(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103140603 B
(45)授权公告日 2014.12.24

(21)申请号 201180047013.9
(22)申请日 2011.09.27
(30)优先权数据
2010-217370 2010.09.28 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.03.28
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2011/005433 2011.09.27
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/042854 JA 2012.04.05
(73)专利权人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本东京
(72)发明人 渡边诚 冈部诚司 高宫俊人
(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司 11219
代理人 金龙河 穆德骏
(51)Int.Cl.
C23C 22/00(2006.01)
B32B 15/04(2006.01)
C21D 8/12(2006.01)
C22C 38/00(2006.01)
C22C 38/04(2006.01)
C22C 38/60(2006.01)
H01F 1/16(2006.01)
H01F 1/18(2006.01)

(56)对比文件
CN 1253658 A,2000.05.17, 摘要,权利要求1,4,说明书第10页第16-18行,附图3.
JP 2001-303215 A,2001.10.31, 摘要,附图1,说明书第[0016]、[0023]、[0031]-[0043]段.
CN 1473965 A,2004.02.11, 全文.
JP 2005-317683 A,2005.11.10, 全文.

审查员 王子瑜

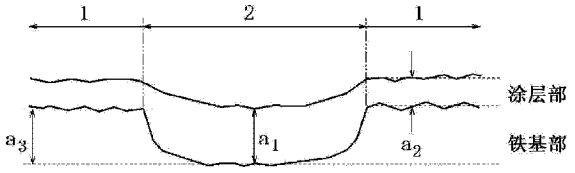
权利要求书1页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

方向性电磁钢板

(57)摘要

根据本发明,通过以满足下式(1)和(2)的方式控制线状槽的底面部的该绝缘涂层的膜厚a_1(μm)、线状槽部以外的钢板表面的绝缘涂层膜厚a_2(μm)和线状槽的深度a_3(μm),能够将组装到实际变压器中时的铁损抑制得较低,能够得到具有优良的实际铁损特性的方向性电磁钢板,$0.3\mu m \leqslant a_2 \leqslant 3.5\mu m$…(1)$a_2+a_3-a_1 \leqslant 15\mu m$…(2)。



CN 103140603 B

1. 一种方向性电磁钢板，是在设置有线状槽的钢板表面上形成镁橄榄石被膜、进而在其上施加了绝缘涂层的方向性电磁钢板，其中，该线状槽的底面部的该绝缘涂层的膜厚 a_1、该线状槽部以外的钢板表面的该绝缘涂层膜厚 a_2 和该线状槽的深度 a_3 满足下式 (1) 和 (2)，并且该线状槽的深度 a_3 为 10 ～ 50μm，

$0.3\mu m \leqslant a_2 \leqslant 3.5\mu m \cdots (1)$

$a_2+a_3-a_1 \leqslant 15\mu m \cdots (2)$。

2. 如权利要求 1 所述的方向性电磁钢板，其中，所述绝缘涂层对钢板赋予的张力为 8MPa 以下。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方向性电磁钢板，其中，所述绝缘涂层由磷酸盐－二氧化硅系涂层处理液形成。

方向性电磁钢板

技术领域

[0001] 本发明涉及用于变压器等的铁芯材料的方向性电磁钢板。

背景技术

[0002] 方向性电磁钢板主要作为变压器的铁芯使用，要求其磁化特性优良、特别是铁损低。

[0003] 因此，重要的是使钢板中的二次再结晶晶粒与 (110)[001] 取向（所谓的高斯取向）高度一致、以及降低成品钢板中的杂质。但是，结晶取向的控制、以及杂质的降低在与制造成本的平衡等方面存在极限。因此，正在开发通过物理方法向钢板表面引入不均匀应变而使磁畴的宽度细化以降低铁损的技术、即磁畴细化技术。

[0004] 例如，专利文献 1 中提出了如下技术：对最终成品板照射激光，向钢板表层引入高位错密度区域，使磁畴宽度变窄，由此降低钢板的铁损。

[0005] 另外，专利文献 2 中提出了如下技术：对最终退火后的钢板，以 882 ～ 2156MPa(90 ～ 220kgf/mm^2) 的载荷在铁基部分形成深度超过 5μm 的槽，然后在 750℃以上的温度下进行加热处理，由此使磁畴细化。

[0006] 另外，专利文献 3 中提出了如下技术：在与钢板的轧制方向大致垂直的方向上引入宽度为 30μm 以上且 300μm 以下、深度为 10μm 以上且 70μm 以下并且在轧制方向上的间隔为 1mm 以上的线状刻痕（槽）。

[0007] 通过上述的各种磁畴细化技术的开发，得到了铁损特性良好的方向性电磁钢板。

[0008] 现有技术文献

[0009] 专利文献

[0010] 专利文献 1：日本特公昭 57-2252 号公报

[0011] 专利文献 2：日本特公昭 62-53579 号公报

[0012] 专利文献 3：日本特公平 3-69968 号公报

发明内容

[0013] 发明所要解决的问题

[0014] 但是，通常在钢板表面形成槽后剪切为铁芯材料并组装到变压器等中的情况下，以使在已经层叠的铁芯材料上滑动的方式重叠下一个铁芯材料。因此，使铁芯材料滑动时，存在槽部刮蹭从而使作业性降低的问题。

[0015] 另外，不仅作业性的问题，有时也会由于槽部刮蹭而对钢板施加局部的应力，从而使钢板变形，因此产生磁特性劣化的问题。

[0016] 本发明是鉴于上述现状而开发的，其目的在于提供形成有磁畴细化用槽、能够将组装到实际变压器中时的铁损抑制得较低的具有优良的实际铁损特性的方向性电磁钢板。

[0017] 用于解决问题的方法

[0018] 即，本发明的主旨构成如下所述。

[0019] 1. 一种方向性电磁钢板，在设置有线状槽的钢板表面上施加有绝缘涂层，其中，该线状槽的底面部的该绝缘涂层的膜厚 a_1（μm）、该线状槽部以外的钢板表面的该绝缘涂层膜厚 a_2（μm）和该线状槽的深度 a_3（μm）满足下式（1）和（2），

[0020] $0.3\mu m \leqslant a_2 \leqslant 3.5\mu m \cdots (1)$

[0021] $a_2+a_3-a_1 \leqslant 15\mu m \cdots (2)$。

[0022] 2. 如上述 1 所述的方向性电磁钢板，其中，上述绝缘涂层对钢板赋予的张力为 8MPa 以下。

[0023] 3. 如上述 1 或 2 所述的方向性电磁钢板，其中，上述绝缘涂层由磷酸盐－二氧化硅系涂层处理液形成。

[0024] 发明效果

[0025] 根据本发明，能够得到能有效抑制组装到实际变压器中时的铁损的具有优良的实际铁损特性的方向性电磁钢板。

附图说明

[0026] 图 1 是表示本发明的参数、线状槽底面部的涂层膜厚 a_1（μm）、线状槽部以外的涂层膜厚 a_2（μm）和线状槽深度 a_3（μm）的示意图。

[0027] 图 2 是表示由绝缘被膜产生的钢板的张力的测定和计算要点的图。

具体实施方式

[0028] 以下，对本发明进行具体说明。

[0029] 通常，在钢板的表面形成线状槽（以下也简称为槽）时，为了确保钢板的绝缘性，在形成槽后，在钢板表面上形成镁橄榄石被膜，然后再在其上赋予用于绝缘的被膜（以下称为绝缘涂层，或者简称为涂层）。

[0030] 上述镁橄榄石被膜通过如下方法形成：在制造方向性电磁钢板时的脱碳退火中，在钢板表面形成以 SiO_2 为主体的内部氧化层，并在其上涂布含有 MgO 的退火分离剂后，在高温、长时间的条件下进行最终退火，由此，使内部氧化层与 MgO 二者反应。

[0031] 另外，在镁橄榄石被膜上进行表层涂布而赋予的绝缘涂层通过涂布涂层液并进行烧结而得到。

[0032] 这些被膜与钢板之间存在热膨胀率的差异，因此，在高温下形成、并在赋予后冷却至常温时，收缩率小的被膜具有对钢板施加拉伸应力的作用。

[0033] 绝缘涂层在其膜厚增大时，对钢板赋予的张力增大，从而使铁损改善效果提高。另一方面，存在如下倾向：组装到实际变压器中时的占空系数（铁基的比率）降低，并且相对于材料铁损的变压器铁损（工艺系数）降低。因此，以往仅对作为钢板整体的膜厚（每单位面积的附着量）进行控制。

[0034] 在此，图 1 是表示线状槽底面部的涂层膜厚 a_1、线状槽部以外的涂层膜厚 a_2 和线状槽深度 a_3 的示意图。需要说明的是，图中，1 为线状槽部以外，2 为线状槽部。另外，a_1 和 a_2 的下端以及 a_3 的上下端均为绝缘涂层与镁橄榄石被膜的界面。

[0035] 发明人对上述问题进行了研究，结果发现，通过对图 1 所示的涂层膜厚 a_1、涂层膜厚 a_2 和线状槽深度 a_3 进行适当控制，能够解决上述问题。

[0036] 即，上述涂层膜厚 a_2 需要满足本发明的下式 (1)。这是因为，涂层膜厚 a_2 小于 0.3μm 时，绝缘涂层的厚度变得过薄，因此，层间电阻、防锈性变差。另一方面，a_2 超过 3.5μm 时，组装到实际变压器中时的占空系数增大。

[0037] $0.3\mu m \leqslant a_2 \leqslant 3.5\mu m \cdots (1)$

[0038] 接着，本发明的重要事项在于，需要使上述涂层膜厚 a_1、涂层膜厚 a_2 和线状槽深度 a_3 满足下式 (2) 的关系。

[0039] $a_2+a_3-a_1 \leqslant 15(\mu m) \cdots (2)$

[0040] 这是因为，使式 (2) 左边的值降低时，钢板整体的凹凸减小，形成平坦的形状，因此，钢板操作中不发生刮蹭从而使作业性得到改善，同时，由于受到局部的应力，因此也不再产生钢板的磁致伸缩特性劣化的问题。需要说明的是，线状槽深度 a_3 为距离钢板表面的深度，如前所述，镁橄榄石被膜的厚度也包含在线状槽深度 a_3 中。另外，上式 (2) 的优选的下限值为 3(μm)，线状槽深度 a_3 优选设定为约 10μm～约 50μm 的范围内。

[0041] 可见，为了使凹凸减小，即为了降低式 (2) 左边的值，需要使槽底面部的膜厚 a_1 增大，为实现该目的，例如优选降低涂层涂布液的粘度或使用硬质的辊作为涂布辊。

[0042] 另外，本发明中，期望使由绝缘涂层的涂层被膜产生的张力为 8MPa 以下。

[0043] 这是因为，本发明中，由于在槽部中使涂层的膜厚增大，因此，张力局部增高。结果，钢板表面的应力分布变得不均匀，从而使绝缘涂层的被膜变得容易剥离。为了防止这种情况，优选使涂层张力降低。

[0044] 另外，由涂层被膜产生的张力的下限值没有特别限制，从基于张力效果改善铁损的观点出发，优选设定为约 4MPa。

[0045] 上述涂层被膜的形成例如优选通过使用磷酸盐－二氧化硅系涂层处理液来进行。此时，通过提高磷酸盐比率或者使用热膨胀系数增高的磷酸盐（例如磷酸钙、磷酸锶等）等，能够控制张力。

[0046] 通过赋予这种低张力的涂层，由线状槽部与线状槽部以外的膜厚差引起的张力的变化程度减小，因此使涂层变得不易剥离。

[0047] 另外，如图 1 所示，线状槽部以外 1 是指除线状槽部 2 以外的部分。

[0048] 另外，由本发明中的绝缘被膜产生的钢板的张力的测定和计算以如下方式进行。

[0049] 首先，在测定面上粘贴胶带后浸渍到碱性水溶液中，由此，将非测定面的绝缘被膜剥离，然后，如图 2 所示，测定 L 部和 X 部作为钢板的翘曲程度，并求出 L_M 和 X_M。

[0050] 然后，使用下式 (3) 和 (4) 时，通过下式 (5) 求出曲率半径 R：

[0051] $L=2R\sin(\theta/2) \cdots (3)$

[0052] $X=R\{1-\cos(\theta/2)\} \cdots (4)$

[0053] $R=(L^2+4X^2)/8X \cdots (5)$。

[0054] 在该式 (5) 中代入 $L=L_M$ 和 $X=X_M$，求出曲率半径 R。此外，如果将该曲率半径 R 代入下式 (6)，则可以计算出铁基表面的拉伸应力 σ。

[0055] $\sigma=E \cdot \varepsilon=E \cdot (d/2R) \cdots (6)$

[0056] 其中：

[0057] E：杨氏模量 ($E100=1.4\times10^5$MPa)

[0058] ε：铁基界面应变（板厚中央 $\varepsilon=0$）

[0059] d :板厚

[0060] 本发明中，方向性电磁钢板用钢坯的成分组成只要是产生磁畴细化效果大的二次再结晶的成分组成即可。需要说明的是，二次再结晶晶粒相对于高斯取向的偏移角越小，由磁畴细化带来的铁损降低效果越大，因此，相对于高斯取向的偏移角优选设定为 5.5° 以内。

[0061] 在此，相对于高斯取向的偏移角为 $(\alpha^2+\beta^2)$ 的平方根，α 表示 α 角（二次再结晶晶粒取向相对于轧制面法线方向 (ND) 轴中的 (110)[001] 理想取向的偏移角），β 表示 β 角（二次再结晶晶粒取向相对于轧制直角方向 (TD) 轴中的 (110)[001] 理想取向的偏移角）。另外，相对于高斯取向的偏移角的测定中，对 280×30mm 样品以 5mm 的间距进行取向测定。此时，去掉测定晶界等时的异常值后，计算出 α 角和 β 角的绝对值的平均值，分别作为上述 α 和 β 的值。因此，上述 α 和 β 的值不是每个晶粒的平均值，而是面积平均值。

[0062] 另外，以下的组成和制造方法中的数值范围和选择的元素、工序介绍了代表性的方向性电磁钢板的制造方法，本发明不限定于此。

[0063] 本发明中，在使用抑制剂的情况下，例如使用 AlN 系抑制剂时，适量含有 Al 和 N 即可，另外在使用 MnS/MnSe 系抑制剂时，适量含有 Mn 及 Se 和 / 或 S 即可。当然，也可以组合使用两种抑制剂。这种情况下，Al、N、S 和 Se 的优选含量分别为 Al :0.01 ～ 0.065 质量 %、N :0.005 ～ 0.012 质量 %、S :0.005 ～ 0.03 质量 %、Se :0.005 ～ 0.03 质量 %。

[0064] 另外，本发明也能够适用于限制了 Al、N、S、Se 的含量且不使用抑制剂的方向性电磁钢板。

[0065] 这种情况下，Al、N、S 和 Se 量优选分别抑制为 Al :100 质量 ppm 以下、N :50 质量 ppm 以下、S :50 质量 ppm 以下、Se :50 质量 ppm 以下。

[0066] 以下，对本发明的方向性电磁钢板用钢坯的基本成分和任选添加成分进行具体说明。

[0067] C :0.15 质量 % 以下

[0068] C 用于改善热轧板组织而添加，但超过 0.15 质量 % 时，难以将 C 降低至在制造工序中不引起磁时效的 50 质量 ppm 以下，因此，优选设定为 0.15 质量 % 以下。另外，关于下限，即使是不含 C 的原材料也能够进行二次再结晶，因此无需特别设定。

[0069] Si :2.0 ～ 8.0 质量 %

[0070] Si 是对于提高钢的电阻并改善铁损有效的元素，含量小于 2.0 质量 % 时，无法实现充分的铁损降低效果，另一方面，含量超过 8.0 质量 % 时，加工性显著降低，并且磁通密度也降低，因此，Si 量优选设定为 2.0 ～ 8.0 质量 % 的范围。

[0071] Mn :0.005 ～ 1.0 质量 %

[0072] Mn 在使热加工性良好的方面是必需的元素，但含量低于 0.005 质量 % 时，其添加效果不足，另一方面，含量超过 1.0 质量 % 时，成品板的磁通密度降低，因此，Mn 量优选设定为 0.005 ～ 1.0 质量 % 的范围。

[0073] 除上述基本成分以外，还可以适当含有如下所述的元素作为改善磁特性的成分。

[0074] 选自 Ni :0.03 ～ 1.50 质量 %、Sn :0.01 ～ 1.50 质量 %、Sb :0.005 ～ 1.50 质量 %、Cu :0.03 ～ 3.0 质量 %、P :0.03 ～ 0.50 质量 %、Mo :0.005 ～ 0.10 质量 % 和 Cr :0.03 ～ 1.50

质量％中的至少一种

[0075] Ni 是对于改善热轧板组织而提高磁特性有用的元素。但是，含量低于 0.03 质量％时，提高磁特性的效果小，另一方面，含量超过 1.5 质量％时，二次再结晶变得不稳定，磁特性劣化。因此，Ni 量优选设定为 0.03 ～ 1.5 质量％的范围。

[0076] 另外，Sn、Sb、Cu、P、Mo 和 Cr 各自为对于提高磁特性有用的元素，但任意一种不满足上述各成分的下限时，提高磁特性的效果小，另一方面，含量超过上述各成分的上限量时，二次再结晶晶粒的发达受到阻碍，因此，优选各自以上述范围含有。

[0077] 另外，上述成分以外的余量为在制造工序中混入的不可避免的杂质和 Fe。

[0078] 接着，将具有上述成分组成的钢坯按照常规方法加热后供于热轧，但是，也可以在铸造后不经加热而直接进行热轧。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行之后的工序。

[0079] 然后，根据需要实施热轧板退火。此时，为了使高斯组织在成品板中高度发达，优选 800 ～ 1200℃的范围作为热轧板退火温度。热轧板退火温度低于 800℃时，热轧中的条带组织残留，难以实现进行整粒后的一次再结晶组织，从而使二次再结晶的发达受到阻碍。另一方面，热轧板退火温度超过 1200℃时，热轧板退火后的粒径过于粗大化，因此难以实现进行整粒后的一次再结晶组织。

[0080] 热轧板退火后，实施一次冷轧或隔着中间退火的两次以上的冷轧后，进行一次再结晶退火，并涂布退火分离剂。一次再结晶退火中、或者一次再结晶退火后且直到二次再结晶开始为止的期间中，为了强化抑制剂，也可以使钢板氮化等。在二次再结晶退火前且涂布退火分离剂后，为了形成二次再结晶和镁橄榄石被膜，实施最终退火。

[0081] 需要说明的是，如以下所说明的那样，本发明的槽的形成只要是在最终冷轧后，则在一次再结晶退火前后、二次再结晶退火前后、平整退火前后等任一时间形成均没有问题。但是，在施加张力涂层后形成槽的情况下，需要先除去槽形成位置的被膜后通过后述的方法形成槽、再形成被膜的工序。因此，槽形成优选在最终冷轧后且形成张力涂层前进行。

[0082] 在最终退火后，进行平整退火来矫正形状是有效的。另外，本发明中，在平整退火前或平整退火后，在钢板表面上赋予绝缘涂层。也可以在平整退火前涂布张力涂层处理液，从而同时进行平整退火和涂层的烧结。

[0083] 另外，本发明中，对钢板赋予张力涂层时，如前所述，重要的是分别对线状槽底面部的涂层膜厚 a_1（μm）和线状槽部以外的涂层膜厚 a_2（μm）以及槽深度 a_3（μm）进行适当控制。

[0084] 在此，本发明中，张力涂层是指为了降低铁损而对钢板施加张力的绝缘涂层。需要说明的是，作为张力涂层，只要以二氧化硅和磷酸盐为主要成分则均有利地适合。另外，也可以适当应用使用硼酸盐和氧化铝溶胶的涂层、使用复合氢氧化物的涂层等。

[0085] 本发明的槽形成中，可以列举以往公知的槽的形成方法、例如局部进行蚀刻处理的方法、用刀具等划线的方法、用突起辊轧制的方法等，但最优选的是如下方法：通过印刷等使最终冷轧后的钢板附着抗蚀剂，然后，通过电解蚀刻等处理在非附着区域形成槽。这是因为，以机械方式形成槽的方法中，刀具、辊等的磨损极其严重，从而形成槽变钝这样的形状。此外，由于更换刀具、辊而引起的生产率降低也会成为问题。

[0086] 对于本发明中形成在钢板表面的槽而言，优选宽度为约 50μm ～约 300μm、深度

为约 10μm～约 50μm 并且间隔为约 1.5mm～约 10.0mm，槽的形成方向优选为相对于与轧制方向垂直的方向为约 ±30° 以内。另外，本发明中，“线状”不仅包括实线，也包括点线、虚线等。

[0087] 本发明中，关于上述的工序、制造条件以外，也可以适当使用形成以往公知的槽后实施磁畴细化处理的方向性电磁钢板的制造方法。

[0088] 实施例 1

[0089] 通过连铸来制造以质量 % 计含有 C :0.05%、Si :3.2%、Mn :0.06%、Se :0.02% 和 Sb :0.02% 且余量由 Fe 和不可避免的杂质构成的组成的钢坯，加热至 1400℃后，通过热轧制成板厚为 2.6mm 的热轧板，然后，在 1000℃下实施热轧板退火。接着，通过隔着 1000℃下的中间退火的两次冷轧，精加工成最终板厚为 0.30mm 的冷轧板。

[0090] 然后，利用凹版胶印涂布抗蚀剂，接着进行电解蚀刻和碱液中的抗蚀剂剥离，由此以相对于与轧制方向正交的方向为 10° 的角度以 3mm 的间隔形成宽度为 150μm、深度为 20μm 的线状槽。

[0091] 接着，在 825℃下实施脱碳退火后，涂布以 MgO 为主要成分的退火分离剂，并在 1200℃、10 小时的条件下实施以二次再结晶和纯化为目的的最终退火。

[0092] 然后，涂布张力涂层处理液，在 830℃下进行兼作张力涂层烧结的平整退火，从而制成成品。此时，如表 1 所示，通过改变涂布辊的硬度、涂布液粘度、涂层液组成，在各种膜厚条件下涂布涂层并使其干燥后进行烧结。使用所得钢板制造 1000kVA 的油浸式变压器，测定铁损。另外，对于所得到的成品，分别评价磁特性、涂层张力、占空系数、生锈率和层间电阻。

[0093] 需要说明的是，根据 JIS C2550 所记载的方法测定磁特性、占空系数和层间电阻，在温度 50℃、露点 50℃、在大气中保持 50 小时后，通过目视判定来测定生锈率。另外，按照前述的方法进行测定并求出涂层张力。

[0094] 将上述各测定结果一并记载在表 2 中。

[0095] [表 1]

[0096]

条件 No.	涂布辊硬度 JIS-A*	涂布液粘度 (cP)	涂布液组成
1	70	1.2	A
2	70	1.2	A
3	70	1.2	B
4	70	1.2	B
5	70	1.2	B
6	70	1.2	B
7	70	1.2	B
8	70	1.4	B
9	70	1.3	B
10	70	1.2	B
11	70	1.1	B
12	50	1.2	B
13	50	1.1	B
14	70	1.2	C
15	70	1.2	C

[0097] JIS-A*K6301-1975

[0098] A :磷酸 Sr :40 质量份、胶态 SiO_2 :30 质量份、Cr 酸酐 :5 质量份、石英粉 :0.5 质量份

[0099] B :磷酸 Al :40 质量份、胶态 SiO_2 :20 质量份、Cr 酸酐 :5 质量份、石英粉 :0.5 质量份

[0100] C :磷酸 Mg :20 质量份、胶态 SiO_2 :30 质量份、Cr 酸酐 :5 质量份、石英粉 :0.5 质量份

[0101] [表 2]

[0102]

试验 No.	槽底面部膜厚 a_1 (μm)	槽部以外的膜厚 a_2 (μm)	槽深度 a_3 (μm)	$a_2+a_3-a_1$	涂层张力 (MPa)	占空系数 (%)	生锈率 (%)	层间电阻 ($\Omega\cdot cm^2$)	剪切板铁损 $W_{17/50}$ (W/kg)	变压器铁损 $W_{17/50}$ (W/kg)	备注
1	10.2	0.2	20	10.0	6.4	97.9	20	20	0.97	1.27	比较例
2	9.5	0.3	20	10.8	6.5	97.9	5	≥200	0.96	1.14	发明例
3	10.5	1.1	20	10.6	7.6	97.5	≤5	≥200	0.95	1.12	发明例
4	11.9	2.1	20	10.2	7.1	97.5	≤5	≥200	0.95	1.10	发明例
5	12.4	2.8	20	10.4	7.2	97.4	≤5	≥200	0.95	1.11	发明例
6	13.6	3.5	20	9.9	7.5	97.3	≤5	≥200	0.95	1.13	发明例
7	14.5	4.1	20	9.6	7.4	96.9	15	50	0.95	1.28	比较例
8	2.4	2.2	20	19.8	7.3	97.4	20	20	0.95	1.26	比较例
9	4.2	2.1	20	17.9	7.2	97.5	20	20	0.95	1.25	比较例
10	7.4	2.3	20	14.9	7.3	97.6	5	≥200	0.95	1.15	发明例
11	8.6	1.9	20	13.3	7.4	97.6	≤5	≥200	0.95	1.14	发明例
12	12.1	2.3	20	10.2	7.5	97.6	≤5	≥200	0.95	1.12	发明例
13	20.0	2.1	20	2.1	7.1	97.5	≤5	≥200	0.95	1.11	发明例
14	13.3	2.2	20	8.9	10.5	97.4	5	100	0.95	1.20	发明例
15	13.3	3.2	20	9.9	12.6	97.5	10	80	0.95	1.21	发明例

[0103] ※ 磁特性、占空系数、层间电阻…根据 JIS C2550 所记载的方法测定。

[0104] 生锈率…在温度 50℃、露点 50℃的大气中保持 50 小时后，通过目视来判定生锈

率。

[0105] 如表 2 所示，满足本发明的上式 (1) 和 (2) 的试验 No. 2 ～ 6、10 ～ 15 的方向性电磁钢板均在组装到变压器中时得到了极其良好的铁损特性。

[0106] 但是，不满足上式 (1) 的试验 No. 1、7 和不满足上式 (2) 的试验 No. 8、9 的方向性电磁钢板在组装到变压器中时的铁损特性差。

[0107] 标号说明

[0108] 1 线状槽部以外

[0109] 2 线状槽部

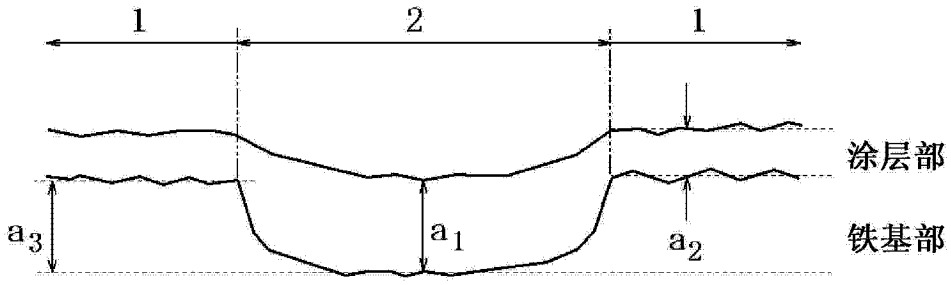


图 1

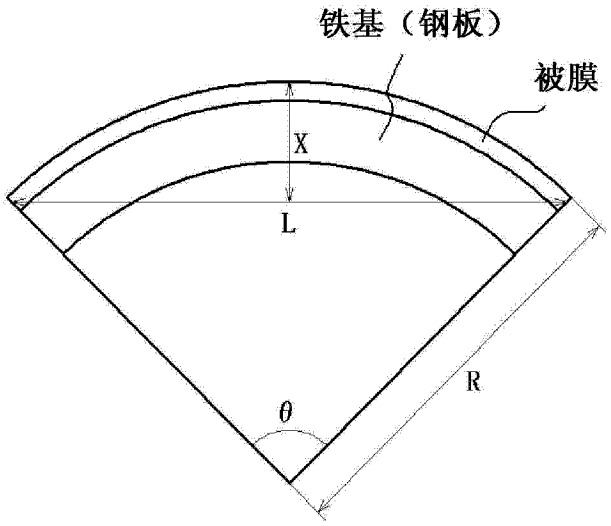


图 2