



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117377784 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 09

(21) 申请号 202280037044.4
(22) 申请日 2022.05.27
(30) 优先权数据
2021-090680 2021.05.28 JP
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2023.11.22
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/021831 2022.05.27
(87) PCT国际申请的公布数据
W02022/250158 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 竹中雅纪 设乐英太郎
(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 王洋
(51) Int.Cl.
C21D 8/12 (2006.01)

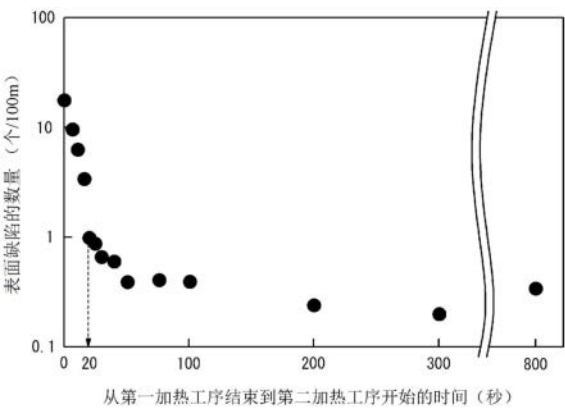
权利要求书1页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称

取向性电磁钢板的制造方法

(57) 摘要

本发明的目的在于减少取向性电磁钢板的表面缺陷的数量。在取向性电磁钢板的制造中，在钢坯的热轧之前加热上述钢坯。上述加热包括将上述钢坯加热至小于1300℃的温度的第一加热工序和加热至1300℃以上的温度的第二加热工序，将从上述第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间设为20秒以上，将上述第二加热工序中的气氛中的氧浓度设为1.0体积%以下，在上述第二加热工序后且上述热轧前，将上述钢坯的表面以冷却速度:3.0℃/s以上进行水冷。



1. 一种取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,包括如下的步骤:
对取向性电磁钢板用钢坯进行加热,
对经加热的所述取向性电磁钢板用钢坯进行热轧而制成热轧钢板,
对所述热轧钢板实施1次或者隔着中间退火的2次以上的冷轧而制成冷轧钢板,
对所述冷轧钢板实施脱碳退火,
在所述脱碳退火后的所述冷轧钢板的表面涂布退火分离剂,
对涂布有所述退火分离剂的所述冷轧钢板实施最终退火,
所述取向性电磁钢板用钢坯的加热包括如下的工序:
第一加热工序,将所述取向性电磁钢板用钢坯加热至小于1300℃的温度,以及
第二加热工序,加热至1300℃以上的温度;
将从所述第一加热工序结束到所述第二加热工序开始的时间设为20秒以上,
将所述第二加热工序中的气氛中的氧浓度设为1.0体积%以下,
在所述第二加热工序后且在所述热轧前,对所述取向性电磁钢板用钢坯的表面以冷却速度:3.0℃/s以上进行水冷。
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,以所述第一加热工序中的所述取向性电磁钢板用钢坯的下表面在所述第二加热工序中不成为下表面的方式配置所述取向性电磁钢板用钢坯。

取向性电磁钢板的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种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,取向性电磁钢板的特征在于,具有作为铁的易磁化轴的<001>取向在钢板的轧制方向高度地一致的织构。

[0003] 上述织构通过在最终退火中引起二次再结晶而形成。在此,二次再结晶是指利用晶界能量使被称为所谓Goss取向的{110}<001>取向的晶粒优先地生长成巨大晶粒的现象。

[0004] 作为产生上述二次再结晶的代表的技术,存在有利用被称为抑制剂的析出物的技术。作为利用抑制剂的技术,例如有专利文献1记载的使用AlN、MnS的方法、专利文献2记载的使用MnS、MnSe的方法等,均在工业上实用化。

[0005] 上述的使用抑制剂的方法能够稳定地使二次再晶粒发达,因此在取向性电磁钢板的制造中被广泛使用。但是,为了使抑制剂微细地分散于钢中,需要预先在1300℃以上的高温下加热钢坯,使抑制剂成分暂时固溶。

[0006] 因此,提出了不使用抑制剂而制造取向性电磁钢板的方法(无抑制剂法)(例如专利文献3)。

[0007] 无抑制剂法是通过使用更高纯度的钢并控制织构而表现出二次再结晶的技术。具体而言,通过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化,即使不使用抑制剂,也能够使具有Goss取向的晶粒进行二次再结晶。将这样的效果称为纹理抑制效果。

[0008] 无抑制剂法中,无需使抑制剂微细分散于钢中,因此,无需进行使用抑制剂时所必需的高温板坯加热。因此,无抑制剂法不仅在制造成本方面,而且在制造设备的维护方面也具有大的优势。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特公昭40—15644号公报

[0012] 专利文献2:日本特公昭51—13469号公报

[0013] 专利文献3:日本特开2000—129356号公报

发明内容

[0014] 然而,利用需要高温加热的抑制剂的情况自不必说,即使是无抑制剂法,板坯表面、角部处的裂纹、氧化皮的晶界侵蚀也有时作为最终产品的表面缺陷而残留。

[0015] 本发明是鉴于上述情况而完成的,其目的在于提供一种能够得到磁特性优异且表面缺陷少的取向性电磁钢板的取向性电磁钢板的制造方法。

[0016] 本发明人等为了解决上述课题,对钢坯的加热条件、热轧前的钢坯的表面温度的影响进行了研究。其结果是发现通过在特定的条件下对钢坯实施加热和骤冷,能够得到磁性优异且表面缺陷少的取向性电磁钢板。以下对得到上述情况的实验进行说明。应予说明,在本说明书中,作为氧浓度的单位的“%”,只要没有特别说明,则表示“体积%”。

[0017] <实验1>

[0018] 通过以下的工序制造了取向性电磁钢板。

[0019] 首先,对以质量%计包含C:0.080%、Si:3.55%以及Mn:0.12%的取向性电磁钢板用钢坯进行加热。在上述加热中,首先,加热至1200℃(第一加热工序),然后,加热至1400℃(第二加热工序)。此时,对从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间进行各种变更。

[0020] 应予说明,为了进行比较,在加热至1200℃后立即(不隔开间隔地)加热至1400℃的条件下也进行了实验。在上述条件下,从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间为0秒。

[0021] 上述第一加热工序、第二加热工序均将炉内氧浓度控制为0.1%以下。在上述第二加热工序之后且在接下来的热轧之前,将上述取向性电磁钢板用钢坯的表面以冷却速度:15℃/s水冷约5秒,使钢坯的表面温度降低约75℃。

[0022] 然后,对上述水冷后的钢坯实施由粗轧和精轧构成的热轧,制成板厚2.4mm的热轧钢板。接着,进行酸洗而除去上述热轧钢板表面的氧化皮。

[0023] 接着,对上述酸洗后的热轧钢板实施第一次冷轧而制成板厚0.65mm,在1100℃下实施180秒的中间退火,然后,实施第二次的冷轧而制成板厚0.27mm的冷轧钢板。然后,实施840℃×100秒、50%H₂+50%N₂、露点54℃下的脱碳退火。

[0024] 接着,在上述脱碳退火后的钢板表面涂布含有MgO作为主成分的退火分离剂,实施在1200℃下H₂气氛下保持20小时的最终退火。接着,通过水洗除去残留于钢板表面的未反应的退火分离剂后,涂布包含磷酸盐作为主成分的涂布液,实施涂层烧结和兼具钢板的平坦化的平坦化退火。上述平坦化退火的条件设定为温度:800℃、退火时间:100秒。

[0025] 接下来,利用涡流式传感器测定了存在于所得到的取向性电磁钢板的表面的划痕等表面缺陷的数量。对取向性电磁钢板的两面、全长全宽度实施上述测定,求出该取向性电磁钢板的每100m长度的表面缺陷的数量。

[0026] 图1中示出板坯加热时的从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间与表面缺陷的数量的关系。由图1所示的结果可知,在上述时间为20秒以上的情况下,表面缺陷的数量显著减少。

[0027] <实验2>

[0028] 对以质量%计包含C:0.073%、Si:2.89%、Mn:0.09%以及Se:0.022%的取向性电磁钢板用钢坯进行加热。在上述加热中,首先,加热至1250℃(第一加热工序),然后,加热至1415℃(第二加热工序)。此时,从上述第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间为120秒,第一加热工序的炉内氧浓度为0.2%,对上述第二加热工序的炉内氧浓度进行各种变更。

[0029] 在上述第二加热工序之后且在接下来的热轧之前,将上述取向性电磁钢板用钢坯的表面以冷却速度:5℃/s水冷约7秒,使钢坯的表面温度降低约35℃。

[0030] 然后,对上述水冷后的钢坯实施由粗轧和精轧构成的热轧,制成板厚2.4mm的热轧

钢板。对所得到的热轧钢板在1000℃下实施15秒的热轧板退火,接着,进行酸洗而除去上述热轧钢板表面的氧化皮。

[0031] 接着,对上述酸洗后的热轧钢板实施第一次冷轧而制成板厚0.50mm,在1100℃下实施100秒的中间退火,然后,实施第二次冷轧而制成板厚0.23mm的冷轧钢板。然后,实施840℃×100秒、55%H₂+45%N₂、露点62℃下的脱碳退火。

[0032] 接着,在上述脱碳退火后的钢板表面涂布含有MgO作为主成分的退火分离剂,实施以1250℃在H₂气氛下保持5小时的最终退火。接着,通过水洗除去残留于钢板表面的未反应的退火分离剂后,涂布包含磷酸盐作为主成分的涂布液,实施兼具涂层烧结和钢板的平坦化。上述平坦化退火的条件在温度:860℃、退火时间:20秒。

[0033] 利用与上述实验1同样的方法测定所得到的取向性电磁钢板的表面存在的划痕等表面缺陷的数量,求出取向性电磁钢板的每100m长度的表面缺陷的数量。

[0034] 图2中示出第二加热工序中的气氛中的氧浓度与表面缺陷的数量的关系。由图2所示的结果可知,在上述氧浓度为1.0%以下的情况下,表面缺陷的数量显著地减少。

[0035] <实验3>

[0036] 对以质量%计包含C:0.073%、Si:2.89%、Mn:0.09%、Al:0.019%、N:0.006%以及Se:0.018%的取向性电磁钢板用钢坯进行加热。上述加热中,首先加热至1150℃(第一加热工序),然后加热至1420℃(第二加热工序)。此时,从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间设为300秒。

[0037] 上述第一加热工序、第二加热工序的炉内氧浓度均为0.05%。上述第二加热工序之后且在接下来的热轧之前,将上述取向性电磁钢板用钢坯的表面以各种冷却速度水冷约3秒。

[0038] 然后,对上述水冷后的钢坯实施由粗轧和精轧构成的热轧,制成板厚2.2mm的热轧钢板。对所得到的热轧钢板在1100℃下实施120秒的热轧板退火,接着,进行酸洗而除去上述热轧钢板表面的氧化皮。

[0039] 接着,对上述酸洗后的热轧钢板实施第一次冷轧而制成板厚1.8mm,在1100℃下实施120秒的中间退火,然后,实施第二次冷轧而制成板厚0.23mm的冷轧钢板。然后,实施840℃×180秒、55%H₂+45%N₂、露点60℃下的脱碳退火。

[0040] 接着,在上述脱碳退火后的钢板表面涂布含有MgO作为主成分的退火分离剂,实施在1200℃下在H₂气氛下保持25小时的最终退火。接着,通过水洗除去残留于钢板表面的未反应的退火分离剂后,涂布包含磷酸盐作为主成分的涂布液,实施兼具涂层烧结和钢板的平坦化的平坦化退火。上述平坦化退火的条件设为温度:850℃,退火时间:120秒。

[0041] 利用与上述实验1、2同样的方法测定得到的取向性电磁钢板的表面存在的划痕等表面缺陷的数量,求出取向性电磁钢板的每100m长度的表面缺陷的数量。

[0042] 另外,通过依据JIS C2550—1(2011)的方法测定得到的取向性电磁钢板的磁通密度B_g(以磁化力800A/m励磁时的磁通密度)。

[0043] 图3中示出在第二加热工序后且在热轧之前进行的水冷中的冷却速度与表面缺陷的数量和B_g的关系。由图3所示的结果可知,如果上述冷却速度为3.0℃/s以上,则可得到良好的磁特性和表面状态。

[0044] 由上述实验结果可知,通过将钢坯的加热分为第一加热工序和第二加热工序来实

施,此时控制从上述第一加热工序结束至第二加热工序开始的时间和上述第二加热工序中的气氛中的氧浓度,能够有效地减少表面缺陷的数量。此外可知通过上述第二加热工序之后且在上述热轧之前,以冷却速度:3.0℃/s以上对上述取向性电磁钢板用钢坯的表面进行水冷,磁特性也良好。尽管这些原因尚不明确,但本发明人等认为如下。

[0045] 取向性电磁钢板中的表面缺陷主要由热轧工序引起。例如在利用一般的方法对钢坯进行加热的情况下,不可避免地会在钢坯表层与中心层之间产生温度差。其结果,在热轧时,因钢坯内部的温度差所引起的应力而产生裂纹。然而,通过将钢坯的加热分为第一加热工序和第二加热工序来实施,从上述第一加热工序结束起空出一定程度的时间再开始第二加热工序,从而降低钢坯内部的温度差,其结果是能够抑制钢坯内部的温度差引起的裂纹。

[0046] 另外,表面缺陷也因钢坯表面的氧化皮侵蚀至晶界而产生。但是,通过降低第二加热工序中的气氛中的氧浓度,能够降低氧化皮量,抑制氧化皮对晶界的侵蚀。

[0047] 并且,通过在第二加热工序之后且在热轧之前对钢坯的表面进行水冷,板坯表面的氧化皮被除去,其结果是能够减少表面缺陷。另外,通过进行水冷,板坯表层的粒径保持微细,与不进行冷却的情况相比,晶界相对增加。认为晶界因热轧等加工而容易蓄积应变,应变的积蓄在之后的退火中促进再结晶,因此使二次再结晶前的再结晶织构改善,磁性提高。但是,在冷却速度慢的情况下,冷却水的量少,排出速度也慢,因此无法充分地除去氧化皮,表面缺陷增加。另外,认为在冷却速度慢的情况下,产生板坯表层的组织粗大化,在热轧后产生应变少的带上组织,抑制再结晶,使再结晶织构劣化。在该情况下,二次再结晶时的Goss取向选择性降低,其结果是认为磁通密度降低。

[0048] 本发明基于上述情况而完成,其主旨构成如下。

[0049] 1.一种取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,包括如下的工序:

[0050] 对取向性电磁钢板用钢坯进行加热,

[0051] 对经加热的上述取向性电磁钢板用钢坯进行热轧而制成热轧钢板,

[0052] 对上述热轧钢板实施1次或者隔着中间退火的2次以上的冷轧而制成冷轧钢板,

[0053] 对上述冷轧钢板实施脱碳退火,

[0054] 在上述脱碳退火后的上述冷轧钢板的表面涂布退火分离剂,

[0055] 对涂布有上述退火分离剂的上述冷轧钢板实施最终退火,

[0056] 上述取向性电磁钢板用钢坯的加热包括:

[0057] 第一加热工序:将上述取向性电磁钢板用钢坯加热到小于1300℃的温度,

[0058] 第二加热工序:加热到1300℃以上的温度;

[0059] 将从上述第一加热工序结束到上述第二加热工序开始的时间设为20秒以上,

[0060] 将上述第二加热工序中的气氛中的氧浓度设为1.0体积%以下,

[0061] 在上述第二加热工序后且在上述热轧之前,对上述取向性电磁钢板用钢坯的表面以冷却速度:3.0℃/s以上进行水冷。

[0062] 2.根据上述1所述的取向性电磁钢板的制造方法,其中,以上述第一加热工序中的上述取向性电磁钢板用钢坯的下表面在上述第二加热工序中不成为下表面的方式配置上述取向性电磁钢板用钢坯。

[0063] 发明效果

[0064] 根据本发明,可以减少取向性电磁钢板的表面缺陷的数量。

附图说明

[0065] 图1是表示从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间与表面缺陷的数量的关系的图。

[0066] 图2是表示第二加热工序中的气氛中的氧浓度与表面缺陷的数量的关系的图。

[0067] 图3是表示在第二加热工序之后、热轧之前进行的冷却中的冷却速度与表面缺陷的数量和 B_0 的关系的图。

具体实施方式

[0068] 以下,对本发明的实施方式的例子具体地进行说明。应予说明,以下的说明例示性地示出本发明的实施方式,本发明并不受以下的实施方式限定。

[0069] [取向性电磁钢板用钢坯]

[0070] 在本发明中,使用取向性电磁钢板用钢坯(以下,有时简称为钢坯)作为起始材料。作为上述钢坯,没有特别限定,可以使用具有任意的成分组成的钢坯。

[0071] 上述钢坯优选含有以下的成分。应予说明,在以下的成分组成的说明中,只要没有特别说明,则“%”表示“质量%”,“ppm”表示“质量ppm”。

[0072] C:0.01%~0.10%

[0073] C含量高于0.10%时,即使实施脱碳退火,也难以将钢中C量降低至不引起磁时效的0.0035%以下。因此,C含量优选设定为0.10%以下,更优选设定为0.06%以下。另一方面,C含量不满足0.01%时,C带来的晶界强化效果丧失,导致在钢坯中产生裂纹等缺陷,有可能妨碍操作。因此,C含量优选设定为0.01%以上,更优选设定为0.03%以上。

[0074] Si:2.0%~5.0%

[0075] Si是对提高钢的电阻率、改善铁损有效的元素。Si含量低于2.0%时该效果不足。因此,Si含量优选为2.0%以上,更优选设定为3.0%以上。另一方面,如果超过Si含量5.0%,则钢的加工性劣化,轧制变得困难。因此,Si含量优选设定为5.0%以下,更优选设定为3.6%以下。

[0076] Mn:0.01%~0.50%

[0077] Mn是对改善热加工性有效的元素。Mn含量低于0.01%时,其效果不足。因此,Mn含量优选设定为0.01%以上,更优选设定为0.03%以上。另一方面,如果Mn含量超过0.50%,则取向性电磁钢板的磁通密度降低。因此,Mn含量优选为0.50%以下,更优选设定为0.15%以下。

[0078] 另外,在利用MnS和MnSe中的一方或者两方作为抑制剂的情况下,上述钢坯的成分组成还可以包含合计0.005%~0.10%的S和Se中的一方或者两方。

[0079] 另外,在利用AlN作为抑制剂的情况下,上述钢坯的成分组成还可以进一步包含Al:0.01%~0.04%和N:0.003%~0.012%。

[0080] 另一方面,在不使用抑制剂的情况下,极力降低Al、N、S、Se的含量,通过纹理抑制效果能够使Goss取向二次再结晶。因此,优选将钢坯的成分组成中的Al、N、S、Se的含量降低至以下的范围。

[0081] Al:0.010%以下

[0082] N:0.0060%以下

[0083] S和Se:合计0.010%以下

[0084] 从纹理抑制效果观点考虑,这些元素的含量越低越优选。因此,这些元素的含量的下限可以为0%。

[0085] Al、N、S、Se的含量更优选设为以下的范围。

[0086] Al:0% ~ 0.008%

[0087] N:0% ~ 0.0050%

[0088] S和Se:合计0%以上且小于0.005%

[0089] 本发明的一个实施方式中,可以使用具有如下成分组成的钢坯,上述成分组成包含C:0.01~0.10%、Si:2.0~5.0%、Mn:0.01~0.50%、Al:0~0.04%、N:0~0.010%以及S以及Se:合计0~0.10%,剩余部分为Fe及不可避免的杂质。

[0090] 上述成分组成可以进一步任意地含有选自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:0~25ppm、Nb:0~0.020%、V:0~0.010%、Zr:0~0.10%、Co:0~0.050%、Pb:0~0.0100%、As:0~0.0200%、Zn:0~0.020%、W:0~0.0100%、Ge:0~0.0050%以及Ga:0~0.0050%中的1种或者2种以上。通过添加这些元素,能够进一步提高磁特性。然而,如果含量超过上限值,则二次再晶粒的发达受到抑制,因此磁特性反而会劣化。

[0091] 上述的元素由于是可任意地添加的元素,含量的下限设定为0%。但是,从提高添加效果的观点考虑,优选将上述元素的含量分别独立地设为下述的下限值以上。

[0092] Ni:0.01%、Cr:0.01%、Cu:0.01%、P:0.005%、Sb:0.005%、Sn:0.005%、Bi:0.005%、Mo:0.005%、B:2ppm、Nb:0.001%、V:0.001%、Zr:0.001%、Co:0.002%、Pb:0.0001%、As:0.0010%、Zn:0.001%、W:0.0010%、Ge:0.0001%以及Ga:0.0001%

[0093] 钢坯的制造方法也没有特别限定,可以通过任意的制造方法制造。例如可以使用调整为规定的成分组成的钢水,通过铸锭法或者连续铸造法来制造钢坯。另外,也可以使用直接铸造法制造厚度为100mm以下的薄铸片,将其用作钢坯。

[0094] [加热]

[0095] 首先,对上述取向性电磁钢板用钢坯进行加热。在本发明中,重要的是上述取向性电磁钢板用钢坯的加热包括将上述取向性电磁钢板用钢坯加热至低于1300℃的温度的第一加热工序和加热至1300℃以上的温度的第二加热工序,将从上述第一加热工序结束至第二加热工序开始的时间设为20秒以上。从上述第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间小于20秒时,则无法充分地减少表面缺陷的数量。

[0096] 另一方面,上述第一加热工序中的加热温度的下限没有特别限定,从使组织均匀化的观点出发,优选设定为1100℃以上。另外,对于上述第二加热工序中的加热温度的上限,也没有特别限定,但若超过熔点,则板坯开始熔化,因此优选设定为1460℃以下。从上述第一加热工序结束至第二加热工序开始的时间的上限没有特别限定,从抑制温度下降而降低第二加热工序的负荷的观点考虑,优选设为1200秒以下。

[0097] 此外,在本发明中,重要的是将上述第二加热工序中的气氛中的氧浓度设定为1.0%以下。若上述氧浓度高于1.0%,则无法充分减少表面缺陷的数量。另一方面,从减少氧化皮量的观点出发,上述氧浓度越低越好,因此该氧浓度的下限没有特别限定,可以为0%。

[0098] 应予说明,第一加热工序中的气氛中的氧浓度没有特别限定,但从进一步抑制表面缺陷的产生的观点出发,第一加热工序中的气氛中的氧浓度也优选设定为1.0%以下。另一方面,从减少氧化皮量的观点出发,上述氧浓度越低越好,因此该氧浓度的下限没有特别限定,可以为0%。

[0099] 在上述钢坯的加热中,优选以上述第一加热工序中的上述取向性电磁钢板用钢坯的下表面在上述第二加热工序中不成为下表面的方式配置上述取向性电磁钢板用钢坯。通常,在进行加热的期间,钢坯被输送滑道等支承部件从下表面侧支承。因此,在支承部件接触的钢坯的下表面容易产生表面缺陷。因此,通过如上述那样在第一加热工序和第二加热工序中改变钢坯的朝向,能够进一步减少表面缺陷。认为这是由于,通过改变钢坯的朝向,能够抑制该钢坯的同一面与支撑部件长间接触而导致缺陷粗大化。典型的是,以上述第一加热工序中的上述取向性电磁钢板用钢坯的下表面在上述第二加热工序中成为上表面或者侧面的方式配置上述取向性电磁钢板用钢坯即可。

[0100] 在上述第二加热工序之后且在上述热轧之前,以冷却速度:3.0℃/s以上对上述取向性电磁钢板用钢坯的表面进行水冷。若上述冷却速度小于3.0℃/s,则无法充分地减少表面缺陷的数量,另外,无法得到优异的磁特性。另一方面,从减少表面缺陷和提高磁特性的观点考虑,上述冷却速度越高越好,因此该冷却速度的上限没有特别限定。然而,若过度提高冷却速度,则需要过大的冷却装置。因此,从设备成本的观点出发,冷却速度设定为300℃/s以下。另外,水冷时间没有特别限定,从提高水冷的效果的观点考虑,优选设定为0.5秒以上。另外,超过15.0秒的水冷有可能使板坯表面的温度过度冷却而产生裂纹,因此优选设定为15.0秒以下。上述水冷中的钢坯表面温度的降低幅度没有特别限定,从降低后续热轧中的负荷的观点出发,优选设定为200℃以下,更优选为150℃以下,进一步优选设定为100℃以下。

[0101] [热轧]

[0102] 接下来,对上述钢坯进行热轧而制成热轧钢板。热轧的条件没有特别限定,可以在任意的条件下进行。从控制热轧钢板的组织的观点出发,优选在上述热轧中,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。

[0103] 上述热轧后,可以将得到的热轧钢板卷绕成卷形状。进行卷绕时,从控制碳化物的组织和防止裂纹等缺陷这两观点出发,优选将卷绕温度设为400℃~750℃。上述卷绕温度进一步优选为500℃~700℃。

[0104] 另外,优选对得到的热轧钢板实施热轧板退火。通过进行热轧板退火,能够使钢板的组织均匀化,减少最终得到的取向性电磁钢板的磁特性的偏差。在进行热轧板退火的情况下,从组织均匀化的观点出发,优选将退火温度设定为800℃~1250℃,更优选设定为900℃~1150℃。同样地,在上述热轧板退火中,从组织均匀化的观点出发,优选在加热到上述加热温度后,在该温度保持。在进行上述保持的情况下,优选将保持时间设为5秒以上,更优选设定为10秒~180秒。保持上述温度后,只要冷却钢板即可。从控制第二相和析出物的形态的观点出发,优选将从800℃到350℃的温度区域的冷却速度设定为5℃/s~100℃/s,更优选设定为15℃/s~45℃/s。

[0105] 接着,为了除去热轧时在钢板表面生成的氧化皮,优选对上述热轧钢板进行除氧化皮。除氧化皮的方法没有特别限定,可以采用任意的方法。例如可以采用使用经加热的酸

的方法、机械地除去氧化皮的方法等。

[0106] [冷轧]

[0107] 接着,对上述热轧钢板实施1次或者隔着中间退火的2次以上的冷轧而制成冷轧钢板。上述冷轧的条件没有特别限定,可以在任意的条件下进行。

[0108] 在上述冷轧中,为了降低轧制载荷和优化轧制形状,因此优选使用轧制油等润滑剂。另外,从在二次再结晶前得到良好的再结晶组织的观点出发,优选将上述冷轧中最后进行的冷轧(以下称为最终冷轧)中的总压下率设定为50%~92%。

[0109] 在进行中间退火的情况下,在该中间退火中,从组织控制的观点考虑,优选在800℃~1250℃的温度区域内保持5秒以上。上述保持后的冷却中,从控制第二相、析出物的形态的观点考虑,优选将从800℃至350℃的冷却速度设为5℃/s~100℃/s,更优选设为15℃/s~45℃/s。

[0110] 另外,轧制后的钢板上有时附着轧制油。因此,在进行中间退火的情况下,优选在该中间退火之前进行脱脂,除去轧制油。另外,在中间退火后,为了除去在钢板表面生成的氧化皮,优选进行除氧化皮。除氧化皮的方法没有特别限定,可以采用任意的的方法。例如可以采用使用经加热的酸的方法、机械性地除去氧化皮等。

[0111] 优选对得到的冷轧钢板在下次脱碳退火之前实施脱脂和酸洗中的一者或者两者,将表面净化。

[0112] [脱碳退火]

[0113] 接着,对上述冷轧钢板实施脱碳退火。上述脱碳退火的条件没有特别限定,可以在任意的条件下进行。在上述脱碳退火中,优选在750℃~950℃的温度区域内保持10秒以上,更优选在800℃~900℃的温度区域内保持10秒以上。上述脱碳退火优选包含在包含H₂和N₂的湿润气氛中进行。上述湿润气氛的露点在脱碳退火的一部分或全部的范围内设定为20℃~80℃,更优选设定为40℃~70℃。

[0114] [退火分离剂的涂覆]

[0115] 然后,在上述脱碳退火后的冷轧钢板的表面涂布退火分离剂。作为上述退火分离剂,没有特别限定,可以使用任意的退火分离剂。上述退火分离剂例如优选为含有MgO的退火分离剂,更优选为含有MgO作为主成分的退火分离剂。上述退火分离剂中的MgO的含量优选为60质量%以上。

[0116] 上述退火分离剂的涂布没有特别限定,一般来说优选在冷轧钢板的两面进行。上述退火分离剂的涂布量没有特别限定,优选设定为每单面2.5g/m²以上。另外,上述涂布量的上限也没有特别限定,优选每单面为15.0g/m²以下。

[0117] 上述退火分离剂的涂布可以以湿式进行,也可以以干式进行。在以湿式涂布的情况下,例如可以涂布含有MgO的浆料。以干式进行涂布的情况下,例如可以通过静电涂装进行涂布。在浆料涂布时,为了抑制粘度上升,优选将浆料温度设为5℃~30℃的恒定的温度。另外,为了使浆料浓度均匀化,优选在混合用槽中制备浆料后,从与上述混合用槽不同的槽将浆料供于涂布。

[0118] [最终退火]

[0119] 然后,通过对涂布有上述退火分离剂的冷轧钢板实施最终退火,使二次再晶粒发达,并且形成镁橄榄石被膜。上述最终退火没有特别限定,可以在任意的条件下进行。

[0120] 最终退火典型的是在将涂布有退火分离剂的冷轧钢板卷绕成卷状的状态下实施。通常最终退火需要很长时间,因此优选将卷材在竖立状态下进行退火。在此,竖立状态是指卷材的中心轴成为垂直方向的状态。另外,为了防止卷材在退火中散开,优选预先在卷材的周围缠绕带子等。

[0121] 从完成二次再结晶的观点出发,上述最终退火中的退火温度优选设定为800℃以上。应予说明,从充分地进行镁橄榄石被膜的形成的观点出发,优选将退火温度设为1050℃以上。另一方面,上述最终退火中的退火温度的上限也没有特别限定,从防止卷材的压曲的观点出发,优选设定为1300℃以下。

[0122] 另外,上述最终退火可以兼作用于从钢中除去抑制剂形成元素等的纯化退火。为了除去抑制剂形成元素而降低铁损,优选在1050℃~1300℃的退火温度下保持3小时以上。另外,此时,优选在800℃以上的温度范围内的一部分或全部导入包含 H_2 的气氛。

[0123] 在最终退火后,优选除去残留于钢板表面的退火分离剂。退火分离剂的除去例如可以通过水洗、刷洗、酸洗等方法来进行。

[0124] 从进一步降低铁损的观点出发,优选对最终退火后的取向性电磁钢板进一步实施平坦化退火。

[0125] 另外,取向性电磁钢板大多层叠地使用,因此为了确保绝缘性,优选在取向性电磁钢板的表面形成绝缘涂层。作为上述绝缘涂层,只要是具有绝缘性的涂层,则可以使用任意的涂层。从进一步降低铁损的观点考虑,上述绝缘涂层优选为能够对钢板施加张力的张力涂层。

[0126] 形成绝缘涂层的方法没有特别限定,可以通过任意的的方法形成。一般来说,可以通过在取向性电磁钢板的表面涂布涂布液并进行烧结来形成绝缘涂层。也可以在平坦化退火前涂布涂布液,通过平坦化退火进行烘烤。从提高绝缘涂层的密合性和进一步降低铁损的观点出发,可以隔着粘合剂设置绝缘涂层。另外,从同样的观点出发,也可以通过物理蒸镀法、化学蒸镀法使无机物蒸镀于钢板表层而形成绝缘涂层。

[0127] 实施例

[0128] (实施例1)

[0129] 对以质量%计包含C:0.055%、Si:3.08%、Mn:0.05%和Se:0.025%的取向性电磁钢板用钢坯进行加热。在上述加热中,首先,加热至1270℃(第一加热工序),然后,加热至1430℃(第二加热工序)。此时,将从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间如表1所示那样进行各种变更。另外,上述第一加热工序中的气氛中的氧浓度设为0.04%,第二加热工序中的气氛中的氧浓度如表1所示那样进行各种变更。

[0130] 在上述第二加热工序后且在接下来的热轧之前,将上述取向性电磁钢板用钢坯的表面水冷3秒。上述水冷如表1所示以各种冷却速度实施。

[0131] 然后,对上述水冷后的钢坯实施由粗轧和精轧的热轧而制成板厚2.0mm的热轧钢板。接着,进行酸洗而除去上述热轧钢板表面的氧化皮。

[0132] 接着,对上述酸洗后的热轧钢板实施第一次的冷轧而制成板厚0.48mm,在1020℃下实施180秒的中间退火,然后,实施第二次的冷轧而制成板厚0.23mm的冷轧钢板。

[0133] 然后,对上述冷轧钢板实施840℃×120秒、45% H_2 +55% N_2 、露点50℃下的脱碳退火。

[0134] 接着,在上述脱碳退火后的钢板表面涂布含有MgO作为主成分的退火分离剂,实施在1200℃下在H₂气氛下保持10小时的最终退火。接着,通过水洗除去残留于钢板表面的未反应的退火分离剂后,涂布以磷酸盐为主体的涂布液,实施兼具涂层烧结和钢板的平坦化的平坦化退火。上述平坦化退火的条件设为退火温度:870℃,退火时间:20秒。

[0135] 利用涡电流式传感器测定得到的取向性电磁钢板的表面存在的划痕等表面缺陷的数量。上述测定对取向性电磁钢板的全长全宽度实施,求出该取向性电磁钢板的每100m长度的表面缺陷的数量。将测定结果一并标记于表1。

[0136] 另外,通过依据JIS C2550—1(2011)的方法,测定得到的取向性电磁钢板的磁通密度B_g(以磁化力800A/m励磁时的磁通密度)。将测定结果一并记于表1。

[0137] 由表1所示的结果可知,根据本发明的方法,可得到磁特性优异且表面缺陷少的取向性电磁钢板。

[0138] [表1]

[0139] 表1

[0140]

No.	从第一加热工序结束 到第二加热工序 开始的时间	第二加热工序 中的氧浓度	冷却速度	磁通密度 B_8	表面缺陷 的数量	备注
	秒	体积%	$^{\circ}\text{C}/\text{s}$	T	个/100m	
1	<u>10</u>	0.02	<u>1.5</u>	1.910	5.6	比较例
2	<u>10</u>	0.02	10	1.944	2.4	比较例
3	<u>10</u>	0.02	30	1.946	2.5	比较例
4	<u>10</u>	0.1	<u>1.5</u>	1.908	6.2	比较例
5	<u>10</u>	0.1	10	1.946	5.5	比较例
6	<u>10</u>	0.1	30	1.945	4.4	比较例
7	<u>10</u>	0.6	<u>1.5</u>	1.912	5.3	比较例
8	<u>10</u>	0.6	10	1.938	6.6	比较例
9	<u>10</u>	0.6	30	1.941	3.1	比较例
10	<u>10</u>	<u>1.5</u>	<u>1.5</u>	1.902	13.2	比较例
11	<u>10</u>	<u>1.5</u>	10	1.940	12.5	比较例
12	<u>10</u>	<u>1.5</u>	30	1.936	10.9	比较例
13	50	0.02	<u>1.5</u>	1.899	6.2	比较例
14	50	0.02	10	1.947	0.2	发明例
15	50	0.02	30	1.940	0.2	发明例
16	50	0.1	<u>1.5</u>	1.903	7.1	比较例
17	50	0.1	10	1.947	0.3	发明例
18	50	0.1	30	1.949	0.3	发明例
19	50	0.6	<u>1.5</u>	1.904	6.4	比较例
20	50	0.6	10	1.947	0.6	发明例
21	50	0.6	30	1.947	0.7	发明例
22	50	<u>1.5</u>	<u>1.5</u>	1.915	11.1	比较例
23	50	<u>1.5</u>	10	1.945	10.9	比较例
24	50	<u>1.5</u>	30	1.941	10	比较例
25	360	0.02	<u>1.5</u>	1.897	4.7	比较例
26	360	0.02	10	1.942	0.2	发明例
27	360	0.02	30	1.944	0.3	发明例
28	360	0.1	<u>1.5</u>	1.906	2.2	比较例
29	360	0.1	10	1.946	0.2	发明例
30	360	0.1	30	1.942	0.2	发明例
31	360	0.6	<u>1.5</u>	1.905	3.4	比较例
32	360	0.6	10	1.942	0.5	发明例
33	360	0.6	30	1.950	0.6	发明例
34	360	<u>1.5</u>	<u>1.5</u>	1.912	9.8	比较例
35	360	<u>1.5</u>	10	1.948	9.5	比较例
36	360	<u>1.5</u>	30	1.945	10.2	比较例

[0141] (实施例2)

[0142] 对以质量%计包含C:0.027%、Si:3.25%、Mn:0.10%、Se:0.009%、S:0.005%、Al:0.025%以及N:0.009%的取向性电磁钢板用钢坯进行加热。上述加热中,首先,加热至1200 $^{\circ}\text{C}$ (第一加热工序),然后,加热至1400 $^{\circ}\text{C}$ (第二加热工序)。此时,将从第一加热工序结束到第二加热工序开始的时间如表2所示那样进行各种变更。另外,上述第一加热工序中的气氛中的氧浓度设为0.04%,第二加热工序中的气氛中的氧浓度设为0.03%。

[0143] 在实施例No.37~41中,在第一加热工序和第二加热工序中,钢坯的方向没有改变。即,以第一加热工序中的钢坯的下表面在上述第二加热工序中也作为下表面的方式配置该钢坯。另一方面,实施例No.42~46中,在第一加热工序和第二加热工序中,改变钢坯的方向。具体而言,以第一加热工序中的钢坯的下表面在上述第二加热工序中成为侧面的方式配置该钢坯。

[0144] 在上述第二加热工序后且在接下来的热轧之前,将上述取向性电磁钢板用钢坯的表面以冷却速度:100℃/s水冷1.5秒。

[0145] 然后,对上述水冷后的钢坯实施由粗轧和粗轧构成的热轧,制成板厚3.0mm的热轧钢板。接着,进行酸洗而除去上述热轧钢板表面的氧化皮后,在975℃下实施10秒的热轧板退火。

[0146] 接着,对上述酸洗后的热轧钢板实施第一次冷轧而制成板厚1.6mm,在1150℃下实施20秒的中间退火,然后,实施第二次冷轧而制成板厚0.23mm的冷轧钢板。然后,实施840℃×9秒、50%H₂+50%N₂、露点50℃下的脱碳退火。

[0147] 接着,在上述脱碳退火后的钢板表面涂布含有MgO作为主成分的退火分离剂,实施在1200℃下在H₂气氛下保持10小时的最终退火。接着,通过水洗除去残留于钢板表面的未反应的退火分离剂后,涂布以磷酸盐为主体的涂布液,在870℃下实施20秒的兼具涂层烧结和钢板的平坦化的平坦化退火。

[0148] 通过与实施例1同样的方法测定得到的取向性电磁钢板的表面缺陷的数量和磁通密度B₈。将测定结果一并记于表2。

[0149] 由表2所示的结果可知,根据本发明的方法,可得到磁特性优异且表面缺陷少的取向性电磁钢板。特别是可知通过以第一加热工序中的取向性电磁钢板用钢坯的下表面在第二加热工序中不成为下表面的方式配置取向性电磁钢板用钢坯,能够进一步减少表面缺陷的数量。

[0150] [表2]

[0151] 表2

[0152]

No.	加热工序中的 板坯配置	从第一加热工序结束 到第二加热工序开始 的时间	磁通密度 B ₈	表面缺陷 的数量	备注
		秒	T	个/100m	
37	第一加热工序: 下表面 ↓ 第二加热工序: 下表面	<u>10</u>	1.938	4.8	比较例
38		25	1.950	0.6	发明例
39		75	1.947	0.4	发明例
40		200	1.946	0.4	发明例
41		500	1.949	0.2	发明例
42	第一加热工序: 下表面 ↓ 第二加热工序: 侧面	<u>10</u>	1.935	3.2	比较例
43		25	1.941	0.5	发明例
44		75	1.947	0.3	发明例
45		200	1.947	0.2	发明例
46		500	1.945	0.1	发明例

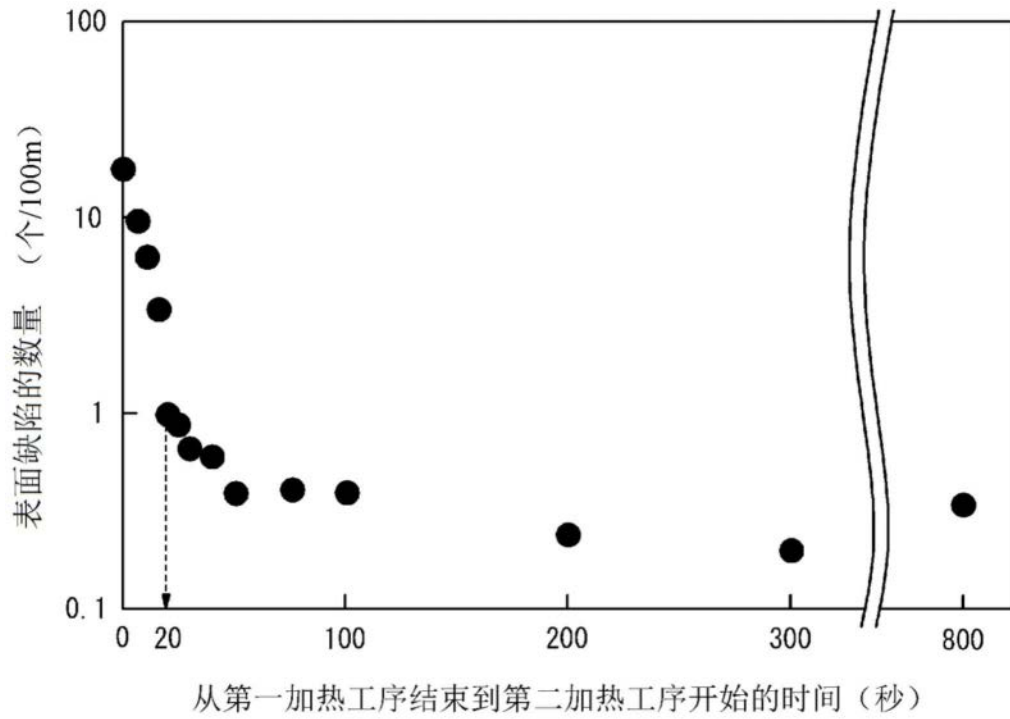


图1

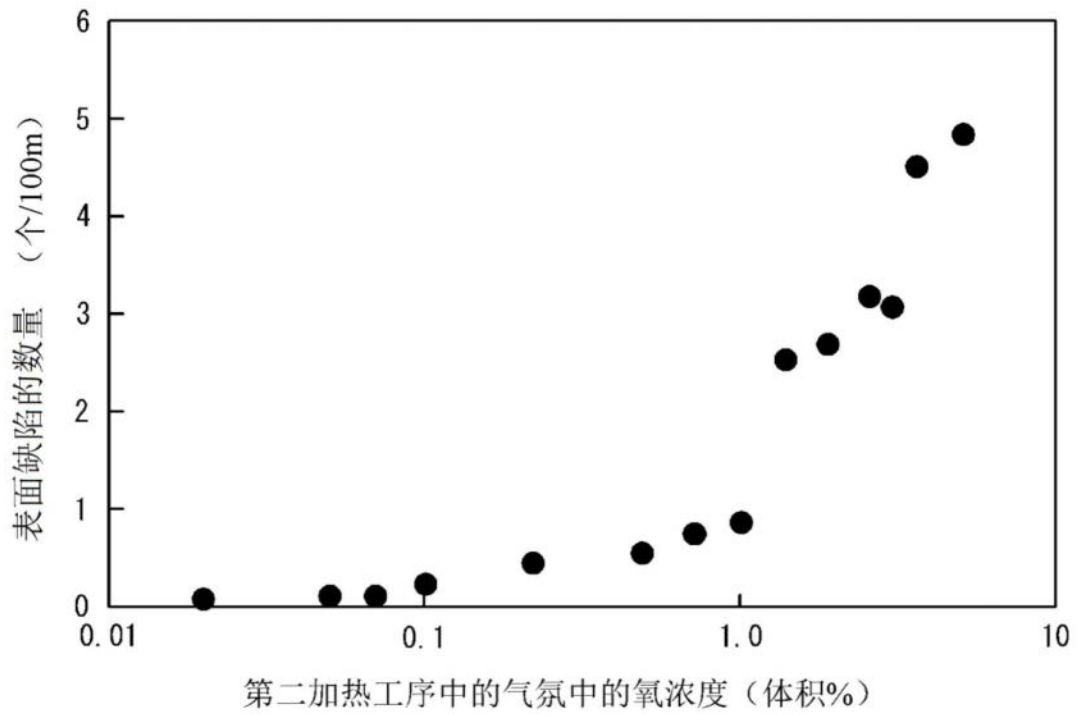


图2

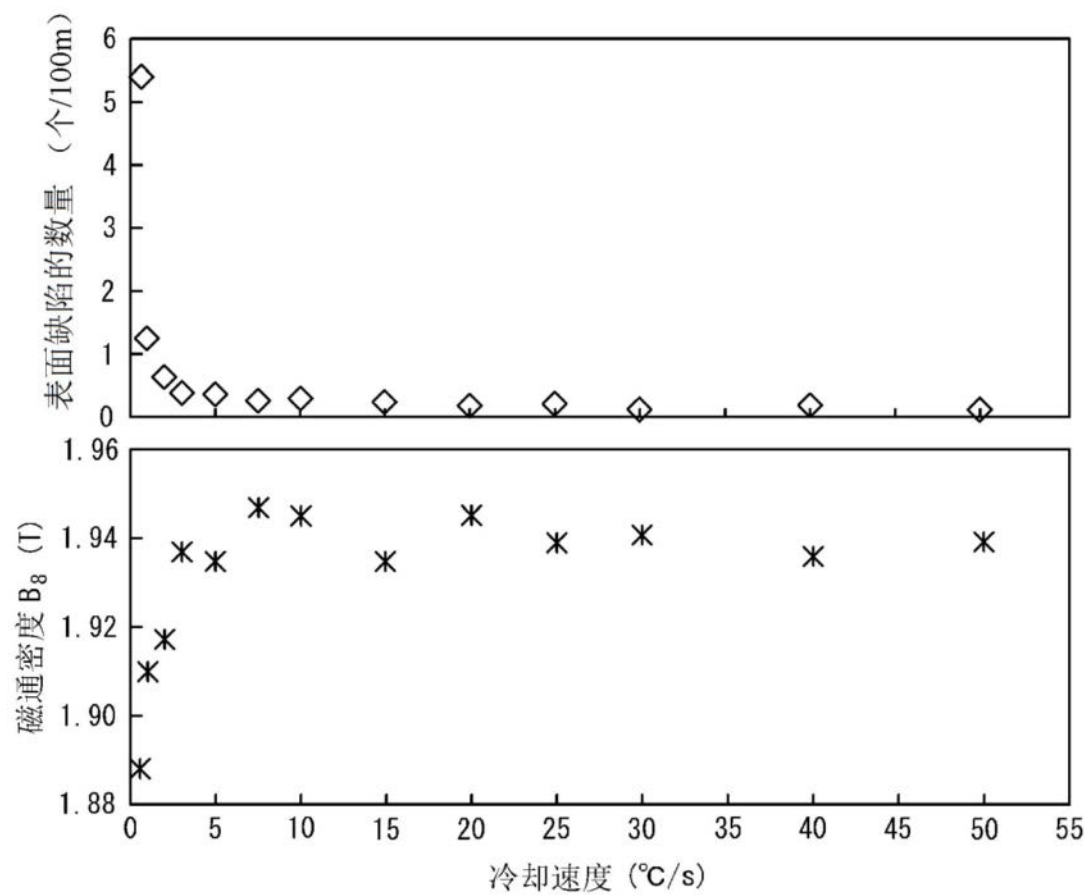


图3