降。因此,将Mn设为0.01％～0.50％。优选为0.03％以上,更优选为0.06％以上。还优选为0.25％以下,更优选为0.15％以下。

[0068] Al:0.010％～0.040％,N:0.0030％～0.0120％

[0069] Al和N形成作为抑制剂的AlN。然而,在Al小于0.010％或N小于0.0030％时,没有充分发挥该效果。另一方面,如果在Al超过0.040％或N超过0.0120％时,在板坯加热中不能充分地固溶,无法实现在钢中的细微分散,使磁特性明显变差。因此,限定Al:0.010％～0.040％和N:0.0030％～0.0120％。优选为Al:0.013％以上,更优选为Al:0.017％以上,还优选为Al:0.033％以下,更优选为Al:0.029％以下。优选为N:0.0039％以上,更优选为N:0.0050％以上,还优选为N:0.0113％以下,更优选为N:0.0100％以下。

[0070] S或Se中的任意1种或者2种为合计0.005％～0.100％

[0071] S和Se是与Mn结合形成作为抑制剂的MnS和MnSe。然而,如果合计不足0.005％,则得不到充分的效果。另一方面,如果合计超过0.100％,则在板坯加热中不能充分地固溶,无法实现在钢中的细微分散,使磁特性明显变差。因此,将S和Se的含量设为任1种或2种的合计为0.005％～0.100％的范围。优选为合计0.010％以上,更优选为0.020％以上,还优选为合计0.055％以下,更优选为0.040％以下。

[0072] 以上,说明了本发明的基本成分,但在本发明中,还可以适当地含有其它以下所述的元素作为任意成分。

[0073] 为了提高磁特性,可以将选自Ni:0％～1.50％、Cr:0％～0.50％、Cu:0％～0.50％、P:0％～0.50％、Sb:0％～0.50％、Sn:0％～0.50％、Bi:0％～0.50％、Mo:0％～0.50％、B:0ppm～25ppm、Nb:0％～0.020％、V:0％～0.010％和Zr:0％～0.10％中的1种单独添加,或者复合2种添加。在添加量分别少于下限量的情况下,缺乏提高磁特性效果,如果超过上限量,则会抑制二次再结晶晶粒的生长,磁特性变差。应予说明,从进一步提高磁特性的观点出发,优选添加选自下限量为Ni:0.01％以上、Sb:0.005％以上、Sn:0.005％以上、Cu:0.01％以上、Cr:0.01％以上、P:0.005％以上、Mo:0.005％以上、Nb:0.001％以上、V:0.001％以上、B:0.0002％以上、Bi:0.005％以上和Zr:0.001％以上中的1种以上。

[0074] 为了减小卷圆加工性中对接的两边A、B所成的角,可以添加选自Co:0％～0.050％和Pb:0％～0.0100％中的1种或2种。如果小于上述下限,则没有发挥减小效果,如果超过上限,则产生磁特性变差的担忧。优选添加选自下限量为Co:0.002％以上和Pb:0.0001％以上

中的1种以上。

[0075] 为了提高磁特性和减小卷圆加工性中对接的两边A、B所成的角,可以添加选自As:0％～0.0200％、Zn:0％～0.020％、W:0％～0.0100％、Ge:0％～0.0050％和Ga:0％～0.0050％中的1种或2种以上。如果分别小于下限,则看不出效果,如果超过上限,则会产生磁特性变差的担忧。优选添加选自下限量为As:0.0010％以上、Zn:0.001％以上、W:0.0010％以上、Ge:0.0001％以上和Ga:0.0001％以上中的1种以上。

[0076] ＜制造工序＞

[0077] 可以通过一般的铸锭法、连续铸造法将具有上述成分的钢水制成板坯,也可以通过直接铸造法制成100mm以下的厚度的薄铸片。可以通过常规方法在加热作为这些钢坯材的板坯、薄铸片后进行热轧,也可以在铸造后不加热立即实施热轧。在利用抑制剂的成分系的情况下,上述的加热温度优选在1300℃以上进行加热,使抑制剂成分固溶。

[0078] 从热轧板的组织控制的观点出发,优选上述加热后在900℃～1200℃实施1道次以上的粗轧,接着在700℃～1000℃实施2道次以上的精轧。另外,从控制碳化物的组织与防止裂纹等缺陷两方面的观点出发,优选将热轧中的卷取温度设为400℃～750℃。进一步优选卷取温度为500℃～700℃。应予说明,热轧中的温度条件和卷取温度是以卷取前的钢板表面温度为基准的。

[0079] 热轧后可以根据需要实施热轧板退火。如果实施热轧板退火,能够使组织均匀化,减小磁特性的偏差。从该组织均匀化的观点出发,热轧板退火条件优选为在800℃～1250℃保持5秒以上。优选为在900℃～1150℃保持10秒～180秒的条件。从第二相、析出物的形态控制的观点出发,保持后的冷却优选在800℃到350℃为止的温度区间设为5℃/s～100℃/s的平均冷却速度。进一步优选为15℃/s以上、45℃/s以下。

[0080] 接下来,优选将热轧时生成的钢板表面的氧化皮去除。作为方法,可以是使用经过加热的酸的方法、机械式去除氧化皮等公知的方法。氧化皮去除后,实施隔着中间退火的2次以上的冷轧,制成最终板厚,然后进行脱碳退火。

[0081] 在该冷轧中,如上述实验1和2的结果所示,关键是:

[0082] •第1次冷轧中的最高到达温度T1(℃)和第2次冷轧中的最高到达温度T2(℃)满足0≤T1≤150、50≤T2≤400和T1≤T2;

[0083] •第1次冷轧中的总压下率R1(％)和第2次冷轧中的总压下率R2(％)满足R2≥50≥R1。

[0084] 最高到达温度T1和最高到达温度T2优选为20℃≤T1≤120℃和100℃≤T2≤250℃。

[0085] 同样地,总压下率R1和总压下率R2优选为20％≤R1≤35％和60％≤R2≤92％。

[0086] 应予说明,冷轧中的最高到达温度T1和T2可以采用利用轧制的加工发热的方法、在轧制前进行加热的方法、利用冷却液、润滑剂进行冷却的方法等进行控制。另外,冷轧和中间退火中的温度条件和平均冷却速度以钢板表面温度为基准。

[0087] 冷轧中的中间退火优选在800℃～1250℃的温度区间内保持5秒以上。即,如果温度小于900℃,则再结晶晶粒变细,一次再结晶组织中的Goss核减少,磁性可能会变差。另一方面,如果超过1250℃,则由于产生抑制剂的急剧长大、分解,可能会导致磁特性的变差。在保温后的冷却中,从第二相、析出物的形态控制的观点出发,800℃到350℃为止的平均冷却

速度优选设为5℃/s～100℃/s。进一步优选上述平均冷却速度为15℃/s～45℃/s。在中间退火前,为了去除前工序的轧制油而优选将钢板进行脱脂。另外,在中间退火后优选去除表面的氧化皮。作为其去除的方法,可以使用经过加热的酸的方法、机械式去除氧化皮等公知的方法。

[0088] 最终冷轧后,供给脱碳退火,但在此之前,优选进行脱脂、酸洗,使钢板表面清洁化。脱碳退火优选在750℃～950℃的温度区间内保持10秒以上,气氛为包含H_2和N_2且在脱碳退火的一部分或全部的范围内露点为20℃～80℃湿润气氛。进一步优选在800℃～900℃的温度区间内、露点为40℃～70℃的脱碳退火条件。应予说明,脱碳退火中的温度条件以钢板表面温度为基准。

[0089] 另外,脱碳退火的保温前一半在上述的温度区间和露点条件的湿润气氛下进行,脱碳退火的保温后一半在800℃～900℃的温度区间且露点为－50℃～30℃的干燥气氛下进行,这因为最表层的次生氧化皮被还原,且最终退火中的镁橄榄石被膜形成变得有利而优选。

[0090] 接下来,在脱碳退火板的正反两面涂覆退火分离剂后,实施最终退火。作为退火分离剂,可以使用公知的退火分离剂。特别是,优选在脱碳退火板的表面涂覆以MgO为主剂的退火分离剂单面2.5g/m^2以上。这里,以MgO为主剂是指退火分离剂中的MgO的含量以固体成分换算为60％以上。退火分离剂中的MgO的含量以固体成分换算优选为80％以上。在脱碳退火板的表面涂覆退火分离剂方法没有特别限定,可以根据公知的方法。例如,除了在脱碳退火板的表面以浆料状涂覆退火分离剂外,还可以通过静电涂装进行干式涂覆。在涂覆浆料状的退火分离剂时,为了抑制粘度上升,优选将浆料状的退火分离剂在5℃～30℃的固定温度下保持。另外,为了使浆料浓度均匀化,对于浆料状的退火分离剂,优选将调配用的罐子和供给涂覆的罐子分开。

[0091] 然后,通过实施最终退火,使二次再结晶晶粒生长,并且能够形成镁橄榄石被膜。一般而言,由于最终退火耗费较长时间,因此将钢卷在竖立的状态下进行退火。因此,优选在最终退火前在钢卷的周围卷绕绑带等,由此防止竖立钢卷的外卷散开。

[0092] 在该最终退火中,如上述实验3的结果所示,关键是50℃到1000℃为止的平均升温速度H1(℃/h)和1000℃到(最高到达温度－50℃)为止的平均升温速度H2(℃/h)满足H1≥1.1×H2和5≤H1≤40。优选为H1≥1.2×H2和10≤H1≤30。

[0093] 应予说明,最终退火中的温度条件和平均升温速度是以竖立的钢卷与退火炉的炉床接地的面中,内卷和外卷的中间位置的钢板温度为基准的。

[0094] 另外,在最终退火中,为了使抑制剂形成元素等从钢中纯化而得到良好的铁损特性,优选在1100℃～1300℃的温度内保持3小时以上,并且在1000℃以上的温度范围内的一部分或全部导入含有H_2的气氛。最终退火的最高到达温度优选为1150℃～1300℃。在最终退火后,为了去除附着的退火分离剂,进行水洗、刷洗、酸洗是有用的。然后,为了降低铁损,有效的是进行平坦化退火来矫正形状。

[0095] 电磁钢板大多是将钢板层叠使用,为了确保绝缘性,有效的是在钢板表面实施绝缘涂层。为了降低铁损,该涂层优选可对钢板施加张力的涂层。该涂层可以在平坦化退火前涂覆涂层液,在平坦化退火中进行烧结。此外,如果采用隔着粘合剂的张力涂层涂覆方法、通过物理蒸镀法、化学蒸镀法使无机物蒸镀在钢板表层作为涂层的方法,则涂层密合性优

异,并且具有显著的铁损降低效果,因此优选。

[0096] 实施例1

[0097] 通过将具有以质量%计含有C:0.030%,Si:3.66%,Mn:0.07%,S:0.005%,Se:0.013%,Al:0.016%,N:0.0055%、剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢板坯,在1430℃的温度下进行再加热,从1200℃起进行6道次粗轧,从1100℃起进行9道次精轧,由此制作0.85mm～2.70mm的各种板厚的热轧板。卷取温度为575℃。接下来,利用酸洗去除热轧板的氧化皮后,实施在1000℃下100秒的热轧板退火。热轧板退火的800℃到350℃为止的温度区间的平均冷却速度为45℃/s。然后,通过第1次冷轧,轧制成0.45mm～1.90mm的各种板厚。将该第1次冷轧中的压下率R1记在表1中。此时,通过改变轧制速度和冷却液流量来控制板温,最高到达温度T1如表1记载进行了各种变更。进而,在1050℃下实施100秒的中间退火。中间退火在800℃到350℃为止的温度区间的平均冷却速度设为25℃/s。然后进行第2次冷轧,制成0.23mm的板厚。将此时的压下率R2记在表1中。此时,通过改变轧制速度和冷却液流量来控制板温,将最高到达温度T2如表1中记载进行了各种变更。

[0098] 接着,对冷轧板实施820℃×120秒、55%H_2+45%N_2、露点65℃的脱碳退火,在钢板表面涂覆含有90质量%以上的MgO的退火分离剂,然后实施1200℃下保温5小时的最终退火。最终退火的气氛在升温中到900℃为止为N_2气氛,从900℃以上起经过1200℃的保温结束,再到冷却时的温度为1000℃为止为H_2气氛,在之后的冷却中为Ar气氛。在最终退火的升温过程中,50℃到1000℃为止的平均升温速度H1和1000℃～1150℃的平均升温速度H2如表1记载进行各种变更,1150℃～1200℃的平均升温速度为10℃/h。

[0099] 这样,依据JIS C2550-1(2011)评价得到的取向性电磁钢板的磁通密度B_8。其结果一并记在表1中。如果磁通密度为1.900T以上,判断为磁特性优异。

[0100] 另外,从得到的钢板中切出60mm见方的样品,使用由直径20mm的铁辊和直径300mm的聚氨酯辊形成的双辊加工机进行卷圆加工。卷圆方向为轧制直角方向(板宽方向)。即,以样品的轧制正交方向画出圆弧的方式实施卷圆加工。这样,用图3所示的两个参数H、θ评价得到的卷圆加工后的样品的加工精度。如果各参数分别在H:1.8～3.0mm、θ:0～2.5°的范围内,则合格。将该评价结果一并记在表1中。根据该表可知,在本发明范围内的制造条件下制造的钢板的磁通密度和卷圆加工的加工精度良好。

[0101]

[表1]

No.	第1次冷轧的最高到达温度T1 (℃)	第2次冷轧的最高到达温度T2 (℃)	第1次冷轧的总压下率R1 (%)	第2次冷轧的总压下率R2 (%)	50℃～1000℃的平均升温速度H1 (℃/h)	1000℃～1150℃的平均升温速度H2 (℃/h)	磁通密度B_8 (T)	H (mm)	θ (°)	备注
1	50	200	29.5	87.9	32	20	1.940	1.9	0.3	发明例
2	125	300	22.4	83.5	25	15	1.935	2.3	0.5	发明例
3	30	100	41.4	67.2	20	10	1.934	2.2	0.5	发明例
4	5	150	29.5	87.9	30	20	1.927	2.4	0.8	发明例
5	-20	250	28.2	87.2	30	25	1.558	3.2	2.9	比较例
6	200	250	28.2	87.2	30	25	1.937	5.0	2.9	比较例
7	75	50	28.2	87.2	30	25	1.941	3.6	6.3	比较例
8	30	30	28.2	87.2	30	25	1.941	5.7	7.0	比较例
9	30	450	28.2	87.2	30	25	1.931	4.4	8.4	比较例
10	30	400	74.6	65.2	30	25	1.915	5.4	7.4	比较例
11	30	200	47.5	48.5	30	25	1.674	3.1	1.5	比较例
12	30	200	28.2	87.2	25	25	1.935	2.7	3.7	比较例
13	30	200	28.2	87.2	3	23	1.941	4.7	5.1	比较例
14	30	200	28.2	87.2	45	30	1.933	4.3	6.0	比较例

下划线表示适用范围外

[0102] 实施例2

[0103] 将具有含有表2中记载的成分且剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成

的钢板坯,进行再加热到1425℃的温度,从1270℃起进行4道次粗轧,从1050℃起进行5道次精轧,由此制成2.4mm的板厚。卷取温度为615℃。接下来,利用酸洗去除钢板的氧化皮后,在1035℃下实施20秒的热轧板退火。热轧板退火的800℃到350℃为止的温度区间内的平均冷却速度为30℃/s。然后,通过第1次冷轧制成1.6mm的板厚(压下率R1:33.3%),此时,控制冷却液流量使轧制的最高到达温度T1为50℃。进而,在1050℃下实施100秒的中间退火,此时,中间退火的800℃到350℃为止的温度区间内的平均冷却速度为40℃/s。然后,通过第2次冷轧制成0.23mm厚度(压下率R2:85.6%)。此时,控制轧制速度和冷却液流量,使轧制的最高到达温度T2为220℃。T1、T2、R1和R2满足式(1)~(4)。

[0104] 接着,对冷轧板进一步实施前段820℃下120秒、55%H_2+45%N_2、露点65℃,后段840℃下30秒、55%H_2+45%N_2、露点15℃的脱碳退火。然后,在钢板表面涂覆含有85质量%以上的MgO的退火分离剂后,实施在1200℃下保温12小时的最终退火。最终退火的气氛在升温中到900℃为止为N_2气氛,从900℃以上到1200℃的保温结束为H_2气氛,之后的冷却为Ar气氛。在最终退火的升温过程中,50℃到1000℃为止的平均升温速度H1为28℃/h,1000℃~1150℃的平均升温速度为18℃/h,1150℃~1200℃的平均升温速度为8℃/h。H1和H2满足式(5)~(6)。

[0105] 这样,依据JIS C2550-1(2011)评价得到的取向性电磁钢板的磁通密度B_8。其结果一并记在表2中。如果磁通密度为1.900T以上,判断为磁特性优异。

[0106] 另外,从得到的钢板中切出60mm见方的样品,使用由直径20mm的铁辊和直径300mm的聚氨酯辊形成的双辊加工机进行卷圆加工。卷圆方向为轧制直角方向(板宽方向)。即,以样品的轧制正交方向画出圆弧的方式实施卷圆加工。这样,用图3所示的两个参数H、θ评价得到的卷圆加工后的样品的加工精度。如果各参数分别在H:1.8~3.0mm、θ:0~2.5°的范围内,则合格。将该评价结果一并记在表2中。根据该表可知,在本发明范围内的制造条件下制造的钢板的磁通密度和卷圆加工的加工精度良好。

[0107]

[表2]

No.	C（质量%）	Si（质量%）	Mn（质量%）	S（质量%）	Se（质量%）	Al（质量%）	N（质量%）	其他成分（质量%）	磁通密度B_8（T）	H（mm）	θ（°）	备注
15	0.025	3.37	0.10	-	0.025	0.033	0.0113	-	1.930	1.8	0.9	发明例
16	0.062	3.38	0.06	0.024	-	0.013	0.0039	-	1.930	2.6	1.4	发明例
17	0.085	3.44	0.06	0.007	0.024	0.017	0.0083	-	1.934	2.3	1.8	发明例
18	0.003	3.36	0.05	0.003	0.015	0.022	0.0060	-	1.884	6.8	4.0	比较例
19	0.150	3.52	0.11	0.004	0.017	0.027	0.0072	-	1.550	2.6	0.2	比较例
20	0.057	1.65	0.11	0.005	0.027	0.022	0.0080	-	1.758	4.2	2.4	比较例
21	0.068	5.19	0.07	0.005	0.026	0.021	0.0037	-	1.547	2.9	1.4	比较例
22	0.062	3.39	0.005	0.005	0.019	0.021	0.0099	-	1.584	2.6	0.7	比较例
23	0.059	3.22	0.63	0.005	0.026	0.033	0.0066	-	1.524	2.0	1.7	比较例
24	0.051	3.26	0.10	0.002	0.002	0.030	0.0065	-	1.582	2.5	0.3	比较例
25	0.052	3.48	0.11	0.076	0.066	0.018	0.0038	-	1.675	3.7	1.8	比较例
26	0.073	3.81	0.05	0.005	0.013	0.007	0.0035	-	1.854	4.9	5.2	比较例
27	0.061	3.23	0.29	0.005	0.027	0.050	0.0049	-	1.552	2.8	3.2	比较例
28	0.055	3.44	0.28	0.012	0.015	0.018	0.0015	-	1.566	2.3	1.7	比较例
29	0.037	2.89	0.12	0.007	0.008	0.029	0.0140	-	1.530	2.7	1.2	比较例

下划线表示适用范围外

[0108]

[表2（续）]

No.	C（质量%）	Si（质量%）	Mn（质量%）	S（质量%）	Se（质量%）	Al（质量%）	N（质量%）	其他成分（质量%）	磁通密度B_8（T）	H（mm）	θ（°）	备注
30	0.061	3.28	0.07	0.003	0.023	0.023	0.0090	Cr:0.45, Sb:0.04, Sn:0.41, Zr:0.02	1.947	2.6	1.8	发明例
31	0.067	3.40	0.11	–	0.018	0.024	0.0105	Ni:1.33, B:24ppm, Bi:0.02	1.943	1.8	1.6	发明例
32	0.057	3.41	0.05	0.007	–	0.022	0.0083	Nb:0.015, V:0.003, Cu:0.36, Cr:0.06	1.936	2.8	1.6	发明例
33	0.069	3.40	0.06	0.005	0.026	0.023	0.0053	Sb:0.36, B:4ppm, P:0.24, Mo:0.06	1.942	2.8	0.8	发明例
34	0.064	3.46	0.11	0.002	0.025	0.033	0.0068	Ni:0.04, Bi:0.07, Nb:0.003	1.947	2.1	1.0	发明例
35	0.051	3.49	0.10	0.006	0.008	0.017	0.0109	Zr:0.07, Sn:0.08, Cu:0.07	1.940	2.2	1.2	发明例
36	0.062	3.33	0.07	0.005	0.011	0.029	0.0085	Mo:0.34, P:0.03, V:0.008	1.945	2.6	1.3	发明例
37	0.039	3.22	0.09	0.009	0.021	0.011	0.0043	Co:0.005	1.934	1.9	0.3	发明例
38	0.056	3.36	0.10	0.021	0.010	0.024	0.0080	Co:0.003, Pb:0.0060	1.931	2.5	0.3	发明例
39	0.075	3.52	0.06	0.005	0.017	0.015	0.0044	Co:0.040, Pb:0.0003	1.932	2.5	0.2	发明例
40	0.034	3.21	0.08	–	0.017	0.023	0.0048	Zn:0.011, W:0.0020, Ge:0.0003	1.946	2.1	0.1	发明例
41	0.075	3.67	0.13	0.020	–	0.014	0.0071	Ga:0.0040, Ge:0.0040, As:0.0020	1.948	2.7	0.1	发明例
42	0.081	2.96	0.13	0.020	0.022	0.031	0.0064	As:0.0120, Zn:0.002, W:0.0080	1.943	2.6	0.4	发明例
43	0.046	3.48	0.09	0.023	0.021	0.012	0.0042	Zn:0.004, Mo:0.015	1.949	2.5	0.1	发明例
44	0.025	3.63	0.07	0.006	0.016	0.012	0.0078	Sb:0.07, Co:0.012, W:0.0050	1.946	2.0	0.5	发明例

下划线表示适用范围外

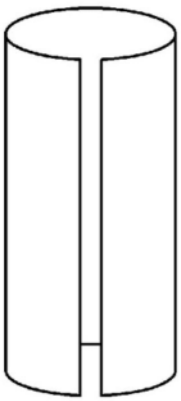


图1

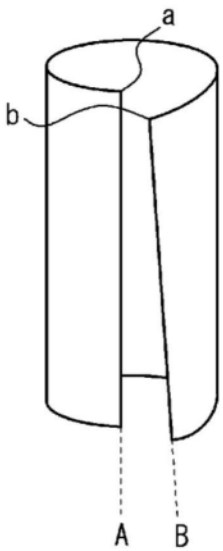


图2

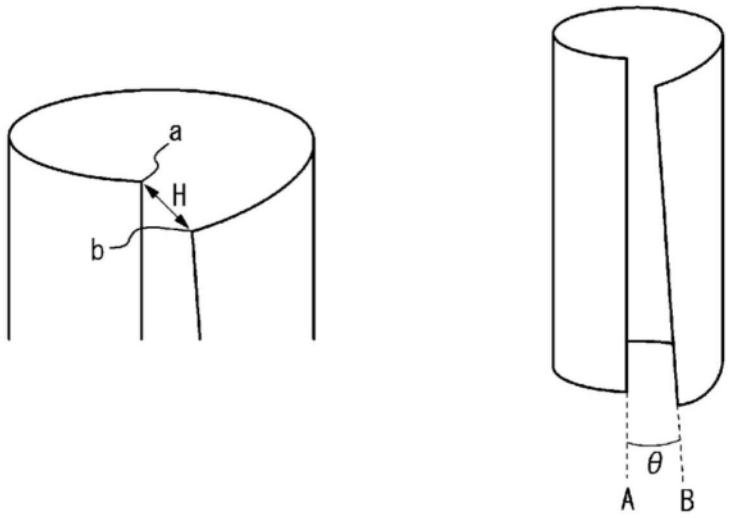

a
H
b
θ
A
B

图3

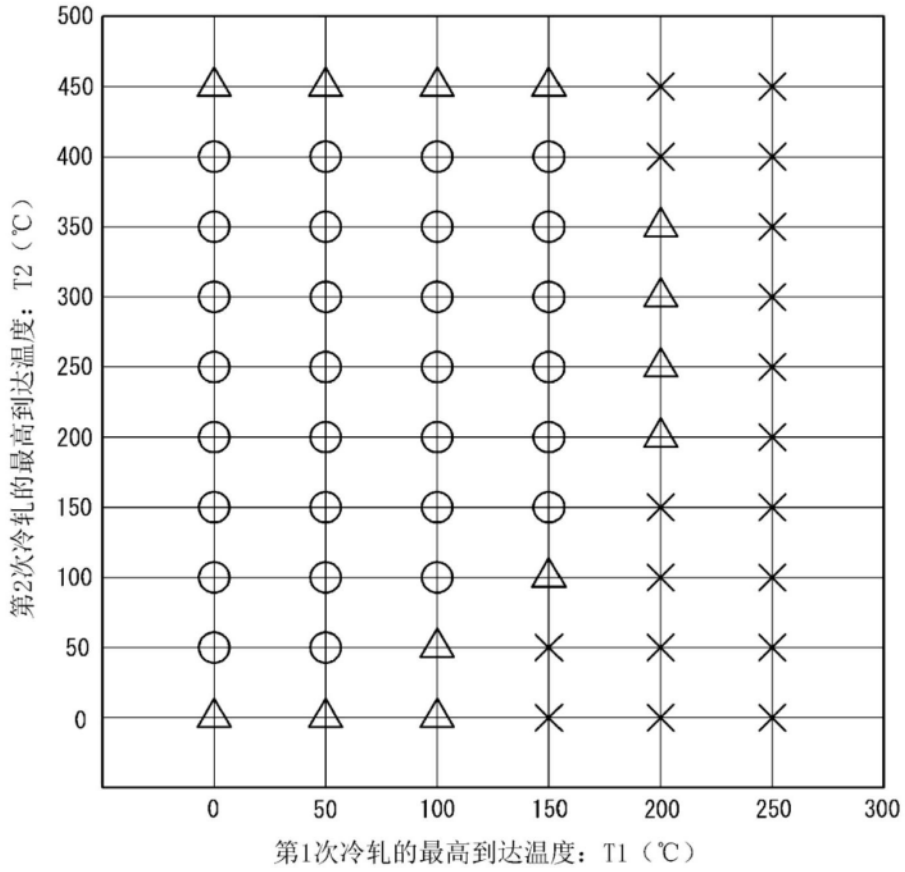

500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
第2次冷轧的最高到达温度：T2（℃）
0
50
100
150
200
250
300
第1次冷轧的最高到达温度：T1（℃）

图4

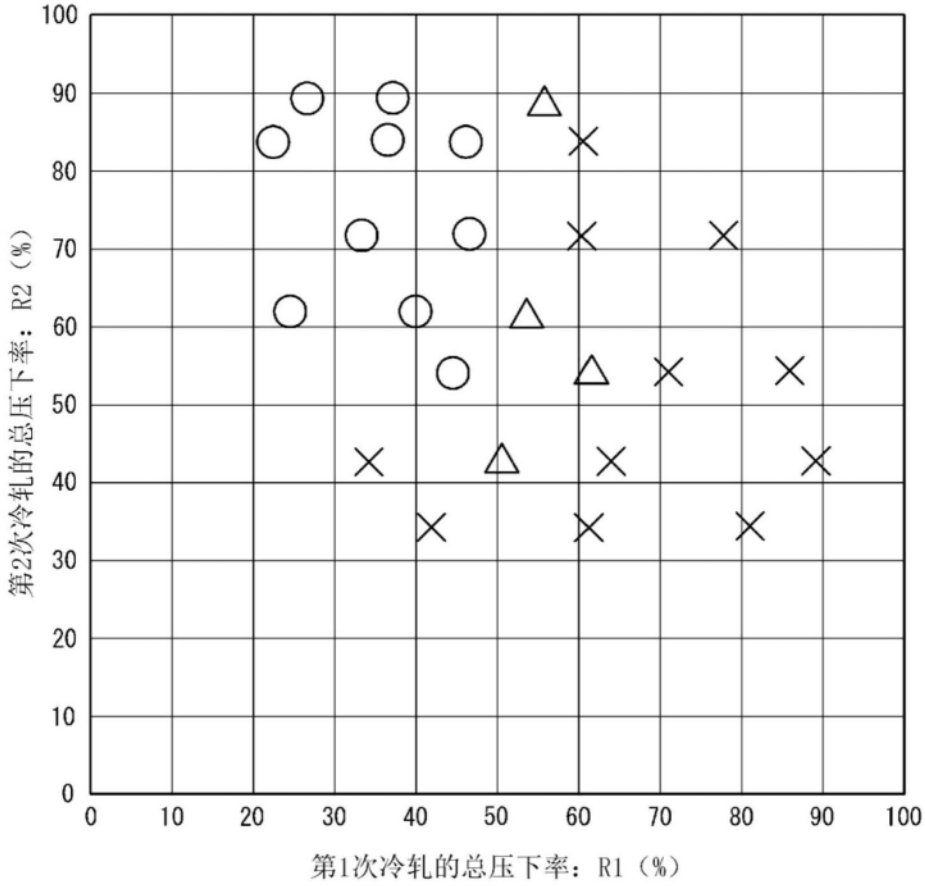

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
第2次冷轧的总压下率：R2（%）
第1次冷轧的总压下率：R1（%）

图5

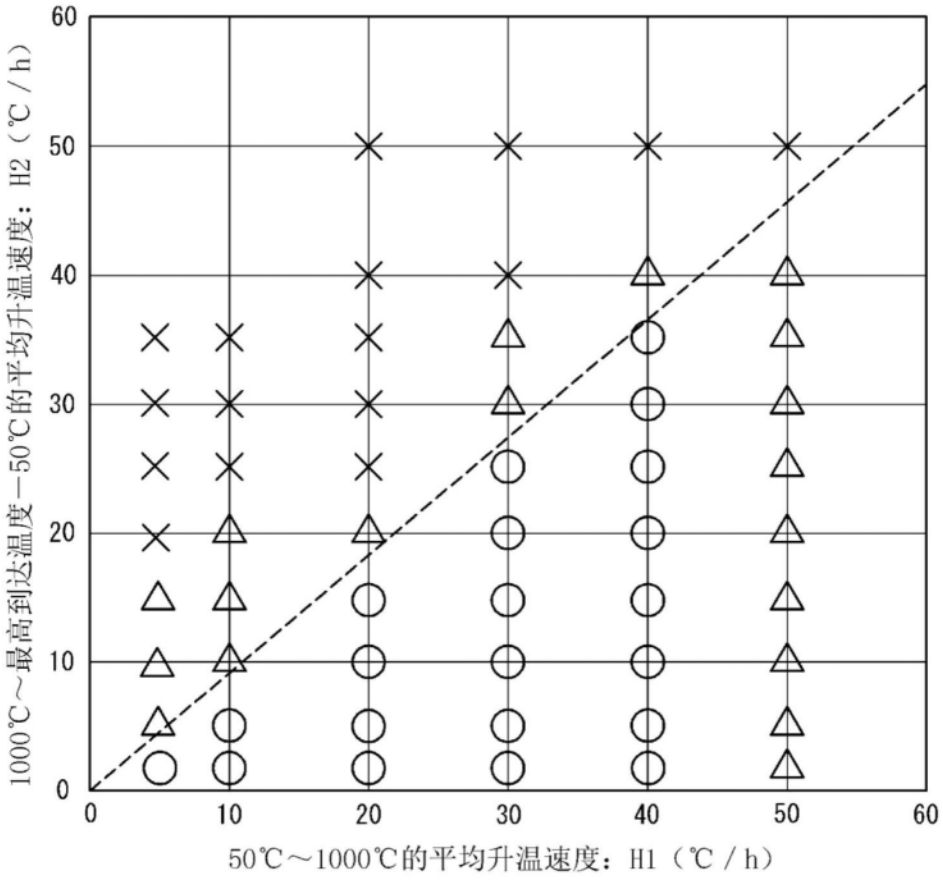

1000℃～最高到达温度－50℃的平均升温速度：H2（℃／h）
50℃～1000℃的平均升温速度：H1（℃／h）
0
10
20
30
40
50
60

图6