



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115485414 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 16

(21) 申请号 202080100478.5
 (22) 申请日 2020.07.15
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2022.11.02
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/JP2020/027455 2020.07.15
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02022/013960 JA 2022.01.20
 (71) 申请人 日本制铁株式会社
 地址 日本东京
 (72) 发明人 岩城将嵩
 (74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
 72002
 专利代理师 陆昊 陈建全

(51) Int. Cl.
 G23C 22/00 (2006.01)
 G21D 8/12 (2006.01)
 G21D 9/46 (2006.01)
 G22C 38/00 (2006.01)
 G22C 38/60 (2006.01)
 H01F 1/147 (2006.01)

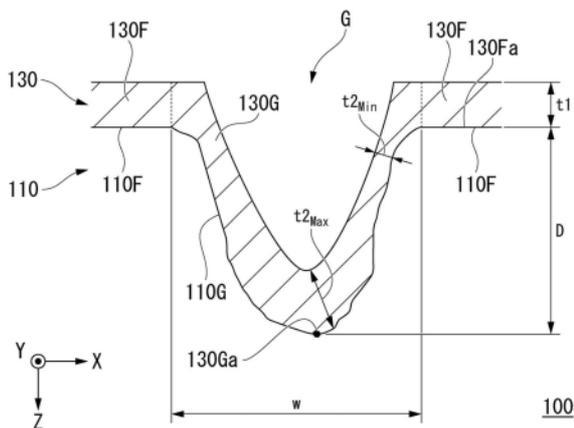
权利要求书1页 说明书23页 附图4页

(54) 发明名称

方向性电磁钢板及方向性电磁钢板的制造方法

(57) 摘要

该方向性电磁钢板具备母材钢板和张力被膜, 在将平坦面被膜部分的平均被膜厚度设定为 t_1 (μm), 将槽形成面被膜部分的最小被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Min}}}$ (μm), 将槽形成面被膜部分的最大被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Max}}}$ (μm) 时, 满足下述 (1) 式和 (2) 式, 在将张力被膜的从槽形成面被膜部分的底面位置至平坦面被膜部分的底面位置为止的沿着板厚方向的距离 D 的 0.95 倍设定为有效深度 d (μm) 时, 满足下述 (3) 式。 $t_{2_{\text{Min}}}/t_1 \geq 0.4$ (1)、 $t_{2_{\text{Max}}}/t_1 \leq 3.0$ (2)、 $t_{2_{\text{Max}}} \leq d/2$ (3)。



1. 一种方向性电磁钢板,其特征在于,其具备:

具有平坦面和形成有槽的槽形成面的母材钢板;和

张力被膜,所述张力被膜形成于所述母材钢板的上方,且包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物,

其中,所述张力被膜具有:形成于所述平坦面的上方的平坦面被膜部分;和形成于所述槽形成面的上方的槽形成面被膜部分,

在将所述平坦面被膜部分的平均被膜厚度设定为 t_1 ,将所述槽形成面被膜部分的最小被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Min}}}$,将所述槽形成面被膜部分的最大被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Max}}}$ 时,满足下述(1)式和(2)式,所述 t_1 、所述 $t_{2_{\text{Min}}}$ 和所述 $t_{2_{\text{Max}}}$ 的单位为 μm ,

在将所述张力被膜的从所述槽形成面被膜部分的底面位置至所述平坦面被膜部分的底面位置为止的沿着板厚方向的距离 D 的0.95倍设定为有效深度 d 时,满足下述(3)式,所述有效深度 d 的单位为 μm ,

$$t_{2_{\text{Min}}}/t_1 \geq 0.4 \quad (1)$$

$$t_{2_{\text{Max}}}/t_1 \leq 3.0 \quad (2)$$

$$t_{2_{\text{Max}}} \leq d/2 \quad (3)。$$

2. 根据权利要求1所述的方向性电磁钢板,其特征在于,在所述母材钢板与所述张力被膜之间,形成有包含 Mg_2SiO_4 的玻璃被膜。

3. 根据权利要求1或2所述的方向性电磁钢板,其特征在于,在将所述槽形成面的宽度设定为 w 时,满足下述(4)式,所述 w 的单位为 μm ,

$$d/w \geq 1/3 \quad (4)。$$

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的方向性电磁钢板,其特征在于,在将所述槽形成面的宽度设定为 w 时,进一步满足下述(5)式,所述 w 的单位为 μm ,

$$(d/w) \times t_{2_{\text{Max}}} \leq t_1 \quad (5)。$$

5. 一种方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,其具备下述工序:

制造冷轧钢板的冷轧工序;

对所述冷轧钢板进行伴随二次再结晶的成品退火的成品退火工序;

槽形成工序,其是对所述成品退火工序之前或之后的所述冷轧钢板,沿与所述冷轧钢板的轧制方向相交叉的方向以线状形成槽;以及

在所述槽的上方形成包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物的张力被膜的张力被膜赋予工序。

6. 根据权利要求5所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,具备张力被膜整形工序,所述张力被膜整形工序是在所述张力被膜赋予工序之后,通过按照使所述张力被膜的厚度方向的一部分残存的方式对所述张力被膜进行加工,从而使形成于所述槽的上方的部分的所述张力被膜的厚度在比所述槽的宽度窄的范围内减少,对所述张力被膜进行整形。

7. 根据权利要求5或6所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,在所述冷轧工序之后并且所述成品退火工序之前,进一步具备对所述冷轧钢板涂布退火分离剂的退火分离剂涂布工序,

所述退火分离剂包含氧化镁。

方向性电磁钢板及方向性电磁钢板的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及主要作为变压器等电气设备的铁心来利用的方向性电磁钢板及方向性电磁钢板的制造方法。

背景技术

[0002] 方向性电磁钢板作为磁铁心被用于大量电气设备中。

[0003] 方向性电磁钢板是含有0.8%~4.8%的Si且使制品的晶体取向高度集中于{110}<001>取向的钢板。作为其磁特性,要求磁通密度高(以 B_0 值为代表)、铁损低(以W17/50为代表)。特别是,最近从节能的观点出发,对于降低电力损耗的要求在提高。

[0004] 应对该要求,作为降低方向性电磁钢板的铁损的手段,开发了将磁畴进行细化的技术。例如专利文献1中公开了一种方法,其通过对成品退火后的钢板照射激光束,从而将磁畴进行细化来降低铁损。然而,利用该方法而带来的铁损的降低由于起因于通过激光照射而被导入的应变,因此无法作为在成形为变压器后需要消除应力退火的卷绕铁心变压器用来使用。

[0005] 作为其改良技术,例如在专利文献2中公开了一种方法,其在成品退火后将方向性电磁钢板的表面玻璃层的一部分通过激光照射等来除去,使用盐酸、硝酸等酸将钢板基底金属溶解来形成槽,之后形成张力被膜,将磁畴进行细化。

[0006] 就实施了这样的磁畴细化处理的钢板而言,由于在形成槽时,被膜被局部地破坏,产生绝缘性及耐蚀性的问题,因此在形成槽后进一步进行了被膜的形成。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特公昭58-26405号公报

[0010] 专利文献2:日本特开昭61-117284号公报

[0011] 专利文献3:日本特公昭62-45285号公报

[0012] 专利文献4:日本特公昭40-15644号公报

发明内容

[0013] 发明所要解决的课题

[0014] 本发明的课题是提供一种在母材钢板的表面形成有槽的方向性电磁钢板,其通过适宜地控制形成于槽中的张力被膜的形态来保证绝缘性及耐蚀性、并且为比以往制品更低的铁损。

[0015] 用于解决课题的手段

[0016] 本发明的方案如下所述。

[0017] (1) 本发明的第一方案为一种方向性电磁钢板,其具备:具有平坦面和形成有槽的槽形成面的母材钢板;和张力被膜,所述张力被膜形成于上述母材钢板的上方,且包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物,其中,上述张力被膜具有:形成于

上述平坦面的上方的平坦面被膜部分;和形成于上述槽形成面的上方的槽形成面被膜部分,在将上述平坦面被膜部分的平均被膜厚度设定为 t_1 (μm),将上述槽形成面被膜部分的最小被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Min}}}$ (μm),将上述槽形成面被膜部分的最大被膜厚度设定为 $t_{2_{\text{Max}}}$ (μm)时,满足下述(1)式和(2)式,在将上述张力被膜的从上述槽形成面被膜部分的底面位置至上述平坦面被膜部分的底面位置为止的沿着板厚方向的距离D的0.95倍设定为有效深度d (μm)时,满足下述(3)式。

$$[0018] \quad t_{2_{\text{Min}}}/t_1 \geq 0.4 \quad (1)$$

$$[0019] \quad t_{2_{\text{Max}}}/t_1 \leq 3.0 \quad (2)$$

$$[0020] \quad t_{2_{\text{Max}}} \leq d/2 \quad (3)$$

[0021] (2) 根据上述(1)所述的方向性电磁钢板,其在上述母材钢板与上述张力被膜之间,也可以形成有包含 Mg_2SiO_4 的玻璃被膜。

[0022] (3) 根据上述(1)或(2)所述的方向性电磁钢板,其在将上述槽形成面的宽度设定为w (μm)时,也可以满足下述(4)式。

$$[0023] \quad d/w \geq 1/3 \quad (4)$$

[0024] (4) 根据上述(1)~(3)中任一项所述的方向性电磁钢板,其在将上述槽形成面的宽度设定为w (μm)时,也可以进一步满足下述(5)式。

$$[0025] \quad (d/w) \times t_{2_{\text{Max}}} \leq t_1 \quad (5)$$

[0026] (5) 本发明的第二方案为一种方向性电磁钢板的制造方法,其具备下述工序:制造冷轧钢板的冷轧工序;对上述冷轧钢板进行伴随二次再结晶的成品退火的成品退火工序;槽形成工序,其是对上述成品退火工序之前或之后的上述冷轧钢板,沿与上述冷轧钢板的轧制方向相交叉的方向以线状形成槽;以及,在上述槽的上方形成包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物的张力被膜的张力被膜赋予工序。

[0027] (6) 根据上述(5)所述的方向性电磁钢板的制造方法,其也可以具备张力被膜整形工序,所述张力被膜整形工序是在上述张力被膜赋予工序之后,通过按照使上述张力被膜的厚度方向的一部分残存的方式对上述张力被膜进行加工,从而使形成于上述槽的上方的部分的上述张力被膜的厚度在比上述槽的宽度窄的范围内减少,对上述张力被膜进行整形。

[0028] (7) 根据上述(5)或(6)所述的方向性电磁钢板的制造方法,其也可以在上述冷轧工序之后并且上述成品退火工序之前,进一步具备对上述冷轧钢板涂布退火分离剂的退火分离剂涂布工序,上述退火分离剂包含氧化镁。

[0029] 发明效果

[0030] 根据上述的本发明的方案,可提供保证绝缘性及耐蚀性、并且为比以往制品更低的铁损的方向性电磁钢板及其制造方法。

附图说明

[0031] 图1是第一实施方式的方向性电磁钢板的平面图。

[0032] 图2是用于说明第一实施方式的方向性电磁钢板的槽附近的构成的示意端面图。

[0033] 图3是用于说明第二实施方式的方向性电磁钢板的槽附近的构成的示意端面图。

[0034] 图4是用于说明第二实施方式的变形例的方向性电磁钢板的槽附近的构成的示意

端面图。

[0035] 图5是用于说明方向性电磁钢板的制造方法的流程图。

具体实施方式

[0036] 一般而言,就方向性电磁钢板而言,通过在母材钢板的表面形成被膜,使张力沿钢板的磁化方向(轧制方向)起作用,从而进行铁损的降低。但是,本发明的发明者认识到:为了控制磁畴而通过化学处理、物理处理或热处理在母材钢板的表面形成有槽的方向性电磁钢板而言,如果在槽形成后形成被膜,则有可能铁损增加。

[0037] 在对该理由进行研究的过程中,以至于想到了:向槽壁面上的被膜的形成在向钢板轧制方向上的磁化中造成了不良影响。

[0038] 槽壁面成为从母材钢板的表面偏离的面(具有板厚方向成分的面)。因此,在槽壁面上形成被膜的情况下,由该被膜产生的张力变成沿与母材钢板的磁化方向(与母材钢板的表面平行的方向、轧制方向)偏离的方向起作用,成为使铁损增加的要因。据认为:特别是在槽中,被膜形成用的涂敷溶液容易积存,形成厚的被膜,这也会使铁损增加的不良影响增大。

[0039] 此外,就形成有槽的方向性钢板而言,经由钢板内而到达至一侧的槽壁的磁通通过从磁畴壁漏泄(即,通过磁通的漏泄)而沿着磁化方向在槽空间中通过并到达至另一侧的槽壁,再次在钢板内朝向磁化方向。

[0040] 这里,在具有与轧制方向X接近垂直的方向成分的槽壁面上形成的被膜如上述那样通过张力沿与钢板的磁化方向偏离的方向起作用来抑制磁通的漏泄。因此,导致妨碍铁损的降低效果。

[0041] 因此,为了在槽壁面使大量磁通漏泄,可以说尽可能减薄形成于槽壁面上的被膜是有效的。但是,从绝缘性及耐蚀性的观点出发,过度减薄形成于槽中的被膜不会成为实用的解决方案。

[0042] 鉴于上述的研究,本发明的发明者们发现:就将形成于槽中的被膜的一部分进行加工来适宜地控制了被膜的厚度的方向性电磁钢板而言,能够保证绝缘性和耐蚀性,并且发挥优异的磁特性。

[0043] 对于基于上述见识而完成的本发明,参照附图进行详细说明。

[0044] 需要说明的是,在以下的说明中,对于方向性电磁钢板,有时将轧制方向称为X,将板宽方向称为Y,将板厚方向称为Z。板宽方向Y是与轧制方向X和板厚方向Z垂直的方向。

[0045] (第一实施方式)

[0046] 图1是本发明的第一实施方式的方向性电磁钢板100的平面图。如图1中所示的那样,本实施方式的方向性电磁钢板100形成有沿板宽方向Y(即,与轧制方向X相交叉的方向)以直线状延伸的槽G。

[0047] 图2是与图1的A-A线对应的示意端面图,示出了槽G附近的构成。

[0048] 如图2中所示的那样,本实施方式的方向性电磁钢板100具备母材钢板110和张力的被膜130而构成,所述张力的被膜130形成于母材钢板110的上方,且包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物。

[0049] 如图2中所示的那样,母材钢板110具有未形成有槽G的面即平坦面110F和形成有

槽G的面即槽形成面110G。

[0050] 在该母材钢板110的上方形形成有张力被膜130。

[0051] 在以下的说明中,将张力被膜130中的形成于母材钢板110的平坦面110F的上方的部分称为平坦面被膜部分130F,将形成于母材钢板110的槽形成面110G的上方的部分称为槽形成面被膜部分130G。

[0052] 以下,对用于规定槽G附近的张力被膜130的形态的尺寸进行说明。

[0053] 需要说明的是,各自的尺寸可以通过下述方式来确定:将n个($n \geq 10$)槽G作为测定对象来抽出,将与各个槽G的延伸方向垂直的面中的截面通过机械加工来制成镜面,用扫描型电子显微镜进行观察。

[0054] 将平坦面被膜部分130F的板厚方向Z的厚度的平均值定义为平坦面被膜部分130F的平均被膜厚度 t_1 。

[0055] 平均被膜厚度 t_1 可以如下那样操作来确定。首先,对于n个槽G各自,在槽G附近的平坦面被膜部分130F中的至少10个部位,测定平坦面被膜部分130F的板厚方向Z的厚度来获得平均值。然后,通过算出n个平均值的平均值来确定平均被膜厚度 t_1 。

[0056] 将槽形成面被膜部分130G的与其表面垂直的方向的厚度的最小值定义为槽形成面被膜部分130G的最小被膜厚度 t_{2_Min} 。

[0057] 最小被膜厚度 t_{2_Min} 可以如下那样操作来确定。首先,对于n个槽G各自,测定槽形成面被膜部分130G的与其表面垂直的方向的厚度的最小值。然后,通过算出n个测定值的平均值来确定最小被膜厚度 t_{2_Min} 。

[0058] 将槽形成面被膜部分130G的与其表面垂直的方向的厚度的最大值定义为槽形成面被膜部分130G的最大被膜厚度 t_{2_Max} 。

[0059] 最大被膜厚度 t_{2_Max} 可以如下那样操作来确定。首先,对于n个槽G各自,测定槽形成面被膜部分130G的与其表面垂直的方向的厚度的最大值。然后,通过算出n个测定值的平均值来确定最大被膜厚度 t_{2_Max} 。

[0060] 将从槽形成面被膜部分130G的底面位置130Ga至平坦面被膜部分130F的底面位置130Fa(即,平坦面被膜部分130F与母材钢板110的边界)为止的板厚方向Z的距离D的0.95倍的值定义为有效深度d。

[0061] 距离D是相当于在母材钢板110中形成的槽G的深度的尺寸。在槽G的肩部(与平坦面110F相连的部分)附近的槽壁面上形成的张力被膜130的厚度由于对铁损的影响小,因此在本申请中使用相当于槽G的底侧95%的深度的 $0.95 \times D$ 的值作为有助于铁损降低效果的有效深度d。

[0062] 有效深度d可以如下那样操作来确定。首先,对于n个槽G各自,测定从底面位置130Ga至底面位置130Fa为止的板厚方向Z的距离。然后,通过算出n个测定值的平均值来求出距离D,基于该距离D来确定有效深度d。

[0063] 将与槽形成面110G相邻的两个平坦面110F、110F的与槽G的延伸方向和板厚方向Z垂直的方向的间隔距离定义为槽形成面110G的宽度w。

[0064] 宽度w可以如下那样操作来确定。首先,对于n个槽G各自,测定上述的间隔距离。然后,通过算出n个测定值的平均值来确定宽度w。

[0065] 在本实施方式的方向性电磁钢板100中,张力被膜130按照平坦面被膜部分130F的

平均被膜厚度 t_1 (μm)、槽形成面被膜部分130G的最小被膜厚度 $t_{2_{\text{Min}}}$ (μm)、及槽形成面被膜部分130G的最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ (μm) 满足下述 (1) 式和 (2) 式的方式来形成。

$$[0066] \quad t_{2_{\text{Min}}}/t_1 \geq 0.4 \quad (1)$$

$$[0067] \quad t_{2_{\text{Max}}}/t_1 \leq 3.0 \quad (2)$$

[0068] 上述 (1) 式和 (2) 式是以平坦面被膜部分130F的被膜厚度作为基准, 分别规定槽形成面被膜部分130G的厚度 (与其表面垂直的方向的厚度) 的最小值和最大值的范围。

[0069] 在满足上述 (1) 式的情况下, 以平均被膜厚度 t_1 作为基准计不存在槽形成面被膜部分130G的被膜过度变薄的部位, 因此能够发挥优异的绝缘性和耐蚀性。

[0070] 在满足上述 (2) 式的情况下, 可以说以平均被膜厚度 t_1 作为基准计不存在槽形成面被膜部分130G的被膜过度变厚的部位。因此, 由形成于槽壁面上的被膜而引起的沿与钢板的表面方向交叉的方向产生的张力不会过度产生。因此, 能够充分获得铁损降低效果。

[0071] 进而, 就本实施方式的方向性电磁钢板100而言, 张力被膜130的最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ (μm) 和张力被膜130的有效深度 d (μm) 满足下述 (3) 式。

$$[0072] \quad t_{2_{\text{Max}}} \leq d/2 \quad (3)$$

[0073] 上述 (3) 式是以依赖于槽G的深度的指标即有效深度 d 作为基准, 规定槽形成面被膜部分130G的厚度 (与其表面垂直的方向的厚度) 的最大值的范围。

[0074] 在满足上述 (3) 式的情况下, 可以说以有效深度 d 作为基准计不存在槽形成面被膜部分130G的被膜过度变厚的部位。因此, 由形成于槽壁面上的被膜而引起的沿与钢板的表面方向交叉的方向产生的张力不会过度产生。因此, 能够充分获得铁损降低效果。

[0075] 就本实施方式的方向性电磁钢板100而言, 张力被膜130的有效深度 d (μm) 和槽形成面110G的宽度 w (μm) 优选满足下述 (4) 式。

$$[0076] \quad d/w \geq 1/3 \quad (4)$$

[0077] d/w 是表示槽形成面110G的槽壁面的斜率的指标。在槽形成面110G的槽壁面的斜率大的情况下, 从磁畴细化的观点出发可以说是适宜的槽形状。但是, 根据本发明的发明者们的见识, 在 d/w 大的情况下, 方向性电磁钢板100的磁化方向 (X方向) 与由形成于槽形成面110G的槽壁面上的张力被膜130 (槽形成面被膜部分130G) 产生的沿着槽壁面的张力方向的角度差大, 因此在未适宜地控制张力被膜130的厚度的情况下, 铁损增加的问题变得显著。

[0078] 另一方面, 在本实施方式的方向性电磁钢板100中, 由于形成有如上述那样按照满足 (1) 式~ (3) 式的方式控制了厚度的张力被膜130, 因此可消除因 d/w 大的槽壁面而引起的铁损增加的问题。

[0079] 因此, 在不仅满足 (1) 式~ (3) 式还满足 (4) 式的情况下, 从磁畴细化的观点出发具有适宜的槽形状, 与此同时能够保证绝缘性及耐蚀性, 并且实现铁损的降低, 因此是优选的。

[0080] 进而, 就本实施方式的方向性电磁钢板100而言, 最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ (μm)、宽度 w (μm)、平均被膜厚度 t_1 (μm) 和有效深度 d (μm) 优选满足下述 (5) 式。

$$[0081] \quad (d/w) \times t_{2_{\text{Max}}} \leq t_1 \quad (5)$$

[0082] 如上所述, 关于在未适宜地控制张力被膜130的槽形成面被膜部分130G的厚度的情况下所产生的铁损增加的问题, 方向性电磁钢板100的磁化方向与槽形成面被膜部分130G的张力方向的角度差越大, 则该问题变得越显著。即, 槽壁面的斜率即 d/w 越大, 则从铁

损降低的观点出发,槽形成面被膜部分130G的最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ 应该越更薄地进行限制。进而,在本申请中还考虑以平均被膜厚度 t_1 作为基准来规定最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$,通过(5)式来规定其影响。

[0083] 因此,在不仅满足(1)式~(3)式还满足(5)式的情况下,考虑槽壁面的斜率即 d/w 而更严格地限制最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$,因此能够更可靠地避免铁损增加的问题。

[0084] 槽G的形态因与本发明效果的关联而优选处于以下那样的范围内。

[0085] 平均被膜厚度 t_1 优选为 $1\mu\text{m}$ 以上,更优选为 $2\mu\text{m}$ 以上。这是因为:如果平均被膜厚度 t_1 为 $1\mu\text{m}$ 以上,则能够更可靠地发挥绝缘性及耐蚀性。

[0086] 平均被膜厚度 t_1 优选为 $10\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $5\mu\text{m}$ 以下。这是因为:如果为 $10\mu\text{m}$ 以下,则能够防止母材钢板110的占比率大大降低。

[0087] 宽度 w 优选为 $20\mu\text{m}$ 以上,更优选为 $30\mu\text{m}$ 以上。这是因为:如果宽度 w 为 $20\mu\text{m}$ 以上,则控制槽形成面被膜部分130G的厚度在技术上变得简便。

[0088] 宽度 w 优选为 $150\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $90\mu\text{m}$ 以下。在宽度 w 为 $150\mu\text{m}$ 以下的情况下,从磁畴细化的观点出发是适宜的。此外,虽然也因槽G的深度不同而异,但宽度 w 越小,则因方向性电磁钢板100的磁化方向与由槽形成面被膜部分130G产生的沿着槽壁面的张力方向的角度差而引起的铁损增加的问题变得越显著。因此,可以说由适宜地控制张力被膜130的厚度带来的本发明的效果值大,因此宽度 w 优选为 $150\mu\text{m}$ 以下。

[0089] 距离 D 优选为 $5\mu\text{m}$ 以上,更优选为 $15\mu\text{m}$ 以上。在距离 D 为 $5\mu\text{m}$ 以上的情况下,虽然也因宽度 w 而异,但因方向性电磁钢板100的磁化方向与由槽形成面被膜部分130G产生的沿着槽壁面的张力方向的角度差而引起的铁损增加的问题变得显著。因此,可以说由适宜地控制张力被膜130的厚度带来的本发明的效果值大,因此距离 D 优选为 $5\mu\text{m}$ 以上。

[0090] 距离 D 优选为 $50\mu\text{m}$ 以下,更优选为 $30\mu\text{m}$ 以下。

[0091] 这是因为:如果距离 D 为 $50\mu\text{m}$ 以下,则控制槽形成面被膜部分130G的厚度在技术上变得简便。此外,这是因为:如果距离 D 超过 $50\mu\text{m}$,则有可能板厚会部分地大幅减少从而变得得不到铁损降低效果。

[0092] 从铁损降低的观点出发,槽G的延伸方向优选相对于轧制方向 X 为 $90^\circ\sim 60^\circ$ 的范围,进一步优选为 $90^\circ\sim 80^\circ$ 的范围。

[0093] 如果槽G的延伸方向相对于轧制方向 X 为 60° 以上,则还导致槽形成面110G的槽壁面与轧制方向 X 的角度变大,因此使本发明效果起作用的必要性提高。

[0094] 槽G的轧制方向 X 的间距(轧制方向间距)优选根据磁畴细化的必要性而在 $1\sim 20\text{mm}$ 的范围内进行设定。槽G的轧制方向间距进一步优选在 $2\sim 10\text{mm}$ 的范围内进行设定。槽G的轧制方向间距的上限更优选为 8mm 。槽G的轧制方向间距的上限进一步优选为 5mm 。

[0095] 母材钢板110作为化学组成也可以以质量%计含有Si: $0.8\%\sim 4.8\%$,剩余部分为Fe及杂质。上述的化学组成是为了按照使晶体取向集中于 $\{110\}\langle 001\rangle$ 取向的方式进行控制而优选的化学组成。

[0096] 此外,在母材钢板110中,以磁特性的改善为目的,也可以含有公知的任选元素来代替Fe的一部分。作为代替Fe的一部分而被含有的任选元素,例如可列举出下述元素。各数值是指这些元素作为任选元素被含有的情况下的上限值。

[0097] 以质量%计C: 0.005% 以下、Mn: 0.3% 以下、S: 0.015% 以下、Se: 0.015% 以下、Al:

0.050%以下、N:0.005%以下、Cu:0.40%以下、Bi:0.010%以下、B:0.080%以下、P:0.50%以下、Ti:0.015%以下、Sn:0.10%以下、Sb:0.10%以下、Cr:0.30%以下、Ni:1.00%以下、Nb、V、Mo、Ta及W中的一种或两种以上:合计为0.030%以下。

[0098] 这些任选元素只要根据公知的目的来含有即可,因此没有必要设置任选元素的含量的下限值,下限值也可以为0%。

[0099] 此外,所谓杂质并不限于上述例示的任选元素,是指即使含有也不会损害本发明的效果的元素。杂质并不限于有意添加的情况,还包括在工业上制造母材钢板时从作为原料的矿石、废料或制造环境等中不可避免地混入的元素。作为杂质的合计含量的上限的目标,可列举出以质量%计为5%左右。

[0100] 就方向性电磁钢板而言,一般会经过脱碳退火及二次再结晶时的纯化退火,在制造过程中会引起比较大的化学组成的变化(含量的降低)。根据元素不同,会被降低至50ppm以下,如果充分进行纯化退火,则还有可能达到至通过一般的分析无法检测到的程度(1ppm以下)。上述的母材钢板110的化学成分是最最终制品中的化学组成,与也作为起始原材料在下文叙述的板坯的组成不同。

[0101] 母材钢板110的化学成分可以使用ICP-AES(电感耦合等离子体原子发射光谱仪;Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)进行测定。具体而言,通过对从母材钢板110中采集的35mm见方的试验片利用岛津制作所制ICPS-8100等(测定装置)在基于预先制成的校准线的条件下进行测定,从而确定化学组成。需要说明的是,C及S可以使用燃烧-红外线吸收法进行测定,N可以使用不活泼气体熔融-热导率法进行测定。

[0102] (第二实施方式)

[0103] 以下,对本发明的第二实施方式的方向性电磁钢板200进行说明。

[0104] 第二实施方式的方向性电磁钢板200在玻璃被膜形成于母材钢板与张力被膜之间这一点上与第一实施方式的方向性电磁钢板100不同。对于与第一实施方式中的说明重复的说明进行省略。

[0105] 图3是用于说明本实施方式的方向性电磁钢板200的槽G附近的构成的示意端面图。

[0106] 如图3中所示的那样,本实施方式的方向性电磁钢板200具备母材钢板210、张力被膜230和玻璃被膜250而被构成,所述张力被膜230形成于母材钢板210的上方,且包含磷酸、磷酸盐、铬酸酐、铬酸盐、氧化铝或二氧化硅的化合物,所述玻璃被膜250形成于母材钢板210与张力被膜230之间,且包含 Mg_2SiO_4 。

[0107] 就本实施方式的方向性电磁钢板200而言,由于形成玻璃被膜250,因此在张力被膜230与母材钢板210之间可得到高的密合性,能够赋予更强的张力。

[0108] 如图3中所示的那样,母材钢板210具有未形成槽G的面即平坦面210F和形成有槽G的面即槽形成面210G。

[0109] 在该母材钢板210的上方形成有张力被膜230。

[0110] 在本实施方式的方向性电磁钢板200中,在母材钢板210的平坦面210F与张力被膜230之间形成玻璃被膜250,在母材钢板210的槽形成面210G与张力被膜230之间未形成玻璃被膜250。

[0111] 在以下的说明中,将张力被膜230中的形成于母材钢板210的平坦面210F的上方的

部分称为平坦面被膜部分230F,将形成于母材钢板210的槽形成面210G的上方的部分称为槽形成面被膜部分230G。

[0112] 关于平坦面被膜部分230F的平均被膜厚度 t_1 、槽形成面被膜部分230G的最小被膜厚度 $t_{2_{\text{Min}}}$ 、及槽形成面被膜部分230G的最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$,由于与第一实施方式中说明的平均被膜厚度 t_1 、最小被膜厚度 $t_{2_{\text{Min}}}$ 及最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ 重复,因此省略。

[0113] 此外,关于槽形成面210G的宽度 w ,也由于与第一实施方式中说明的宽度 w 重复,因此省略。

[0114] 就本实施方式的方向性电磁钢板200而言,在母材钢板210的平坦面210F与张力被膜230之间形成玻璃被膜250。因此,平坦面被膜部分230F的底面位置230Fa成为平坦面被膜部分230F与玻璃被膜250的边界。

[0115] 这里,有效深度 d 由于是用于规定有效地有助于由槽形成面被膜部分230G的厚度控制带来的铁损降低的范围的指标,因此即使是在如本实施方式那样存在玻璃被膜250的情况下,也依赖于张力被膜230的形状来规定。即,与第一实施方式中说明的定义同样地,在本实施方式中,从槽形成面被膜部分230G的底面位置230Ga至平坦面被膜部分230F的底面位置230Fa为止的板厚方向Z的距离D的0.95倍的值也为有效深度 d 。

[0116] 因此,在本实施方式的方向性电磁钢板200中,也通过张力被膜230按照满足下述(1)~(3)式的方式来形成从而能够保证绝缘性及耐蚀性,并且实现比以往制品更低的铁损。

$$[0117] \quad t_{2_{\text{Min}}}/t_1 \geq 0.4 \quad (1)$$

$$[0118] \quad t_{2_{\text{Max}}}/t_1 \leq 3.0 \quad (2)$$

$$[0119] \quad t_{2_{\text{Max}}} \leq d/2 \quad (3)$$

[0120] 第一实施方式中说明的优选的方案在本实施方式的方向性电磁钢板200中也同样地被采用。

[0121] 此外,在本实施方式的方向性电磁钢板200中,玻璃被膜250仅形成于母材钢板210的平坦面210F与张力被膜230之间,未形成于母材钢板210的槽形成面210G与张力被膜230之间。

[0122] 然而,如图4中所示的变形例的方向性电磁钢板200A那样,玻璃被膜250也可以还形成于母材钢板210的槽形成面210G与张力被膜230之间。在该情况下,平均被膜厚度 t_1 、最小被膜厚度 $t_{2_{\text{Min}}}$ 及最大被膜厚度 $t_{2_{\text{Max}}}$ 以及有效深度 d 的定义也不会改变。

[0123] (第三实施方式)

[0124] 以下,对本发明的第三实施方式的方向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0125] 本实施方式的方向性电磁钢板的制造方法至少具有以下工序:制造冷轧钢板的冷轧工序;对冷轧钢板进行成品退火的成品退火工序;对成品退火工序之前或之后的冷轧钢板形成槽G的槽形成工序;以及,对槽G的上方赋予张力被膜的张力被膜赋予工序。此外,也可以附加通过对上述张力被膜进行加工来对张力被膜进行整形的张力被膜整形工序。

[0126] 此外,作为具体的制造方法的一个例子,除了具有上述的工序以外,还具有铸造工序、热轧工序、热轧钢板退火工序、脱碳退火工序、氮化处理工序、及退火分离剂涂布工序。这些工序是为了显示出本发明的可实施性而采用的一个例子,本发明并不限于这些工序、条件。

[0127] 图5是用于说明本实施方式的方向性电磁钢板的制造方法的具体例子的流程图。以下,对各工序进行说明。

[0128] (铸造工序S1)

[0129] 在铸造工序S1中,准备板坯。板坯的制造方法的一个例子如下所述。制造(熔炼)钢液。使用钢液来制造板坯。也可以通过连续铸造法来制造板坯。也可以使用钢液来制造钢锭,将钢锭进行开坯来制造板坯。板坯的厚度没有特别限定。板坯的厚度例如为150mm~350mm。板坯的厚度优选为220mm~280mm。作为板坯,也可以使用厚度为10mm~70mm的所谓的薄板坯。在使用薄板坯的情况下,在热轧工序S2中,可以省略精轧前的粗轧。

[0130] 板坯的成分组成只要为产生二次再结晶的成分组成即可。以下,对板坯的基本成分、任选元素进行具体描述。需要说明的是,对成分使用的“%”的表述是指“质量%”。

[0131] Si是在提高电阻、降低铁损的方面重要的元素。如果含有率超过4.8%,则在冷轧时材料变得容易开裂,变得无法轧制。另一方面,如果降低Si量,则在成品退火时产生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变,损害晶体的方向性,因此也可以将成品退火中对晶体的方向性不造成影响的下限设定为0.8%。

[0132] C是在制造工序中对一次再结晶组织的控制有效的元素,但如果在最终制品中的含量过量,则对磁特性造成不良影响。因此,C含量也可以设定为0.085%以下。C含量的优选的上限为0.075%。C在后述的脱碳退火工序S5及成品退火工序S8中被纯化,在成品退火工序S8之后成为0.005%以下。在包含C的情况下,如果考虑工业生产中的生产率,则C含量的下限也可以超过0%,也可以为0.001%。

[0133] 酸可溶性Al是与N结合而以AlN或(Al,Si)N的形式作为抑制剂发挥功能的元素。也可以将磁通密度变高的0.012%~0.050%作为限定范围。N如果在炼钢时添加0.01%以上,则会产生被称为泡疤的钢板中的空孔,因此也可以将0.01%作为上限。N可以在制造工序的途中通过氮化来含有,因此下限没有规定。

[0134] Mn和S以MnS的形式析出,发挥作为抑制剂的作用。如果Mn少于0.02%、此外S少于0.005%,则无法确保规定量的有效的MnS抑制剂。此外,如果Mn多于0.3%、S多于0.04%,则板坯加热时的固溶化变得不充分,二次再结晶变得无法稳定地进行。因此,也可以设定为Mn:0.02~0.3%、S:0.005~0.04%。

[0135] 作为其他的抑制剂构成元素,也可以添加B、Bi、Se、Pb、Sn、Ti等。添加量也可以适当调整,也可以以质量%计为B:0.080%以下、Bi:0.010%以下、Se:0.035%以下、Pb:0.10%以下、Sn:0.10%以下、Ti:0.015%以下。这些任选元素只要根据公知的目的来含有即可,因此没有必要设定任选元素的含量的下限值,下限值也可以为0%。

[0136] 板坯的化学组成的剩余部分包含Fe及杂质。需要说明的是,这里所谓的“杂质”是指在工业上制造板坯时从原材料中所含的成分或在制造的过程中混入的成分中不可避免地混入、对本发明的效果实质上不造成影响的元素。

[0137] 除了解决制造上的课题以外,还考虑由形成化合物带来的抑制剂功能的强化、对磁特性的影响,板坯的化学组成也可以含有公知的任选元素来代替Fe的一部分。作为代替Fe的一部分而被含有的任选元素,例如可列举出下述元素。各数值是指这些元素作为任选元素被含有的情况下的上限值。

[0138] 以质量%计Cu:0.40%以下、P:0.50%以下、Sb:0.10%以下、Cr:0.30%以下、Ni:

1.00%以下。

[0139] 这些任选元素只要根据公知的目的来含有即可,因此没有必要设定任选元素的含量的下限值,下限值也可以为0%。

[0140] (热轧工序S2)

[0141] 热轧工序S2是进行被加热至规定温度(例如1100℃~1400℃)的板坯的热轧来得到热轧钢板的工序。作为一个例子,具有上述的成分组成的板坯也可以基于专利文献3中记载的那样的以(A1,Si)N作为抑制剂的制造方法,在从热轧时的温度确保的观点出发的1100℃以上、而且A1N不完全固溶化的1280℃以下的温度下进行加热之后进行热轧。此外,也可以基于专利文献4中记载的那样的使用A1N和MnS作为主抑制剂的制造方法,在完全固溶化的1300℃以上的温度下进行加热之后进行热轧。

[0142] (热轧钢板退火工序S3)

[0143] 热轧钢板退火工序S3是将热轧工序S2中得到的热轧钢板立即进行退火、或在短时间内进行退火来得到退火钢板的工序。退火在750℃~1200℃的温度区域中进行30秒~30分钟。该退火为了提高制品的磁特性而言是有效的。

[0144] (冷轧工序S4)

[0145] 冷轧工序S4是将热轧钢板退火工序S3中得到的退火钢板通过1次冷轧或经由退火(中间退火)的多次(2次以上)冷轧(例如以总冷轧率计为80%~95%)来得到冷轧钢板的工序。

[0146] 冷轧钢板的厚度为0.10mm~0.50mm即可。

[0147] (脱碳退火工序S5)

[0148] 脱碳退火工序S5是对冷轧工序S4中得到的冷轧钢板进行脱碳退火来得到产生了一次再结晶的脱碳退火钢板的工序。脱碳退火例如在700℃~900℃下进行1分钟~3分钟即可。

[0149] 通过进行脱碳退火,冷轧钢板中所含的C被除去。为了除去冷轧钢板中所含的“C”,脱碳退火优选在湿润气氛中进行。

[0150] (氮化处理工序S6)

[0151] 氮化处理工序S6是为了调整二次再结晶中的抑制剂的强度而根据需要实施的工序。氮化处理在从脱碳处理的开始至成品退火中的二次再结晶的开始为止的期间使钢板的氮量增加40ppm~200ppm左右。作为氮化处理,例如可例示出下述处理等:在含有氮等具有氮化能力的气体的气氛中进行退火的处理;在后述的退火分离剂涂布工序S7中涂布包含MnN等具有氮化能力的粉末的退火分离剂的处理。

[0152] (退火分离剂涂布工序S7)

[0153] 退火分离剂涂布工序S7是在脱碳退火钢板上涂布退火分离剂的工序。作为退火分离剂,例如可以使用以氧化铝(Al_2O_3)作为主要成分的退火分离剂。涂布退火分离剂后的脱碳退火钢板以卷取成卷材状的状态在接下来的成品退火工序S8中被成品退火。

[0154] 此外,在形成玻璃被膜的情况下,使用以氧化镁(MgO)作为主要成分的退火分离剂。

[0155] (成品退火工序S8)

[0156] 成品退火工序S8是对涂布有退火分离剂的脱碳退火钢板实施成品退火而产生二

次再结晶的工序。该伴随二次再结晶的成品退火工序S8通过在利用抑制剂抑制了一次再结晶晶粒的生长的状态下进行二次再结晶,从而使{100}<001>取向晶粒优先生长,飞跃地提高磁通密度。

[0157] 此外,当在上述的退火分离剂涂布工序S7中涂布氧化镁(MgO)的情况下,通过该成品退火工序S8来形成包含 Mg_2SiO_4 的玻璃被膜。

[0158] (槽形成工序S9)

[0159] 槽形成工序S9是以磁畴控制(磁畴细化)作为目的而对冷轧工序S4之后的冷轧钢板形成槽G的工序。槽G的形成可以通过激光、电子束、等离子体、机械方法、蚀刻等公知的方法来形成。

[0160] 槽形成工序S9在图5的流程图中所示的例子中在成品退火工序S8之后进行。但是,槽形成工序S9只要对经过冷轧工序S4的钢板来进行,则能够维持对于磁畴细化而言理想的线状槽的截面形状。因此,槽形成工序S9可以为成品退火工序S8之前,也可以为成品退火工序S8之后。此外,也可以为张力被膜赋予工序S10的前后。

[0161] 例如,在从冷轧工序S4之后至张力被膜整形工序S11之前为止的任意时期来形成槽G即可。

[0162] 此外,也可以在成品退火工序S8之后并且槽形成工序S9之前的时期在钢板表面预先形成张力被膜。该情况下,在槽形成工序S9中,槽G上的部位中的张力被膜减少或消失。因此,当在成品退火工序S8之后并且槽形成工序S9之前的时期在钢板表面预先形成张力被膜的情况下,在槽形成工序S9之后的时期进行张力被膜赋予工序S10。

[0163] 此外,当在退火分离剂涂布工序S7中涂布氧化镁(MgO)来进行成品退火工序S8的情况下,根据槽形成工序S9的时间点不同,所形成的玻璃被膜的形态不同。

[0164] 当在成品退火工序S8之后进行槽形成工序S9的情况下,变成在生成玻璃被膜之后形成槽G,因此如第二实施方式中说明的图3中所示的那样,玻璃被膜未形成于槽G上。

[0165] 当在成品退火工序S8之前进行槽形成工序S9的情况下,变成在形成槽G之后生成玻璃被膜,因此如第二实施方式中作为变形例进行说明的图4中所示的那样,玻璃被膜也形成于槽G的上方。

[0166] (张力被膜赋予工序S10)

[0167] 张力被膜赋予工序S10是涂布涂敷溶液并进行烧结(烘烤)来赋予磷酸系化合物等张力被膜的工序。涂敷溶液例如为包含磷酸或磷酸盐、铬酸酐或铬酸盐、及氧化铝或胶体状二氧化硅等的涂敷溶液。烧结例如以 $350^{\circ}\text{C}\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 、5秒钟 \sim 300秒钟的条件进行即可。

[0168] 这里,通过使所涂布的涂敷溶液的粘度或浓度、进行涂布的辊的形态、从涂布至烧结为止的时间、用于除去一部分涂敷溶液的空气吹附等条件变化来适宜地控制槽部的被膜的厚度,从而形成满足本发明的张力被膜。在形成了满足本发明的张力被膜的情况下,不需要张力被膜整形工序S11。

[0169] (张力被膜整形工序S11)

[0170] 张力被膜整形工序S11是使形成于槽G的上方的部分的张力被膜的厚度在比槽G的宽度窄的范围内变化来对张力被膜进行整形的工序。

[0171] 更具体而言,在张力被膜整形工序S11中,通过使形成于槽G的上方的部分的张力被膜的厚度在比槽G的宽度窄的范围内按照张力被膜的一部分残存的方式对张力被膜进行

加工,从而对张力被膜进行整形。该加工并不限于在形成于槽G的上方的张力被膜中厚度整体地减少那样的加工,例如也可以是在形成于槽G的上方的张力被膜中一部分的厚度减少、一部分的厚度增加那样的加工。

[0172] 在上述的张力被膜赋予工序S10中,由于涂敷溶液流入到在槽形成工序S9中形成的槽G中,因此变成在槽G中积存有大量的涂敷溶液的状态下进行烧结,因此有可能槽G上的被膜的厚度与未形成有槽G的平坦面的厚度相比变得更厚。

[0173] 这样的形成于槽壁面上的被膜的厚度的控制如上所述可以通过在张力被膜赋予工序S10中使所涂布的涂敷溶液的浓度、进行涂布的辊的形态、从涂布至烧结为止的时间、用于除去一部分涂敷溶液的空气吹附等条件变化等来实施。但是,如果考虑涂布作业的易进行性、微细的槽G的形成状况、形成于槽G中的被膜的膜厚的自由并且精密的控制,则优选的是,在张力被膜赋予工序S10中不在意槽G的存在、不进行特别的控制地进行涂布,在涂敷溶液积存于槽G中的状态下进行烧结,将比平坦面的被膜厚地形成于槽G中的被膜在之后的工序中加工至目标厚度为止。

[0174] 因此,在张力被膜整形工序S11中,通过对槽G进行激光或电子束照射等任意的膜加工或除去,能够使形成于槽G中的厚的被膜的膜厚减少并残存,进行进一步的铁损降低。

[0175] 对张力被膜进行加工的方法没有特别限定,只要是能够按照满足第一实施方式中说明的(1)~(3)式的方式来控制张力被膜的厚度的方法即可。例如可以使用激光、电子束、等离子体、机械方法、蚀刻等公知的方法。在采用这些方法的情况下,张力被膜的表面变得平滑,皮膜张力变得恒定,因此带来涡流损耗的降低那样的优点。

[0176] 在使用激光或射线束的情况下,所照射的激光或射线束直径设定为比槽G的宽度小。由于为了保证绝缘性及耐蚀性而必须使一部分被膜残留,因此激光或射线束功率根据被膜的厚度、槽G的宽度来适当调整。该控制只要是日常利用激光或射线束照射来进行钢板表面加工的本领域技术人员,则并不困难。作为激光或射线束功率,例如在50W~2000W的范围内调整。这是因为:激光或射线束功率为50W以下时,基本不会产生被膜的除去,此外,如果为2000W以上,则被膜被完全破坏。

[0177] 实施例

[0178] (实施例1)

[0179] 在实施例1中示出在适宜地控制了被膜厚度的情况下可产生铁损的降低,而且保证绝缘性及耐蚀性。

[0180] 基于上述的工序(铸造工序S1、热轧工序S2、热轧钢板退火工序S3、冷轧工序S4),进行板厚为0.23mm的冷轧钢板的制作。硅钢板坯的组成比以质量%计Si:3.3%、Mn:0.1%、S:0.007%、酸可溶性Al:0.03%、N:0.008%、Sn:0.06%、剩余部分中具有Fe及杂质。

[0181] 对于该冷轧钢板,实验No.1~14在冷轧工序S4之后立即实施下述步骤,实验No.15~21在成品退火工序S8之后实施下述步骤:通过光刻法在从与轧制方向X成直角的方向偏离10度的方向(相对于轧制方向X为80°的方向)上以5mm的轧制方向间距形成宽度为50 μ m的槽。

[0182] 槽的深度设定为20 μ m。

[0183] 对于这些钢板,在成品退火工序S8之前,以水浆料涂布退火分离剂。在实验No.1~7中使用氧化铝(Al_2O_3)作为退火分离剂,在实验No.8~21中使用氧化镁(MgO)作为退火分离

剂。

[0184] 之后,涂布以胶体状二氧化硅和磷酸盐作为主要成分的涂敷溶液并在850℃下烧结2分钟来形成张力被膜。

[0185] 对这些钢板的槽,使半导体激光的光束直径和照射功率变化来进行激光照射,将形成于槽的上方的张力被膜的一部分除去。

[0186] 在激光照射后用扫描型电子显微镜进行形态的观察,进行 t_1 、 $t_{2_{\text{Min}}}$ 、 $t_{2_{\text{Max}}}$ 的测定。

[0187] 将所得到的制品的铁损 $W_{17/50}$ (W/kg) 示于表1、表2中。

[0188] 未进行照射的实验No. 1的铁损为0.79,以其作为基准来考虑,将铁损为0.75以下的情况判断为有铁损的改善并评价为“好”,将铁损超过0.75的情况判断为无铁损的改善并评价为“差”。

[0189] 绝缘性的评价通过依据JIS C 2550-4 (2011)的方法来进行层间电阻的测定。

[0190] 如果层间电阻为 25cm^2 以上,则作为充分保证了绝缘性,评价为“非常好”。

[0191] 如果层间电阻为 $5\sim 25\text{cm}^2$,则作为保证了绝缘性,评价为“好”。

[0192] 层间电阻低于 $5\ \Omega\ \text{cm}^2$ 者评价为“差”。

[0193] 耐蚀性的评价是将钢板在温度为50℃、露点为50℃的空气中保持200小时之后,对钢板表面进行目视观察。

[0194] 没有产生锈者作为保证了耐蚀性,表示为“好”。

[0195] 观察到产生锈者表示为“差”。

[0196] [表1]

[0197]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	激光 直径 [μm]	照射 功率 [W]	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐腐蚀性	区分
1	20.0	19.0	9.5	无	0	0	3	18	6.0	20	6.7	0.79	差	非常好	好	比较例
2	20.0	19.0	9.5	无	20	300	3	2	0.7	4	1.3	0.73	好	非常好	好	发明例
3	20.0	19.0	9.5	无	40	300	3	6	2.0	9	3.0	0.74	好	非常好	好	发明例
4	20.0	19.0	9.5	无	60	300	3	0	0.0	16	5.3	0.78	差	差	差	比较例
5	20.0	19.0	9.5	无	40	600	3	0	0.0	0	0.0	0.73	好	差	差	比较例
6	20.0	19.0	9.5	无	40	50	3	17	5.7	20	6.7	0.79	差	非常好	好	比较例
7	20.0	19.0	9.5	无	60	900	3	0	0.0	7	2.3	0.75	好	差	差	比较例

[0198] 如表1中所示的那样,可知:与不进行激光照射的实验No.1相比,对槽以一定以上的功率进行了激光照射的实验No.2和实验No.3的铁损变低,本发明的方法能够将铁损值由

以往的方法改良约7%左右。

[0199] 此外,在如实验No.4、实验No.7那样与槽的宽度相比较宽地进行了激光照射的情况下,如果提高照射功率,则被膜的厚度充分地减少,铁损与实验No.1相比降低,但与此同时由于槽的周围的被膜被除去,因此导致无法保证绝缘性及耐蚀性。与此相对,按照本发明而得到的实验No.2、实验No.3都通过适宜地控制了被膜厚度,从而产生铁损的降低,而且可保证绝缘性及耐蚀性。

[0200] 就照射功率过量的实验No.5而言,被膜被完全除去,导致无法保证绝缘性及耐蚀性。

[0201] 就照射功率不足实验No.6而言,被膜未被除去,得不到铁损降低效果。

[0202] [表2]

[0203]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	激光 直径 [μm]	照射 功率 [W]	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐蚀性	备注
8	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	50	3	15	5.0	18	6.0	0.79	差	非常好	好	比较例
9	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	200	3	6	2.0	8	2.7	0.73	好	非常好	好	发明例
10	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	250	3	4	1.3	6	2.0	0.73	好	非常好	好	发明例
11	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	300	3	3	1.0	6	2.0	0.72	好	非常好	好	发明例
12	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	350	3	2	0.7	5	1.7	0.71	好	好	好	发明例
13	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	400	3	1	0.3	5	1.7	0.70	好	差	差	比较例
14	20.0	19.0	9.5	有 (平坦+槽)	40	500	3	0	0.0	3	1.0	0.70	好	差	差	比较例
15	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	50	3	15	5.0	18	6.0	0.80	差	非常好	好	比较例
16	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	200	3	6	2.0	9	3.0	0.75	好	非常好	好	发明例
17	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	250	3	4	1.3	7	2.3	0.74	好	非常好	好	发明例
18	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	300	3	3	1.0	6	2.0	0.72	好	非常好	好	发明例
19	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	350	3	2	0.7	6	2.0	0.71	好	好	好	发明例
20	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	400	3	1	0.3	5	1.7	0.70	好	差	差	比较例
21	20.0	19.0	9.5	有 (平坦)	40	450	3	0	0.0	4	1.3	0.70	好	差	差	比较例

[0204] 如表2中所示的那样,就实验No.8和实验No.15而言,由于以平均被膜厚度t1作为基准计存在槽形成面被膜部分的被膜过度变厚的部位,导致由形成于槽壁面上的被膜引起的沿与钢板的表面方向交叉的方向产生的张力过度产生,未得到铁损降低效果。

[0205] 此外,就实验No.13、14、20、21而言,由于以平均被膜厚度t1作为基准计存在槽形成面被膜部分的被膜过度变薄的部位,因此未得到优异的绝缘性和耐蚀性。

[0206] 与此相对,适宜地控制了被膜厚度的实验No.9~12、16~19都产生了铁损的降低,而且保证了绝缘性及耐蚀性。

[0207] (实施例2)

[0208] 在实施例2中示出槽的深度及被膜厚度越大则槽中的张力变得越大、能够大幅减少由槽的形成带来的铁损降低效果。

[0209] 通过与实施例1同样的步骤,进行了板厚为0.23mm的冷轧钢板的制作。

[0210] 对于该冷轧钢板,在冷轧工序S4之后立即通过光刻法在从与轧制方向X成直角的方向偏离10度的方向(相对于轧制方向X为 80° 的方向)上以5mm的轧制方向间距形成宽度为 $50\mu\text{m}$ 的槽。

[0211] 槽的深度在实验No.22~24中设定为 $10\mu\text{m}$,在实验No.25~27中设定为 $20\mu\text{m}$,在实验No.28~31中设定为 $30\mu\text{m}$ 。

[0212] 对于这些钢板,以水浆料涂布氧化铝(Al_2O_3)作为退火分离剂之后,实施成品退火。之后,涂布以胶体状二氧化硅和磷酸盐作为主要成分的涂敷溶液并在 850°C 下烧结2分钟来形成张力被膜。此时,通过使涂敷溶液的涂布量变化来使被膜的厚度变化。

[0213] 在实验No.23、24、26、27、30、31中,对钢板的槽将半导体激光设定为光束直径 $40\mu\text{m}$ 并按照可得到满足 $t_{2_{\text{Max}}} \leq w \times t_1/d$ 的条件的被膜的方式调整照射功率来进行激光照射,将槽的张力被膜的一部分除去。

[0214] 此外,在激光照射后用扫描型电子显微镜进行形态的观察,进行了 t_1 、 $t_{2_{\text{Min}}}$ 、 $t_{2_{\text{Max}}}$ 的测定。

[0215] 将所得到的制品的铁损W17/50(W/kg)示于表3~表5中。

[0216] 在 $D=10\mu\text{m}$ 的实验No.22~24中,将铁损为0.77以下的情况评价为“好”,将铁损超过0.77的情况评价为“差”。

[0217] 在 $D=20\mu\text{m}$ 的实验No.25~27中,将铁损为0.75以下的情况评价为“好”,将铁损超过0.75的情况评价为“差”。

[0218] 在 $D=30\mu\text{m}$ 的实验No.28~31中,将铁损为0.74以下的情况评价为“好”,将铁损超过0.74的情况评价为“差”。

[0219] 绝缘性的评价与实施例1同样地通过依据JIS C 2550-4(2011)的方法来进行层间电阻的测定。评价的基准也与实施例1相同。

[0220] [表3]

[0221]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	激光 直径 [μm]	照射 功率 [W]	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐腐蚀性	备注
22	10	9.5	4.8	无	0	0	3	9	3.0	10	3.3	0.81	差	非常好	好	比较例
23	10	9.5	4.8	无	40	300	3	2	0.7	4	1.3	0.77	好	好	好	发明例
24	10	9.5	4.8	无	40	350	5	2	0.4	3	0.6	0.75	好	非常好	好	发明例

[0222] [表4]

[0223]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	激光 直径 [μm]	照射 功率 [W]	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐腐蚀性	备注
25	20	19.0	9.5	无	0	0	3	18	6.0	20	6.7	0.79	差	非常好	好	比较例
26	20	19.0	9.5	无	40	300	3	2	0.7	4	1.3	0.73	好	好	好	发明例
27	20	19.0	9.5	无	40	350	5	2	0.4	6	1.2	0.71	好	非常好	好	发明例

[0224] [表5]

[0225]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	激光 直径 [μm]	照射 功率 [W]	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐腐蚀性	备注
28	30	28.5	14.3	无	0	0	3	24	8.0	27	9.0	0.77	差	非常好	好	比较例
29	30	28.5	14.3	无	0	0	5	26	5.2	30	6.0	0.76	差	非常好	好	比较例
30	30	28.5	14.3	无	40	300	3	2	0.7	4	1.3	0.71	好	好	好	发明例
31	30	28.5	14.3	无	40	350	5	2	0.4	5	1.0	0.68	好	好	好	发明例

[0226] 如表3中所示的那样,在槽深度为 $10\mu\text{m}$ 的情况下,与没有进行槽的被膜除去的No.22相比,进行了槽的被膜除去的No.23、No.24的铁损变好。

[0227] 如表4中所示的那样,在槽深度为 $20\mu\text{m}$ 的情况下,与没有进行槽的被膜除去的No.25相比,进行了槽的被膜除去的No.26、No.27的铁损变好。

[0228] 如表5中所示的那样,在槽深度为 $30\mu\text{m}$ 的情况下,即使是在被膜厚度不同的情况下,在如No.28和No.29那样未进行槽的被膜除去的情况下铁损之差也少,但在进行了槽的被膜除去的情况下,如No.30和No.31那样被膜厚度较厚时进一步得到了铁损降低效果。

[0229] 此外,如果将被膜厚度相同的No.22~No.23的铁损变化、No.25~No.26的铁损变化、No.28~No.30的铁损变化进行比较,则槽的深度越大,则铁损降低效果变得越大。

[0230] 这是因为:槽的深度及被膜厚度越大,则槽中的张力的贡献变得越大,越大幅地减少由槽的形成带来的铁损降低效果。

[0231] (实施例3)

[0232] 在上述的实施例1、实施例2中,利用激光照射适当地进行了被膜的整形,但如果通过所涂布的涂敷溶液的粘度或浓度的调整等而已经以适宜的厚度形成被膜,则不需要利用激光照射等而进行的被膜的整形。

[0233] 因此,在实验例3中示出通过在不进行槽的被膜除去的情况下使被膜厚度变得适宜来得到本发明的效果。

[0234] 通过与实施例1、实施例2同样的步骤,进行了板厚为 0.23mm 的冷轧钢板的制作。

[0235] 对于该冷轧钢板,在冷轧工序S4之后立即通过光刻法在从与轧制方向X成直角的方向偏离 10° 的方向(相对于轧制方向X为 80° 的方向)上以 5mm 的轧制方向间距形成宽度为 $50\mu\text{m}$ 的槽。

[0236] 槽的深度设定为 $20\mu\text{m}$ 。

[0237] 对于这些钢板,以水浆料涂布氧化铝(Al_2O_3)作为退火分离剂后,实施成品退火。之后,涂布以胶体状二氧化硅和磷酸盐作为主要成分的涂敷溶液并进行2分钟的烧结来形成张力被膜。此时,在实验No.32~35各自中,将涂敷溶液的温度和烧结温度调整为表6中所示的条件,使被膜的厚度变化。

[0238] 在实验No.32~35中,用扫描型电子显微镜进行被膜的形态的观察,进行了 t_1 、 $t_{2_{\text{Min}}}$ 、 $t_{2_{\text{Max}}}$ 的测定。

[0239] 将所得到的制品的铁损 $W_{17/50}$ (W/kg)示于表6中。

[0240] 实验No.32的铁损为0.77,以其作为基准来考虑,将铁损为0.75以下的情况判断为有铁损的改善并评价为“好”,将铁损超过0.75的情况判断为无铁损的改善并评价为“差”。

[0241] 绝缘性的评价与实施例1同样地通过依据JIS C 2550-4(2011)的方法来进行层间电阻的测定。评价的基准也与实施例1相同。

[0242] [表6]

[0243]

No.	D [μm]	d [μm]	d/2 [μm]	玻璃 被膜	涂敷 溶液温度 [$^{\circ}\text{C}$]	烧结 温度	t1 [μm]	t2Min [μm]	t2Min/t1	t2Max [μm]	t2Max/t1	铁损 [W/kg]	铁损 评价	绝缘性	耐腐蚀性	备注
32	20	19.0	9.5	无	25	500	3	15	5.0	17	5.7	0.77	差	非常好	好	比较例
33	20	19.0	9.5	无	25	1100	3	14	4.7	16	5.3	0.76	差	非常好	好	比较例
34	20	19.0	9.5	无	0	500	3	7	2.3	12	4.0	0.76	差	非常好	好	比较例
35	20	19.0	9.5	无	0	1100	3	4	1.3	8	2.7	0.75	好	好	好	发明例

[0244] 如表6中所示的那样,就实验No.32~34而言,由于被膜厚度不适宜,因而未得到本发明的效果。

[0245] 另一方面,就实验No.35而言,能够确认到:通过在不进行槽的皮膜除去的情况下使被膜厚度变得适宜,从而得到了本发明的效果。

[0246] 产业上的可利用性

[0247] 根据本发明,能够提供保证绝缘性及耐蚀性、并且为比以往制品更低的铁损的方向性电磁钢板。

[0248] 符号的说明

[0249] 100、200、200A 方向性电磁钢板

[0250] 110、210 母材钢板

[0251] 110F、210F 平坦面

[0252] 110G、210G 槽形成面

[0253] 130、230 张力被膜

[0254] 130F、230F 平坦面被膜部分

[0255] 130G、230G 槽形成面被膜部分

[0256] 130Fa、230Fa 平坦面被膜部分的底面位置

[0257] 130Ga、230Ga 槽形成面被膜部分的底面位置

[0258] 250 玻璃被膜

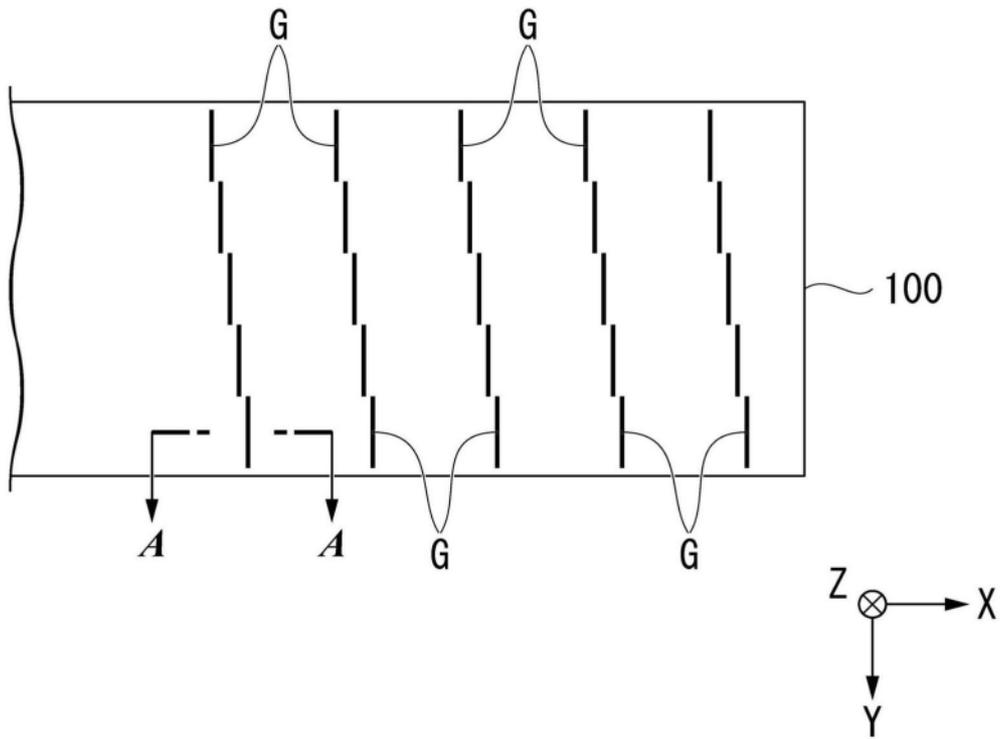


图1

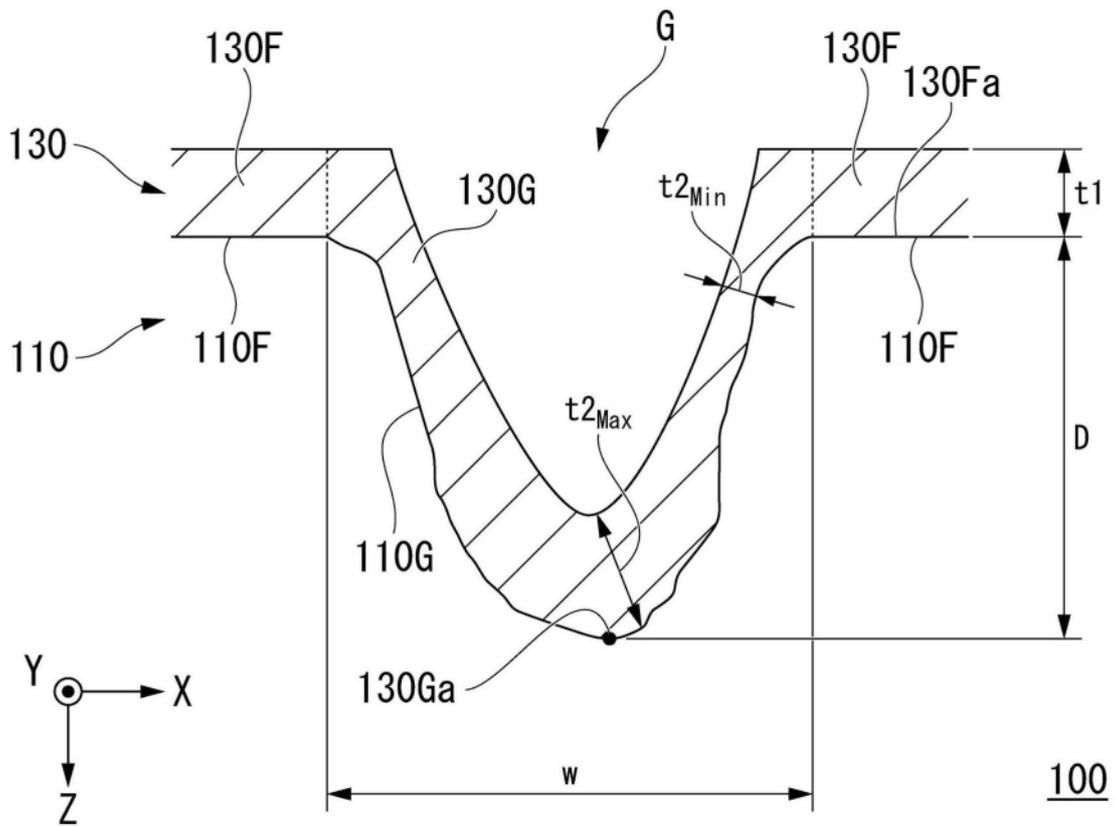


图2

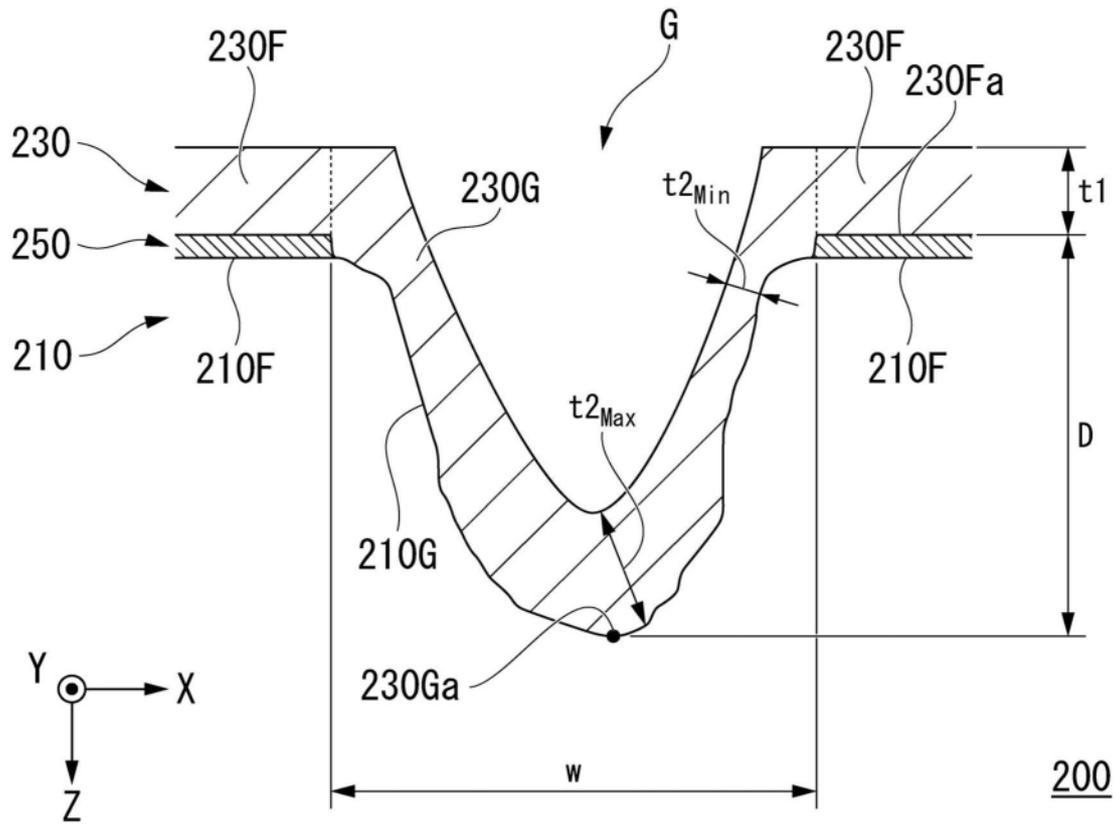


图3

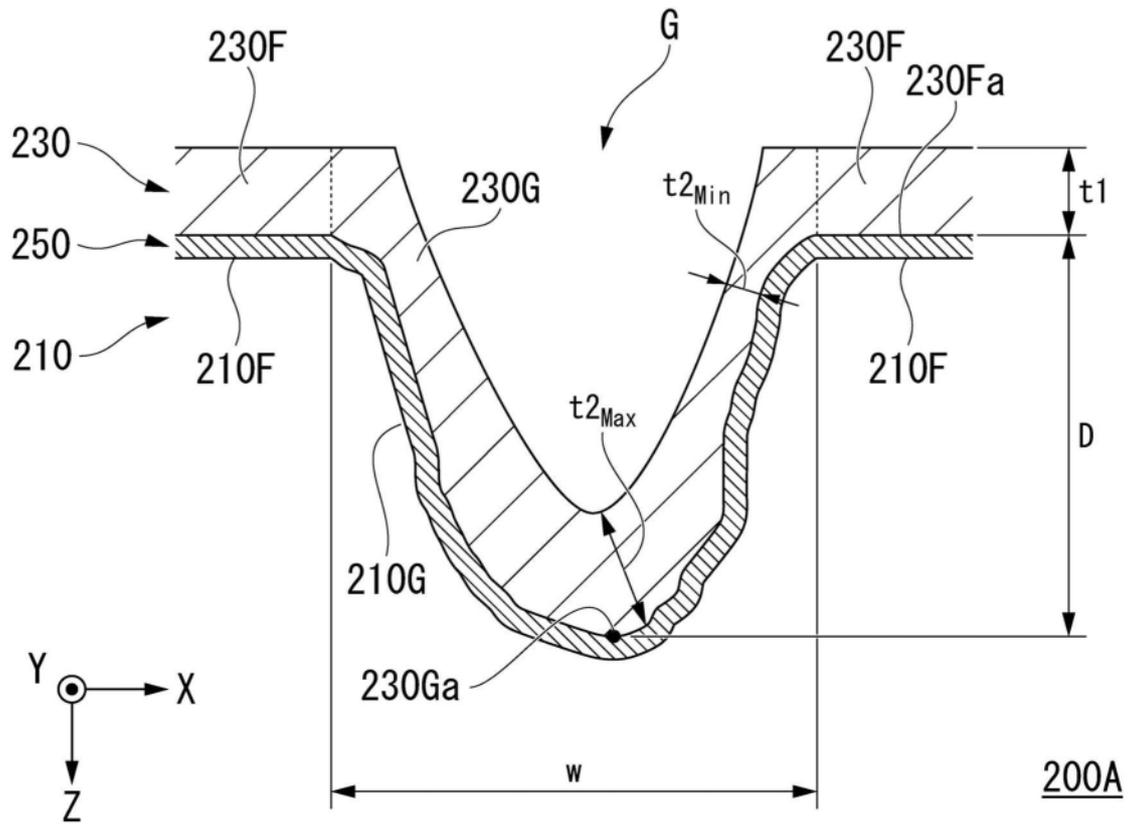


图4

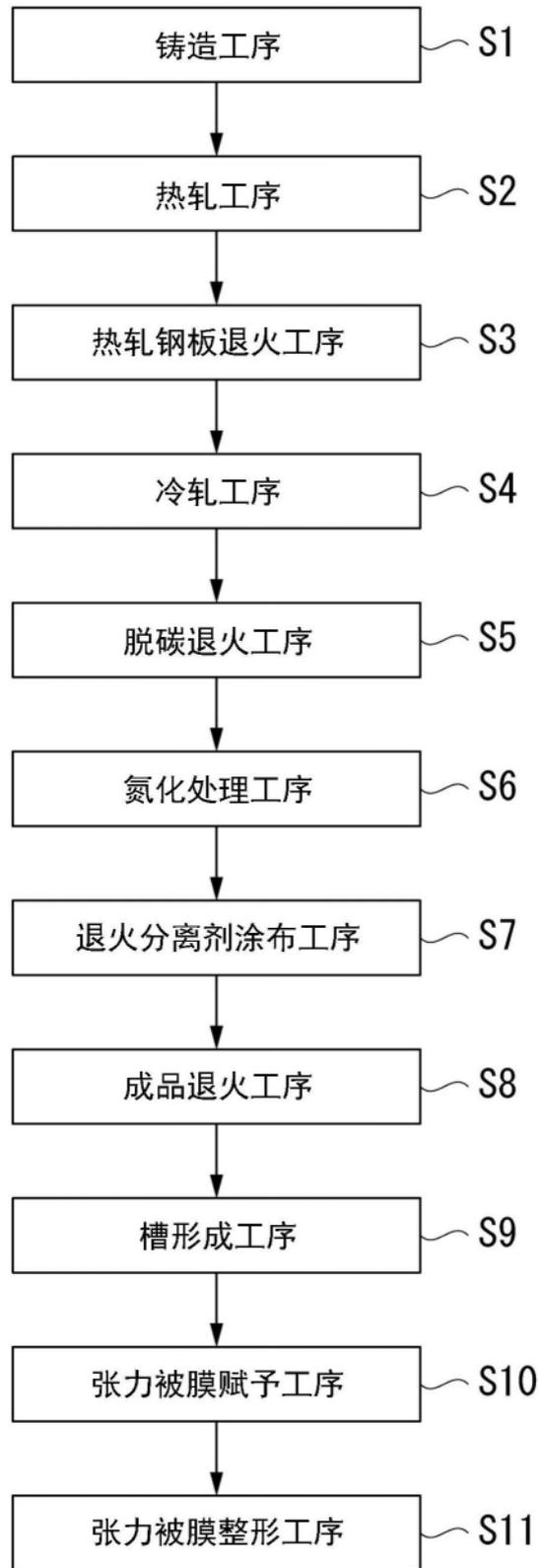


图5