(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119451771 A
(43)申请公布日 2025.02.14

(21)申请号 202380050432.0
(22)申请日 2023.04.13
(30)优先权数据
2022-132846 2022.08.23 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.12.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/015081 2023.04.13
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/042773 JA 2024.02.29
(71)申请人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本
(72)发明人 松下宗生 岩田匠平 富田海
(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 郭忠健
(51)Int.Cl.
B23K 20/12(2006.01)
B21B 15/00(2006.01)
C22C 38/00(2006.01)
C22C 38/60(2006.01)

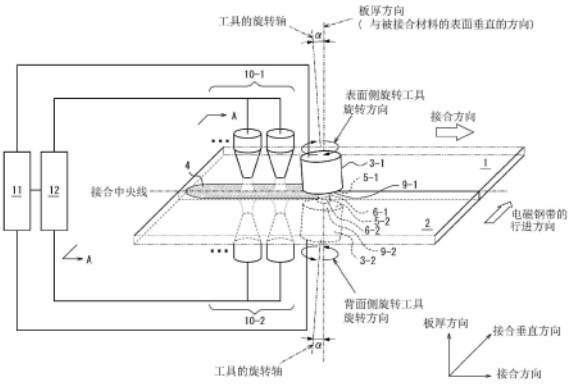
权利要求书2页 说明书28页 附图7页

(54)发明名称

电磁钢带的摩擦搅拌接合方法、电磁钢带的制造方法、摩擦搅拌接合装置以及电磁钢带的制造装置

(57)摘要

本发明提供一种电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,能够在高施工效率下,抑制因卷材接合部的机械特性的劣化、形状的劣化而引起的生产线上的卷材接合部的断裂产生。根据通过接合而形成的接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织、且同时满足式(1)~(4)的关系的条件,进行后冷却式双面摩擦搅拌接合。



CN 119451771 A

1.一种电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其通过相互对置的一对旋转工具将作为被接合材料的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合,

所述电磁钢带的摩擦搅拌接合方法的特征在于,具备:

接合工序,在该工序中,使所述旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于所述被接合材料的未接合部,使所述旋转工具在接合方向上移动,由此将所述第一电磁钢带与所述第二电磁钢带接合,而形成接合部;和

冷却工序,在该工序中,通过在所述被接合材料的至少一个面中配置于所述旋转工具的接合方向的后方的冷却装置对所述接合部进行冷却,

所述被接合材料的未接合部是所述第一电磁钢带的端部与继所述第一电磁钢带之后的所述第二电磁钢带的端部的对接部或重叠部,

使所述旋转工具与所述冷却装置联动地在接合方向上移动,由此连续地进行所述接合工序和所述冷却工序,

在所述接合工序中,在通过所述第一电磁钢带与所述第二电磁钢带的接合而形成的所述接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且满足下式(1)~(4)的关系的条件下进行接合,

$Dsz \leqslant 100\mu m \cdots (1)$

$Dhaz1 \leqslant Dbm1 \cdots (2)$

$Dhaz2 \leqslant Dbm2 \cdots (3)$

$0.9 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \leqslant Hsz \leqslant 1.2 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \cdots (4)$ 这里,

Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值,

Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值,

Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值,

Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值,

Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值,

Hsz是接合部的硬度的平均值,

Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

其中,所述Dsz、Dhaz1、Dhaz2、Dbm1、Dbm2的单位是μm。

2.根据权利要求1所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,在满足下式(5)及(6)的关系的条件下进行接合,

$0.8 \times TbmL \leqslant TszL \cdots (5)$

$TszH \leqslant 1.3 \times TbmH \cdots (6)$

这里,

TszL是接合部的厚度的最小值,

TszH是接合部的厚度的最大值,

TbmL是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较薄的一方的电磁钢带的板厚,

TbmH是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较厚的一方的电磁钢带的板厚,

其中,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的板厚相同的情况下,成为TbmL=TbmH,

其中,所述TszL、TszH、TbmL、TbmH的单位是mm。

3.根据权利要求1或2所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述冷却工序中,在满足下式(7)～(9)的关系的条件下进行冷却,

$CR_{W=0} \geqq 15 \cdots (7)$

$CR_{W=0.2D} \geqq 15 \cdots (8)$

$CR_{W=0.5D} \geqq 15 \cdots (9)$

这里,$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$分别是W＝0、0.2×D及0.5×D的位置处的接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度,另外,W是从被接合材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离,D是旋转工具的肩部的直径,

其中,所述$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$的单位是℃/s,所述W、D的单位是mm。

4.根据权利要求3所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

所述冷却装置是惰性气体的喷射装置、液体的喷射装置或者将它们组合而成的装置。

5.一种电磁钢带的制造方法,其特征在于,具备:

通过权利要求3所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合而得到接合钢带的工序;和

对该接合钢带实施冷轧而得到冷轧钢带的工序。

6.一种摩擦搅拌接合装置,其使用于权利要求3所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,

所述摩擦搅拌接合装置的特征在于,具备:

把持装置,所述把持装置把持被接合材料;

相互对置的一对旋转工具;

所述旋转工具的驱动装置;

冷却装置,所述冷却装置在所述被接合材料的至少一个面中配置于所述旋转工具的接合方向的后方;以及

所述把持装置、所述旋转工具的驱动装置及所述冷却装置的动作控制装置。

7.根据权利要求6所述的摩擦搅拌接合装置,其特征在于,

具备冷却速度测定装置,所述冷却速度测定装置在由所述被接合材料形成的接合部的两面测定$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$,

这里,$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$分别是W＝0、0.2×D及0.5×D的位置处的接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度,另外,W是从被接合材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离,D是旋转工具的肩部的直径,

其中,所述$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$的单位是℃/s,所述W、D的单位是mm。

8.根据权利要求7所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合装置,其特征在于,

所述冷却装置是惰性气体的喷射装置、液体的喷射装置或者将它们组合而成的装置。

9.一种电磁钢带的制造装置,其特征在于,

具备权利要求7所述的摩擦搅拌接合装置。

10.一种电磁钢带的制造装置,其特征在于,

在连续冷轧线上,权利要求7所述的摩擦搅拌接合装置配置于冷轧装置的上游侧、或者酸洗装置及冷轧装置的上游侧。

电磁钢带的摩擦搅拌接合方法、电磁钢带的制造方法、摩擦搅拌接合装置以及电磁钢带的制造装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电磁钢带的摩擦搅拌接合方法、电磁钢带的制造方法、擦搅拌接合装置以及电磁钢带的制造装置。

背景技术

[0002] 在钢板的生产线、例如酸洗、冷轧、退火及镀覆等的生产线上,为了提高生产率、提高合格率,通常在实施了所谓的卷材接合之后,使钢带通行。这里,卷材接合是指在生产线上将先行的钢带(以下,也称为先行钢带)的端部(后端)与继先行钢带之后的钢带(以下,也称为后行钢带)的端部(前端)接合。以下,将通过卷材接合而形成的接合部也称为卷材接合部。此外,前端是生产线上的钢带的行进方向侧的端部。另外,后端是生产线上的钢带的行进方向相反侧的端部。通过进行该卷材接合,能够遍及钢带的全长在赋予了张力的状态下进行轧制等。另外,即使在钢带的前端、后端,也能够高精度地控制板厚、形状。

[0003] 在卷材接合中,以往,通常应用闪光对焊等。但是,伴随着激光焊接机的进步,例如,即便在电磁钢板、不锈钢钢板、高张力钢板的生产线上,对卷材接合应用激光焊接也逐渐成为主流。

[0004] 作为这样的技术,例如,在专利文献1中公开了:

[0005] “一种高Si钢的激光焊接方法,其特征在于,在对高Si钢进行焊接时,使用以Ni为主要成分的填充焊丝,或者供给以Ni为主要成分的粉末填料并以焊接金属的化学组成满足下述(1)式的方式进行焊接。

[0006] $X=[\%Ni]-[\%Si]\times 2.5-([\%Cr]+[\%Mo])\times 0.4\geq 0$ • • (1)

[0007] 其中,[%Ni]、[%Si]、[%Cr]及[%Mo]分别表示焊接金属中的Ni、Si、Cr及Mo的含量(重量%)。”。

[0008] 在专利文献2中公开了:

[0009] “一种激光焊接方法,其特征在于,在将先行板与后行板对接并使用填充焊丝进行激光焊接的方法中,焊接初期的上述先行板和后行板的对接间隙(Gap)与焊接金属的平均宽度(DEPO)之比(Gap/DEPO)为0.3～0.8。”。

[0010] 在专利文献3中公开了:

[0011] “一种薄板的焊接部,其特征在于,在对在连续冷轧线上被输送的由特殊钢构成的先行薄板与后行薄板进行激光焊接而形成的焊接部中,

[0012] 若将存在于上侧延伸突出部的下侧的上述母材的最小厚度设为L1,将被下侧延伸突出部与上述上侧延伸突出部夹持的上述母材的最小厚度设为L2,则L1及L2的至少任一个大于零,其中,上述上侧延伸突出部由通过冷轧而向母材的上表面侧延伸突出的焊接金属构成,上述下侧延伸突出部由通过冷轧而向上述母材的下表面侧延伸突出的焊接金属构成。”。

[0013] 专利文献1:日本特开平5-305466号公报

[0014] 专利文献2:日本特开2004-25284号公报

[0015] 专利文献3:日本特开2011-140026号公报

[0016] 专利文献4:日本特表平07-505090号公报

[0017] 专利文献5:日本专利第3261433号

[0018] 专利文献6:日本专利第4838385号

[0019] 专利文献7:日本专利第4838388号

[0020] 专利文献8:日本特再表2019-26864号公报

[0021] 专利文献9:日本特再表2019-54400号公报

[0022] 专利文献10:日本专利第6332561号

[0023] 专利文献11:日本专利第6332562号

[0024] 专利文献12:日本专利第6497451号

[0025] 专利文献13:日本特开2020-124739号公报

[0026] 非专利文献1:Cui,L.;Fujii,H.;Tsuji,N.;Nogi,K.Scripta Mater.2007,56,p.637-640.

[0027] 但是,由于激光焊接是熔融焊接,因此产生因熔融及凝固时的杂质的偏析而引起的脆化、因氢侵入而引起的脆化。其结果是,存在导致接合部(焊接部)的机械特性的劣化的情况。特别是,由于电磁钢板的成分组成中大量地含有Si,因此卷材接合部的机械特性的劣化易变得显著。因此,若如专利文献1~3那样作为电磁钢带的卷材接合而应用激光焊接,则存在如下问题:在生产线、例如连续冷轧线上,因在卷材接合部产生断裂,生产线停止等而导致生产率的下降。

发明内容

[0028] 本发明是鉴于上述现状而开发的,其目的在于提供一种电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,能够在高施工效率下,极其有效地抑制因卷材接合部的机械特性的劣化、形状的劣化而引起的生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0029] 另外,本发明的目的在于提供一种使用了上述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法的电磁钢带的制造方法。

[0030] 并且,本发明的目的在于提供一种能够适合用于上述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法的擦搅拌接合装置。

[0031] 此外,本发明的目的在于提供一种具有上述的摩擦搅拌接合装置的电磁钢板的制造装置。

[0032] 于是,发明人们为了实现上述的目的,反复进行了深入研究。首先,发明人们在作为电磁钢带的卷材接合而应用激光焊接的情况下,对产生卷材接合部的机械特性的劣化、形状的劣化的理由进行了调查·研究后,得出以下的见解。

[0033] (a)如上述那样,在电磁钢板的成分组成中,含有大量的例如具体为2.0~5.0质量%左右的Si。Si是铁素体稳定化元素。因此,若在电磁钢带的卷材接合中应用通常的激光焊接,则作为熔融部的卷材接合部的铁素体结晶粒、进而热影响部的铁素体结晶粒粗大化。由此,卷材接合部的机械特性、特别是韧性、弯曲强度大幅劣化,导致生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0034] (b)另外,在上述的专利文献1～3的技术中,使用以作为奥氏体稳定化元素的Ni为主要成分的填充材料(填料)。因此,在卷材接合部中,主要得到奥氏体相。但是,在上述的专利文献1～3的技术中,需要消除先行钢带与后行钢带的对接间隙的变动,来极其严格地管理熔融部(焊接金属)中的填充材料的融合量和钢板的融合量,始终适当地控制熔融部(焊接金属)中的Ni当量与Cr当量的平衡。即,若熔融部(焊接金属)中的Ni当量与Cr当量的平衡没有被适当地控制,则在卷材接合部形成作为硬且脆的组织的马氏体相。由此,卷材接合部的机械特性、特别是韧性大幅劣化。另外,在热影响部中,由于铁素体结晶粒的粗大化,从而卷材接合部的机械特性大幅劣化。根据这些理由,导致生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0035] (c)另外,上述的先行钢带与后行钢带的对接间隙的变动对焊接部的堆高高度产生影响。例如,在焊接部的堆高高度变高而焊接部成为过度的凸形状的情况下,若对焊接部施加负荷,则应力集中于焊接止端部。因此,即使在这点,上述的先行钢带与后行钢带的对接间隙的变动也成为生产线上的卷材接合部的断裂产生的原因。此外,焊接部的堆高能够通过研削等去除。但是,这样的工序的增加导致生产率的大幅下降。

[0036] 鉴于上述的点,发明人们进一步反复进行了各种研究,结果,发明人们想到了作为电磁钢带的卷材接合而应用摩擦搅拌接合。

[0037] 这里,摩擦搅拌接合是指利用了旋转工具与被接合材料的摩擦热以及被接合材料的塑性流动的固相接合。即,通过旋转工具对被接合材料的未接合部(接合预定区域)进行摩擦搅拌。若被接合材料的未接合部通过摩擦热而被加热,则塑性流动开始。然后,塑性流动区域与母材部的界面大幅伸长。由此,没有氧化物的清洁的界面彼此接触,被接合材料不会熔融而形成接合部。这里,接合部是受到基于旋转工具与被接合材料的摩擦热和塑性流动的热加工而成为再结晶组织的区域,也存在被称为搅拌部的情况。另外,在与接合部邻接的区域形成有成为虽然受到基于摩擦热和塑性流动进行的热加工的影响,但温度、加工不充分而达不到再结晶的组织的区域。将该区域称为热加工影响部。另外,在被接合材料中也存在没有受到基于摩擦热和塑性流动进行的热加工的影响的区域。将该区域称为母材部。此外,与摩擦搅拌接合相关的技术例如在专利文献4～13及非专利文献1中被公开,但它们均没有应用于电磁钢带的卷材接合。

[0038] 因此,发明人们基于上述的想法,进一步反复进行了各种研究,结果得出以下见解。

[0039] (d)为了有利地解决上述(a)～(c)的问题,以下的点尤为重要。

[0040] •作为接合方式应用所谓的双面摩擦搅拌接合。

[0041] •在接合工序中,选择通过接合而形成的接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且该接合部及热加工影响部的钢组织被微细化,接合部与母材部的硬度差被降低的条件来进行接合。具体而言,选择同时满足下式(1)～(4)的关系的条件来进行接合。

[0042] •在上述的接合工序之后,利用冷却装置对接合部进行冷却。

[0043] 由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性提高,从而能够极其有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。另外,能够抑制缺陷产生,并且使接合速度高速化,因此施工效率优异,在生产率这点上也极其有利。此外,以下,将接合工序之后利用冷却装置对接合部进行冷却的

双面摩擦搅拌接合也称为后冷却式双面摩擦搅拌接合。

[0044] $Dsz \leq 100\mu m \cdots$ (1)

[0045] $Dhaz1 \leq Dbm1 \cdots$ (2)

[0046] $Dhaz2 \leq Dbm2 \cdots$ (3)

[0047] $0.9 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \cdots$ (4)

[0048] 这里,

[0049] Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0050] Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0051] Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0052] Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0053] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0054] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0055] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0056] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0057] (e)另外,优选选择同时满足上述式(1)~(4)的关系,进一步满足下式(5)及(6)的关系的条件来进行接合。由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性提高,能够更有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0058] $0.8 \times TbmL \leq TszL \cdots$ (5)

[0059] $TszH \leq 1.3 \times TbmH \cdots$ (6)

[0060] 这里,

[0061] TszL是接合部的厚度的最小值(mm),

[0062] TszH是接合部的厚度的最大值(mm),

[0063] TbmL是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较薄的一方的电磁钢带的板厚(mm),

[0064] TbmH是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较厚的一方的电磁钢带的板厚(mm)。

[0065] 其中,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的板厚相同的情况下,成为$TbmL = TbmH$。

[0066] 本发明是基于上述的见解进一步加以研究而完成的。

[0067] 即,本发明的主旨结构如下。

[0068] 1.一种电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其通过相互对置的一对旋转工具将作为被接合材料的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合,其中,具备:

[0069] 接合工序,在该工序中,使上述旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于上述被接合材料的未接合部,使上述旋转工具在接合方向上移动,由此将上述第一电磁钢带与上述第二电磁钢带接合,而形成接合部;和

[0070] 冷却工序,在该工序中,通过在上述被接合材料的至少一个面中配置于上述旋转工具的接合方向的后方的冷却装置对上述接合部进行冷却,

[0071] 上述被接合材料的未接合部是上述第一电磁钢带的端部与继上述第一电磁钢带之后的上述第二电磁钢带的端部的对接部或重叠部,

[0072] 使上述旋转工具与上述冷却装置联动地在接合方向上移动,由此连续地进行上述接合工序和上述冷却工序,

[0073] 在上述接合工序中,在通过上述第一电磁钢带与上述第二电磁钢带的接合而形成的上述接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且满足下式(1)~(4)的关系的条件下进行接合。

[0074] $Dsz \leqslant 100\mu m \cdots (1)$

[0075] $Dhaz1 \leqslant Dbm1 \cdots (2)$

[0076] $Dhaz2 \leqslant Dbm2 \cdots (3)$

[0077] $0.9 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \leqslant Hsz \leqslant 1.2 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \cdots (4)$

[0078] 这里,

[0079] Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0080] Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0081] Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0082] Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0083] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0084] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0085] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0086] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0087] 2.根据上述1所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0088] 在上述接合工序中,在满足下式(5)及(6)的关系的条件下进行接合。

[0089] $0.8 \times TbmL \leqslant TszL \cdots (5)$

[0090] $TszH \leqslant 1.3 \times TbmH \cdots (6)$

[0091] 这里,

[0092] TszL是接合部的厚度的最小值(mm),

[0093] TszH是接合部的厚度的最大值(mm),

[0094] TbmL是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较薄的一方的电磁钢带的板厚(mm),

[0095] TbmH是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较厚的一方的电磁钢带的板厚(mm)。

[0096] 其中,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的板厚相同的情况下,成为TbmL=TbmH。

[0097] 3.根据上述1或2所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0098] 在上述冷却工序中,在满足下式(7)~(9)的关系的条件下进行冷却。

[0099] $CR_{W=0} \geqslant 15 \cdots (7)$

[0100] $CR_{W=0.2D} \geqslant 15 \cdots (8)$

[0101] $CR_{W=0.5D} \geqslant 15 \cdots (9)$

[0102] 这里,$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$分别是W=0、0.2×D及0.5×D的位置处的接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度(℃/s)。另外,W是从被接合材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离(mm)。D是旋转工具的肩部的直径(mm)。

[0103] 4.根据上述1~3中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0104] 上述冷却装置是惰性气体的喷射装置、液体的喷射装置或者将它们组合而成的装置。

[0105] 5.一种电磁钢带的制造方法,其中,具备:

[0106] 通过上述1~4中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法将第一电磁钢带

与第二电磁钢带接合而得到接合钢带的工序;和

[0107] 对该接合钢带实施冷轧而得到冷轧钢带的工序。

[0108] 6.一种摩擦搅拌接合装置,其使用于上述1～4中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,具备:

[0109] 把持装置,上述把持装置把持被接合材料;

[0110] 相互对置的一对旋转工具;

[0111] 上述旋转工具的驱动装置;

[0112] 冷却装置,上述冷却装置在上述被接合材料的至少一个面中配置于上述旋转工具的接合方向的后方;以及

[0113] 上述把持装置、上述旋转工具的驱动装置及上述冷却装置的动作控制装置。

[0114] 7.根据上述6所记载的摩擦搅拌接合装置,其中,

[0115] 具备冷却速度测定装置,上述冷却速度测定装置在由上述被接合材料形成的接合部的两面测定$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$。

[0116] 这里,$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$分别是W＝0、0.2×D及0.5×D的位置处的接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度(℃/s)。另外,W是从被接合材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离(mm)。D是旋转工具的肩部的直径(mm)。

[0117] 8.根据上述6或7所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合装置,其中,

[0118] 上述冷却装置是惰性气体的喷射装置、液体的喷射装置或者将它们组合而成的装置。

[0119] 9.一种电磁钢带的制造装置,其中,

[0120] 具备上述6～8中任一项所记载的摩擦搅拌接合装置。

[0121] 10.一种电磁钢带的制造装置,其中,

[0122] 在连续冷轧线上,上述6～8中任一项所记载的摩擦搅拌接合装置配置于冷轧装置的上游侧、或者酸洗装置及冷轧装置的上游侧。

[0123] 根据本发明,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不产生卷材接合部的机械特性的劣化、形状的劣化,能够有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。特别是,能够防止接合时因高温下的塑性加工而产生的铁素体再结晶粒的粗大化,因此能够极其有效地抑制卷材接合部的断裂产生,从而是极其有利的。另外,伴随于此,能够抑制缺陷产生,并且使接合速度高速化,实现高施工效率。由此,能够实现电磁钢板的生产率的进一步提高,工业上的利用价值极大。

附图说明

[0124] 图1A是对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法进行说明的简图,且是表示通过后冷却式双面摩擦搅拌接合进行对接接合的一个例子的侧视立体图。

[0125] 图1B是图1A的A-A向视图。

[0126] 图1C是图1A的俯视图。

[0127] 图1D是图1A的接合中央线位置处的剖视图(图1C的A-A向视图)。

[0128] 图2A是表示在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中使

用的旋转工具的形状的一个例子的示意图。

[0129] 图2B是表示在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中使用的旋转工具的形状的一个例子的示意图。

[0130] 图3是通过根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法得到的电磁钢带的接合接头的示意图。

[0131] 图4是对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法进行说明的简图,且是表示通过后冷却式双面摩擦搅拌接合进行对接接合的一个例子的俯视图。

具体实施方式

[0132] 基于以下的实施方式对本发明进行说明。

[0133] [1]电磁钢带的摩擦搅拌接合方法

[0134] 首先,使用图1A～图1D对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法进行说明。图1A～图1D是对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法进行说明的简图,图1A是侧视立体图,图1B是图1A的A-A向视图,图1C是图1A的俯视图,图1D是图1A的接合中央线位置处的剖视图。

[0135] 在图中,附图标记1是第一电磁钢带(被接合材料),2是第二电磁钢带(被接合材料),3-1是旋转工具(表(正)面侧旋转工具),3-2是旋转工具(背面侧旋转工具),4是接合部,5-1及5-2是肩部(凸肩(shoulder)),6-1及6-2是探针(销),7是把持装置,9-1及9-2是前端部,10-1是冷却装置(表(正)面侧冷却装置),10-2是冷却装置(背面侧冷却装置),11是旋转工具的驱动装置,12是动作控制装置。此外,在图1A中,省略了把持装置的图示。另外,α是旋转工具的倾斜角度(°),a是探针部的直径(以下,也称为销径)(mm),b是探针部的长度(以下,也称为销长)(mm),D是旋转工具的肩部的直径(mm),g是探针间的间隙(mm),G是旋转工具的肩部间的间隙,H及I表示基于冷却装置的冷却(预定)区域。此外,从容易观察的观点出发,在图1C中,用虚线表示10-1的冷却装置(表面侧冷却装置)。另外,关于表(正)面(侧)的记载,为了与表面(surface)进行区分,在首次出现部位等标记为表(正)面。

[0136] 另外,在图1A～图1D中,

[0137] 通过接合方向(旋转工具的行进方向);

[0138] 接合垂直方向(垂直于接合方向且垂直于板厚方向的方向,在图1A～图1D中与接合部的宽度方向及电磁钢带的行进方向一致);以及

[0139] 板厚方向(与被接合材料的表面垂直的方向),示出了各部的配置等。

[0140] 例如,在图1B中,铅垂方向为板厚方向。水平方向为接合垂直方向。纸面里侧的方向为接合方向。即,在图1B所示的面内,包括接合垂直方向和板厚方向。另外,10-1及10-2的冷却装置位于比3-1及3-2的旋转工具靠纸面近前侧的位置。同样地,在图1C中用虚线表示的10-1的冷却装置位于比冷却区域H及I靠纸面近前侧的位置。

[0141] 此外,这里所说的电磁钢带意味着成为电磁钢板的制造用材料的中间产品,特别是指从热轧结束后到用于一次再结晶的热处理(例如,脱碳退火或一次再结晶退火)前的阶段中的中间产品。此外,通过根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造方法而被制造的电磁钢带如后述那样,通过在将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合后进行冷轧而得到。以下,将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合后的状态的电磁钢带也称为接合钢带,将对该

接合钢带进行冷轧后的电磁钢带也称为冷轧钢带。

[0142] 而且,根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法如上述那样,作为电磁钢带的卷材接合而应用后冷却式双面摩擦搅拌接合。在此基础上,其特征在于,选择使接合部及热加工影响部的钢组织为铁素体相主体的组织,且将接合部及热加工影响部的钢组织微细化,降低接合部与母材部的硬度差的条件来进行接合。

[0143] 更具体而言,根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法是:

[0144] 在连续冷轧线上,通过相互对置的一对旋转工具将作为被接合材料的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,具备:

[0145] 接合工序,在该工序中,使上述旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于上述被接合材料的未接合部,使上述旋转工具在接合方向上移动,由此将上述第一电磁钢带与上述第二电磁钢带接合,而形成接合部;和

[0146] 冷却工序,在该工序中,通过在上述被接合材料的至少一个面中配置于上述旋转工具的接合方向的后方的冷却装置对上述接合部进行冷却,

[0147] 上述被接合材料的未接合部是上述第一电磁钢带的端部与继上述第一电磁钢带之后的上述第二电磁钢带的端部的对接部或重叠部,

[0148] 使上述旋转工具与上述冷却装置联动地在接合方向上移动,由此连续地进行上述接合工序和上述冷却工序,

[0149] 在上述接合工序中,在通过上述第一电磁钢带与上述第二电磁钢带的接合而形成的上述接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且满足上述式(1)~(4)的关系的条件下进行接合。

[0150] 这里,作为接头形式的优选例子,能够举出对接接合及搭接接合。

[0151] 对接接合是指在使第一电磁钢带与第二电磁钢带的端面彼此对置的状态下,一边使旋转工具旋转一边将旋转工具按压于包括第一电磁钢带和第二电磁钢带的端面(对接面)的对接部。然后,在该状态下,使旋转工具在接合方向上移动,由此将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合。

[0152] 搭接接合是指使第一电磁钢带和第二电磁钢带的端部的至少一部分重叠,一边使旋转工具旋转一边将旋转工具按压于重叠部。然后,在该状态下,使旋转工具在接合方向上移动,由此将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合。

[0153] 对接接合和搭接接合仅未接合部的形态不同,其他装置的结构基本上相同,这里,例示图1A~图1D那样的通过后冷却式双面摩擦搅拌接合进行对接接合的情况来进行说明。后冷却式双面摩擦搅拌接合方法是使用相互对置的一对旋转工具将作为被接合材料的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合而在被接合材料形成接合部后,通过配置于旋转工具的接合方向的后方的冷却装置对该接合部进行冷却的摩擦搅拌接合方法。通过该后冷却式双面摩擦搅拌接合方法,将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合。

[0154] 在这样的后冷却式双面摩擦搅拌接合中,例如,如图1A所示,使用摩擦搅拌接合装置,该摩擦搅拌接合装置具备:

[0155] 把持被接合材料的把持装置(未图示);

[0156] 相互对置的一对旋转工具;

[0157] 上述旋转工具的驱动装置;

[0158] 冷却装置,其在上述被接合材料的至少一个面(侧)配置于上述旋转工具的接合方向的后方;以及

[0159] 上述把持装置、上述旋转工具的驱动装置及上述冷却装置的动作控制装置。

[0160] 在动作控制装置中,例如,控制旋转工具的倾斜角度α、旋转工具的前端部的位置及前端部(探针)彼此之间的距离g(以下,也称为探针间的间隙g)、旋转工具的肩部间的间隙G、接合速度(及与旋转工具联动地移动的冷却装置向接合方向的移动速度)、压入载荷、旋转工具的转速、旋转扭矩以及冷却装置的输出等。

[0161] 在后冷却式双面摩擦搅拌接合中,将摩擦搅拌接合装置的旋转工具分别配置于作为被接合材料的第一电磁钢带及第二电磁钢带(以下,也简称为被接合材料)的两面。另外,将冷却装置在被接合材料的至少一个面中配置于旋转工具的接合方向的后方。此外,有时将配置于被接合材料的表面侧(铅垂方向上侧)的旋转工具称为表面侧旋转工具,将配置于被接合材料的背面侧(铅垂方向下侧)的旋转工具称为背面侧旋转工具。另外,有时将配置于被接合材料的表面侧(铅垂方向上侧)的冷却装置称为表面侧冷却装置,将配置于被接合材料的背面侧(铅垂方向下侧)的冷却装置称为背面侧冷却装置。第一电磁钢带及第二电磁钢带配置为与图中所示的接合中央线平行,并分别由把持装置把持。

[0162] 这里,接合中央线是将接合时的旋转工具的旋转轴的(在被接合材料的表面的)通过设定(目标)位置连结的线,与接合方向平行。此外。接合中央线也能够称为接合时的旋转工具的旋转轴的(在被接合材料的表面的)轨迹,通常,通过接合部的宽度方向的中心位置。在对接接合的情况下,该位置例如如图1所示,成为第一电磁钢带的端部(后端)与第二电磁钢带的端部(前端)的对接部的接合垂直方向的中心位置。换言之,该位置成为接合垂直方向上的第一电磁钢带的端部(后端)与第二电磁钢带的端部(前端)的中间点。另外,在搭接接合的情况下,该位置例如成为第一电磁钢带的端部(后端)与第二电磁钢带的端部(前端)的重叠部的宽度(接合垂直方向的宽度)的中心位置。

[0163] 然后,使旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于位于接合中央线上的被接合材料的未接合部(接合预定区域)、即第一电磁钢带的端部(后端)与第二电磁钢带的端部(前端)的对接部。然后,在该状态下,使旋转工具在接合方向上移动。此时,通过被接合材料与旋转工具的摩擦热使被接合材料软化。然后,用旋转工具对该软化了的部位进行搅拌,由此产生塑性流动,来将作为被接合材料的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合,得到接合部。接下来,通过在至少一个面在接合方向上配置于旋转工具的后方的冷却装置对接合部进行冷却。特别是,通过在接合后利用冷却装置对接合部进行冷却,能够防止接合时因高温下的塑性加工而产生的铁素体再结晶粒的粗大化。即,能够得到具有极其微细的铁素体组织的接合部,接头特性提高。其结果,能够极其有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生及缺陷产生。另外,能够使接合速度高速化,能够实现高施工效率。此外,在接合完成了的部分形成接合部。另外,与接合部邻接地形成热加工影响部。

[0164] 以下,对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法的接合工序及冷却工序详细地进行说明。

[0165] [接合工序]

[0166] 在接合工序中,使旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于被接合材料的未接合部。然后,在该状态下,使旋转工具在接合方向上移动,由此将作为被接合材料

的第一电磁钢带与第二电磁钢带接合,而形成接合部。

[0167] 而且,在该接合工序中,重要的是在通过接合而形成的接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且满足下式(1)~(4)的关系的条件下进行接合。由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性提高,能够有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0168] $Dsz \leqslant 100\mu m \cdots$ (1)

[0169] $Dhaz1 \leqslant Dbm1 \cdots$ (2)

[0170] $Dhaz2 \leqslant Dbm2 \cdots$ (3)

[0171] $0.9 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \leqslant Hsz \leqslant 1.2 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \cdots$ (4)

[0172] 这里,

[0173] Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0174] Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0175] Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0176] Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0177] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0178] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0179] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0180] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0181] 另外,在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中,优选在满足下式(5)及(6)的关系的条件下进行接合。

[0182] $0.8 \times TbmL \leqslant TszL \cdots$ (5)

[0183] $TszH \leqslant 1.3 \times TbmH \cdots$ (6)

[0184] 这里,

[0185] TszL是接合部的厚度的最小值(mm),

[0186] TszH是接合部的厚度的最大值(mm),

[0187] TbmL是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较薄的一方的电磁钢带的板厚(mm),

[0188] TbmH是第一电磁钢带与第二电磁钢带中的较厚的一方的电磁钢带的板厚(mm)。

[0189] 其中,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的板厚相同的情况下,成为$TbmL = TbmH$。

[0190] 此外,关于被接合材料(第一电磁钢带及第二电磁钢带)、接合部及热加工影响部、和上述式(1)~(6)等的说明如后述的[2]电磁钢带的接合接头中记载那样。

[0191] 此外,接合部及热加工影响部的钢组织也受到接合后进行的冷却的影响。因此,在考虑接合后进行的冷却的影响的同时,在接合部及热加工影响部的钢组织分别成为铁素体相主体的组织,且满足上述式(1)~(4)的关系的条件、优选进一步满足上述式(5)及(6)的关系的条件下进行接合。例如,优选满足以下的点。

[0192] • 由旋转工具的转速RS(圈/分钟)、旋转工具的肩部的直径D(mm)及接合速度JS(mm/分钟)表示的$RS \times D^3/JS$满足下式(10)及(11)的关系。

[0193] $4 \times TJ \leqslant D \leqslant 10 \times TJ \cdots$ (10)

[0194] $200 \times TJ \leqslant RS \times D^3/JS \leqslant 2000 \times TJ \cdots$ (11)

[0195] 这里,在未接合部为对接部的情况下,式(10)及(11)中的TJ是第一电磁钢带的板

厚及第二电磁钢带的板厚的平均值(mm),

[0196] 在未接合部为重叠部的情况下,式(10)及(11)中的TJ是重叠部的厚度(mm)(即,第一电磁钢带的板厚(mm)与第二电磁钢带的板厚(mm)的合计)。

[0197] 即,根据未接合部的厚度来适当地控制旋转工具的肩部的直径D(以下,也简称为肩径D)。由此,能够对被接合材料有效地赋予由在旋转工具与作为被接合材料的第一电磁钢带及第二电磁钢带之间产生的摩擦热引起的温度上升、和由摩擦力产生的剪切应力。这里,若肩径D不足4×TJ(mm),则存在无法得到充分的塑性流动,难以得到成为目标的机械特性的情况。另一方面,若肩径D超过10×TJ(mm),则产生塑性流动的区域不必要地扩展,对接合部投入过大的热量。由此,存在接合部的再结晶组织粗大化,难以得到成为目标的机械特性的情况。因此,肩径D优选满足上述式(10)的关系。

[0198] 另外,$RS\times D^3/JS$是与每单位接合长度的发热量相关的参数。而且,通过将$RS\times D^3/JS$的范围设为$200\times TJ\sim 2000\times TJ$,能够对被接合材料有效地赋予由在旋转工具与作为被接合材料的第一电磁钢带及第二电磁钢带之间产生的摩擦热引起的温度上升、和由摩擦力产生的剪切应力。这里,若$RS\times D^3/JS$不足$200\times TJ$,则存在发热量变得不充分的情况。因此,存在无法在第一电磁钢带与第二电磁钢带的接面形成冶金上被接合的状态的接合界面,难以得到成为目标的机械特性的情况。另一方面,若$RS\times D^3/JS$超过$2000\times TJ$,则摩擦搅拌产生的发热量变得过大,会对接合部投入过大的热量。由此,接合部的峰值温度(最高到达温度)上升,或者冷却速度降低,而导致接合部的再结晶组织粗大化。其结果是,存在难以得到成为目标的机械特性的情况。因此,$RS\times D^3/JS$优选满足上述式(11)的关系。$RS\times D^3/JS$更优选为$240\times TJ$以上。另外,$RS\times D^3/JS$更优选为$1200\times TJ$以下。

[0199] 此外,在表面侧旋转工具和背面侧旋转工具中,在旋转工具的转速RS和/或肩径D不同的情况下,优选使表面侧旋转工具及背面侧旋转工具分别满足上述式(10)及(11)的关系。

[0200] 另外,在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中,优选旋转工具的倾斜角度α满足下式(12)的关系。

[0201] $0^\circ<\alpha\leq 2^\circ\cdots$ (12)

[0202] 这里,α是包括接合方向和板厚方向(与被接合材料的表面垂直的方向)的面中的旋转工具的旋转轴(以下,也称为工具的旋转轴)相对于板厚方向(与被接合材料的表面垂直的方向)的倾斜角度。此外,将旋转工具的前端部相对于接合方向而先行的朝向(的角度)设为+。

[0203] 即,旋转工具由比被接合材料硬的材质形成。但是,在使用了陶瓷等缺乏韧性的材料的旋转工具中,若对探针施加弯曲方向的力,则存在应力局部集中,导致破坏的担忧。关于这一点,若使工具的旋转轴从板厚方向倾斜α(°),使探针的前端相对于接合方向先行,则能够将相对于旋转工具的负荷作为在旋转轴方向上被压缩的分力而由旋转工具承受。由此,能够减少弯曲方向的力,能够避免旋转工具的破坏。

[0204] 这里,若旋转工具的倾斜角度α超过0°,则能够得到上述的效果。但是,若旋转工具的倾斜角度α超过2°,则接合部的表背面容易成为凹形。由此,接合部的厚度的最小值相对于母材的厚度降低。其结果是,存在对接头强度产生不良影响,导致生产线上的卷材接合部的断裂产生的情况。因此,旋转工具的倾斜角度α优选在表面侧旋转工具和背面侧旋转工具

双方设为0°＜α≤2°的范围。

[0205] 另外,在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中,优选旋转工具的肩部间的间隙G(mm)满足下式(13)的关系。

[0206] $0.5\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha \leq G \leq 0.9\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha \cdots$ (13)

[0207] 即,在双面摩擦搅拌接合中,从抑制接合时的缺陷产生并且实现接合速度的高速化的观点出发,适当地控制图1D所示的旋转工具的肩部间的间隙G(以下,也简称为肩部间间隙G)是有利的。此外,肩部间间隙G也能够称为板厚方向上的表面侧旋转工具的肩部与背面侧旋转工具的肩部的分离距离。特别是,若肩部间间隙G处于$0.5\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha$～$0.9\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha$的范围内,则相互对置的旋转工具的肩部成为与被接合材料的表面侧及背面侧紧密接触或被压入于被接合材料的表面侧及背面侧的状态。其结果是,被接合材料被旋转工具的肩部从表面侧及背面侧以充分的载荷按压,在抑制接合时的缺陷产生并且实现接合速度的高速化的方面变得有利。因此,肩部间间隙G优选为$0.5\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha$～$0.9\times TJ-0.1\times D\times \sin\alpha$的范围。

[0208] 关于上述以外的条件,只要是满足上述式(1)～(4)的关系的条件,则没有特别地限定,只要按照常规方法即可。

[0209] 例如,旋转工具的转速优选为300～9000r/min(圈/分钟)。通过将旋转工具的转速设为该范围内,能够良好地保持表面形状,并且抑制因过大的热量的投入而引起的机械特性的降低,因此是有利的。旋转工具的转速更优选为400r/min以上。另外,旋转工具的转速更优选为8000r/min以下。

[0210] 接合速度优选为800～5000mm/min(mm/分钟)。接合速度更优选为1000mm/min以上4000mm/min以下。

[0211] 旋转工具的前端部的位置、压入载荷、旋转扭矩、探针间的间隙等只要按照常规方法适当地设定即可。

[0212] 此外,如图1A～1D所示,在后冷却式双面摩擦搅拌接合中,使表面侧旋转工具的旋转方向和背面侧旋转工具的旋转方向从被接合材料的表面侧(或背面侧)观察为相反方向。另外,优选表面侧旋转工具的转速和背面侧旋转工具的转速为相同。由此,能够抵消从表面侧旋转工具和背面侧旋转工具对被接合材料施加的旋转扭矩。其结果是,与从一个面按压未接合部来进行接合的单面摩擦搅拌接合法相比,能够简化约束被接合材料的夹具的构造。

[0213] 另外,若使表面侧旋转工具的旋转方向和背面侧旋转工具的旋转方向从被接合材料的表面侧(或背面侧)观察为相同方向,则一方的旋转工具相对于另一方的旋转工具的相对速度接近零。其结果是,被接合材料的塑性流动接近均质状态,塑性变形也变小。因此,也得不到因材料的塑性变形引起的发热,因此难以实现良好的接合状态。由此,从相对于被接合材料的板厚方向均质地得到足以实现良好的接合状态的温度上升和剪切应力的观点出发,使表面侧旋转工具的旋转方向和背面侧旋转工具的旋转方向从被接合材料的表面侧(或背面侧)观察为相反方向。

[0214] 另外,在根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中使用的旋转工具也没有特别地限定,只要按照常规方法即可。

[0215] 例如,旋转工具的前端部在接合时与作为被接合材料的第一电磁钢带及第二电磁

钢带接触。因此,旋转工具的前端部由在接合时暴露的高温状态下比第一电磁钢带及第二电磁钢带硬的材质形成。由此,在接合时旋转工具能够保持前端部的形状不变地对第一电磁钢带及第二电磁钢带施加变形。其结果是,能够持续实现高搅拌能力,能够进行适当的接合。此外,旋转工具的前端部、第一电磁钢带及第二电磁钢带的硬度只要通过高温维氏硬度试验方法进行测定并比较即可。此外,也可以仅将旋转工具的前端部由比第一电磁钢带及第二电磁钢带硬的材质形成。另外,还可以将旋转工具整体由比第一电磁钢带及第二电磁钢带硬的材质形成。

[0216] 作为在双面摩擦搅拌接合中使用的旋转工具的例子,图2A及图2B表示旋转工具的前端部具备肩部(图中的由肩径表示的范围)、和配置于该肩部并与该肩部共有旋转轴的探针(图中的由销径表示的范围)的情况的形状。

[0217] 在图2A所示的旋转工具的例子中,旋转工具的形状是肩径D:13mm、销径:4mm、销长:0.6mm、凹面深度(未图示):0.3mm。

[0218] 在图2B所示的旋转工具的例子中,旋转工具的形状是肩径D:21mm、销径:6.7mm、销长:0.9mm、凹面深度(未图示):0.3mm。

[0219] 肩部呈由大致平面或平缓的曲面形成的平坦的形状。肩部具有在接合时一边旋转一边与第一电磁钢带及第二电磁钢带接触并产生摩擦热的功能。另外,肩部具有通过按压因热而软化的部位来防止材料的离散,促进向旋转方向的塑性流动的功能。

[0220] 探针成为与肩部不连续的形状,呈朝向被接合材料(未图示)大致垂直地突出的形状。探针具有在接合时在第一电磁钢带及第二电磁钢带的软化部向板厚中心方向侵入,由此使板厚中心部附近的搅拌能力提高的功能。另外,探针通常位于肩部的中心。

[0221] 如上述那样,肩径D(mm)优选满足上述式(10)及(11)的关系。另外,旋转工具的销径及销长等没有特别地限定,只要按照常规方法适当地设定即可。例如,当在第一电磁钢带和第二电磁钢带的板厚不同的情况下进行对接接合时,只要考虑第一电磁钢带和第二电磁钢带的板厚的平均值,设定按照常规方法的旋转工具的销径及销长等即可。另外,在将第一电磁钢带与第二电磁钢带进行搭接接合时,只要考虑第一电磁钢带和第二电磁钢带的板厚的合计值,设定按照常规方法的旋转工具的销径及销长等即可。

[0222] 作为旋转工具,除了使用由肩部和探针构成上述的旋转工具的前端部的旋转工具(以下,也简称为有探针的旋转工具)以外,还能够使用仅由肩部构成旋转工具的前端部的无探针的旋转工具(以下,也简称为无探针的旋转工具)。作为无探针的旋转工具,例如,能够举出使旋转工具的前端面(与被接合材料的接触面)为平面、凸型的曲面或者凹型的曲面的无探针的旋转工具。此外,在无探针的旋转工具的情况下,肩径D也能够称为前端径。前端径是与旋转轴垂直的面上的旋转工具的前端面的直径(将旋转工具的前端面向与旋转轴平行的方向投影时的投影区域的直径)。

[0223] [冷却工序]

[0224] 在冷却工序中,将冷却装置在被接合材料的至少一个面(侧)配置于旋转工具的接合行进方向的后方,通过冷却装置对在接合工序中形成的被接合材料的接合部进行冷却。此外,通过使冷却装置与旋转工具联动地在接合方向上移动,能够连续地进行上述的接合工序和冷却工序。另外,通过在接合后利用冷却装置对接合部进行冷却,能够防止接合时因高温下的塑性加工而产生的铁素体再结晶粒的粗大化。即,能够得到具有极其微细的铁素

体组织的接合部,接头特性提高。其结果是,能够极其有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生及缺陷产生。另外,能够使接合速度高速化,能够实现高施工效率。

[0225] 接下来,使用图1C,以将冷却装置配置于被接合材料的两面的情况(以下,也称为双面配置)为例,对优选的冷却速度等进行说明。这里,冷却速度是接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度。另外,接合结束温度是接合结束时刻、即旋转工具的通过时刻的接合部的表面的温度。即,各部的冷却速度能够通过下式进行计算。

[0226] [冷却速度(℃/s)]=([接合结束温度(℃)]-450℃)÷[从接合结束时刻到接合部的表面的温度达到450℃为止的时间(s)]… (16)

[0227] 而且,优选冷却速度在形成于被接合材料的接合部的两面满足以下的要件。此外,在将冷却装置仅配置于被接合材料的任一个面、例如表(正)面侧的情况下(以下,也称为单面配置),只要冷却速度在形成于被接合材料的接合部的两面满足以下的要件,则也能够得到同样的效果。因此,省略对单面配置的例子的说明。

[0228] $CR_{W=0}\geq 15$… (7)

[0229] $CR_{W=0.2D}\geq 15$… (8)

[0230] $CR_{W=0.5D}\geq 15$… (9)

[0231] 在后冷却式双面摩擦搅拌接合中,重要的是通过在接合后利用冷却装置对接合部进行冷却来防止接合时因高温下的塑性加工而产生的铁素体再结晶粒的粗大化。为此,适当地控制图1C所示的冷却区域I(被接合材料的表面中的$0\leq W\leq 0.1\times D$的区域)以及冷却区域H(被接合材料的表面中的$0.1\times D<W\leq 0.5\times D$)的冷却速度、特别是作为这些冷却区域的代表位置的W=0、$0.2\times D$及$0.5\times D$的位置处的冷却速度是有效的。从这样的观点出发,优选将冷却速度控制为满足上述式(7)~(9)的关系。

[0232] 这里,W是从被接合材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离(mm),$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$分别是W=0、$0.2\times D$及$0.5\times D$的位置处的接合部的表面的从接合结束温度到450℃为止的冷却速度(℃/s)。另外,D是旋转工具的肩部的直径(mm)。此外,冷却区域是被冷却装置冷却的接合部的表面区域。

[0233] $0.80\leq CR_{W=0.2D}/CR_{W=0}\leq 1.20$… (14)

[0234] $0.80\leq CR_{W=0.5D}/CR_{W=0}\leq 1.20$… (15)

[0235] 另外,在冷却工序中,更优选在使被接合材料的冷却速度满足上述式(7)~(9)的关系的基础上,进一步满足上述式(14)及(15)的关系。即,为了得到通过在接合后利用冷却装置对接合部进行冷却来防止铁素体再结晶粒的粗大化的效果,提高接合部的冷却速度是有效的。然而,若因接合部的表面的位置而冷却速度存在偏差,则防止铁素体再结晶粒的粗大化的效果也产生偏差。其结果是,存在接合部的铁素体粒径也产生偏差的情况。接合部的铁素体粒径的偏差导致接合部的机械特性的偏差,因此希望接合部的铁素体粒径是均匀的。为此,在接合中央线附近的冷却区域I以及远离接合中央线的冷却区域H中,均匀地控制冷却速度是有效的。特别是,针对作为冷却区域I及冷却区域H的代表位置的W=0、$0.2\times D$及$0.5\times D$的位置处的冷却速度,将$CR_{W=0.2D}$相对于$CR_{W=0}$之比亦即$CR_{W=0.2D}/CR_{W=0}$设为0.80~1.20的范围,且将$CR_{W=0.5D}$相对于$CR_{W=0}$之比亦即$CR_{W=0.5D}/CR_{W=0}$控制为0.80~1.20是有效的。因此,在冷却工序中,更优选使冷却速度满足上述式(14)及(15)的关系。

[0236] 另外,在冷却工序中使用的冷却装置没有特别地限定,例如能够举出惰性气体的

喷射装置、液体的喷射装置。

[0237] 在惰性气体的喷射装置中，作为惰性气体，例如能够使用氩气、氦气、二氧化碳(CO_2)、氮气(N_2)等。惰性气体的喷射量只要根据接合部的冷却区域的大小、各个气体的热传导率及压力进行各种调整即可。另外，气体喷射口的形状、数量也只要根据接合部的冷却区域的大小等进行各种调整即可。通过对它们进行各种调整，能够实现冷却能力的确保和均匀的冷却。即，能够控制冷却速度以满足上述式(7)～(9)的关系，进一步满足上述式(14)及(15)的关系。

[0238] 另外，在液体的喷射装置中，作为液体，例如能够使用水、液体二氧化碳、液氮等。液体的喷射量、液体喷射口的形状、数量只要考虑到各个液体与接合部表面接触时的沸腾现象，例如抑制膜沸腾并促进核沸腾等，并且根据接合部的冷却区域的大小等进行各种调整即可。通过对它们进行各种调整，能够实现冷却能力的确保和均匀的冷却。即，能够控制冷却速度以满足上述式(7)～(9)的关系，进一步满足上述式(14)及(15)的关系。

[0239] 此外，作为冷却装置，也可以使用将多种冷却装置组合而成的装置，例如将上述的惰性气体的喷射装置及液体的喷射装置组合而成的装置。

[0240] 另外，只要冷却装置在被接合材料的至少一个面中配置于旋转工具的接合(进行)方向的后方，则旋转工具与冷却装置之间的距离、冷却区域的范围(以下，也称为冷却范围)没有特别地限定。不过，若冷却装置与旋转工具的距离过小，则存在在接合部中塑性流动不足而产生缺陷的担忧。因此，冷却装置与旋转工具的位置关系优选根据接合速度等考虑对接合部处的塑性流动的影响、冷却效率来决定。例如，在接合速度为1～4m/min的情况下，优选将旋转工具与冷却装置之间的距离(接合方向上的端部间距离)设为20mm～40mm的范围。此外，冷却范围例如能够通过调整从冷却装置喷射的气体和/或液体的种类、以及喷射口的形状、数量及配置等来进行控制。

[0241] [2]电磁钢带的接合接头

[0242] 接下来，使用图3对电磁钢带的接合接头进行说明。在图中，附图标记1是第一电磁钢带(被接合材料)，2是第二电磁钢带(被接合材料)，4是接合部，4-1是热加工影响部(第一电磁钢带侧)，4-2是热加工影响部(第二电磁钢带侧)。此外，图3是电磁钢带的接合接头的板厚方向的剖视图。在图中，铅垂方向是板厚方向。水平方向是接合垂直方向。纸面近前侧的方向是接合方向。即，在图3所示的面(这里所说的板厚方向的截面)内包括接合垂直方向和板厚方向。

[0243] 上述的电磁钢带的接合接头将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合，其中，

[0244] 该电磁钢带的接合接头具备接合部、和与该接合部邻接的热加工影响部，

[0245] 该接合部及该热加工影响部的钢组织分别是铁素体相主体的组织，

[0246] 满足下式(1)～(4)的关系。

[0247] $Dsz \leqslant 100\mu m \cdots$ (1)

[0248] $Dhaz1 \leqslant Dbm1 \cdots$ (2)

[0249] $Dhaz2 \leqslant Dbm2 \cdots$ (3)

[0250] $0.9 \times (Hbm1+Hbm2)/2 \leqslant Hsz \leqslant 1.2 \leqslant (Hbm1+Hbm2)/2 \cdots$ (4)

[0251] 这里，

[0252] Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值(μm)，

[0253] Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0254] Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0255] Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0256] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0257] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0258] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0259] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0260] 另外,上述的电磁钢带的接合接头例如能够通过根据上述的本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法而得到(制造)。

[0261] [被接合材料(第一电磁钢带及第二电磁钢带)]

[0262] 第一电磁钢带及第二电磁钢带是作为被接合材料的电磁钢带。第一电磁钢带及第二电磁钢带的成分组成只要是作为冷轧阶段的电磁钢带(电磁钢板)而为通常的成分组成即可,没有特别地限定。

[0263] 作为这样的电磁钢带的成分组成,能够例示以2.0～5.0质量%的范围含有Si的成分组成。另外,能够例示C:0.005质量%以下、Si:2.0～5.0质量%、Al:3.0质量%以下、Mn:2.00质量%以下、P:0.2质量%以下、S:0.01质量%以下及N:0.01质量%以下,剩余部分是Fe及不可避免的杂质的成分组成。此外,在上述的成分组成中,以质量%计,能够任意地含有从由Sn:0.2%以下、Sb:0.2%以下、Ca:0.01%以下、REM:0.05%以下及Mg:0.01%以下构成的组中选择的至少一种。另外,在上述的成分组成中,以质量%计,能够任意地含有从由Cr:1%以下、Ni:1%以下及Cu:1%以下构成的组中选择的至少一种。此外,Si及Fe以外的元素也可以均为0%。

[0264] 另外,第一电磁钢带和第二电磁钢带的成分组成可以相同,也可以不同。

[0265] 第一电磁钢带的板厚t1及第二电磁钢带的板厚t2没有特别地限定,但t1及t2分别优选为1.2～3.2mm。此外,t1及t2可以相同,也可以不同。

[0266] 另外,在作为被接合材料的第一电磁钢带及第二电磁钢带中,将没有受到基于摩擦热和塑性流动的热加工的影响的区域称为母材部。

[0267] 另外,母材部以及后述的接合部及热加工影响部如以下那样来划分。

[0268] 即,将电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为切断面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断。接下来,研磨切断面,利用苦味酸饱和水溶液、硝酸乙醇(硝酸和乙醇的溶液)或王水(将浓盐酸与浓硝酸按3:1的体积比混合后的溶液)进行蚀刻。接着,通过光学显微镜观察该切断面并根据蚀刻的程度等划分母材部、接合部及热加工影响部。

[0269] [接合部]

[0270] 接合部是受到基于旋转工具与被接合材料的摩擦热和塑性流动的热加工而成为再结晶组织的区域。

[0271] 接合部由铁素体相主体的钢组织,具体而言以面积率计为95%以上的铁素体相构成。铁素体相的面积率也可以是100%。另外,铁素体相以外的剩余部分组织的面积率为5%以下。作为铁素体相以外的剩余部分组织,例如能够例示马氏体、硫化物、氮化物、碳化物等第二相等。剩余部分组织的面积率也可以是0%。

[0272] 此外,铁素体相的面积率如以下那样进行测定。

[0273] 即,以后述的接合部的测定区域包含于观察面的方式,从电磁钢带的接合接头切出试验片。此外,观察面为图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)。接着,对试验片的观察面进行研磨后,利用3vol.%硝酸乙醇、苦味酸饱和水溶液或王水进行蚀刻,使组织显现。接着,在后述的接合部的测定区域内中,利用光学显微镜以倍率:500倍拍摄共计10个视场。接着,根据得到的组织图像,使用Adobe Systems公司的Adobe Photoshop,计算10个视场的铁素体相的面积。接着,将针对每个视场计算出的铁素体相的面积除以各自的视场区域的面积,并乘以100。然后,将这些值的算术平均值作为铁素体相的面积率。

[0274] 另外,重要的是使接合部的钢组织微细化,具体而言减小构成接合部的钢组织的铁素体结晶粒的粒径(以下,也称为铁素体粒径)并满足下式(1)的关系。由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性提高,能够有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0275] $Dsz \leqslant 100\mu m \cdots (1)$

[0276] 这里,

[0277] Dsz是接合部的铁素体粒径的平均值(μm)。

[0278] 这里,Dsz依据JIS G 0551进行测定。具体而言,如以下那样进行测定。

[0279] 即,将电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为切断面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断。在该切断面中,将接合垂直方向设为X轴,将板厚方向设为Y轴。而且,将接合垂直方向上的接合部的中心位置、且是板厚(铅垂)方向上的被接合材料的板厚中心位置设为X轴与Y轴的原点。接合垂直方向上的接合部的中心位置例如在对接接头的情况下是对接间隙的中心位置,在搭接接头的情况下是重叠部的中心位置。板厚(铅垂)方向上的被接合材料的板厚中心位置例如在对接接头的情况下是第一电磁钢带和第二电磁钢带中的板厚较小的一方的板厚中心位置,在搭接接头的情况下是重叠部的板厚中心位置。而且,将$X=-0.2\times t\sim+0.2\times t$、$Y=-0.2\times t\sim+0.2\times t$的区域设为测定区域。这里,t是第一电磁钢带的板厚及第二电磁钢带的板厚的平均值(mm)。不过,当在上述的测定区域中包括热加工影响部、母材部这样的不是接合部的区域的情况下,将该区域从测定区域中排除。此外,关于X轴及Y轴,只要任意设定+及-即可。

[0280] 然后,在上述的测定区域内的任意的位置,通过依据JIS G 0551“钢-结晶粒度的显微镜试验方法”的切断法(根据每1mm试验线中捕捉到的结晶粒数、或者交点的数量P进行评价),测定共计5次接合部的铁素体粒径,将它们的平均值设为Dsz。此外,以下,将接合部的铁素体粒径的测定区域也简称为接合部的测定区域。

[0281] 另外,重要的是降低接合部与母材部的硬度差,具体而言满足下式(4)的关系。由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性提高,能够有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0282] $0.9\times(Hbm1+Hbm2)/2\leqslant Hsz\leqslant 1.2\times(Hbm1+Hbm2)/2\cdots$ (4)

[0283] 这里,

[0284] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0285] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0286] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0287] 这里,Hsz、Hbm1及Hbm2依据JIS Z 2244进行测定。具体而言,分别如以下那样进行测定。

[0288] 即,在上述的切断面中的上述的接合部的测定区域内的任意的5处,在试验力:4.9N的条件下测定维氏硬度(HV)。然后,将它们的平均值设为Hsz。

[0289] 另外,在上述的切断面中,在第一电磁钢带的母材部的板厚中心位置±0.2×t1的区域(板厚(铅垂)方向)的水平面)内、以及第二电磁钢带的母材部的板厚中心位置±0.2×t2的区域(板厚(铅垂)方向)的水平面)内的任意的5处分别在试验力:4.9N的条件下测定维氏硬度(HV)。此外,关于接合垂直(水平)方向的位置,只要是母材部即可,可以任意地选择。然后,将在第一电磁钢带的母材部及第二电磁钢带的母材部测定出的维氏硬度(HV)的平均值分别设为Hbm1及Hbm2。这里,t1及t2分别是第一电磁钢带及第二电磁钢带的板厚。

[0290] 另外,接合部的厚度没有特别地限定,但优选适当地控制第一电磁钢带和第二电磁钢带的厚度的关系,具体而言满足下式(5)及(6)的关系。由此,即使在作为被接合材料而使用电磁钢带的情况下,也不会导致卷材接合部的形状的劣化,卷材接合部的机械特性进一步提高,能够更有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0291] $0.8\times TbmL\leqslant TszL\cdots$ (5)

[0292] $TszH\leqslant 1.3\times TbmH\cdots$ (6)

[0293] 这里,

[0294] TszL是接合部的厚度的最小值(mm),

[0295] TszH是接合部的厚度的最大值(mm),

[0296] TbmL是第一电磁钢带和第二电磁钢带中的较薄的一方的电磁钢带的板厚(mm),

[0297] TbmH是第一电磁钢带和第二电磁钢带中的较厚的一方的电磁钢带的板厚(mm)。

[0298] 其中,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的板厚相同的情况下,成为TbmL=TbmH。

[0299] 此外,TszL及TszH例如只要如以下那样进行测定即可。即,将电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为切断面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断。然后,在该切断面中,使用游标卡尺等测定TszL及TszH。

[0300] [热加工影响部]

[0301] 热加工影响部是与接合部邻接,虽然受到基于摩擦热和塑性流动的热加工的影响,但因温度、加工不充分而达不到再结晶组织的区域。另外,热加工影响部与接合部邻接地形成于第一电磁钢带及第二电磁钢带的两侧。

[0302] 热加工影响部与接合部同样地,由铁素体相主体的钢组织,具体而言以面积率计为95%以上的铁素体相构成。铁素体相的面积率也可以是100%。另外,铁素体相以外的剩余部分组织的面积率为5%以下。作为铁素体相以外的剩余部分组织,例如能够例示马氏体、硫化物、氮化物、碳化物等第二相等。剩余部分组织的面积率也可以是0%。铁素体相的面积率只要以与上述的方法相同的要领进行测定即可。

[0303] 另外,即使是热加工影响部,重要的也是使钢组织微细化,具体而言使热加工影响部的铁素体粒径为母材部的铁素体粒径以下。即满足下式(2)及(3)的关系。

[0304] $Dhaz1\leqslant Dbm1\cdots$ (2)

[0305] $Dhaz2\leqslant Dbm2\cdots$ (3)

[0306] 这里,

[0307] Dhaz1是第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0308] Dhaz2是第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0309] Dbm1是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0310] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm)。

[0311] 这里,Dhaz1、Dhaz2、Dbm1及Dbm2依据JIS G 0551,以与作为接合部的铁素体粒径的平均值的Dsz相同的要领进行测定。

[0312] 另外,第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的测定区域(以下,也称为第一电磁钢带侧的热加工影响部的测定区域)如以下那样进行设定。即,将电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为切断面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断。在上述的切断面中,将接合垂直方向设为X轴,将板厚方向设为Y轴。然后,将第一电磁钢带的板厚中心位置(水平面)处的接合部与第一电磁钢带侧的热加工影响部的边界位置设为X轴与Y轴的原点。关于X轴,将第一电磁钢带侧设为+,将接合部侧设为-,将X＝0～+0.4×t1、Y＝-0.2×t1～+0.2×t1的区域设为测定区域。这里,t1是第一电磁钢带的板厚。此外,关于Y轴,只要任意设定+及-即可。不过,在上述的测定区域中,在包括接合部、母材部这样的不是第一电磁钢带侧的热加工影响部的区域的情况下,将该区域从测定区域中排除。

[0313] 如上述那样,接合部是指受到旋转工具与被接合材料的摩擦热和塑性流动的热加工而成为再结晶组织的区域。热加工影响部是指与接合部邻接,且虽然受到基于摩擦热和塑性流动的热加工的影响,但因温度、加工不充分而达不到再结晶的组织的区域。母材是指没有受到基于摩擦热和塑性流动的热加工的影响的区域。

[0314] 同样地,第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的测定区域(以下,也称为第二电磁钢带侧的热加工影响部的测定区域)如以下那样进行设定。即,将电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为切断面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断。在上述的切断面中,将接合垂直方向设为X轴,将板厚方向设为Y轴。然后,将第二电磁钢带的板厚中心位置(水平面)处的接合部与第二电磁钢带侧的热加工影响部的边界位置设为X轴与Y轴的原点。关于X轴,将第二电磁钢带侧设为+,将接合部侧设为-,将X＝0～+0.4×t2、Y＝-0.2×t2～+0.2×t2的区域设为测定区域。这里,t2是第二电磁钢带的板厚。此外,关于Y轴,只要任意设定+及-即可。不过,在上述的测定区域中,在包括接合部、母材部这样的不是第二电磁钢带侧的热加工影响部的区域的情况下,将该区域从测定区域中排除。

[0315] 另外,第一电磁钢带及第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的测定区域(以下,也称为第一电磁钢带及第二电磁钢带的母材部的测定区域)只要分别设为上述的切断面中的第一电磁钢带的母材部的板厚中心位置±0.2×t1的区域(板厚(铅垂)方向的水平面)及第二电磁钢带的母材部的板厚中心位置±0.2×t2的区域(板厚(铅垂)方向的水平面)即可。此外,关于接合垂直(水平)方向的位置,只要是母材部即可,可以任意地选择。这里,t1及t2分别是第一电磁钢带及第二电磁钢带的板厚。

[0316] 此外,作为接头形式,能够例示对接接头、搭接接头。

[0317] [3]电磁钢带的制造方法

[0318] 接下来,对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造方法进行说明。

[0319] 根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造方法具备:

[0320] 通过根据上述的本发明的一个实施方式的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法将第一电磁钢带与第二电磁钢带接合而得到接合钢带的工序;和

[0321] 对该接合钢带实施冷轧而得到冷轧钢带的工序。

[0322] 这里,接合钢带优选具有第一电磁钢带、第二电磁钢带及上述[2]的电磁钢带的接合接头,第一电磁钢带及第二电磁钢带经由该电磁钢带的接合接头被接合。

[0323] 另外,冷轧条件没有特别地限定,只要按照常规方法即可。另外,在第一电磁钢带与第二电磁钢带的接合后,进行冷轧前,也可以任意地进行酸洗。

[0324] [4]摩擦搅拌接合装置

[0325] 接下来,对根据本发明的一个实施方式的摩擦搅拌接合装置进行说明。

[0326] 根据本发明的一个实施方式的摩擦搅拌接合装置是使用于上述[1]的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法的摩擦搅拌接合装置,其中,具备:

[0327] 把持装置,上述把持装置把持被接合材料;

[0328] 相互对置的一对旋转工具;

[0329] 驱动装置,上述驱动装置能够进行上述旋转工具的旋转和向接合方向的移动;

[0330] 冷却装置,上述冷却装置在上述被接合材料的至少一个面中配置于上述旋转工具的接合行进方向的后方;以及

[0331] 上述把持装置、上述旋转工具的驱动装置及上述冷却装置的动作控制装置。

[0332] 这里,作为把持装置的形态,例如能够举出:

[0333] • 具有可动把持部件和该可动把持部件的滑动装置的把持装置;以及

[0334] • 具有固定把持部件、可动把持部件及该可动把持部件的滑动装置的形态。

[0335] 旋转工具的形态如上述[1]的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中例示的那样。

[0336] 作为旋转工具的驱动装置的形态,能够举出具有旋转工具的旋转驱动部、和旋转工具向接合方向移动的移动装置的形态。旋转驱动部及移动装置的驱动方式没有特别地限定,例如采用电动驱动方式即可。

[0337] 冷却装置的形态如上述[1]的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法中例示的那样。另外,冷却装置附带使冷却装置与旋转工具联动地向接合方向移动的移动装置。移动装置的驱动方式没有特别地限定,例如采用电动驱动方式即可。

[0338] 作为动作控制装置的形态,能够举出具有输入各种设定值等数据的输入部、对所输入的数据进行运算处理的运算部、存储数据等的存储装置、基于运算部中的运算处理结果来向把持装置、旋转工具的驱动装置及冷却装置输出动作信号的输出部的形态。

[0339] 另外,从将被接合材料的接合部的表面的冷却速度控制在上述式(7)~(9)、(14)、(15)的范围内的观点出发,优选进一步具备冷却速度测定装置,该冷却速度测定装置在被接合材料的两面测定$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$。

[0340] 冷却速度测定装置例如具备连续测定接合部的表面的温度的温度测定装置。作为温度测定装置的形态,例如能够举出作为W=0、0.2×D及0.5×D的位置处的接合部的表面的温度测定用而设置有多个辐射型温度计的形态、(以网罗并测定包括W=0、0.2×D及0.5×D的位置在内的范围的温度的方式设定了的)热成像仪等。然后,根据通过温度测定装置测定出的温度、以及从接合结束时刻到接合部的表面的温度达到450℃为止的时间,例如使

用运算装置、热成像仪所附带的运算功能，根据上述式(16)计算$CR_{W=0}$、$CR_{W=0.2D}$及$CR_{W=0.5D}$。

[0341] 此外，上述以外的装置结构等没有特别地限定，只要为以往公知的摩擦搅拌接合装置的装置结构即可。

[0342] [5]电磁钢带的制造装置

[0343] 接下来，对根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造装置进行说明。

[0344] 根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造装置具备上述[4]的摩擦搅拌接合装置。

[0345] 另外，根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造装置在连续冷轧线上，上述[4]的摩擦搅拌接合装置配置在冷轧装置的上游侧，或者酸洗装置及冷轧装置的上游侧(从上游侧开始按摩擦搅拌接合装置、酸洗装置及冷轧装置的顺序)。此外，酸洗装置及冷轧装置能够适当使用在电磁钢带的连续冷轧线上通常使用的装置。

[0346] 另外，连续冷轧线是指通过冷轧装置对钢带连续地进行冷轧的生产线。连续冷轧线例如具备钢带的输送装置和冷轧装置。在连续冷轧线上，也存在任意地进一步附带酸洗装置、退火炉、涂布装置等的情况。

[0347] 此外，上述以外的装置结构等没有特别地限定，只要为以往公知的电磁钢带的制造装置的装置结构即可。

[0348] 实施例

[0349] 以下，使用实施例对本发明的作用及效果进行说明。此外，本发明并不限定于以下的实施例。

[0350] 将具有表1所示的成分组成(剩余部分为Fe及不可避免的杂质)的电磁钢带作为被接合材料(第一电磁钢带及第二电磁钢带)。而且，通过表2中记载的接合条件及冷却条件的后冷却式摩擦搅拌接合，模拟位于连续冷轧线上并将第一电磁钢带(先行钢带)与第二电磁钢带(后行钢带)接合，制造出电磁钢带的接合接头。这里，在对接接合的情况下，坡口为在作为被接合材料的2片电磁钢带的端面不形成坡口角度的所谓的I型坡口，在铣削加工程度的表面状态下将2片电磁钢带进行了对接、接合。此外，表1中一并标注了电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值、硬度的平均值及埃里克森杯突值。这里，电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值及硬度的平均值通过上述的方法求出。另外，埃里克森杯突值是依据由JIS Z 2247规定的埃里克森杯突试验方法测定出的值。此外，没有明确记载的条件按照常规方法进行了设定。

[0351] 此外，在接合工序中，使配置于铅垂方向上侧的表面侧旋转工具从铅垂方向上侧观察顺时针旋转，使配置于铅垂方向下侧的背面侧旋转工具从铅垂方向上侧观察逆时针旋转。即，在正面观察各个旋转工具的前端部的状态下，均逆时针旋转。另外，使用了图2A及图2B所示的两种截面尺寸及形状的旋转工具的任一种。另外，表面侧旋转工具和背面侧旋转工具使用了相同截面尺寸及形状的旋转工具。此外，这些旋转工具均以比被接合材料硬的维氏硬度HV1090的碳化钨(WC)为原材料。另外，在第一电磁钢带和第二电磁钢带的板厚不同的情况下，在第一电磁钢带和第二电磁钢带的对接部中，将背面(配置背面侧旋转工具的一侧的面)设为没有台阶的状态，将表面(配置表面侧旋转工具的一侧的面)设为具有台阶的状态。另外，以使第一电磁钢带(先行钢带)成为前进侧，使第二电磁钢带(后行钢带)成为后退侧的方式进行了接合。

[0352] 另外,在搭接接合的情况下,以使第一电磁钢带(先行钢带)成为搭接的上侧,使第二电磁钢带(后行钢带)成为搭接的下侧的方式进行了接合。旋转工具的旋转方向及旋转工具的形状等与对接接合的情况相同。

[0353] 在冷却工序中,使配置于旋转工具的接合方向的后方的冷却装置与旋转工具联动地(以与接合速度相同的速度)在接合方向上移动。另外,冷却装置使用了惰性气体的喷射装置。另外,惰性气体使用了二氧化碳。更具体而言,如图4所示,冷却装置具有在接合线中央上纵列配置有5个喷嘴的结构,该喷嘴具有直径4mm的圆形喷射口。另外,从旋转工具的后端到冷却装置的前头的喷射口(前端)的距离(图4中的L)以及各喷射口的(中心点)间隔(图4中的M)均为30mm。另外,从接合部的表面到喷射口的距离均为20mm。而且,从各喷射口以1MPa的压力喷射出二氧化碳气体。另外,通过设置于摩擦搅拌接合装置的热成像仪,在被接合材料的两面测量接合部的表面温度,测定出接合部的表面的各位置处的冷却速度。将测定出的冷却速度示出在表2中。此外,$CR_{W=0}$.2及$CR_{W=0}$.5隔着接合中央线在前进侧(第一电磁钢带侧)和后退侧(第二电磁钢带侧)双方进行了测定,但几乎相同。因此,这里,作为代表,仅记载了在前进侧的冷却速度。另外,为了比较,在一部分的条件下不进行基于冷却装置的冷却。

[0354] 针对这样得到的电磁钢带的接合接头,根据上述的要领,划分出接合部、热加工影响部及母材部。

[0355] 另外,根据上述的要领,测定了

[0356] Dsz:接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0357] Dhaz1:第一电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0358] Dhaz2:第二电磁钢带侧的热加工影响部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0359] Dbm1:第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0360] Dbm2:第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0361] Hsz:接合部的硬度的平均值,

[0362] Hbm1:第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0363] Hbm2:第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0364] 另外,在所得到的电磁钢带的接合接头的铅垂方向的切断面(图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面))中,测定了TszL:接合部的厚度的最小值(mm)及TszH:接合部的厚度的最大值(mm)。

[0365] 将结果示出在表3中。此外,在后述的表面缺陷及内部缺陷的确认中,在确认到缺陷的情况下,省略了上述的测定。另外,在确认到表面缺陷的情况下,也省略了内部缺陷的确认。

[0366] 另外,针对所得到的电磁钢带的接合接头,按照以下的要领,确认了(I)表面缺陷的有无以及(II)内部缺陷的有无。将结果示出在表4中。

[0367] (I)表面缺陷的有无

[0368] 在所得到的电磁钢带的接合接头的接合部及热加工影响部的表面及背面,通过目视观察确认了未接合状态及裂纹的有无。然后,根据以下的基准,判定了表面缺陷的有无。

[0369] 无表面缺陷:均未确认到未接合状态及裂纹。

[0370] 有表面缺陷:确认到未接合状态及裂纹的至少一方。

[0371] (II)内部缺陷的有无

[0372] 将所得到的电磁钢带的接合接头以图3所示的面(即,包括接合垂直方向和板厚方向的面)成为观察面的方式沿板厚(铅垂)方向进行切断而采集了试验片。此外,接合方向上的切断位置为距接合(焊接)开始侧的被接合材料的端部20㎜的位置、距接合(焊接)结束侧的被接合材料的端部20㎜的位置以及成为被接合材料的两端部的中间的位置。然后,以该切断位置处的切断面成为观察面的方式采集了合计3片试验片。接着,利用光学显微镜(倍率:10倍)对所得到的试验片的观察面进行了观察。然后,根据以下的基准,判定了内部缺陷的有无。

[0373] 无内部缺陷:在全部3片试验片中,均未在接合部确认到未接合状态及裂纹。

[0374] 有内部缺陷:在至少1片试验片中,在接合部确认到未接合状态及裂纹的至少一方。

[0375] 另外,针对所得到的电磁钢带的接合接头,按照以下的要领,评价了生产线上的卷材接合部的断裂产生的抑制效果(以下,也称为断裂抑制效果)。

[0376] 即,从所得到的电磁钢带的接合接头,以包括接合部、第一电磁钢带侧的热加工影响部及母材、以及第二电磁钢带侧的热加工影响部及母材的方式采集了试验片。接着,使用采集到的试验片,依据由JIS Z 2247规定的埃里克森杯突试验方法测定了接合接头的埃里克森杯突值。而且,根据接合接头的埃里克森杯突值相对于母材部的埃里克森杯突值的比率(以下,也称为埃里克森杯突值的比率),按照以下的基准评价了断裂抑制效果。将结果示出在表4中。

[0377] [埃里克森杯突值的比率(%)]=[接合接头的埃里克森杯突值]/[母材部的埃里克森杯突值]×100

[0378] 合格:埃里克森杯突值的比率为90%以上

[0379] 不合格:埃里克森杯突值的比率不足90%

[0380] 此外,在第一电磁钢带的母材部的埃里克森杯突值与第二电磁钢带的母材部的埃里克森杯突值不同的情况下,母材部的埃里克森杯突值为第一电磁钢带的母材部的埃里克森杯突值和第二电磁钢带的母材部的埃里克森杯突值中的较小的一方的值。

[0381] [表1]

[0382]

表1

钢种	板厚 (mm)	成分组成（质量%）					母材部的铁氧体粒径平均值（μm）	母材部的硬度的平均值	母材部的埃里克森杯突值 (mm)
		C	Si	Mn	P	S			
B1-1	2.0	0.02	2.5	0.01	0.015	0.006	280	219	12.4
B1-2	2.6	0.02	2.5	0.01	0.015	0.006	280	219	13.5
B2-1	2.0	0.01	3.5	0.02	0.012	0.006	310	242	3.5
B2-2	2.6	0.01	3.5	0.02	0.012	0.006	310	242	3.8

[0383] [表2]

[0384]

表2

接头形式	接合方式	被接合材料					接合工序														
		第一电磁钢带		第二电磁钢带		t (mm)	TJ (mm)	旋转工具			接合条件						(10)式	(11)式	(12)式	(13)式
		钢种	板厚 t1 (mm)	钢种	板厚 t2 (mm)			形状	肩径 D (mm)	销径 (mm)	销长 (mm)	倾斜角度 α (°)	肩部间间隙 G (mm)	转速 RS（圈/分钟） 表面侧	转速 RS（圈/分钟） 背面侧	接合速度 JS (mm/分钟)	RS×D³／JS			
发明例1	对接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.20	2000	2000	2000	2197	满足	满足	满足	满足
发明例2	对接	双面	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.40	700	700	2000	3241	满足	满足	满足	满足
发明例3	对接	双面	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.20	2500	2500	1600	3433	满足	满足	满足	满足
发明例4	对接	双面	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	550	550	1000	5094	满足	满足	满足	满足
发明例5	对接	双面	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.30	3000	3000	3000	2197	满足	满足	满足	满足
发明例6	对接	双面	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	1500	1500	3000	4631	满足	满足	满足	满足
发明例7	对接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.70	3000	3000	2000	3296	满足	满足	满足	满足
发明例8	对接	双面	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.30	800	800	2000	3704	满足	满足	满足	满足
发明例9	对接	双面	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	0.5	**0.95**	1500	1500	2000	1648	满足	满足	满足	不满足
发明例10	对接	双面	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	**2.5**	**1.15**	800	800	2000	3704	满足	不满足	满足	不满足
发明例11	对接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.40	3000	3000	4000	1648	满足	满足	满足	满足
发明例12	对接	双面	B1-1	2.0	B1-2	2.6	2.3	2.3	图2A	13	4	0.6	1.5	1.80	2000	2000	2000	2197	满足	满足	满足	满足
发明例13	搭接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	4.0	2.0	图2B	21	6.7	0.9	1.5	2.40	800	800	1000	7409	满足	满足	满足	满足
比较例1	对接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.20	2000	2000	2000	2197	满足	满足	满足	满足
比较例2	对接	双面	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.40	700	700	2000	3241	满足	满足	满足	满足
比较例3	对接	双面	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.20	2500	2500	1600	3433	满足	满足	满足	满足
比较例4	对接	双面	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	550	550	1000	5094	满足	满足	满足	满足
比较例5	对接	双面	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.20	3000	3000	3000	2197	满足	满足	满足	满足
比较例6	对接	双面	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	1500	1500	3000	4631	满足	满足	满足	满足
比较例7	对接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	1.5	1.70	3000	3000	2000	3296	满足	满足	满足	满足
比较例8	对接	双面	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	1.5	1.30	800	800	2000	3704	满足	满足	满足	满足
比较例9	对接	双面	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	图2A	13	4	0.6	0.5	**0.95**	1500	1500	2000	1648	满足	满足	满足	不满足
比较例10	对接	双面	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	图2B	21	6.7	0.9	**2.5**	**1.15**	800	800	2000	3704	满足	不满足	满足	不满足
比较例11	对接	双面	B1-1	2.0	B1-2	2.6	2.3	2.3	图2A	13	4	0.6	1.5	1.30	2000	2000	2000	2197	满足	满足	满足	满足
比较例12	搭接	双面	B1-1	2.0	B1-1	2.0	4.0	2.0	图2B	21	6.7	0.9	1.5	2.40	800	800	1000	7409	满足	满足	满足	满足

满足：满足该式的关系
不满足：不满足该式的关系

[0385]

表2（接续）

	接头形式	接合方法	冷却工序												(7)式	(8)式	(9)式	(14)式	(15)式
			表面侧						背面侧										
			基于冷却装置的冷却的有无	$CR_{W=0}$ (℃/s)	$CR_{W=0.2D}$ (℃/s)	$CR_{W=0.5D}$ (℃/s)	$CR_{W=0.2D}$ / $CR_{W=0}$	$CR_{W=0.5D}$ / $CR_{W=0}$	基于冷却装置的冷却的有无	$CR_{W=0}$ (℃/s)	$CR_{W=0.2D}$ (℃/s)	$CR_{W=0.5D}$ (℃/s)	$CR_{W=0.2D}$ / $CR_{W=0}$	$CR_{W=0.5D}$ / $CR_{W=0}$					
发明例1	对接	双面	有	31.6	31.4	31.4	0.99	0.99	有	31.7	31.5	31.4	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例2	对接	双面	有	31.4	31.2	31.0	0.99	0.99	有	31.4	31.2	31.1	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例3	对接	双面	有	34.2	34.0	34.0	0.99	0.99	有	34.2	34.1	34.0	1.00	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例4	对接	双面	有	40.7	40.6	40.5	1.00	1.00	有	40.7	40.6	40.5	1.00	1.00	满足	满足	满足	满足	满足
发明例5	对接	双面	有	26.8	24.5	26.5	0.91	0.99	有	26.8	26.6	26.5	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例6	对接	双面	有	22.8	22.7	22.7	1.00	1.00	无	16.7	16.6	16.6	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例7	对接	双面	有	27.6	27.4	27.3	0.99	0.99	无	20.2	20.1	20.0	1.00	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例8	对接	双面	有	27.3	27.2	27.1	1.00	0.99	无	20.0	19.9	19.7	1.00	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例9	对接	双面	有	28.5	28.3	28.2	0.99	0.99	无	21.2	21.1	20.9	1.00	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例10	对接	双面	有	27.3	27.2	27.1	1.00	0.99	无	20.0	19.9	19.7	1.00	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例11	对接	双面	有	28.0	25.9	25.2	0.93	0.90	无	20.8	15.8	15.2	**0.78**	**0.73**	满足	满足	满足	不满足	不满足
发明例12	对接	双面	有	31.0	30.8	30.7	0.99	0.99	有	31.1	30.9	30.7	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
发明例13	搭接	双面	有	35.1	34.9	34.5	0.99	0.98	有	34.9	34.6	34.4	0.99	0.99	满足	满足	满足	满足	满足
比较例1	对接	双面	无	**9.8**	**9.5**	**9.4**	0.97	0.96	无	**9.9**	**9.7**	**9.5**	0.98	0.96	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例2	对接	双面	无	**9.4**	**9.1**	**8.8**	0.97	0.94	无	**9.5**	**9.1**	**8.9**	0.96	0.94	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例3	对接	双面	无	**9.0**	**8.8**	**8.7**	0.98	0.97	无	**9.0**	**8.9**	**8.7**	0.99	0.97	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例4	对接	双面	无	**7.2**	**7.1**	**6.9**	0.99	0.96	无	**7.2**	**7.0**	**6.8**	0.97	0.94	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例5	对接	双面	无	**9.7**	**9.3**	**9.2**	0.96	0.95	无	**9.6**	**9.3**	**9.1**	0.97	0.95	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例6	对接	双面	无	**8.0**	**7.9**	**7.9**	0.99	0.99	无	**7.8**	**7.7**	**7.7**	0.99	0.99	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例7	对接	双面	无	**9.3**	**9.0**	**8.7**	0.97	0.94	无	**9.2**	**9.0**	**8.8**	0.98	0.96	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例8	对接	双面	无	**8.7**	**8.6**	**8.4**	0.98	0.97	无	**8.8**	**8.6**	**8.4**	0.98	0.95	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例9	对接	双面	无	**10.8**	**10.5**	**10.3**	0.97	0.95	无	**10.9**	**10.6**	**10.4**	0.97	0.95	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例10	对接	双面	无	**8.8**	**8.6**	**8.5**	0.98	0.97	无	**8.8**	**8.7**	**8.4**	0.99	0.95	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例11	对接	双面	无	**9.1**	**8.8**	**8.6**	0.97	0.95	无	**9.0**	**8.8**	**8.5**	0.98	0.94	不满足	不满足	不满足	满足	满足
比较例12	搭接	双面	无	**5.1**	**5.0**	**4.9**	0.98	0.96	无	**5.0**	**4.9**	**4.9**	0.98	0.98	不满足	不满足	不满足	满足	满足

满足：满足该式的关系
不满足：不满足该式的关系

[0386] [表3]

[0387]

表3

接头形式	接合方法	被接合材料									接合部				热加工影响部			
		第一电磁钢带				第二电磁钢带									第一电磁钢带侧		第二电磁钢带侧	
		钢种	Dbm1（μm）	Hbm1	板厚（mm）	钢种	Dbm2（μm）	Hbm2	板厚（mm）	TbmL（mm）	TbmH（mm）	铁氧体相面积率（%）	Dsz（μm）	Hsz	TszL（mm）	TszH（mm）	铁氧体相面积率（%）	Dhaz1（μm）	铁氧体相面积率（%）	Dhaz2（μm）
发明例1	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	29	252	1.9	2.0	99	221	99	213
发明例2	对接	双面	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	99	32	250	2.4	2.7	99	223	99	229
发明例3	对接	双面	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	99	31	255	1.8	2.1	99	227	99	225
发明例4	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	31	256	2.4	2.8	99	250	99	255
发明例5	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	99	36	249	1.8	2.1	99	220	99	216
发明例6	对接	双面	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	55	248	2.4	2.6	99	232	99	232
发明例7	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	42	248	1.8	2.0	99	200	99	194
发明例8	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	38	253	2.2	2.7	99	218	99	220
发明例9	对接	双面	B2-1	310	242	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	43	251	1.5	1.9	99	209	99	205
发明例10	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	99	40	252	1.9	2.6	99	235	99	217
发明例11	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	35	245	1.8	2.0	99	228	99	228
发明例12	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-2	280	219	2.6	2.0	2.6	99	32	249	2.2	2.6	99	226	99	227
发明例13	搭接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	30	254	3.5	**3.9**	99	225	99	223
比较例1	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	**105**	238	1.8	2.0	99	223	99	216
比较例2	对接	双面	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	99	**108**	237	2.4	2.7	99	226	99	232
比较例3	对接	双面	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	99	**120**	243	1.7	2.0	99	229	99	228
比较例4	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	**181**	237	2.3	2.8	99	253	99	257
比较例5	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	99	**103**	240	1.7	2.2	99	223	99	218
比较例6	对接	双面	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	**140**	238	2.4	2.8	99	234	99	236
比较例7	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	**110**	238	2.0	2.0	99	198	99	196
比较例8	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	99	**105**	244	2.3	2.6	99	221	99	223
比较例9	对接	双面	B2-1	310	242	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	**101**	247	1.5	1.9	99	225	99	205
比较例10	对接	双面	B2-2	310	242	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	99	**108**	242	1.9	2.6	99	237	99	220
比较例11	对接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-2	280	219	2.6	2.0	2.6	99	**108**	238	2.3	2.6	99	229	99	230
比较例12	搭接	双面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	99	**192**	236	3.4	**4.0**	99	235	99	240

[0388] [表4]

[0389]

表4

	(1)式	(2)式	(3)式	(4)式	(5)式	(6)式	表面缺陷	内部缺陷	接合接头的埃里克森杯突值(mm)	埃里克森杯突值的比率(%)	埃里克森杯突值的评价
发明例1	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	12.1	98	合格
发明例2	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	13.0	96	合格
发明例3	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.4	97	合格
发明例4	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.7	97	合格
发明例5	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.4	97	合格
发明例6	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.5	92	合格
发明例7	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	11.4	92	合格
发明例8	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.6	95	合格
发明例9	满足	满足	满足	满足	不满足	满足	无	无	3.2	91	合格
发明例10	满足	满足	满足	满足	不满足	满足	无	无	3.5	92	合格
发明例11	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	11.5	93	合格
发明例12	满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	11.4	92	合格
发明例13	满足	满足	满足	满足	满足	不满足	无	无	11.3	91	合格
比较例1	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	10.6	**85**	不合格
比较例2	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	11.0	**81**	不合格
比较例3	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	2.9	**83**	不合格
比较例4	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.2	**84**	不合格
比较例5	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.0	**86**	不合格
比较例6	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.0	**79**	不合格
比较例7	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	10.1	**81**	不合格
比较例8	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	3.2	**84**	不合格
比较例9	不满足	满足	满足	满足	不满足	满足	无	无	3.0	**86**	不合格
比较例10	不满足	满足	满足	满足	不满足	满足	无	无	3.1	**82**	不合格
比较例11	不满足	满足	满足	满足	满足	满足	无	无	9.8	**79**	不合格
比较例12	不满足	满足	满足	满足	满足	不满足	无	无	8.5	**69**	不合格

满足：满足该式的关系
不满足：不满足该式的关系

[0390] 根据表4,在发明例中,均进行接合速度为1000mm/分钟以上的高施工效率的接合,并且得到了没有缺陷且埃里克森杯突值的比率为90％以上的具有极其优异的断裂抑制效果的电磁钢带的接合接头。

[0391] 另一方面,在比较例中,在进行了接合速度为1000mm/分钟以上的接合的情况下,没有得到充分的断裂抑制效果。

[0392] 附图标记说明

[0393] 1…第一电磁钢带(被接合材料);2…第二电磁钢带(被接合材料);3-1…旋转工具(表面侧旋转工具);3-2…旋转工具(背面侧旋转工具);4…接合部;4-1…热加工影响部(第一电磁钢带侧);4-2…热加工影响部(第二电磁钢带侧);5-1、5-2…肩部;6-1、6-2…探针;7…把持装置;9-1、9-2…前端部;10-1…冷却装置(表面侧冷却装置);10-2…冷却装置(背面侧冷却装置);11…旋转工具的驱动装置;12…动作控制装置。

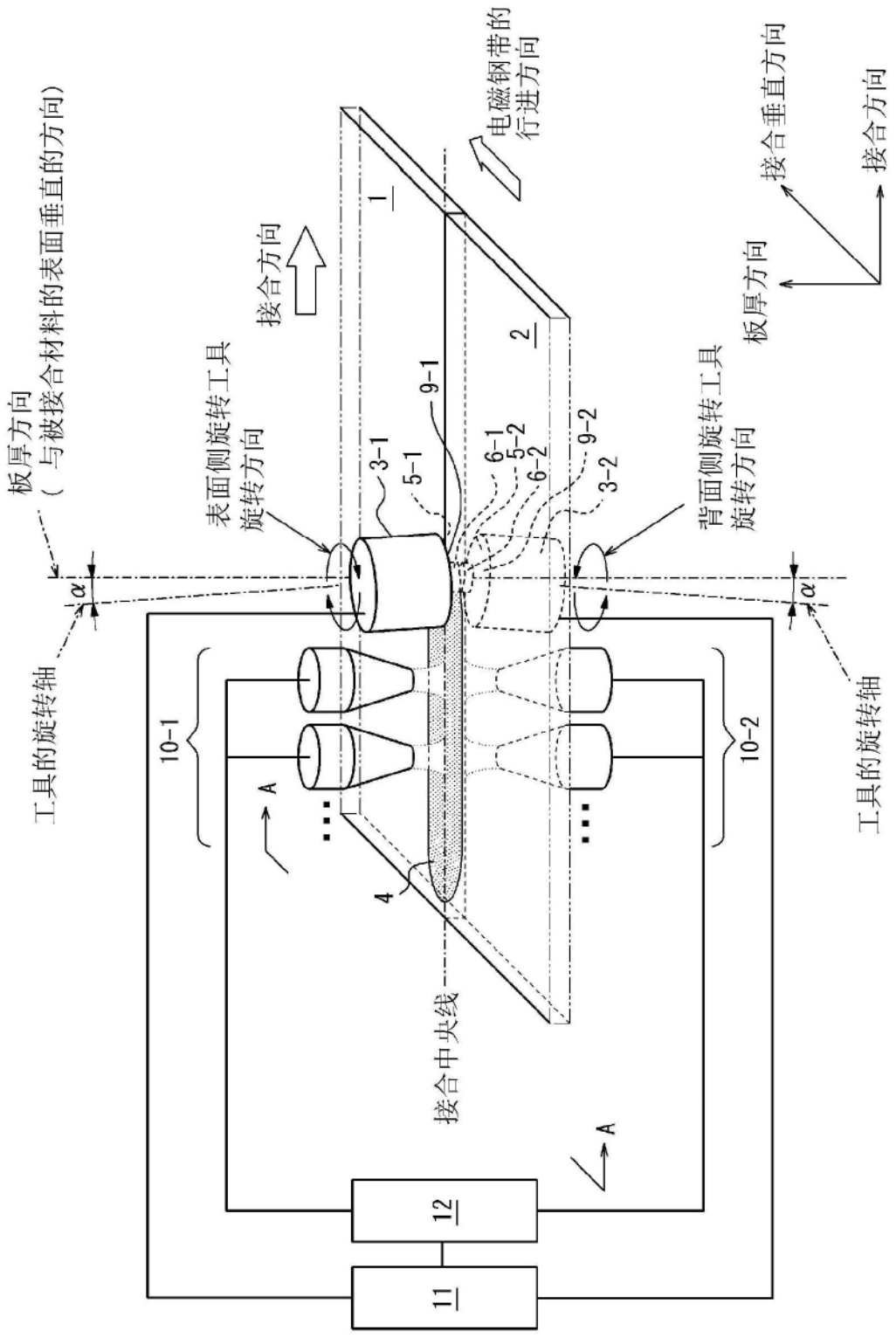

板厚方向
（与被接合材料的表面垂直的方向）
工具的旋转轴
α
表面侧旋转工具
旋转方向
接合方向
1
电磁钢带的
行进方向
2
板厚方向
接合垂直方向
接合方向
9-1
3-1
5-1
6-1
5-2
6-2
9-2
3-2
背面侧旋转工具
旋转方向
α
工具的旋转轴
10-1
A
4
接合中央线
A
10-2
12
11

图1A

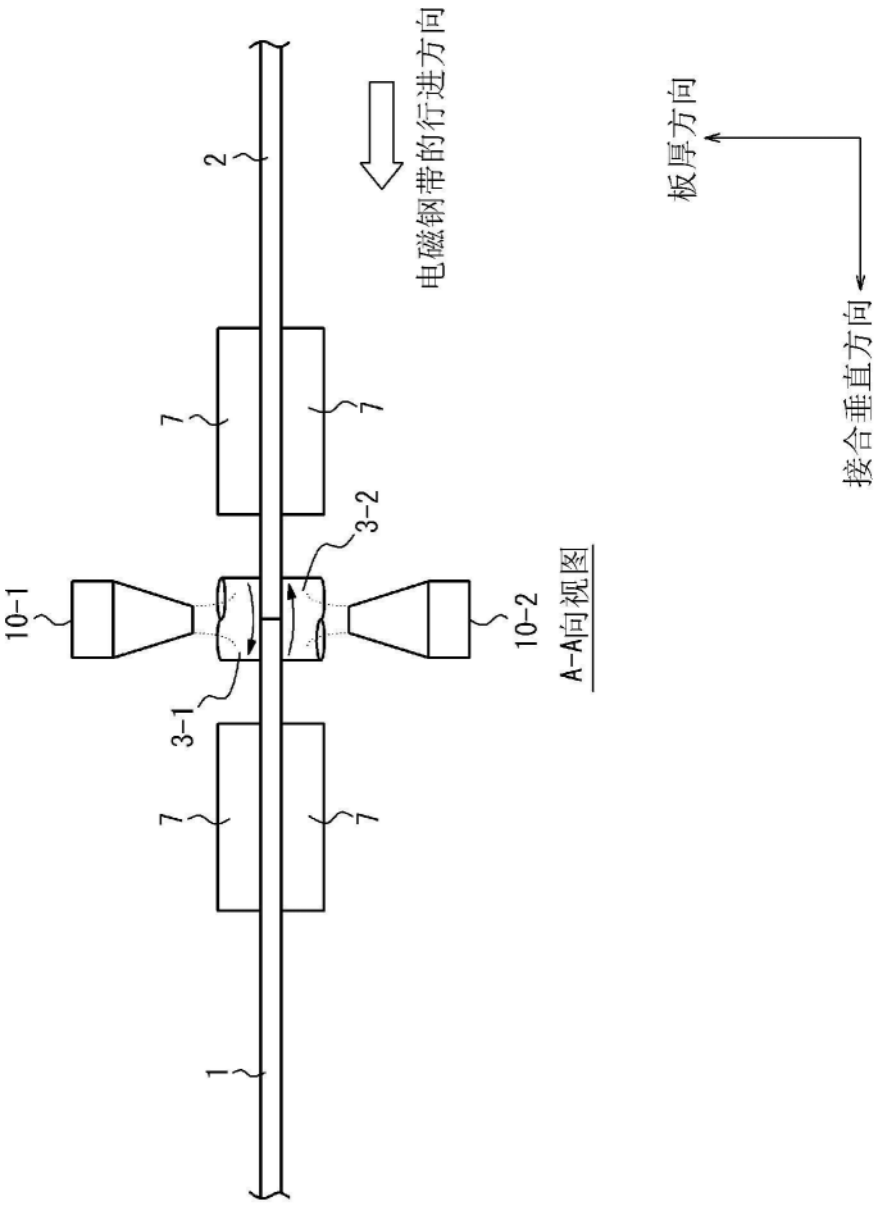


图1B

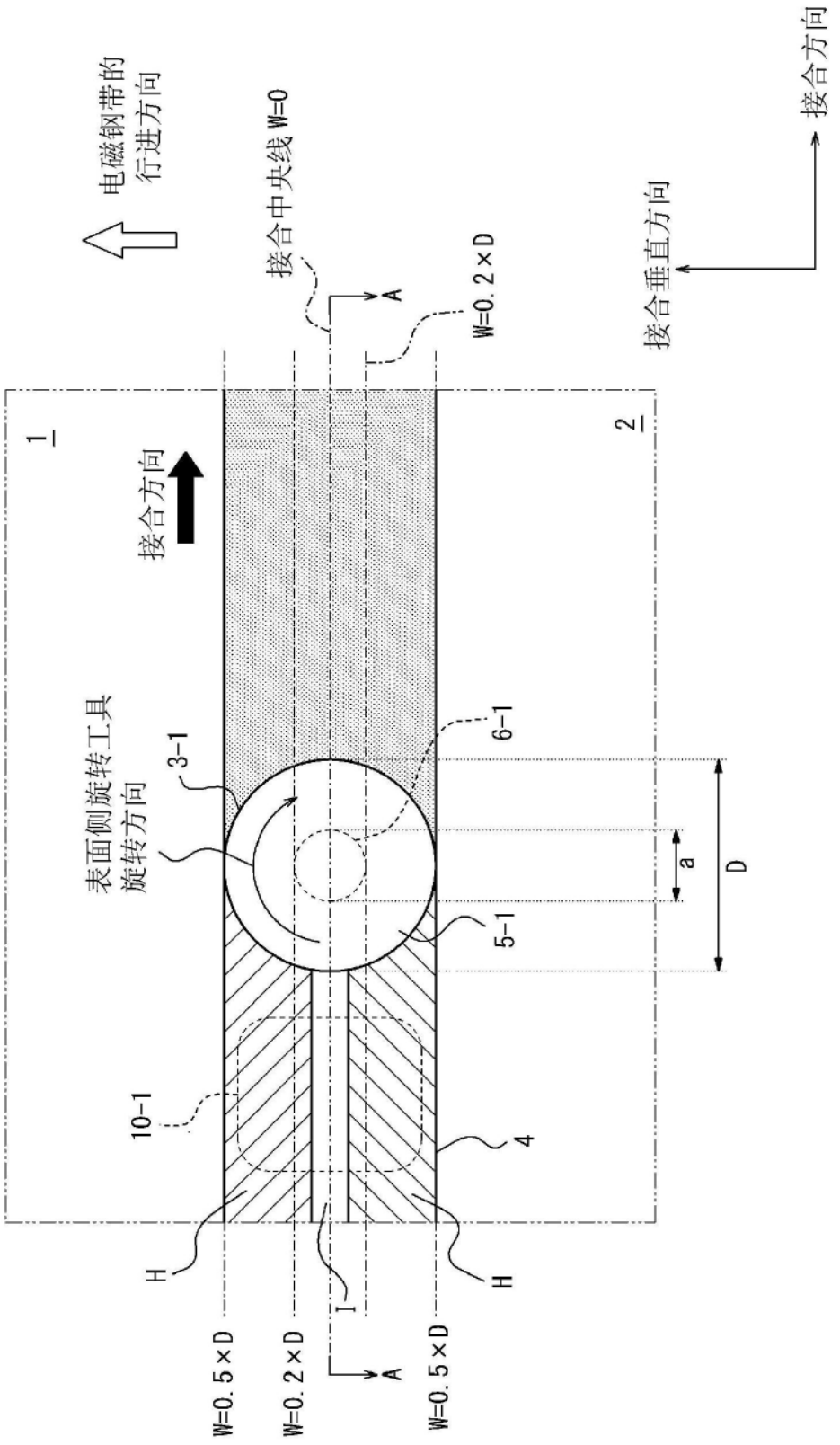

电磁钢带的
行进方向
接合中央线 W=0
W=0.2×D
接合垂直方向
接合方向
1
2
接合方向
表面侧旋转工具
旋转方向
3-1
6-1
5-1
a
D
10-1
4
H
H
I
I
A
A
W=0.5×D
W=0.2×D
W=0.5×D

图1C

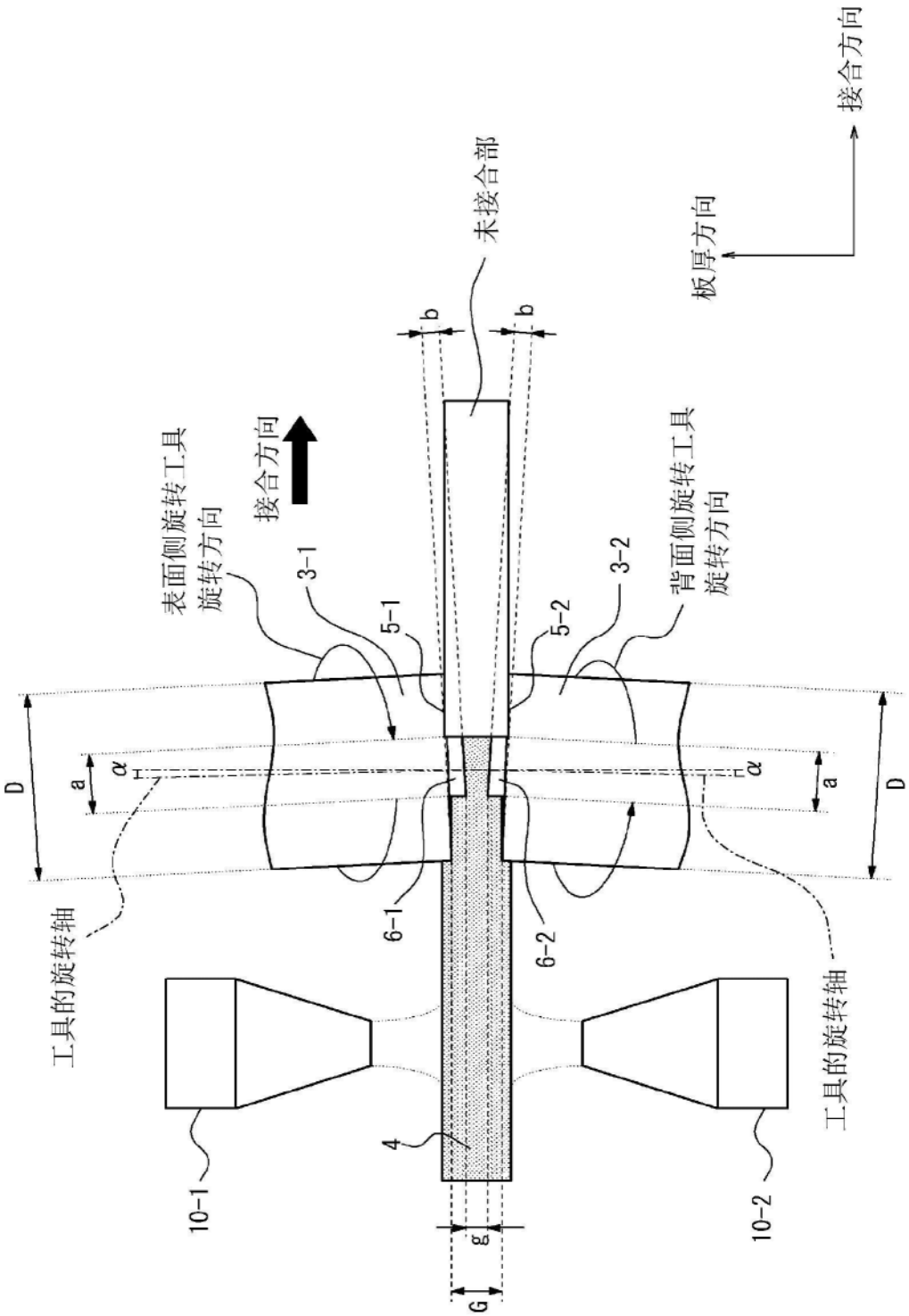

接合方向
板厚方向
未接合部
b
b
表面侧旋转工具
旋转方向
接合方向
3-1
5-1
5-2
3-2
背面侧旋转工具
旋转方向
D
a
α
α
a
D
工具的旋转轴
6-1
6-2
工具的旋转轴
4
10-1
10-2
g
G

图1D

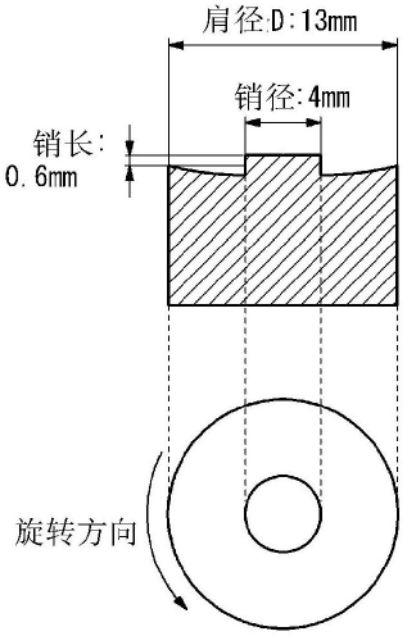


图2A

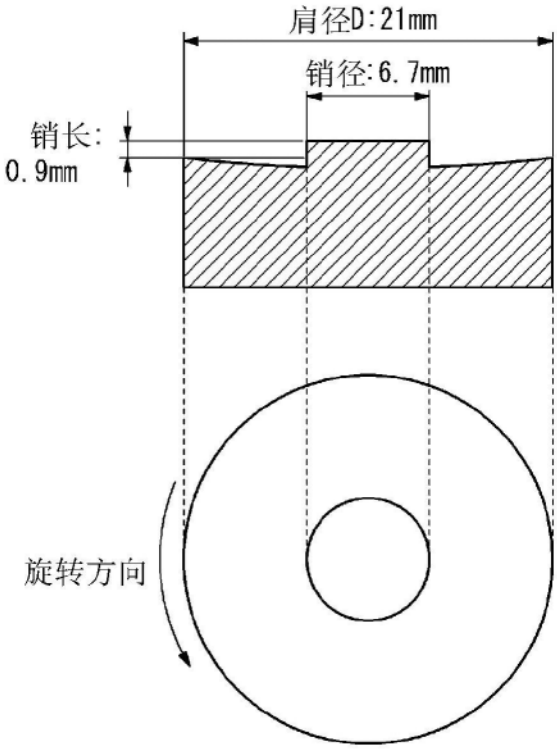


图2B

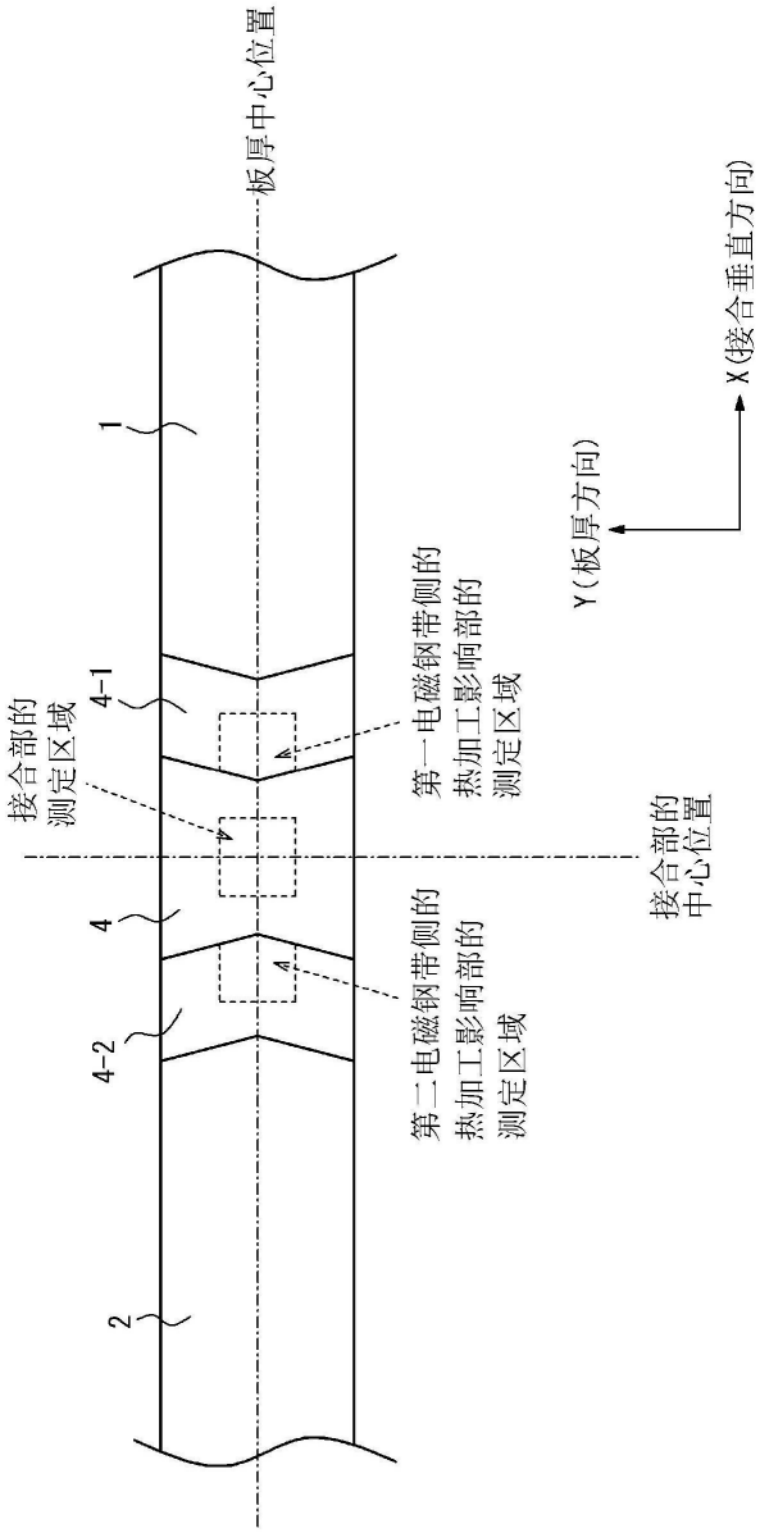

板厚中心位置
X(接合垂直方向)
Y(板厚方向)
1
4-1
4
4-2
2
接合部的
测定区域
第一电磁钢带侧的
热加工影响部的
测定区域
第二电磁钢带侧的
热加工影响部的
测定区域
接合部的
中心位置

图3

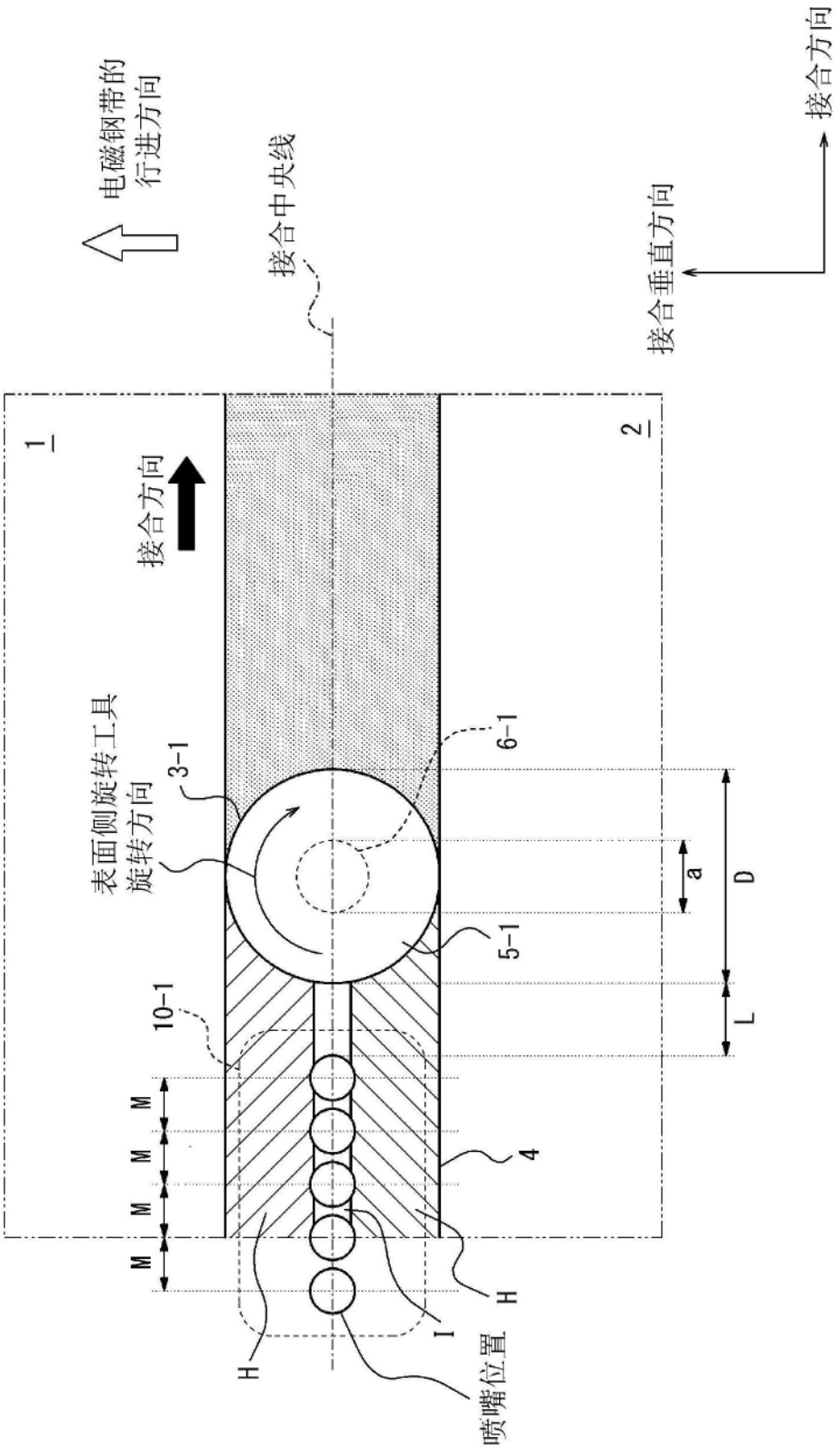

电磁钢带的
行进方向
接合中央线
接合垂直方向
接合方向
1
2
接合方向
表面侧旋转工具
旋转方向
3-1
6-1
5-1
10-1
a
D
L
M
M
M
M
4
H
H
I
喷嘴位置

图4